



**FACHGEBIET NACHRICHTENTECHNIK
PROF. DR.-ING. H. LUCK**

AUBE '82

**8. INTERNATIONALES VORTRAGSSEMINAR
ÜBER**

**PROBLEME
DER AUTOMATISCHEN
BRANDENTDECKUNG**

5. BIS 7. OKTOBER 1982

TAGUNGSBERICHT

Herzlich gedankt sei an dieser Stelle allen, die zum Gelingen der Tagung beigetragen haben:

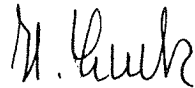
Für finanzielle Unterstützung den Unternehmen

- Aachener und Münchener Beteiligungs-Aktiengesellschaft, Aachen
- Cerberus AG, Männedorf, Schweiz
- Colonia Versicherungen, Duisburg
- Deutsche Shell AG, Duisburg
- Dresdner Bank AG, Duisburg
- Erdöl-Raffinerie Duisburg (ERD) GmbH, Duisburg
- Gerling Institut für Schadenforschung und Schadenverhütung GmbH, Köln
- Grillo Werke AG, Duisburg
- Haindl Papier GmbH, Duisburg
- Provinzial-Feuer und Lebensversicherungsanstalt der Rheinprovinz, Düsseldorf
- Siemens AG, Essen
- Verband der Sachversicherer e.V., Köln

Für finanzielle und organisatorische Unterstützung der "Gesellschaft der Freunde der Niederrheinischen Universität Duisburg e.V."

Für materielle und organisatorische Unterstützung dem Förderverein "Unsere Duisburger Hochschule e.V."

Für die Hilfe bei der Gestaltung des Rahmenprogramms der Thyssen Aktiengesellschaft, Duisburg



Oktober 1982

Prof. Dr.-Ing. H. Luck

II

		Seiten/Page
Luck, H.	Überblick über die Themenkreise des Seminars	1
Miyama, J.	Experimentale Forschung über die neuartigen Durchlichtrauchdetektoren	4
Fissan, H.J. Helsper, C.	Zur Reaktion von Rauchdetektoren auf Brandkenngrößen	20
Meyer, G.	Ein mathematisches Modell für Ionisationsrauchmelder	38
Mars, J.	Modèle d'analyse des données granulométriques	63
Pfister, G.	Detektion von Brandgasen mit Festkörpersensoren - Schwerpunkte der Forschungsaktivität	106
Middleton, J.F.	Developments in Flame Detectors	119
Unoki, J. Kimura, S.	New fire detector for road tunnels	134
Iseli, D.	Brandmeldesystem für Straßentunnels	155
Faber, M.	Mehrfachlöschsystem mit automatischer Flammenerkennung für den Einsatz bei Grubenbränden im Steinkohlenbergbau unter Tage	168
Heitmann, H.	Ein Beitrag zum Entwurf und Test von Ultraviolett-Flammenstrahlungs-Meldern für die automatische Brandentdeckung	182

III

		Seiten/Page
Molière, G.	Sécurité des systèmes de détection automatiques d'incendie	224
Kaiser, J. Katzmayr, A.	Testfeuer im Zusammenhang mit automatischen Brandmeldeanlagen	238
Baum, H.R. Rehm, R.G. Mulholland, G.W.	Prediction of Heat and Smoke Movement in Enclosure Fires	259
Willms, I. Siemund, B. Lorbeer, G.	Opto-computertomographisches Rauchdichtemeßverfahren	276
Scheidweiler, A.	Verteilung der Intelligenz in zukünftigen Brandmeldesystemen	295
Krüger, R.	Erhöhung der "Intelligenz" von Brandmeldezentralen	311
Pigott, B.B.	The Potential of Computer Based Analogue Fire Sensing	320
Tomkewitsch, R.	Brandschutzanlagen mit "verteilter Intelligenz" - Das Pulsmelder-System	335
Luck, H. Hase, K.R.	Automatische Brandmelder als Signaldetektoren	347
Unger, E.	Probleme der Betriebszuverlässigkeit von Brandmeldezentralen	381
Lecuyer, D.	L'utilisation des techniques logicielles dans les systèmes de detection incendie	406

IV

		Seiten/Page
Rohrbacher, H.	Automatische Brandentdeckung in explosionsgefährdeten Bereichen	412
Heinen, B.	Ausfallwahrscheinlichkeiten mikroprozessorgesteuerter Brandmeldesysteme	427
Haffmans, L.	Fire Detectors in Telephone Exchanges	440
Meier, O.	Man-Machine-Interface moderner Brandmeldezentralen	448
Adolphs, W.	Probleme der Brandfrüherkennung in der Industrie	455
Laursen, A. Christensen, J.D.	Environmental Test Specifications for Automatic Safety Systems	467
Hess, E.	Sicherheitsphilosophie und Anwendungsgrenzen moderner elektronischer Bauelemente in Brandmelderzentralen	490
Luck, H. Siemund, B.	Grundlegende Prinzipien zur Prüfung von Brandmelderzentralen	502
Dyhring, F.	Organisation of Danish Type Testing Procedure for Control and Indicating Equipment	531
Schnell, M.	Brandmelderzentralen in der Richtlinien- und Normungsarbeit	545
Phillips, R.	The Development of Standards and Test Specifications for Fire Detection and Alarm Systems	555

Prof. Dr.-Ing. H. Luck
Universität Duisburg, Duisburg, Deutschland

Überblick über die Themenkreise des Seminars

Meine sehr verehrten Damen und Herren!

Die soeben begonnene Tagung setzt die Reihe der Vortragsseminare zum Thema "Automatische Brandentdeckung" als 8. Veranstaltung dieser Art erstmals in den Räumen der Universität Duisburg fort. Der Umzug der Arbeitsgruppe "Automatische Brandentdeckung" aus dem Institut für Elektrische Nachrichtentechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen an die Universität Duisburg wurde durch meine Berufung auf den Lehrstuhl für Nachrichtentechnik in Duisburg verursacht und ist inzwischen vollständig abgeschlossen. Damit kann die in Aachen von Professor Aschoff begründete Tradition in Duisburg fortgesetzt werden.

Die Vorbereitung zu diesem 8. Vortragsseminar hat gezeigt, daß das weltweite Interesse an den technischen und organisatorischen Problemen der automatischen Brandentdeckung nach wie vor sehr groß ist und daß die Tradition dieser Vortragsseminare trotz der verhältnismäßig langen Pause seit der letzten Tagung (sie fand im März 1975 statt) unvergessen ist.

Die Entwicklung der modernen Elektronik und die Verfeinerung der Meßmethoden für Aerosole (Rauch) in den letzten Jahren haben erhebliche Innovationen in der Brandmeldetechnik erbracht. Davon wurde auch die Prüfmethode und der Bereich der technischen Vorschriften stark berührt. Vor diesem Hintergrund fiel die Auswahl der Themenkreise für das diesjährige Seminar nicht schwer. Berücksichtigt wurden:

Die Meldertechnik einschließlich spezieller Anwendungen, der die Vorträge und Diskussionen des heutigen Tages gewidmet sind. Es zeigt sich, daß hier die Entwicklung noch keineswegs an ihrem Endpunkt angelangt ist.

Die Erfassung des Ausbreitungsverhaltens von Rauch bzw. dessen zuverlässige Voraussage für zu schützende Räume. Der erste Teil des morgigen Vormittags (vor der Kaffeepause) enthält Beiträge zu diesem Thema.

Die Signalverarbeitung in Brandmeldesystemen füllt den Rest des morgigen Tages aus. Dabei werden in vielfältiger Weise die Neuerungen diskutiert, die durch enorm gesteigerte Möglichkeiten der modernen Elektronik gegeben sind und die zu akzeptablem Preis anwendbar werden.

Der dritte Tag des Seminars beginnt mit einigen speziellen Themen zur Anwendung der automatischen Brandmeldetechnik. Er wird fortgesetzt mit 6 Vorträgen zu der Vorschriftengebung und der Prüfmethodik für Brandmelderzentralen. Gerade dieses Thema ist deshalb von besonderer Aktualität, weil verschiedene internationale Gremien in Europa und weltweit (ISO) z.Z. damit beschäftigt sind, Vorschriften und Prüfmethode auszuarbeiten oder festzulegen. Die Behandlung der Grundlagen, auf denen eine solche internationale Verabredung aufgebaut werden kann und soll, ist von großer Wichtigkeit. Das dieses Seminar abschließende Podiumsgespräch soll diese Grundlagen nochmals zusammenfassen und ggf. auch Unterschiede in der Auffassung der beteiligten Organisationen deutlich machen. Daher wurden zu diesem Podiumsgespräch internationale Fachleute von den Herstellern, den Versicherungsorganisationen, den Normengremien und den Berufsfeuerwehren eingeladen. Damit ergibt sich ein umfangreiches und für die folgenden drei Tage recht gedrängtes Programm. Es ist so gestaltet, daß nur bei größter Disziplin aller Vortragenden bei der Einhaltung ihrer Redezeit eine ausreichende Möglichkeit zur Diskussion gegeben ist. Ich richte daher an alle Redner die dringende Bitte, sich an die vorgegebene Redezeit zu halten.

Nicht alle interessanten Vorträge konnten im Programm untergebracht werden. In einem solchen Fall blieb nur der Ausweg, den Vortrag in den Tagungsband aufzunehmen, obwohl er im Programm nicht erscheint.

Zum Schluß dieser kurzen Einführung in die Themenkreise des diesjährigen Seminars lassen Sie mich einige Worte des Dankes sagen.

Eine Tagung wie diese kann von einem Universitätsinstitut nur dann mit Erfolg vorbereitet und durchgeführt werden, wenn den nicht sehr

zahlreichen Mitgliedern über längere Zeit neben ihrer normalen Arbeitsleistung ungewöhnliche zusätzliche Leistungen abverlangt werden. Ich danke daher allen Angehörigen des Fachgebietes Nachrichtentechnik sehr herzlich für die Bereitschaft zu dieser Leistung. Wenn ich den Oberingenieur Dr.-Ing. P. Laws, der die Gesamtorganisation bewerkstelligte, und Frau M. Mosner, die die dreisprachige Organisation des Tagungssekretariats meisterte, besonders herausgreife, so ist das symbolisch für alle anderen zu verstehen.

Der Universität -GH- Duisburg danke ich für die wirksame und wohlwollende Hilfe bei der Durchführung der Tagung. Diese Durchführung wäre nicht ohne die finanzielle Hilfe einer Reihe von Unternehmen der engeren und weiteren Region, nicht ohne die finanzielle und organisatorische Hilfe der "Gesellschaft der Freunde der Niederrheinischen Universität Duisburg e.V." und nicht ohne die organisatorische und materielle Hilfe des Fördervereins "Unsere Duisburger Hochschule e.V." möglich gewesen. Ich danke sehr dafür.

Prof. Dr.-Ing. Jun Miyama
Sophia Universität, Tokio, Japan

Vergleichende Experimentelle Untersuchung über neuartige in Japan entwickelte Durchlichtdetektoren

1. Einleitung

Bei uns in Japan sind üblicherweise in großen Gebäuden ein paar tausend Detektoren installiert, um einen Brand möglichst frühzeitig zu entdecken. Andererseits geben Detektoren, insbesondere Rauchdetektoren, manchmal Fehlalarme. Bisher wurde angenommen, daß Ionisationsdetektoren häufiger als Durchlichtdetektoren Fehlalarme gäben, ohne daß das Problem bisher untersucht und statistisch bestätigt wurde.

Angesichts dieser Verhältnisse hat vor zwei Jahren das "Fire Protection Equipment and Safety Center of Japan", dem ich als ein Komiteemitglied angehöre, meinen Vorschlag angenommen, eine Untersuchung über dieses Problem auszuführen. Im folgenden möchte ich die Hauptergebnisse dieser Untersuchung kurz berichten, um einen Vergleich mit dem Verhalten Konventioneller Detektoren zu ermöglichen. (1)

2. Vergleich des statistischen Verhaltens verschiedener Arten von Detektoren

Um die oben erwähnte Untersuchung auszuführen, wurden zwölf Gebäude ausgewählt, vier Kaufhäuser (40,000 - 80,000 m²), zwei Bürogebäude (jedes etwa 100,000 m²), zwei Schulhäuser, ein Hotel (60,000 m²), ein Krankenhaus (50,000 m²), ein kombiniertes Gebäude von Geschäften und Büros (5,000 m²) sowie ein Gebäude, das verschiedene Einzelläden vereinigt (6 Stockwerke, 20,000 m²).

Für die Untersuchung wurden die ausgelösten Alarme in die folgenden unterteilt:

- a1 --- Vom Brand verursachter Alarm
- a2 --- Ein von einer zufälligen größeren Zunahme der allgemeinen Rauchdichte ausgelöster Fehlalarm. Eine solche Zunahme wird

vor allem von Tabak und Kochen verursacht.

- a3 --- Ein Fehlalarm, der von Feuchtigkeit, Staub, einem Insekt, usw., d. h. von etwas anderem als Rauch verursacht wird.
- a4 --- Ein Fehlalarm der von einem Fehler im Detektoren selbst bzw. von mangelnder Wartung verursacht wird.
- a5 --- Ein von unbekanntem Ursachen verursachter Fehlalarm

Die verschiedenen Arten von Detektoren wurden wie folgt bezeichnet:

- d1 --- Ionisationsdetektoren ohne Verzögerungsglied
- d2 --- Ionisationsdetektoren mit einem Verzögerungsglied von etwa 30 Sekunden
- d3 --- Lichtstreuungsdetektoren ohne Verzögerungsglied
- d4 --- Lichtstreuungsdetektoren mit einem Verzögerungsglied von etwa 30 Sekunden
- d5 --- Punktförmige Hitze-Differentialmelder (zum Vergleich)

Um das Verhalten der verschiedenen Arten von Detektoren zu vergleichen, wurde die jährliche Häufigkeit der Alarme $H_{a_i d_j}$ wie folgt definiert:

$$H_{a_i d_j} = \text{Die jährliche Häufigkeit des vom Detektoren } d_j \text{ ausgelösten Alarms der Klasse } a_i$$

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Abb. 2.1 gezeichnet. Die Abbildung zeigt, daß Lichtstreuungsdetektoren weniger Fehlalarme als Ionisationsdetektoren geben. Von diesem Ergebnis her ist klar, daß Lichtstreuungsdetektoren geeigneter als Ionisationsdetektoren sind, um Fehlalarm zu vermindern.

3. Die neuartigen Durchlichtdetektoren

Obgleich der Lichtstreuungsdetektor weniger Fehlalarme als ein Ionisationsdetektor gibt und darum vorzuziehen wäre, ist doch zu bedenken, daß er gegenüber schwarzem Rauch weniger empfindlich reagiert als gegenüber weißem Rauch. Aus diesem Grund wurden große Hoffnungen auf die Entwicklung eines Durchlichtdetektors gesetzt, da er theoretisch eine genügende Empfindlichkeit für schwarzen Rauch hat.

Glücklicherweise sind vor einigen Monaten zwei Exemplare solcher Detektoren kommerziell entwickelt worden, von denen einer Lichtwellen in Infrarot (960 nm), der andere sichtbares Licht von 660 nm benutzt. Im folgenden werden wir die beiden Detektoren mit DLD 960 und DLD 660 bezeichnen.

3.1 Ausführung und Funktionsprinzip von DLD 960

Ursprünglich wurde dieser Detektor hergestellt um einen Brand in Tunnels oder unterirdischen Kabelkanälen zu melden, und ist jetzt weiter entwickelt worden, um Brände in Garagen, Lagerhäusern, Fabriken, usw. zu melden. Deshalb hat er große Abmessungen, wie in der Abb. 3.1 gezeigt ist. An einem Ende befindet sich eine LED-Lichtquelle, und am anderen, etwa 70 cm entfernt, ein Photodetektor.

Die LED, die impulsiv betrieben wird, strahlt einen impulsmodulierten Lichtfluß von der Wellenlänge 960 nm aus. Dieses Durchlicht wird von dem Photodetektor aufgefangen, und dessen Ausgangsimpulsspannung wird mittels eines synchronisierten Verstärkers in ein Gleichstromsignal umgesetzt.

Der normalen Verhältnissen entsprechende Signalpegel wird einem Kurzzeitspeicher von einigen zehn Minuten zugeführt. Ein Brand reduziert den momentänen Signalpegel. Wenn eine solche relative Reduktion einen vorher bestimmten kritischen Wert übersteigt, und dieser Zustand länger als 5 Sekunden andauert, wird ein Alarm ausgelöst.

Außerdem gibt der Detektor einen Alarm, wenn die Langzeit-Durchlichtstärke wegen langsam zunehmender Verschmutzung bis auf die Hälfte des anfänglichen Wertes vermindert ist.

3.2 Ausführung, und Funktionsprinzip von DLD 660

Dieser Detektor wurde für die Installation in allgemeinen Gebäuden hergestellt. In einem kreisförmigen Gehäuse, das in Abb. 3.2 gezeigt ist, ist eine LED montiert, die einen impulsmodulierten Lichtfluß aussendet, dessen Wellenlänge einen Mittelwert von 660

nm hat.

Der Lichtfluß wird von zwei Spiegeln , die parallel zueinander im Abstand von 140 mm stehen, mehrmals reflektiert, wie in Abb. 3.3 gezeichnet ist, und schließlich von einer Photodiode empfangen.

Die Signalspannung der Photodiode wird verstärkt, und dann gleichzeitig auf die Eingänge zweier Verzögerungsglieder gegeben, die die Eingangsspannung in eine dem Eingangssignal schnell bzw. langsam folgende Gleichspannung verwandeln. Eines der Verzögerungsglieder hat so große Zeitkonstante (etwa 5 Stunden), daß das umgeformte Signal sich nur langsam verändert, und daher der normalen Durchlichtstärke entspricht.

Das andere Verzögerungsglied hat eine kleine Zeitkonstante (etwa 100 Sekunden), so daß sein Signalpegel bei einem Brand in kurzer Zeit der von dem Rauch geschwächten Durchlichtstärke folgt. Wenn der Unterschied zwischen den beiden Signalpegeln einen bestimmten Schwellenwert erreicht, wird ein Alarm ausgelöst.

4. Experimentelle Methode

Abb. 4.1 zeigt den Windkanal, mit dem die Rauchdetektoren untersucht wurden. Als Testrauch-Quelle wurden folgende drei Methoden mit verschiedenen Materialien verwandt:

W1 --- Glimmende Schwelung: Dochte, Zigaretten und Weihrauchstäbchen* wurden an einem Ende angezündet.

W2 --- Verkohlung: etwa 1 g Docht, Tabak oder Weihrauchstäbchen wurden zwischen zwei kleinen elektrischen Heizplatten, die in etwa 5 Minuten von 100°C auf 400°C erhitzt wurden, verkohlt.

W3 --- Die offene Flamme: einige ccm Kerosin, sowie einige g Polyurethan-Schaumstoff wurden verbrannt.

* Kleine, etwa 15 cm lange Stäbchen mit einem Durchmesser von etwa 2 mm, aus Zeder-Nadeln, viel verwandt an Hausaltärchen. In Abb. 4.2 sind vier Stäbchen mit einem Docht und einer Zigarette gezeigt.

Als Kenngrößen des Rauches wurden die bekannten zwei Verhältniszahlen verwandt, die wie folgt definiert sind:

$$J = \Delta I / I_0$$

worin, I_0 = Anfangswert des Ionisationsstromes in der Ionisationskammer

ΔI = Rauch-verursachte Abnahme des Ionisationsstromes

$$D = \Delta F / F_0$$

worin, F_0 = Anfangswert des Lichtflusses im Rauchdichtemesser, wenn Lichtquelle und Photozelle 1 m entfernt sind.

ΔF = Rauch-verursachte Abnahme des Lichtflusses

Bei den Versuchen wurden die zeitlichen Verläufe von J und D gemessen, und gleichzeitig wurde die Ansprechzeit des Detektors T_a bestimmt.

5. Versuchsergebnisse mit den verschiedenen Rauchdetektoren und Diskussion

5.1 Versuchsergebnisse mit dem DLD 960 Detektor

Abb. 5.1 zeigt die zeitlichen Verläufe von D und J, wenn 8 Dochte auf Weise W1 verschwelt werden. Die der Ansprechzeit T_a entsprechenden Werte von D und J sind mit D_a und J_a bezeichnet. Die Versuche wurden dreimal wiederholt; die Mittelwerte sind unter den Zeichen T_{am} , D_{am} , J_{am} in Tab. 5.1 wiedergegeben. Ebenfalls angegeben sind Versuche, bei denen Zigaretten sowie Weihrauchstäbchen verschwelt wurden.

Abb. 5.2 zeigt die Ergebnisse der Versuche, wenn 0.75 g Docht auf Weise W2 verkohlt wird. T_{am} , D_{am} , usw. dieser Versuche sind ebenfalls in Tab. 5.1 eingetragen worden.

Abb. 5.3 und 5.4 zeigen die Ergebnisse der Versuche, wenn 0.5 ccm Kerosin bzw. 3 g Polyurethan-Schaumstoff auf Weise W3 verbrannt werden. Die Mittelwerte sind in Tab. 5.1 angegeben.

5.2 Versuchsergebnisse mit dem DLD 660 Detektor

Parallele Versuche wurden mit dem DLD 660 Detektor angestellt, und deren Ergebnisse in Tab. 5.2 unter den Zeichen T'_{am} , D'_{am} , und J'_{am} aufgezeichnet.

5.3 Versuchsergebnisse mit Lichtstreuungs- und Ionisationsdetektor mit dem Lichtstreuungsdetektor

In Tab. 5.3 sind die Ergebnisse der Versuche unter den Zeichen T''_{am} , D''_{am} , usw. aufgezeichnet. Tab. 5.4 zeigt die entsprechenden Daten für den Ionisationsdetektor, T'''_{am} , D'''_{am} , usw.

5.4 Vergleich des DLD 960 mit dem Lichtstreuungsdetektor

Zuerst vergleichen wir DLD 960 mit dem Lichtstreuungsdetektor. Als ein Maß für die Empfindlichkeit der verschiedenen Detektoren dient am besten der reziproke Wert von D_{am} usw., d. h. $1/D_{am}$ usw. Wir definieren demnach:

$$\begin{aligned} E &= 1/D_{am} \text{ als die Empfindlichkeit von DLD 960} \\ E' &= 1/D'_{am} \text{ " von DLD 660} \\ E'' &= 1/D''_{am} \text{ " des Lichtstreuungsdetektors} \\ E''' &= 1/D'''_{am} \text{ " des Ionisationsdetektors} \end{aligned}$$

Die sich aus Tab. 5.1-5.4 ergebenden Empfindlichkeitswerte sind in Tab. 5.5 zusammengestellt.

Spalte 6 der Tab. 5.5 zeigt das Verhältnis E/E'' für Verbrennungsweisen W1, W2, sowie W3. Wenn man den Mittelwert dieser Verhältnisse für Weise Weise W1 berechnet, ergibt sich 0.70. Das bedeutet, daß DLD 960 gegenüber Verschmelzung weniger Empfindlichkeit als der Lichtstreuungsdetektor hat. Andererseits ergibt sich für Weise W3 (offene Flamme mit schwarzem Rauch) ein Mittelwert von 1.76. Das heißt, daß DLD 960 für schwarzen Rauch empfindlicher als der Lichtstreuungsdetektor ist.

5.5 Vergleich des DLD 660 mit dem Ionisationsdetektor

Ein Vergleich von E''' und E in Tab. 5.5 ergibt sofort, daß der

Ionisationsdetektor für den Zigarettenrauch wesentlich empfindlicher als DLD 960 ist.

5.6 Vergleich des DLD 660 mit dem Lichtstreuungsdetektor

In Tab. 5.5 ist das Verhältnis E/E'' gezeigt. Gegenüber Verschmelzung, W1, ist der DLD 660 empfindlicher als der Lichtstreuungsdetektor. Gegenüber Verkohlungsrauch, W2, haben die beiden Detektoren ungefähr gleiche Empfindlichkeiten, da der Mittelwert des oben erwähnten Verhältnisses 0.94 ist. Gegenüber schwarzen Rauch, W3, ist der DLD 660 viel empfindlicher als der Lichtstreuungsdetektor.

5.7 Vergleich der beiden Durchlichtdetektoren

Zuletzt möchten wir die beiden Durchlichtdetektoren miteinander vergleichen. Die Verhältnisse E/E' sind in der Tab. 5.5 angegeben. Für Weise W1 ist der Mittelwert 0.45. Das bedeutet, daß DLD 960 in diesem Fall viel unempfindlicher als DLD 660 reagiert. Für Verbrennungsweisen W2 und W3 ergeben sich 0.78 bzw. 0.73 als Mittelwerte.

6. Zusammenfassung

Der Ionisationsdetektor ist leicht herzustellen und kommt mit einer kleinen stetigen elektrischen Leistung aus, ist aber für den Zigarettenrauch viel zu empfindlich. Nach den statistischen Untersuchungen gibt er besonders in Speisesälen, Konferenzräumen, und Empfangszimmern in großen Gebäuden entschieden zu häufig Fehlalarme, als daß man ihn unbeschränkt empfehlen könnte.

Demgegenüber ist der Lichtstreuungsdetektor nicht so empfindlich für Zigarettenrauch wie der Ionisationsdetektor, und gibt auch tatsächlich weniger Fehlalarme in den oben erwähnten Gebäuden. Seine geringe Empfindlichkeit für schwarzen Rauch bedeutet aber kritischen Nachteil.

Der DLD 960, der wie erwähnt, infrarotes Licht mit einer Wellenlänge von 960 nm benutzt, ist gegenüber Zigarettenrauch wesentlich unempfindlicher als der Ionisationsdetektor. Wenn er zu-

künftig in einer kleineren Abmessung hergestellt wird, kann er in den oben erwähnten Räumen installiert werden und sicherlich weniger

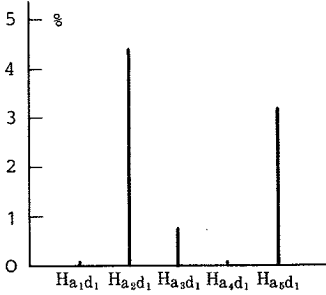
Fehlalarm geben. Für schwarzen Rauch ist er viel empfindlicher als der Lichtstreuungsdetektor.

Der DLD 660, der sichtbares Licht von 660 nm benutzt, hat ungefähr gleichmäßige Empfindlichkeit für alle Arten von Rauch, ganz gleich in welcher Weise er entsteht. Seine etwas kleinere Empfindlichkeit gegenüber Weise W3, könnte dadurch verursacht sein, daß Rauch von einer offene Flamme zu rasch entsteht, und nicht genügend schnell ins Detektorgehäuse einzudringen vermag. Seine verhältnismäßig konstante Empfindlichkeit gegenüber allen Arten von Rauch entspricht genau der Sichtbarkeits-Situation in einem Rauch-gefüllten

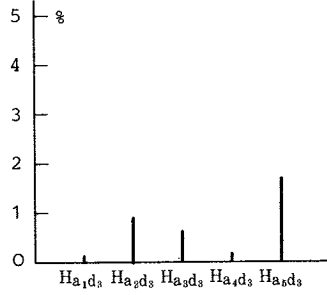
Raum. Dieser Detektor könnte als "idealer" Alarmgeber für Erstfälle gute Dienste leisten. (2)

Literatur

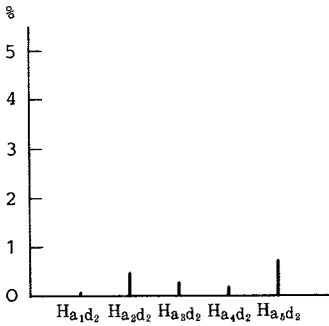
- (1) Interim Report for the Fiscal Year 1980, Research Committee of Fire Protection Systems, Fire protection Equipment and Safety Center of Japan, June 1981
- (2) T. Jin: The Journal of Fire and Flammability, Vol. 12, p. 130 April 1981



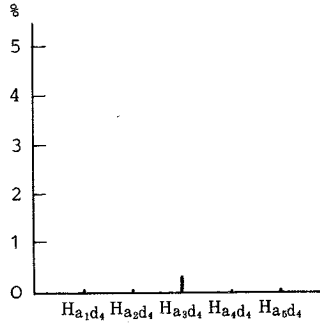
Ionisationsdetektoren
ohne Verzögerungsglied



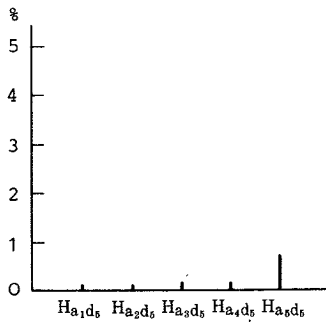
Lichtstreuungsdetektoren
ohne Verzögerungsglied



Ionisationsdetektoren
mit einem Verzögerungsglied



Lichtstreuungsdetektoren
mit einem Verzögerungsglied



Punkt förmige Hitze-Differentialmelder

Abb. 2.1 Jährliche Häufigkeit der verschiedenen
Arten von Fehlalarmen

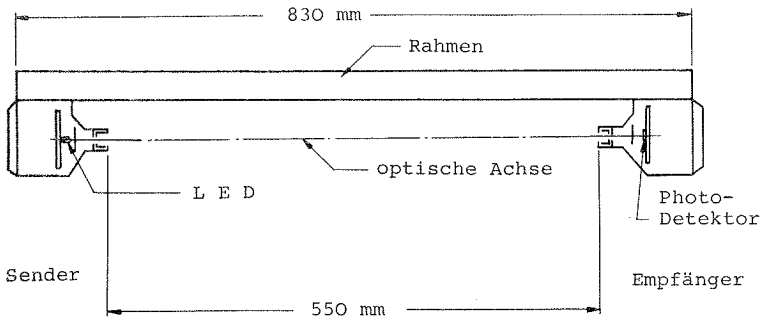


Abb. 3.1 Durchlichtdetektor DLD 960

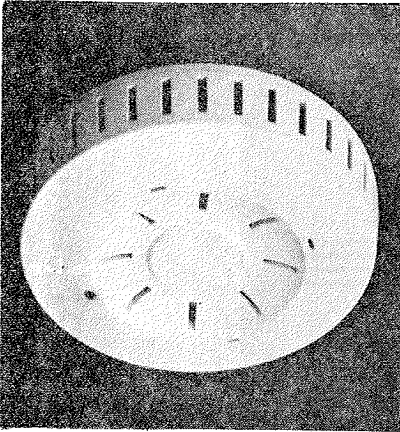


Abb. 3.2 Durchlichtdetektor
DLD 660
Durchmesser 220 mm
Höhe 55 mm

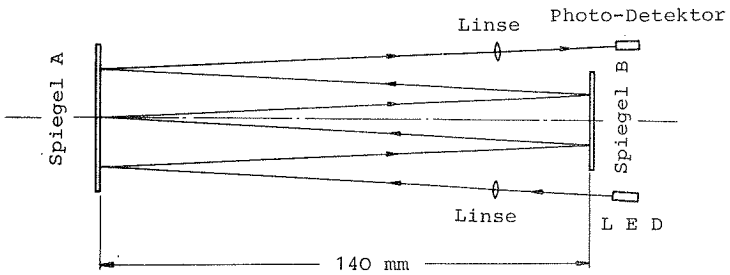


Abb. 3.3 Das Optische System des DLD 660

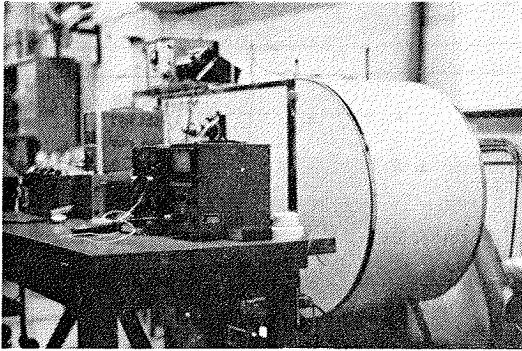


Abb. 4.1 Windkanal

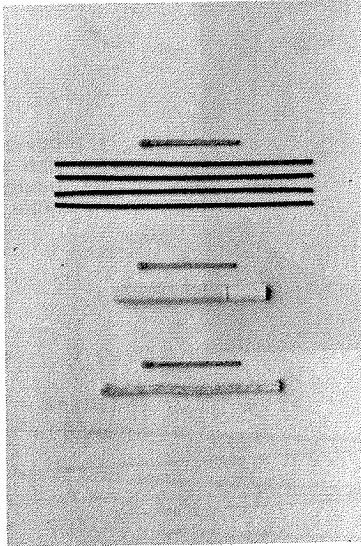


Abb. 4.2 Vier Weihrauchstäbchen, eine Zigarette
und ein Docht mit Streichhölzern zum
Vergleich

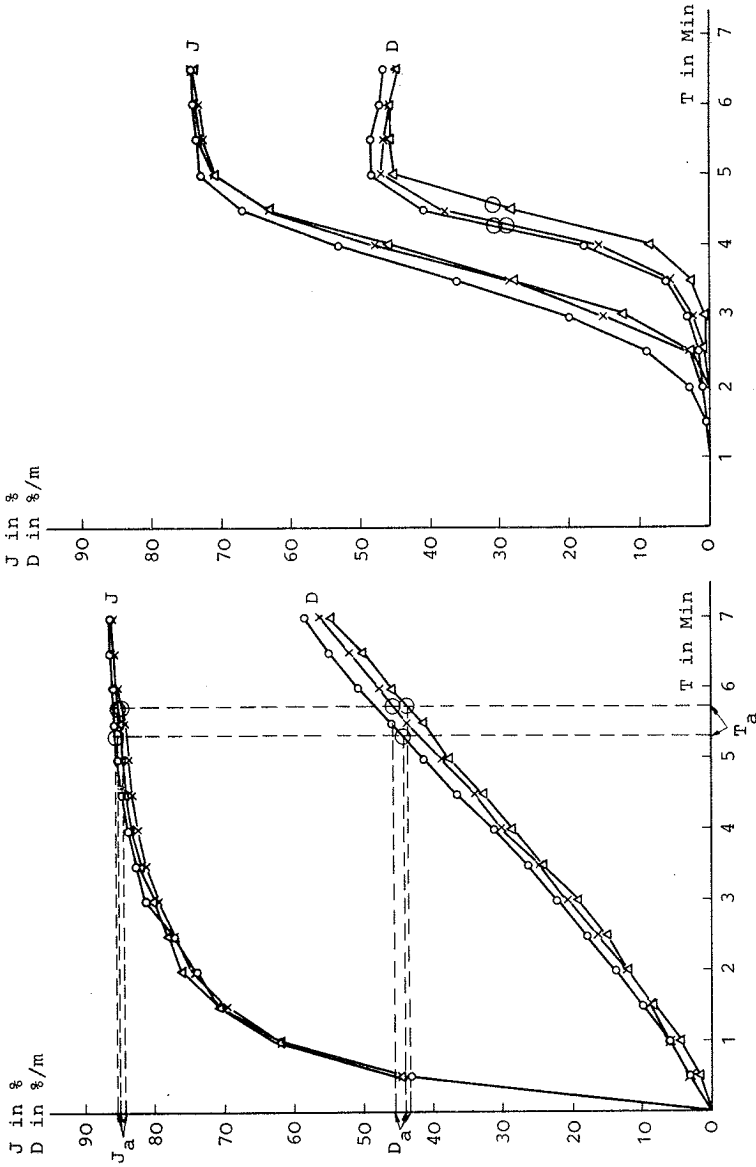


Abb 5.1 Glimmende Schwelung (W1) mit Detektor DLD 960, 8 Dochte

Abb. 5.2 Verkohlung (W2) mit Detektor DLD 960, Dochte 0.75 g

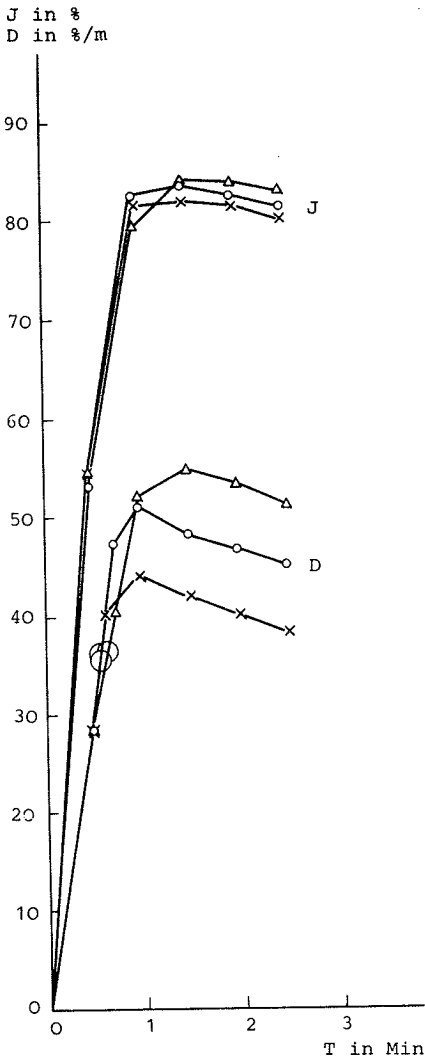


Abb. 5.3 Offene Flamme (W3) mit Detektor DLD 960, Kerosin 0.5 ccm

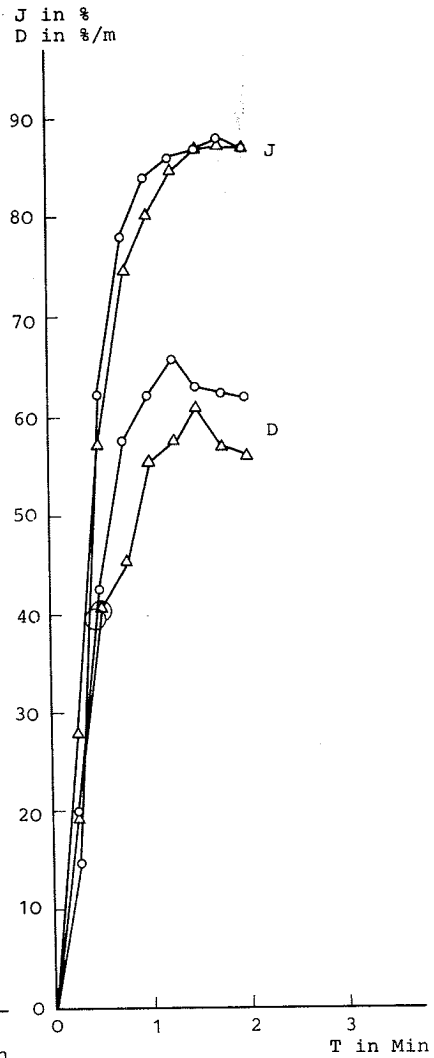


Abb. 5.4 Offene Flamme (W3) mit Detektor DLD 960, Polyurethan-Schaumstoff 3 g

Verbrennungs- weise	Verbrennungs- stoff	Menge	T_{am}	D_{am} %/m	J_{am} %
W1	Docht	8 Stücke	5' 39"	44.4	84.5
"	Zigarette	9 "	5' 36"	53.0	87.7
"	Weihrauch- stäbchen	16 "	3' 45"	45.8	86.4
W2	Docht	0.75 g	4' 23"	30.8	61.0
"	geschnittener Tabak	1 g	3' 14"	22.1	43.1
"	Weihrauch- stäbchen	1 g	3' 25"	21.8	37.2
W3	Kerosin	0.5 ccm	36"	36.0	63.1
"	Polyurethan	3 g	28"	40.3	54.1

Tab. 5.1 Versuchsergebnis von DLD 960

Verbrennungs- weise	Verbrennungs- stoff	Menge	T'_{am}	D'_{am} %/m	J'_{am} %
W1	Docht	8 Stücke	2' 49"	20.1	81.0
"	Zigarette	9 "	3' 9"	23.4	84.8
"	Weihrauch- stäbchen	16 "	1' 26"	20.6	78.3
W2	Docht	0.75 g	4' 21"	24.9	62.9
"	geschnittener Tabak	1 g	3' 10"	16.5	37.1
"	Weihrauch- stäbchen	1 g	3' 43"	17.31	41.9
W3	Kerosin	0.5 ccm	41"	29.4	51.7
"	Polyurethan	1.5 g	44"	25.8	58.3

Tab. 5.2 Versuchsergebnis von DLD 660

Verbrennungs- weise	Verbrennungs- stoff	Menge	T _{am} ^{'''}	D _{am} ^{'''} %/m	J _{am} ^{'''} %
W1	Docht	8 Stücke	3' 27"	29.3	83.5
"	Zigarette	9 "	3' 55"	40.3	86.3
"	Weihrauch- stäbchen	16 "	2' 14"	31.2	82.5
W2	Docht	0.5 g	4' 31"	24.5	61.7
"	geschnittener Tabak	0.5 g	3' 48"	14.5	49.5
"	Weihrauch- stäbchen	0.5 g	3' 48"	16.5	46.6
W3	Kerosin	1.5 ccm	44"	73.2	84.5
"	Polyurethan	4.6 g	55"	60.2	82.2

Tab. 5.3 Versuchsergebnis des Lichtstreuungsdetektors
(950 nm Infrarot)

Verbrennungs- weise	Verbrennungs- stoff	Menge	T _{am} ^{'''}	D _{am} ^{'''} %/m	J _{am} ^{'''} %
W1	Docht	8 Stücke	35"	3.6	55.1
"	Zigarette	9 "	32"	1.8	55.9
"	Weihrauch- stäbchen	16 "	33"	6.8	55.2
W2	Docht	0.5 g	4' 11"	11.9	51.8
"	geschnittener Tabak	0.5 g	4' 8"	14.7	51.4
"	Weihrauch- stäbchen	0.5 g	4' 9"	19.2	51.9
W3	Kerosin	0.5 ccm	32"	26.2	52.0
"	Polyurethan	1.5 g	28"	22.1	34.1

Tab. 5.4 Versuchsergebnis des Ionisationsdetektors

Verbrennungs- weise	Verbrennungs- stoff	E'' m Lichtstr- eunungs- detektor	E''' m Ionisat- ions- detektor	E m DLD 960	E/E''	E' m DLD 660	E'/E''	E/E'
W1	Docht	3.41	27.8	2.25	0.66	4.98	1.46	0.45
"	Zigarette	2.48	55.6	1.89	0.76	4.27	1.72	0.44
"	Weihrauch- stäbchen	3.21	14.7	2.18	0.68	4.85	1.51	0.45
"	(Mittelwert)				(0.70)		(1.56)	(0.45)
W2	Docht	4.08	8.40	3.25	0.80	4.02	0.98	0.81
"	geschnittener Tabak	6.90	6.80	4.52	0.66	6.06	0.88	0.75
"	Weihrauch- stäbchen	6.06	5.21	4.59	0.76	5.78	0.95	0.79
"	(Mittelwert)				(0.74)		(0.94)	(0.78)
W3	Kerosin	1.37	3.82	2.78	2.03	3.40	2.48	0.82
"	Polyurethan	1.66	4.52	2.48	1.49	3.88	2.34	0.64
"	(Mittelwert)				(1.76)		(2.41)	(0.73)

Tab. 5.5 Vergleich der Empfindlichkeiten zwischen den verschiedenen Detektoren

Prof. Dr.-Ing. H. Fißan, Universität Duisburg

Dr.-Ing. C. Helsper, Universität Duisburg

"Zur Reaktion von Rauchdetektoren auf Brandkenngrößen"

1. Einleitung

Ein Brand ist physikalisch eine Zustandsänderung an einem vorher nicht bekannten Ort, die weder gewollt ist, noch sich selbst unter Kontrolle hält. Dabei finden Stoff- und Energieumwandlungen statt. Stoffe und Energie werden an die umgebende Luft abgegeben. Nur wenn die Zustandsänderung am Brandort auch eine Zustandsänderung am Melderort bewirkt, kann der Brand entdeckt werden. Dies ist am ehesten in geschlossenen Räumen gegeben.

Die sich ändernden Zustandsgrößen sind im wesentlichen die Temperatur, die Zusammensetzung der Gas- und Partikelphase der Luft, sowie das Strahlungsfeld.

Die Zustandsgrößen und daraus abgeleitete Größen, die physikalische Effekte beschreiben, nennt man Brandkenngrößen.

Prinzipiell sind Branddetektoren Meßfühler, deren Ausgangssignal sich stetig ändert, wenn eine oder mehrere Zustandsgrößen sich ändern. Erreicht das Ausgangssignal einen bestimmten Wert, so wird beim Brandmelder ein Alarm ausgelöst.

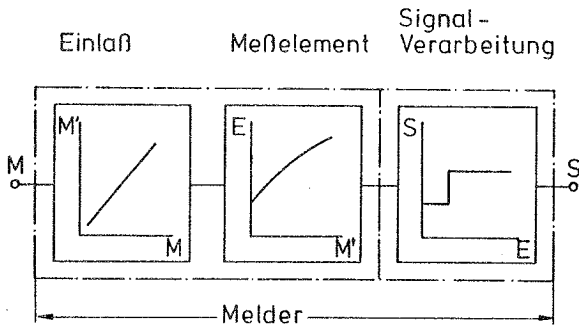
Der Vorgang der Brandentdeckung kann also unterteilt werden in den Vorgang der Zustandsänderung am Melderort und in die Reaktion des Melders auf die Zustandsänderung am Melderort. Nur der letztere Vorgang wird hier für Rauchdetektoren, die auf Änderungen der Partikelphase in der Luft am Melderort reagieren, diskutiert. Die Beschreibung der Reaktion von Rauchdetektoren auf Brandkenngrößen ist für folgende Problembereiche wichtig:

1. Auslegung von Rauchmeldern
2. Ursachenforschung für Fehlverhalten von Rauchmeldern.

2. Prinzipielle Funktionsweise von Rauchdetektoren

In einem Melder wird die Wirkung von Zustandsänderungen auf einen physikalischen Vorgang beobachtet.

Im Falle von Rauchdetektoren werden im wesentlichen der durch Partikel veränderte Strahlungstransport und Gasionentransport im elektrischen Feld herangezogen.



Gesamtkennlinie:

$$S = F(M)$$

Kennlinie der Komponenten:

$$M' = F_1(M)$$

$$E = F_2(M')$$

$$S = F_3(E)$$

Bild 1: Meßkette eines Rauchmelders

Praktisch alle Rauchdetektoren messen an einem Meßvolumen, das innerhalb eines Gehäuses liegt, wobei Verbindungen zwischen umgebender Luft und Meßvolumen in Form von Öffnungen im Gehäuse bestehen. Dabei ist es grundsätzlich möglich, daß die Zustände am Melderort und im Meßvolumen unterschiedlich sind. Gleichheit zwischen den Zuständen ist am ehesten bei den als Referenzverfahren eingesetzten Meßkammern, die über eine Zusatzeinrichtung das Aerosol in das Meßvolumen saugen, gegeben.

Ein Rauchmelder kann in die folgenden Elemente einer Meßkette unterteilt werden:

1. Einlaß
2. MeBelement
3. Signalverarbeitung

Die Gesamtkennlinie beschreibt den Zusammenhang zwischen Zustandsänderung am Melderort (M) und Ausgangssignal (S). Das Verhalten der Elemente der Meßkette kann ebenfalls über Kennlinien beschrieben werden. Die Signalverarbeitung, in der das analoge Signal des MeBelementes in ein Alarmsignal umgewandelt wird, wird hier nicht weiter behandelt. Der Schwerpunkt der Betrachtung liegt auf der Beschreibung der Kennlinien der MeBelemente.

3. Theoretische Modellierung von Rauchdetektoren

3.1 Optische Rauchdetektoren

In optischen Rauchdetektoren wird die Änderung der Extinktion oder häufiger der Streuung von Licht durch Partikel beobachtet.

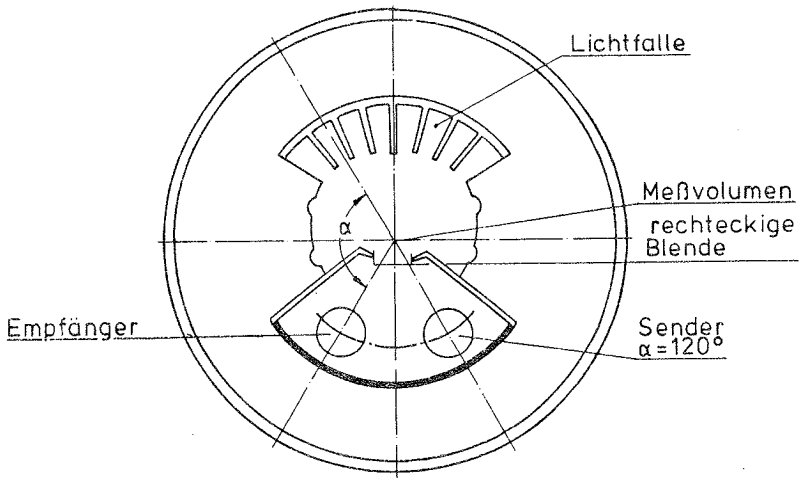


Bild 2: Aufbau eines Streulichtmelders

Eine Lichtquelle (Diode) strahlt in das Messvolumen. Das von den Partikeln in einen Winkelbereich um $\alpha = 120^\circ$ gestreute Licht wird von dem Empfänger (Diode) aufgenommen. Der eigentliche Streuvorgang des Lichts an den Partikeln kann mit Hilfe der Mie-Theorie /1/ für homogene kugelförmige Partikel bekannter Größe und mit bekanntem Brechungsindex beschrieben werden. Neuere Verfahren erlauben auch die Betrachtung nichtkugelförmiger Partikel und von Partikeln, die aus Stoffgemischen bestehen. Jedoch ist die Art der zulässigen Partikelformen und Gemische noch sehr begrenzt.

Der in Bild 2 skizzierte Melder wurde unter Berücksichtigung der spektralen Intensitätsverteilungen und Richtcharakteristiken der Sender- und Empfängerdiolen modelliert. Die relativen Intensitäten in Abhängigkeit von der Partikelgröße D_p sind in Bild 3 für drei verschiedene Brechungsindizes dargestellt.

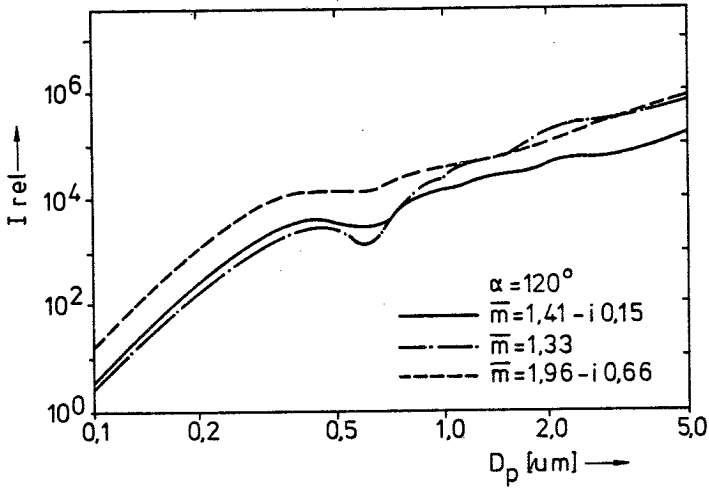


Bild 3: Relative Intensität des gestreuten Lichtes als Funktion des Partikeldurchmessers

Die gewählten Brechungsindizes erstrecken sich über den maximal zu erwartenden Bereich von Wasser mit $m = 1,33$ bis Ruß mit $m = 1,96 - i 0,66$.

Es zeigt sich eine gewisse Abhängigkeit der Intensität vom Brechungsindex, die maximal eine Zehnerpotenz beträgt. Die Intensität ändert sich aber um vier Zehnerpotenzen, wenn die Partikelgröße um eine Zehnerpotenz von $D_p = 1,0 \mu m$ auf $D_p = 0,1 \mu m$ abnimmt. Die relativen Intensitäten für andere Streulichtmelder mit anderen Wellenlängen und Winkelbereichen zeigen grundsätzlich ähnliche Abhängigkeiten. Da die stoffliche Zusammensetzung der Partikel keinen sehr großen Einfluß auf die gestreute Intensität für eine vorgegebene Melderkonfiguration hat, tragen die Partikel anderer Quellen zur Streuintensität bei und können Fehlalarme

hervorrufen. Lediglich, wenn die Partikel der Störquelle sehr klein im Vergleich zu den Partikeln von Bränden wären, würde ihr Beitrag zur Streuintensität vernachlässigbar klein sein. Dabei ist zu beachten, daß die Berechnungen für monodisperse, d.h. gleichgroße Partikel durchgeführt wurden.

Aerosole sind aber im Regelfall polydispers, was zu einer Nivellierung der Unterschiede für verschiedene Aerosole führt.

Aus dem theoretischen Modell geht hervor, daß zur Beschreibung der Reaktion optischer Rauchmelder Informationen über die Partikelgrößenverteilung sowie über den Brechungsindex der von Bränden emittierten Partikel vorliegen müssen. In einem Forschungsvorhaben der Deutschen Forschungsgemeinschaft entwickeln wir zur Zeit eine Methode, um den Brechungsindex von Partikeln aus Testfeuern im Schwebezustand zu bestimmen. Die Partikelgrößenverteilungen in Abhängigkeit von der Zeit wurden für verschiedene Testfeuer in einem Forschungsvorhaben gemeinsam mit der Fa. Cerberus AG, gemessen /2/. Die Ergebnisse werden in Kapitel 4 diskutiert.

3.2 Ionisationsdetektoren

Ionisationsdetektoren bestehen aus zwei Elektroden, zwischen denen durch Anlegen einer Spannung ein elektrisches Feld aufgebaut wird. Eine radioaktive Quelle im Innern des Melders ionisiert die Luftmoleküle. Die bipolaren Ionen werden im elektrischen Feld zu den Elektroden transportiert. Es fließt ein mit einem Elektrometer meßbarer Strom. Wenn Partikel in den Melder eindringen, werden Ionen von ihnen eingefangen. Die elektrische Mobilität der Partikel ist bedeutend geringer als die der Ionen, so daß der Strom reduziert wird.

Gleichung (1) stellt das Ergebnis einer Theorie dar, die von Hoesemann /3/ beschrieben wurde. Sie stellt den Zusammenhang zwischen einer aus der Stromreduzierung ΔI abgeleiteten Größe y und den Eigenschaften des Aerosols dar.

$$(1) \quad y = K \cdot C_N \int_0^{\infty} (D_p)^{\alpha} \cdot D_p \cdot dD_p$$

mit

$K \hat{=}$ Gerätekonstante

$C_N \hat{=}$ Partikelanzahlkonzentration

$D_p \hat{=}$ Partikeldurchmesser

$p(D_p) \hat{=}$ Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Partikelanzahlverteilung

y wird von $\Delta \mathcal{J}$ mit Hilfe folgender Beziehungen abgeleitet

$$(2) \quad y = x \frac{2 - x}{1 - x} ; \quad x = \frac{\Delta \mathcal{J}}{\mathcal{J}_0}$$

wobei \mathcal{J}_0 den Strom des Melders im partikelfreien Zustand darstellt.

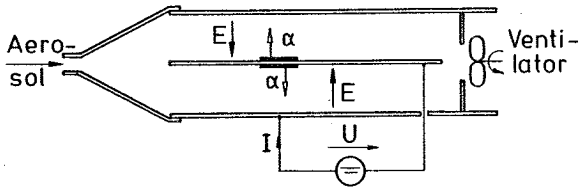
Diese Theorie berücksichtigt die möglichen Einflüsse der Partikelform, des Partikelmaterials und der Zusammensetzung der Gasphase nicht. Die Lösung des Integrals in Gleichung (1) ist der mittlere arithmetische Durchmesser der Partikel. Die Konstante K hängt ab von dem Grad der Ionisation, dem Rekombinationskoeffizienten der Ionen, der Geometrie der Kammer und der angelegten Spannung.

Kraus /4/ hat eine mögliche Abhängigkeit von K vom Partikeldurchmesser beschrieben. Zur Überprüfung der Gültigkeit von Gleichung (1), muß nachgewiesen werden, daß y mit zunehmender Partikelanzahlkonzentration für ein Aerosol mit konstanter Partikelgrößenverteilung linear ansteigt und daß

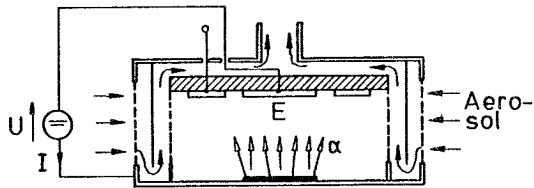
$$(3) \quad K = \frac{y}{c_N D_p} = \text{konstant ist.}$$

In ein Meßprogramm zur Überprüfung dieser Zusammenhänge wurden die in Bild 4 dargestellten Systeme einbezogen.

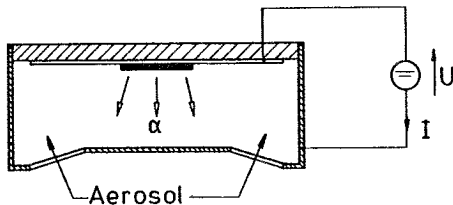
Es handelt sich im einzelnen um die Hosemann-Ionisationsmeßkammer /3/, die Cerberus-Ionisationsmeßkammer /5/, die beide selbstansaugend sind, und um einen modifizierten, nichtansaugenden Melder mit analogem Ausgangssignal.



Hosemann Ionisationsmeßkammer



Cerberus Ionisationsmeßkammer



Modifizierter Melder

Bild 4: Ionisationsmeßkammern

Die Erzeugung der möglichst monodispersen Aerosole, sowie die Bestimmung der Partikelgrößenverteilung sind im Detail in /6/ beschrieben.

Hier werden nur Ergebnisse dargestellt, die mit der Cerberus-Ionisationsmeßkammer gewonnen wurden. In Bild 5 ist die Größe Y in Abhängigkeit von der Partikelanzahlkonzentration für drei Aerosole, die sich in der Stoffart und in der Partikelgröße unterscheiden, aufgetragen. Der Zusammenhang ist linear, wie von der Theorie vorausgesagt.

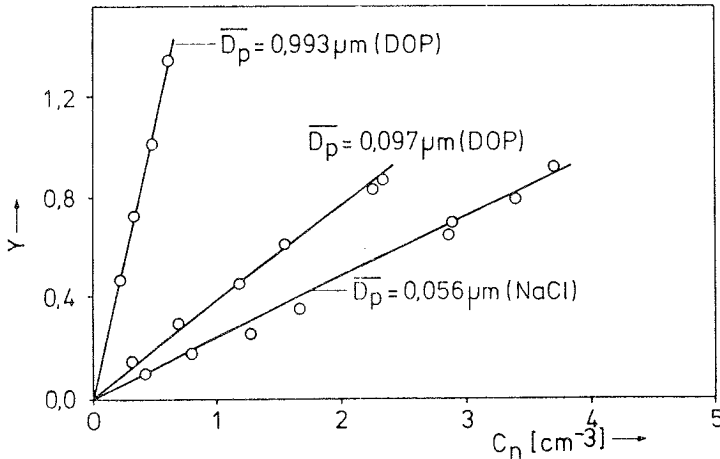


Bild 5: Reaktion der Cerberus-Ionisationsmeßkammer in Abhängigkeit von der Partikelanzahlkonzentration

In Bild 6 ist die Gerätekonstante K in Abhängigkeit vom mittleren arithmetischen Durchmesser für verschiedene Testaerosole aufgetragen. Die Größenverteilungen für Partikel mit $D_p > 0,4 \mu\text{m}$ wurde mit einem optischen Partikelzähler, für Partikel mit $D_p < 0,4 \mu\text{m}$ mit einem elektrischen Aerosolanalysator bestimmt. Im unteren Größenbereich kann ein leichter Anstieg von K in Abhängigkeit von D_p beobachtet werden. Die Werte im Meßbereich des Optischen Partikelzählers streuen stark. Die zu beobachtende Streuung der Daten kann einmal durch die begrenzte Genauigkeit in der Bestimmung der Größenverteilung, und zum anderen durch Instabilitäten des Testaerosols verursacht werden. Es kann daher gesagt werden, daß K im Rahmen der erzielbaren Genauigkeit im gesamten erfaßten Durchmesserbereich konstant ist. Der Mittelwert aller Werte ist $K = 0,035 \text{ cm}^{-2}$.

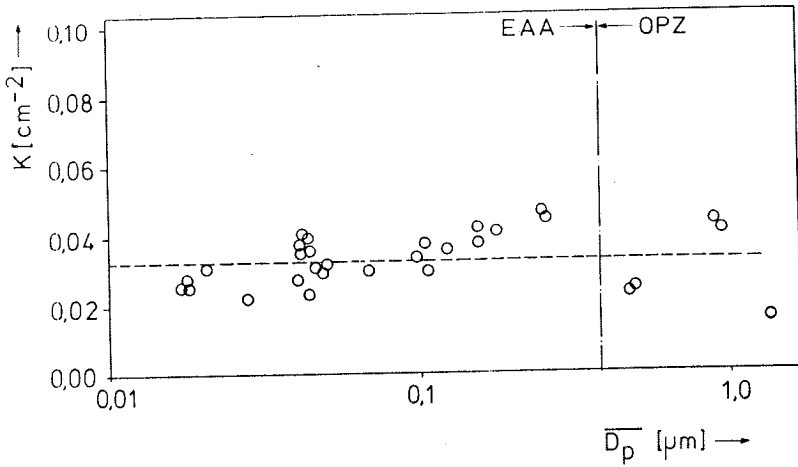


Bild 6: Gerätekonstante K in Abhängigkeit vom mittleren arithmetischen Partikeldurchmesser

4. Partikelanzahlverteilungen von Testfeuern

Beide Meldertypen setzen zur Beschreibung ihrer Reaktion zumindest die Kenntnis der Partikelanzahlverteilung voraus. Um eine erste Information über die Partikelgrößenverteilungen am Meldort für entstehende Brände zu erhalten, wurden die Partikelgrößenverteilungen von Testfeuern, die zur Überprüfung von Rauchmeldern /7/ entwickelt wurden, in Abhängigkeit von der Zeit bestimmt.

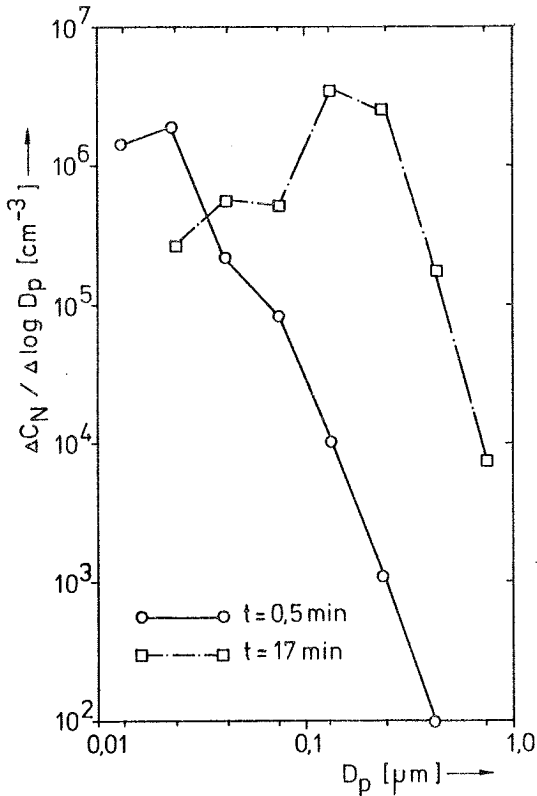


Bild 7: Partikelgrößenverteilungen eines offenen Holzfeuers

Die ausgeführten Testfeuer, sowie die Aerosolprobenahme und -meßtechnik sind im Detail in (2) beschrieben. Um die Dynamik eines Testfeueraerosols zu demonstrieren, sind in Bild 7 die mit dem Elektrischen Aerosolanalysator (EAA) bestimmten Partikelgrößenverteilungen für ein offenes Holzfeuer zu verschiedenen Zeitpunkten dargestellt.

Während zu Beginn das Maximum der Verteilung bei kleinen Partikeln ($D_p \sim 0.01 \mu\text{m}$) liegt, verschiebt es sich zum Ende des Brandes zu größeren Partikeln ($D_p \sim 0.2 \mu\text{m}$).

In Bild 8 sind aus der Reihe der gemessenen Größenverteilungen zwei Beispiele graphisch dargestellt, wobei auch die Meßwerte des Optischen Partikelzählers (OPZ) mit dargestellt wurden. Die Beispiele wurden so gewählt, daß sie die beiden extremen Fälle bezüglich der Partikelgrößenverteilung darstellen. Alle anderen Verteilungen liegen zwischen diesen beiden. Die durchgezogenen Linien verbinden die EAA-Meßwerte, die gestrichelten Linien die Meßwerte des OPZ.

Die unterschiedliche Lage der OPZ- und EAA-Meßwerte zueinander ist auf unterschiedliche optische Eigenschaften der beiden Aerosole zurückzuführen. Die vom OPZ erfaßte Partikelanzahlkonzentration beträgt maximal etwa 1 % der Gesamtkonzentration. Für die Diskussion der Partikelanzahlverteilung ist deshalb eine Betrachtung der EAA-Meßwerte völlig ausreichend. Die Meßwerte des EAA wurden für die weitere Auswertung durch die Überlagerung von zwei Log-Normalverteilungen /2/ angepaßt, wobei, soweit möglich, eine Korrektur des nichtidealen Übertragungsverhaltens des Gerätes vorgenommen wurde /8/. Damit sind die Verteilungen repräsentierbar durch zwei Mediandurchmesser, zwei geometrische Standardabweichungen und das Verhältnis der Partikelanzahlkonzentration in den beiden Verteilungen.

Im Vergleich der einzelnen Feuer erkennt man, daß die Mediandurchmesser sowie die geometrischen Standardabweichungen nur wenig von Brandart und Probenahmezeitpunkt abhängen. Die Gesamtanzahlkonzentration, sowie die beiden Fraktionen der überlagerten Verteilungen zeigen eine starke Zeitabhängigkeit. Im Hinblick auf die Wirkung von Störaerosolen muß leider festgestellt werden, daß sowohl für die Größenverteilung, wie auch für den zeitlichen Ver-

lauf ähnliche Ergebnisse für Aerosole aus allen denkbaren Störquellen zu erwarten sind, und damit eine Trennung der Aerosole aus Bränden und Störquellen aufgrund unterschiedlicher Partikelgröße unmöglich erscheint.

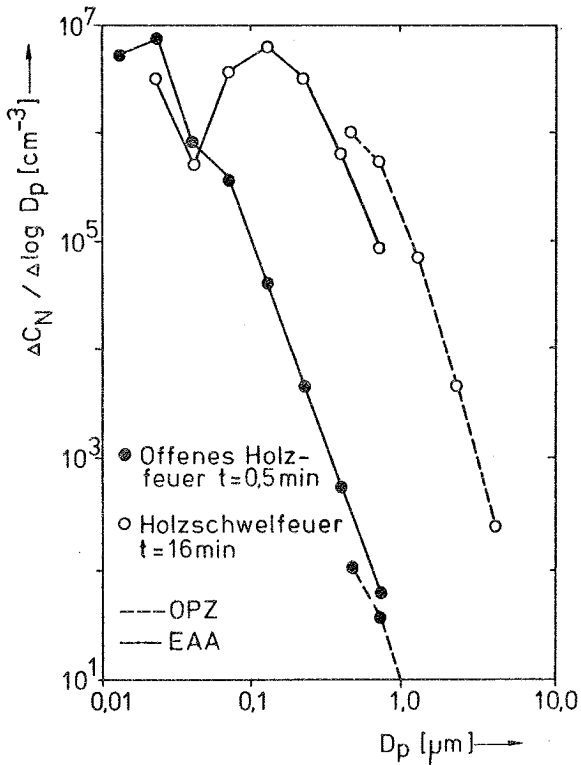


Bild 8: Beispiele für Partikelgrößenverteilungen von zwei Testfeuern

Die Reaktion der selbstansaugenden Cerberus-Ionisationsmeßkammer kann, wie auch schon für Testaerosole demonstriert, als linear ansteigend mit der Partikelanzahlkonzentration beschrieben werden. Auch die Gerätekonstante K wurde für die einzelnen Testfeuer in erster Näherung als konstant nachgewiesen.

Aerosolart	K [cm ⁻²]	Bemerkungen
NaCl und DOP	0,035	Zerstäuberaerosol
Holzschwelfeuer	0,033	Testfeuer ohne
Luntenglimmfeuer	0,033	Flamme
offenes Holzfeuer	0,025	Testfeuer mit
Polyurethan-Feuer	0,026	Flamme
Heptan-Feuer	0,022	

Bild 9: Experimentell bestimmte Gerätekonstante für verschiedene Aerosole

Für Schwelfeuer ist der Wert von K praktisch identisch mit dem für Testaerosole ermittelten Wert. Für offene Feuer ergab sich ein kleinerer Wert, was möglicherweise auf den Einfluß der in der Theorie nicht berücksichtigten Gasphase zurückzuführen ist.

5. Zur Beschreibung der Gesamtreaktion von Rauchdetektoren

Bei den bisherigen Überlegungen zur Reaktion von Rauchdetektoren wurde angenommen, daß Gleichheit zwischen dem Aerosol am Melderort und im Detektor besteht. Dies ist bei den selbstansaugenden Referenzmeßkammern gegeben. Eigentliche Melder sind aber nicht selbstansaugend.

Vergleichsmessungen im Rauchkanal zwischen einer selbstansaugenden Referenzkammer und einem modifizierten Melder mit analogem Ausgangssignal haben klar eine Abhängigkeit der Reaktion des nichtansaugenden Melders von der Anströmgeschwindigkeit gezeigt. Dies kann zum einen auf eine dadurch hervorgerufene Änderung des Strömungsfeldes im Innern des Melders und auf eine damit verbundene Änderung der dort stattfindenden physikalischen Wechselwirkungen zurückzuführen sein.

Zum anderen werden die Probenahmebedingungen für das Aerosol geändert, was sich auf die Größenverteilung und auf die Menge des in den Melder gelangenden Aerosols auswirken kann. Es ist zu vermuten, daß die Abhängigkeit der Reaktion von Meldern von der Anströmgeschwindigkeit von der Geometrie des Melders abhängig ist.

Diese Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit hat folgende Nachteile:

1. Die Beschreibung der Reaktion des Melders wird komplexer, weil das Eindringverhalten des Aerosols mitberücksichtigt werden muß.
2. Die Vergleichbarkeit der Reaktion unterschiedlicher Melder wird geringer. Damit wird auch ihre Überprüfbarkeit erschwert.
3. Die Wahrscheinlichkeit für ein Fehlverhalten wird erhöht.

6. Zusammenfassung

Zur Auslegung von Rauchmeldern und zur Ursachenforschung für Fehlverhalten wurde eine theoretische Modellierung der bisher üblichen Streulicht- bzw. Ionisationsmelder durchgeführt. Zur Diskussion der Reaktion auf Brände werden Informationen über Partikelgrößenverteilungen und optische Eigenschaften von Partikeln benötigt. Die vorhandenen Informationen über die Partikelgrößenverteilung von Testfeuern werden vorgestellt. Informationen über optische Eigenschaften von Partikeln aus Testfeuern werden zur Zeit in einem Forschungsvorhaben gewonnen. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß das Unterscheidungsvermögen von Rauchmeldern auf Grund unterschiedlicher Zusammensetzung von Partikeln aus Bränden und Störquellen gering ist. Das Unterscheidungsvermögen im Hinblick auf die Partikelgröße ist theoretisch größer. Da aber alle Testfeuer, wie auch Störquellen breite, mit der Zeit sich ändernde Verteilungen zeigen, ist eine Erhöhung des Unterscheidungsvermögens durch Einschränkung des erfaßten Partikelgrößenbereiches nur in Spezialfällen möglich.

Der Vergleich der Reaktion nichtansaugender mit der ansaugender Melder hat eine starke Abhängigkeit der Reaktion nichtansaugender Melder von der Anströmgeschwindigkeit ergeben, so daß für den üblichen nichtansaugenden Melder auch noch das Eindringen der Partikel in den Melder modelliert werden muß. Diese Abhängigkeit kann Ursache für Fehlverhalten von Meldern sein.

Zur Reduzierung des Fehlverhaltens von Rauchmeldern werden daher folgende Entwicklungsrichtungen vorgeschlagen:

- a) Entwicklung von Rauchmeldern, die von den Anströmbedingungen unabhängig sind.
- b) Da die bisherigen Rauchmelder Unterschiede in der Partikelphase verursacht durch Brände oder durch Störquellen nicht unterscheiden können und dies auch für andere von Partikeln abhängige Effekte gilt, sollten Kombinationen von Rauchmeldern mit Meldern, die auf andere Zustandsänderungen reagieren, entwickelt werden. Durch Vergleich der Reaktion der Kombination mit Reaktionsmustern für Brände kann die Sicherheit der Brandentdeckung erhöht werden.

LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Mie, G.
"Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen"
Ann. Phys. Bd. 25, IV. Folge, Nr. 3, 1908
- /2/ Helsper, C., FiBan, H.J., Muggli, J., Scheidweiler, A.
"Particle Number Distributions of Aerosols from Test Fires"
J. Aerosol Sci., Vol. 11, 1970, pp. 439-446
- /3/ Hosemann, J.P.
"Über Verfahren zur Bestimmung der Korngrößenverteilung hochkonzentrierter Polydispersionen von dielektrischen Mie-Partikeln"
Dissertation, Aachen 1970
- /4/ Kraus, F.J.
"Verfahren zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilung polydisperser Aerosole"
Dissertation, Duisburg, 1976
- /5/ Scheidweiler, A.
"The Ionization Chamber as Smoke-Dependent Resistance"
Fire Technology, 1976, pp. 113-123
- /6/ Helsper, C., FiBan, H.J., Muggli, J., Scheidweiler, A.
"Verification of Ionization Chamber Theory"
eingereicht bei Fire Technology
- /7/ CEA
"Prüfmethoden für punktförmige Rauchmelder"
Groupe de Travail Incendie du Comité Européen des Assurances, Secretariat Technique, Aachen 1976
- /8/ FiBan, H.J., Helsper, C.
"Numerical Simulation Studies and Data Reduction for Size Classifying Measurement Techniques"
Proceedings: Advances in Particle Sampling and Measurement (Daytona Beach, Fl., Oct. 1979)
EPA - 600/9-80-004, Jan. 1980

Dr.-Ing. G. Meyer
F. Merk Telefonbau GmbH, München, BRD

Ein mathematisches Modell für Ionisations-Rauchmelder

1. Einleitung

Zur Beurteilung von Ionisations-Rauchmeldern, z.B. um verschiedene Entwicklungskonzepte zu vergleichen, bedient man sich üblicherweise umfangreicher Experimente, die häufig in Brandkammern durchgeführt werden. Trotz ihrer Komplexität sind solche Versuche aber nicht immer sehr aussagekräftig. Wünschenswert wäre ein einfacher formaler Zusammenhang zwischen den charakteristischen Kammerkenngößen und dem elektrischen Ausgangssignal. Mit diesem Formalismus könnte dann in einfacher Weise die Funktion einer bestimmten Anordnung theoretisch analysiert werden und weniger experimentelle Untersuchungen müßten durchgeführt werden. Deshalb wird nachfolgend ein angenäherter Zusammenhang abgeleitet, experimentell und theoretisch überprüft und es werden einige wichtige Kriterien zur Kammerbeurteilung mitgeteilt, die sich als Folge des Modells ergeben.

2. Konstruktive Ausführung des zugrundegelegten I-Melders

Der Aufbau von Ionisations-Rauchmeldern besteht zumeist aus zwei Kammern, der Referenz- und der Meßkammer sowie aus der nachfolgenden elektronischen Auswertung. Als Strahlenquellen für die beiden Kammern sind räumlich sehr kleine α -Präparate z.B. Americium 241 oder Radium 226, mit geeigneten strahlenschutzbedingten Abdeckschichten im Einsatz. Die übliche Auswerteschaltung besteht aus den als Spannungsteiler geschalteten Kammern, einem Impedanzumformer und einer speichern-

den Schwellertschaltung. Problematisch ist hierbei die Einstellung des Arbeitspunktes und des Schwellwertes, die beide von den geometrischen und strahlungstechnischen Eigenschaften der Kammern beeinflußt werden (Bild 1).

Zur Beurteilung eines derartigen Melders ist die Kenntnis des Arbeitspunktes P und damit die Kenntnis der Differenz $U_x - U_s$ wichtig. Der Arbeitspunkt kann praktisch nur aus den I-U-Kennlinien der Kammern ermittelt werden, wie Bild 2 zeigt.

Eine Modellbildung muß somit als wesentliches Ziel die analytische Darstellung der I-U-Kennlinie in Abhängigkeit von den geometrischen und strahlungstechnischen Parametern zum Ziel haben. Für die häufig gebräuchliche zylindrische Kondensatoranordnung wird nachfolgend ein derartiger analytischer Zusammenhang abgeleitet. Hierzu ist zunächst die Generationsrate für Ionenpaare zu ermitteln.

3. Modell der Strahlenquelle

Für die folgende Betrachtung wird eine kleine, dünne Strahlenquelle vorausgesetzt. "Klein" bedeutet hierbei, daß die Abmessungen der Strahlenquelle wesentlich geringer als die der Kammer sind und sich die Überlegungen somit auf einen punktförmigen Strahler beschränken können. Mit "dünn" ist gemeint, daß die Strahlerdicke so gering ist, daß keine Selbstabsorption im Strahlermaterial auftritt. Die Quelle selbst strahle nur Teilchen einer einzigen Energie E_0 ab, wie dies z.B. bei Am 241 näherungsweise der Fall ist. Die heute verwendeten Strahler sind üblicherweise mit einer absorbierenden Schutzschicht der Dicke d abgedeckt (z.B. Au-Pd), so daß sich der in Bild 3 dargestellte Aufbau ergibt. Die Trägerschicht sei so dick, daß jedes α -Teilchen in ihr vollständig abgebremst werde /1/.

Würden die α -Teilchen unmittelbar in Luft austreten, so hätten sie entsprechend ihrer Energie von ca. 5,48 MeV die Reichweite

$R_R \text{ max} = 34$ mm. Durch die Foliendicke wird dieser Wert auf die Restreichweite $R_R = R_R \text{ max} - l_f'$ verringert. l_f' ist hierbei die auf Luft umgerechnete Weglänge, die das α -Teilchen in der Folie zurücklegt. Die Umrechnung ergibt sich aus

$$l_f' = l_f R_{r \text{ max}} S_f / (0,9 + 0,0275 Z + (0,06 - 0,0086 Z) \lg E/M) \quad (1)$$

S_f ... Dichte des Folienmaterials in mg/cm^3 ;

Z ... Ordnungszahl des Folienmaterials;

E_0 ... Anfangsenergie des α -Teilchens in MeV;

M ... Massenzahl des gebremsten Teilchens (=4 für α -Teilchen).

Zur Ermittlung der Anzahl von Ionenpaaren die ein α -Teilchen in Luft erzeugt, muß die spezifische Ionisation $s(r)$ des Teilchens, also die pro Wegeinheit erzeugte Anzahl von Ionenpaaren betrachtet werden. Der Zusammenhang zwischen $s(r)$ und der Ortskoordinate r ist durch die "Bragg'sche Beziehung" gegeben, die in Bild 4 dargestellt ist. Die Betrachtung der spez. Ionisation eines bei $r < r_R$ startenden α -Teilchens erstreckt sich auf den Bereich r bis r_R , darüber hinaus ist sie null. Für kleine r , also für lange Flugbahnen ist festzustellen, daß $s(r)$ zunächst mit kleinen Werten beginnt, und erst zum Ende der Flugbahn, also für $r \approx r_g$ einem Maximalwert zustrebt, um dann bei r_R wieder auf Null zu sinken. Zur Modellbildung der "Bragg'schen Beziehung" werden zwei Bereiche unterschieden, womit sich die beiden folgenden Näherungen ergeben:

$$s(r) = \begin{cases} (s_g - s_0) e^{-\frac{r_g - r}{r_e}} + s_0 & 0 < r < r_g ; \\ s_g \left(1 - \left(\frac{r - r_g}{r_R - r_g}\right)^2\right) & r_R \geq r \geq r_g ; \end{cases} \quad (2)$$

In dieser Gleichung, die für $r_R < 50$ mm brauchbar ist, sind:

$$\begin{aligned} r_R - r_g &= 4,5 \text{ mm}; \\ s_g &= 6600 \text{ mm}^{-1}; \\ s_0 &= 2000 \text{ mm}^{-1}; \\ r_e &= 15 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Die Anzahl der von einem α -Teilchen erzeugten Ionenpaare ergibt sich zu

$$n = \int_{R-r}^{R} s(r) \, dr \quad (3)$$

Ein Präparat mit der Aktivität $H = 1 \mu\text{Ci}$ emittiert kugelförmig $3.7 \cdot 10^4$ α -Teilchen pro Sekunde, womit sich die Anzahl der in einem zylindrischen Volumen pro Zeiteinheit erzeugten Ionenpaare zu N ergibt (Bild 5).

$$N = \int_{r=0}^{r^*} \int_{\varphi=0}^{\pi/2} H s(r) \cos \varphi \, d\varphi \, dr \quad \text{mit} \quad r^* = \begin{cases} R/\cos \varphi & \varphi < \arctan \frac{h}{R} \\ h/\sin \varphi & \varphi \geq \arctan \frac{h}{R} \end{cases} \quad (4)$$

Bild 6 zeigt die Anzahl N für ein Präparat mit der Aktivität $H = 0,4 \mu\text{Ci}$ in Abhängigkeit von der Zylinderhöhe h und mit R als Parameter. Es ist zu erkennen, daß Zylinderdurchmesser von mehr als 22 mm und Zylinderhöhen von mehr als ca 20 mm keinen Zuwachs an Ionenpaaren mehr ergeben.

Als mittlere Generationsrate S wird die pro Volumen- und Zeiteinheit erzeugte Anzahl von Ionenpaaren bezeichnet. Sie ergibt sich aus dem Quotienten N/V , wobei V das Zylindervolumen ist, und berücksichtigt auf Grund der Mittelwertbildung nicht die Ortsabhängigkeit der Generationsrate. Bild 7 zeigt $S=f(h)$ mit dem Parameter R bei einer Aktivität von $0,4 \mu\text{Ci}$. Um eine möglichst große Unabhängigkeit der Generationsrate von den Kammerabmessungen zu erzielen, empfiehlt es sich also, Zylinderdurchmesser und -höhe mit etwa jeweils 20 mm vorzusehen.

Mit der Kenntnis von S ist nun die Modellbildung der I-U-Kennlinie möglich.

4. Ableitung der Strom-Spannungs-Kennlinie einer idealen Ionisationskammer

Für die folgenden Überlegungen wird der Raum zwischen zwei beliebigen Elektroden betrachtet, von dem vorausgesetzt ist, daß

eine ideale Strahlenquelle mit der konstanten Generationsrate S in jedem Raumelement pro Zeiteinheit die gleiche Anzahl von Ionenpaaren erzeugt. Von diesem Raumelement werden jedoch auch Ladungsträger abgezogen, nämlich durch das elektrische Feld an diesem Ort die Anzahl

$\text{grad}(E p \mu_p)$ positiver Ionen pro Zeiteinheit und

$\text{grad}(E n \mu_n)$ negativer Ionen pro Zeiteinheit

sowie durch Rekombination die Anzahl

$\alpha n p$.

Weiterhin werden von den Rauchteilchen der Dichte z

$\beta z p$ positive und

$\beta z n$ negative Ionen gebunden.

Hierbei ist:

E die ortsabhängige elektrische Feldstärke;

p die Dichte positiver Ionen;

n die Dichte negativer Ionen;

z die Dichte der Rauchteilchen;

μ_p die Beweglichkeit pos. Ionen ($=1,4 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ f. Luft);

μ_n die Beweglichkeit neg. Ionen ($=1,9 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ f. Luft);

α der Rekombinationskoeffizient ($=1,6 \times 10^{-12} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ f. Luft);

β die Anlagerungskonstante $/3/$.

Für β gilt $\beta = c_B r_z$, wobei r_z der Rauchpartikelradius und $c_B = 0,307 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ die sog. Bricard-Konstante ist.

Es gelten also die beiden Gleichungen:

$$\text{grad}(E p \mu_p) = S - \alpha n p - \beta z p \quad (5)$$

$$- \text{grad}(E n \mu_n) = S - \alpha n p - \beta z n \quad (6)$$

Für die Feldstärke E gilt die Poissonsche Beziehung

$$\text{grad } E = (p - n)e/\epsilon_0 \quad (7)$$

und die Kammerspannung U ergibt sich aus

$$E = \text{grad } U. \quad (8)$$

Mit diesen vier Gleichungen ist die I-Ü-Kennlinie vollständig beschrieben, denn die Stromdichte j an jeder Stelle des Raumes

ergibt sich aus

$$j = Ee (n\mu_n + p\mu_p). \quad (9)$$

Als Randbedingung kann angesetzt werden, daß die Anzahl p positiver (n , negativer) Ladungsträger an der positiven (negativen) Elektrode null ist.

Für den Sonderfall eines ebenen Plattenkondensators mit dem Plattenabstand h und der Plattenfläche A (Bild 8) ergeben sich folgende Gleichungen:

$$\frac{dE}{dx} \mu_p p + \frac{d\rho}{dx} \mu_p E = S - \alpha n p - \beta z p; \quad (10)$$

$$-\frac{dE}{dx} \mu_n n - \frac{dn}{dx} \mu_n E = S - \alpha n p - \beta z n; \quad (11)$$

$$\frac{dE}{dx} = \frac{e}{\epsilon_0} (\rho - n); \quad U = \int_{x_p}^{x_n} E dx; \quad (12, 13)$$

Da an der Stelle x_n (negative Elektrode) $n = 0$ ist, gilt für den Strom:

$$I = E(x_n) p(x_n) \mu_p e A \quad (14)$$

Für dieses System nichtlinearer Differentialgleichungen ist keine analytische Lösung bekannt, so daß es numerisch integriert werden muß. Bild 8 zeigt die Ergebnisse für p , n und E bei zwei verschiedenen Kammerströmen I . Bemerkenswert ist der Verlauf von E , der durch die Bildung von Raumladungszonen verursacht wird. Es ist für eine exakte Lösung unzulässig, wie beim ebenen Plattenkondensator die Feldstärke $E = U/h$ zu setzen, weil dies lediglich der Mittelwert der Feldstärke wäre.

5. Näherungen für die I-U-Kennlinie

Die bisher berechneten Kurven stellen exakte Lösungen des Gleichungssystems (5 - 8) dar. Für viele praktische Anwendungen ist dessen Lösung jedoch zu zeitaufwendig, weshalb nachfolgend Vereinfachungen vorgeschlagen werden, um eine übersichtliche und handhabbare Form zu erhalten.

Eine Näherungslösung kann zunächst dadurch gefunden werden, daß

eine analytische Lösung für p und n an einer bestimmten Stelle in der Kammer gesucht wird, wobei wiederum ebene, parallele Elektrodenflächen und eine konstante Generationsrate S vorausgesetzt werden. Dies gelingt an der Stelle x_e , für die gilt, $p(x_e) = n(x_e)$, weil hier die Beziehung (7) vernachlässigbar ist. Für E wird die mittlere Feldstärke U/h eingesetzt. Aus (5) und (6) ergibt sich für diese Stelle $x_e = h\mu_p / (\mu_p + \mu_n)$

$$p(x_e) = \sqrt{S/\alpha} \frac{\exp(2\alpha x_e \sqrt{S/\alpha} / E \mu_p) - 1}{\exp(2\alpha x_e \sqrt{S/\alpha} / E \mu_p) + 1} \quad (15)$$

$$n(x_e) = \sqrt{S/\alpha} \frac{\exp(2\alpha(h-x_e) \sqrt{S/\alpha} / E \mu_n) - 1}{\exp(2\alpha(h-x_e) \sqrt{S/\alpha} / E \mu_n) + 1} \quad (16)$$

womit sich der Strom zu

$$I = eAE(\mu_n n(x_e) + \mu_p p(x_e)) \quad (17)$$

ergibt. Durch Einsetzen und Umformung erhält man:

$$I = eAU(\mu_p + \mu_n) \sqrt{S/\alpha} \frac{1}{h} \tanh \frac{\sqrt{S/\alpha} h^2}{U(\mu_p + \mu_n)} \quad (18)$$

Die Lösung dieser Gleichung zeigt Bild 11, wobei zum Vergleich die exakte Lösung ebenfalls dargestellt ist. Wie ersichtlich wird, erfolgt der Anstieg etwas zu rasch, was als Folge des durch Raumladungszonen hervorgerufenen inhomogenen Feldverlaufes der exakten Lösung erklärt werden kann. Die Gleichung (18) kann durch zwei Geradenstücke angenähert werden. Im Ursprung, also bei kleinen Spannungen ergibt sich die Beziehung

$$\lim_{U \rightarrow 0} I = eAU(\mu_p + \mu_n) \sqrt{S/\alpha} / h \quad (19)$$

und somit ein linearer Zusammenhang zwischen I und U. Diese Näherung entspricht dem sog. ohmschen Bereich.

Für große Kammer Spannungen wird I gleich dem Sättigungsstrom I_S

$$\lim_{U \rightarrow \infty} I = eAhS = I_S \quad (20)$$

Der Sättigungsstrom ist also unabhängig von Ionenrekombination und Ionenbeweglichkeit und wird nur durch das ionisierte Volumen und durch die spez. Ionisation bestimmt.

Der Schnittpunkt der beiden Geradenstücke kennzeichnet die im weiteren mit Knickspannung benannte Spannung. Sie ergibt sich

zu

$$\lim_{u \rightarrow 0} \bar{I} = \lim_{u \rightarrow \infty} I \quad \} \quad u_k = h^2 \sqrt{S\alpha} / (\mu_p + \mu_n) \quad (21)$$

Berücksichtigt man noch Rauchpartikel der Dichte z , so wird der Strom

$$I = eAU \frac{\mu_p + \mu_n}{h} \left\{ \frac{4\alpha S + \beta^2 z^2}{2\alpha} \tanh\left(\frac{wh^2}{2(\mu_p + \mu_n)u}\right) + A \operatorname{Arctanh}\left(\frac{\beta z}{w}\right) - \frac{\beta z}{2\alpha} \right\} \quad (22)$$

mit $w = \sqrt{4\alpha S + \beta^2 z^2}$;

Eine Darstellung dieser Funktion im Vergleich mit der exakten Lösung zeigt Bild 11. - Die mangelnde Übereinstimmung der exakten mit der genäherten Lösung ist für praktische Belange nicht sehr hinderlich, da durch eine Reihe von realen Bedingungen, wie z.B. inhomogene Generationsrate, vernachlässigtes Randfeld und stark toleranzbehaftete α -Teilchenausbeute, der idealisierte "exakte" Verlauf nach Bild 12 auch nur näherungsweise erreicht wird. Trotzdem stellen die Näherungen brauchbare und einfach handhabbare Modelle dar, die für eine rasche Beurteilung von I-Kammern gut geeignet sind.

6. Optimierung der Kammerempfindlichkeit

Für die Festlegung eines geeigneten Kammerarbeitspunktes sollte die Empfindlichkeit bezüglich der Rauchkonzentration möglichst groß sein, d.h., die Funktion

$$\Delta I(z, U) = I(z=0, U) - I(z, U) \quad (23)$$

muß ein Maximum aufweisen. Bild 12 zeigt die Kammerempfindlichkeit für die maximale Empfindlichkeit bei verschiedenen Rauchkonzentrationen. Wie ersichtlich, liegt der optimale Arbeitspunkt bei geringen Konzentrationen etwa bei 10 % unterhalb der Knickspannung bzw. bei etwa 73 % des Sättigungsstromes.

Der Einfluß des Rekombinationskoeffizienten α auf die Kammerempfindlichkeit ist in Bild 13 dargestellt. Für eine große Empfindlichkeit ist anzustreben, den Rekombinationskoeffizienten möglichst klein zu halten. Da er jedoch durch thermodynamische

Zustandsgrößen der Luft und durch die Ionengröße bedingt ist, kann er praktisch nicht direkt beeinflusst werden, sondern lediglich der Rekombinationsterm $\alpha n p$ ist beeinflussbar. Wenn nämlich nur eine einzige Art von Ladungsträgern den Stromtransport bewirkt, ist praktisch keine Rekombination möglich. Dieses Prinzip wird in den sog. Kammern mit unipolarer Zone angewendet /4/. Sie wirken so, daß in der Kammer eine Zone mit der üblichen Generationsrate S (Zone I) und eine Zone ohne Generationsrate, also ohne Ionenpaarerzeugung (Zone II) vorhanden ist. Durch das anliegende elektrische Feld werden in Zone II nur positive Ionen vorhanden sein, die dort keine negativen Rekombinationszentren vorfinden. (Bild 14)

Bezogen auf das gesamte Kammervolumen ist damit die Rekombination geringer als in einer vergleichbaren bipolaren Kammer. Durch die Einführung der unipolaren Zone ist somit eine Erhöhung der Empfindlichkeit möglich /3/. Hierbei sollte jedoch nicht vergessen werden, daß jede Kammer mit punktförmigem Strahler eine unipolare Zone enthält, weil, wie aus Bild 6 ersichtlich, unterhalb eines Grenzwinkels ($\psi \approx 20^\circ$) keine α -Teilchen mehr die Schutzschicht verlassen.

7. Reproduzierbarkeit und Einflußgrößen

Die vorstehenden Betrachtungen sind nützlich, wenn Änderungen von Kammerparametern und Einflußgrößen quantitativ betrachtet werden sollen. Insbesondere interessiert die Frage, wie genau eine I-U-Kennlinie reproduzierbar ist, wenn die Generationsrate und die Kammerabmessungen mit Toleranzen behaftet sind. Weiterhin interessieren Auswirkungen von Druck-, Feuchte- und Temperaturänderungen. Die folgenden Überlegungen sollen diese Fragen beantworten. Dabei ist immer der Fall des ebenen Plattenkondensators mit konstanter Generationsrate vorausgesetzt.

7.1 Kammerparameter

Der Sättigungsstrom I_s ist nach (20) von der Generationsrate und den Kammerabmessungen linear abhängig. Somit ergibt sich für die relative Sättigungsstromänderung

$$\left| \frac{\Delta I_s}{I_s} \right| = \left| \frac{\Delta h}{h} \right| + \left| \frac{\Delta A}{A} \right| + \left| \frac{\Delta S}{S} \right| \quad (24)$$

Für übliche Fertigungstoleranzen kann $\Delta h/h$ und $\Delta A/A$ mit etwa je 2 % und $\Delta S/S$ mit ca 10 % angesetzt werden, d.h., die Reproduzierbarkeit des Sättigungsstromes wird primär von der Ionenausbeute der Strahlenquelle abhängen und mit den genannten Werten maximal 14 % Fehler aufweisen. Setzt man, wie in 6. begründet, voraus, daß sich der optimale Arbeitspunkt am Ende des ohmschen Bereiches befindet, dann gilt mit (19)

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta S}{2S} - \frac{\Delta h}{h} - \frac{\Delta \alpha}{2\alpha} + \frac{\Delta(\mu_p + \mu_n)}{\mu_p + \mu_n} \quad (25)$$

Stromänderungen im ohmschen Bereich sind also zusätzlich noch von der Kammeranspannung, dem Rekombinationskoeffizienten und den Ionenbeweglichkeiten abhängig. Vernachlässigt man zunächst diese Einflüsse, dann ergibt sich für die Abhängigkeit von den Kammerparametern im ungünstigsten Fall

$$\left| \frac{\Delta I}{I} \right| = \left| \frac{\Delta A}{A} \right| + \left| \frac{\Delta h}{h} \right| + \left| \frac{\Delta S}{2S} \right| \quad (26)$$

Mit den vorher angegebenen Werten ist somit nur noch maximal mit 9 % Schwankungsbreite der Reproduzierbarkeit zu rechnen. Es empfiehlt sich also nicht nur wegen der Empfindlichkeit, sondern auch wegen der Reproduzierbarkeit den Arbeitspunkt in den ohmschen Bereich zu legen.

Interessant ist noch die Änderung der Knickspannung, die sich nach (21) zu

$$\frac{\Delta U_k}{U_k} = 2 \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta S}{2S} + \frac{\Delta \alpha}{2\alpha} - \frac{\Delta(\mu_p + \mu_n)}{\mu_p + \mu_n} \quad (27)$$

ergibt. Bemerkenswert ist hierbei, daß die Knickspannung unabhängig von der Kammerfläche ist, aber andererseits der Plattenabstand h einen besonders starken Einfluß auf die Knickspannung hat.

7.2 Temperatur, Feuchte und Druck

Temperatur und Druck ändern die Dichte und somit die spezifische Ionisation des Kammorgases, und beeinflussen sowohl die Ionenbeweglichkeit, als auch den Rekombinationskoeffizienten. Grundsätzlich sind die Einflußkoeffizienten im Sättigungsbereich und im ohmschen Bereich unterschiedlich.

Im Sättigungsbereich sind Ionenbeweglichkeit und Rekombinationskoeffizient ohne Einfluß auf den Sättigungsstrom. Letzterer wird lediglich durch die mittlere Generationsrate sowie durch das Kammervolumen beeinflusst. Nach / 6 / verhalten sich die Reichweiten R von α -Teilchen umgekehrt wie die Gasdichten, woraus mit Hilfe des Gasgesetzes folgt

$$R_1/R_2 = p_2 T_1 / (p_1 T_2) \quad (28)$$

Die Reichweite bestimmt andererseits das Volumen in dem Ionenpaare anzutreffen sind. Wird ein Strahler mit kugelförmiger Abstrahlcharakteristik unterstellt, dann ergibt sich dieses Volumen zu $V = 4 \pi R^3 / 3$. Die Anzahl der erzeugten Ionenpaare in diesem Volumen bleibt dabei konstant.

Unterstellt man demgegenüber ein temperatur- und druckunabhängiges Kammervolumen V_k , dessen größte Abmessung geringer ist als die die Reichweite R , dann verhält sich die Anzahl der Ionenpaare pro Volumen- und Zeiteinheit näherungsweise wie

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{R_2^3}{R_1^3} = \left(\frac{p_1 T_2}{p_2 T_1} \right)^3 \quad (29)$$

Linear angenähert ergeben sich damit die folgenden maximalen Einflußkoeffizienten

$$\Delta I_S / (\Delta T I_S) \Big|_{p=\text{const}} \approx - 1,02 \% / K \quad \text{bei } 20^\circ C$$

$$\Delta I_S / (\Delta p I_S) \Big|_{T=\text{const}} \approx 0,39 \% / \text{Torr} \quad \text{bei } 760 \text{ Torr}$$

Berücksichtigt man noch die Ortsabhängigkeit der spezifischen Ionisation, dann könnten die angegebenen Werte im ungünstigsten Fall noch geringfügig größer werden. Die verhältnismäßig großen Einflußkoeffizienten können dadurch verringert werden, daß die Abmessungen der Kammer größer als die Reichweite gewählt werden. In diesem Fall bleibt die Anzahl der erzeugten

Ionenpaare innerhalb der Kammer näherungsweise temperatur- und druckunabhängig, der Sättigungsstrom bleibt unverändert.

Im ohmschen Bereich hat die Generationsrate nur noch halben Einfluß auf den Kammerstrom,

$$\frac{\Delta I/I}{\Delta T} = \frac{1}{2} \frac{\Delta S/S}{\Delta T} - \frac{\Delta \alpha/\alpha}{2 \Delta T} + \frac{\Delta(\mu_p + \mu_n)}{(\mu_p + \mu_n) \Delta T} \quad (30)$$

wie aus Beziehung (30) ersichtlich ist. Zusätzlich sind noch die Änderungen von Rekombinationsrate und Ionenbeweglichkeit zu berücksichtigen, deren exaktes Verhalten jedoch im einzelnen noch nicht ausreichend geklärt ist. Nachfolgend werden deshalb nur qualitative Betrachtungen durchgeführt. - Da mit steigender Temperatur die mittlere freie Ionenflugzeit und damit die Beweglichkeit steigt, wird $\Delta\mu/\mu \Delta T$ somit ein positives Vorzeichen erhalten. Der Term $\Delta S/S \Delta T$ hat grundsätzlich ein negatives Vorzeichen, d.h., daß abhängig vom Vorzeichen des dritten Terms und vom Betrag der drei Terme sowohl eine positive als auch eine negative Temperaturabhängigkeit im ohmschen Bereich möglich ist. Diverse Literaturquellen geben einen positiven Temperaturkoeffizienten im ohmschen Bereich an / 7 /. Nachdem durch die Wahl der Kammergeometrie der Temperaturkoeffizient des Sättigungsstromes weitgehend vorherbestimmbar ist, kann also die Temperaturabhängigkeit der Kennlinie festgelegt werden. (Bild 15) Hierbei ist Kurve a für Kammerabmessungen gültig, die kleiner als die Teilchenreichweite sind und Kurve b gilt für größere Abmessungen als die Teilchenreichweite. Interessant ist die Möglichkeit, einen temperaturunabhängigen Kennlinienpunkt durch die Wahl der Abmessungen bestimmen zu können.

Da sich Temperatur und Druck in ihrem Einfluß auf die Luftmoleküle reziprok verhalten, können die Zusammenhänge für die Druckabhängigkeit aus den Überlegungen für die Temperatur nachvollzogen werden. Hierzu zeigt Bild 16 entsprechende I-U-Kennlinien. Wichtig ist festzuhalten, daß die Kennlinienpunkte für Temperatur- bzw. Druckunabhängigkeit nicht identisch sind. Als Anhalt dafür, daß der Arbeitspunkt in ausreichender Nähe eines dieser Schnittpunkte liegt, kann die Gleichsinnigkeit der Einflußkoeffizienten herangezogen werden, d.h.,

Temperatur- und Druckeinflußkoeffizienten haben gleiches Vorzeichen.

Bezüglich des Feuchtigkeitseinflusses sind ebenfalls nur qualitative Abhängigkeiten anzugeben. Die winzigen Feuchtigkeitspartikel wirken ebenso ionenbindend wie Rauchpartikel, sind also in ihrem Einfluß mit dem Meßeffect vergleichbar. Allerdings sind über den Wert der Anlagerungskonstanten keine exakten Daten bekannt. In /7/ werden Werte für $\Delta I_S / I_S \Delta F$ von -5 % pro 75 % r.F. im Bereich 10 % bis 85 % r.F. bei 25°C angegeben.

8. Experimentelle Überprüfung und Zusammenfassung

Um die theoretischen Überlegungen zu erhärten wurden einige Messungen an einer zylindrischen Ionisationskammer mit dem Radius $R = 13$ mm, den Höhen $h = 5$ mm, 10 mm und 15 mm sowie der Aktivität eines punktförmigen Strahlers von 0,4 μ Ci durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Bild 17 dargestellt und zeigen eine für den komplexen Zusammenhang und in Anbetracht der erheblichen Meßunsicherheiten gute Übereinstimmung.

Abschließend seien noch zwei Beispiele von I-Meldern angeführt die beide ihre Prüfung in der Brandkammer bestanden haben, von denen jedoch die Type B im Verlauf ihres Feldeinsatzes als besonders fehlalarmanfällig erkannt wurde.- Wie ersichtlich ist, ergibt sich für Type A ein Arbeitspunkt, der auch bei kleinen Kennlinienänderungen gut reproduzierbar bleibt (Bild 18).- Betrachtet man die Meßkammer der Type B (Bild 19), so ist festzustellen, daß gegen die bisher genannten Designempfehlungen wesentlich verstoßen wurde. So beträgt hier die Kammerhöhe nur ca. 8 mm was eine starke Temperaturabhängigkeit der Kennlinie bewirkt. Weiterhin liegt der Arbeitspunkt auf Grund der geringen Knickspannung von ca. 1V fast im Sättigungsbereich, was eine geringere Empfindlichkeit gegenüber dem Meßeffect und somit eine erhöhte elektrische Verstärkung zur Folge hat. Wesentlichster Nachteil dieser Ausführung ist jedoch die Tatsache,

daß der Arbeitspunkt, bedingt durch Fertigungstoleranzen, sowohl ganz links als auch ganz rechts liegen kann (Bild 19). Hierdurch ergeben sich wesentlich unterschiedliche Spannungsänderungen der Mittelelektrodenspannung bei gleichen Rauchdichteänderungen.

Für die überschlägige Beurteilung der beiden Kammertypen, unter Anwendung der vorgestellten Zusammenhänge, wäre kein einziger Versuch nötig gewesen und man hätte die ungünstige Eignung der Type B rein theoretisch nachweisen können. Das Ziel der Modellbildung, neben den üblichen experimentellen Untersuchungen durch theoretische Betrachtungen zu einer besseren Gesamtbeurteilung von I-Rauchmeldern zu gelangen, kann somit als erreicht betrachtet werden.

Literaturverzeichnis:

- /1/ Amersham-Buchler:
Product spezifikation 1979
- /2/ Friedländer, Kennedy:
Lehrbuch der Kern- und Radiochemie,
Thiemig-Verlag
- /3/ Litton C.B.:
A Mathematical Model for Ionization-Type
Smoke Detectors and the Reduced Source
Approximation
Fire Technologie 13/1977 S. 266 - 281
- /4/ Simon F. N., Axmark R. E.:
Space Charge Effects in Ionization Type
Particulate Detectors
Rev. Sci. Instrum. Vol. 48, No.2, Febr 1977
- /5/ Litton C.D.:
Optimizing Ionization-Type Smoke Detectors
Fire Technology Febr. 1979
- /6/ Schrüfer E.:
Strahlungsmessung im Kernkraftwerk
Elitera Verlag
- /7/ Avlund M.:
Reference Measurements of Smoke Density
Electronic Centralen, ECR-72, May 1977
- /8/ Lappe H.:
Erstellung und experimentelle Überprüfung
eines Modells für Ionisations-Rauchmelder
Diplomarbeit FH München FBEL 9/81

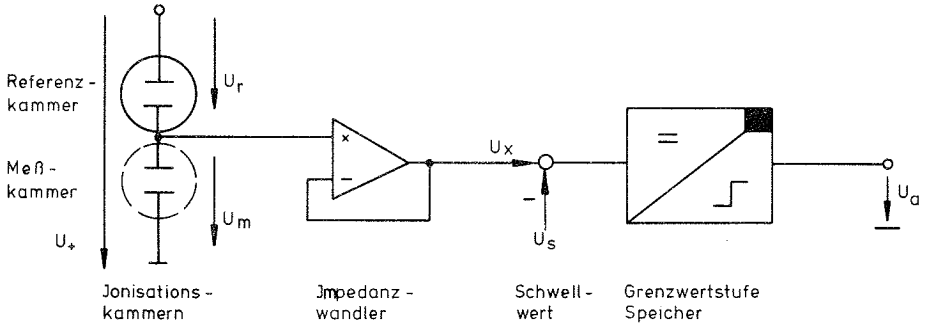


Bild 1 : Prinzipschaltbild eines I-Rauchmelders

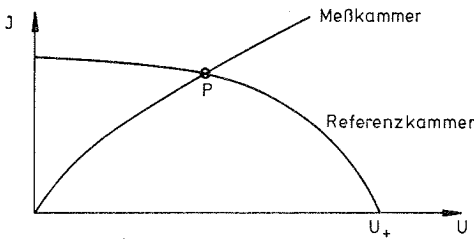


Bild 2 : Darstellung des Arbeitspunktes der Serienschaltung zweier I-Kammern

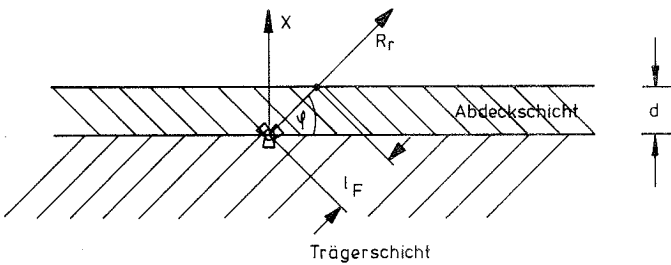


Bild 3: Energieabsorption in der Abdeckschicht

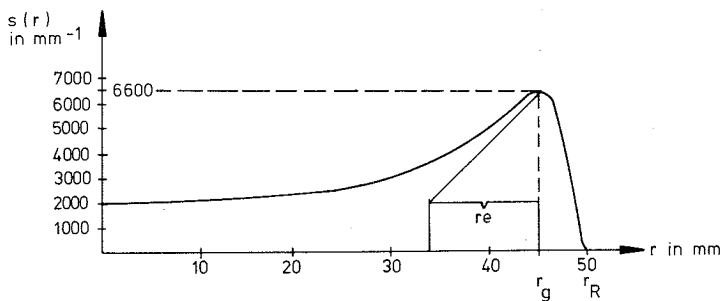


Bild 4: Bragg'sche Kurve der spez. Ionisation

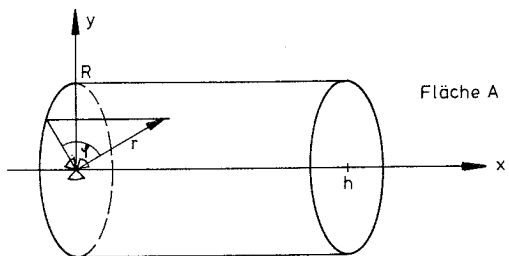


Bild 5: Zylinderförmige Kammeranordnung

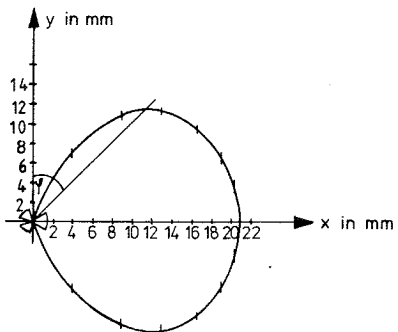


Bild 6: Raumbereich in dem Ionenpaare gebildet werden

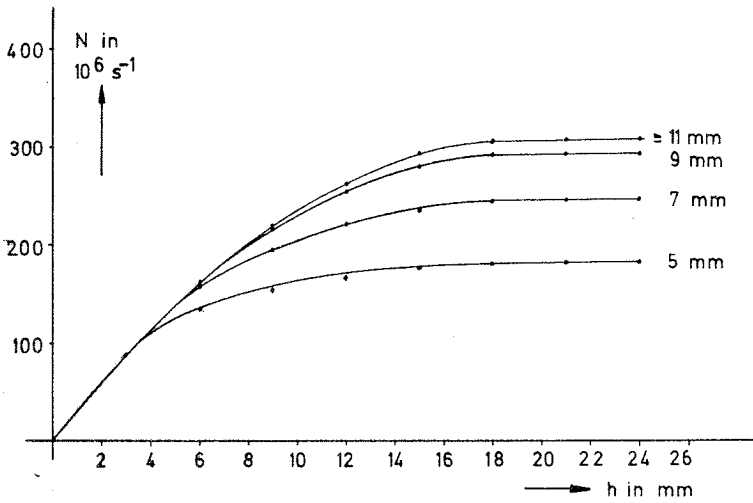


Bild 7: Anzahl der gebildeten Ionenpaare in Abhängigkeit von der Zylinderhöhe h ; Parameter: $R = 0,4 \mu\text{Ci}$, Am 241, Abdeckschicht: $2 \mu\text{m Au-Pd}$

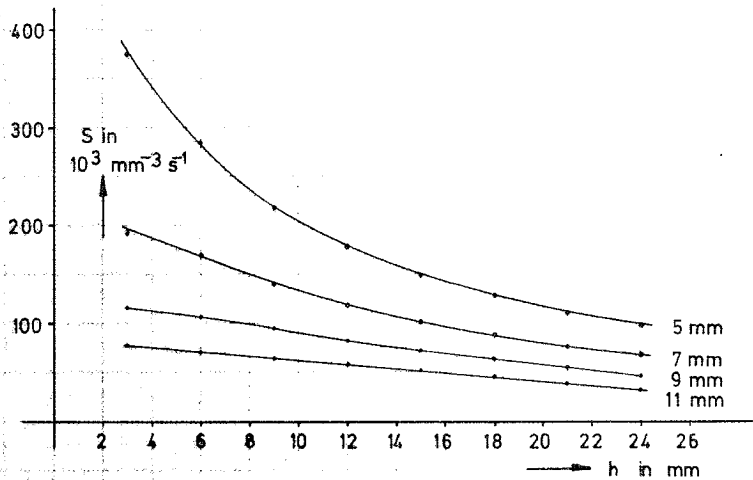


Bild 8: Mittlere Generationsrate in Abhängigkeit von der Zylinderhöhe h ; Parameter: R ; $H = 0,4 \mu\text{Ci}$, Am 241, Abdeckschicht: $2 \mu\text{m Au-Pd}$

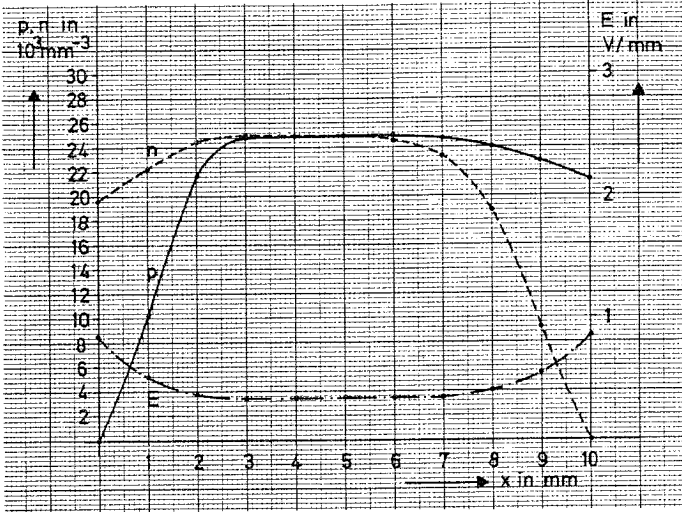


Bild 9a: Ionendichten und Feldstärke in Abhängigkeit vom Ort x ; $S = 10^6 \text{ mm}^{-3} \text{ s}^{-1}$, $A = 400 \text{ mm}^2$, $J_1 = 0,31 J_S$, $J_S = 640 \text{ pA}$;

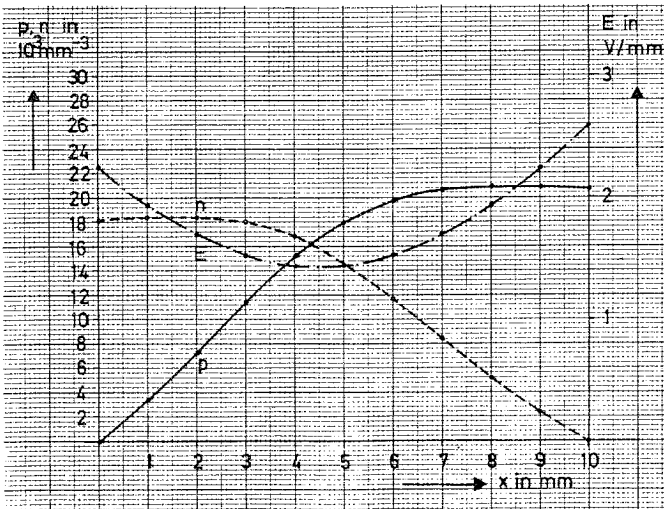


Bild 9b: Ionendichten und Feldstärke in Abhängigkeit vom Ort x ; $S = 10^6 \text{ mm}^{-3} \text{ s}^{-1}$, $A = 400 \text{ mm}^2$, $J_2 = 0,78 J_S$, $J_S = 640 \text{ pA}$;

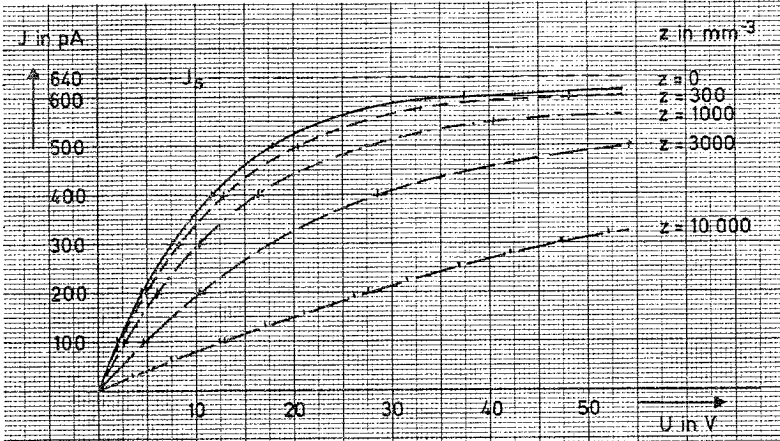


Bild 10a: J-U-Kennlinien für Plattenkondensator; Parameter z ; $S = 10^6 \text{mm}^{-3} \text{s}^{-1}$, $A = 400 \text{mm}^2$, $h = 10 \text{mm}$; (exakte Lösung des Dgl.-Systems)

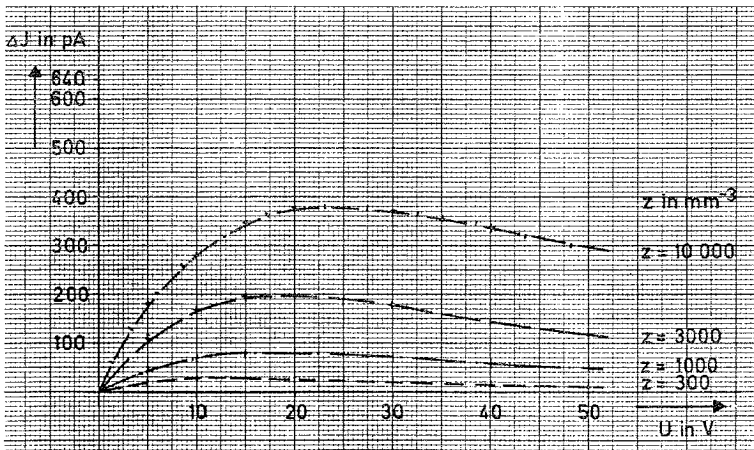


Bild 10b: Stromänderung $J(z=0) - J(z)$ in Abhängigkeit von U ; Parameter z ; (Kammerdaten wie in Bild 10a);

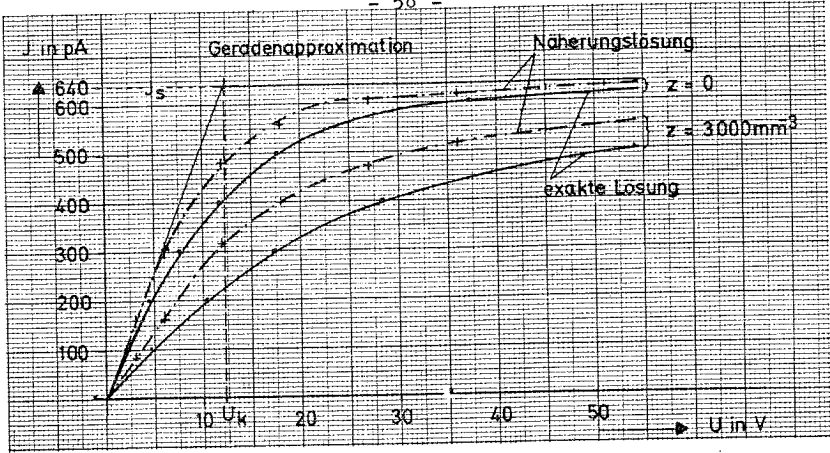


Bild 11: Vergleich der exakten mit der genäherten Lösung (Kammerdaten wie in Bild 10a);

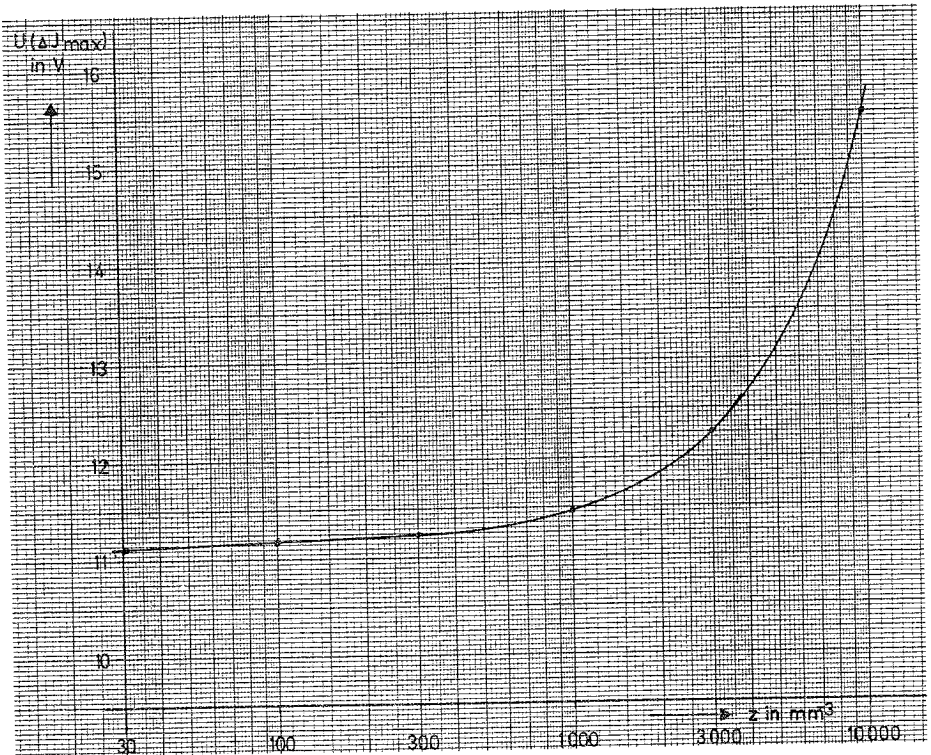


Bild 12: Für die maximale Stromänderung notwendige Kammer-spannung in Abhängigkeit von der Rauchdichte;

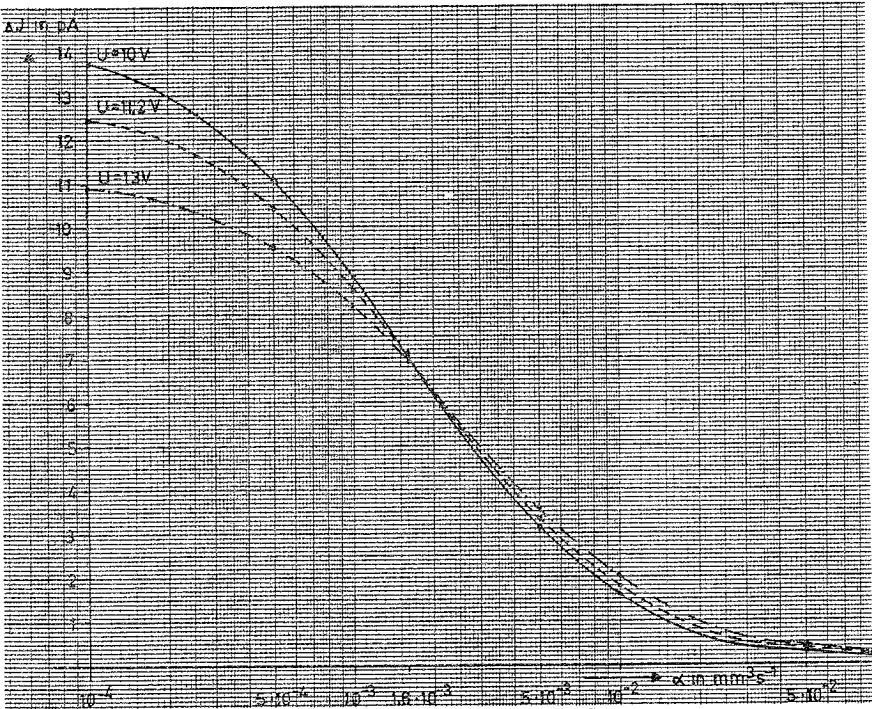


Bild 13: Stromänderung in Abhängigkeit vom Rekombinationskoeffizienten α ; Parameter: Kammer-spannung U_k ; (Kammerdaten wie in Bild 10a)

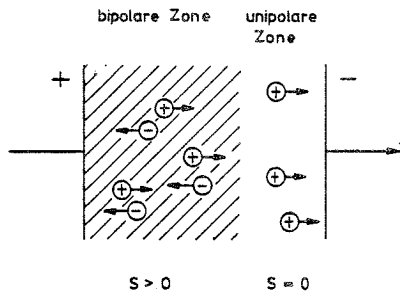


Bild 14: Schema einer Ionisationskammer mit unipolarer Zone

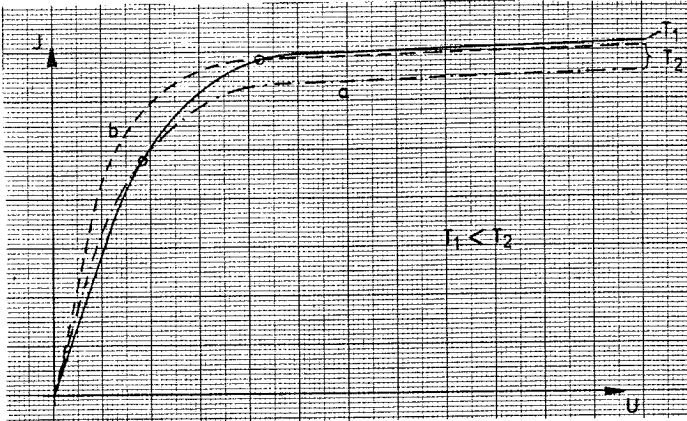


Bild 15: Temperatureinflul3 auf die I-U-Kennlinie

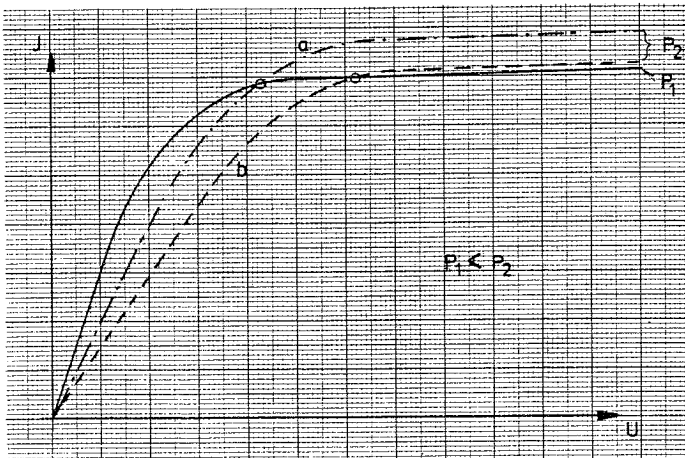


Bild 16: Druckeinflu3 auf die I-U-Kennlinie

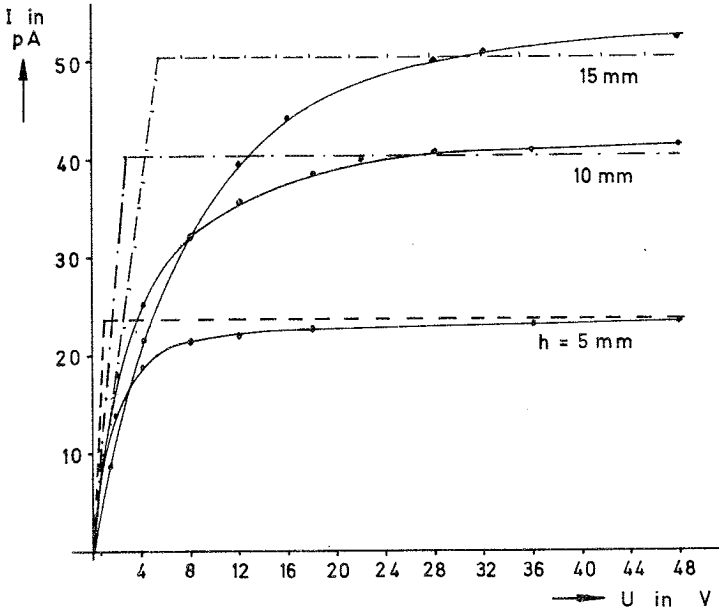


Bild 17: Messungen an einer zylindrischen Kammer mit $R = 13 \text{ mm}$; $H = 0,4 \mu\text{Ci}$, $\text{Am } 241$;

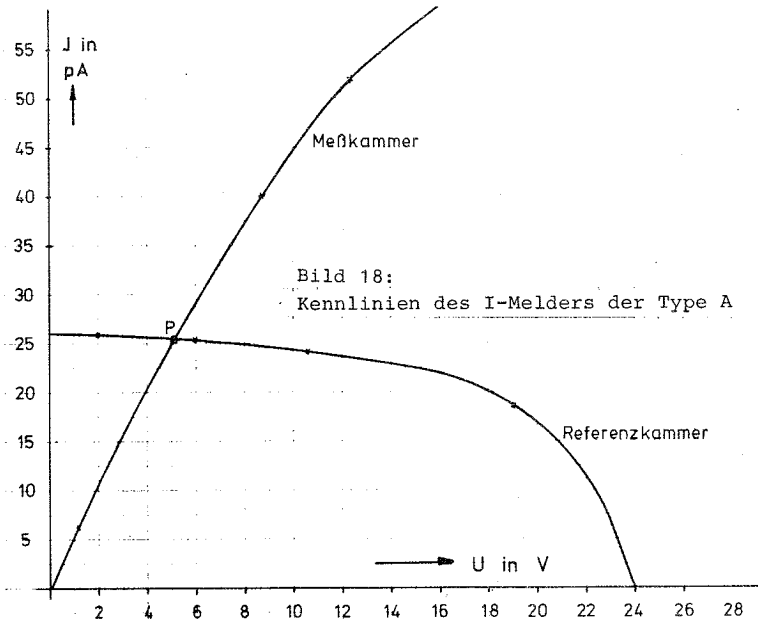


Bild 18: Kennlinien des I-Melders der Type A

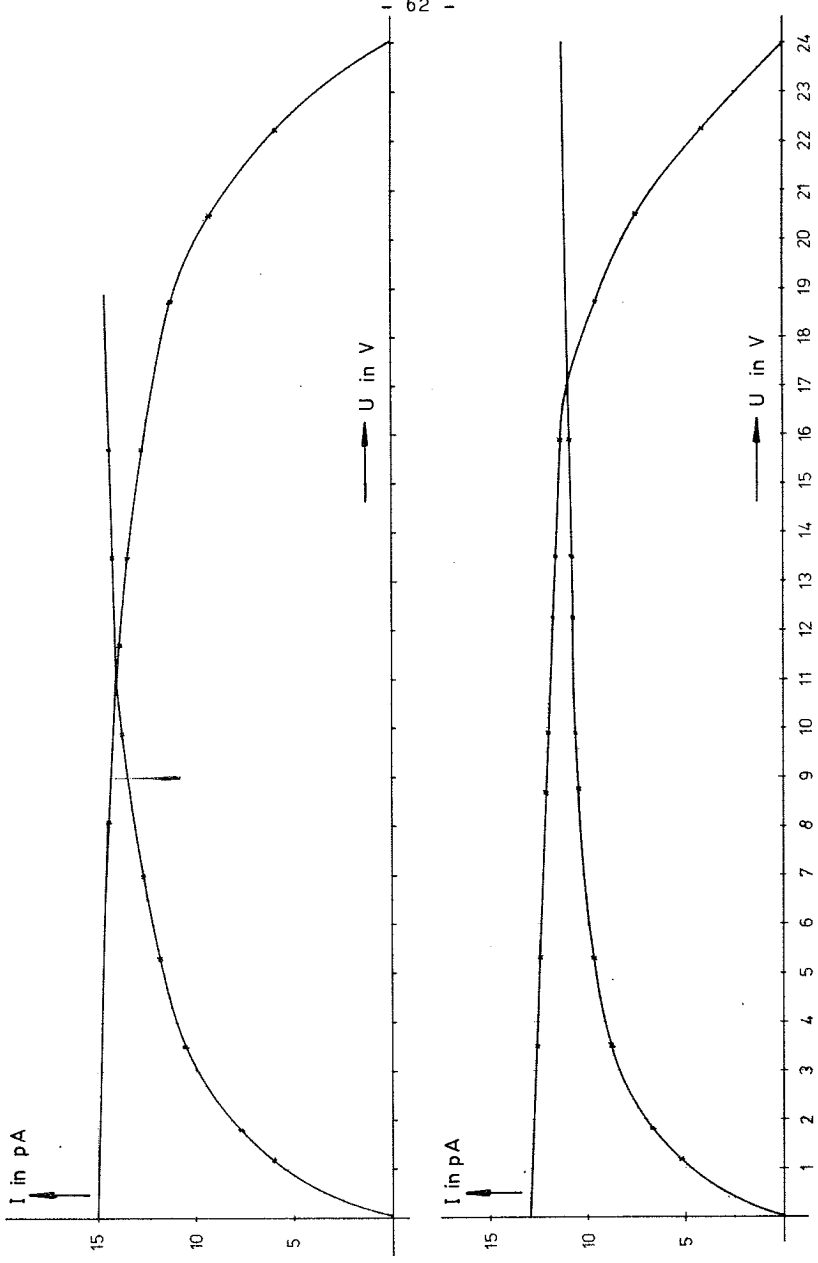


Bild 19: Kennlinien des I-Melders der Type B

Jean Mars, Ingénieur au C. E. A. (Commissariat à l'Energie Atomique).
Gif-sur-Yvette (FRANCE).

Modèle d'analyse des données granulométriques, le signal des détecteurs de fumée

INTRODUCTION

Dans le cadre de la prévention d'incendie, sous l'égide du Ministère de l'Industrie, au cours d'une campagne de prédéveloppement (1) destinée à améliorer les connaissances des chambres d'ionisation des capteurs ioniques, les promoteurs de l'étude ont fait appel à une équipe de 12 chercheurs pour approfondir les connaissances du signal : les aérosols de combustion.

Les divers articles publiés mettent à la disposition des spécialistes les résultats expérimentaux et leurs conséquences immédiates. Dans le seul domaine de la physique des aérosols, 1180 données expérimentales définissent les 59 histogrammes, base des courbes granulométriques correspondantes et dont chacun est l'image d'un essai de combustion.

Parallèlement chaque courbe granulométrique image d'une combustion, peut être caractérisée par trois paramètres : S_0 , la surface totale de l'aérosol, N_0 particules par unité de volume et par le produit $N_0\beta_0$.

Cet ensemble de courbes granulométriques se situe dans un domaine que l'on peut limiter par une courbe enveloppe. Cette courbe enveloppe définit un aérosol fictif représentatif du début de l'évolution d'un sinistre, phase de détection précoce des incendies.

Une étape complémentaire a permis le choix d'un aéroliseur industriel simple, capable de générer un aérosol standard en très bon accord avec cet aérosol fictif.

Il appartient au coordinateur de cette étude, au cours de la synthèse ultérieure, ici développée avec les informations publiées, de mettre en évidence, pour la détection d'incendie en particulier, les données contenues dans les courbes granulométriques. Cette approche personnelle et longue a pour objet, d'une part de tenter d'affiner les modes de prévention, et d'autre part, avec une corrélation actuellement effectuée sur 100 combustions, de confirmer tout l'intérêt d'un procédé simple et fiable. Elle est destinée à simuler aussi bien au laboratoire qu'en usine le début du développement d'un incendie ; phase où il doit être détecté.

I. Aperçus sur la sensibilité des détecteurs de fumée

En bon accord avec Ch. Litton, on a vu (2) que la sensibilité des détecteurs de fumée dépendait pour :

- les capteurs optiques de la surface totale $S_0 = \sum n_i s_i$ de l'aérosol (Annexe III)
- les capteurs ioniques du produit $N_0 \beta_0 = \sum n_i \beta_i$ (Annexes I et II).

La sensibilité relative de ces deux familles de capteurs peut s'exprimer en fonction de la valeur du rapport C_c :

$$[1] \quad C_c = S_0 \cdot (N_0 \beta_0)^{-1}$$

Explicite au niveau de la classe de l'histogramme du relevé granulométrique, domaine où l'aérosol peut être considéré comme monodispersé, la valeur de ce rapport devient indépendante de la population correspondante. En effet :

$$[2] \quad C_c = n_i s_i \cdot (n_i \beta_i)^{-1} \text{ soit en remplaçant } \beta \text{ par sa valeur (Annexe I).}$$

$$[3] \quad C_c = d_i \cdot (s_i \cdot 10^{-6} \mu)^{-1} \mu \text{ est la mobilité électrique des ions du milieu.}$$

$$[4] \quad C_c = 1.176 \cdot 10^5 d_i \quad \text{pour l'air } \mu \approx 1.7 \text{ cm}^2 \cdot \text{v}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Donc, avec cette approche, pour chaque classe, la population de ces deux familles de capteurs varie proportionnellement au diamètre des particules et à l'inverse de la mobilité électrique des ions du milieu où elles évoluent.

Dans l'air, pour une population donnée d'un aérosol de combustion, la sensibilité des capteurs optiques croît plus vite avec le diamètre que celle des capteurs ioniques. (Figure 1, courbes 1.2.3.). En réalité, le niveau du signal est modulé classe par classe par la population de la classe correspondante.

Sur ces particules, et suivant leur diamètre, viennent se fixer un ou plusieurs ions. La charge de ces particules, positive, négative ou neutre, n'est pas pratiquement facile à discriminer (voir Annexe IV).

Au niveau de cette étude, comme l'a admis Ch. Litton dans son modèle mathématique (4), on considère que toutes les particules de l'aérosol sont neutres.

L'analyse porte sur un domaine de granulométrie s'échelonnant de $0.133 \mu\text{m}$ à $2.36 \mu\text{m}$.

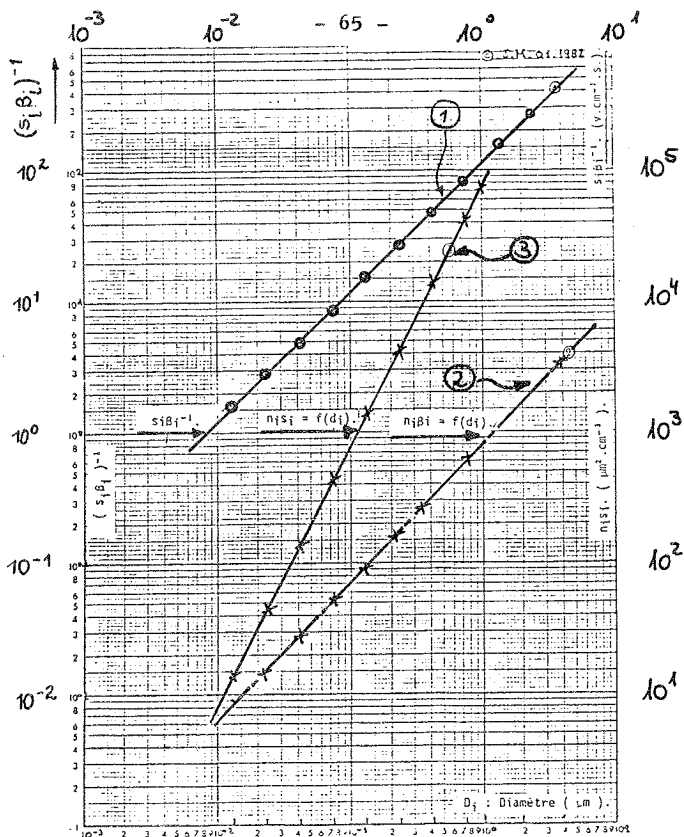


Figure n°1 : Sensibilité intrinsèque des détecteurs de fumée.

Pour chaque classe de l'histogramme, entre les bornes, la population est considérée comme ayant le diamètre moyen ; l'aérosol par hypothèse apparaît monodispersé. Pour chaque classe prise isolément, la valeur du coefficient de combustion est indépendante de l'effectif de la classe, on suit sa variation sur la courbe n°1 où $C_c = 1,176 \cdot 10^5 D_i$. La sensibilité intrinsèque des détecteurs de fumée est, pour cet exemple, calculée pour une population de $2,5 \cdot 10^6$ particules par classe, soit une population de $2,5 \cdot 10^6$ particules pour cette granulométrie fictive. Les courbes (2) et (3) traduisent cette sensibilité ; elle croît plus vite avec la granulométrie pour les capteurs optiques que pour les capteurs ioniques. En réalité on constate que la population maximale se situe entre environ $5 \cdot 10^{-2}$ et $5 \cdot 10^{-1} \mu\text{m}$ et qu'il est difficile de dénombrer un aérosol de diamètre inférieur à $1 \cdot 10^{-2} \mu\text{m}$. La population de chaque classe module le niveau du signal comme on l'explicitera en annexe I.

PISTOR (7) en limitant à $1 \cdot 10^{-2} \mu\text{m}$ le diamètre minimal de sa courbe de sensibilité a conduit certains de ses lecteurs à des extrapolations erronées sur l'aptitude des capteurs ioniques à signaler la présence d'aérosols de faible granulométrie. Pour ces aérosols le principe physique choisi présente une sensibilité spécifique trop faible pour obtenir une réponse significative des capteurs ioniques et optiques par réflectométrie.

II. Détermination des paramètres de sensibilité

Chaque courbe granulométrique correspond à un histogramme (Annexe II).

- Cette étude a porté sur 59 foyers.
- A titre comparatif, l'analyse comporte 20 des 25 foyers étudiés par Bukowski et Mulholland (5).
- A titre complémentaire, la comparaison des aérosols simulant un début d'incendie entraîne 20 autres granulométries.

Pour cette centaine de granulométries, le programme de calcul a permis d'obtenir, à partir des relevés expérimentaux, les données traitées suivantes :

$N_0 = \sum n_i$	nombre total des particules de chaque histogramme.
$S_0 = \sum n_i s_i$	surface totale de l'aérosol. Chaque particule est assimilée à une sphère.
$N_0 \beta_0 = \sum n_i \beta_i$	paramètre de sensibilité des capteurs ioniques (Annexe I).
$C_c = S_0 \cdot (\beta_0 N_0)^{-1}$	sensibilité relative des deux familles de capteurs. Ce paramètre va recevoir une autre qualification.

Cet ensemble de données, avec la référence des foyers et la nature des combustibles ou des aérosols, est groupé sur le tableau I.

II.1 - Sensibilité relative des capteurs optiques et ioniques

La suite des valeurs des sensibilités relatives de ces deux familles de capteurs se groupe, pour l'ensemble des 59 combustions, avec un coefficient de corrélation $R_1 = 0,873$ autour de la droite de régression d'équation [5].

$$[5] \quad N_0 \beta_0 = 4,144 \cdot 10^{-5} S_0 + 0,532.$$

On voit cette répartition sur la figure 2. Le rapport $C_c = S_0 \cdot (N_0 \beta_0)^{-1}$ apparaît significatif et mérite d'être analysé.

Les coordonnées de la courbe enveloppe $N_0 \beta_0 = 22,4$ et $S_0 = 5,2 \cdot 10^5$ se situent sur cette droite de régression. Elles représentent l'image de la majorité des produits que l'on rencontre dans un incendie quelconque (1) (10). Cet aérosol fictif peut être simulé avec tout procédé générant un aérosol dont les paramètres de sensibilité seront en bon accord avec cette droite de régression.

TABLEAU N°I

Paramètres de sensibilité calculés à partir des données granulométriques

N°	FOYER	$N_o \beta_o$	S_o	N_o	$S_o \times (N_o \beta_o)^{-1}$	COMBUSTIBLE
1	1.111	8.93^{-1}	3.45^3	1.59^6	3.86^3	Alcool éthylique
2	2.111	1.47	3.28^4	5.13^5	2.24^4	
3	2.112	6.72	1.45^5	2.32^6	2.17^4	Bois combustion lente
4	2.211	1.47	6.64^3	2.20^6	4.52^3	
5	2.311	8.17^{-1}	2.08^4	3.48^5	2.54^4	Bois combustion vive
6	3.221	4.99	7.33^4	2.93^6	1.47^4	
7	3.222	7.58	1.58^5	2.96^6	2.08^4	Bois combustion vive
8	3.311	4.33	2.76^4	5.36^6	6.17^3	
9	3.312	6.20	7.92^4	3.95^6	1.27^4	Tromblon DEF
10	4.111	5.76	1.8^5	1.57^6	3.12^4	
11	4.211	4.33^{-1}	9.08^3	1.88^5	2.09^4	Carton
12	4.221	2.02	7.13^4	4.33^5	3.52^4	
13	4.311	1.74	3.05^4	7.28^5	2.01^4	Carton
14	4.321	8.05	1.72^5	2.60^6	2.13^4	
15	5.111	9.58^{-2}	1.67^3	6.32^4	1.74^4	Carton dans une boîte
16	5.112	2.91^{-1}	2.60^3	3.77^5	8.90^3	
17	5.211	1.27^{-1}	2.60^3	7.23^4	2.04^4	Carton dans une boîte
18	5.212	2.13^{-1}	4.99^3	9.68^4	2.34^4	
19	5.311	9.16^{-2}	3.66^3	4.52^4	4.00^4	Mousse de polyuréthane
20	5.312	2.31^{-1}	4.90^3	1.32^5	2.12^4	
21	6.221	3.16	8.51^4	1.19^6	2.70^4	Mousse de polyuréthane
22	6.311	1.15^1	2.55^5	4.19^6	2.22^4	
23	7.111	1.40	6.05^4	2.70^5	4.32^4	Câble isolé au P.V.C.
24	7.21	6.97^{-1}	1.65^4	2.80^5	2.43^4	
25	7.311	5.73^{-1}	3.24^4	1.46^5	5.68^4	Câble isolé au néoprène
26	8.211	8.92^{-1}	3.25^4	2.73^5	3.50^4	
27	8.221	5.35^{-1}	1.09^4	2.48^5	2.40^4	Câble isolé au néoprène
28	8.222	2.91	7.84^4	8.11^5	2.70^4	
29	8.311	1.62	6.35^4	3.64^5	3.91^4	Coton
30	9.111	1.03^1	2.94^5	2.94^6	2.85^4	
31	9.211	3.10	8.67^4	7.08^5	2.80^4	Coton
32	9.212	1.36	4.22^4	3.02^5	3.01^4	
33	9.311	1.06	1.74^4	5.46^4	1.61^4	Coton
34	9.312	1.11	2.61^4	3.89^5	2.30^4	

TABLEAU N°I (suite)

N°	FOYER	$N_o B_o$	S_o	N_o	$S_o \times (N_o B_o)^{-1}$	COMBUSTIBLE
35	10.211	6.50	1.31^5	2.46^6	2.80^4	Essence F
36	10.311	1.39^1	3.00^5	3.92^6	2.14^4	
37	11.111	4.39	2.30^5	5.95^5	5.22^4	Transformateur surchargé
38	11.221	1.95	7.75^4	3.40^5	2.97^4	
39	11.311	2.14	6.41^4	6.70^5	3.00^4	
40	12.211	2.05	3.48^4	9.12^5	1.70^4	Acétone
41	12.311	1.87	2.98^4	8.71^5	1.60^4	Bois humide Combustion vive
42	13.231	4.58	4.77^4	2.88^6	1.04^4	
43	13.311	2.97	2.17^4	2.83^6	7.30^3	
44	13.312	7.61	7.60^4	5.82^6	1.00^4	Alcool méthylique
45	13.321	1.27^1	1.23^5	9.95^6	9.68^3	
46	14.211	2.81^{-1}	1.31^3	5.53^5	4.46^3	Gasoil
47	14.311	7.30^{-2}	9.50^2	1.35^5	1.30^4	
48	15.211	1.72	2.62^4	8.04^5	1.50^5	Bois extincteur
49	15.311	9.42	1.81^5	4.06^6	1.92^4	
50	16.311	9.34	9.54^4	6.40^6	1.02^4	Câble isolé au caoutchouc
51	16.312	1.34^1	2.42^5	5.28^6	1.80^4	
52	17.311	6.89^{-1}	2.39^4	1.82^5	3.86^4	Bois humide Combustion lente
53	18.111	1.36	1.94^4	6.45^5	1.42^4	
54	18.112	2.77	4.07^4	1.39^6	1.47^4	Sodium
55	19.111	4.43^{-1}	9.37^3	2.54^5	2.19^4	
56	19.121	5.88^{-1}	1.42^4	2.34^5	2.41^4	
57	19.131	9.79^{-1}	2.67^4	2.57^5	2.72^4	Magnésium
58	20.111	1.10	1.49^4	6.85^5	1.36^4	
59	23.111	2.36	1.65^4	2.75^6	7.00^3	Générateur Géosyl
CE	Salle	2.24^1	5.19^5	1.25^7	2.32^4	Courbe Enveloppe
		7.81^{-2}	2.73^3	4.29^4	3.50^4	Bruit de fond

TABLEAU N°I (suite et fin)

Paramètres de sensibilité calculés à partir des données granulométriques relevées par Bukowski et Mullholland (5)

N°	FOYER	$N_0 \beta_0$	S_0	N_0	$S_0 \times (\beta_0 N_0)^{-1}$	COMBUSTIBLE
L 1	25.1	5.63	1.24 ⁵	1.49 ⁶	2.31 ⁴	Lampe WICK.
L 2	25.2	1.43 ¹	3.69 ⁵	3.24 ⁶	2.37 ⁴	Lampe WICK.
L 3	25.3	4.13	1.06 ⁵	8.42 ⁵	2.57 ⁴	Heptane.
L 4	26.1	1.28	1.78 ⁴	8.23 ⁵	1.39 ⁴	Amadou V = 0xm.s ⁻¹
L 5	26.2	9.31 ⁻²	2.04 ³	2.60 ⁴	2.19 ⁴	Amadou V = 2xm.s ⁻¹
L 6	28.1	1.59	3.64 ³	4.58 ⁶	2.29 ³	Cellulose foyer flambant
L 7	28.2	3.91	6.50 ⁴	1.63 ⁶	1.66 ⁴	Cellulose foyer couvant
L 8	29.1	9.22 ⁻¹	1.15 ⁴	5.96 ⁵	1.25 ⁴	Cellulose agée de 300 s.
L 9	29.2	6.30 ⁻¹	9.23 ³	3.39 ⁵	1.47 ⁴	Cellulose agée de 900 s.
L 10	29.3	4.85 ⁻¹	7.97 ³	2.36 ⁵	1.64 ⁴	Cellulose agée de 1800 s.
L 11	31.1	5.14	7.06 ⁴	2.33 ⁶	1.37 ⁴	Cellulose $\theta = 485^\circ$ 900 s
L 12	31.2	2.79	4.37 ⁴	1.01 ⁶	1.56 ⁴	Cellulose $\theta = 485^\circ$ 1300 s
L 13	31.3	1.83	3.32 ⁴	5.60 ⁵	1.81 ⁴	Cellulose $\theta = 485^\circ$ 2100 s
L 14	31.4	7.18	1.69 ⁵	1.85 ⁶	2.35 ⁴	Cellulose $\theta = 395^\circ$ 360 s.
L 15	31.5	4.68	1.26 ⁵	1.03 ⁶	2.69 ⁴	Cellulose $\theta = 395^\circ$ 900 s.
L 16	31.6	3.77	1.10 ⁵	7.48 ⁵	2.92 ⁴	Cellulose $\theta = 395^\circ$ 1800 s.
L 17	32.1	1.34 ¹	2.64 ⁵	4.13 ⁶	1.97 ⁴	Amadou 120 s.
L 18	32.2	5.07	1.44 ⁵	9.56 ⁵	2.84 ⁴	Amadou 2050 s.
L 19	32.3	2.41	8.35 ⁴	3.73 ⁵	3.46 ⁴	Amadou 7020 s.
L 20	32.4	2.57 ⁻¹	1.12 ⁴	3.22 ⁴	4.36 ⁴	Amadou 60.000 s. (16.7 h)

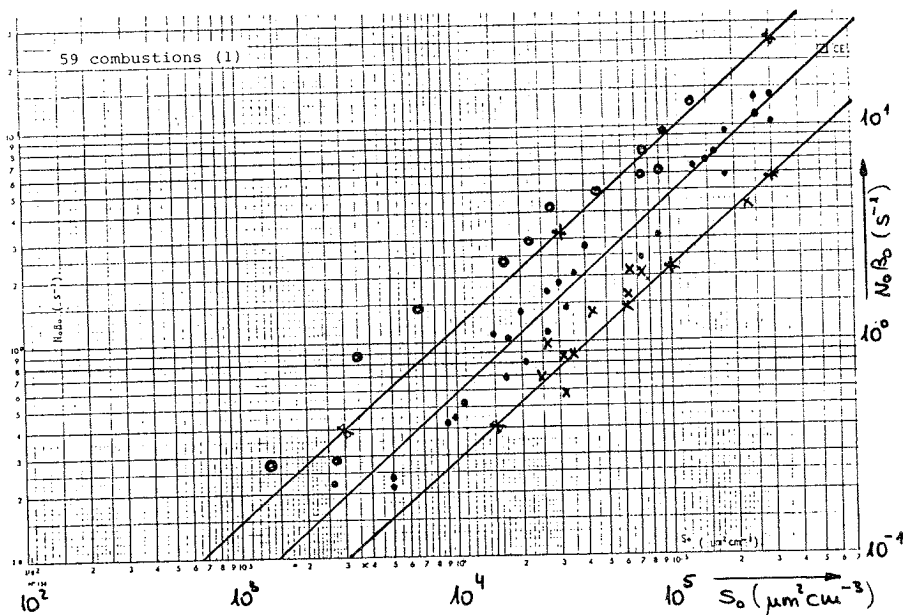


Figure n°2 : La valeur de la sensibilité relative des capteurs ioniques et des capteurs optiques, pour un ensemble de 59 combustions, se répartit avec un coefficient de corrélation de 0.873 au tour de la droite de régression d'équation

$$N_0\beta_0 = 4,41 \cdot 10^{-5} S_0 + 0,532.$$

Le rapport $S_0 \cdot (N_0\beta_0)^{-1}$ apparaît donc significatif. Son analyse va faire l'objet du prochain paragraphe.

II.2 - Coefficient de combustion C_C

L'ensemble des paramètres de sensibilité groupés en bon accord au tour de la droite de régression {5} incite à examiner leur répartition : elle s'échelonne de 1.56 à 56×10^3 et se répartit au pas de 2×10^3 sur l'histogramme de la figure n°3. Cet ensemble peut se diviser en 3 groupes suivant la valeur de C_C , appelé coefficient de combustion. On obtient un résultat analogue avec 20 des 25 foyers étudiés par Mulholland (5). L'examen groupe par groupe en se reportant au tableau I de suivre la répartition des foyers et leur mode d'évolution.

II.2.1. Groupe n°1 : $C_C < 2.4 \times 10^4 \mu\text{m}^2 \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{s}$.

Ce premier groupe comprend 36 des 59 foyers, soit 61 %, tous de granulométrie fine de 2.8 à $14 \times 10^{-2} \mu\text{m}$. Les différentes valeurs des paramètres de sensibilité sont situées avec une corrélation de 0.941 au tour de la droite de régression {6}

$$\{6\} \quad N_0 \beta_0 = 4.91 \times 10^{-5} S_0 + 0.743.$$

Leur disposition sur la figure n°2 conduit à scinder ce groupe avant d'examiner la nature des foyers le composant.

II.2.1.1. Groupe n°1A. : $C_C < 1.2 \times 10^4 \mu\text{m}^2 \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{s}$.

11 des 36 foyers se répartissent avec une corrélation de 0.981 autour de la droite d'équation {7} située en 1A sur la figure 4A.

$$\{7\} \quad N_0 \beta_0 = 9.06 \times 10^{-5} S_0 + 0.704.$$

La très fine granulation de ce sous groupe provient de foyers flambant de bois et de foyers d'alcools (méthanol, éthanol). Les aérosols de méthanol ultrafins sont pratiquement indétectables par les détecteurs de fumée. Les capteurs ultraviolet signalent rapidement ces feux. Il apparaît dans cet ensemble un foyer lent de bois.

II.2.1.2. Groupe n°1B. : $1.2 \times 10^4 < C_C < 2.4 \times 10^4 \mu\text{m}^2 \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{s}$.

La granulométrie moyenne de ces 25 autres foyers se situe à 30 % près autour de $0.1 \mu\text{m}$. Ils se groupent avec une corrélation de 0.991 près de la droite d'équation {8}

$$\{8\} \quad N_0 \beta_0 = 4.89 \times 10^{-5} S_0 + 0.180. \text{ (figure n°4B).}$$

Répartition de la valeur du coefficient de combustion pour 20 foyers et 4 matières (5).

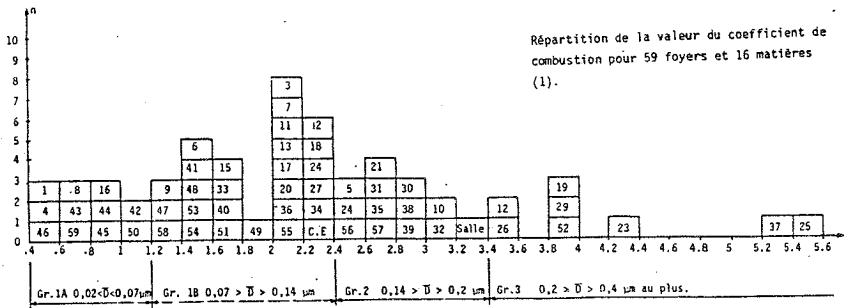
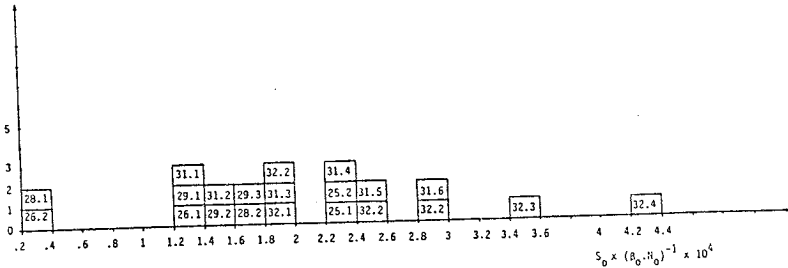


Figure n°3 : Histogrammes des coefficients de combustion.

La valeur des coefficients de combustion sont classés au pas de $0.2 \times 10^{+4} \times (\mu\text{m}^2 \times \text{cm}^{-3} \times \text{s}^{-1})$; cette disposition met en évidence la nature du combustible et son mode de combustion. Aux plus faibles valeurs correspondent des foyers vifs générant des aérosols ultra-fins et fins. Aux fortes valeurs se situent les foyers couvants. Ce modèle d'analyse s'applique aussi à nos essais (1) qu'aux relevés de Bukowski et Mulholland (5).. A chaque groupe correspond un mode de détection privilégié. Cette répartition est en bon accord avec le diamètre moyen $|\bar{D}|$ de chaque aérosol qui s'échelonne de 0.028 à $0.3 \mu\text{m}$. La particule est assimilée à une sphère. Pour faciliter l'identification de chaque foyer figure : on peut se reporter au tableau n°1 et aux données expérimentales (316 pages : documentation C.N.P.P. 5, rue Daunou, F.75002 Paris).

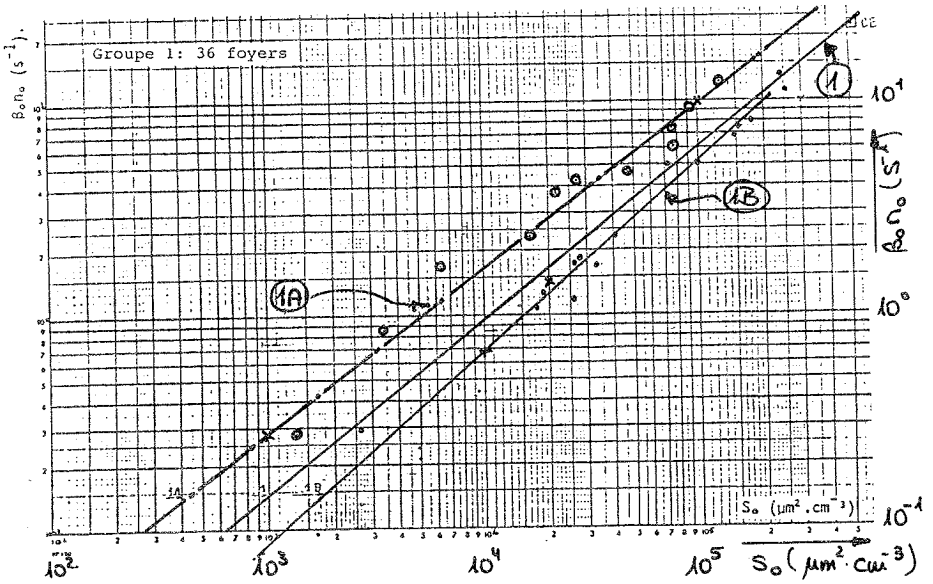


Figure n°4 : Classement des foyers en fonction de la valeur du coefficient de combustion.

36 foyers ont un coefficient inférieur à $2,4 \cdot 10^4 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}$. Ils se répartissent en 2 groupes de part et d'autre de la droite de régression. La valeur moyenne des paramètres de l'aérosol standard se situe dans le domaine d'incertitude. Il est donc significatif pour ce groupe.

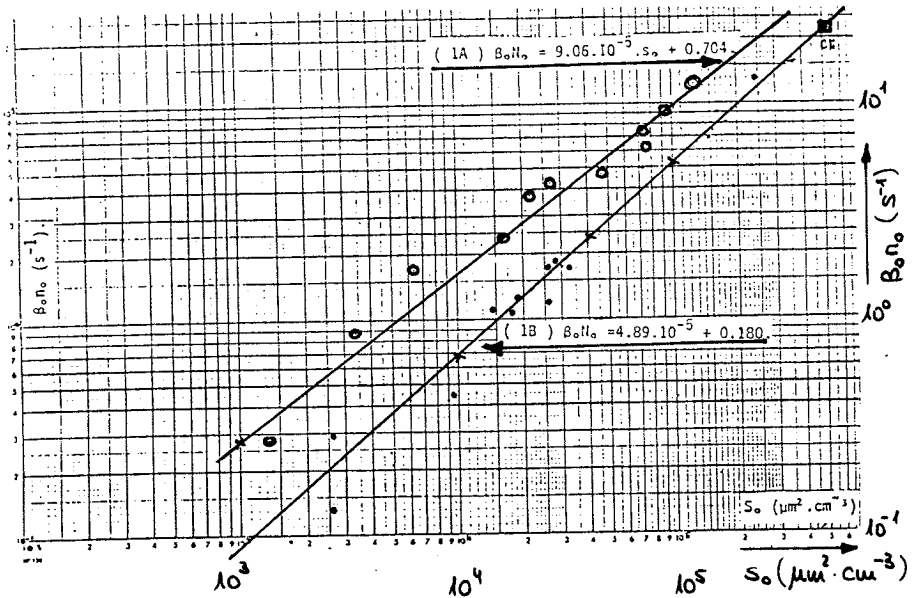


Figure n°41:

Courbe 1A. : En affinant le classement précédent, on trouve un lot de 11 foyers dont la granulométrie très fine ne comprend que des foyers de bois ou d'alcools.

Les foyers d'alcools ne sont bien détectés, que par des capteurs de flamme.

Courbe 1B. : Ces foyers en très bon accord avec l'aérosol standard, comprennent les combustions de coton, de carton, d'acétone, de gasoil, de mousse de polyuréthane, sodium magnésium et des combustions lentes de bois. L'aérosoliseur Géosyl devrait être analysé plus complètement.

TABLEAU II.1 : groupe 1A

N°	COMBUSTIBLE	$N_0 \beta_0$	S_0	N_0	C_c	\bar{D}
1	Alcool éthylique	8.93^{-1}	3.45^3	1.59^6	3.86^3	2.63^{-2}
4	Bois combustion lente	1.47	6.64^3	2.20^6	4.52^3	3.00^{-2}
8	Bois combustion vive	4.33	2.76^4	5.36^6	6.17^3	4.05^{-2}
9	Bois combustion vive	6.20	7.92^4	3.95^6	1.27^4	7.99^{-2}
42	Bois humide	4.58	4.77^4	2.88^6	1.04^4	7.26^{-2}
43	Bois humide	2.97	2.17^4	2.83^6	7.30^3	4.94^{-2}
44	Bois humide	7.61	7.60^4	5.82^6	1.00^4	6.45^{-2}
45	Bois humide	1.27^1	1.23^5	9.95^6	9.68^3	6.27^{-2}
46	Alcool méthylique	2.81^{-1}	1.31^3	5.53^5	4.46^3	2.80^{-2}
50	Bois d'extincteur	9.34	9.54^4	6.40^6	1.02^4	6.89^{-2}
59	Générateur Géosyl	2.36	1.65^4	2.75^6	7.00^3	4.37^{-2}

$$C_c = S_0 \times (N_0 \beta_0)^{-1}$$

\bar{D} = diamètre moyen obtenu à partir de la surface totale S_0 comportant N_0 particules. Chaque particule est assimilée à une sphère.

TABLEAU II.2 : groupe 1B

N°	COMBUSTIBLE	N ₀ B ₀	S ₀	N ₀	C _C	\bar{D}
2	Bois combustion lente	1.47	3.28 ⁴	5.13 ⁵	2.22 ⁴	1.43 ⁻²
3	Bois combustion lente	6.72	1.43 ⁵	2.32 ⁶	2.17 ⁴	1.41 ¹
6	Bois combustion vive	4.99	7.33 ⁴	2.93 ⁶	1.47 ⁴	8.72 ⁻²
7	Bois combustion vive	7.58	1.58 ⁵	2.96 ⁶	2.08 ⁴	1.30 ⁻¹
11	Carton Tromblon DEF	4.33 ⁻¹	9.08 ³	1.88 ⁵	2.09 ⁴	1.24 ⁻¹
13	Carton Tromblon DEF	1.74	3.05 ⁴	7.28 ⁵	2.01 ⁴	1.15 ⁻¹
14	Carton Tromblon DEF	8.05	1.72 ⁵	2.60 ⁵	2.13 ⁴	1.45 ⁻¹
15	Carton	9.58 ⁻²	1.67 ³	6.32 ⁴	1.74 ⁴	9.17 ⁻²
16	Carton	2.91 ⁻¹	2.60 ³	3.77 ⁵	8.90 ³	4.70 ⁻²
17	Carton	1.27 ⁻¹	2.60 ³	7.23 ⁴	2.04 ⁴	1.07 ⁻¹
18	Carton	2.13 ⁻¹	4.99 ³	9.68 ⁴	2.34 ⁴	1.28 ⁻¹
20	Carton	9.16 ⁻²	3.66 ³	4.52 ⁴	4.00 ⁴	1.09 ⁻¹
22	Mousse polyuréthane	1.15 ¹	2.55 ⁵	4.19 ⁶	2.24 ⁴	1.39 ⁻¹
33	Coton	1.06	1.74 ⁴	5.46 ⁴	1.61 ⁴	1.01 ⁻¹
34	Coton	1.11	2.61 ⁴	3.89 ⁵	2.30 ⁴	1.47 ⁻¹
40	Acétone	2.05	3.48 ⁴	9.12 ⁵	1.70 ⁴	1.10 ⁻¹
41	Acétone	1.87	2.98 ⁴	8.71 ⁵	1.60 ⁴	1.04 ⁻¹
47	Alcool méthylique	7.30 ⁻²	9.50 ²	1.35 ⁵	1.30 ⁴	4.73 ⁻²
48	Gasoil	1.72	2.62 ⁴	4.06 ⁶	1.92 ⁴	1.02 ⁻¹
49	Gasoil	9.42	1.81 ⁵	6.40 ⁶	1.02 ⁴	1.19 ⁻¹
51	Bois extincteur	1.34 ¹	2.42 ⁵	5.28 ⁶	1.80 ⁴	1.21 ⁻¹
53	Bois humide c. lente	1.36	1.94 ⁴	6.45 ⁵	1.42 ⁴	9.78 ⁻²
54	Bois humide c. lente	2.77	4.07 ⁴	2.54 ⁵	1.47 ⁴	9.65 ⁻²
55	Sodium	4.43 ⁻¹	9.37 ³	2.54 ⁵	2.19 ⁴	1.12 ⁻¹
58	Magnésium	1.10	1.49 ⁴	6.85 ⁵	1.36 ⁴	8.32 ⁻²

On relève les combustions de gasoil, d'acétone, de coton, de carton, de sodium, de magnésium, de mousse de polyuréthane, les combustions lentes de bois et l'émission de l'aérolyseur Géosyl.

La détection fait appel :

Pour les foyers émettant des aérosols ultrafins aux capteurs de flammes.
Pour les aérosols moyens aux capteurs ioniques pour les foyers très dynamiques.
Pour les aérosols gros aux capteurs ioniques et optiques par absorption.
Les détecteurs par réflectométrie dans ce domaine, avec les longueurs d'onde actuellement utilisées, ne permettent pas d'obtenir une détection précoce.

II.2.2. Groupe n°2 : $2.42 \times 10^{+4} < C_c < 3.4 \times 10^{+4} \mu\text{m}^2 \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{s}$.

Ce groupe comprend 15 foyers, soit 25 %, dont les aérosols ont un diamètre moyen compris entre 0.14 et 0.2 μm . Leurs paramètres de sensibilité se situent avec une corrélation de 0.975 autour de la droite d'équation {9}.

$$\{9\} \quad N_{O\beta_O} = 4.061 \times 10^{-5} S_O - 0.210 \quad (\text{figure n°5})$$

On relève ici aussi bien les combustions vives d'essence F, de mousse de polyuréthane des combustions passant du mode couvant au mode flamant de bois, de câbles de PCV ou de néoprène, de carton dans le tromblon D.E.F., et d'un transformateur surchargé. La détection implique, ici, principalement les capteurs ioniques.

Les capteurs optiques à absorption conviennent parfaitement.

Les capteurs optiques à réflectométrie donnent une réponse qui s'améliore.

II.2.3. Groupe n°3 : $C_c > 3.41 \times 10^{+4}$

Les 8 foyers de ce groupe évoluent dans le mode de combustion lente. Avec un diamètre moyen compris entre 0.16 μm et 0.35 μm , les paramètres de sensibilité se situent avec une corrélation de 0.985 autour de la droite d'équation {10} :

$$\{10\} \quad N_{O\beta_O} = 1.897 \times 10^{-7} + 0.209 \quad (\text{figure n°6})$$

La pente de cette droite est beaucoup plus faible que celle des autres groupes. Le rapport des valeurs des paramètres de sensibilité évolue dans le sens de l'utilisation préférentielle des capteurs optiques.

6 à 8 foyers proviennent de la décomposition thermique d'isolants de câbles électriques surchargés, les deux autres sont des feux couvants de carton.

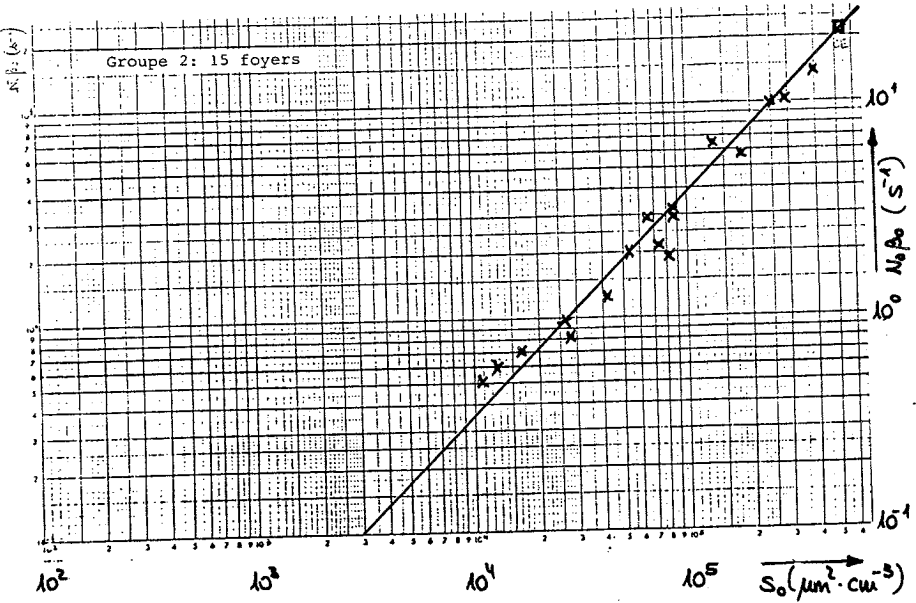


Figure n°5 : Ce lot de 15 foyers avec un coefficient compris entre 2.41 et $3,4 \cdot 10^4 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}$. comprend aussi bien des combustions vives d'essence F ou de polyuréthane, lentes de bois passant du mode couvant au mode flambant, de câbles ou d'enroulements de transformateur très surchargés.

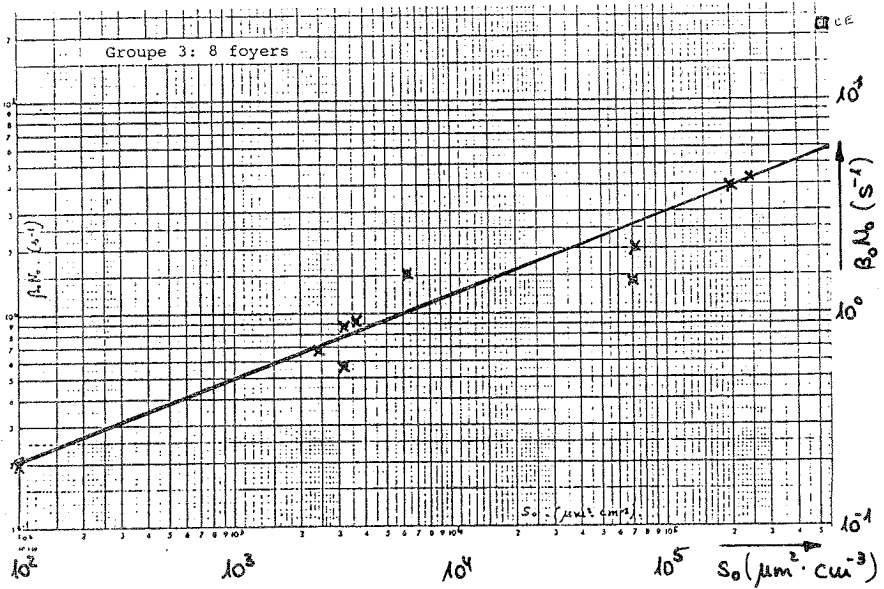


Figure n°6 : Avec un coefficient supérieur à $3,41 \cdot 10^4 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}$, six des huit foyers émettent des aérosols provenant de la décomposition thermique d'isolant. La droite représentative de l'aérosol standard n'est plus en accord avec ces granulomètres.

TABLEAU III_a: groupe 2

N°	COMBUSTIBLE	$N_0\beta_0$	S_0	N_0	C_c	\bar{D}
5	Bois combustion lente	8.17^{-1}	2.08^4	3.48^5	2.54^4	1.38^{-1}
10	Carton Tromblon DEF	5.76	1.80^5	1.57^6	3.12^4	1.91^{-1}
21	Mousse polyuréthane	3.16	8.51^4	1.19^6	2.70^4	1.51^{-1}
24	Câble isolé au PVC	6.97^{-1}	1.65^4	2.80^5	2.43^4	1.37^{-1}
27	Câble néoprène	5.35^{-1}	1.09^4	2.48^5	2.40^4	1.18^{-1}
28	Câble néoprène	2.91	7.84^4	8.11^5	2.70^4	2.35^{-1}
30	Coton	1.03^1	2.94^5	2.94^6	2.85^4	1.80^{-1}
31	Coton	3.10	8.67^4	7.08^5	2.80^4	2.00^{-1}
32	Coton	1.36	4.22^4	3.02^5	3.01^4	2.10^{-1}
35	Essence F	6.50	1.31^5	2.46^6	2.80^4	1.30^{-1}
36	Essence F	1.39^1	3.00^5	3.92^6	2.14^4	1.71^{-1}
38	Transformateur	4.39	2.30^5	5.95^5	5.22^4	8.24^{-1}
39	Transformateur	1.95	7.75^4	3.40^5	2.97^4	1.75^{-1}
56	Sodium	5.88^{-1}	1.42^4	2.34^5	2.41^4	1.39^{-1}
57	Sodium	9.79^{-1}	2.67^4	2.57^5	2.72^4	1.82^{-1}

TABLEAU III_b: groupe 3

N°	COMBUSTIBLE	$N_0\beta_0$	S_0	N_0	C_c	\bar{D}
12	Carton Tromblon DEF	2.02	7.13^4	4.33^5	3.52^4	2.29^{-1}
19	Carton dans boîte	9.16^{-2}	3.66^3	4.52^4	4.00^4	1.62^{-1}
23	Câble PVC	1.40	6.05^4	2.70^5	4.32^4	2.67^{-1}
25	Câble PVC	5.73^{-1}	3.24^4	1.46^5	5.68^4	2.62^{-1}
26	Câble néoprène	8.92^{-1}	3.25^4	2.73^5	3.50^4	1.76^{-1}
29	Câble néoprène	1.62	6.35^4	3.64^5	3.91^4	2.37^{-1}
37	Transformateur	4.39	2.30^5	5.95^5	5.22^4	3.5^{-1}
52	Câble caoutchouc	6.89^{-1}	2.39^4	1.82^5	3.86^4	2.05^{-1}

Corrélation avec d'autres études

En se référant aux données acquises par l'équipe américaine animée par Burowski et Mulholland, on a calculé les paramètres de 20 des 25 granulométries réalisées. Ces essais mettent en particulier, l'incidence du vieillissement de l'aérosol source arrêtée (foyer éteint).

On a donc reporté les valeurs du coefficient de combustion sur la figure n°2 pour les comparer avec les résultats de cette étude.

Les paramètres caractéristiques de ces 17 combustions se groupant avec un coefficient de corrélation $R = 0,962$ au tour de droite de régression (11), figure n°7.

$$(11) \quad \beta_0 N_0 = 3,79 \cdot 10^{-5} S_0 + 0,630.$$

Cette représentation moyenne est en bon accord avec celle de l'aérosol standard (2) (3).

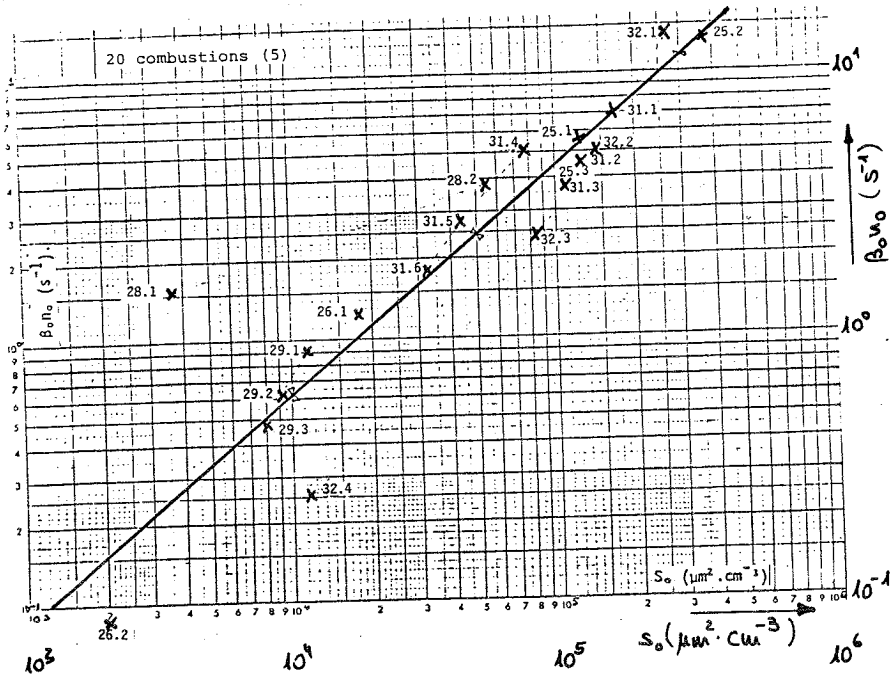


Figure n°7 : Les 20 granulomètres des chercheurs américains se groupent avec une bonne corrélation $R = 0,962$ autour de la droite d'équation $B_0 N_0 = 3,79 \cdot 10^{-5} S_0 + 0,630$.

On doit remarquer que la famille 25, lampe Wick, est pratiquement sur cette droite. L'aérosol émis est représentatif de cette famille de combustions : les familles 29 - 31 - 32 montrent l'évolution des paramètres, des aérosols de cellulose et d'amadou, la famille 26, l'incidence de la vitesse de l'air, et le mode de combustion apparaît en 28.

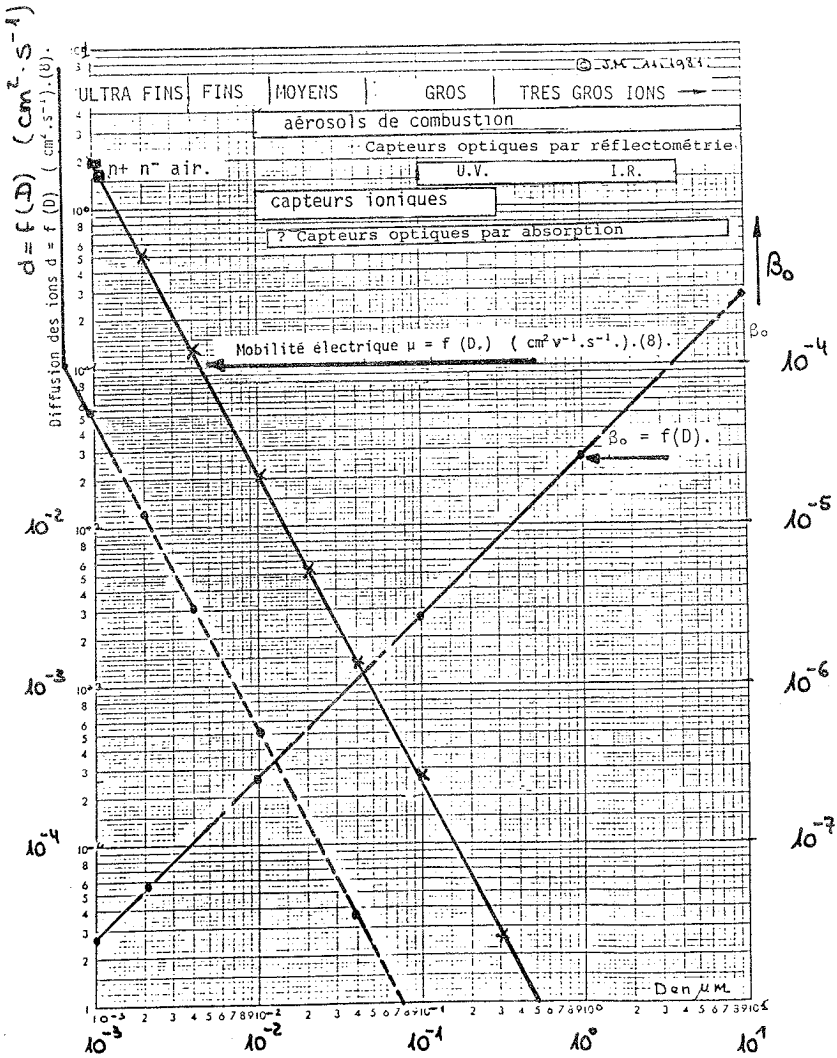


Figure n°8

ANNEXE I

Rappel de la définition des paramètres physiques des aérosols

Bricard (8) dans la physique des aérosols définit :

la mobilité électrique μ ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

le coefficient de diffusion d ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

le coefficient d'attachement β ($\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) des ions sur les particules de diamètre D_i .

En se basant sur le tableau de la page 211 (8) on remarque que

$$d = 2,5 \cdot 10^{-2} \mu.$$

Le coefficient β est au coefficient de diffusion d par la relation

$$\beta = 2\pi \cdot d \cdot D_i \quad D_i \text{ (cm).} \quad \text{ou}$$

$$\beta = 2\pi \cdot 2,5 \cdot 10^{-2} \mu \times 1 \cdot 10^{-4} D_i \quad (D_i \text{ en } \mu\text{m}).$$

$$\beta = 2,67 \times 10^{-5} D_i.$$

Pour cette analyse la valeur de β est prise égale à $2,7 \times 10^{-5} \times D_i$.

L'incidence des conditions climatiques s'obtient à l'aide de la relation :

$$\mu = \mu_0 \times 760 \times p^{-1} \times T \times (273)^{-1}. \quad p \text{ en mm Hg. } T \text{ en } ^\circ\text{K.}$$

Pour de l'air sec, une variation de pression de 750 à 790 mm Hg se traduit par une variation de β de 4 %.

Si la température passe de 0° à 60°C la variation correspondante est de 22 %.

En pratique, la relation suivante tient compte des conditions climatiques et du milieu :

$$\beta = 4,373 \times 10^{-5} \mu_0 \times T \times p^{-1}.$$

Les particules des aérosols de combustion évoluent rarement dans un milieu idéal.

L'évolution de ces paramètres en fonction de la granulométrie est indiquée sur la figure n°8.

ANNEXE II

1 - Rappel du principe d'une chambre d'ionisation

La source isotopique d'une chambre d'ionisation produit une intensité d'ionisation q ($\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

A un instant donné t la concentration ionique $dn \cdot dt^{-1}$ dépend de la concentration en ions n (cm^3) de la valeur du coefficient de recombinaisons α ($\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) de la concentration en particules N de l'aérosol et de la valeur du coefficient d'attachement des ions sur les particules considérées ici comme neutres

$$\underline{dn \cdot dt^{-1} = q - \alpha n^2 - \beta \cdot n \cdot N.}$$

La valeur du produit $N\beta$ détermine la réponse des capteurs ioniques et peut être choisie comme paramètre traduisant l'incidence du signal.

2 - Rappel des définitions du tracé des courbes granulométriques

On peut parmi d'autres représenter un spectre granulométrique sous la forme d'un graphique logarithmique double où l'on porte en abscisses la valeur du diamètre des particules d_p , exprimée en μm et en ordonner la quantité $\Delta N \times (\Delta \log np)^{-1}$ par cm^{-3} .

En effet, l'analyseur de granulométrie TSI 3030 exploite son domaine de mesure de 0,0032 à $1 \mu\text{m}$ réparti en 10 canaux à la cadence d'un cycle toute les deux minutes.

La quantité N représente l'effectif d'une classe, le canal correspondant au pas de mesure défini de telle manière que la valeur de $\log d_p$ soit constante et égale à 0,25 pour toutes les classes de l'étendue explorée.

On aboutit donc à un histogramme conforme à celui de la figure AI.1.

A l'aide du compteur de particules ROYCO (5 canaux d'examen à raison d'un cycle par minute) on complète l'histogramme avec les classes de valeur géométrique moyenne de $1 \mu\text{m}$, $2 \mu\text{m}$ et supérieure à $3 \mu\text{m}$.

L'effectif de chaque classe est le quart de la valeur pour le diamètre d_p . Il correspond à celle portée sur la courbe granulométrique.

L'étendue de la classe donne le domaine d'incertitude de la représentation graphique.

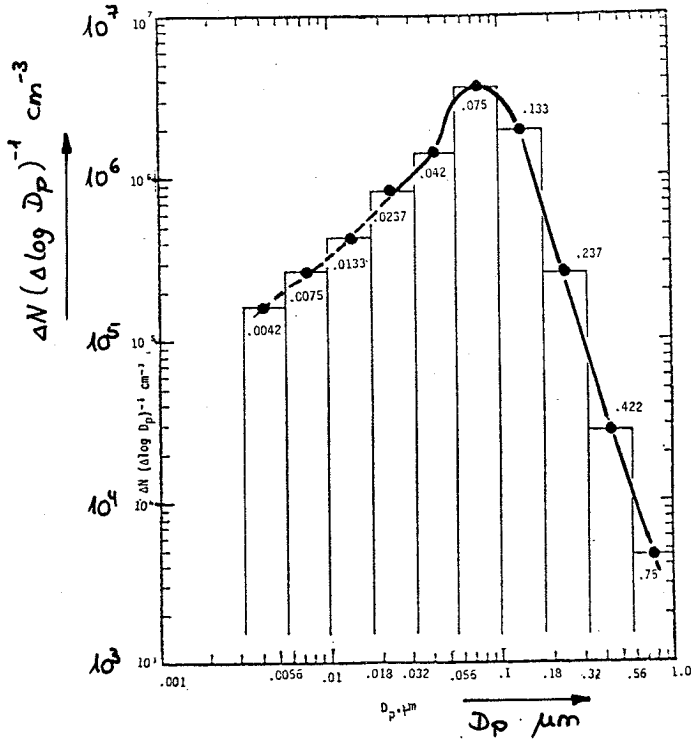


Figure II.1 : Suite des domaines de l'Electrical Aerosol Analyser (d'après 5).

ANNEXE III

Capteurs optiques

Foster (9) définit la densité optique Δ comme une fonction de la concentration massique C, du rayon de la particule a, de la densité de la particule d, de la valeur du chemin optique S, de la valeur de la section efficace d'absorption A, on aboutit à une relation de la forme :

$$\Delta = \frac{3c.s}{4 \pi} \frac{(S + A)}{a^3 \cdot d} \text{ qui est de la forme } \Delta = f(R^{-3})$$

L'aérosol de combustion est polydispersé S et A deviennent alors des fonctions complexes de la distribution, de l'indice de réfraction, de la valeur d de la longueur d'onde.

Une telle complexité conduit à rechercher des relations empiriques entre la densité optique et la masse de l'aérosol. Bukowski et Mulholland (5) situent la réponse des capteurs par réflectométrie : elle dépend de la dimension des particules, d'une relation complexe de la valeur de l'indice de réfraction, de l'angle de réfraction du volume réfracté, de la longueur d'onde de la lumière et de la forme des particules (cylindriques ou ellipsoïdales) suivant la taille des particules on définit 3 domaines en fonction de λ :

Domaine		Réponse du capteur
Rayleigh	$d_p < 0,1 \lambda$	$\Sigma = f(d^6)$
Moyen	$0,1 \lambda < d_p < \lambda$	$f(D) < \Sigma < f(d^6)$
Bricard	$d_p > 4 \lambda$	$\Sigma = f(d^2)$

Dans la région moyenne la réponse oscille entre les deux valeurs limites. Pour un milieu monodispersé l'opacité se définit ainsi :

$$\phi = \phi_0 \exp (-K.d.x). \quad x : \text{épaisseur traversée.}$$

Pour un milieu polydispersé la valeur de Kd s'obtient à l'aide de la relation :

$$Kd = \Sigma_i \cdot \pi \cdot N_i \cdot R_i^2 \cdot Q_d \cdot \quad Q_d : \text{facteur de taille de la particule } d_p.$$

L'opacité peut être considérée comme une fonction de la surface totale S_0 de l'aérosol qui est choisie comme paramètre de sensibilité des capteurs optiques.

ANNEXE IV

Charges électrostatiques des aérosols : nombre de charges élémentaires se fixant sur une particule d'un diamètre donné

Les particules d'un aérosol peuvent fixer suivant leur diamètre une ou plusieurs charges positives ou négatives. Suivant les cas ces particules sont considérées comme neutres ou polarisées. Bricard (8) dans la physique des aérosols donne un tableau mentionnant le pourcentage de particules polarisées portant une ou plusieurs charges en fonction du diamètre de ces particules. Ce tableau est reproduit en indiquant la valeur du diamètre des particules en μm .

Pratiquement la mesure des charges globales que porte un aérosol fait appel à des mesures fines d'électrométrie qui se situent de 10^{-12} à 10^{-4} A.

La discrimination du nombre de charges qui portent des particules d'un diamètre donné fait appel à des procédés de déviation électrostatique dans le dispositif approprié du domaine du laboratoire (12).

Au cours de la campagne d'essais de Juin 1978, seule la mesure des charges globales a été effectuée entre 2.5 et 6 mètres (distance foyer capteur). Ces mesures réalisées seulement au niveau des capteurs n'ont pas donné de résultats significatifs, l'hypothèse de Litton (4) de ne considérer que des particules neutres constitue une hypothèse de travail pragmatique que l'on a aussi retenu dans cet exposé.

TABLEAU I

R cm	10^{-7}	3.10^{-7}	10^{-6}	3.10^{-6}	10^{-5}	3.10^{-5}	10^{-4}
D μm	2.10^{-3}	6.10^{-3}	2.10^{-2}	6.10^{-1}	2.10^{-1}	6.10^{-1}	2
$\frac{N_1}{N_0}$	0,0056	0,024	0,45	0,59	0,77	0,91	0,9
$\frac{N_2}{N_0}$	0	0	$0,56.10^{-3}$	0,36	0,43	0,71	0,8
$\frac{N_3}{N_0}$	0	0	0	$0,81.10^{-3}$	0,102	0,46	0,7
$\frac{N_4}{N_0}$	0	0	0	0	0,021	0,25	0,6

ANNEXE V

Ce modèle d'analyse des courbes granulométriques, appliqué à près de 100 combustions, a permis d'obtenir les paramètres de sensibilité des détecteurs de fumée.

Globale, cette approche peut être affinée en évaluant l'incidence de chaque classe de l'histogramme de base. A l'intérieur d'une classe, dans l'état actuel des moyens d'investigation, on considère l'aérosol comme étant monodispersé pour le diamètre moyen correspondant (Annexe II).

Chaque sensibilité élémentaire est modulée, soit directement ($n_i s_i$), soit indirectement ($\beta_i n_i$), par la population correspondante.

Si, comme on l'a fait sur la figure 1 pour évaluer la sensibilité intrinsèque, on choisit pour chaque classe une même population, alors le niveau du signal croît avec la granulométrie.

Mais en réalité, l'aérosol évoluant entre le moment de son émission (par le foyer) et le capteur d'une part et d'autre part, on constate expérimentalement qu'à partir d'un diamètre moyen de quelques dixième de micron, la population décroît avec la granulométrie.

Suivre ce phénomène revient à associer aux courbes granulométriques la variation des paramètres de sensibilité en fonction du diamètre moyen de chaque classe.

Cette approche va être illustrée à l'aide d'un foyer choisi au milieu de chaque classe et par les principaux foyers tests.

Ainsi il nous semble possible de mieux cerner la somme importante des informations contenues dans les courbes granulométriques, en particulier l'évolution dans le temps, en se référant aux relevés de Bukowski et Mulholland sur les foyers d'amadou par exemple ou de cellulose.

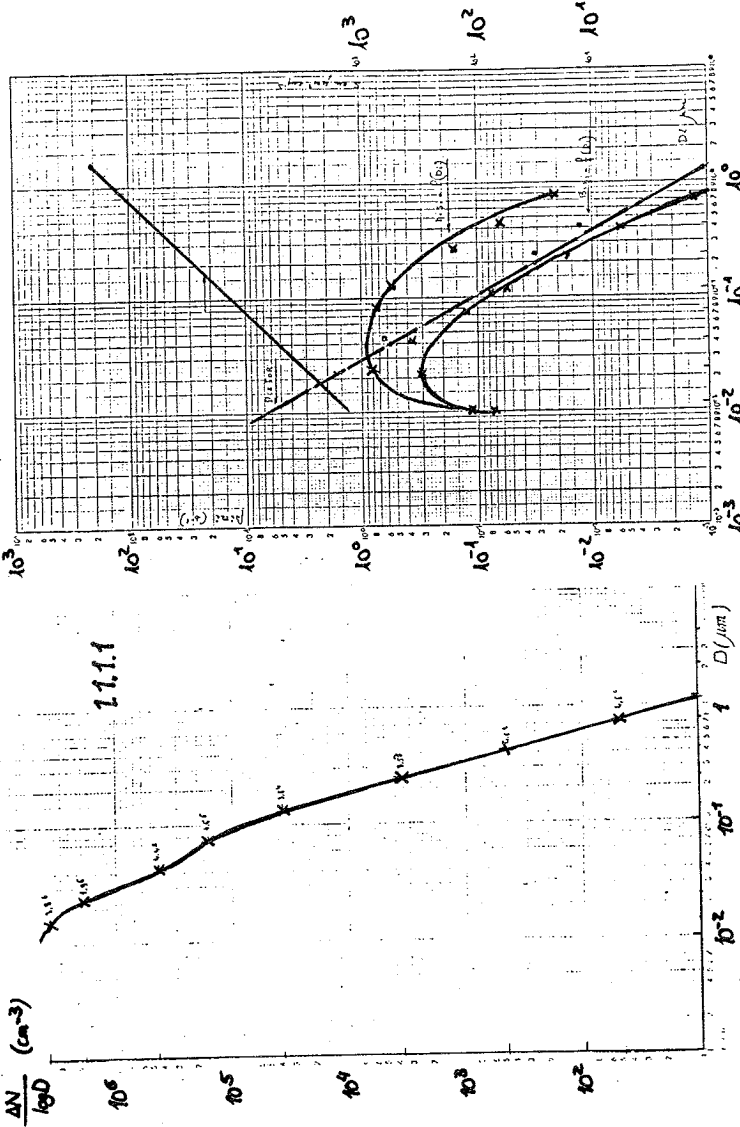


Figure V.1.1 : Foyer d'éthanol (n°1 tableau 1). Sa fine granulométrie $\bar{d} = 0,03 \mu\text{m}$ le classe dans le groupe 1A. Malgré une forte population le niveau de ce signal s'avère faible pour les générations actuelles de capteurs de fumée. La combustion 10 - Tromblon D.E.F. pour un même nombre de particules et un coefficient de combustion de 3.124 contre 3.863 fournit un signal auquel répond la majorité des capteurs.

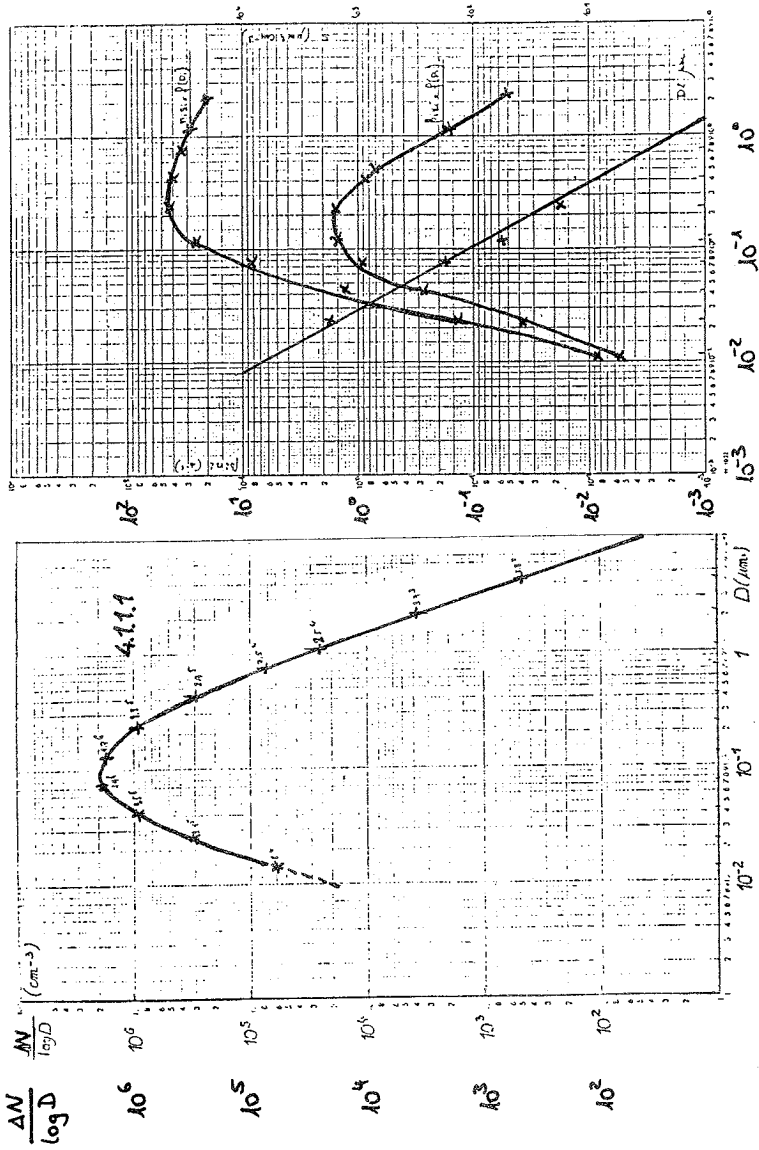


Figure V.2 : Tromblon D.E.F. (n°10 tableau I). Ce foyer avec un coefficient de combustion de $3,12 \cdot 10^4$ et un diamètre moyen d'aérosol de $0,19 \mu\text{m}$, se classe dans le groupe II. Il fournit un signal de niveau important.

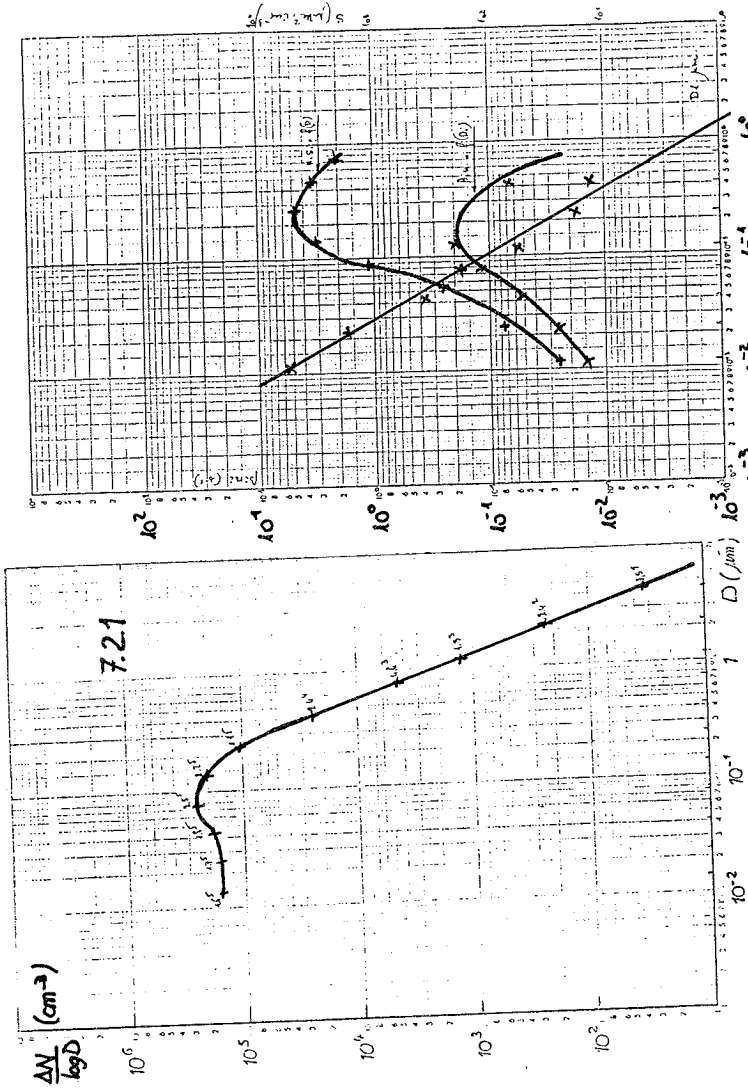


Figure V.3 : Pyrolyse de PVC par surcharge (n°24 tableau I). La pyrolyse aboutit à une inflammation. Les aérosols émis de diamètre moyen $0,14 \mu\text{m}$ correspondent à un coefficient de combustion $2,43^4$

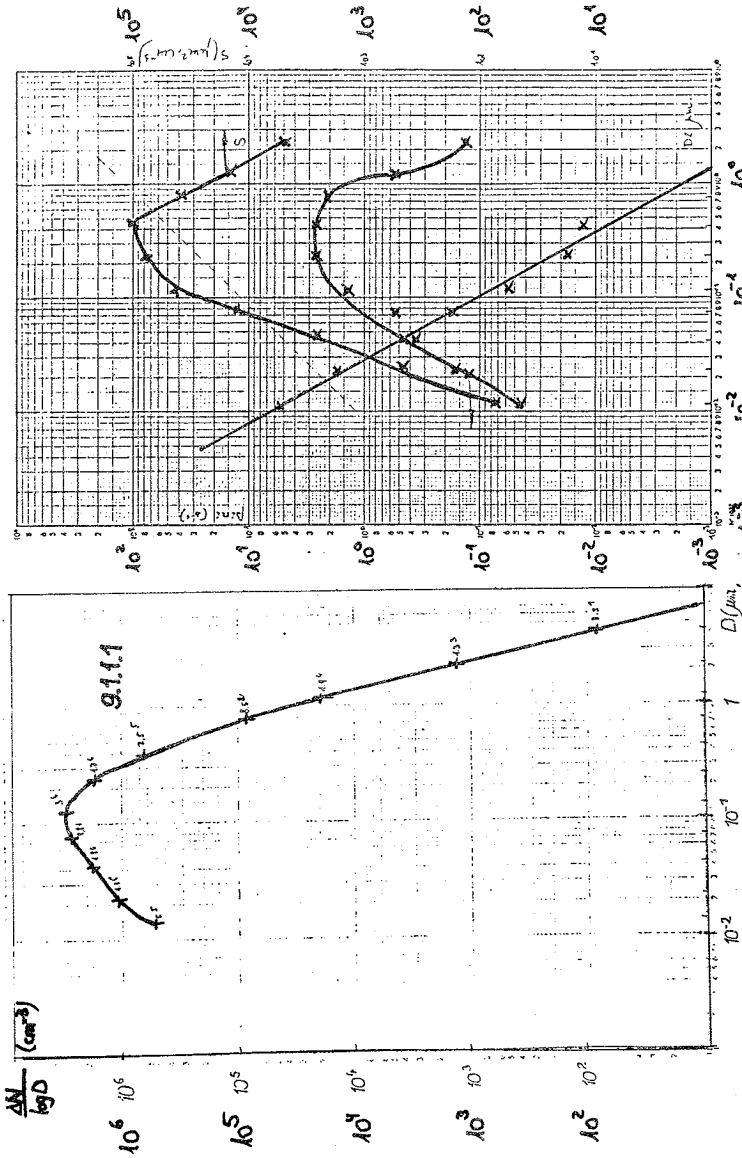


Figure V.4 : Foyer de coton (n°30 tableau I). Avec un diamètre moyen de $1.2 \mu\text{m}$ les aérosols se classent dans le groupe II avec un niveau de signal important pour les deux familles de détecteurs de fumée.

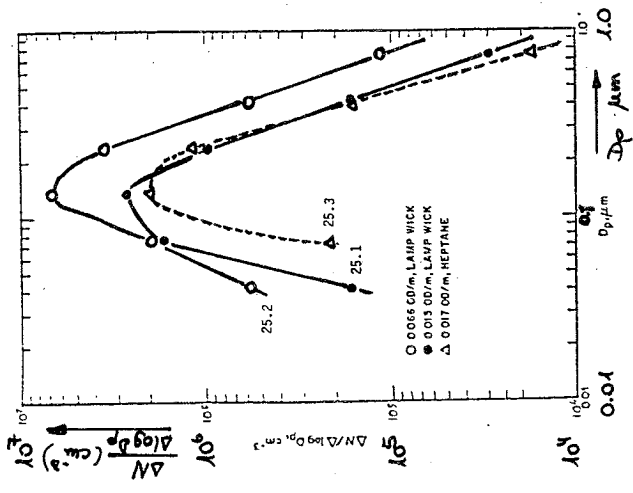
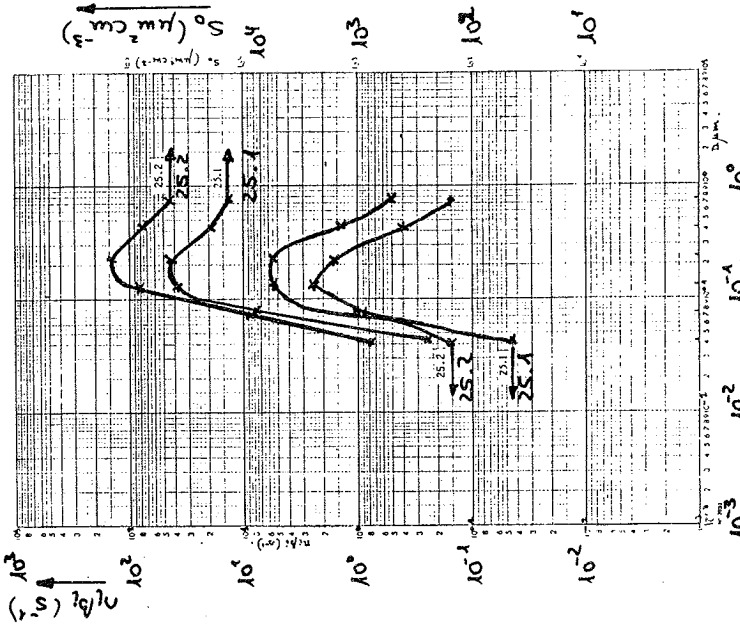


Figure 4. Particle size distribution for lamp wick and heptane burner.

Figure V.5 : Lampe Wick (n° L1-L2 tableau I), les valeurs de la granulométrie moyenne = 0,14 µm et du coefficient de combustion 2,34 le classe dans le groupe IB. d'importance de la population émise entraînant une opacité de 0,016 00.m-1 provoque un signal important qu'il conviendrait d'exploiter dans les installations d'essais. Ce signal est, comme on le verra plus loin, en très bon accord avec la majorité des combustions réalisées.

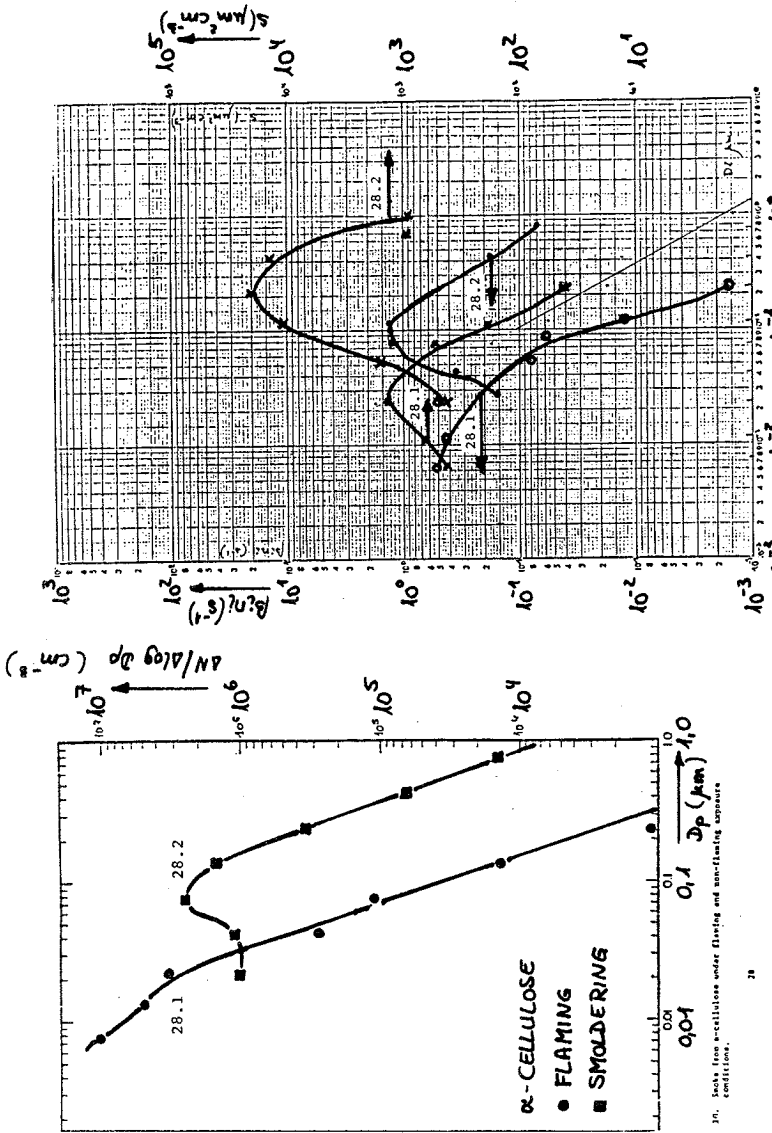


Figure 5.6 : Foyers de cellulose (n° L6-L7 tableau I). Ces deux foyers illustrent l'incidence du mode de combustion sur la granulométrie qui varie d'environ une puissance de 10 entre le mode flambant et le mode couvant. Le coefficient de combustion passe de 2.35 à 1.74. Malgré sa dynamique élevée le signal du flambant est faible pour le capteur ionique et devient insuffisant pour le capteur optique en mode flambant. En mode couvant il est favorable aux capteurs ioniques et devient significatif pour les capteurs optiques.

20. Both fire reactions under flaming and non-flaming conditions.

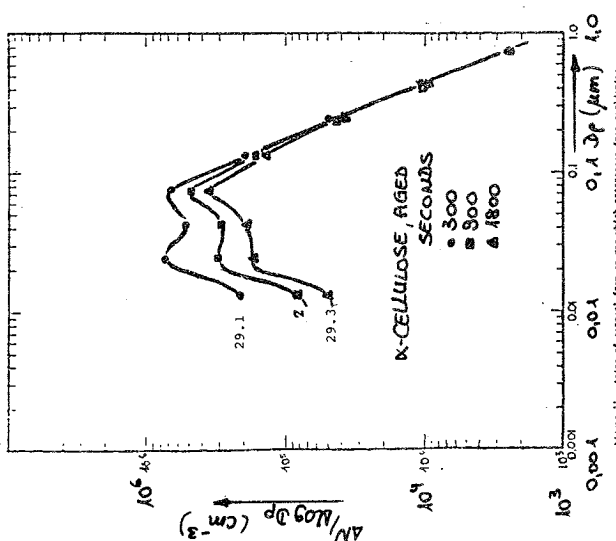
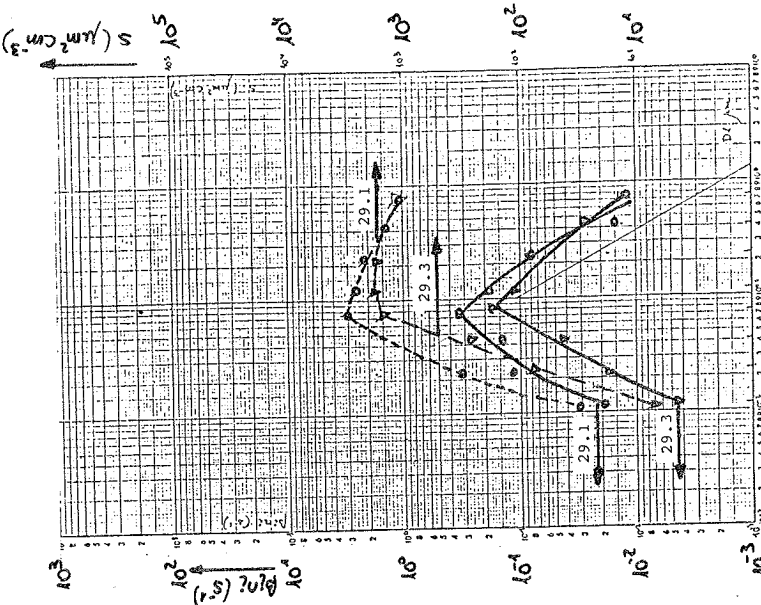


Figure 11. Aging of aerosol from source which progresses from emulsifier to flaring.

Figure V.7 : Evolution dans le temps de la granulométrie d'une pyrolyse de cellulose α évoluant vers le mode flambant (n° 18-19-10 tableau I). Si la valeur du coefficient de combustion varie peu autour de 1.54, la valeur de la population décroît et celle du signal s'avère ici insuffisante pour obtenir une réponse rapide des générations de capteurs actuels.

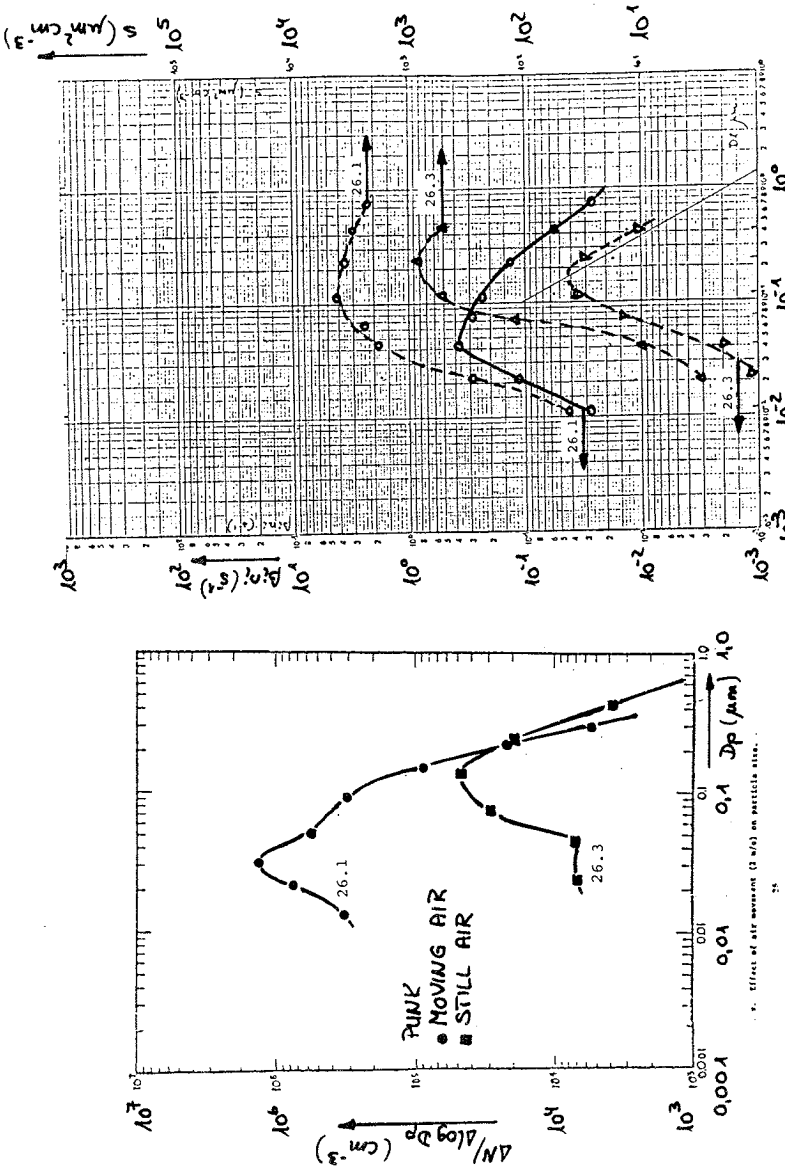


Figure V.8 : Incidence de la vitesse de l'air sur la granulométrie d'un foyer d'amadou (n°L4-L5 tableau I). En variant de 0 m.s^{-1} à 2 m.s^{-1} la granulométrie passe de $0,1 \mu\text{m}$ à $0,02 \mu\text{m}$. La dynamique de la combustion s'accroît et le niveau du signal devient significatif.

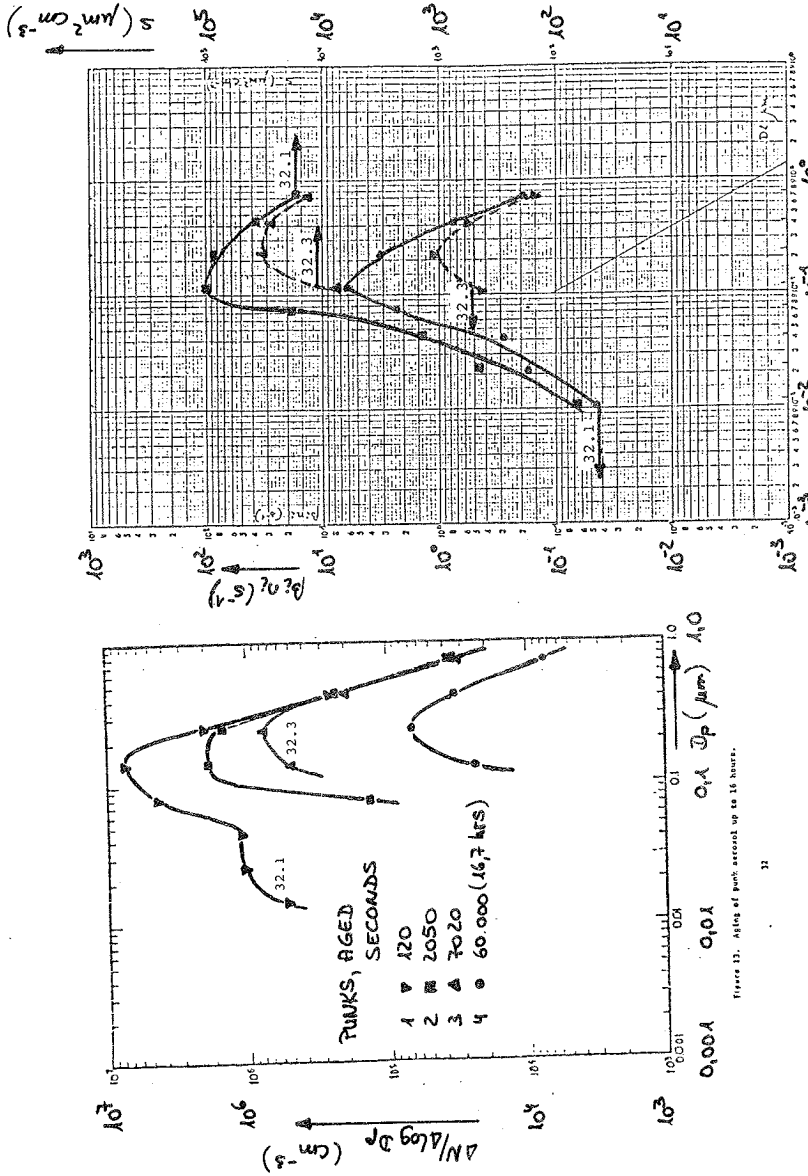


Figure 13. Aging of push second up to 16 hours.

Figure V.9 : Evolution en fonction du temps d'un foyer d'amadou (n° L17 à L20 tableau I). La population et le niveau du signal varient en fonction inverse de la durée. La valeur du coefficient de combustion s'accroît (facteur 2 environ). Le niveau du signal paraît encore acceptable au bout de 7020 secondes.

ANNEXE VI

Comparaison des procédés de simulation

Pour obtenir un mode d'appréciation des procédés de simulation du début des incendies on situe, par rapport aux valeurs moyennes que représente la droite de régression (5) $N_0\beta_0 = 4,144 \times 10^{-5} S_0 + 0,532$, image des 59 combustions réalisées lors d'une précédente étape (1), la valeur des paramètres de sensibilité du signal correspondant aux divers procédés de simulation.

On voit sur les figures VI.1 et 2 où l'on porte $N_0\beta_0$ pour les capteurs ioniques en ordonné et S_0 pour les capteurs optiques en abscisse que la droite de régression (5) sépare le plan en deux domaines :

- la partie supérieure gauche domaine favorable aux capteurs ioniques,
- la partie inférieure droite domaine favorable aux capteurs optiques.

Cette séparation, relative, n'est valable qu'à partir d'un niveau seuil, fonction de la position du point de consigne de la génération de capteurs considérés. A titre d'exemple, on peut admettre que la réponse s'obtient :

- pour un capteur ionique si $N_0\beta_0 > 3 \text{ (s}^{-1}\text{)}$
- pour un capteur optique si $S_0 > 5.10^4 \text{ (}\mu\text{m}^2.\text{cm}^{-3}\text{)}$.

Ces valeurs arbitraires moyennes dépendent de la valeur du rapport signal-bruit déterminant la position des points de consigne que choisit chaque industriel pour chacune des générations de capteurs de sa gamme. La position relative de ces divers points de consigne détermine un domaine où apparaît les performances relatives de ces capteurs dans le cadre des spécifications correspondantes. Il en est de même pour apprécier les divers modes de simulation du signal.

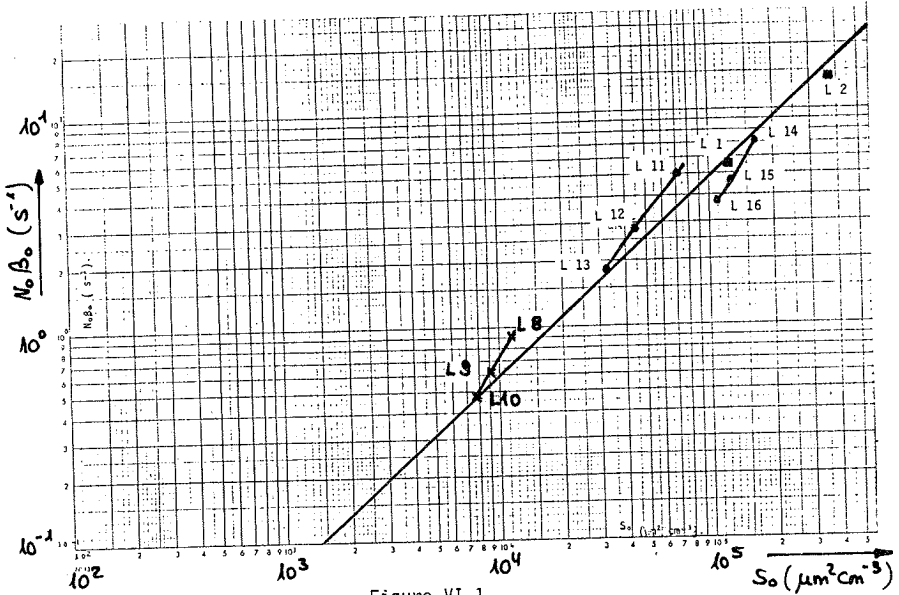


Figure VI.1

VI : Examen des divers procédés de simulation

VI.1 : Pyrolyse de cellulose

La pyrolyse de la cellulose est utilisée comme procédé de simulation du signal pour tester les détecteurs de fumée.

Mulholland dans son étude de 1978 (5) a publié une série de relevés granulométriques qui figurent à la fin du Tableau I.

En reportant les valeurs des paramètres de sensibilité sur la figure VI.1 on remarque que le groupe L8-L9-L10 de faible niveau pour obtenir une réponse se situe au dessus de la droite de régression d'équation (5).

Le groupe L11-L12-L13 correspondant à une pyrolyse à 395°C, de niveau moyen, se situe aussi au dessus de la droite de régressions et tend à favoriser légèrement les capteurs ioniques.

Par contre le groupe L14-L15-L16, pyrolyse à 485°C, de niveau important tendra à favoriser les capteurs optiques.

On voit que la température de pyrolyse de cette qualité de cellulose a une incidence sur la nature et le niveau du signal, l'évolution dans le temps paraît comparable pour les trois groupes.

On a aussi mentionné sur cette figure la position des aérosols émis par la lampe Wick (L1-L2) qui sont en très bon accord avec la droite de régression, avec un niveau important du signal.

Un essai complémentaire, avec relevés granulométriques à diverses opacités complémentaires, s'impose, la corrélation apparaissant meilleur avec les aérosols émis par cette lampe.

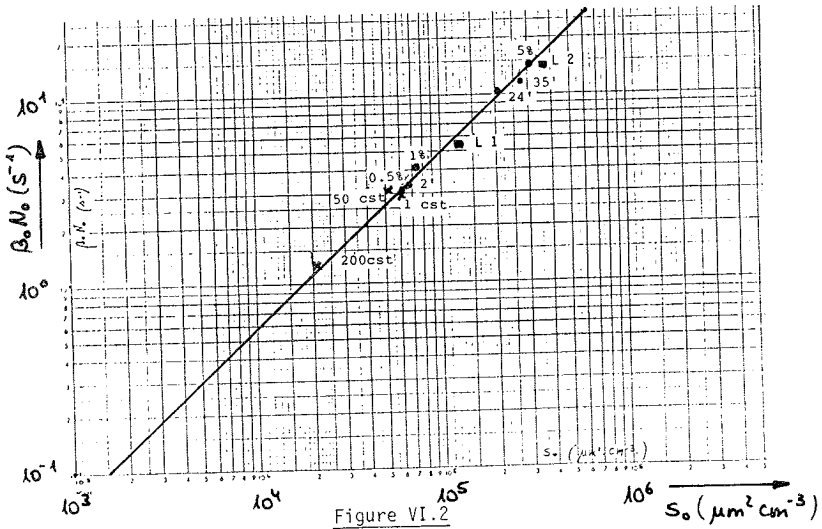


Figure VI.2

VI.2 : Aérolyseur Gauchard

Dans la suite des essais effectués à l'aide du générateur Gauchard (2) on a successivement comparé de l'huile de paraffine et des huiles de silicone D.C. 200 de différentes viscosités 1. 50. 200 cst.

En reportant la valeur des paramètres de sensibilité sur la figure VI.2 on vérifie successivement l'incidence de la viscosité repérée par une croix (x) de la durée de l'émission dans le tunnel (de 2 à 359 minutes : ⊙) de la valeur de l'opacité entre 0,5 et 5 % repérée par un . (figure VI.2).

TABLEAU V

Simulation du début d'un incendie, données tirées de U950-20 (2)

N°	MATIERE	N ₀ β ₀	S ₀	N ₀	C _c	D
U 1	DC.200 - 1 cst - 2 %	1.43 ¹	3.24 ⁵	4.08 ⁶	2.27 ⁴	1.59 ⁻¹
U 2	DC.200 - 1 cst - 1 %	4.46	6.44 ⁴	2.11 ⁶	1.44 ⁴	9.86 ⁻²
U 3	DC.200 - 1 cst - 0,5 %	3.14	4.27 ⁴	1.57 ⁶	1.36 ⁴	9.30 ⁻²
U 4	DC.200 - 1 cst - 2'	3.33	4.67 ⁴	1.66 ⁶	1.40 ⁴	9.46 ⁻²
U 5	DC.200 - 1 cst - 24'	1.03 ¹	2.10 ⁵	3.15 ⁶	2.04 ⁴	1.46 ⁻¹
U 6	DC.200 - 1 cst - 35'	1.14 ¹	2.77 ⁵	3.24 ⁶	2.43 ⁴	1.65 ⁻¹
U 7	DC.200 - 1 cst - 1 %	3.96	6.01 ⁴	1.85 ⁶	1.52 ⁴	1.02 ⁻¹
U 8	DC.200 - 50 cst - 1 %	3.08	5.31 ⁴	1.49 ⁶	1.72 ⁴	1.07 ⁻¹
U 9	DC.200 - 200 cst - 1 %	1.22	2.11 ⁴	7.74 ⁵	1.73 ⁴	9.32 ⁻²
U10	Amadou - 0,5 %	2.02	2.69 ⁵	1.28 ⁷	1.33 ⁴	8.18 ⁻²
U11	Amadou - 1 %	1.33 ¹	1.65 ⁵	7.80 ⁶	1.24 ⁴	8.21 ⁻²
U12	Amadou - 5 %	7.92	1.97 ⁵	2.06 ⁶	2.49 ⁴	1.74 ⁻¹
U13	Amadou - 15'	6.14	1.53 ⁵	1.68 ⁶	2.48 ⁴	1.70 ⁻¹
U14	Amadou - 30'	3.51	1.11 ⁵	1.02 ⁶	3.16 ⁴	1.86 ⁻¹
U15	Amadou - 52'	1.81	3.50 ⁴	7.45 ⁵	1.93 ⁴	1.22 ⁻¹
U16	H. paraffine 0,5 %	1.26	2.26 ⁴	6.74 ⁵	1.79 ⁴	1.03 ⁻¹
U17	H. paraffine 1 %	9.58 ⁻¹	2.72 ⁴	3.11 ⁵	2.84 ⁴	1.67 ⁻¹
U18	H. paraffine 4,2 %	4.38 ⁻¹	1.38 ⁴	2.10 ⁵	3.15 ⁴	1.42 ⁻¹
U19	H. paraffine 7'	1.42	2.62 ⁴	6.96 ⁵	1.85 ⁴	1.09 ⁻¹
U20	H. paraffine 13'	1.11	3.59 ⁴	3.76 ⁵	3.23 ⁴	1.74 ⁴

Nota : Se reporter à la fin du tableau I où figure des données traitées de Mulholland (5).

Les paramètres de sensibilité liés à l'huile de paraffine ne figurent pas sur la figure VI.3, leurs niveaux étant insuffisants pour les capteurs ioniques.

Parallèlement on situe en L1 et L2 les aérosols de la lampe Wick. L'ensemble se trouve en très bon accord avec la droite de régression d'équation (5).

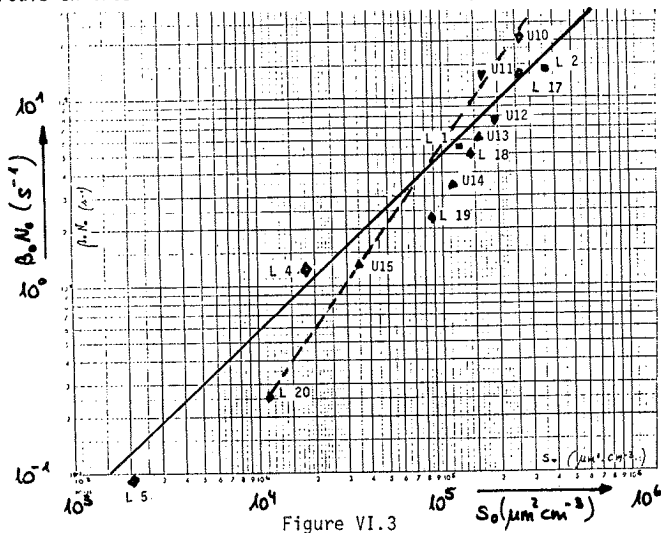


Figure VI.3

VI.3 : Mèche Amadou

Les données de base proviennent soit des relevés de Vendel et Pourprix (2) soit de Mulholland (5).

Le modèle d'analyse permet de situer les données traitées par rapport à la droite de régression d'équation (5) (figure VI.3).

En un temps court, 2 minutes (5), ou une faible opacité 0,5 % (2) on obtient un signal de niveau important, sans pour autant constater un très bon accord entre ces deux déterminations. Expérimentalement, on constate une réaction très rapide des capteurs ioniques aux aérosols émis par la pyrolyse de l'amadou.

Doit-on attribuer les différences constatées au mode de combustion ou plutôt à la très grande influence de la vitesse de l'air (5), aussi il a paru préférable d'associer l'ensemble des données de ce combustible en un tableau complémentaire destiné aux expérimentateurs qui utilisent ce procédé pour essayer les capteurs ioniques. Des essais complémentaires s'imposent. La figure VI.3 traduit ces constatations.

CONCLUSIONS

Le modèle proposé de traitement des informations contenues dans les courbes granulométriques a permis de définir un coefficient de combustion.

Le coefficient de combustion permet de classer les foyers en fonction de leur nature et de leur dynamique. Le diamètre moyen correspondant de l'aérosol permet de cerner le domaine de réponse des générations actuelles de détecteurs de fumée.

Avec la corrélation établie, actuellement sur près de 100 combustions, on a une confirmation issue de données expérimentales sur les possibilités de aérolyseurs pour simuler le début d'une combustion.

Le chercheur ainsi que le contrôleur en usine ont la possibilité de vérifier facilement la réponse des divers capteurs.

Les bureaux d'études trouveront également un mode d'appréciation complémentaire basé sur des mesures expérimentales, pour choisir les familles de capteurs adaptés aux risques potentiels et ainsi d'améliorer l'efficacité que procure une détection précoce.

B I B L I O G R A P H I E

- (1) Convention Ministère de l'Industrie C.E.A. - D.E.F. n°292 - 232
J. MARS - G. ROUX
14.02.1979 - Rapport final non publié -
- (2) M. POURPRIX - J. VENDEL Note d'essais U95020 - Juillet 1980
non publiée
- (3) G. ROUX - H. POURPRIX - J. VENDEL
R.G.S. Oct. 1981 (69-77)
Nov. 1981
- (4) CH. D. LITTON
Fire Technology (266-281) - 1977 -
- (5) R. W. BUROWSKI - G. W. MULHOLLAND
N.B.S. 9 n°973 - 1978 -
- (6) T. G. K. LEE - G. W. MULHOLLAND
N. B. SIR 77 1312 - Nov. 1977 -
- (7) P I S T O R I E N T Aix la Chapelle (R. F. A.)
Communication au symposium des Automatismes en sécurité d'incendie
20.01.1975.
- (8) J. BRICARD
Physique des Aérosols C.E.A. - R - 4831 (2) 237
- (9) W.W. FOSTER - B.J. of Applied Physics V. 10 (09.1959)
- (10) M. MOLIÈRE - G. ROUX - H. POURPRIX
Fire International 09.12.1980 (73-80)
- (11) M. MOLIÈRE - G. ROUX - H. POURPRIX
Face au risque n° 172 - Avril 1981 (35-38)
- (10) et (11) Entrent dans le cadre de la Convention 292-232.
- (12) J. P. HOSEMANN - H. N. GILSON
Théorie et pratique des chambres d'ionisation
West Deutscher Verlag Opladen Nr 2336.

Dr. Gustav Pfister
CERBERUS AG, CH-8708 Männedorf

Detektion von Brandgasen mit Festkörpersensoren
Schwerpunkte der Forschungsaktivität

1. Einleitung

Das Gebiet der Sensorforschung ist heute sehr aktuell. Man sucht dabei intensiv nach Methoden, physikalische und chemische Vorgänge in elektrische Signale umzusetzen, welche dann für bestimmte Steuerzwecke weiterverarbeitet werden können. Anlass zu dieser noch recht jungen Forschungsdisziplin geben einerseits das zunehmende Bedürfnis, beispielsweise technische Prozesse energiebewusster zu steuern oder die Gasatmosphäre und Gewässer unserer Umwelt zu überwachen. Andererseits erlauben die durch die Mikroelektronik hervorgebrachten Technologien und Signalverarbeitungsmöglichkeiten die Realisation von neuartigen Sensorkonzepten, welche sich für preisgünstige Massenprodukte eignen.

Ein Gebiet, welches sehr viel Beachtung findet, ist die Detektion von kleinsten Konzentrationen von toxischen, explosiven und brennbaren Gasen. Von aktuellem Interesse sind dabei die sogenannten Festkörpergassensoren, welche darauf beruhen, dass physikalische Eigenschaften geeigneter fester Stoffe durch Spurengase messbar geändert werden. Verschiedene neuartige Konzepte der Gasdetektion wurden in letzter Zeit als Forschungsaktivität vorgestellt. Es soll in diesem Beitrag überprüft werden, ob sich auf dem Gebiet der Festkörpergassensoren Möglichkeiten abzeichnen, welche sich für den zuverlässigen Nachweis von Brandgasen eignen.

2. Idealer Brandgassensor

Es wird zunächst dargelegt, was von einem Brandgassensor realistisch erwartet werden kann. Dabei denken wir vor allem an dessen Einsatz in Industriebauwerken, Hotels und Spitälern. Da solche Systeme im allgemeinen eine grössere Anzahl von Sensoren enthalten, muss, schon rein wegen der Notstromversorgung und dem Spannungsabfall in der Versorgungsleitung, die Leistungsaufnahme pro Sensor beschränkt sein. Für ein dreiadriges System mit 50 Sensoren dürfte diese nicht grösser als etwa 50mW pro Sensor sein (5V/10mA).

Die nächste Frage muss sich mit der Art und Konzentration des zu detektierenden Gases bzw. der Quersensitivität gegenüber Störgasen beschäftigen. Eine Zusammensetzung von Gasen, welche sich zuverlässig und in gleichem Mass

in jeder Brandsituation entwickelt, wurde bis heute nicht zur Zufriedenheit identifiziert. Sicher entwickeln spezielle Brände Gase, welche diesen Brand eindeutig kennzeichnen, und es kann sich herausstellen, dass gerade für solche Brandereignisse der Einsatz von Brandgassensoren geeignet ist. Dies besonders dann, wenn die Platzierung von konventionellen Branddetektoren, z.B. in Kabelschächten oder staubigen Umgebungen Mühe bereitet. Wir möchten aber hier das Spektrum der zu detektierenden Brandgase möglichst breit halten und Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Kohlenwasserstoffe, Halogenwasserstoffe sowie weitere Wasserstoffverbindungen einschliessen. Die Zusammensetzung dieser Gase hängt von einer Vielzahl von Parametern ab, vornehmlich vom Brandmaterial, nicht zuletzt aber auch von den Lüftungsbedingungen am Brandherd. Der ideale Gassensor muss daher einen möglichst grossen Anteil der in Frage kommenden Gase in einem Konzentrationsbereich detektieren, welcher unter den gesundheitlich erlaubten Toleranzen liegt und für das frühe Erkennen von Bränden gefordert wird. Für die meisten Gase dürfte eine Ansprechempfindlichkeit von 10 - 100 ppm genügen.

Das geforderte breitbandige Ansprechverhalten bringt eine erhöhte Wahrscheinlichkeit, dass nicht brandinduzierte Störgase falsche Alarmer bewirken. Ein möglicher Weg, solche Fehlerquellen zu eliminieren, besteht in der Verwendung von mehreren Gassensoren mit verschiedener Ansprechcharakteristik, welche mit Mikroprozessoren entweder am Ort des Sensors oder dann zentral verarbeitet werden. Die Kombination von Mikromechanik und Mikroelektronik eröffnet hier vielseitige Möglichkeiten.

Schliesslich sind die nicht minder wichtigen Anforderungen an die Langzeitstabilität, der Nullpunkt Konstanz, der Reversibilität und Ansprechgeschwindigkeit gegenüber Gaseinflüssen zu erwähnen. Sicherheitsanlagen haben traditionsgemäss eine sehr lange Lebensdauer, eine Forderung, welche auch an Brandgassensoren gestellt werden muss. Dabei dürfte eine wartungsfreie Lebensdauer von 3-5 Jahren vernünftig sein und auch im Bereich des Möglichen liegen.

Es darf hier festgestellt werden, dass bis heute kein kommerziell erhältlicher Gassensor das gestellte Anforderungsprofil erfüllt. Die intensive Forschungsaktivität der letzten Zeit berechtigt aber zur Hoffnung, dass die Realisation von billigen Festkörpersensoren für den Brandgasnachweis, zumindest in Kombination mit bewährten Branddetektoren, möglich sein wird.

Im folgenden Abschnitt sollen drei der wesentlichsten Prinzipien der Gasdetektion mit festen Körpern dargestellt und deren Eignung zur Brandgasüberwachung diskutiert werden.

3. Metalloxid-Gassensoren

Der elektrische Leitwert von verschiedenen Metalloxiden hängt bei erhöhten Temperaturen stark von der Konzentration an oxidierbaren Gasen in der umgebenden Atmosphäre ab. So lassen sich beispielsweise Spuren im ppm Bereich von Kohlenmonoxid (CO), Wasserstoff (H₂), Kohlenwasserstoffen (C_xH_y) oder Alkoholen (R-OH) ohne grossen Aufwand mit auf etwa 300 - 500°C erhitztem Zinnoxid nachweisen. Diese Tatsache wurde denn auch kommerziell ausgenutzt. Gassensoren auf der Basis von Metalloxiden werden heute für den Gasschutz weltweit eingesetzt. Es ist auch nicht verwunderlich, dass diese Sensoren empfindlich auf Brandgase ansprechen, und daher als Branddetektoren kommerzialisiert worden sind.

Metalloxid-Gassensoren sind heute Gegenstand intensiver grundlegender und anwendungsorientierter Forschung. Allerdings fehlt zur Zeit ein mikroskopisches Modell, welches die starke Abhängigkeit des elektrischen Leitwertes als Funktion einzelner oxidierbarer Gase befriedigend erklären kann. Wir sind aber schon jetzt in der Lage, aufgrund eines phänomenologischen Modells wesentliche Aussagen über die Verwendbarkeit der kommerziellen Metalloxidkeramiken als Brandgassensoren im Brandwarnsystem zu machen.

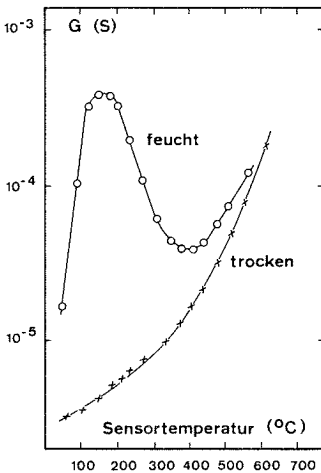
Der gasinduzierten Leitfähigkeitsänderung liegt eine chemische Reaktion an der heissen Metalloxidoberfläche zugrunde, wobei das auftreffende Gas oxidiert und die Oxidoberfläche reduziert wird. Beispielsweise werden CO in CO₂ und CH₄ in CO₂ und H₂O oxidiert. Die damit verbundene Entstehung von Oberflächensauerstoffvakanzan und die bei den höheren Betriebstemperaturen möglicherweise folgenden atomistischen Verschiebungen führen zur Bildung von suboxidischen Phasen an der Oxidoberfläche, was eine Änderung der Oberflächenleitfähigkeit bewirkt. Dieser Vorgang ist reversibel, d.h. bei Wegnahme des reduzierenden Gases wird die Oxidoberfläche durch die umgebende Atmosphäre wieder aufoxidiert. Bei hohen Gaskonzentrationen und langer Einwirkung ist die Reversibilität allerdings stark beeinträchtigt (1).

Für eine grosse Anzahl von Gasen findet man die Beziehung

$$G = G_0 + \alpha_g p^\beta \quad (1)$$

wobei G_0 der Ruheleitwert ohne Gas in reiner Luft, α_g eine gasabhängige Konstante, p der Gaspartialdruck und $\beta \sim 1/2$ sind. α_g ist eine Temperaturfunktion. α_g wie auch G_0 sind vom Feuchtegehalt der Luft abhängig (2).

In Figur 1 ist der Ruheleitwert G_0 von Zinnoxid als Funktion der Temperatur für feuchte und trockene Luftumgebung dargestellt. Man beachte, dass der Leitwert für feuchte Atmosphäre im Temperaturbereich um $\sim 200^\circ\text{C}$ durch ein Maximum geht, welches den entsprechenden Wert in trockener Atmosphäre um mehr als eine Grössenordnung übersteigt. Dieses Verhalten ist durch die chemische und physikalische Wechselwirkung des polaren Wassermoleküls mit den Dipolfeldern der stark ionischen Zinnoxidoberfläche bestimmt. Schon bei Zimmertemperatur führt die entstehende Dipol-Dipol Wechselwirkung zur Aufspaltung des Wassermoleküls, welches als chemisorbierte OH-Gruppe die freien Oberflächenvalenzen absättigt und so die Oberflächenenergie reduziert. Dieser chemisorbierten Schicht, welche gegenüber den freien Valenzen Donatorcharakter hat, ist bei Zimmertemperatur eine



Figur 1

Ruheleitwert von keramischem Zinnoxid als Funktion der Temperatur in trockener und feuchter Luft.
(nach A. Reis (2))

physisorbierte Wasserschicht mit Elektronenakzeptoreigenschaften überlagert. Mit steigender Temperatur desorbiert zunächst die physisorbierte Wasserschicht, was zum Maximum der Leitfähigkeit bei etwa 200°C Anlass gibt. Die darauf folgende Desorption von chemisorbiertem Wasser erstreckt sich bis über 500°C. Damit verbunden ist die Abnahme des elektrischen Leitwertes. Ab etwa 400°C beginnt sich schliesslich der Verlust an Oberflächenauerstoff bemerkbar zu machen, was zu einem Wiederanstieg des Leitwertes führt.

Die beobachtete Gasempfindlichkeit von Zinnoxidschichten liegt im Bereich 200 - 500°C, also dort, wo die Desorption der chemisorbierten Hydroxylgruppen erfolgt. Es ist deshalb auch nicht verwunderlich, dass die Hydratisierung der Metalloxydoberfläche die Gasempfindlichkeit, also den Faktor α_g , beeinflusst. Beispielsweise stellt man fest, dass mit zunehmender Feuchte die Empfindlichkeit gegenüber Wasserstoff abnimmt, während für das Kohlenmonoxid die Empfindlichkeitskurve durch ein Maximum geht (2). Diese Beobachtungen weisen darauf hin, dass die chemische Reaktion für einzelne Molekülsorten verschiedene Wege nimmt, wobei die OH-Gruppen eine zentrale Rolle spielen. Beispielsweise lassen IR-Absorptionsstudien vermuten, dass das Kohlenmonoxidmolekül mit einer Oberflächenhydroxylgruppe einen Ubergangskomplex bildet, welcher durch die Wechselwirkung der beiden Dipolmomente stabilisiert wird (3). In der darauf folgenden Oxidation zu CO₂ wird ein aktivierter Wasserstoff frei, welcher einen Oberflächen-Sauerstoff bindet unter Erzeugung einer Sauerstoffvakanz in der Oxidgrenzschicht. Auf ähnliche Weise führt die Reaktion mit Wasserstoff zu einer Hydroxylierung der Oxidoberfläche (2). Diese Reaktion läuft an noch nicht hydroxylierten Oberflächenplätzen ab, was die Abnahme der Wasserstoffempfindlichkeit mit zunehmender Feuchte, also Hydroxylierung, erklärt.

Die Feuchteabhängigkeit der Sensoreigenschaften von Metalloxiden, besonders des kommerziellisierten Zinnoxids, beeinträchtigt deren Verwendung als Brandgassensor in verschiedener Hinsicht. Erstens bietet der Ruheleitwert keine zuverlässige Referenz, gegenüber welcher eine Signalhöhe verglichen werden kann. Zweitens ist, wie schon erwähnt, die Gasempfindlichkeit selbst feuchteabhängig, wobei diese unterschiedlich ausgeprägt ist für verschiedene Gase. Drittens koppeln Gasmoleküle mit intrinsischem elektrischen Dipolmoment vorzüglich an den Oberflächenhydroxyldipol. Entsprechend gross ist denn auch die Empfindlichkeit gegenüber Alkoholdämpfen, was zu erheblichen Problemen mit falschen Alarmen Anlass geben kann.

Die hier geschilderten Eigenschaften, zusammen mit der recht hohen elektrischen Leistungsaufnahme von $\sim 500\text{mW}$ pro Sensor, sind nicht verträglich mit den eingangs gestellten Forderungen an einen Brandgassensor. Trotzdem darf man nicht verkennen, dass der elektrische Leitwert verschiedener Metalloxide sehr empfindlich auf Spurengas reagiert und daher die Möglichkeit bietet, z.B. Kohlenmonoxid, in kleinsten Konzentrationen vor Erreichen der Gefährlichkeitsschwelle mit billigen Methoden zu detektieren. Aus diesem Grunde lohnt es sich, die Gassensoreigenschaften von Metalloxiden für den Brandgasnachweis weiter zu untersuchen.

Die Schwerpunkte der heutigen Forschung liegen vor allem im Studium der komplexen grundlegenden Reaktionsmechanismen, den damit verbundenen elektrischen Transporteigenschaften und in der kontrollierten Herstellung von Metalloxidkeramiken mit definierter Mikrostruktur und Katalysatorverteilung. Ziel dieser Aktivitäten ist die Herstellung von miniaturisierten leistungsarmen Sensoren, deren Empfindlichkeit gegenüber gewissen Gasen oder Klassen von Gasen selektiv gesteigert ist. So ist es beispielsweise gelungen, durch Kupferdotierung von Zinnoxid das Empfindlichkeitsverhältnis von CO zu CH_4 stark zugunsten von CO zu verschieben, während ein Platinzusatz das Gegenteil bewirkt (4). Eine weitere Forschungsaktivität besteht in der Suche nach neuen Messmethoden und Betriebsbedingungen. In dieser Hinsicht dürften Messungen mit variabler Temperatur und Messspannung von Interesse sein, mit welchen eine gewisse Selektivität, z.B. gegenüber CO, erreicht werden kann (5).

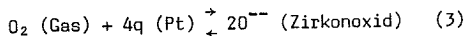
4. Festkörper-Galvanizelle

Die Detektion von Gasen mit der Galvanizelle beruht auf der Ionenleitung in festen Körpern und dem Prinzip, dass sich im thermodynamischen Gleichgewicht die elektrochemischen Potentiale $\bar{\mu}_i$ bezüglich einzelner Stoffe an Grenzflächen ausgleichen. Dieser Mechanismus ist also völlig verschieden von dem im letzten Paragraphen beschriebenen. Er läuft insbesondere über keinen Redoxvorgang an der Festkörperoberfläche. Ein bekanntes Beispiel ist die Sauerstoffelektrode. Ein Plättchen aus Zirkonoxid, dessen sauerstoffionenleitende Hochtemperaturphase durch Zugabe von Kalziumoxid stabilisiert wurde, wird auf beiden Seiten mit porösen Elektroden aus Platin versehen. Herrschen auf beiden Seiten des Plättchens die Sauerstoff-

partialdrucke p' und p'' , dann kann mit einem Elektrometer die Zellenspannung

$$V = \frac{kT}{2q} \ln(p'/p'') \quad (2)$$

abgelesen werden, was bei Raumtemperatur etwa 30mV pro Dekade Druckunterschied entspricht. T ist die absolute Temperatur, k die Boltzmannkonstante und q die Elementarladung. Gleichung (2) ist die bekannte Nernstbeziehung. Sie gilt dann, wenn an den Platin-Zirkonoxidgrenzflächen der reversible Sauerstoffaustausch

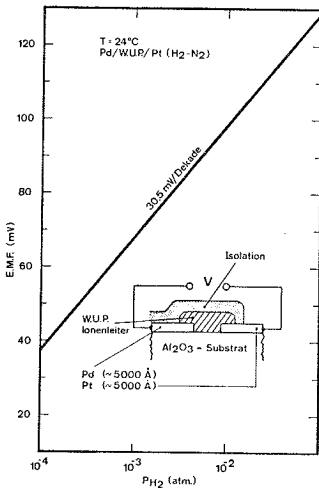


stattfindet, und die Ionenleitfähigkeit für Sauerstoff genügend ist, um während der Messzeit die chemischen Potentiale an den Grenzflächen einander gleich zu machen, d.h. $\bar{\mu}'_{O_2} = \bar{\mu}''_{O_2}$. Für Zirkonoxidplättchen ist die letztere Beziehung erst oberhalb etwa 600°C erfüllt. Der durch die Platinelektroden aktivierte Austausch nach Gleichung (3) wäre dagegen schon bei wesentlich tieferen Temperaturen gewährleistet.

Gegenüber den Metalloxid-Gassensoren hat die Sauerstoffzelle den Vorteil, dass die Signalspannung unabhängig ist von der Feuchte und nur den Sauerstoffpartialdruck misst. Dieser ist im Idealfall durch das thermodynamische Gleichgewicht aller Gaskomponenten bestimmt, welches sich an der heissen Platinelektrode einstellt. Weiterhin kann die Zellenspannung aufgrund thermodynamischer Ueberlegungen ohne Kenntnis der sich abspielenden mikroskopischen Vorgänge an der Grenzfläche hergeleitet werden.

Nachteilig bei der Sauerstoffmesszelle ist deren hohe Betriebstemperatur. In dieser Beziehung wurden in vergangener Zeit wesentliche Fortschritte auf Forschungsebene erzielt. Es ist möglich, mit Dünn- und Dickfilmentechnologie dünne Filme von ionenleitenden Materialien herzustellen (6). Dadurch wird erreicht, dass der Ionenleitwert von beispielsweise Sauerstoff in Zirkonoxid schon bei etwa 300°C genügend gross ist, um über eine Zeitspanne von weniger als 60 Sekunden thermodynamisches Gleichgewicht zwischen den Grenzflächen herzustellen und somit Gleichung (2) Gültigkeit hat. Für

eine Sauerstoffmesszelle, mit Ni/NiO als Referenzelektrode, findet man bei einer Betriebstemperatur von $\sim 340^{\circ}\text{C}$ die annähernd Nernst'sche Zellenspannung von etwa 800mV für atmosphärischen Sauerstoff (6). Für eine Abnahme des Sauerstoffpartialdruckes von etwa 1 % erniedrigt sich die Spannung um etwa 1.5mV. Ein Sauerstoffdefizit, wie es durch einen Brand in schlecht gelüfteten Räumen entstehen kann, lässt sich somit leicht nachweisen.



Figur 2

Zellenspannung einer protonenleitenden Festkörper-Galvanizelle als Funktion des Wasserstoffpartialdruckes bei Zimmertemperatur. Protonenleiter ist Wasserstoff-Uranyl-Phosphat. (nach M. Croset (6))

Als weiteres Beispiel sei in Figur 2 ein bei Zimmertemperatur funktionierender Wasserstoffsensoren beschrieben, welchem der Protonenleiter Wasserstoff-Uranyl-Phosphat (WUP) zugrunde liegt (6). Der Wasserstoffreferenzpartialdruck wird durch die Metallhydridelektrode Pd/PdH_x eingestellt. Als Arbeitselektrode dient wie bei der Sauerstoffmesszelle poröses Platin. Die ganze Struktur wird durch eine Isolation abgeschirmt mit Ausnahme einer Öffnung in der Arbeitselektrode, durch welche Wasserstoff eintritt und an die Pt/WUP-Grenzfläche diffundiert. Diese Zelle liefert bei Zimmertemperatur annähernd den theoretischen Wert von 30mV pro Dekade (6).

Der hier beschriebene Wasserstoffdetektor entspricht in vieler Hinsicht unseren Anforderungen. Da er bei Raumtemperatur funktioniert und die Messung der Zellenspannung stromlos geschieht, ist seine gesamte Leistungsaufnahme vergleichbar mit konventionellen Ionisationsmeldern. Das erzeugte Signal ist proportional zur absoluten Temperatur und daher nur schwach temperaturabhängig. Diese Temperaturabhängigkeit könnte ohne weiteres bei der Signalauswertung berücksichtigt werden. Die Empfindlichkeit des Sensors wird durch den Referenzdruck bestimmt, welcher bei geeigneter Wahl im ppm Bereich liegen kann. Es bleibt die Frage im Raum, ob durch Brände im Frühstadium der Wasserstoffpartialdruck an der Platinelektrode über den Bereich des Wasserstoffuntergrundes geändert wird. Die Diskussion im nächsten Abschnitt deutet darauf hin, dass diese Vermutung durchaus berechtigt ist.

5. Silizium-Gassensoren

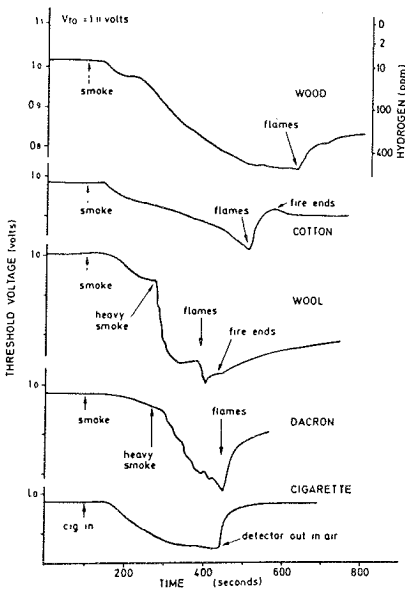
Die Detektion von chemischen Größen mit modifizierten aktiven elektronischen Bauelementen sind Gegenstand intensiver Forschung. Für unsere Diskussion sind Elemente von Interesse, deren elektrische Charakteristik durch die Potentialbarriere zwischen der Steuerelektrode und dem Siliziumhalbleiter bestimmt ist. Als Beispiel diene der Metalloxidhalbleiter-Feldeffekttransistor (MOSFET), dessen konventionelle Gatterelektrode aus Aluminium durch Palladium ersetzt wurde. Es zeigt sich, dass die Schwellwertspannung des Pd-MOSFET's stark beeinflusst werden kann, wenn das Gatter in Kontakt mit geringen Konzentrationen von Wasserstoffgas gebracht wird (7).

Der Mechanismus der Schwellwertverschiebung ist heute recht gut verstanden (7). Er beruht auf der bekannten Eigenschaft, dass Wasserstoff an der Palladiumoberfläche aufgespalten wird und sich als atomarer frei beweglicher Wasserstoff im Palladium löst. An der Grenzschicht zum Siliziumdioxid bildet sich eine Protonen-Monolayerschicht aus, wobei die an der Grenzschicht entstehende positive Ladung durch das Palladium abgeschirmt wird. Der Spannungsabfall ΔV über der dadurch entstehenden Grenzflächen-Dipolschicht liegt in Serie zur angelegten Gatterspannung. Die Besetzung θ der Monolayerschicht ist abhängig vom Wasserstoffpartialdruck. Mit der Annahme

$\Delta V \propto \phi$ findet man

$$1/\Delta V = C_1 (P_{O_2}/P_{H_2})^{1/2} + C_2 \quad (4)$$

wobei C_1 und C_2 Konstanten sind, welche durch die sich an den Grenzflächen Luft/Pd und Pd/SiO₂ abspielenden Reaktionen ableiten lassen. Gleichung (4) wurde durch einschlägige Experimente mehrfach bestätigt (7). Der sich an der Grenzfläche Pd/SiO₂ ausbildende Spannungsabfall wird auch an der Charakteristik von MIS Dioden mit Palladiumelektrode festgestellt. Weiterhin deuten Experimente an mit Palladium metallisierten Schottkydioden auf den gleichen Mechanismus.



Figur 3

Rauchabhängigkeit der Schwellwertspannung eines MOSFET Transistors mit Palladium Gatterelektrode. Die Temperatur des Transistors ist 150°C. (nach I. Lundström (7))

Die Empfindlichkeit der Pd-MOSFET, bezüglich Wasserstoff ist im ppm Bereich. Die optimale Betriebstemperatur für rasche Ansprech- und Abklingzeiten liegt im Bereich 120 - 150°C, was die Integration einer Heizung mit Temperatursensor erfordert.

Die mit Palladium aktivierten Bauelemente zeigen eine starke Empfindlichkeit gegenüber Rauchgasen. In Figur 3 sind die zeitlichen Veränderungen der Schwellwertspannung eines Pd-MOSFET für verschiedene Rauchquellen angegeben. Man erkennt, dass das Signal während der Rauchphase ansteigt, wobei der zeitliche Verlauf vom rauchenden Material abhängig ist. Bei der Flammenbildung fällt die Signalspannung abrupt ab (7). Es wird vermutet, dass der beobachtete Signalverlauf durch Wasserstoffbildung in der Rauchphase verursacht wird. Es kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass andere wasserstoffhaltige Gase an der katalytisch aktiven Palladiumoberfläche zersetzt werden und die elektrische Dipolschicht an der Pd/SiO₂-Grenze beeinflussen.

Die Forschungsaktivität beschäftigt sich vor allem mit der Strukturierung und der Materialentwicklung von chemisch aktiven Gatter Materialien, um deren Empfindlichkeitsbereich auf weitere Gase auszudehnen. Beispielsweise gelingt es, mit porösen oder perforierten Gatterelektroden aus Palladium Kohlenmonoxid nachzuweisen (8). Eine ausgedehnte Teststudie über das Langzeitverhalten der chemisch aktiven MOS, MIS oder MS Bauelemente liegt zur Zeit noch nicht vor. Wohl aber wurden Katalysatorvergiftungen an Palladium festgestellt, vornehmlich durch atmosphärischen Schwefel, welcher das Ansprech- und Abklingverhalten der Sensoren stark beeinträchtigt (9).

6. Diskussion

Die erwähnten Prinzipien der Festkörpergasdetektion sind eine Auswahl von möglichen Methoden, Gase in Spuren nachzuweisen. Weitere Möglichkeiten für den Festkörpergasnachweis bestehen in der Messung der durch die Oxidation der Gase entstehenden Verbrennungswärme, z.B. auf katalytisch aktivierten Metalloxidkeramiken, oder in der Messung der durch Gasadsorption verursachten mechanischen Veränderung einer auf Quarzoszillatoren oder Oberflächenwellenleiter aufgebrachte Gasadsorptionsschicht. Diese Methoden wurden deshalb hier nicht weiter diskutiert, weil sie sich, wie im ersten Fall, nicht für den Spurengasnachweis mit vernünftig kleinem

elektronischen Aufwand eignen oder dann, wie im zweiten Fall, sich hauptsächlich für Gase eignen, welche nicht im Brandereignis entstehen. (Beachtenswert ist die Empfindlichkeit der Gasadsorptionsmethode, welche im ppb Bereich liegen kann.)

Die schon kommerzialisierten Gassensoren und die sich noch im Forschungsstadium befindenden Prinzipien und Materialien zeigen eindrücklich, dass es gelingt, mit relativ billigen und massenproduktionsfähigen Festkörpersensoren Gase in Spuren nachzuweisen. Die meisten der erwähnten Sensoren operieren bei erhöhten Temperaturen, doch die Weiterentwicklung der Sensorstrukturen mit Dünn- und Dickfilmtechnologien sowie mit IC Mikromechanik deutet darauf hin, dass sowohl die Betriebstemperatur wie auch der elektrische Leistungsverbrauch wesentlich gesenkt werden können. Man darf also annehmen, dass in absehbarer Zeit Festkörpersensoren vorliegen, mit welchen man bei akzeptablem Leistungsverbrauch Spurengase, wie sie im Brand entstehen, nachweisen kann. Die Frage muss sich dann mit der Zuverlässigkeit dieser Sensoren in Brandwarnanlagen beschäftigen. Da die Rauchquelle und die Rauchdynamik objektabhängig sind, wird die Zusammensetzung der Brandgase entsprechend stark verschieden sein. Der Brandgassensor sollte daher ein möglichst breites Spektrum von möglichen Brandgasen detektieren, wovon Kohlenmonoxid, aber auch Kohlendioxid sicher wesentliche Gase sind. (Allerdings ist ein CO₂ Nachweis mit den beschriebenen Festkörpersensoren vom Prinzip her nicht möglich.) Die verlangte breite Ansprechempfindlichkeit bringt den Nachteil, dass harmlose Gase, wie sie z.B. als Dämpfe von häufig verwendeten Lösungsmitteln entstehen, zu unannehmbar vielen falschen Alarmen Anlass geben können. Dieser Nachteil liegt, vor allem bei den Metalloxid-Gassensoren, im grundlegenden Funktionsmechanismus. Ob es gelingt, durch geeignete Katalysatoren und Oxidkombinationen die Empfindlichkeit gegenüber Störgasen auszuschalten, ohne die Eigenschaften des Oxids als Brandgassensor zu beeinträchtigen, bleibt eine offene Frage.

In dieser Hinsicht sind der Pd-MOSFET und die WUP Galvanizelle von Interesse, weil in diesen Fällen die Querempfindlichkeit gegenüber alltäglichen Störgasen sehr stark vermindert ist. Für den Pd-MOSFET bleibt die Empfindlichkeit gegenüber Rauchentwicklung trotzdem beachtlich. Eine ge-

naue Abklärung der Ursache für die Rauchempfindlichkeit dieses Sensors erscheint unerlässlich. Die Zuverlässigkeit der Festkörper-Brandgassensoren und ganz besonders ihr Langzeitverhalten müssen aber noch eingehend abgeklärt werden.

Aus der heutigen Sicht lässt sich folgern, dass der Ersatz von konventionellen Rauchmeldern durch Brandgassensoren in Brandwarnsystemen nicht unmittelbar ist und vielleicht aus den erwähnten Gründen nie möglich sein wird. Hingegen dürfen der Kombination von konventionellen Rauchdetektoren und Brandgassensoren, im Sinne eines Mehrkriterienmelders, echte Erfolgchancen eingeräumt werden.

LITERATURVERZEICHNIS

1. A. Reis
Cerberus AG (unveröffentlicht)
2. A. Reis
in Sensoren-Technologie und Anwendung
NTG Fachberichte (VDE-Verlag) 79, 318 (1982)
3. E.W. Thornton und P. Harrison
J. chem. Soc. Faraday, Trans I 71, 461 (1975)
4. G. Heiland
in Solid-State Sensors and Transducers,
Summer Course 1982, Heverlee, BE
Eds. W. Sansen and J. van der Spiegel
Vol 1, VIII, 1982
5. S. Bukowiecki und H.P. Ulli
Tagung der Schweiz. Physikalischen Gesellschaft (SPG), Davos
24.-26. September (1981)
6. M. Croset
in Solid-State Sensors and Transducers,
Summer Course 1982, Heverlee, BE
Eds. W. Sansen and J. van der Spiegel
Vol 1, VI, 1982
7. I. Lundström
in Chemically Sensitive Electronic Devices
Eds. J. Zemel and P. Bergveld
(Elsevier Sequoia, Lausanne) 1980, S. 403
8. D. Krey, K. Dobos, B. Höfflinger und G. Zimmer
in Sensoren-Technologie und Anwendung
NTG Fachberichte (VDE-Verlag) 79, 283 (1982)
9. P.F. Ruths, S. Ashok, S.I. Fonash und J.M. Ruths
IEEE ED-28, 1003 (1981)

J.F. Middleton B.Sc (Eng), C. Eng, MIEE,
General Manager - Technical,
AFA-Minerva Limited,
Twickenham,
England.

Developments in Flame Detectors

Introduction

Flame detectors operate by sensing the electromagnetic radiation from flames. Although a large part of the spectrum could perhaps be utilised, practical detectors which are currently available operate either in the ultraviolet region or in one of three bands in the infra-red region of the spectrum.

Flame or radiation detectors by their nature can sense a fire very quickly and also can see a fire at a considerable distance from the detector. They do not require a ceiling to trap the products of combustion as do heat and smoke detectors and are therefore particularly suited for use in high buildings such as aircraft hangars and warehouses and in outdoor environments such as chemical plants and oil exploration or production rigs.

It is in these types of environments that flames appear at the start of, or very early in the development of, a fire thus making the flame detector the most suitable detector for this type of risk.

Basic Requirements

Like all types of fire detector, flame detector design is a compromise between several conflicting factors. The ideal detector will have a high probability of detection by being sensitive enough to detect flaming fires of different types at an acceptable range while having a low probability of false alarm by being insensitive to the effects of the environment in which it is used.

Thus detectors should be able to detect a small fire, represented typically by a tray of burning petrol of 0.1 sq. metre surface area, at a range of at least 10 metres and preferably 20 metres. For area surveillance they should have a good field of view, ie., 90° included cone of vision or better, although a narrower field of view would be suitable for localised protection.

Their detection capability should not be affected by atmosphere attenuation caused by smoke or industrial vapours nor by contamination of the optical window by dust, dirt, oil or industrial effluents.

The major environmental influence which flame detectors must cope with, especially out of doors, is of course the sun and there are various techniques available which can reduce or eliminate this problem. These techniques will be described later in this paper.

Other sources which produce electro-magnetic radiation within the spectral bands used and which could thus be the cause of false alarms, are X-ray and arc welding equipment, tungsten halogen, fluorescent or tungsten filament lamps and other hot bodies.

In an outdoor situation, a detector will be subjected to very severe environmental stresses. These will include high and low temperatures, including direct sunlight and freezing rain, salt water and corrosive atmospheres, radio frequency interference, shock and vibration. A North Sea oil platform is a good example of such environmental extremes.

Flame Characteristics

There are two distinct types of flame, namely, pre-mixed flames and diffusion flames. The pre-mixed flame is typified by the blue bunsen flame in which the combustion is complete. The diffusion flame is the more common yellow flame in which soot is formed as a result of incomplete combustion.

The different spectral content of the two types of flame are given in Fig 1 which shows typical spectra for hydrocarbon fuels. It will be seen that the spectrum of the pre-mixed flame is made up of a series of peaks corresponding to the emission bands of the combustion products. The diffusion flame still shows emission and absorption bands but they are now superimposed on the continuous spectrum of the radiation from the hot carbon particles. This continuum is similar to that produced by a black body of about 1500^oK, although the small size of the carbon particles will cause the emissivity to vary with wavelength.

The radiation levels from an 0.1 sq.m petrol fire are approximately:-

1 x 10 ⁻⁷	-1	-1	W.Sr.nm	in the ultraviolet region
2 x 10 ³	-1	-1	W.Sr.nm	at the peak radiation around 2 μm
5 x 10 ³	-1	-1	W.Sr.nm	at the CO ₂ emission peak at 4.3 μm

A marked feature of the radiation from diffusion flames is that the level is not constant but varies about some mean level giving the well known flicker effect. The flicker frequency varies with ambient conditions, particularly with wind, but the majority of the energy falls in the band from 0.5Hz to 15Hz.

The degree of modulation of the flame radiation depends on the type of fuel and on what the detector is viewing. Thus the radiation from a liquid fire will be predominately radiation from the flame whereas that from a wood fire will be partly from the flame and partly from the glowing embers. Since this latter component will only vary slowly with time, the flicker contributed by the flame of the wood fire will be a smaller fraction of the total radiation output than will be the case for a liquid fire. Typically the modulation will vary from about 20% for a small liquid fire to 5% for an open wood fire.

Background Radiation

In any detector system there will be a finite background signal against which the fire signal must be discriminated. In the case of the flame detector this background can be conveniently divided into radiation from the sun or other natural sources and from artificial or man-made sources.

The sun radiates as a black body with a temperature of approximately 6000°K, and the irradiance received by a detector due to direct sunlight is approximately two orders of magnitude greater than that received from an 0.1 sq.m petrol fire at 20 metres.

In indoor environments direct sunlight affecting the detector can usually be avoided by careful siting but for use in outdoor environments the detector must incorporate a sun rejection technique to avoid false alarms.

Indirect solar radiation, that is radiation reflected by the surroundings, can also be a problem since it will generally originate within the area being protected. Since the reflectance of common surfaces such as grass, concrete, asphalt and water can be greater than 50% at certain wavelengths, the radiation from the background, by virtue of its large area, can be high compared with the

radiation from a fire.

The solar spectrum as observed on the earth's surface is modified by atmospheric absorption and takes the form shown in Fig 2. At wavelengths of less than 280nm the solar radiation is virtually totally absorbed in the ozone layers of the upper atmosphere. Absorption bands also occur around 2.7 μ m due to water vapour and CO₂ and around 4.3 μ m where virtually complete absorption by CO₂ occurs. It is these regions of solar radiation absorption which are utilised by flame detectors designed for use in an outdoor environment.

Artificial sources which can affect the performance of flame detectors include arc welding, high intensity lighting and other large hot bodies. Arc welding is a very intense source of ultraviolet radiation and because ultraviolet flame detectors have to be very sensitive in order to detect the low level of ultraviolet radiation emitted by a flame, they are very susceptible to this type of interfering signal and have been known to operate at a distance of several kilometres from the welding process.

Ultraviolet detectors can also be affected by tungsten halogen lamps with quartz envelopes although this problem can usually be overcome by careful siting or the use of glass lamp housings.

Infra-red flame detectors can be affected by the normal blackbody radiation from hot bodies particularly if they are of large area or located close to the detector. Although the use of flicker frequency amplifiers will significantly reduce the effect, problems may still occur if the radiation signal is interrupted repetitively, for instance by fan blades.

Attenuation of Radiation

Any radiation reaching the detector will be subjected to attenuation by the media through which it has passed and by contamination of the detector window.

Attenuation in the atmosphere can be caused by molecular absorption or by absorption and scattering by airborne particles such as dust, smoke and fog. Ultraviolet radiation is strongly absorbed by a number of flammable vapours which are commonly used in an industrial environment such as acetone, ethanol, ammonia, benzene and toluene, while infra-red radiation in the 4.3 μ m band is strongly absorbed by carbon dioxide in the atmosphere. However the radiation and absorption spectra of carbon dioxide are not identical and by suitable choice of operating wavelength in the 4.3 μ m band the carbon dioxide absorption effect

can be minimised.

Attenuation by airborne particles is very dependent on particle size and operating wavelength, with a marked reduction in attenuation occurring for wavelengths longer than the particle size. A typical particle size for smoke is about $1\mu\text{m}$ and thus ultraviolet radiation is significantly attenuated while infra-red radiation, particularly in the $4.3\mu\text{m}$ band, can penetrate with relative ease.

Similarly attenuation due to window contamination is very wavelength dependent being markedly worse for ultraviolet detectors compared to infra-red detectors. Thus a thin film of lubricating oil, invisible to the eye, can absorb up to 80% of ultraviolet radiation. Measurements on a greasy film of soot produced by a household candle showed that the transmission in the visible region of the spectrum was only 3%, but at a wavelength of $3\mu\text{m}$ the transmission had increased to 30%.

Availability of Components

For flame detectors intended for the protection of commercial risks the cost and ready availability of components is of prime importance. For most detectors the optical components are likely to account for the greater part of the overall cost even if quite sophisticated signal processing is used.

A number of detectors are available for use in the ultraviolet region of the spectrum, but the one most commonly used for flame detectors is a gas filled photoemissive detector known as a Geiger-Muller tube.

For infra-red flame detectors a number of sensors are available dependent on operating wavelength. For indoor detectors a silicon sensor working at $1\mu\text{m}$ can be used. This has the advantage of good detectivity but discrimination against interfering sources of radiation is poor in this part of the spectrum. For the $2.7\mu\text{m}$ band lead sulphide is normally used, while for the $4.3\mu\text{m}$ band lead selenide has been tried although its detectivity varies rapidly with temperature at these wavelengths. More recently the advent of stable, low noise pyroelectric sensors based on lithium tantalate has allowed the development of a detector in the $4.3\mu\text{m}$ band with good sensitivity, low microphony and noise and able to operate over a wide temperature range.

The sensor must be protected from the effects of damp and corrosive atmospheres by

a suitable window which must be transparent in the wavelength interval chosen although high absorption may be desirable outside this range.

The most commonly available material is glass which can be used from 0.185 μ m in the ultraviolet region to about 2.7 μ m in the infra-red region, at which wavelength the transmission falls rapidly to about 20%. This level is then maintained to somewhere in the range 3 to 4.5 μ m, depending on composition, where the transmission falls to near zero.

For operation beyond 2.7 μ m fused quartz may be used giving a transmission of greater than 50% to beyond 4 μ m. For small flat windows sapphire is a very suitable material as it is highly resistant to abrasion and has a low transmission loss from 0.2 μ m to 6.5 μ m.

Ultraviolet flame detectors

Operating Mode

The radiation from fires in the ultraviolet region of the spectrum is extremely small and detectors must therefore be highly sensitive devices, able to detect the arrival of individual photons of energy. In addition they must provide a very high current amplification factor in order to interface them to normal fire detection systems.

Ultraviolet flame detectors which are generally available all work on the same principle, using a Geiger-Muller tube to detect the radiation from the flame. The Geiger-Muller tube consists of two metal electrodes encased in an ultraviolet transmitting envelope which is filled with gas under low pressure. When high energy, short wavelength radiation strikes the cathode electrons are released which travel rapidly towards the anode under the influence of an applied voltage of several hundred volts. The electrons collide with the gas molecules releasing further electrons and so on. Thus causing an avalanche discharge through the tube which provides the very high current amplification required. The current is quenched after a very short period of time and so the output consists of a series of pulses, the pulse rate being dependent on the level of received radiation.

Photons will only release electrons from the cathode if they have sufficient energy and this is inversely proportional to their wavelength. The energy required is a function of the cathode material and for ultraviolet flame detectors the cathode material chosen is tungsten as it is only sensitive to radiation having a wave-

length shorter than 0.24 μ m. Longer wavelength radiation, no matter how intense, will not cause the tube to operate and it is this feature which makes the detector almost completely insensitive to solar radiation at ground level.

The transmission of the glass envelope of the tube limits the response at shorter wavelengths giving a typical overall spectral response which lies between 0.185 μ m and 0.245 μ m.

The main difference in detectors from different manufacturers is in the area of the tube cathode. The number of photons absorbed into the metal is proportional to the area, so a large area cathode gives a higher pulse count, allowing more signal integration and thus reducing the probability of false alarm.

Because of the voltage requirements for the Geiger-Muller tube, ultraviolet detectors must be housed in rugged flameproof housings for use in hazardous atmospheres.

Sensitivity

Typically ultraviolet detectors have a field of view of 90^o and can detect an 0.1 sqm petrol fire at a range of 7 to 10 metres, depending upon the pulse count rate chosen.

This detection capability can be severely reduced by atmospheric attenuation and window contamination. Transmission of ultraviolet radiation through smoke is very poor and it is important to site detectors so that smoke from a fire will not prevent the detector from seeing the fire. Thus detectors should not look vertically down on potential fire risks. Various gases and vapours can also affect the detection performance of the detector and a list has been published of 38 commonly used chemicals which exhibit significant ultraviolet absorption characteristics. These are generally the most hazardous vapours such as acetone, ethanol and toluene, although methane, butane and octane are not absorbers of ultraviolet.

Contamination of the window by hydrocarbons such as oil or grease must be avoided, as very thin films of these substances, invisible to the naked eye, can significantly reduce the detector's performance.

On some industrial sites, such as gas turbine pumping stations, contamination can occur in a matter of weeks or even days, and regular checking of the

performance through the window is therefore essential. This can be achieved by manual testing with the aid of an ultraviolet torch or by incorporating an ultraviolet test source within the detector.

One example of a detector with an automatic self test feature, has a reflector ring around the periphery of the window which reflects the radiation from an internal source through the edge of the window onto the Geiger-Muller tube.

Although this test feature may identify when contamination of the window, or perhaps the reflector ring, has occurred, the need for frequent cleaning of the window still remains.

False operation

The major cause of false operation with ultraviolet detectors is welding. Welding produces a very high intensity signal and detector operation can occur at distances of two or three kilometres from the welding source.

Other sources of disturbance are X rays and radiation sources used for the testing of mechanical structures. These do not have to be in the field of view of the detector as the detector housing is transparent to these high energy sources.

Lightning and corona are potential sources of false operation but the former can normally be accommodated by increasing the integration period, while corona does not usually provide enough radiation to operate the detector, although it may increase its sensitivity to other background sources.

Several methods have been utilised for reducing false operation of the detector due to background radiation.

One manufacturer has achieved some success by adjusting the pulse count threshold for each installation. A test is set up for each site during which the background radiation is monitored over a period and from the results a statistical analysis is carried out to determine the required threshold setting for the detector.

Another manufacture includes a second, higher threshold in the detector and any input operating this second threshold is rejected on the assumption that high energy inputs must originate from welding operations. Apart from blinding the detector to sudden large fires, the system also fails to avoid false operation if the welding is at some distance from the detector.

An alternative proposal is to use two detectors for each application, one detector surveying the risk to be protected against the background and the second detector looking at the background only. If signals occur in both detectors then it is assumed that they must originate from the background and are therefore ignored. Apart from the obvious cost penalty, there is likely to be some reduction in detection performance. A high background radiation level can, for instance, blind the operating detectors to a small fire within the protected area. This is a situation which can also occur if the background detector suffers from a failure in its Geiger-Muller tube, whereby the tube goes to the conducting state giving a permanent alarm condition, thus completely blocking the operating detector. A number of possible, though perhaps not very practical, schemes have been suggested to overcome this problem.

Infra-red detectors

Mode of Operation

Unlike ultraviolet detectors which all operate in the same spectral band and use a common detection method, infra-red detectors have appeared in several forms dependent on operating requirements and the availability of suitable components.

Early detectors operated in the $1\mu\text{m}$ region using the readily available silicon cell and were designed for use in indoor environments only. They normally incorporated an amplifier, designed to respond to the flicker component in the radiation from a fire, in order to avoid false operation from large area hot bodies within the field of view, but careful siting was still required.

Detectors have also been available for some years working in the $2.7\mu\text{m}$ CO_2 absorption band, using lead sulphide as the sensing element viewing through a quartz window. Although not completely blind to solar radiation, they have been used successfully for the protection of areas such as aircraft

hangars and large warehouses where the level of radiation from interfering sources can be fairly high.

Detectors are available with either the ability to scan over a very wide field of view giving large area coverage or with a narrower fixed field of view for protection of more specific risk areas.

A particular feature of these detectors is their very good sensitivity to fire, typically being able to detect an 0.1 sqm petrol fire at a distance of about 40 metres.

More recently a number of detectors have appeared on the market operating in or around the $4.3\mu\text{m}$ CO_2 absorption band. Most of these detectors use a two sensor system, each sensor looking at a different part of the infra-red spectrum, in order to achieve discrimination against solar and background radiation. However one detector which is now available uses a single sensor and achieves complete blindness to solar radiation by optical means only.

Two Channel detector

In a two channel system one sensor is designed to detect the fire by looking for radiation in a narrow band centred on the CO_2 emission wavelength of $4.45\mu\text{m}$. A second sensor detects the radiation in a similar narrow band but at a shorter wavelength for instance $3.9\mu\text{m}$. When a fire occurs the signal in Channel 1 will be larger than that in Channel 2, because of the strong emission from the carbon dioxide in the combustion products. For interfering signals, such as from the sun or other black body sources, the signal in Channel 2 will be greater than that in Channel 1 and it is thus possible to distinguish between a fire and interfering radiation.

The two channels are chosen to have a small spectral separation, so that reflections of interfering sources from the surroundings, whose reflectance may vary with wavelength, will not cause false operation.

As with all two channel systems there is a possibility that a large interfering source may blind the detector, or at least reduce its sensitivity to a fire, by producing a large signal in both channels, which overcomes the smaller signal from the fire.

Also, because the detector works on the ratio of the signals in the two

channels, it is important that the overall gains of the two channels remain matched under all operating conditions. To achieve this, additional electronics is required in order to maintain the operating conditions of the two sensors constant and the gains of the amplifiers in step over the full range of input signal levels and operating temperatures.

Saturation of the amplifiers must be prevented or steps taken to suppress the signals if it does occur and care must be taken to ensure that power supply transients, including initial switch on conditions, do not produce spurious channel ratios, leading to false operation.

If the sensors are spatially separated, then there is also the possibility that shadowing of one of the sensors can result in false operation from an interfering radiation source.

Single Channel detector

In the single channel detector, discrimination against solar radiation and other interfering sources is achieved basically by optical means, supplemented by use of a flicker bandpass amplifier.

The detector optics consists of a sapphire window, a narrow band filter, a wide band filter and a pyroelectric sensor. The narrow band filter is designed to pass radiation in the region of $4.2\mu\text{m}$ to $4.6\mu\text{m}$, which gives optimum discrimination between the strong CO_2 emission from a fire and solar radiation, which is severely attenuated in this region due to the CO_2 in the atmosphere.

The filter is a multi-layer interference filter and one of the features of such a filter is that its spectral transmission shifts with the angle of incidence of the radiation and also to a lesser extent with temperature. The filter has therefore been carefully designed to provide good transmission of the flame radiation, in order to achieve a high sensitivity, while maintaining a constant performance over the field of view and remaining within the high absorption region of the solar spectrum.

The result is a detector which can detect an 0.1 sqm petrol fire at a range of 20 metres with a field of view of 90° and which is completely unaffected by solar radiation.

To achieve the rejection of solar radiation, it is vital that no radiation reaches the sensor by by-passing the filter either by pinholes in the filter or by reflections within its housings. It is also important that components in close proximity to the sensor, such as the window and the narrow band filter, and which may suffer temperature changes due to solar heating, do not affect the sensor as a result of normal black body radiation. The broad band filter is included in the design to eliminate this effect.

The output of the sensor is fed to an amplifier designed to pass the major part of the flicker spectrum and an alarm condition is produced if the signal exceeds an amplitude threshold for a number of modulation cycles within a given period.

The detector operates at a nominal 20 volts with a quiescent current of less than 125 μ A and can thus operate on a normal smoke detector circuit. Because of its low operating voltage and low power consumption it is intrinsically safe and has been given classification E Ex i a II C T5 by BASEEFA in accordance with EN50 020 Part 7. A particular advantage of I.S. certification is that detectors can be changed for servicing without isolating the fire alarm system or removing the power from the detector circuit.

The detector is housed in a polycarbonate housing meeting the requirements of IP65 of IEC 529, ie., dust tight and protected against water jets, and incorporates an LED response indicator. The operating temperature range is -20 $^{\circ}$ C to +70 $^{\circ}$ C.

Performance

In the past infra-red detectors have earned a reputation for being unstable and thus unsuitable for use in adverse environments.

To demonstrate its performance, the detector has been submitted to an independent test house for evaluation against the Comité Européen des Assurances test specification, with its emphasis on stability of performance under environmental stress. It has successfully passed these tests and it is believed that it is the only detector of any type, ultraviolet or infra-red, which has done so.

In addition the detector has been subjected to vibration levels three orders

more severe than those experienced on a typical oil production platform with no adverse effect on performance.

By its nature, the detector will only detect fires involving carbonaceous materials such as wood, plastics, oils, alcohol and solvents. It is insensitive to pure hydrogen or ammonia fires and to burning metals.

Because of its operating wavelength it can detect fires through smoky atmospheres, and contamination of the window by thin films of water, oil, grease and soot have little affect on performance. Heavy deposits of, for instance, mud will block the detector, and for applications where this may be a problem, an infra-red test source may be incorporated within the housing to operate through the window and provide full monitoring of the detector optics and electronics.

Effects of interfering sources

The design of the filter and optics is such that the detector can view the mid-day sun through a chopper, giving 100% modulation within the flicker band, without false operation and without any change in its sensitivity to a flame. Equally it is unaffected by reflected solar radiation whether from a water surface or from pipe work.

It is unaffected by tungsten or flourescent lights as demonstrated in the CEA tests or by intermittent operation of a 1 KW tungsten halogen lamp at a distance of 1 metre.

Tests with arc welding show that false operation will not occur at ranges of greater than 1 metre and therefore the fire alarm system can remain operative during normal welding operations. This is particularly advantageous as the welding operations themselves represent a potential fire hazard.

The detector is insensitive to lightning storms and to radio frequency interference at least two orders greater than that experienced on a typical oil platform. It was also unaffected either during or after exposure to a radio-active source of 18 Curies at a distance of $\frac{2}{3}$ metre.

The only likely cause of false operation is the presence of a very hot, modulated source close to the detector and this can normally be avoided by careful siting of the detector.

Summary

Flame detectors have been used successfully in fire protection systems for many years. For indoor applications infra-red sensors have been the normal choice because of their good sensitivity to fire, while in outdoor environments ultraviolet sensors have been used extensively because of their insensitivity to solar radiation.

However the performance of ultraviolet detectors is seriously affected by contamination of the window by typical industrial effluents and they are very sensitive to false operation by welding operations and radiation sources.

The availability of new infra-red sensors has allowed the development of a detector operating in the $4.3\mu\text{m}$ spectral region, which combines improved sensitivity to fire with complete blindness to solar radiation and other interfering sources and thus approaches closely the ideal flame detector specification.

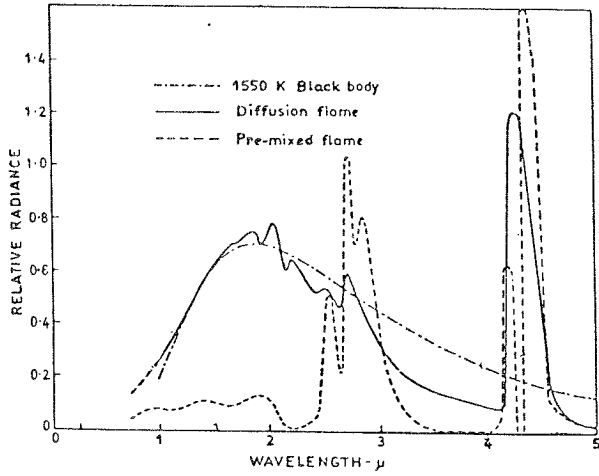


FIG. 1 FLAME SPECTRA

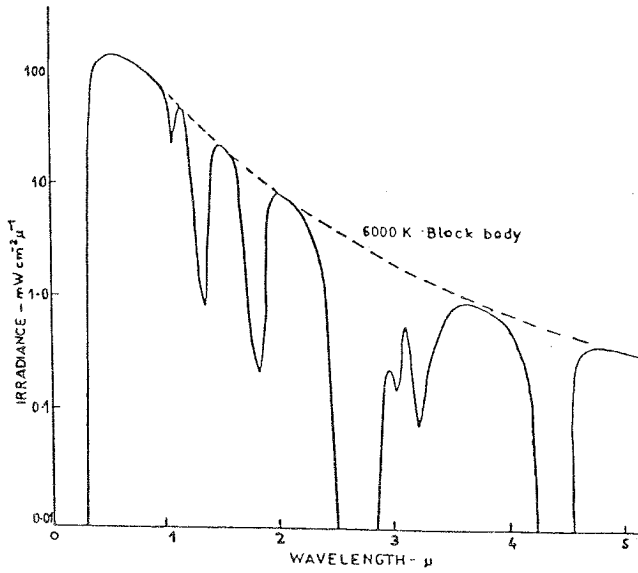


FIG. 2 SOLAR SPECTRUM - GROUND LEVEL
45° ZENITH

Managing Director, Juzo Unoki and Chief of Technical Dept. Shoichi Kimura
NOHMI BOSAI KOGYO CO., LTD., Tokyo, Japan.

New fire detector for road tunnels

1. Introduction

In Japan it is required to install automatic fire detectors in highly important road tunnels where there is much traffic.

It is also required that the detectors used for this particular application should be of such design that their fire detecting efficiency is hardly influenced by environmental conditions such as air current, heat or smoke released from motorcars or lights in the tunnel. Accordingly the detectors reacting to radiation of flames have generally been used in Japan. From the experience of recent fires and various tests, it has come to be required that motorcar fires be detected whilst in smaller size than the gasoline fire in the vessel with a surface area of 1 m^2 which has been used as standard test fire hitherto. In order to cope with this requirement we have developed a highly sensitive and reliable fire detector for use in road tunnels and succeeded in putting it into practical use.

This new detector utilizes difference in spectral distribution between flames and artificial lights. It compares radiation intensities in the two wavelength bands and distinguishes between flames and other radiation sources. As compared with the conventional detectors which give alarms when the radiation intensity in the near infrared region of flames reaches the predetermined value for alarm, the new detector has much more increased fire sensitivity. Therefore, it is possible to offer a fire alarm system which supervises the entire tunnel premises with less number of the new detectors (i.e. one or two new detectors per unit length of 50 meters instead of eight conventional ones), and yet gives precise indication of a fire zone by means of the computer aided control panel even if detectors in the adjoining zones might operate in the case of a large fire. The new detector is used in practice since 1979.

2. Road tunnels in Japan

Japan has a long and narrow landform with a small area of flatland, and with a chain of mountains lying in its middle and locally extending close to the coast. It is necessary to avoid curves with small radius of curvature when constructing an expressway adapted to a high design speed, and because of this

physical feature even the Tomei Expressway and Meishin Expressway which connect between Tokyo and Osaka and run, wherever possible, near the coast required construction of a few long tunnels such as the Nihonzaka Tunnel. Needless to say that for those running through inland areas of the Japanese Islands it was necessary to build a number of tunnels including long and large ones like the Enasan Tunnel.

As of this date the total length of the expressways constructed is 3,026 kilometers, of which the length of the tunnels amounts to 130 kilometers, and their number is as many as 180 tunnels.

For prevention of spread of damages caused by accident such as fire, these tunnels are provided with emergency facilities, and arrangements have been made to ensure their proper operation and maintenance.

3. Emergency facilities for road tunnels in Japan

The first installation of substantial emergency facilities for road tunnels in Japan was realized in the Kanmon Submarine Tunnel which was opened to traffic in 1958. The Kanmon Tunnel is a submarine tunnel which links the Main Island with Kyushu and is rather used as industrial road. Therefore, it was decided to provide sufficient measures against possible fire incidents in anticipation of transport of hazardous materials through the tunnel and with due consideration of the fire in the Holland Tunnel in U.S.A. in 1949.

In the course of the preparatory work toward construction of the Meishin Expressway it was planned to introduce a water spray system, and various tests were conducted with regard to motorcar fires in the tunnel and their protection. In 1949, Ministry of Construction defined the kinds of emergency facilities and indicated installation standards for them in the Technical Standards for Road Tunnels¹⁾. After the experiences of the fire incidents in the Suzuka Tunnel and the Nihonzaka Tunnel in 1966 and 1979 respectively the requirements for the emergency facilities have been revised. The existing Planning Instructions for Fire Protection Systems²⁾ established by Japan Highway Public Corporation specifies the following systems as emergency facilities.

- Alarm transmission system

- manual alarm device, automatic alarm device, emergency telephone

- Fire extinguishing system
fire extinguisher, hydrant, water spray system
- Emergency alarm system
- Escape system
- Guidance system
- Emergency parking zone
- Emergency power supply system

In order to make these emergency facilities function properly it is necessary to first get information on occurrence of an accident or a fire and, at the same time, to confirm and transmit the information to those concerned.

The first report on occurrence of a fire may be expected from those who are involved in the accident or present at the site. For this purpose manual alarm boxes and emergency telephones are installed. However, it is difficult to further expect the reporters to describe the exact location of the accident within the long and narrow space without any mark because they do not always actuate the manual alarm box located closest to the fire, or they might use an emergency telephone located apart from the accident point. Therefore, the automatic alarm device (fire detector) is absolutely needed as secondary means to supplement the first information so that the precise information may be obtained. Figure 3.1 shows principal factors required for fire protection of the road tunnels and the situation of the emergency facilities and the automatic alarm device in them.

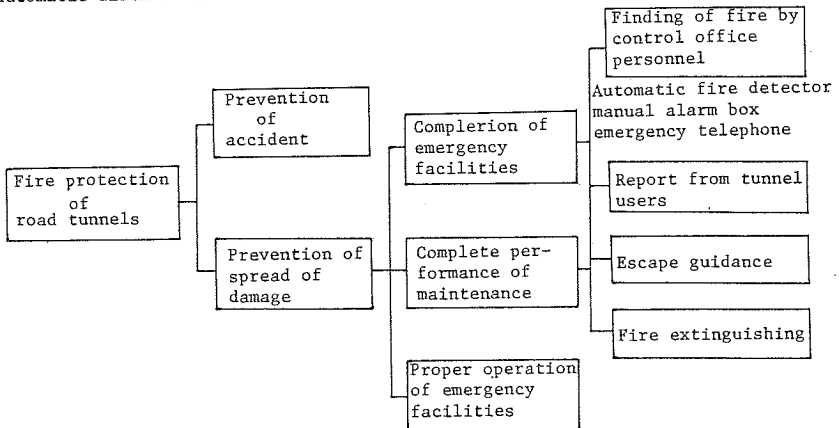


Fig. 3.1 Principal factors required for fire protection of road tunnels and the situation of emergency facilities and automatic alarm device in them

We are told that motorcar fires on roads occur at the rate of one per some 22 million cars - Km., and the fire risks in the tunnel premises are closely related to the tunnel length and traffic volume. To determine emergency facilities to be provided in the tunnels the Ministry of Construction of Japan classifies the tunnels as shown in Figure 3.2. The class AA was newly added in 1981 to those classes A, B, C and D established earlier.

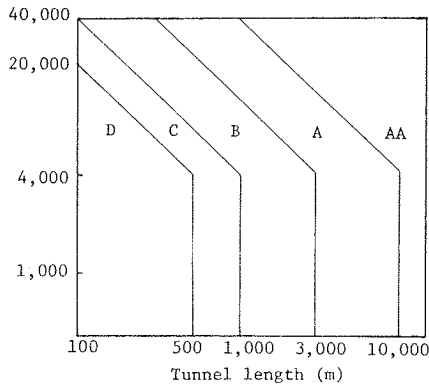


Figure 3.2 Classification of Tunnels

Table 3.1 shows emergency facilities required in tunnels of different classes. The automatic alarm device is applied to the class A and AA tunnels.

Table 3.1 standard for installation of fire protection systems

Classification of tunnels		AA	A	B	C	D
Alarm transmission systems	Manual	○	○	○	○	
	Automatic alarm device	○	○	○	○	
	Emergency telephone	○	△			
	Emergency alarm system	○	○	○	○	
Fire extinguishing systems	Fire extinguisher	○	○	○		
	Hydrant	○	○			
Other systems	Escape guide signboard, smoke venting or escape passage, stand pipe, wireless auxiliary, radio rebroadcasting or loudspeaker, water spray systems, surveillance device (ITV)					

○ installed in principle

△ installed whenever necessary

Other systems: installed in class AA tunnels in principle, and in class A tunnels whenever necessary.

Accordingly 26 expressway tunnels with 42 traffic lanes and a total length of 48 km are equipped with automatic fire detectors in Japan.

4. Nature of motorcar fire and motive for development of new fire detector for tunnel

It is well known that if a motorcar fire breaks out in the tunnel and develops, the long and narrow space is filled with hot air and smoke, which flow toward the exit and portal of the tunnel, causing a large disaster. In order to prevent the spread of damages after the outbreak of fire the following operation of the emergency facilities are carried out, i.e. (1) to quickly operate the TV camera located in the closest vicinity to the fire to confirm the outbreak of fire and grasp the status of the fire, (2) to notify the drivers of motorcars running in the tunnel and those entering into the premises of the outbreak of fire by means of the emergency alarm system to prevent a large number of motorcars from jamming at the accident point, (3) to switch the ventilator to the fire mode operation, and (4) to discharge water spray over the fire to prevent it from spreading to the motorcars nearby.

The fire detector which is a source of information needed for the control of these systems should be capable of detecting the fire immediately after its outbreak and whilst in a small size, and precisely finding the fire point, especially for indicating the zone where discharge of water spray is required.

Motorcar fires occur in various forms such as fuel spill fire resulting from car clash or overturn, fire in accessories around the engine or in electrical system, burning of interior finishing materials, fire caused by contact of the seat material with the exhaust pipe, and fire in cargo caused by lit cigarette thrown on to it. The fire detector must be capable of detecting every one of these fire whilst in a small size.

Fire detection by means of fixed temperature detectors or rate of rise detectors has such problems that hot plume blown away by wind over the traffic lanes in the tunnel and reaching detectors located apart from the fire may actuate them, and that under the environmental condition with high wind velocity in the premises the hot plume is cooled down by outside wind, and consequently the fire might be detected with delay. Furthermore, detectors with increased sensitivity might be actuated by heat of exhaust gas from large motorcars. In the case of pneumatic type detectors, they are influenced by change in atmospheric pressure. Therefore, thermal type detectors are

scarcely used in this particular application in Japan.

On the other hand, smoke detection is one of the advantageous fire detection methods because motorcar fires generate a large amount of smoke regardless of fuel fire or cargo fire. Therefore, smoke detectors which can be used under such environmental conditions in the tunnel and are intended for exclusive use in the premises have been developed and put to practical use. However, these detectors are readily influenced by wind blowing over the traffic lanes, and it is difficult to precisely discriminate location of the fire. With increase in wind velocity over the traffic lanes, smoke density decreases, and this brings about underestimation in the size of fire to be detected. Therefore, these smoke detectors are only used in few tunnels equipped with no water spray system.

The radiation type detectors which detect flames in fires have a typical advantage that they are able to precisely locate the fires by utilizing the characteristics of light. Sensitivity requirements for the detector may be expressed in terms of a minimum fire size to which it should respond. In 1961³⁾ this fire size was determined to be a gasoline fire in a vessel with an area of 1 m^2 on condition that the detector should be capable of detecting a fire of 1 liter of fuel which was spilled over the road surface and which could be extinguished by small fire extinguisher, and that the detector should not be actuated by illumination light in the tunnel or the headlight of the motorcars.

The fire detectors of this type were installed on the wall of the tunnel with their light receiving windows being in parallel with the longitudinal direction of the tunnel to avoid direct projection of the headlights onto the light receiving elements of the detectors. Since the detectors had a surveillance range i.e. angle of view of 120 degree, they were installed on the both sidewalls in the tunnel at equal spaces of 12 meters so that they may detect a fire corresponding to at least the 1 m^2 gasoline fire occurring anywhere on the road surface.

In 1973 a series of fire tests⁴⁾ was conducted in a simulator tunnel having nearly the full-scale cross section in our company's testing facilities. The tests with a coach and a car have shown that the detector with the above-mentioned sensitivity (i.e. responding to the 1 m^2 gasoline fire) might, in some instances, fail to operate on motorcar fires involving combustion of interior finishing materials and seat materials but no ignition of fuel.

This necessitated re-examination of the sensitivity requirements for the detector, and accordingly further motorcar fire tests⁵⁾ were conducted under varied conditions to measure physical quantitative information (heat, light and smoke) on the interior material fires without ignition of fuel and to study the relationship with the corresponding gasoline fire size. As a result of this, it was found preferable that the fire detector be capable of detecting a gasoline fire in a vessel with an area of less than 0.5 m².

There was also discussion with regard to the frequency of cleaning of the detector to prevent soil of the glass cover for the light receiving element by exhaust gas from reducing the detector sensitivity, and it was strongly desired to develop a detector which has a larger surveillance range and a longer maintenance cycle. We have developed the new fire detector for road tunnel described hereinafter to meet these requirements.

5. New fire detector for road tunnels⁷⁾

(1) Advantages

The newly developed fire detector has the following advantages as compared with the conventional ones.

- a. Because of its higher sensitivity the detector has a larger surveillance range. Therefore, the number of the detectors required for a fire protection system may be reduced to $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{8}$ of that required for the conventional system.
- b. The detector is capable of maintaining the required sensitivity even if the glass cover for the light receiving element is soiled by exhaust gas and dust and its transmissivity is reduced to 50 percent⁶⁾. Therefore, the glass cover may be cleaned less frequently, and the cleaning cycle is longer by three to six times as compared with the conventional ones.
- c. The detector does not operate on natural light and various illumination lights with the exception of direct exposure to the sunlight.

These advantages are obtained because the detector is designed on the basis of the following principles.

(2) Fire detecting principle

- a. Detection of frequencies of flames

It is well known that heat given off by flames of fire fluctuates periodically with basic frequency ranging from 1 to 15 Hz, and is related to the areas of the flames as shown in Figure 5.1. This detector detects the specific frequency which flames possess by means of the electric band filter and discriminates it for alarm.

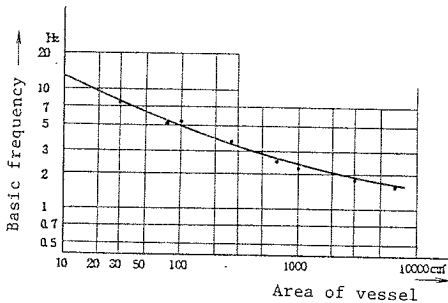


Figure 5.1 Relation between fluctuated frequencies of flames and areas of vessels

b. Detection of spectral distribution characteristics of flames

As can be seen in Figure 5.2 the spectral distribution of light emitted from flames differs from those of the natural light or various artificial lights, i.e. the motorcar fire or gasoline fire has the greater part of a spectral distribution within the long wavelength band while the natural light or artificial lights have the greater part of spectral distributions within the visible band with short wavelength. The detector utilizes this difference, and radiation intensities passing through the two different optical filters α , β are measured respectively in the two wavelength bands, i.e. long wavelength band with detection peak wavelength being $0.95 \mu\text{m}$, and short wavelength band with detection peak wavelength being $0.65 \mu\text{m}$. The comparator compares the outputs between these two wavelength bands and distinguishes between flames and natural light or artificial lights. The detector sends an alarm signal to a control panel only if the frequencies typical of flames are detected, and the predetermined ratio of the outputs in the two wavelength bands is attained.

Based on this principle the detector has the following circuit composition.

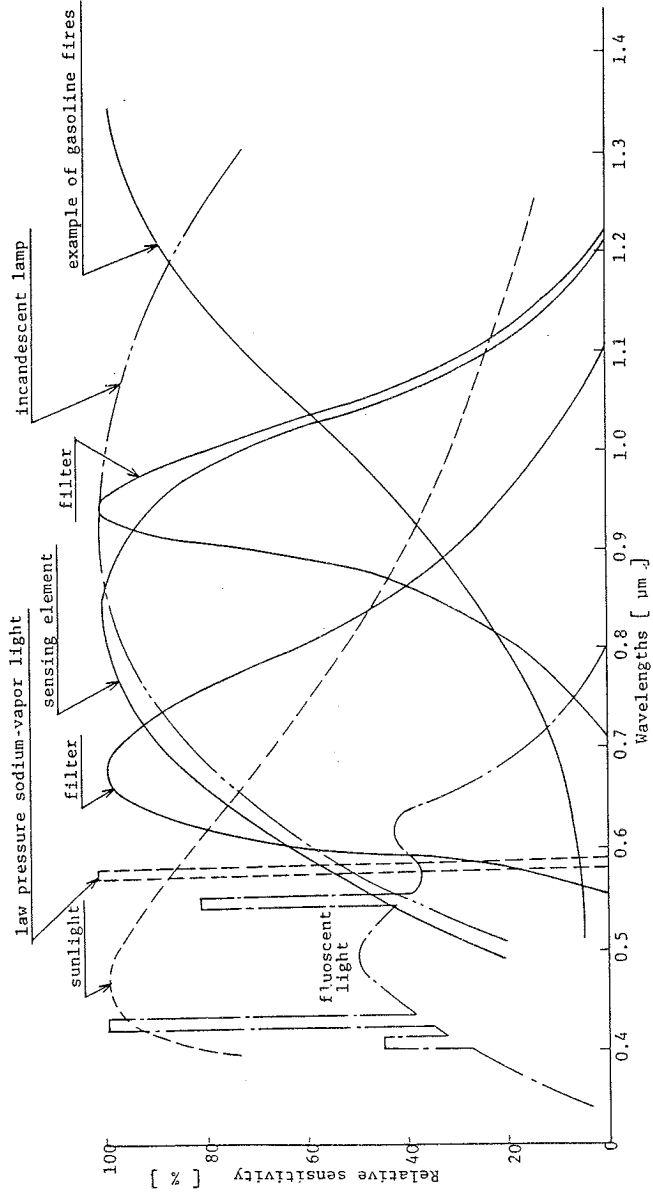


Figure 5.2 Spectral sensitivity characteristics

(3) Circuit composition

a. Detection circuit

Figure 5.3a is a block diagram of the fire detection circuit. For reference the circuit of one of the conventional detectors is shown with Figure 5.3b. The components shown on the left of the block diagram are optical filters and sensing elements. The optical filters comprise two kinds of filters having peaks in the different wavelength values, through which lights from radiation sources reach the respective sensing elements. The sensing elements convert the light energy into electrical signals, of which only those with the frequencies typical of flames are discriminated through the narrow band filters comprising the electronic circuits and amplified. The amplified output signals are rectified, smoothed and sent to the comparator which evaluates the ratio of outputs in the long wavelength band and the short wavelength band.

The block diagram shows two units of the optical filter/sensing element assembly, which are arranged to have a surveillance range of 180 degree in the horizontal direction. This is an example of the detectors, and one unit will be used depending upon type of application.

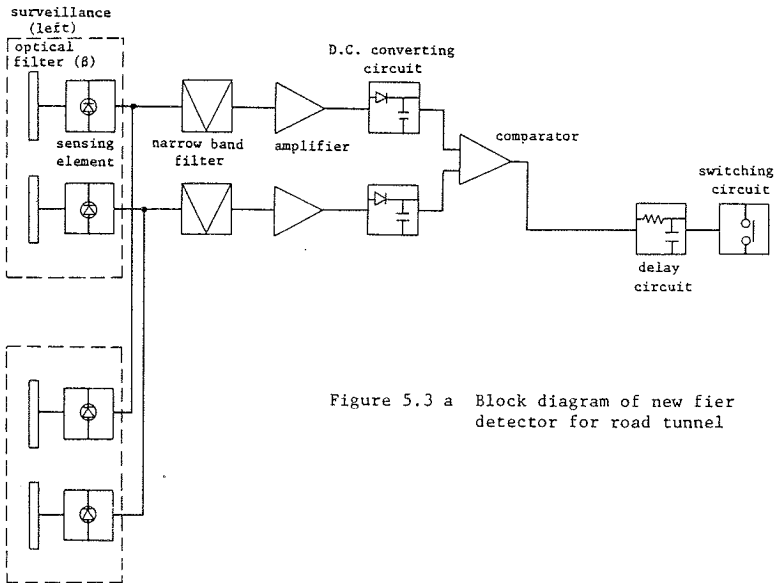


Figure 5.3 a Block diagram of new fier detector for road tunnel

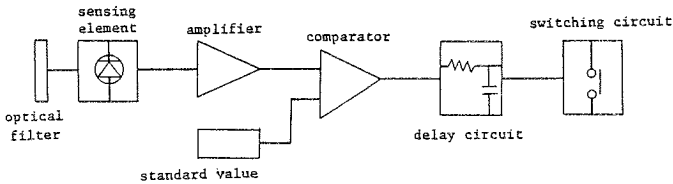


Figure 5.3 b Block diagram of a conventional fire detector for road tunnel

(4) Signals from detector

The fire detector produces two kinds of signals, i.e. a fire signal given with light energy reaching the detector, and a trouble signal given in case of trouble in the detector.

a. Fire signal

If the comparator described with Figure 5.3a has passed judgement as fire, the switching circuit operates with 1.7 ~ 3.0 seconds delay, and the contact of the electromagnetic relay closes. Closing of the auxiliary contact of this relay breaks the circuit operated by light input. Thus, the switching circuit and the electromagnetic relay reset. As long as radiation energy from fire continues, the switching circuit repeats switching on and off, and the fire signal from the detector has the pulse waveform as shown with Figure 5.4.



Figure 5.4 Fire signal form

b. Trouble signal

In case of trouble in the detector circuit, the switching circuit does not reset even if the electromagnetic relay operates and its auxiliary contact breaks the circuit operated by light input. Therefore, as long as the trouble in the circuit remains, the continuous trouble signal is produced.

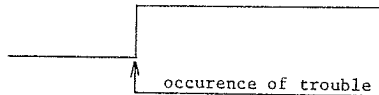


Figure 5.5 Trouble signal form

(5) Automatic test of fire detector

The automatic test device is provided to check and see if the detectors installed in the tunnel maintain their normal function at all times. The detector has a built-in light emitting diode for testing outside of the light receiving window of the detector, and by light energy from this diode it is possible to check the fire detection function and, at the same time, whether travel of the light through the glass cover is interrupted by soil. The test device can be started from the control panel installed in the control center and automatically tests individual detectors in order. If there is a detector which fails to operate, the control panel indicates or records the detector number for immediate replacement with a good one.

(6) Construction

The detectors used in the road tunnel are exposed to severer environmental conditions than those in ordinary building premises such as temperature change, leakage of water, splash of water during washing the tunnel wall surfaces and exhaust gas which would cause corrosion of metal parts of the detectors. Therefore, adequate consideration must be taken when designing the detector, particularly with respect to circuit design for compensation for temperature change as well as its construction. From many years' experience it is well known that the detector should be of mechanically airtight construction like a pressure vessel in order to prevent entry of water and gas into the detector. The new detector has a complete watertight

construction, which is attained by using a housing made of corrosion-resistant cast aluminum alloy, and sealing the joining parts of the housing with the cover and with the glass covers for the light receiving elements by means of the "O" rings, and the lead wire penetrating parts in the housing by epoxy resin.

(7) Directional sensitivity characteristics

The detector has such directional sensitivity characteristics that the sensitivity expands in the axial direction of the tunnel, especially 180 degree on the horizontal section so that the detectors may be installed with a large space between them. (See Figure 5.6). When siting the detectors, they should be arranged in such a manner that their surveillance space will be within the range shown with full lines inside the equivalent sensitivity curve shown with dotted lines.

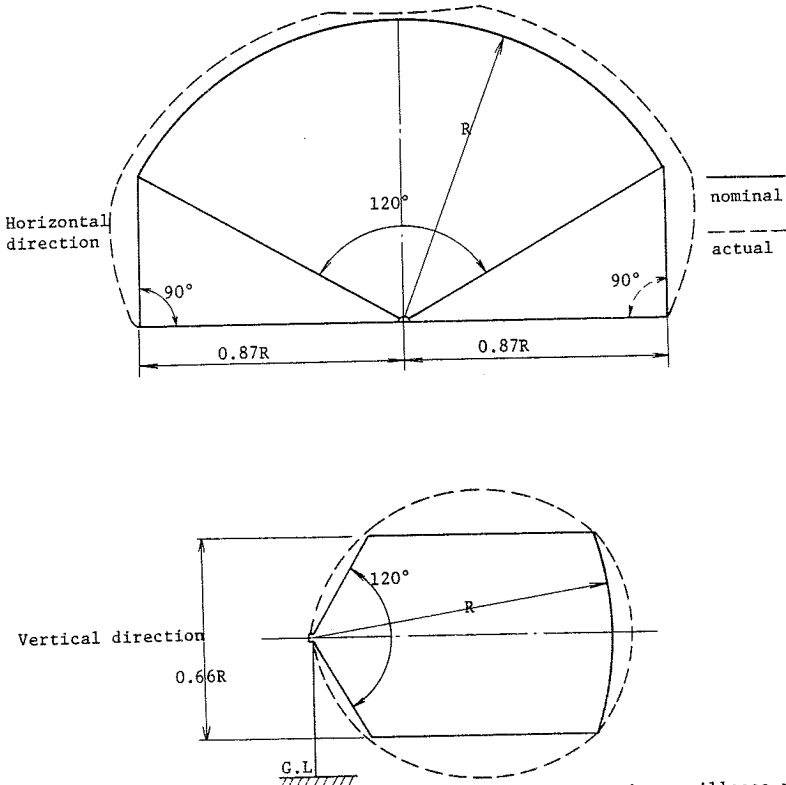


Figure 5.6 Directional sensitivity characteristics and surveillance range

(8) Fire detection sensitivity

Table 5.1 and Figure 5.7 show the relation between the gasoline fire sizes i.e. surface areas of vessels (m^2) and the fire detection distance (Rm) when the gasoline fires are set in the surveillance range shown in Figure 5.6. As can be seen from these data, the new detector is about threefold as sensitive as the conventional fire detector for tunnel

Table 5.1 Fire detection sensitivity

Area of Vessel	Size of vessel	Detection distance R	
		No soil of light receiving window	50% soil of light receiving window (See note)
1 m^2	1 m x 1 m	50 m	40 m
0.5	0.7 x 0.7	40	30
0.25	0.5 x 0.5	20	20
0.0625	0.25 x 0.25	15	10

Condition : Wind velocity less than 8 m/sec.

Quantity of gasoline more than (4 x area of vessel) liters

Note : When deposit of dust and other foreign materials on the window of the light receiving element has caused a reduction of transmissivity, i.e. a light obscuration rate of 50%.

Siting of the detectors should be made on the basis of the sensitivity given by the detectors with their light receiving windows soiled by exhaust gas and dust. Actual measurement of soil of the windows of the light receiving elements was made in a tunnel with a length of 4,500 m and one way traffic. During the period of 42 days some 630,000 motorcars passed through the tunnels, and the detector located at the exit where the worst environmental condition was created by polluted air in the tunnel showed a reduction of transmissivity, to 50.5% whereas 19% and 9.5% transmissivity reduction in the middle and at the portal respectively⁸⁾.

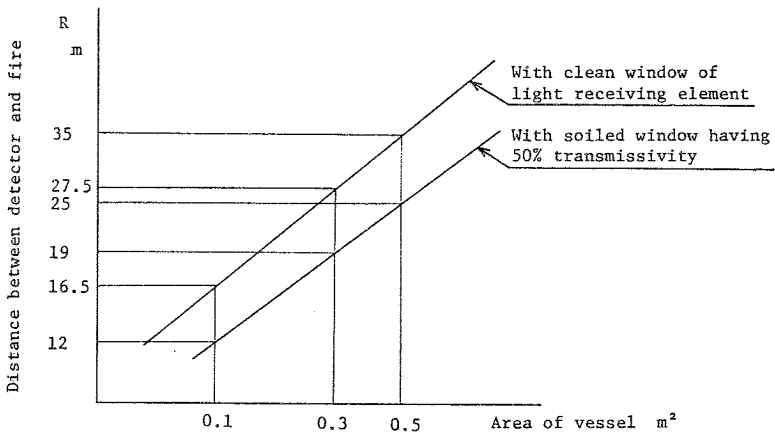


Figure 5.7 Gasoline fire detection distance

(9) Motorcar fires and operation of detector

Fire tests were carried out with tens of cars and coaches, and radiation intensities of flames in the incipient stage of the fires were measured. The measured values were converted to sizes of gasoline fires having the same radiation intensity, and they ranged from 0.15 m² to 0.5 m²

Time taken from the start of fire in the seats of the cars to flare up into flames coming out of the window of the driver's seat varied with types of cars, ranging from 15 seconds to 30 seconds. The converted fire size was 0.3 m².

In the test with fire in the seats of the coaches ignited with a piece of lit rag as in the above fire test, the detector (distance between the detector and the fire R=25 m, soil of the light receiving window of the detector = 0%) which looked at the flame through the window of the coach operated in 3 ~ 5 seconds after ignition, and with the fire size of 0.15 m².

In the fire test simulating fuel spill over the road under the floor of the motorcar, the fire size was measured at the time when the fuel fire started under the floor and extended to the side of the motorcar, and it corresponded to 0.15 ~ 0.3 m² gasoline fire in vessel.

(10) Location of detectors

Location of the detectors should be determined by taking the following conditions into consideration.

- a) The area to be supervised should be within the angle of view of the detector.
- b) The detectors should be readily accessible for installation and maintenance purposes.
- c) Radiation of flames should reach the detector without interruption by smoke. If there is no wind, dense smoke flows within the space of $1 \sim 2.5$ m from the ceiling surface. Accordingly the detectors should be positioned below the above level.
- d) The detector should not be located where the main beam light from the motorcar falls directly upon the light receiving element of the detector at close range. The headlights and fog-lamp of the motorcars have high luminous intensities, and normally these lights are installed below a height of 1.2 meters from the ground even in the case of a large motorcar.

(11) Spacing of detectors

Spacing of the detectors is related to the fire size to be detected at the farthest point of the surveillance range provided by one detector, i.e. the boundary with the adjacent detector. Table 5.2 shows the relation between the spacing of detectors and the fire sizes to be detected.

Table 5.2 Spacing of detectors and fire sizes

Spacing (m)	Number of detectors per section in case one detecting section is 50m length of the tunnel	Fire size (m ²)
On the one sidewall in the tunnel 50	1	0.5
" " 25	2	0.13
" " 16.6	3	0.09
" " 12.5	4	0.07
On the both side-walls in the tunnel face-to-face 50	2	0.5
On the both side-walls in the tunnel alternate 33.3	3	0.05
On the both side-walls in the tunnel face-to-face 25	4	0.12

1. The fire sizes are determined for the farthest position from the detector, i.e. the boundary with the adjacent detector.
2. Soil of the light receiving window of the detector: 50%
3. The detectors are installed on the wall of the tunnel.

(12) Non-operating characteristics against environmental lights

The detector which detects radiation intensities from flames should not operate on environmental lights in the tunnel other than fire. Included in the environmental lights are the natural light coming into the portal, illumination lights in the tunnel such as sodium-vapor light, fluorescent light, headlights of the motorcars and rotating lights of the patrol cars or for caution markers.

a) Natural light

Although the greater part in the tunnel is not influenced by the natural light, the direct rays of the sun come into the portal and the reflected light illuminates a certain inner area from the portal. The direct sunlight has intensity of 70,000 ~ 100,000 lx while the value of the reflected light is below 10,000 lx. The detector is designed to have a critical value of 13,000 lx for non-operation against the natural light. Where the detector located in the portal is likely to receive the direct ray of the natural light, it is necessary to use a shield plate or change the directional sensitivity characteristics of the detector.

b) Headlight of the motorcar

Motorcars run in the tunnel with their headlights turned on. Although light from the headlights comes into the surveillance range of illumination to be reached at a height of 1.0 ~ 2.8 m from the road surface is 200 lx, which is not enough to operate the detector. When a motorcar turns in the tunnel, the light beams from the headlights are directed toward the wall of the tunnel at the right angle. In this case the intensity of illumination on the wall surface reaches some 4,000 lx, but the detector operating on frequencies typical of radiation of flames and difference in radiation intensities in the two wavelength bands is not actuated.

c) Sodium-vapor light and fluorescent light

The principal portions of the wavelengths of the sodium-vapor light and fluorescent light used for illumination in the tunnel are 0.6 μm and 0.5 μm respectively, which fall into the different wavelength bands as compared with the detection band of 0.7 \sim 1.2 μm of the detector. Therefore, the detector does not operate on these lights.

d) Rotating light

Rotating lights are installed on all emergency motorcars of the police and fire stations, and have colors of red, yellow and purple. The rotating cycle is in general 2 \sim 3 Hz, but there are some which have a cycle of 6 \sim 7 Hz. Although these rotating cycles correspond with flame radiation frequencies of 1 \sim 15 Hz, the former's wavelengths are in the short wavelength band, and accordingly there is no fear that the detector is actuated by these rotating lights.

(13) Comparison between the new fire detector and the conventional detector

Table 5.3 summarizes comparison of characteristics between the new detector and the conventional detector. Figure 5.8 shows comparison of their fire detecting capacities and surveillance ranges as they are installed in the tunnel. From this figure it can be seen that the new detector has a wider surveillance range.

6. Conclusion

This paper has described the motive and progress of development of the new fire detector for road tunnel which has recently been put to practical use. It is our intention to make further improvements to extend the cycle of cleaning the glass cover for the light receiving element and to prevent false operation by the sunlight near portal. It is also one of our future theme to make studies of more advanced systems for prevention of spread of disaster caused by motorcar fires in tunnels.

Table 5.3 Comparison of fire detectors for tunnels

Detectors	New type		Conventional type		
Fire detection principle	Detection by comparison of radiation intensities in the two wavelength bands		Detection of excess of the predetermined radiation intensity in the near infrared region (0.7 ~ 1.2 μ m)		
Fire sensitivity (corresponding to gasoline fire in vessel)	0.13 m ² (Detector spacing of 25m on one sidewall in the tunnel)		0.5 m ² (Detector spacing of 12.5m on the both sidewalls in the tunnel)		
Permissible soil of the window of the light receiving element	50% (light obscuration rate)		20% (light obscuration rate)		
Non-operating characteristics	Standard specification	Critical value	Standard specification	Critical value	
Light sources	Sodium-vapor lamp	10,000 lx	over 30,000 lx	3,500 lx	7,000 lx
	Fluorescent lamp	10,000 lx	over 22,000 lx	3,500 lx	5,000 lx
	Headlight (Incandescent lamp)	1,000 lx	4,000 lx (main beam 1.5m)	180 lx	400 lx
	Headlight (Halogen fog lamp)	1,000 lx	3,000 lx (main beam 2m)	—	—
	Natural light	3,000 lx	13,000 lx	500 lx	800 lx
Power supply	DC or AC, 24V or 48V		Same as left		
Current consumption	During surveillance 7 mA During operation 30 mA		During surveillance 0.7 ~ 2.5 mA During operation 20 mA		
Number of electric wires	Detector line 3 wires Test line 4 wires		Same as left (interchangeable with the new type detector)		
Permissible ambient temperature	-20°C ~ +50°C		-15°C ~ +50°C		
Water tightness	200 mm underwater for 1 hour		Same as left		
Construction of housing	Corrosion resistive aluminum alloy, completely sealed type		Same as left		

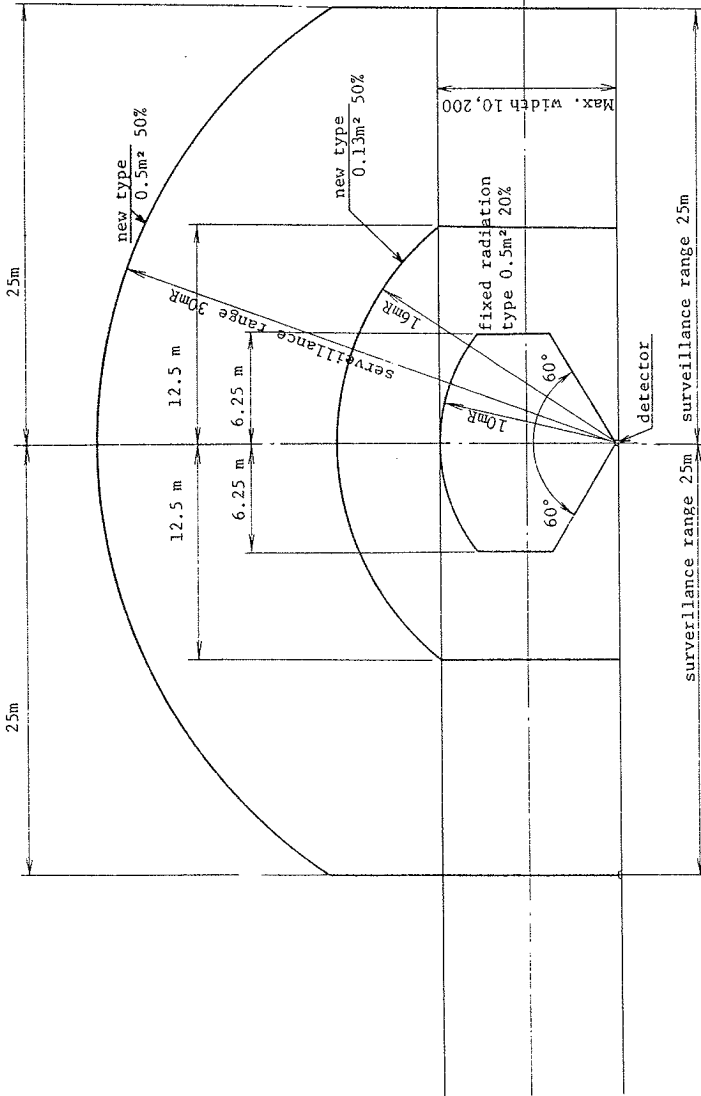


Figure 5.8 Comparison of surveillance range between new detector and conventional detector for road tunnels

References

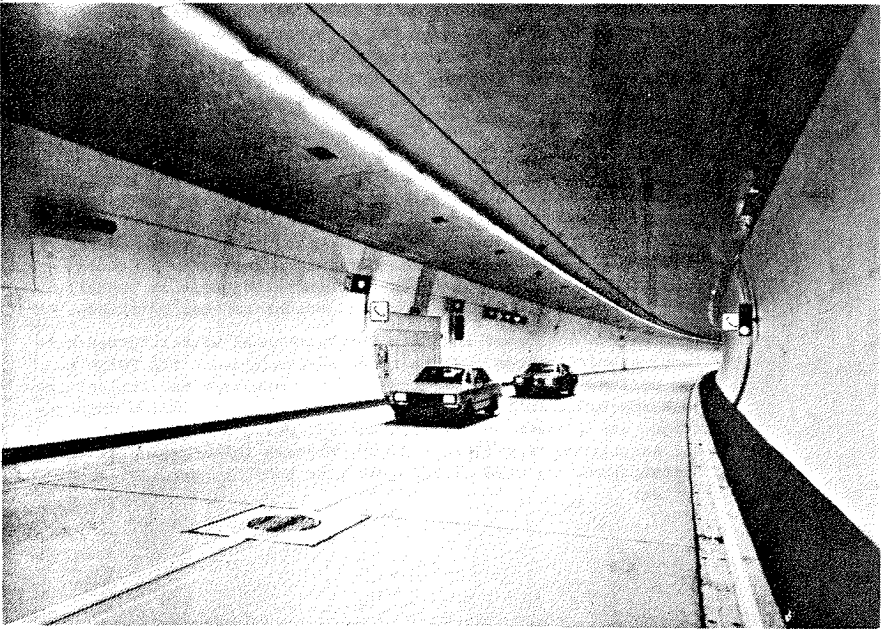
- 1) Technical Standards for Road Tunnels, 1974, Ministry of Construction.
- 2) Standard for Installation of Emergency Facilities for Road Tunnels, 1981, Ministry of Construction
- 3) Test Report on Fire Protection System in Tunnels for the Meishin Expressway, 1961, Meishin Expressway Tunnel Fire Protection Committee, Japan Fire Protection Association.
- 4) Preliminary Experiments on Motorcar Fires in Tunnel, 1973, Japan Highway Public Corporation and Nohmi Bosai Kogyo Co., Ltd.
- 5) Experiments related to studies on Motorcar Fire Patterns in Tunnel and their Detecting Conditions, 1973, Technical Information, Nohmi Bosai Kogyo Co., Ltd.
- 6) Report on Field Tests of New Radiation Detector, 1979, Technical Information, Nohmi Bosai Kogyo Co., Ltd.
- 7) Description of New Fire Detector (FDF 011 type) for Tunnel, 1981, Technical Information, Nohmi Bosai Kogyo Co., Ltd.
- 8) Research Report on Alarm Transmission System in Tunnel, 1980, Highway Research Committee.

Daniel Iseli, Ing. HTL
Securiton AG, CH-3052 Zollikofen

TRANSAFE

Brandmeldesystem für Strassentunnels

Berechnung der Ansprechempfindlichkeit



Zusammenfassung

Der Bericht behandelt die rechnerische Erfassung eines pneumatischen Thermodifferential-Brandmelders in Bezug auf die Ansprechigenschaften. Mit Hilfe eines elektrischen Analogiemodells und der Laplace-Transformation wird die Berechnungsformel abgeleitet. Ein praktisches Beispiel wird berechnet und kommentiert.

1. Einleitung

Die Firmengruppe Securiton/Contrafeu, die auf dem Gebiet Wertschutz und Brandschutz tätig ist, bietet unter dem Namen TRANSAFE ein Brandmeldesystem an, welches vorwiegend zum Schutz von Strassentunnels eingesetzt wird.

Das Melderprinzip besteht darin, den einen Brand charakterisierenden Temperaturanstieg pro Zeiteinheit zu erkennen und anschliessend den Brandalarm an die Zentrale zu leiten. Eine Brandfallsteuerung löst dann die entsprechenden Massnahmen aus, wie z.B. akustischer und optischer Alarm an die Tunnelwarte, Alarmierung der Feuerwehr, Meldung an den Prozessrechner, der wiederum die Belüftungsanlage, die Verkehrssignale und die Fernsehüberwachung steuert.

Wie bereits erwähnt, wird die Brandkenngrösse Wärme ausgenützt, um einen Brand zu erkennen. Je nach Grösse und Ablauf eines Brandes ist der damit verbundene Temperaturanstieg pro Zeiteinheit (Temperaturgradient) grösser bzw. kleiner. Dies hat einen Einfluss auf die Ansprechgeschwindigkeit des Melders. Andererseits spielt auch die örtliche Verteilung der Wärme über dem Brandherd, d.h. die vorhandene Luftgeschwindigkeit im Tunnel eine Rolle bezüglich den Ansprechigenschaften des Detektors.

Im weiteren entstehen in einem Strassentunnel witterungsbedingte Temperaturänderungen, welche keine Alarmauslösung zur Folge haben dürfen. Der von Securiton/Contrafeu entwickelte, linienförmige Wärme-Differentialmelder TRANSAFE erfüllt die harten Anforderungen zum Einsatz in Strassentunnels. Für die genaue Bestimmung der Ansprechempfindlichkeit dieses Melders in Abhängigkeit der Systemparameter, wird nachfolgend eine Berechnungsformel abgeleitet.

2. Aufbau des TRANSAFE-Systems

2.1 Aufbau des Einzelsystems

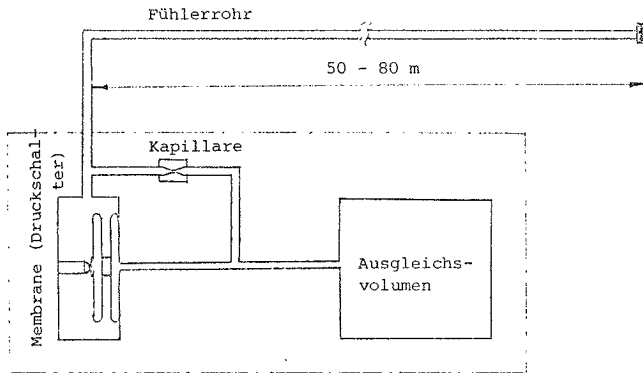


Fig. 1 Aufbau Transafe Thermodifferential-Melder

Der linienförmige Wärme-Differentialmelder TRANSAFE besteht im wesentlichen aus dem Fühlerrohr (Wärmesensor) und der Auswerteeinheit, bestehend aus Membrane, Kapillare und Ausgleichsvolumen.

Das dünne Fühlerrohr aus Kupfer (\varnothing 5 mm) wird in der Mitte der Tunneldecke montiert und kann eine Länge von 50 bis 80 m überwachen. Das Ende ist luftdicht abgeschlossen.

Ein durch einen Brand verursachten Temperaturanstieg führt zu einem Druckanstieg im Fühlerrohr, der von der Kapillare und dem Ausgleichsvolumen differenziert wird. Ist das Druckdifferential an der Kapillare höher als der Ansprechdruck des Druckschalters, wird dies als Brandalarm an die Zentrale weitergeleitet.

Umweltbedingte Temperaturänderungen verursachen nur ein kleines Druckdifferential, d.h. der Druckschalter spricht nicht an. Die Ansprechempfindlichkeit wird im wesentlichen durch folgende Parameter bestimmt:

- Länge des Fühlerrohres
- Luftvolumen des Fühlerrohres
- Kapillarengrösse
- Grösse des Ausgleichsvolumen
- Membranen-Ansprechdruck

2.2 Anordnung in Strassentunnels

Ein Strassentunnel wird in sogenannte Brandmeldeabschnitte unterteilt, welche normalerweise eine Länge von 200 + 300 m aufweisen. Da die Ueberwachungslänge eines Fühlerrohrabschnittes 50 + 80 m beträgt, werden 4 Einzelsysteme zu einer Gruppe zusammengefasst. Eine Detektoreinheit enthält die Auswertungen für 2 Fühlerrohre.

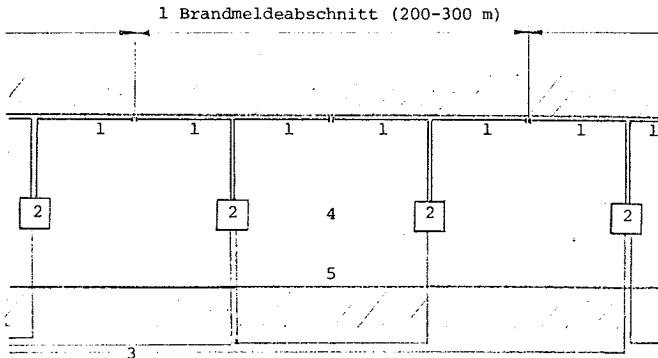


Fig. 2 Anordnung im Strassentunnel

- 1 Fühlerrohre
- 2 Detektoreinheiten für 2 Fühlerrohre
- 3 Meldelinien zur Brandmelde-Zentrale
- 4 Tunnelröhre
- 5 Fahrbahn

Die Detektoreinheiten können in vorhandene SOS-Nischen oder seitlich in der Tunnelwand montiert werden. Sie sind daher jederzeit, ohne Behinderung des Verkehrs, gut zugänglich.

3. Berechnung der Ansprechempfindlichkeit

3.1 Die Kapillare

Für die Berechnung des Gesamtsystems ist der Zusammenhang zwischen dem Volumenstrom \dot{V} (Luftstrom durch die Kapillare) und der angelegten Druckdifferenz Δp abgeleitet worden.

Der für diesen Fall geltende Zusammenhang ist nach der bekannten Formel aus der Mechanik der Flüssigkeiten und Gase gegeben.

$$\dot{V} = E \cdot A \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} = \frac{E \cdot d^2 \pi}{4} \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$

wobei \dot{V} = Volumenstrom in m^3/s

E = Einschnürfaktor

Δp = Druckdifferenz in Pa (N/m^2)

ρ = Dichte in kg/m^3 ; Luft = 1,293 kg/m^3

d = Durchmesser der Kapillarenöffnung

Der Einschnürfaktor E ist abhängig von der Beschaffenheit der Öffnung und von der Durchflussgeschwindigkeit.

$$E = F(a, b, \dot{V})$$

$a, b \dots$ Kapillarkonstanten

Hiervon kann der Kapillarenwiderstand R_K abgeleitet werden:

$$R_K = a \cdot \dot{V}^{(b-1)}$$

3.2 Herleitung der Grundformeln

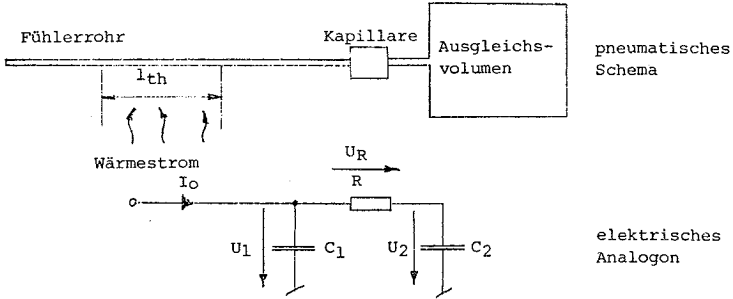


Fig. 3 Elektrisches Analogon

Die Umsetzung des pneumatischen Schemas in ein elektrisches Analogon dient zur einfacheren Berechnung des Ansprechverhaltens.

Definition der verwendeten Größen:

- I_0 : Entspricht dem auf bestimmter Länge l_{th} auf das Fühlerrohr wirkenden Temperaturgradienten und dem damit verbundenen Volumenstrom \dot{V}
- C_1 : Entspricht dem Volumen des Fühlerrohres (Innendurchmesser d_i und Gesamtlänge l)
- R : Entspricht dem Strömungswiderstand der Kapillare
- C_2 : Entspricht dem Volumen des Ausgleichsgefäßes
- U_1, U_2 : Entsprechen den Absolutdruckwerten im Fühlerrohr resp. Ausgleichsgefäß
- U_R : Entspricht dem Differenzdruck Δp an der Kapillare bzw. Membrane

Es interessiert nun der Zusammenhang zwischen der Eingangsgröße I_0 und der Ausgangsgröße U_R .

Die Ableitung mit Hilfe der Laplace Transformation ergibt:

$$U_R = I_0 \cdot R \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2} \left(1 - \frac{4}{3} \exp\left(-\frac{0,25 \cdot t}{RC \cdot C_2}\right) \right) \quad (1)$$

Werden nun die pneumatischen Größen eingesetzt:

$$\Delta p = \dot{V} \cdot R_K \cdot \frac{V_{AG}}{V_{FR} + V_{AG}} \left(1 - \frac{4}{3} \exp\left(-0,25t / R_K \cdot \frac{V_{FR}}{\rho_0 (V_{FR} + V_{AG})}\right) \right) \quad (2)$$

und

$$\dot{V} = K \cdot d_i^2 \frac{L_{th} \cdot T_G}{T_u + 273} \quad [mm^3/s] \quad (3)$$

V_{AG} : Volumen des Ausgleichsgefäßes

V_{FR} : Volumen des Fühlerrohres

p_0 : Absolutdruck

d_i : Fühlerinnendurchmesser (mm)

l_{th} : Länge der erwärmten Strecke am Fühlerrohr (m)

T_G : Temperaturgradient (°C/Min.)

T_u : Umgebungstemperatur (°C)

K : Konstante = $\frac{\pi \cdot 1000}{4 \cdot 60} = 13,09 \quad \left[\frac{mm \cdot min}{m \cdot s} \right]$

Der Druckendwert Δp_E wird erreicht nach t_E ; d.h. wenn der Exponentialteil der Gleichung (2) $\ll 1$ geworden ist.

somit wird

$$\Delta p_E = a \left(\frac{\dot{V} \frac{V_{AG}}{V_{FR} + V_{AG}}}{b} \right)^{\Delta} \quad (4)$$

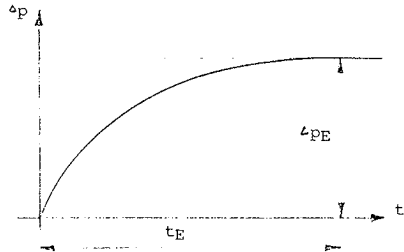


Fig. 4 Druckendwert Δp_E

Δp_E : Druckendwert in mmWs

a : Kapillarkonstante in mmWs

b : Kapillarkonstante

$\frac{\dot{V}}{mm^3/s}$: Volumenstrom pro mm^3/s

V_{AG} : Ausgleichsvolumen in cm^3

V_{FR} : Fühlerrohrvolumen in cm^3

Die Ansprechzeit t_{AN} ist diejenige Zeit, die benötigt wird zum Erreichen des Membranendruckes Δp_M und der damit verbundenen Alarmauslösung.

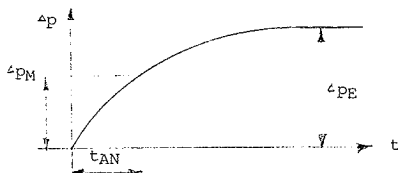


Fig. 5 Ansprechzeit t_{AN}

$$t_{AN} = 0,4 \cdot a^{1/6} \cdot \Delta p_M^{(1-1/6)} \frac{V_{FR} \cdot V_{AG}}{V_{FR} + V_{AG}} \left(-\ln 0,75 \left(1 - \frac{\Delta p_M}{\Delta p_E} \right) \right) \quad (5)$$

- t_{AN} : Alarmansprechzeit in s
 a : Kapillarkonstante in mmWs
 b : Kapillarkonstante
 V_{FR} : Fühlerrohrvolumen in cm^3
 V_{AG} : Ausgleichsvolumen in cm^3
 Δp_M : Membranansprechdruck in mmWs
 Δp_E : Druckendwert in mmWs (Formel (4))

4. Numerische Berechnung

Die Berechnung wurde mit Hilfe eines Pascal-Programmes auf einem PDP 11/70 Minicomputer durchgeführt.

Das Resultat der Berechnungen sind Tabellen, auf welchen das Ansprechverhalten verschiedener Anlagen in Zahlen dokumentiert wird. Das Programm ermöglicht die Erstellung je einer Tabelle für ein System mit bestimmten Parametergruppen.

Als Parameter können die folgenden Werte eingegeben werden:

- Ansprechdruck der Membrane Δp_M (mmWs)
- Kapillarenrösse, Nr., Kapillarenkonstante a (mmWs)
Kapillarenkonstante b
- Fühlerrohrlänge l (m)
- Fühlerrohrdurchmesser d_i (mm)
- durchschnittlicher Wert der Umgebungstemperatur T_u (°C)
- Grösse des Ausgleichsvolumens V_{AG} (cm³)

4.1 Beispiel einer Tabelle

Für das Beispiel (s. Tabelle 1) wurden folgende Parameter gewählt:

- Ansprechdruck 20 mmWs
- Kapillare Nr. 20
- Fühlerrohrlänge 30 m
- Rohrdurchmesser 4 mm
- Umgebungstemperatur 20°C
- Ausgleichsvolumen 1000 cm³

Diese Parameter entsprechen einem System, wie es in der Praxis für die Brandmeldung in Brennstofflagern angewendet wird.

Für den Einsatz in Strassentunnels werden andere Parametergruppen verwendet, da in diesem Falle zur Gewährung der Sicherheit bereits bei sehr kleinen Bränden alarmiert werden muss (s. Graphik Fig. 6)

Tabelle 1

S-CURITON AG ALPENSTR. 20 CM 3052 ZOLLINGEN/H/BN 13.10.1980		TRANSAXE THERMO-DIFFERENTIAL-GRÄNDFEIDSYSTEM *****		TABELLE DER ANSPRECHZEITEN UND MEHRANDRUCK-ENDEWERTE		RECHNUNGSREISPIEL FUER EIN BRENNSTOFFLAGER									
VOLUMEN DES AUSGLEICHGEBÄSSES I KAPILLAR-ROHMEN I MEHRANDRUCK-ANSPRECHDRUCK I		VORLAUF DES FUHRERROHRES I FUHRERROHR-ENDFÜHRDURCHMESSER I UMFANGUNGSTEMPERATUR I		TEMPERATUR-GRADIENT=WERTE I °C/CM		30.0 M 4.0 MM 20.0 °C									
DRUCK I	LAENGE I	15.0	17.5	20.0	25.0	30.0	40.0	50.0	60.0	75.0	90.0	110.0	130.0	160.0	200.0
2.5 ZEIT:	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
DRUCK:	0.2	0.3	0.4	0.6	0.7	1.2	1.7	2.2	3.2	4.2	5.8	7.5	10.4	14.9	MMS S
5.0 ZEIT:	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
DRUCK:	0.7	0.9	1.2	1.7	2.2	3.5	5.0	6.6	9.4	12.6	17.3	22.5	31.2	44.4	MMS S
7.5 ZEIT:	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
DRUCK:	1.4	1.8	2.2	3.2	4.2	6.6	9.4	12.6	17.9	23.9	32.8	42.7	59.3	84.3	MMS S
10.0 ZEIT:	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
DRUCK:	2.2	2.8	3.5	5.0	6.6	10.4	14.9	19.8	28.2	37.6	51.7	67.3	93.4	132.8	MMS S
12.5 ZEIT:	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
DRUCK:	3.2	4.0	5.0	7.1	9.4	14.9	21.1	28.2	40.1	53.5	73.5	95.7	132.8	189.0	MMS S
15.0 ZEIT:	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
DRUCK:	4.2	5.4	6.6	9.4	12.6	19.8	28.2	37.6	53.5	71.4	98.0	127.6	177.2	252.1	MMS S
17.5 ZEIT:	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
DRUCK:	5.4	6.9	8.5	12.0	16.1	25.3	36.0	46.0	68.3	91.1	125.1	162.8	226.0	321.0	MMS S
20.0 ZEIT:	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
DRUCK:	6.6	8.5	10.4	14.9	19.8	31.2	44.4	59.3	84.3	112.5	154.4	201.1	279.1	397.1	MMS S
22.5 ZEIT:	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
DRUCK:	8.0	10.2	12.6	17.9	23.9	37.6	53.5	71.4	101.6	135.5	186.0	242.2	336.2	478.4	MMS S
25.0 ZEIT:	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
DRUCK:	9.4	12.0	14.9	21.1	28.2	44.4	63.2	84.3	120.0	160.0	219.7	286.1	397.1	545.0	MMS S
27.5 ZEIT:	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
DRUCK:	11.0	14.0	17.3	24.6	32.8	51.7	73.5	98.0	139.5	188.0	255.4	332.6	461.7	656.9	MMS S
30.0 ZEIT:	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
DRUCK:	12.6	16.1	19.8	28.2	37.6	59.3	84.3	112.5	160.0	213.4	293.1	381.6	509.7	703.7	MMS S

ANSPRECHKONSTANTEN I = 0.3, 0.32 M°C/CM
 FUHRERROHR-VOLUMEN I = 376.891 CM
 KAPILLARROHMEN I = A I = 2.2500000F-03 MMS
 H I = 1.58

Die verschiedenen Temperatur-Gradientwerte sind über den entsprechenden Kolonnen aufgeführt. Jede Kolonne wurde mit dem obenerwähnten Gradientwert gerechnet (Kolonnen gleicher Gradientwerte).

In der vertikalen Achse ist die Länge der erwärmten Strecke des Fühlerrohres angegeben. Jede Zeile wurde mit der links angegebenen Erwärmungslänge gerechnet (Zeilen gleicher Erwärmungslänge).

Die Ansprechzeit und der Druckendwert ergibt sich aus dem Schnittpunkt der Zeile Erwärmungslänge mit der Kolonne Temperaturgradient.

z.B.: Temperatur-Gradient	=	50 °C/Min.
Erwärmungslänge	=	15 m
Alarmansprechzeit	=	10,7 s
		=====
Druckendwert	=	28,2 mmWs
		=====

Von der Tabelle kann derjenige Temperaturgradient abgelesen werden, welcher bei einer bestimmten Erwärmungslänge zu einer Alarmauslösung führt.

z.B.: Bei einer Erwärmungslänge von 10 m und einem Temperaturgradient von 75 °C/Min. wird eine Alarmauslösung erfolgen.

Die Tabelle zeigt weiter den Zusammenhang zwischen Temperaturgradient und Ansprechzeit bei verschiedenen Erwärmungslängen.

Es ist auch derjenige Temperaturgradient ersichtlich, welcher bei einer Erwärmung über die ganze Rohrlänge mit Sicherheit zu keiner Alarmauslösung führt. Dieser Wert ist für die Fehlalarmsicherheit wichtig.

Die Werte für ein System mit einer Rohrlänge von 60 m - ein Beispiel für ein Autobahntunnel - ist in Fig. 6 graphisch dargestellt. Zum Unterschied zu einem vergleichbaren Punktmeldersystem (strichlierte Linie), ist die Alarmansprechzeit für Temperaturgradienten, welche als Folge eines Brandes auftreten wesentlich geringer. Die Alarmierung erfolgt innerhalb weniger Sekunden. Andererseits zeigt das Diagramm, dass das TRANSAFE-SYSTEM eine sehr scharfe Abgrenzung zu kleineren Temperaturgradienten bietet.

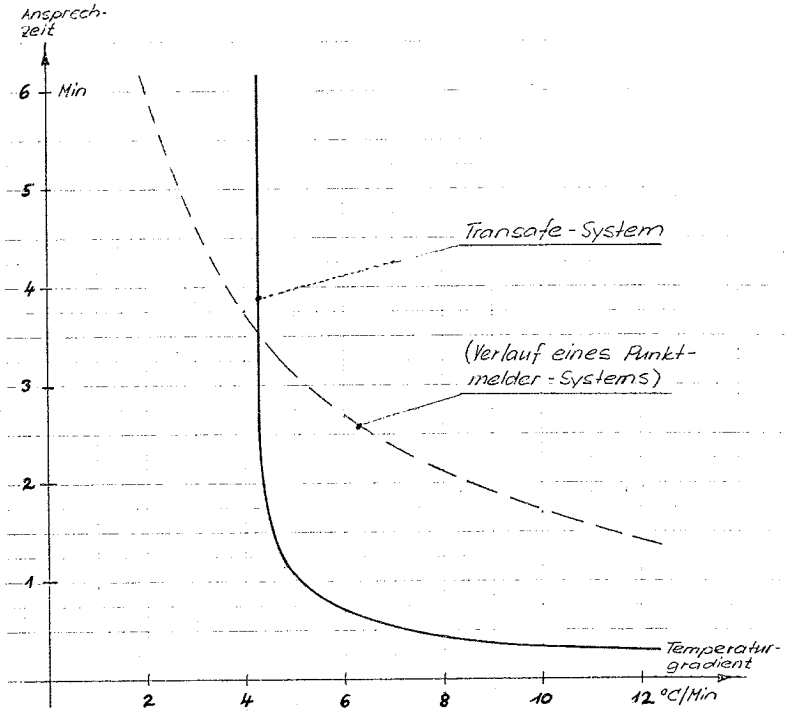


Fig. 6

Alarmansprechzeit t_{AN} in Fkt. des Temperaturgradienten TG
beim Transafe-System

60 m Fühlerrohrlänge
30 m Fühlerrohrerwärmung

5. Praktische Messungen

Sowohl im Wärmekanal wie bei echten Brandversuchen im Tunnel konnten die berechneten Werte nachgeprüft werden. Die Uebereinstimmung war bei beiden Werten (Zeit, Druck) sehr gut.

6. Schlussbetrachtungen

Die numerische Berechnung des TRANSAFE-Systems ermöglicht nun eine genaue Anpassung des Systems an die klimatischen Gegebenheiten des Tunnels.

Es kann aufgrund von Temperaturmessungen während der Inbetriebnahme oder durch Erfahrungswerte bezüglich der geographischen Lage des Tunnels, das System auf die maximale Alarmempfindlichkeit eingestellt werden (Verändern der Kapillare oder des Membranendruckes). Dadurch wird ein schnelles Ansprechverhalten realisiert, was bei einem Brandausbruch in einem Tunnel sehr wichtig ist.

Im weiteren kann die Empfindlichkeit auch an die vorhandene Fühlerrohrlänge angeglichen werden, da diese bei jedem Tunnel an die baulichen Gegebenheiten angepasst werden muss.

Die Systemparameter in den gerechneten Beispielen haben sich in der Praxis bestens bewährt und können für alle TRANSAFE-Anlagen angewendet werden.

Dipl.-Phys. Michael Faber
Westfälische Berggewerkschaftskasse
Bergbau-Versuchsstrecke
Dortmund, Bundesrepublik Deutschland

Mehrfachlöschsystem mit automatischer Flammenerkennung für den Einsatz bei Grubenbränden im Steinkohlenbergbau unter Tage

Im Steinkohlenbergbau unter Tage ist bei der Gewinnung* der Kohle grundsätzlich mit dem Auftreten von Grubenbränden zu rechnen. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen den relativ selten vorkommenden exogenen Bränden und den am häufigsten auftretenden endogenen Bränden. Während die exogenen Brände aufgrund unterschiedlicher äußerer Umstände, wie der Entzündung von brennbaren Materialien entstehen, haben die endogenen Brände ihre Ursache in Selbstentzündungsvorgängen der Kohle. Diese Selbstentzündung ist hierbei das Ergebnis von Absorptions- und Oxidationsprozessen der Kohle mit dem Sauerstoff. Diese Prozesse laufen bereits bei niedrigen Temperaturen ab und werden durch Temperaturerhöhung lediglich beschleunigt, so daß das Auftreten derartiger Selbstentzündungsbrände eine Funktion der Zeit ist und diese zusätzlich durch äußere Faktoren (Abbauverfahren, grubentechnische Depression, Torkretierung usw.) beeinflußt werden.

Bei Vorhandensein derartiger Brände ist eine davon ausgehende Explosionsgefahr grundsätzlich nicht auszuschließen. Vor allem bei verdeckten Selbstentzündungsbränden kommt es in der ersten Phase des Brandes noch zu einer nahezu unveränderten Methan- ausgasung, die zur Explosionsgefahr werden kann, wenn die Wetterführung durch den Brand selbst oder durch gezielte Maßnahmen zur Brandbekämpfung drastisch reduziert wird. Weitere Explosionsgefahren sind gegeben durch die im Brand selbst erzeugten brennbaren Schwelgase. Ferner sind sowohl Methan- als auch Brandgasexplosionen ihrerseits in der Lage, Kohlenstaub-

*Erläuterung bergmännischer Begriffe siehe Anhang

explosionen auszulösen. Da die Bildung möglicherweise explosionsfähiger Gas/Luft-Gemische über einen längeren Zeitraum anhält und die Zündquelle in Form des Brandes ebenfalls ständig vorhanden ist, muß mit der Gefahr mehrfach nacheinander auftretender Explosionen gerechnet werden. Derartige Fälle sind aus der Praxis bekannt, wobei die Folgezeiten des Auftretens der Explosionen zwischen einigen Minuten und mehreren Stunden oder Tagen liegen und abhängig sind von den wettertechnischen Bedingungen im Brandfeld.

Als ein bewährtes Standardverfahren zur Bekämpfung von Grubenbränden kann heute im Steinkohlenbergbau der Bundesrepublik Deutschland die Inertisierung von Grubenbränden mit Stickstoff angesehen werden. Ziel der Inertisierung ist es hierbei, dem Brand anstelle von Verbrennungsluft inerte Gase zuzuführen, um durch Verringerung des Sauerstoffgehaltes einerseits die Abbrandgeschwindigkeit und damit die Brandintensität zu verringern und andererseits günstigenfalls den Brand sogar zu löschen und eine eventuell vorhandene Explosionsgefahr auszuschalten.

Bei der Durchführung von Inertisierungsmaßnahmen wird generell unterschieden zwischen der Objekt- und der Rauminertisierung. Dabei werden als Objektinertisierungen solche bezeichnet, bei denen unter Aufrechterhaltung der normalen Bewetterung das Ziel verfolgt wird, den einen Selbstentzündungsbrand unterhaltenden Schleichwetterstrom möglichst vollständig durch kleine Raten an Inertgas zu ersetzen. Voraussetzung hierfür ist jedoch eine möglichst genaue Kenntnis über Ausmaß und Lage des zu bekämpfenden Brandes. Hingegen wird unter Rauminertisierung die konventionelle Methode der Einleitung inerten Gases in ein entweder allseitig oder aber zumindest einziehseitig vollständig abgedämmtes Brandfeld verstanden. Daher ist hierbei die Kenntnis über die örtliche Lage und die Größe des Brandes innerhalb des Brandfeldes von untergeordneter Bedeutung.

Der Grubenwehr kommt bei der Grubenbrandbekämpfung neben personenbezogenen Aufgaben unter anderem auch die Aufgabe der Schaffung baulicher Voraussetzungen für die erfolgreiche Durchführung gezielter Brandbekämpfungsmaßnahmen (Inertisierung) zu. Besonders bei der Ausführung von Dammbaumaßnahmen im Zuge der Rauminertisierung sind die Grubenwehrtrupps besonderen Gefahren aufgrund sich möglicherweise bildender explosionsfähiger Gasgemische ausgesetzt. Zum Schutz vor einer Gefährdung durch Brandgasexplosionen und zur Verhinderung der Ausbreitung wurden bislang zwischen der Brandstelle und den Grubenwehrtrupps sogenannte Schnellsperren errichtet. Hierbei handelt es sich um eine spezielle Modifikation der allgemein als Explosionssperren eingesetzten Wassertrogsperrn. Diese Sperren können jedoch nur in begrenztem Umfang einen ausreichenden Schutz bieten. Da sie als sogenannte passive Sperren zum Wirksamwerden, d. h. zur Verteilung des Löschmittels (Wasser), die eine Explosion begleitende Druckäufberung benötigen, sind sie im Falle quasi drucklos ablaufender Brandgasabflamungen oder Explosionen im Bereich der Zündgrenzen unwirksam. Ferner bieten sie nach erfolgtem ersten Ansprechen keinen Schutz mehr gegenüber Nachfolgeexplosionen.

Daher lag es nahe, nach einem System zu suchen, das in der Lage ist, gerade auch die Schwachpunkte mit abzudecken, die von den konventionellen Sperren nicht erfüllt werden können. Ein solches System muß folgende Bedingungen erfüllen:

- Es muß ein aktives System sein, das im Gegensatz zu den passiven Sperren unabhängig vom auftretenden Druck arbeitet und über einen Sensor automatisch ausgelöst wird,
- es muß nachweislich hohe Löschwirksamkeit gegenüber Gruben- und Brandgasexplosionen bzw. -abflamungen aufweisen,
- es muß vollständig autark sein, d. h. die für den Betrieb, die Auslösung und die Löschung benötigte Energie ständig mit sich führen und somit unabhängig von der Energieversorgung der Grube sein; diese wird am Einsatzort im allgemeinen nicht verfügbar, da defekt oder aber abgeschaltet sein,

- es muß von den Abmessungen und vom Gewicht so konzipiert sein, daß es mit den im Steinkohlenbergbau unter Tage verfügbaren Transportmöglichkeiten möglichst einfach an den Einsatzort zu bringen ist,
- es muß so robust gebaut sein, daß es die Wirkung einer Explosion möglichst unbeschadet übersteht,
- es muß so ausgelegt sein, daß es in der Lage ist, in Abhängigkeit von den untertätigen Gegebenheiten bezüglich des zu schützenden Streckenquerschnitts mindestens eine Folgeexplosion abzulöschen, wobei nach jeder erfolgten Löschung sich die erneute Löschbereitschaft automatisch einstellen muß.

Im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsvorhabens, das vom Minister für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen finanziell unterstützt wurde, hat die Bergbau-Versuchsstrecke in den vergangenen Jahren ein derartiges automatisches Flammenerkennungs- und Löschesystem zur Bekämpfung von Mehrfachzündungen entwickelt. Dieses System basiert auf der Auslösesperre System BVS (Bild 1).

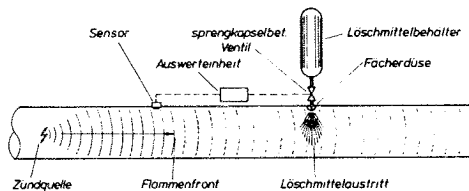


Bild 1: Prinzip der Auslösesperre System BVS

Die Wirkungsweise beruht auf der schnellen Erfassung der von Flammen ausgehenden UV-Strahlung durch einen Sensor, der Übertragung der Erfassungssignale an eine Auswertelektronik und der darüber gesteuerten Auslösung der Löschmittelfreigabe aus Löschmittelbehältern. Die Löscheffektivität wird hierbei durch die Schnelligkeit des Systems sichergestellt. Der Löschmittelaustritt aus den Löschmittelbehältern beginnt bereits ca. 5 bis 10 Millisekunden nach Ansprechen des Sensors und ist schon nach ca. 800 Millisekunden abgeschlossen.

Dieses Flammenerkennungs- und Löschesystem ist aufgrund untertägiger fördertechnischer Erfordernisse aus zwei Gestellen aufgebaut, die im Einsatzfall durch eine einfache vertauschungsgesicherte Steckvorrichtung miteinander gekoppelt werden (Bild 2).

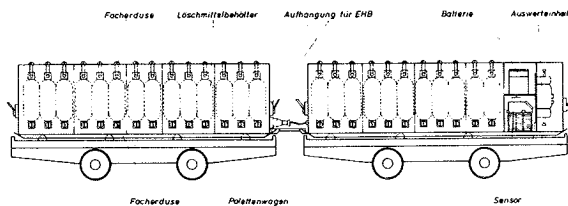


Bild 2: Mobile Auslösesperre System BVS

Dabei sind die Teile so konstruiert, daß sie wahlweise auf den üblichen Palettenwagen oder an der Einschienenhängebahn (EHB) transportiert werden können. Wegen auf der Unterseite angebrachter massiver Kufen besteht zusätzlich die Möglichkeit, diese Gestelle mit Hilfe eines Haspels oder ähnlichem über die Sohle zu ziehen. Die Abmessungen der Gestelle betragen jeweils: Länge = 3,28 m, Breite = 0,83 m und Höhe = 0,93 m. Das Gewicht jedes Gestells beträgt ca. 2500 kg.

Dieses Löschesystem ist mit insgesamt 50 Löschmittelbehältern ausgerüstet, die je zur Hälfte auf den beiden Seiten des Transportgestells installiert sind. Diese Löschmittelbehälter, die eine sehr hohe Ausströmrates des Löschmittels aufweisen (Entleerzeit ca. 800 Millisekunden), haben ein Volumen von 12,3 l und sind jeweils mit zwei sprengkapselbetätigten Schnellöffnventilen versehen. Befüllt sind die Behälter mit 8 kg Löschpulver auf Ammonphosphatbasis, dessen Ausbringung aus den Behältern mit Hilfe von Stickstoff unter einem Überdruck von 120 bar über sogenannte Fächerdüsen erfolgt.

Während das eine Gestell dieses Systems mit 28 Löschmittelbehältern bestückt ist, nimmt das andere neben 22 Löschmittelbehältern die Energieversorgung des Systems in Form einer Batterie (24 V/50 Ah), die Auswerteinheit sowie den herausnehmbaren UV-Sensor auf (Bild 2). Im Bedarfsfall wird dieses System so rasch wie möglich an den Einsatzort gebracht, möglichst im Bereich der Mitte des Streckenquerschnittes abgestellt (Bild 3) und der Sensor zwischen möglicher Zündquelle und Löschesystem mit einem Abstand von ca. 40 m zum Löschesystem angeordnet.

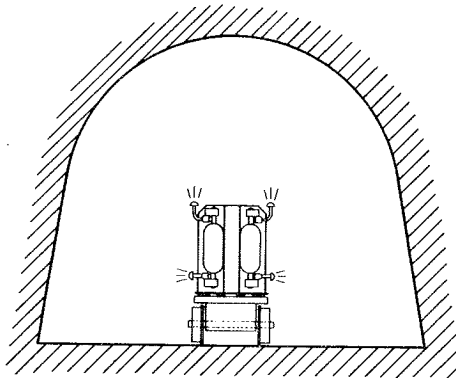


Bild 3: Mobile Auslösesperre System BVS

Dieser Abstand ergibt sich beim Herausnehmen des Sensors aufgrund der vorgegebenen Länge der fest angeschlossenen elektrischen Zuleitung. Der Sensor ist möglichst unter der Firste oder am Stoß der Strecke so anzuordnen, daß seine strahlungsempfindliche Fläche und damit sein Überwachungsbe-
reich senkrecht zur Streckenachse, d. h. auf die Sohle oder den gegenüberliegenden Stoß ausgerichtet ist.

Die Fächerdüsen zur Verteilung des Löschpulvers werden erst am Einsatzort mittels spezieller Steckvorrichtungen, deren Kodierungen für die richtige Stellung sorgen, auf die Löschmittelbehälterventile aufgesteckt. Sie werden senkrecht zur Streckenachse angeordnet, wobei die unteren Düsen der Be-

hälter direkt an den Ventilabgang gegen die Streckenstöße und die oberen Düsen über Rohrbögen von 90° gegen die Firste ausgerichtet sind.

Damit im Falle eines Grubenbrandes die Grubenwehrtruppe im Schutz dieses Flammenerkennungs- und Bekämpfungssystems gefahrlos ihre Dammbaumaßnahmen ausführen können, wurde dies System mit einer speziellen Steuerelektronik ausgerüstet und als Mehrfachlöschsystem mit automatischer Flammenerkennung ausgelegt. Durch eine besondere Aufteilung bei der internen Verdrahtung der insgesamt 50 Löschmittelbehälter wurde die Möglichkeit geschaffen, in Abhängigkeit des zu schützenden Streckenquerschnittes die gewünschte Anzahl von nacheinander zu erfolgenden Löschvorgängen frei zu wählen und am System vorzuprogrammieren. Ferner wurde zusätzlich die Möglichkeit vorgesehen, gegebenenfalls auch mehr als nur einen UV-Sensor zur automatischen Flammenerkennung anzuschließen.

Anhand einer Auslegung als Zweifachlöschsystem mit beispielsweise zwei UV-Sensoren soll hier vereinfacht die prinzipielle Wirkungsweise dieses neuentwickelten Löschsystems erläutert werden.

Die Erfassung der Flammen erfolgt in jedem Sensor mit jeweils zwei selektiven Erfassungsröhren, die nur für UV-Strahlung offener Flammen sowie Funken aus dem Wellenlängenbereich $190 \text{ nm} < \lambda < 250 \text{ nm}$ und nicht für Fremdlicht, wie z. B. Gruben-geleucht empfindlich sind (Bild 4).

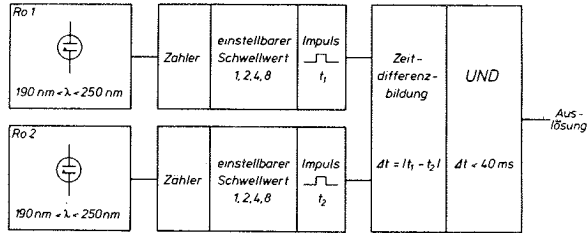


Bild 4: Sensor (schematisch)

Um zusätzlich sicherzustellen, daß der Sensor nur auf offene Flammen, nicht aber auf Einzelfunken anspricht, sind die Überwachungsbereiche beider Röhren so gewählt, daß sie sich nicht überlappen. Die Ausgangsimpulse jeder Röhre werden auf einen Zähler gegeben, dem ein Schwellwertgeber nachgeschaltet ist. Beim Überschreiten des eingestellten Schwellwertes wird ein Ausgangsimpuls abgegeben. In einer Zeitdifferenzbildungsstufe werden nun die Ausgangsimpulse beider Röhren auf ihre zeitliche Zuordnung hin untersucht und nur im Falle einer zeitlichen Korrelation von $\Delta t < 40 \text{ ms}$ UND-verknüpft. Erst dieses Verknüpfungssignal stellt den Erkennungsimpuls des jeweiligen Sensors dar, der zur Auslösung der Sperre führt. Die Erkennungsimpulse der (beiden) angeschlossenen Sensoren werden der Auswerteinheit zugeleitet und auf eine ODER-Verknüpfungsstufe gegeben. Auf diese Weise wird sichergestellt, daß jeder angeschlossene Sensor für sich die Sperre auslösen kann.

Die erste Auslösung nach Inbetriebsetzung dieses Löschsyste m s führt dann über eine Verstärkerschaltung zum Wirksamwerden der Sperre I, d. h. dem Auslösen des vorprogrammierten ersten Teils der Löschmittelbehälter (Bild 5).

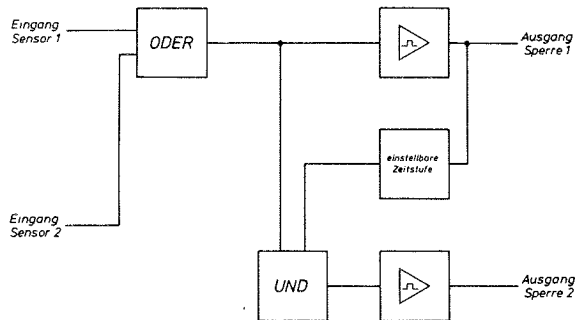


Bild 5: Auswerteinheit für Zweifachlöschsystem (schematisch)

Gleichzeitig wird hierdurch eine Zeitstufe angesteuert und gestartet. Nach Ablauf einer frei einstellbaren Wartezeit, die z. Z. auf ca. 30 Sekunden eingestellt ist, führt ein weiterer, von der ODER-Stufe kommender Auslöseimpuls automatisch über eine UND-Stufe und Verstärkerschaltung zur Ansteuerung der Sperre II (zweiter Teil der Löschmittelbehälter).

Nach der Inbetriebsetzung des Systems läuft automatisch ein umfassendes Testprogramm ab, das neben allen Funktionsgruppen der Steuerelektronik auch die Funktionen der Anzeigeelemente mit beinhaltet. Ferner werden die Löschmittelkreise und auch die angeschlossenen Sensoren auf Funktionsfähigkeit hin überprüft. Nach Ablauf dieses Testprogramms ist die Anlage betriebsbereit, wobei dies entsprechend gemeldet wird (an die

Auswerteinheit oder über Fernanzeige, wenn vorhanden). Nach erfolgter erster Auslösung absolviert die Steuerelektronik automatisch ein ähnlich umfassendes Testprogramm. Hierbei wird besondere Gewichtung auf die Erfassung möglicherweise beschädigter und damit nicht mehr funktionsfähiger Bestandteile des Gesamtsystems gelegt. Diese Systemteile werden dann automatisch weggeschaltet und als entsprechende Information jederzeit abrufbar abgespeichert. Gleichzeitig überprüft die Elektronik, ob mit den verbleibenden Bestandteilen des Systems ein einwandfreier Weiterbetrieb und damit ein weiterer Schutz für die Grubenwehrtruppe ermöglicht wird. Führt dies zu einem positiven Ergebnis, ist die Anlage nach der eingestellten Wartezeit erneut betriebsbereit. Bei negativem Ergebnis führt dies zur selbsttätigen Abschaltung.

Im Detail bedeutet dies: sollte zu irgendeinem Zeitpunkt vor der ersten Auslösung oder später einer der angeschlossenen Sensoren ausfallen, so wird dieser selbsttätig abgeschaltet und die Anlage bleibt mit dem verbleibenden Sensor allein in Betrieb. Sollte auch dieser noch zusätzlich ausfallen, schaltet sich die Anlage ab, da ohne Sensor keine Flammenerkennung mehr möglich ist. Sollte es zum Ausfall von Löschmittelbehältern beispielsweise der Sperre I kommen (z. B. durch Leitungsbruch), so wird die somit ausgefallene Löschmittelmenge automatisch aus dem bereitstehenden Reservoir der Sperre II aufgefüllt. Auf diese Weise wird gewährleistet, daß für den ersten Löschangriff auf jeden Fall ausreichend Löschmittel zur Verfügung gestellt wird. Für den zweiten Löschangriff verbleibe dann der Rest an Löschmittel. Sollte durch entsprechende Umstände auf diese Weise kein Löschmittel für eine weitere Löschung verbleiben, so führt auch dies automatisch zur Abschaltung.

Ogleich das vorgestellte automatische Flammenerkennungs- und Bekämpfungssystem für den speziellen Einsatz bei Grubenbränden entwickelt und somit den untertätigen Erfordernissen angepaßt wurde, kann es aufgrund der gewählten modularen Auf-

bauweise der Steuerelektronik nahezu uneingeschränkt zu einem allgemeinen Mehrfachlöschsystem ausgebaut werden, wodurch es möglicherweise auch für andere Anwendungsfälle interessant sein könnte (Bild 6).

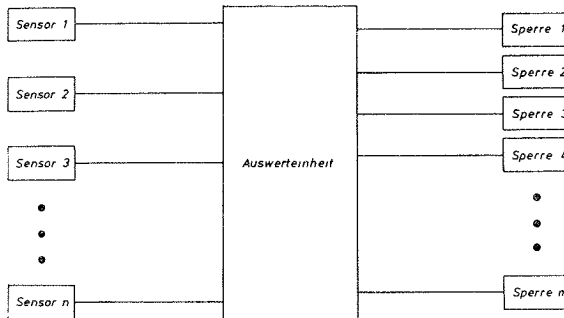


Bild 6: Prinzipielle Ausbaufähigkeit eines Mehrfachlöschsystems für Auslösesperren

Es ist somit problemlos, die Flammenerfassung mit n-Stück Sensoren zu gestalten und die Ansteuerung von m-Stück Sperren (Löscheinheiten) mit Hilfe nur einer Steuerelektronik (Auswertereinheit) vorzunehmen. Durch ständige Eigenüberwachung aller Bestandteile und zyklisch ablaufendem Test wird die Betriebsbereitschaft im Rahmen der installierten Gesamtkapazität jederzeit gewährleistet. Defekte Teile werden automatisch abgeschaltet und fehlende Kapazität an Löschmittel von "hinten nach vorn" aufgefüllt.

A N H A N G

Erläuterung bergmännischer Begriffe

Abbauverfahren	kennzeichnet die Gestalt, Form und Größe des Abbauraumes, seine örtliche Bewegung und die Dachbehandlung
Ausgasung	im Steinkohlenbergbau Austritt von Methan (Grubengas) aus dem Gebirge und aus der gelösten Kohle in den Wetterstrom eines Grubengebäudes
Damm	Bauwerk zur Trennung der abgedämmten von den übrigen Grubenbauen aus wetter- bzw. brandtechnischen Gründen oder zum Schutz gegen Explosionen oder Wassereinbruch
Depression	Unterdruckerzeugung mit Lüftern
Einschienehängbahn (EHB)	Transportmittel, bei dem vorwiegend Material und gelegentlich Personen in Behältern transportiert werden, die durch Laufwerke an einem aufgehängten Schienenstrang geführt sind
Firste	obere waagerechte oder geneigte Begrenzungsfläche einer Strecke
Geleucht	bergmännischer Sammelbegriff für die im Untertagebetrieb verwendeten Beleuchtungseinrichtungen
Gewinnung	Lösen von Kohle aus dem festen Gebirgsverband
Grube	der untertätige Bereich eines Bergwerkes
Grubenbau	planmäßig hergestellter bergmännischer Hohlraum unter Tage
Haspel	umfassender bergmännischer Ausdruck für maschinelle Zug- und Hubwinden
Palette	Hilfsmittel zum Transport von schwerem und langem Material. Die Bergbaupalette ist hinsichtlich der Abmessungen genormt
Schleichwetter	kleine unkontrollierte Wetterströme (Schleichströme) durch abgeworfene Grubenbaue

Sohle	1. Der Teil des Grubenraumes, auf dem der Bergmann im Abbau steht oder in der Strecke fährt 2. Gesamtheit der in einem etwa gleichen Niveau aufgefahrenen Grubenbaue
Stoß	seitliche Begrenzungsfläche eines Grubenbaues
Strecke	Grubenbau von regelmäßigem, ziemlich gleichbleibenden Querschnitt
Torkretierung	Auftragen von mehreren Zentimetern Spritzbeton auf den Gesteinsmantel von Strecken (ohne Sohle)
Wassertrogsperrren	Explosionssperre aus wassergefüllten Trögen, die in Tragrahmen hängen oder auf Trogträgern stehen
Wetter	sich durch untertägige Grubenbaue bewegende Luftströme
Wetterführung	Maßnahmen, um bestimmte Wetterströme zu allen Betriebspunkten hin- und dann wieder entsprechend abzuführen.

Dipl.-Phys., Dr.-Ing.
Herbert Heitmann
im Lehrstuhl Nachrichtentechnik
des Fachbereichs Elektrotechnik
der Universität - GH - Duisburg

Ein Beitrag zum Entwurf und Test von
Ultraviolett-Flammenstrahlungs-Meldern
für die automatische Brandentdeckung

Inhalt:

1. Einleitung
2. Versuchsaufbau, Versuchsdurchführung
3. Meßergebnisse
4. Störstrahler und Störstrahlung
5. Diskussion der Untersuchungen und
Schlußfolgerungen
6. Zusammenfassung

Duisburg, im Juni 1982

1. Einleitung

Bei automatischen Brandmeldeanlagen werden zur Entdeckung eines offenen Feuers u.a. auch Brandmelder eingesetzt, die als Brandkenngröße die von den Flammen emittierte elektromagnetische Strahlung im optischen Wellenlängenbereich ausnutzen. Hierbei können nur die infraroten und ultravioletten Bereiche herangezogen werden, da im Bereich des Lichtes (= sichtbarer optischer Wellenlängenbereich) zu viele und zu große Störquellen für die Detektoren vorhanden sind.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, zur Klärung einiger Fragen hinsichtlich des Entwurfs und des Tests von Ultraviolet-Flammenstrahlungs-Meldern beizutragen.

Der erste von zwei in dieser Arbeit betrachteten Fragenbereichen betrifft die Grundlagen für den Entwurf und Aufbau von Ultraviolet-Flammenstrahlungs-Meldern, d.h.

- die bei der Melderentwicklung zu berücksichtigenden Ultraviolet-Spektren der von Flammen realer Brände ausgehenden optischen Strahlung und entsprechend
- die Ultraviolet-Spektren der von Störstrahlern ausgehenden Strahlungsemission.

Die zweite Gruppe von Fragen betrifft den Test und die Testeinrichtungen für Ultraviolet-Flammenstrahlungs-Melder; hierbei ist zu unterscheiden nach:

- Grundlagentest: Messung von Ansprechschwellenwerten der Melder vor und nach Tests, die Umwelteinflüsse simulieren; Festlegung von Toleranzen für die Unterschiede der Ansprechschwellenwerte;
- Erprobungstest: Prüfung des Verhaltens der Melder auf reale Brände (Flammen).

Zu dieser Gruppe gehören folgende Fragestellungen:

- o Welche Strahlungsquellen sind als Norm-Strahlungsquellen für den Grundagentest geeignet? Sind dabei natürliche (Flammen) oder künstliche (Lampen) Strahlungsquellen vorzuziehen?
- o Inwieweit kann der Ansprechschwellenwert beim Grundagentest nach dem optischen ($\frac{1}{R^2}$)-Strahlungsgesetz (s.u.) ermittelt werden bzw. inwieweit ist, je nach Wellenlängenbereich, eine durch Luftabsorption der Strahlung hervorgerufene Abweichung von diesem Gesetz zu berücksichtigen?

Das Schwergewicht dieser Arbeit liegt auf der Bestimmung der Spektren der Ultraviolettstrahlung von Flammen sowie auf den Fragen, die die Testapparatur für den Grundagentest der Melder berühren.

Die vorgelegte Arbeit entstand im Rahmen der Forschungsaktivitäten der Forschungsgruppe "Automatische Brandentdeckung" im Fachgebiet Nachrichtentechnik des Fachbereichs Elektrotechnik an der Universität Duisburg - Gesamthochschule-.

2. Versuchsaufbau, Versuchsdurchführung

Zur Durchführung der beiden wesentlichen Meßreihen dieser Arbeit

- Messung der Spektren von Flammen und künstlichen Strahlenquellen,
 - Überprüfung des ($\frac{1}{R^2}$)-Gesetzes für den Grundlagentest der Melder auf der optischen Bank
sowie bei der Ausführung der Meßreihen
 - Kalibrierung der Meßkette,
 - Ermittlung von notwendigen Korrekturgrößen
- wurden im wesentlichen folgende Geräte und Strahlenquellen benutzt:

- Strahlengquellen:

für Kalibrierzwecke:

- o Quecksilber-Niederdruck-Lampe: Philips OZ4W
- o Quecksilber-Hochdruck-Lampe: Osram
UV-Standard-Strahler nach Krefft, Rössler und
Rüttenauer (Zs. techn. Physik 10 (1937), S. 336-342)

als zu untersuchende Flammen:

- o Stearinkerze, Teelicht
- o Petroleumlampe
- o Flamme eines Spirituskochers
- o Spiritusflamme in Schale
- o Flamme eines Methan-Brenners
- o offener Holzbrand

- Monochromator zur Wellenlängenselektion:

Jarrel-Ash, Typ Ebert, Produkt-Nr. 82-410

- Detektoren:

- o Fotovervielfacher: RCA, Typ C 31000 M
- o gasgefüllte Fotozellen:
 - Valvo UG 155; Sylvania P 574 und P 578;
 - Hamamatsu R 334

2.1 Spektren künstlicher Strahlengquellen (Lampen) und
Kalibrierung der Meßkette

Im Hinblick auf die Wellenlängenkalibrierung des Monochromators, die Wellenlängenabhängigkeit des Lichtflusses durch den Monochromator und die spektrale Empfindlichkeit des Fotovervielfachers wurden zunächst die Spektren der beiden Linienstrahler ermittelt:

a) Quecksilber-Niederdruck-Lampe, b) UV-Standard-Strahler.

Die Wellenlängen, bei denen diese Lampen UV-Linien emittieren, sind bis auf 0,1 nm genau bekannt und können somit für die Kalibrierung der Wellenlängenskala des Monochromators verwendet werden.

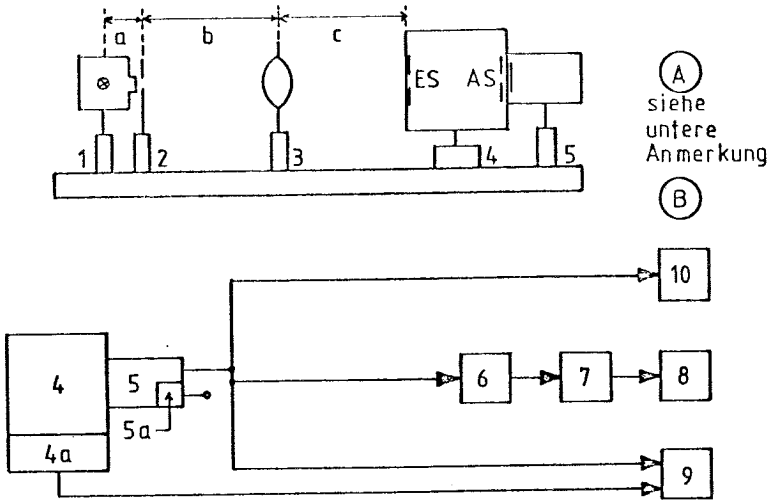
Die relativen Intensitäten der Spektrallinien untereinander sind für die Niederdrucklampe nach Firmenangabe annähernd bekannt; für den Standardstrahler sind diese Werte unter definierten Meßbedingungen (Standardgehäuse, 1,00 m Abstand zwischen Lampe und Detektor, Lampenstrom 2,00 A, Lampenbrennspannung ca. 120-130 V DC) durch die Messungen von Krefft, Rössler und Rüttenauer und anderen mehrfach ermittelt worden, so daß sie zur Relativ-Kalibrierung der Meßkette Monochromator-Fotovervielfacher herangezogen werden können. Die Abweichungen in den Angaben der einzelnen Autoren und Firmenunterlagen betragen hierzu im Mittel einige Prozent, im Extremfall ca. 15%.

Für den Standardstrahler wurde ferner ein Kalibrierwert der Gesamt-Strahlstärke der 3 eng benachbarten Spektrallinien 365,0 nm, 365,5 nm und 366,3 nm seitens des Herstellers bei der Lieferung des Strahlers angegeben, der den Absolutanschluß der Spektren ermöglicht. Für die benutzte Lampe beträgt dieser Kalibrierwert: $(641 \pm 25) \text{ mW} \cdot \text{sr}^{-1}$.

Die für diese Messungen benutzte Meßkette und die Meßgeräteanordnung sind in Bild 1 wiedergegeben.

2.2 Spektren natürlicher Strahlenguellen (Flammen)

Während bei der Messung der Spektren der künstlichen Strahlenguellen durch die hohe Lichtintensität dieser Quellen ohne Probleme im Hinblick auf das Signal-/Rausch-Verhältnis mit Gleichlichtbetrieb des Fotomultipliers bei relativ niedrigen Anodenspannungen (900V - 1200V) gearbeitet werden konnte (Nullsignal, Dunkelspannung: 6-7 mV; reine Meßsignalspannung: einige mV bis ca. 2 Volt), war dies bei der Messung der Flammenspektren nicht mehr möglich. Selbst bei größtmöglicher Verstärkung mit Anodenspannungen von ca. 1700V - 1850V ergaben sich bei versuchtem Gleichlichtbetrieb nur Signalspannungen von einigen mV, und dies auch nur für die Wellenlängenbereiche, bei denen die Flammen im Ultraviolett relativ stark Strahlung emittieren, d.h. für Wellenlängen oberhalb von ca. 325 nm. Für den wichtigen Bereich unterhalb dieser Grenze waren keine Meßsignale mehr vom Nullsignal zu trennen.

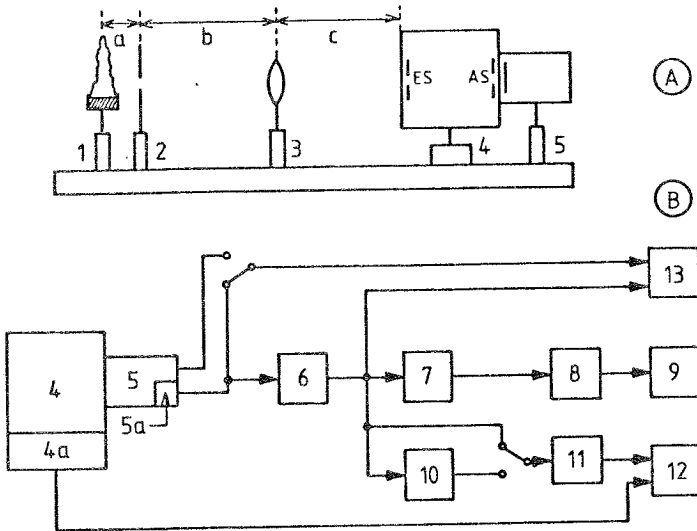


- 1 Strahlenquelle (Lampe)
- 2 Lochblende: 8-20mm ϕ (z.T. nicht benutzt)
- 3 Quarzlinse: Spektrosil B (z.T. nicht benutzt)
- 4 Monochromator: Jarrel & Ash; Typ Ebert 0,25m
- 4a Getriebe für Wellenlängenvorschub; Meßwert $U(\lambda)\lambda$
- 5 Photovervielfacher: RCA C 31000 M
- 5a Emitterfolger (Impedanzwandler) und Vorverstärker
- 6 Digitalvoltmeter
- 7 Interface
- 8 Fernschreiber (ASCII-Code)
- 9 X-Y - Schreiber
- 10 Oszillograph

b oder a+b: Gegenstandsweite; c: Bildweite
ES/AS : Eintritts-/Austrittsspalte des Monochromators

A: Aufbau auf der optischen Bank
B: Meßwertaufnahme und -Registrierung

Bild 1 : Versuchsanordnung zur Ermittlung der Spektren künstlicher Strahlenquellen im Bereich $\lambda=180\text{nm}$ bis 470nm



- 1 Strahlenquelle (Flamme)
- 2 Lochblende: 20mm ϕ (z.T. nicht benutzt)
- 3 Quarzlinse: Spektrosil B (z.T. nicht benutzt)
- 4 Monochromator: Jarrel & Ash; Typ Ebert 0,25 m
- 4a Getriebe für Wellenlängenvorschub; Meßwert $U(\lambda) \sim \lambda$
- 5 Photovervielfacher: RCA C 31000 M
- 5a Emitterfolger (Impedanzwandler) und Vorverstärker
- 6 Breitbandverstärker ($f_g \approx 1$ MHz; $v = 0,10,20,30$ dB)
- 7 Impulzzähler mit SchwellenwertEinstellung (0-250MHz)
- 8 Interface
- 9 Fernschreiber (ASCII-Code)
- 10 RC-Integrator
- 11 RMS- oder Digitalvoltmeter
- 12 XY-Schreiber
- 13 Oszillograph

b oder a+b: Gegenstandsweite; c: Bildweite
ES/AS : Eintritts-/Austrittsspalte des Monochromators

A: Aufbau auf der optischen Bank
B: Meßwertaufnahme und -Registrierung

Bild 2 : Versuchsanordnung zur Ermittlung der
Flammenspektren im Bereich $\lambda = 180\text{nm}$ bis 470nm

Daher mußte auf die - z.B. aus kernphysikalischen Messungen - bekannten Methoden des "Photon Counting"; d.h. auf die Methode des Lichtimpulsbetriebs des Fotovervielfachers zurückgegriffen werden. Es wurde für alle Meßreihen eine gemeinsame Verstärkung (Fotovervielfacher-Betriebsspannung gleich 1450 V) benutzt, so daß auch für den Bereich um 200 nm noch ein genügendes Signal-Rausch-Verhältnis erzielt wurde.

Die optische Anordnung zur Messung der Flammenspektren entsprach im wesentlichen der Anordnung nach 2.1, Bild 1; sie ist in Bild 2 zusammen mit der für den Lichtimpulsbetrieb geänderten Meßkette wiedergegeben.

Mit diesem geänderten Meßaufbau wurden nunmehr die in einem Impedanzwandler (50Ω -Ausgang) und Vorverstärker um ca. den Faktor 10 sowie im nachgeschalteten Breitbandverstärker um ca. 30 dB verstärkten negativen Impulse der Fotovervielfacheranode einem Impulszähler zugeführt, über einen Zeitraum von durchweg 4 sec gezählt und die sich ergebende Zählrate r (ca. $200 \frac{\text{Imp}}{4\text{s}}$ bis ca. $250.000 \frac{\text{Imp}}{4\text{s}}$), die bekanntlich der Strahlungsleistung proportional ist, dem Fernschreiber übermittelt.

Während nun bei den Lampen aufgrund ihrer innerhalb der Versuchszeit nahezu konstanten Betriebsbedingungen im Prinzip 1 oder 2 Messungen zur Aufzeichnung der Spektren ausreichten, mußten bei den Flammen die Messungen wegen der durch das Flackern der Flamme bedingten, zeitlich stark schwankenden Emission mehrere Male wiederholt und über diese Wiederholungen gemittelt werden.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Anzahl der durchgeführten Messungen (ohne Streulichtmessungen) und die bei diesen Messungen jeweils verwendete Schrittweite der Wellenlänge:

Tabelle 1

Übersicht über die Messungen der Flammenspektren

Flamme	Anzahl der Messungen	verwendete Schrittweite
Petroleumlampe	6	0,166 nm
Spirituskocher	4	0,166 nm
CH ₄ -Brenner, gelber Flammenbereich	2	0,166 nm
CH ₄ -Brenner, blauer Flammenbereich	2	0,166 nm
Teelicht	6	0,333 nm
Spiritusflamme in Schale, unterer blauer Teil	6*	0,333 nm
Spiritusflamme in Schale, oberer gelber Teil	6*	0,333 nm
offener Holzbrand	7*	0,666 nm

*Diese 6 Messungen der Spektren wurden in je 6 Teilbereichen à 50 nm, diese 7 Messungen in 4 Teilbereichen à 60 nm mit je 1 Feuer pro Teilbereich durchgeführt; bei dem Holzbrand war die Messung auf den Bereich 180 nm bis 420 nm beschränkt, bei den Spiritusfeuern auf den Bereich 150 nm bis 450 nm.

2.3 Messungen zum Relativ- und Absolutanschluß der Flammenspektren

Die Relativanschlüsse der Flammenspektren untereinander wurden im Gleichlichtbetrieb des Fotovervielfachers bei hoher Verstärkung ($U_{SEV} = 1850 \text{ V}$) und bei der Wellenlänge von 365,0 nm durchgeführt. Dabei war im Gleichlichtbetrieb

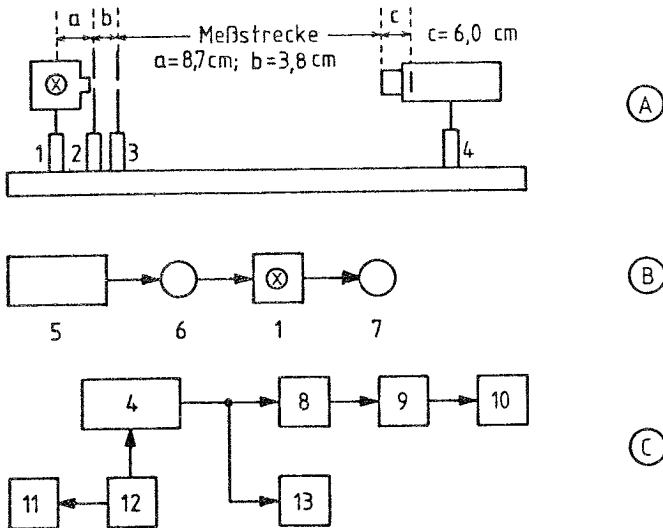
eine Signaltrennung vom Nullwert möglich. Für den Absolut-Anschluß war gleichzeitig der Bezugswert des UV-Standard-Strahlers aus dem Kalibrierwert der 3 Linien 365,0 nm, 365,5 nm und 366,3 nm (641 mW/sr in 1 m Entfernung) und aus dem gemessenen Verhältnis der 3 Linien (100%:56%:45%) bekannt. Für diese Messungen wurden wie für die Messungen nach 2.2 eine Teil-Flammenzone bzw. die in 1 m-Entfernung vom UV-Standardstrahler am gleichen Ort der Teil-Flammenzone stehende Blende auf den Monochromator-Eintrittsspalt abgebildet, so daß von der bekannten Leuchtdichte des UV-Standards am Ort der Blende auf die unbekannt Leuchtdichte der Flammenzone geschlossen werden konnte.

2.4 (1/R²)-Gesetz im nahen und mittleren Ultraviolett-Bereich

Im Hinblick auf die Prüfung von Detektoren auf der optischen Bank im Grundlagentest erfolgte die Überprüfung des (1/R²)-Gesetzes mit 2 verschiedenen Meßmethoden:

- a) unter Anwendung der genannten Quecksilber-Niederdruck-Lampe (UV-Hg/ND-Lampe) als Linienstrahler in Verbindung mit den in Kap. 2 genannten 3 gasgefüllten UV-Fotzellen,
- b) unter Anwendung der Deuterium-Lampe als Kontinuumstrahler in Verbindung mit dem Fotovervielfacher und 5 unmittelbar vor dessen Eintrittsfenster montierten, optischen Interferenz-Reflexionsfiltern.

Die Versuchsanordnung zu b) ist in Bild 3 wiedergegeben, für a) war sie analog aufgebaut.



- 1 Deuteriumlampe: Oriol C70-2V-H, mit Kondensator
- 2 Lochblende 10mm ϕ
- 3 Lochblende 8mm ϕ
- 4 Photovervielfacher: RCA C 31000 M
mit vorgesetztem Interferenzreflexionsfilter:
Schott UV-R 220, 250, 280, 310, 340
- 5 Energieversorgung für 1 (stromstabilisiert)
- 6 Amperemeter
- 7 Voltmeter
- 8 Digitalvoltmeter
- 9 Interface
- 10 Fernschreiber
- 11 Digitalvoltmeter mit Hochspannungstastkopf
- 12 Hochspannungs-Energieversorgung für 4; spannungsstabilisiert mit Sicherheitsabschaltung
- 13 Oszillograph

- A: Aufbau auf der optischen Bank
 B: Betrieb der Deuteriumlampe
 C: Meßkreis des Photovervielfacher-Signals

Bild 3 : Versuchsanordnung zur Prüfung des $\frac{1}{R^2}$ -Gesetzes mit Photovervielfacher

3. Meßergebnisse

3.1 Spektren künstlicher Strahlenguellen (Lampen) und Kalibrierung der Meßkette

Die Bilder 4 und 5 zeigen die nach Durchführung aller Korrektur-Rechnungen (siehe auch / 1 /) erhaltenen Relativ-Spektren der beiden gemessenen Linienstrahler (Quecksilber-Niederdruck-Lampe, UV-Standard).

Im Hinblick auf den Vergleich zu den in der Literatur und in den Firmenunterlagen angegebenen Relativspektren und die dadurch ermöglichte Überprüfung der benutzten Apparatur und der Meßauswertung (Durchführung der nötigen Korrekturen) ist zu diesen Lampen im einzelnen zu sagen:

- Quecksilber Niederdrucklampe und UV-Standard-Strahler:
Die Lagen der Spektrallinien der beiden Lampen konnten im Rahmen einer Genauigkeit von $\pm 0,1$ nm bis $\pm 0,2$ nm bestätigt werden, wenn man eine grundsätzliche, von kurzen nach langen Wellenlängen abfallende Verschiebung (ca. 1,2 nm bei 200 nm, ca. 0,6 nm bei 450 nm) der Monochromatoranzeige gegenüber den Sollwerten berücksichtigt.

Die relativen Strahlungsflüsse oder Strahlungsdichten der einzelnen Linien zueinander konnten im allgemeinen im Rahmen einer Genauigkeit von $\pm 25\%$ bestätigt werden; die Mittelung dieser Abweichungen über alle Linien ergab einen Wert von $\sim 1,2\%$. Einzelne größere Abweichungen waren bei Wiederholungsmessungen reproduzierbar, so daß diese für das Einzelexemplar der vorhandenen Lampen im Rahmen der genannten Genauigkeit als gültig angesehen werden müssen.

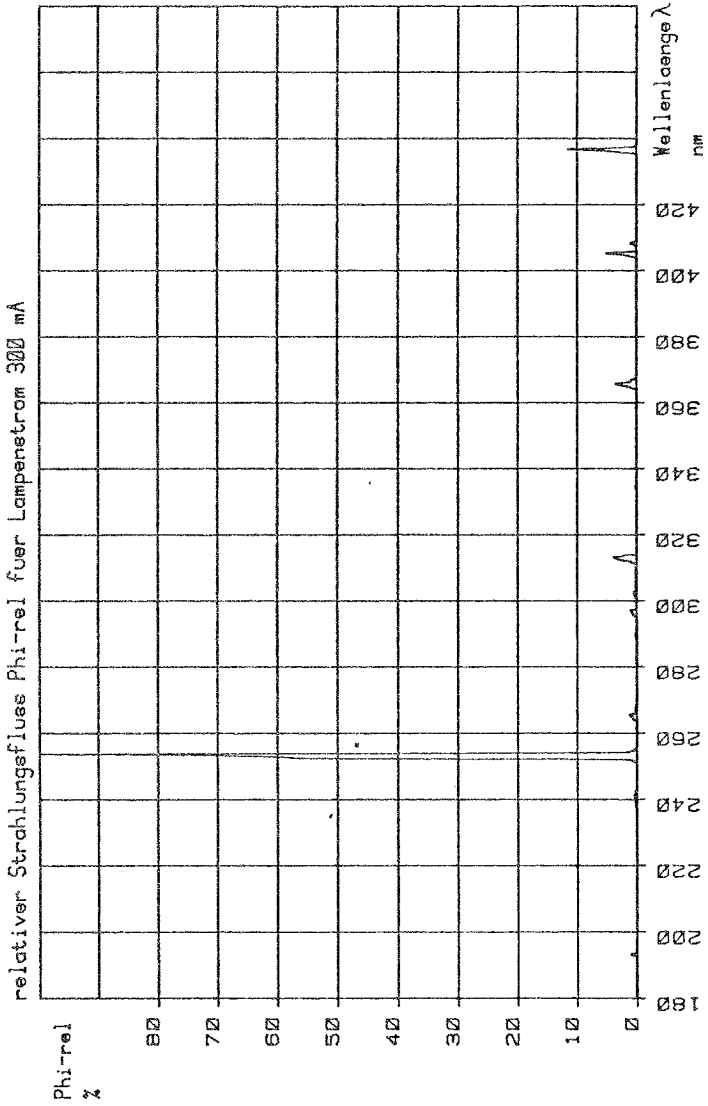


Bild: 4 Spektrum der Quecksilber-Niederdrucklampe 0Z4W

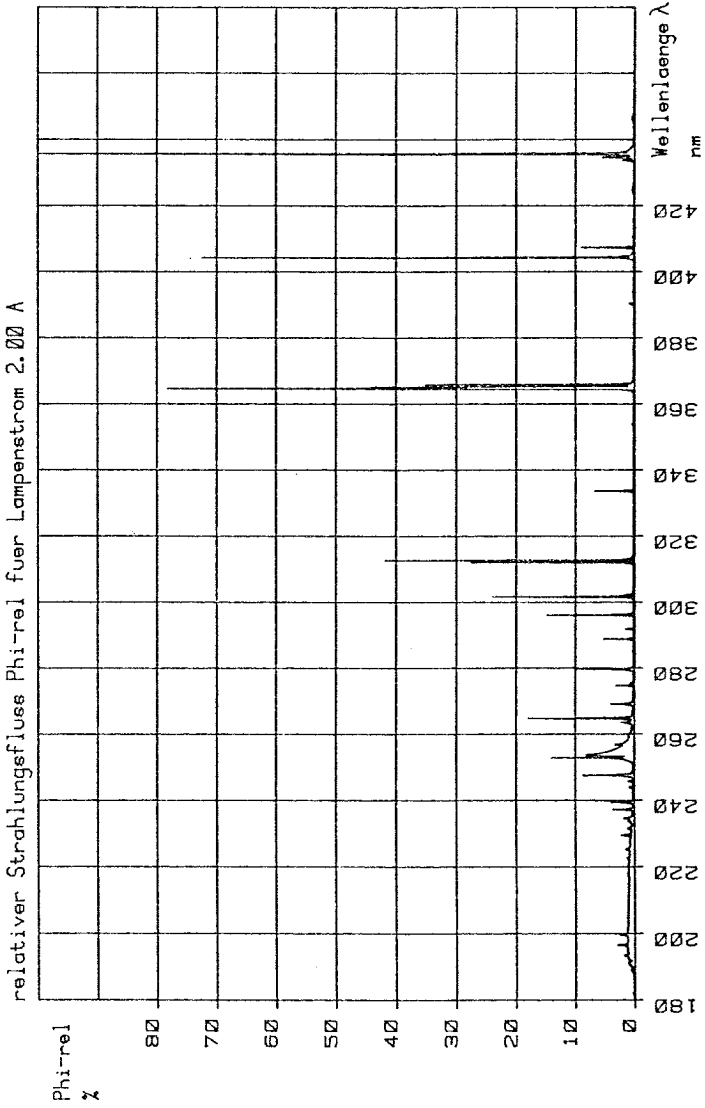


Bild: 5 Spektrum d. UV-Standards nach Krefft, Roessler u. Ruettenuer

3.2 Spektren natürlicher Strahlenquellen (Flammen)

Die Bilder (6) bis (11) bringen eine Auswahl der Relativ-Spektren der gemessenen und in Abschnitt 2.2 näher beschriebenen Flammen aus Kohlenwasserstoffen und substituierten Kohlenwasserstoffen.

Relativ-Spektren dieser ausgewählten Flammen (zur Auswahl s. auch /1/) konnten für den hier infrage kommenden Wellenlängenbereich (180 nm bis 470 nm) in der Literatur nicht gefunden werden. - Die bekannten Spektren von Kohlenwasserstoff-Flammen sind -soweit bekannt- an heißeren Labor-Brenner-Flammen ermittelt worden; zudem reichen nur wenige Spektren bis in den Bereich um 250 nm und darunter. - So konnten ein Relativ-Spektrum für eine Öl-Brennerflamme |2| und zwei weitere für heißere Kohlenwasserstoff-Flammen |2 u. 3| (s.u.) gefunden werden, die Angaben für Wellenlängen unter 300 nm machen.

Absolut-Angaben zu den Strahlungsleistungen der untersuchten Flammen waren nicht zugänglich. Für diese Flammen resultieren solche Angaben aus den eigenen Messungen; sie werden in Kap. 3.3 behandelt.

Im folgenden werden zunächst einige Anmerkungen zu den gemessenen Relativ-Spektren getroffen.

Die Spektren der untersuchten Flammen bzw. Flammenbereiche können grob in zwei Kategorien eingeteilt werden, innerhalb derer große Ähnlichkeit im Spektrum zu beobachten ist:

- a) Spektren hell (gelblich-rötlich) leuchtender Flammen:
Teelicht; Petroleumlampe; CH₄-Brenner, mittlerer bis oberer Flammenbereich; offene Spiritusflamme über Schale, mittlerer Flammenbereich; offener Holzbrand

b) Spektren blau-violett, nicht hell leuchtender Flammen:
CH₄-Brenner, unterer Flammenbereich; offene Spiritus-
flamme über Schale, unterer Flammenbereich; Spiritus-
kocher

Die Spektren zur Gruppe a) zeigen erwartungsgemäß im Bereich von 470 nm bis hinab zu ca. 280 nm einen Verlauf nach Art der Planck'schen Strahler: vorwiegend Kontinuum-Strahler mit Steilabfall zu kurzen Wellenlängen hin. Unterhalb von 280 nm ist der Abfall weniger stark ausgeprägt; um 210 nm ist z.T. ein leichter Anstieg erkennlich. Einzelne Spektralbanden, die bei der Gruppe b) stark in Erscheinung treten, können hier z.T. schwach beobachtet werden.

Die Spektren zur Gruppe b) weisen deutlich die von den heißeren Kohlenwasserstoff-Brenner-Flammen her bekannten Spektralbanden auf (s. auch : | 3, S. 251|):
OH-, CH- und C₂-Komponenten bei den Wellenlängen um
280 nm - 300 nm; 305 nm - 320 nm; 385 nm - 395 nm;
420 nm - 440 nm, 460 nm - 570 nm.

Die Strukturierung dieser Banden konnte durch die beschriebene Mittelbildung über jeweils mehrere aufgezeichnete Spektren trotz der bei der Photonen-zählmethode unvermeidlichen Streuung (Standardabweichung σ gleich der Wurzel aus der Zählrate r : $\sigma = \sqrt{r}$) deutlich klarer gemessen werden, als dies z.B. bei der o.g. Literaturstelle | 3 | der Fall ist.

Schließlich konnten auch die Absorptionen durch CO und NO im Bereich 180 nm bis 220 nm deutlich beobachtet werden, obwohl in diesem Bereich die Empfindlichkeit des benutzten Fotovervielfachers und der Transmissionsgrad des Monochromators ($\approx T^*(\lambda) \sim 10\% - 25\%$) gering sind:
vgl. Bilder 10 + 11 und Bild in: | 3, S. 48|.

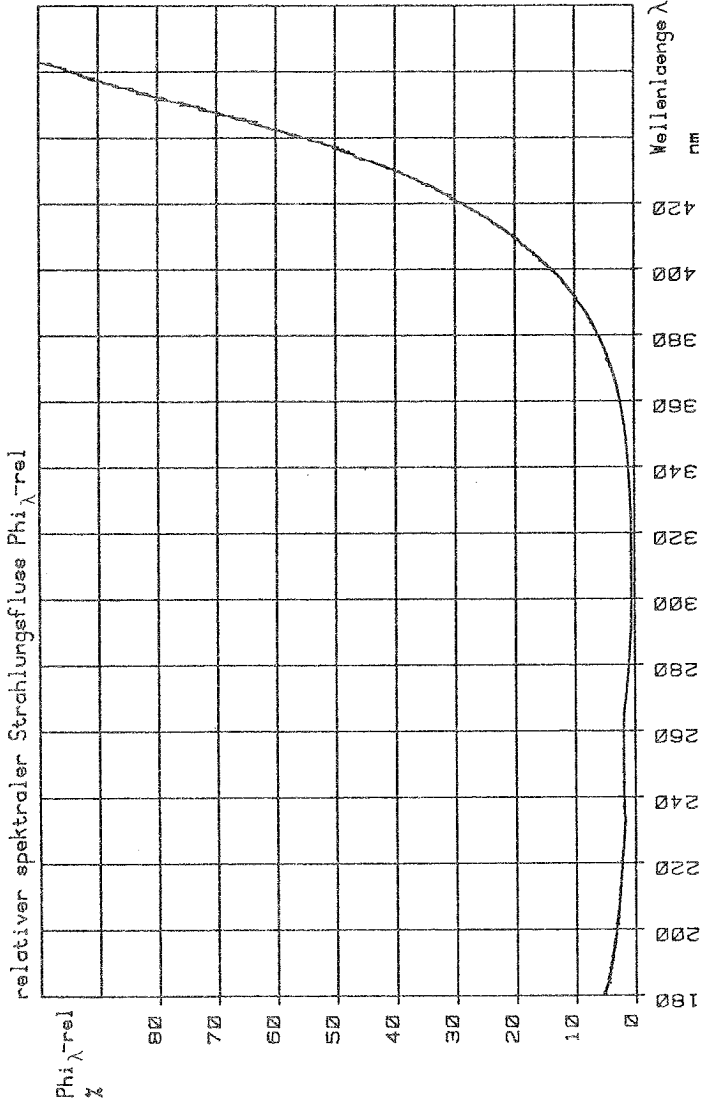


Bild: 6 Spektrum des Methanbrenners fuer gelben Flammenbereich

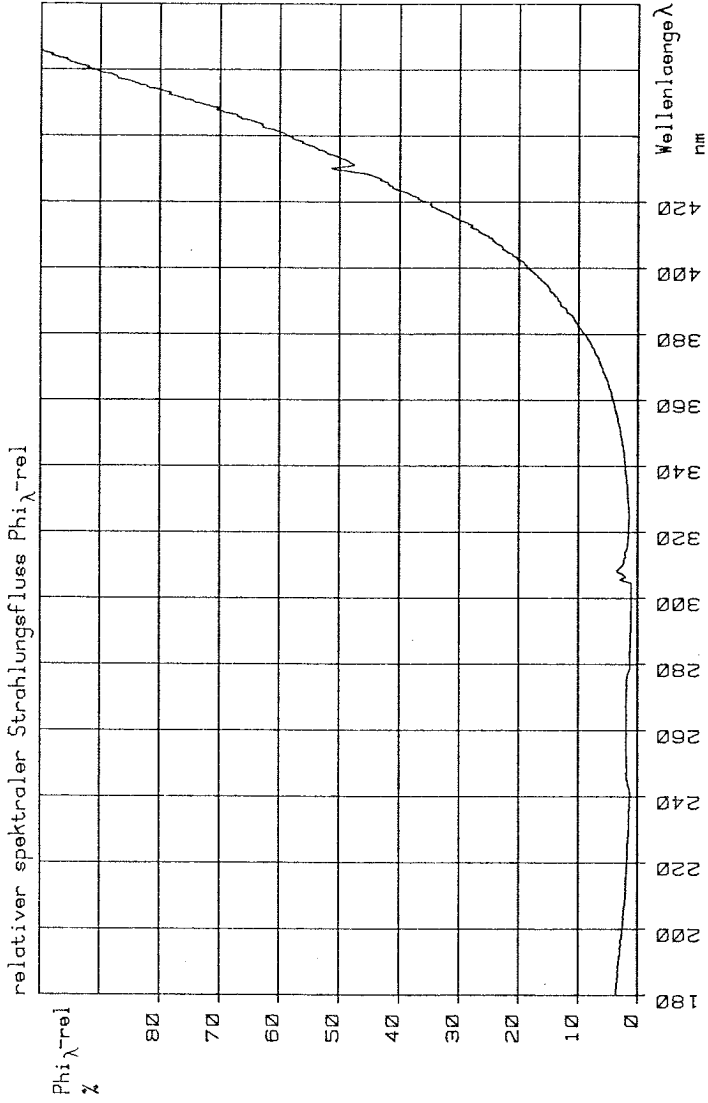


Bild: 7 Spektrum des Teelichtes

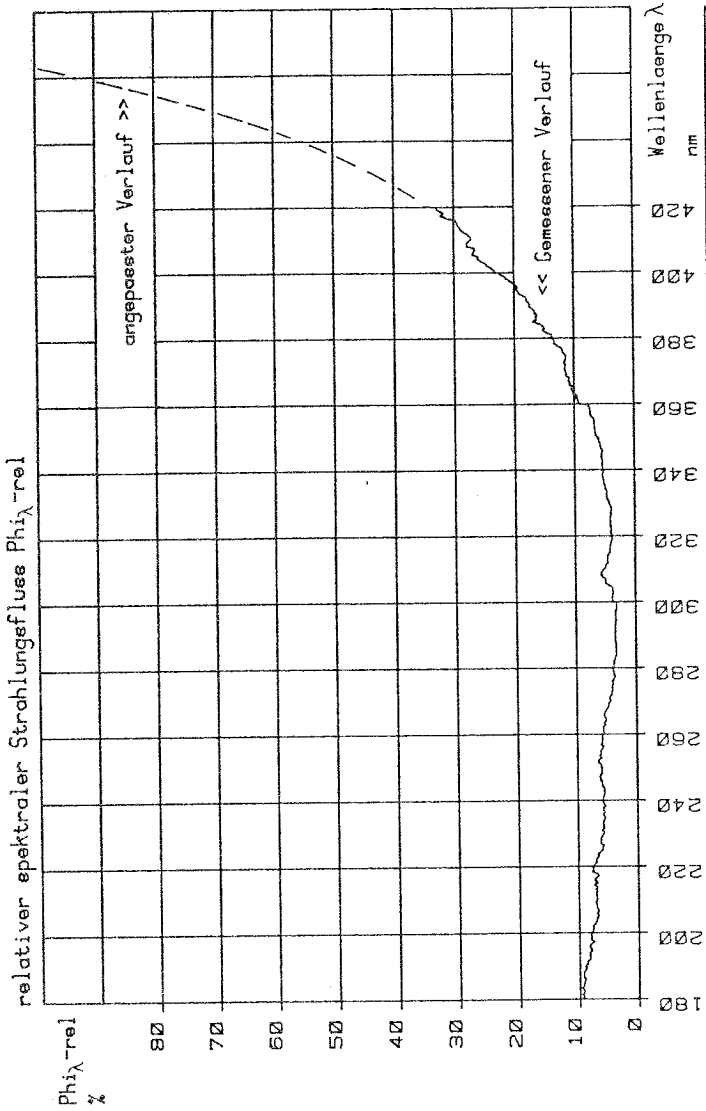


Bild: 8 Spektrum des offenen Holzbrandes (Stufe 1)

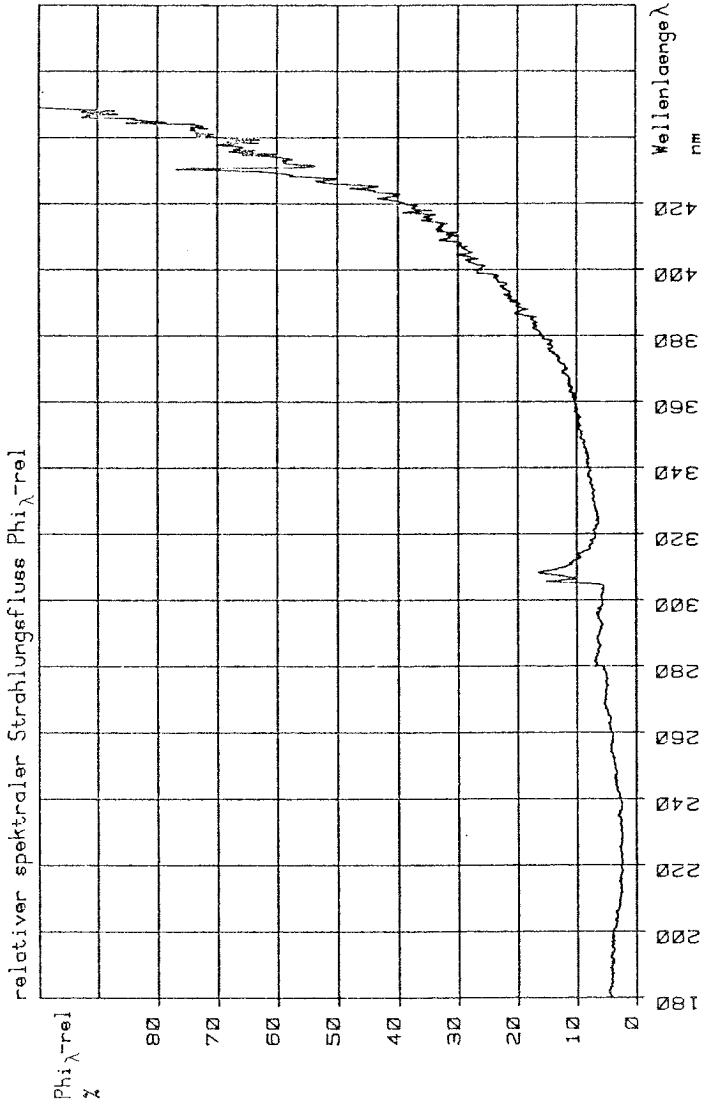


Bild: 9 Spektrum d. offenen Spiritusflamme f. gelben Flammenbereich

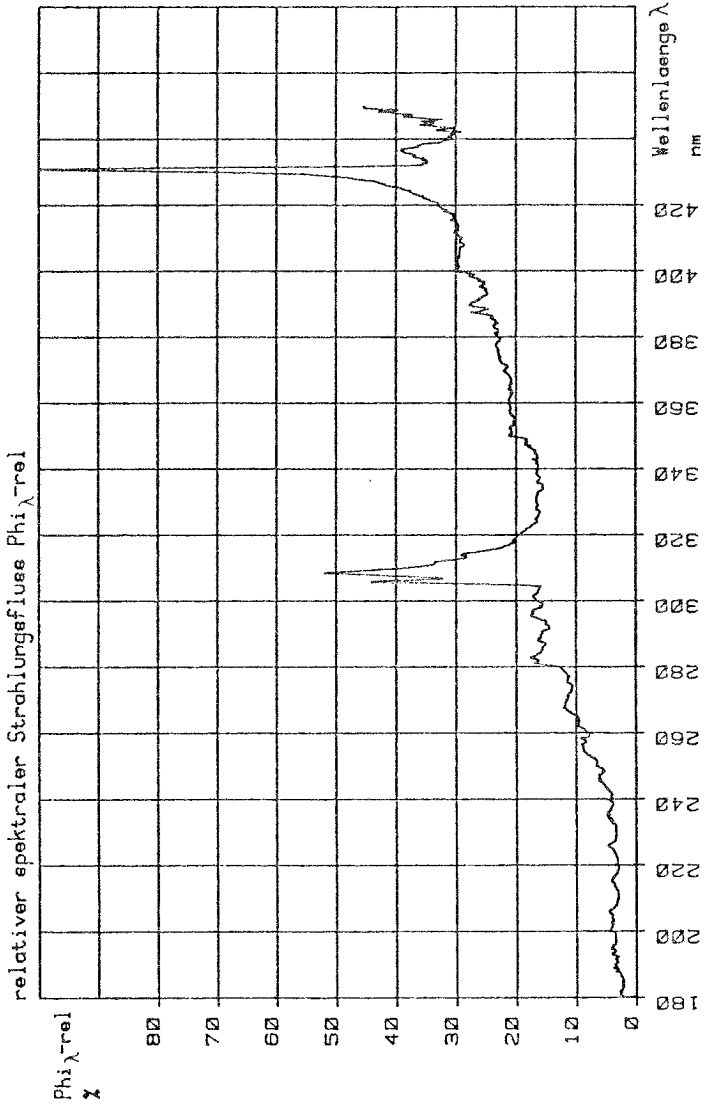


Bild: 10 Spektrum d. offenen Spiritusflamme f. blauen Flammenbereich

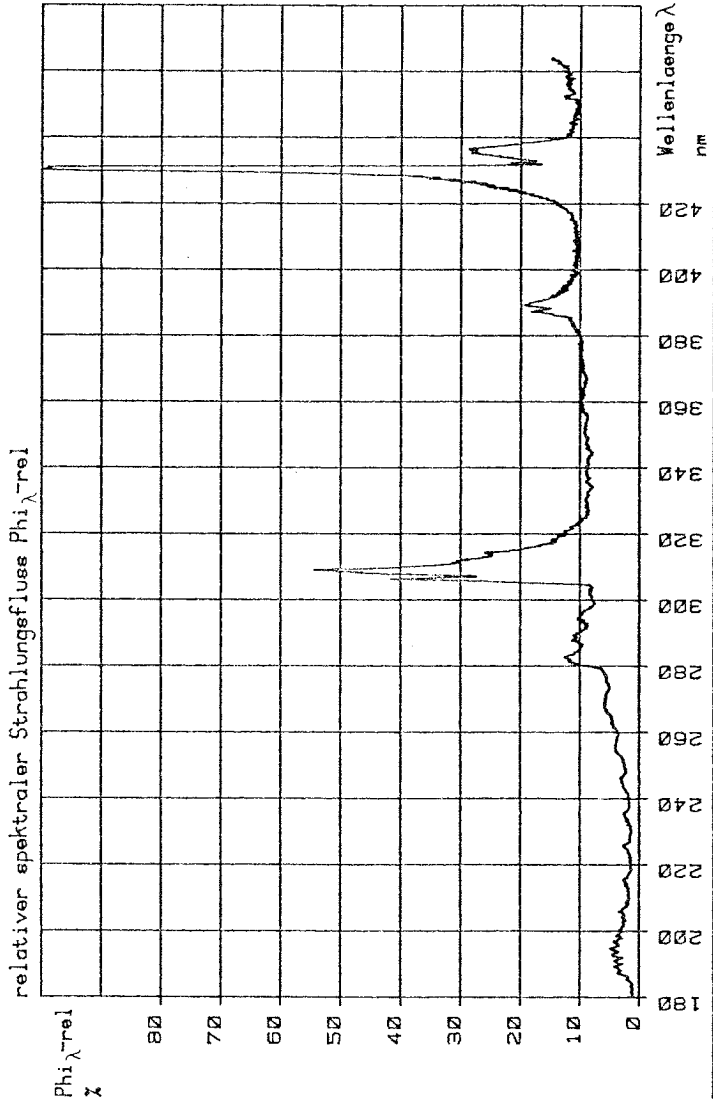


Bild: 11 Spektrum des Methanbrenners fuer blauen Flammenbereich

3.3 Messungen zum Relativ- und Absolutanschluß der Flammenspektren

Die Relativanschlüsse der Flammenspektren untereinander und ihre Absolut-Anschlüsse erfolgten nach der in Kap. 2.3 dargelegten Methode.

Die spektrale Strahlungs-Leistungsdichte $M_{\omega, \lambda, K}$ *) für die Anschluß-/Bezugswellenlänge $\lambda_B = 365 \text{ nm}$ ergab sich aufgrund der Messungen mit dem UV-Standardstrahler zu

$$M_{\omega, \lambda, K} = 2,674 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{U_{FL}}{\text{mV}} \cdot \frac{\mu\text{W}}{\text{cm}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr}} ;$$

dabei ist U_{FL} die jeweilige Signalspannung der Anschlußmessungen für die einzelnen Flammenspektren; aus den Werten U_{FL} ergeben sich unmittelbar die Relativ-Relationen für die Flammen untereinander. - Dies gilt für alle Flammen; für den offenen Holzbrand wurde U_{FL} rechnerisch aufgrund eines Zählraten-Vergleiches mit dem CH_4 -Brenner ermittelt.

Die Kontroll-Messung durch die nicht kalibrierte Quecksilber-Niederdruck-Lampe, mit jedoch bekanntem Richtwert der Strahlstärke der 253,7 nm-Linie, ergab die gleiche Größenordnung für $M_{\omega, \lambda, K}$ (Zahlenwert 4,67 anstelle 2,674 der obigen Gleichung).

Mit den in der folgenden Tabelle 2, Spalte 2, aufgeführten Meßwerten für U_{FL} und unter Durchführung der Umrechnung der spektralen Strahlungsleistungsdichte $M_{\omega, \lambda, K}$ in die spektrale Photonenratendichte $N_{\omega, \lambda, K}$ gemäß

*)

Zu allen Bezeichnungen und Formeln vgl. man /1. S. A1 - A33 /

$$\frac{M_{\omega, \lambda}}{E_{\text{phot}}} = \frac{M_{\omega, \lambda} \cdot \lambda_B}{hc} = N_{\omega, \lambda} \quad \text{und}$$

$$\frac{h \cdot c}{\lambda_B} = \frac{6,6262 \cdot 10^{-34} \frac{\text{Js}}{\text{Phot}} \cdot 2,9979 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{365,0 \cdot 10^{-9} \text{m}} =$$

$$= 5,442 \cdot 10^{-19} \frac{\text{J}}{\text{Phot}} ,$$

ergeben sich für $\lambda = \lambda_B = 365 \text{ nm}$ die Anschlußwerte der Spalten 3 und 4 der folgenden Tabelle:

Tabelle 2

Absolut-Anschlußwerte der Flammenspektren bei 365 nm

Flamme	U _{FL} mV	$M_{\omega, \lambda, K}(\lambda_B)$	$N_{\omega, \lambda, K}(\lambda_B)$	Bem. s.u.
		$\frac{\mu\text{W}}{\text{cm}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr}}$	$\frac{\text{Phot}}{\text{cm}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr} \cdot \text{s}}$	
Teelicht/Kerze	16,3±23,3	$(4,36 \div 6,23) \cdot 10^{-2}$	$(8,01 \div 11,45) \cdot 10^{10}$	+
Petroleumlampe	7,9± 9,5	$(2,11 \div 2,54) \cdot 10^{-2}$	$(3,88 \div 4,67) \cdot 10^{10}$	+
Spiritusflamme in Schale unterer, blauer Teil	1,35±1,65	$(3,61 \div 4,41) \cdot 10^{-3}$	$(6,63 \div 8,10) \cdot 10^9$	+
Spiritusflamme in Schale oberer, gelber Teil	1,50±1,75	$(4,01 \div 4,68) \cdot 10^{-3}$	$(7,37 \div 8,60) \cdot 10^9$	+
Spirituskocher	2,65±2,95	$(7,09 \div 7,89) \cdot 10^{-3}$	$(1,30 \div 1,45) \cdot 10^{10}$	+
CH ₄ -Brenner unterer, blauer Teil	1,16±1,28	$(3,10 \div 3,42) \cdot 10^{-3}$	$(5,70 \div 6,29) \cdot 10^9$	*
CH ₄ -Brenner mittlerer, gelber Teil	1,27±6,75	$(3,40 \div 18,05) \cdot 10^{-3}$	$(6,24 \div 33,20) \cdot 10^9$	*
offener Holz- brand	6,7 ±8,8	$(1,79 \div 2,35) \cdot 10^{-2}$	$(3,29 \div 4,32) \cdot 10^{10}$	+

+) : Streubereich der Einzelwerte durch Flammenflackern

*) : Mittelwerte je nach Gasdurchsatz

3.4 (1/R²)-Gesetz im nahen und mittleren Ultraviolett-
Bereich

In diesem Abschnitt werden die wesentlichen Ergebnisse der Messungen zum (1/R²)-Gesetz wiedergegeben:

- in Bild 12 für die Messungen mit der UV-Fotozelle UG 155,
- in Bild 13 für die Messungen mit Fotovervielfacher und vorgeschaltetem optischen Bandpassfilter (Interferenz-Reflexionsfilter UVR 220).

Auf die Wiedergabe der Messergebnisse mit den weiteren, früher angegebenen Meßbedingungen wird verzichtet, da aus diesen Messungen keine anderen Aussagen resultieren als aus den dargestellten Messungen.

In den Bildern 12 und 13 ist in doppelt logarithmischer Darstellung die mittlere, relative Zählrate r der Zündimpulse der Zählröhre bzw. die relative Meßspannung u des Vervielfachers über dem Abstand R zwischen Strahlenquelle und Detektor aufgetragen. Die Ergebnisse einer statistischen Regressionsanalyse zur Steigung der Geraden in dieser Darstellung sind mit angegeben. Der Sollwert des Regressionskoeffizienten $a_1 = 2$ ist praktisch erreicht; der Korrelationskoeffizient k entspricht ebenfalls dem Sollwert 1.

Damit wird das (1/R²)-Gesetz auch für Wellenlängen um 220 nm im Meßbereich einer optischen Bank (30cm - 4m) und bei klarer Laborluft erfüllt.

Testbedingungen: Rechteckpuls, Frequenz 1000 Hz

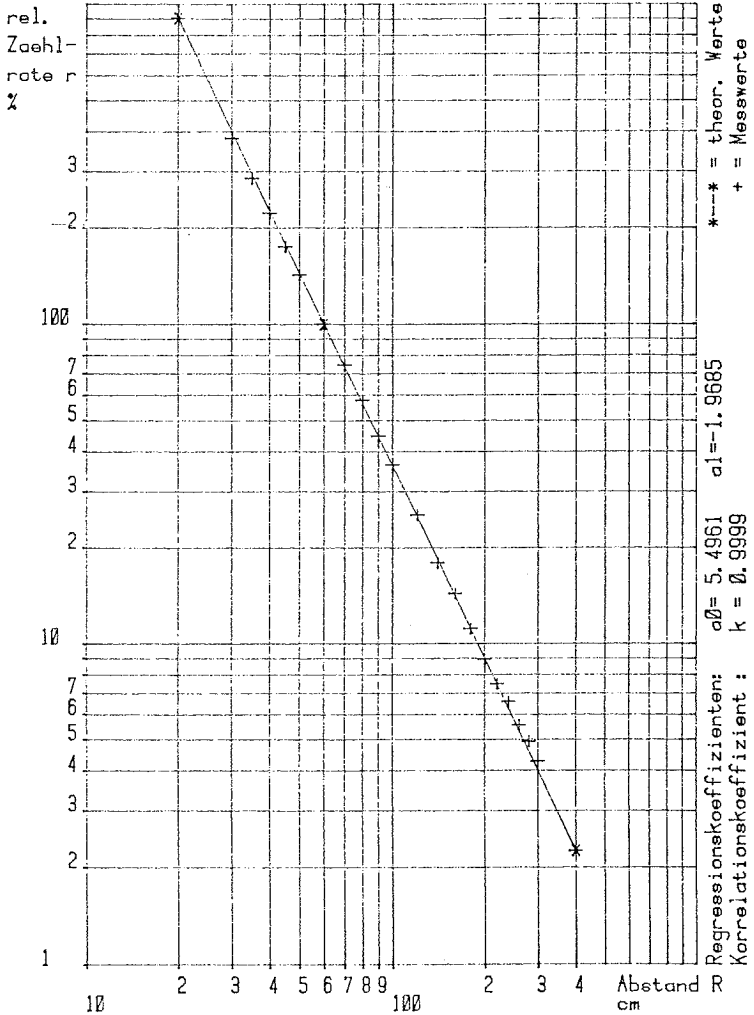


Bild: 12 Test (1/R²) - Gesetz mit UV - Fotozelle UG 155

Testbedingung: Messung mit Filter UV-R-220

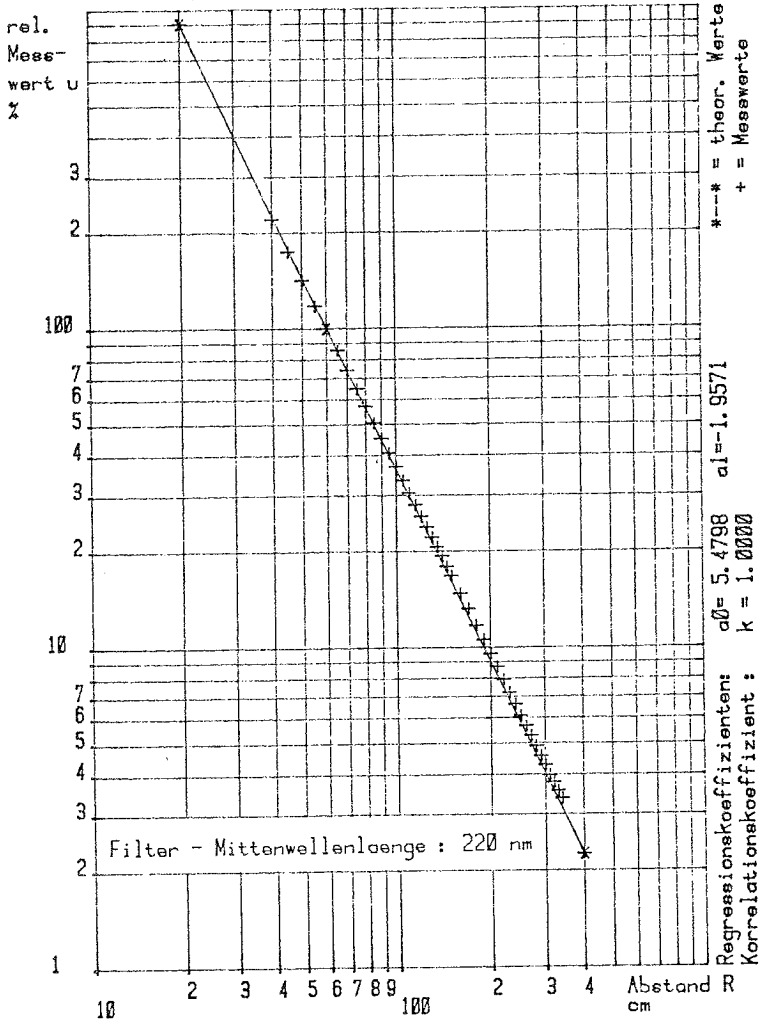


Bild: 13 Test (1/R¹²) - Gesetz mit Fotovervielfacher C31000M

4. Störstrahler und Störstrahlung

4.1 Zu berücksichtigende Störstrahler

Neben der erwünschten Signal-Strahlung, die von offenen Flammen ausgeht, kann den Melder auch eine Stör-Strahlung erreichen und ihn täuschen, die von anderen Strahlungsquellen ausgeht.

Um die Anzahl der Täuschungsalarme niedrig halten zu können, ist daher eine Kenntnis der wichtigsten Störstrahlungsquellen notwendig; d.h. es müssen wellenlängenabhängig die den Melder erreichenden Strahlungsflüsse bzw. Photonenraten für die infrage kommenden Stör-Strahler bekannt sein. Das setzt genau wie im Falle der Signalstrahlung voraus, daß die Art des Strahlers, seine wellenlängenabhängige Emission, die Größe und Lage der strahlenden und der empfangenden Fläche, sowie der Abstand zwischen Strahler und Empfänger und eventuelle Transmissionsverluste entlang des Strahlungsweges bekannt oder berechenbar sind.

Die wesentlichen Störstrahlungsquellen, die hier in Betracht gezogen werden müssen, lassen sich in folgende 4 Gruppen einteilen:

- direkte Sonnenstrahlung und Globalstrahlung des Himmels
- Strahlung von Glüh- und Leuchtstofflampen
- Strahlung heißer Oberflächen
- Schweißarbeiten

An dieser Stelle wird auf weitere Aussagen hierzu verzichtet; diese können in /1.Seiten 108 -121/ nachgelesen werden. Das wesentliche Resultat ist in Tabelle 4.2 wiedergegeben und wird in Kapitel 5 erörtert.

5. Diskussion der Untersuchungen und Schlußfolgerungen

5.1 Zu den Spektren der Flammen und zu den Störstrahlungsquellen

Wie in Kap. 3 dargelegt wurde, konnten die Spektren von Flammen mit relativ niedriger Temperatur ($\sim 1000^{\circ}\text{C}$ - 1400°C) von verschiedenen Brennmaterialien aus Kohlenwasserstoffen und einfachen Derivaten relativ und absolut ermittelt werden.

Der Vergleich der Spektren untereinander (s. Kap. 3.2) läßt nun für Kohlenwasserstoff-Brennmaterialien und die getesteten Derivate zunächst folgende Aussagen bzw. Schlußfolgerungen zu:

- Bei der Mehrzahl der in der Praxis auftretenden Brände als Brände mit derartigen Brennmaterialien ist prinzipiell mit 2 verschiedenen Spektren-Typen zu rechnen:
 - a) Typ der Spektren hell-leuchtender, gelber Flammen (Bilder 6 bis 9 in Kap. 3.2),
 - b) Typ der Spektren schwach-leuchtender, blauer Flammen (Bilder 10 bis 11 in Kap. 3.2).
- Innerhalb der Spektren-Gruppen bestehen nur graduelle Unterschiede im Verlauf, und es ist, vom spektralen Verlauf her gesehen, keiner der speziellen Flammen eine wesentliche Präferenz gegenüber einer anderen als Testfeuer für Grundlagen- und Erprobungstest zu geben.
- Für beide Typen gibt es unterhalb von $\lambda = 280 \text{ nm}$ keine besonders stark ausgeprägten Emissions- oder Absorptionsbanden oder -linien, die man zur Detektor-Nutzsignal-/ Störsignal-Optimierung heranziehen könnte.

- Dies gilt für Spektren des Typs a) auch noch oberhalb 280 nm bis ins Sichtbare.
- Für Spektren des Typs b) dagegen existieren oberhalb 280 nm mehrere ausgeprägte Emissions-Banden. Dennoch können diese für eine Optimierung nicht herangezogen werden, da im Bereich oberhalb von $\lambda = 280$ nm mit zu großen Störsignal-Anteilen gerechnet werden muß, wie im folgenden dargelegt wird.
- Anders als im Infraroten für IR-Melder gibt es im UV-Bereich somit nicht die Möglichkeit zu einer wesentlichen wellenlängenbezogenen Optimierung der Melder (s. auch weitere unten genannte Erläuterungen).

Aufgrund der Relativ-Spektren für Flammen und ihrer Absolut-Anschlußwerte nach Kapitel 3, der Schwarzkörperstrahlung und den Angaben zu den übrigen Störstrahlern nach Kapitel 4 wurde folgende Tabelle angefertigt, die für die wesentlichen Wellenlängenbereiche im mittleren und nahen Ultraviolett sowie im blauen Bereich des Sichtbaren eine vergleichbare Übersicht der (spektralen) Strahlungsleistungsdichten für die einzelnen Strahler enthält. Für die Feuer wurden die maximalen Werte in den Wellenlängen-Intervallen eingesetzt. Ferner sind für das Tageslicht die Größenordnung der Bestrahlungsstärken am Erdboden mit aufgeführt.

Tabelle H. 1

Übersicht zur Flammen- und Schwarzkörper-Strahlungsemission

Quelle	Wellenlänge	180 - 250 nm	250 - 300 nm	300 - 350 nm	350 - 400 nm	400 - 450 nm	siehe Fuß- note	
Teelicht		$4,3 \cdot 10^{-2}$ - $2,1 \cdot 10^{-2}$	$- 1,3 \cdot 10^{-2}$	$- 4,1 \cdot 10^{-2}$	$- 2,1 \cdot 10^{-1}$	$- 8,6 \cdot 10^{-1}$	1)	
Petroleumlampe		$3,0 \cdot 10^{-2}$	$- 1,4 \cdot 10^{-2}$	$- 0,6 \cdot 10^{-2}$	$- 1,8 \cdot 10^{-2}$	$- 1,0 \cdot 10^{-1}$	$- 4,5 \cdot 10^{-1}$	1)
Spirituskocher		$0,5 \cdot 10^{-3}$	$- 2,2 \cdot 10^{-3}$	$- 7,0 \cdot 10^{-3}$	$- 2,0 \cdot 10^{-2}$	$- 1,2 \cdot 10^{-2}$	$- 3,7 \cdot 10^{-2}$	1)
Spiritusflamme g. Teil		$1,8 \cdot 10^{-3}$	$- 1,4 \cdot 10^{-3}$	$- 2,3 \cdot 10^{-3}$	$- 6,3 \cdot 10^{-3}$	$- 1,0 \cdot 10^{-2}$	$- 3,9 \cdot 10^{-2}$	1)
Spiritusflamme bl. Teil		$0,5 \cdot 10^{-3}$	$- 1,2 \cdot 10^{-3}$	$- 3,4 \cdot 10^{-3}$	$- 9,9 \cdot 10^{-3}$	$- 5,7 \cdot 10^{-3}$	$- 1,9 \cdot 10^{-2}$	1)
CH ₄ -Brenner g. Teil		$1,0 \cdot 10^{-2}$	$- 4,5 \cdot 10^{-3}$	$- 1,3 \cdot 10^{-3}$	$- 2,7 \cdot 10^{-3}$	$- 2,5 \cdot 10^{-2}$	$- 1,4 \cdot 10^{-1}$	1)
CH ₄ -Brenner bl. Teil		$0,5 \cdot 10^{-3}$	$- 1,8 \cdot 10^{-3}$	$- 4,6 \cdot 10^{-3}$	$- 1,9 \cdot 10^{-2}$	$- 6,9 \cdot 10^{-3}$	$- 3,6 \cdot 10^{-2}$	1)
Holzbrand		$2,1 \cdot 10^{-2}$	$- 1,4 \cdot 10^{-2}$	$- 0,8 \cdot 10^{-2}$	$- 1,4 \cdot 10^{-2}$	$- 5,0 \cdot 10^{-2}$	$- 1,5 \cdot 10^{-1}$	1)
Schwarzkörper- strahlung	1000 K	$1,2 \cdot 10^{-24}$	$- 1,2 \cdot 10^{-15}$	$- 7,3 \cdot 10^{-12}$	$- 3,2 \cdot 10^{-9}$	$- 2,8 \cdot 10^{-7}$	$- 8,4 \cdot 10^{-6}$	1)
	1500 K	$4,5 \cdot 10^{-13}$	$- 2,7 \cdot 10^{-7}$	$- 6,4 \cdot 10^{-5}$	$- 2,8 \cdot 10^{-3}$	$- 4,5 \cdot 10^{-2}$	$- 3,6 \cdot 10^{-1}$	1)
	2000 K	$2,8 \cdot 10^{-7}$	$- 3,9 \cdot 10^{-3}$	$- 1,9 \cdot 10^{-1}$	$- 2,7 \cdot 10^0$	$- 1,8 \cdot 10^1$	$- 7,3 \cdot 10^1$	1)
	2500 K	$8,2 \cdot 10^{-4}$	$- 1,2 \cdot 10^0$	$- 2,3 \cdot 10^1$	$- 1,6 \cdot 10^2$	$- 6,6 \cdot 10^2$	$- 1,8 \cdot 10^3$	1)
	3000 K	$1,7 \cdot 10^{-1}$	$- 5,7 \cdot 10^1$	$- 5,6 \cdot 10^2$	$- 2,5 \cdot 10^3$	$- 7,2 \cdot 10^3$	$- 1,5 \cdot 10^4$	1)

1) Werte in $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}/\text{sr}$

Tabelle 4.2

Übersicht zur Störstrahlung und zur Strahlungsemission der Testlampen

Quelle	Wellenlänge	180 - 250 nm	250 - 300 nm	300 - 350 nm	350 - 400 nm	400 - 450 nm	Siehe Fuß- note	
Sonne direkt		1	18	55	90	145	3)	
Global-Strahlung			0,5	4	60		3)	
Glühlampe			0,01	0,4	3,2	11	1)	
Leuchtstofflampe			0,03	0,5	1,4	4,2 u. 13,0	2)	
Deuteriumlampe		$7,5 \cdot 10^3$	$- 18,5 \cdot 10^3$	$- 7 \cdot 10^3$	$- 5 \cdot 10^3$	$- 1,3 \cdot 10^3$	$- 1 \cdot 10^3$	1)
Xenon-Hochdrucklampe		$1,1 \cdot 10^3$	$- 7 \cdot 10^3$	$- 1,4 \cdot 10^4$	$- 1,9 \cdot 10^4$	$- 2,5 \cdot 10^4$	$- 3,25 \cdot 10^4$	1)
OZ4W		$0,2 \cdot 10^3$	$- 0,2 \cdot 10^3$	$- 20 \cdot 10^3$	$- 0,9 \cdot 10^3$	$- 0,9 \cdot 10^3$	$- 2,2 \cdot 10^3$	2)
UV-Standard		$0,5 \cdot 10^3$	$- 19,7 \cdot 10^3$	$- 36,0 \cdot 10^3$	$- 77,7 \cdot 10^3$	$- 115 \cdot 10^3$	$- 128 \cdot 10^3$	2)

1) Werte in $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}/\text{sr}$

2) Werte in $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{sr}$ (Werte der intensivsten Linien, für UV-Standard)

3) Werte in $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$

Die Werte der Tabelle sind - außer bei der Schwarzkörperstrahlung - als Richtwerte aufzufassen, die sich je nach äußerem Umstand bzw. je nach Betriebsbedingungen um mehrere 100% ändern können.

Legt man nun für einen Vergleich der Bestrahlungsstärken der Detektorelemente der UV-Melder und für eine Abschätzung des Störstrahlungsrisikos irgendeine strahlende Fläche df_1 , eine empfangende Fläche df_2 , einen festen Abstand R zwischen diesen Flächen und damit auch einen bestimmten Raumwinkel $d\omega$ fest und postuliert man, daß hierfür die Strahlungsleistungsdichten der untersuchten Feuer vom Melder erkannt werden sollen, so kann schon aus dieser tabellarischen Übersicht weiter gefolgert werden:

- Bei der Abschätzung des Störstrahlungsrisikos müssen mindestens 3 bis 5 Größenordnungs-Unterschiede der Bestrahlungsstärken durch Flammen und Störstrahler in Betracht gezogen werden.
- Eine verlässliche Abschätzung ist nur im Einzelfall möglich, wenn die Größen df_1 , df_2 , R , $d\omega$ bekannt sind, da die für eine konkrete Abschätzung maßgebliche Umrechnungsgröße $df_1 \cdot d\omega \approx df_1 \cdot df_2 / R^2$ (vgl. Kap. 5.2) selber wiederum über 6 - 8 Größenordnungen variieren kann (df_1 : cm^2 bis m^2 , df_2 : mm^2 bis cm^2 , R^2 : m^2 bis $\sim 100 \text{ m}^2$).
- Schwarze Strahler und heiße Oberflächen können UV-Melder (unter obigem Postulat) grundsätzlich täuschen, wenn die Strahlungstemperatur größer als ca. 1500 K bis 1700 K und der Melder noch bei ca. 280 nm bis 300 nm empfindlich ist; sicher täuschen dann Strahler mit Temperaturen von mehr als 2000 K.
- Schwarze Strahler und heiße Oberflächen können UV-Melder bereits täuschen, wenn die Strahlungstemperatur größer als ca. 1300 K bis 1400 K und der Melder oberhalb von 280 nm bis 400 nm empfindlich ist.
- Glüh- und Leuchtstofflampen können UV-Melder leicht im Wellenlängenbereich oberhalb ca. 280 nm - 300 nm täuschen, wenn der Melder dort empfindlich ist.

- Die letzte Aussage trifft auch für das Tageslicht zu.

5.2 Zu den Ultraviolett-Flammenstrahlungs-Meldern

Die Aussagen des Abschnittes 5.1 führen für die UV-Melder zunächst zu der Forderung, daß das Maximum ihrer spektralen Empfindlichkeitskurve bei erheblich kleineren Wellenlängen als 280 nm liegen muß, und die Empfindlichkeit sollte von diesem Maximum möglichst steil nach 280 nm hin abfallen.

Andererseits kann das Empfindlichkeitsmaximum aufgrund des Steilanstiegs der O_2 -Absorption der Luft bei 185 nm nicht niedriger als etwa 190 nm sein.

Berücksichtigt man noch den Verlauf der Flammen-Spektren im Bereich 180 nm bis 280 nm (Bilder zu Kap. 3.2), so folgt, daß das Maximum der Empfindlichkeit bei 190 nm bis 210 nm liegen sollte.

Die in UV-Meldern häufig benutzten gasgefüllten, solar blind UV-Fotozellen besitzen nun i.allg. Empfindlichkeitskurven, deren Maximum bei ca. 205 nm bis ca. 240 nm liegt. Von daher ist das Optimum im Hinblick auf die Lage des Empfindlichkeitsmaximums schon nahezu erreicht.

Da ferner die bekannten Empfindlichkeitskurven von UV-Detektorelementen noch Restempfindlichkeiten bei 280 nm bis 320 nm in der Größenordnung von Prozent gegenüber dem Maximum aufweisen, empfiehlt es sich, wenn möglich, solche Kantenfilter in UV-Meldern zu benutzen, die unterhalb 260 nm - 280 nm weitgehend durchlässig sind, oberhalb jedoch nicht.

Dies wird zwingend erforderlich, wenn nicht gasgefüllte, solar blind UV-Fotozellen verwendet werden sollten, son-

dern andere Detektoren (z.B. SiO_2 -Dioden), deren Empfindlichkeit nach 280 nm hin nicht abfällt, sondern u.U. sogar noch ansteigt.

Auch unter diesem Aspekt stellen die gasgefüllten solar blind UV-Fotozellen schon das etwa erreichbare Optimum dar; jedoch sollte die Restempfindlichkeit der Zellen bei $\lambda \geq 280$ nm z.T. noch erheblich gesenkt werden (es gibt Zellen, die noch 10% oder mehr Restempfindlichkeit aufweisen).

5.3 Zu der Testapparatur für den Grundlagentest

Zur Strahlenquelle

Der Vergleich der von den Flammen emittierten Strahlungsleistungsdichte mit der entsprechenden Leistungsdichte der diversen UV-Lampen nach Tabelle 4 zeigt, daß letztere um 5 - 7 Größenordnungen höher liegt als erstere; die Benutzung einer UV-Lampe im Grundlagentest führt für vergleichbare Werte von $df \cdot d\omega$ somit zu erheblich höheren Bestrahlungsstärken der Melder im Grundlagentest als im realen Brandfall.

Auch für den Grundlagentest sollten jedoch dem Brandfall etwa vergleichbare Strahlungsleistungen dem Melder angeboten werden; dies kann bei Verwendung von Lampen nur durch kleine Blenden, größere Meßabstände und evtl. zusätzliche Neutralfilterung zur Strahlungsleistungsreduzierung geschehen. Jedoch sind hier meßtechnisch Grenzen gesetzt, bei denen i.allg. die benötigte Herabsetzung der Strahlungsleistung noch nicht erzielt wird.

Damit liegt - zumindest für hochempfindlich eingestellte UV-Melder, d.h. für Melder, deren Ansprechschwelle auf geringe Photonenzählraten eingestellt ist - die Verwendung einer Flamme als Teststrahlenquelle nahe. Hier empfiehlt sich aus den nachfolgend aufgeführten Gründen der CH_4 -Brenner nach [4]:

- mit dem CH_4 -Brenner können bei Bedarf beide Grundtypen der Kohlenwasserstoff-Flammenspektren eingestellt werden;
- beide Spektrentypen entsprechen realen Brennmaterialien auf der Basis von Kohlenwasserstoffen;
- damit werden empfindliche Melder sowohl spektral als auch der Größenordnung der Strahlungsleistung nach realistisch getestet;
- die Reproduzierbarkeit der Strahlungsleistung und des Spektrums des CH_4 -Brenners ist auf Zeit gesehen sicher besser als die von Lampen: Gasreinheit, Luftzufuhr, Gasdurchsatz, Temperatur, Druckverhältnisse am Brenner können leicht kontrolliert und nachjustiert werden; Lampen können im Laufe der Zeit bei gleichen Strom-/Spannungsbedingungen um einige 10% und mehr in der Gesamtstrahlungsleistung variieren und auch größere Änderungen im Spektrum aufweisen;
- für Melder, die im Photonen-Zählbetrieb arbeiten und auf sehr geringe Photonenzählraten ($< \sim 25$ Phot./s) ansprechen, ist die Strahlungsleistung des Brenners nach [4] ausreichend, andernfalls sollte die emittierende Flammenzone oder die Brennerleistung (-Temperatur) vergrößert werden; für sehr unempfindlich eingestellte Melder (Strommessung an den UV-Fotozellen) kann es notwendig sein, auf eine UV-Lampe auszuweichen (z.B. Deuterium-Lampe);

- mit Benutzung des ggf. modifizierten CH₄-Brenners nach /4/ ist für den Test der UV-Melder und der IR-Melder eine einheitliche Strahlenquelle gegeben.

Zum (1/R²)-Gesetz

Zur Reduktion der Strahlungsleistung im Grundlagentest ist das (1/R²)-Gesetz zumindest im Rahmen der Meßstreuung für alle Wellenlängen $\lambda > 185$ nm bei klarer Laborluft anwendbar (vgl. Kap. 3.4).

Die ohne großen Justieraufwand der Komponenten auf der optischen Bank erzielbaren Genauigkeiten betragen:

im Bereich 30 cm \leq Abstand R < 80 cm	} Streuung der Meßwerte der Strahlungsleistung gegenüber dem erwarteten Wert nach dem ($\frac{1}{R^2}$)-Gesetz bei festem Bezugspunkt
Einzelstreuung: ca. $\pm 20\%$	
Mittelstreuung: ca. $\pm 10\%$	
im Bereich 80 cm \leq R < ~ 4 m:	
Einzelstreuung: ca. $\pm 5\% - \pm 10\%$	
Mittelstreuung: ca. $\pm 2\% - \pm 5\%$, je nach Justieraufwand.	

Wegen der photometrischen Grenzentfernung für das (1/R²)-Gesetz ($R_{gr} = 10d_{max}$; d_{max} = größte Ausdehnung der Quelle oder der wirksamen Blende der Quelle) sollte bei maximalen Strahlenquellenblenden von 2 cm bis 4 cm nicht näher als etwa 40 cm an die Strahlenquelle heran geprüft werden.

Der Bezugspunkt der Messungen sollte nicht näher als ca. 1 m an der Strahlenquelle liegen (vgl. Bilder 42 und 49 in /1/); im Bereich 60 cm \leq R < 90 cm ist der Bezugspunkt kritisch; Bezugspunkte im Bereich 40 cm \leq R < 60 cm sind ungeeignet.

Zur Auswertung

Die Feststellung eines Ansprechpunktes eines UV-Melders auf der optischen Bank wird dann kritisch, wenn der Melder nicht eine genügend lange Zeit Zählimpulse registriert und nach statistischen Gesetzmäßigkeiten auswertet, sondern bereits nach wenigen registrierten Photonen anspricht. In diesem Fall können solche Melder innerhalb einer einmal festgelegten Zeit (Vorschlag in / 4 /) sowohl am Anfang als auch am Ende der optischen Bank ansprechen und eine differenzierte Messung des Ansprechschwellenwertes wird unmöglich.

Zur sicheren Differenzierung müssen

entweder die Zählimpulse des Detektors beobachtet und statistisch ausgewertet werden (dies bedeutet u.U. jedoch einen Eingriff in die Detektor-Schaltung)

oder die Ansprechzeit T des Melders bei verschiedenem R nach statistischen Gesetzmäßigkeiten genügend oft gemessen und bewertet werden.

6. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist, die Grundlagen zur automatischen Brandentdeckung mit Ultraviolett-Flammenstrahlungs-Meldern systematisch zu erarbeiten.

Dazu gehören Angaben über die Ultraviolett-Spektren von Flammen und Störstrahlern, die Auswahl geeigneter Detektorprinzipien, das Signal-/Rauschverhältnis und die wellenlängenbezogene Optimierung der UV-Melder. Außerdem stellt sich die Frage nach zweckmäßigen Prüfmethoden für kommerziell gefertigte UV-Melder.

Die Arbeit legt Meßergebnisse der Ultraviolett-Flammenspektren von Kohlenwasserstoffen und Kohlenwasserstoff-Derivaten niederer Temperatur vor und stellt sie der Störstrahlung verschiedener Störstrahler gegenüber.

Es resultiert die Forderung, daß UV-Melder grundsätzlich nicht oberhalb 280 nm strahlungsempfindlich sein dürfen und daß ihr Empfindlichkeitsmaximum möglichst weit unter 280 nm, aber oberhalb 190 nm liegen muß.

Es ergibt sich weiter, daß es unterhalb von 280 nm für eine wellenlängenbezogene Optimierung der Melder im Rahmen der Kohlenwasserstoff-Brennstoffe und der untersuchten Derivate praktisch keine ausnutzbaren Emissionsbanden und -linien gibt und daß mit den gasgefüllten solar-blind UV-Fotozellen insofern schon nahezu ein Optimum erreicht ist, als daß deren Empfindlichkeitsmaxima in der Nähe der unteren sinnvollen Grenzwellenlänge von 190 nm liegen.

Vor- und Nachteile verschiedener für den UV-Bereich in Frage kommender Detektoren werden dargelegt. Die zu berücksichtigenden statistischen Gesetzmäßigkeiten für Fotoimpulse zählende UV-Detektoren werden aufgezeigt.

Für die Typenprüfung der Ultraviolett-Flammenstrahlungs-Melder ergibt sich eine Reihe von zu beachtenden Gesichtspunkten, deren wichtigste sind:

- Die Beachtung der statistischen Natur der Photonen-Zählraten bei Messung der Ansprechpunkte der Melder im Grundagentest,
- Anwendbarkeit des $(1/R^2)$ -Gesetzes im Wellenlängenbereich von 190 nm bis 280 nm und Angaben zur richtigen Wahl des Bezugspunktes für die Bewertung der Ansprechschwellenwerte (Abstand des Bezugspunktes zur Strahlungsquelle > 1 m),
- Anwendbarkeit der CH_4 -Flamme für eine Prüfapparatur als Strahlungsquelle für den Ultraviolett-Bereich oberhalb von 190 nm. Die gemessenen Spektren legen keine Präferenz für eine bestimmte Kohlenwasserstoffflamme nahe. CH_4 -Flammen werden jedoch als Strahlungsquellen in Prüfapparaturen für Melder angewendet, die im infraroten Wellenlängenbereich empfindlich sind.

Literatur:

- 1 Heitmann, H. Ein Beitrag zum Entwurf und Test von Ultraviolett-Flammenstrahlungs-Meldern für die automatische Brandentdeckung
Dissertation
Lehrstuhl Nachrichtentechnik
Fachbereich Elektrotechnik
Universität -GH- Duisburg

Fotodruck J. Mainz
Aachen
1980
- 2 Ray, B. UV-Strahlungssensoren als Flammen-detektoren
Elektronik-Anzeiger 8/9

Verlag W. Girardet
Essen
13. Sept. 1976
- 3 Green, A.E.S. The Middle Ultraviolet:
Its Science and Technology

J. Wiley & Sons, Inc.
New York, London, Sydney
1966
- 4 Comité Européen des Assurances (CEA) Prüfmethode für punktförmige Ultra-violett-Flammenmelder (Entwurf 1979)
CEA - Commission des Avertisseurs Automatiques d'Incendie -
Secrétariat Technique

SECURITE DES SYSTEMES DE DETECTION INCENDIE

=====

Depuis environ une dizaine d'années, les techniques de détection automatique d'incendie ont connu un développement rapide dicté tant par l'accroissement du marché que par l'évolution de l'électronique qui constitue le creuset dans lequel elles puisent leurs ressources.

En effet, les composants tels que les transistors, puis le circuit intégré, et enfin récemment le microprocesseur forment un arsenal de matériaux qui permet aux constructeurs de matériels de détection d'offrir aux utilisateurs, de plus en plus exigeants, des services accrus.

Afin d'illustrer ces propos, il suffit de comparer les schémas 1 et 2.

Le premier montre la constitution d'un système répondant à la définition de la norme C E N 54 partie 1 et reflétant une conception dont l'objectif consiste uniquement à déclencher une alarme feu.

Le second fait découvrir un système qui répond aux exigences actuelles en proposant de nouvelles fonctions imposées, soit par les pouvoirs publics pour les établissements recevant du Public, soit par les utilisateurs qui souhaitent optimiser leurs moyens de sécurité incendie.

Nous verrons, au cours de ces journées, que ce schéma est déjà dépassé par la création de systèmes à gestion centralisée s'accompagnant d'une exploitation informatisée.

1.- Analyse des systèmes

Quelle que soit la technique utilisée pour atteindre les objectifs, les systèmes ont tous un point commun : leur composition qui est constituée de divers matériels étroitement dépendants.

Actuellement, la conception des systèmes s'appuie sur une démarche basée sur l'étude très détaillée de chaque matériel et sur l'analyse de leur association.

Cette procédure consiste à s'assurer, d'une part que chaque matériel remplit les fonctions qui lui sont assignées, et, d'autre part, que leur couplage permet d'accomplir les missions fixées préalablement.

Cette approche analytique, adoptée par les constructeurs et favorisée par les organismes de normalisation qui proposent des normes par matériel, ne peut tenir compte de toutes les interactions connues ou non entre les matériels notamment lors de défaillances ou d'exploitation anormale. A cet égard, il est significatif de constater que toutes les normes orientées vers des exigences de fiabilité imposent que chaque matériel fonctionne correctement durant les épreuves de contrainte telles que chaleur, froid, etc... mais ne se préoccupent en aucun cas :

- 1°) De l'intégration du matériel dans le système ;
- 2°) Des conséquences de dysfonctionnement qui sont susceptibles de se produire durant la vie du matériel.

Cette méthode, qui isole les matériels et les étudie séparément est, nécessaire pour comprendre les faits, mais une approche systémique permet de recombinaison les faits dans le contexte plus large que forme le système.

II.- Approche systémique

L'approche systémique doit être appliquée pour déterminer la fiabilité et la sécurité du système.

La fiabilité du système défini comme *"la probabilité qu'il accomplisse les fonctions requises dans des conditions données, pendant un temps donné"* se rapporte à la disponibilité fonctionnelle du système. Elle oriente le concepteur à mettre en place les éléments concourant à la stabilité du système pour satisfaire à l'efficacité lors d'une alarme feu.

La sécurité du système est complémentaire à la fiabilité pour qualifier le système de détection incendie. En effet, elle tient compte de l'éventualité et des conditions d'apparitions des défaillances qui pourraient modifier le fonctionnement du système et affecter la

sécurité du personnel. L'absence d'alarme lors d'un incendie est un évènement indésirable dont les conséquences peuvent être catastrophiques pour la sécurité des personnes et des biens.

L'exploitation humaine des systèmes ainsi que les techniques de détection incendie qui font appel à des circuits combinatoires et séquentiels sont des facteurs favorisant l'apparition de l'évènement indésirable.

Les risques de survenance sont encore accrus par le fait que les matériels constituant les systèmes sont fabriqués par des constructeurs différents.

III.- Méthode d'analyse

L'analyse de la sécurité d'un système peut être effectuée selon deux méthodes, l'une appelée déductive, et la seconde appelée inductive.

III.1- Méthode déductive

La méthode consiste à représenter graphiquement les combinaisons d'évènements qui conduisent à la réalisation d'un évènement indésirable unique et bien défini. Le processus doit partir de l'évènement indésirable pour atteindre les évènements élémentaires qui sont caractérisés par leur indépendance. Cette construction appelée "*arbre de défaillances*" est un diagramme logique, composé d'opérateurs et de cases représentant des évènements qui résultent d'un évènement ou d'une combinaison d'évènements plus élémentaires. La définition de ces symboles est présentée en annexes 1 et 2.

La démarche comporte les étapes suivantes :

- . Définition du système et ses frontières ;
- . Définition de l'évènement indésirable ;
- . Construction de l'arbre de défaillances ;
- . Evaluation de la probabilité d'apparition ;
- . Analyse des résultats obtenus.

Afin de présenter cette démarche, le schéma 3 propose un arbre de défaillances non représentatif d'un cas précis, mais comportant des évènements que notre laboratoire a mis en évidence lors des travaux de qualification de matériels.

1°) - Définition du système

Le schéma 2 représente le système de détection d'incendie ainsi que ses limites.

2°) - Définition de l'évènement indésirable

L'évènement indésirable concerne l'absence de l'alarme en cas d'incendie qui peut avoir pour conséquence la perte de vies humaines.

3°) - Construction de l'arbre de défaillances

A l'aide des documents techniques des matériels et des caractéristiques fonctionnelles du système dans des conditions d'environnement parfaitement définies, l'arbre de défaillances sera construit. Cette construction oblige l'analyste à rechercher en profondeur les évènements provoquant les défaillances.

L'arbre met en évidence les chemins critiques en identifiant les points faibles du système. Par exemple, nous constatons que le court-circuit de la liaison de réarmement à distance de l'alarme feu entraîne directement l'apparition de l'évènement indésirable. De même, le court-circuit de l'indicateur d'action d'un détecteur le met hors d'état de transmettre une information d'alarme.

4°) - Evaluation de la probabilité d'apparition

Cette étape est difficile à traiter car le manque de données chiffrées dans le domaine de la détection incendie ne permet pas d'apprécier d'une manière tangible les probabilités de survenance de l'évènement indésirable.

Toutefois, il faut déterminer avec précision les chemins critiques afin d'éliminer ou réduire les points faibles.

Le niveau auquel se situent les évènements élémentaires ne préjuge en rien de l'ordre de grandeur de la probabilité.

5°) - Analyse des résultats obtenus

La mise en évidence des chemins critiques du système permet à l'analyste de porter des modifications au système afin de placer des

barrières à l'extension des défaillances vers la réalisation de l'évènement indésirable : nous constatons que la double signalisation visuelle et sonore d'alarme diminue fortement les risques d'apparition de l'évènement. De plus, l'arbre met en évidence l'influence des opérations humaines pour lesquelles le risque d'apparition de l'évènement indésirable est important. Par exemple, le réarmement lors d'une alarme peut entraîner la disparition de l'information provenant des détecteurs qui, saturés par le phénomène à détecter ne peuvent plus reprendre leur état d'alarme.

III.2- Méthode inductive

Contrairement à la méthode précédente, la méthode inductive part de l'identification des évènements élémentaires, soit pour en rechercher directement les conséquences, soit pour identifier les combinaisons d'évènements qui peuvent avoir pour effet de compromettre la sécurité du système.

La démarche consiste donc à procéder à l'analyse des modes de défaillances et de leurs effets (en anglais F M E A, Failure Modes and Effects Analysis) afin d'étudier la gravité des conséquences des divers modes de pannes et d'erreurs.

La F M E A part d'une décomposition du système en sous-système, et de chaque sous-système en éléments. Elle aboutit à l'évaluation des conséquences de chaque mode de défaillance élémentaire au niveau du sous-système et au niveau de l'ensemble du système.

Cette méthode s'applique aisément pour les systèmes de détection incendie dont les missions sont bien définies et connues.

Par ailleurs, la documentation abondante concernant les composants et les matériels permet de procéder à l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets, composant par composant.

Par exemple, l'analyse d'un détecteur, pouvant prendre les états : veille, alarme et dérangement, doit s'orienter sur le plan de la sécurité vers le recensement de toutes les défaillances dont les effets se traduiraient par l'absence de signalisation et interdiraient l'alarme feu.

Pour tenir compte des dépendances entre les différents matériels du système, on construira un graphe dont les sommets correspondront aux

différents états du système, et dont les arcs correspondront aux transitions entre états.

Pour illustrer cette méthode, nous prendrons l'exemple de la séquence correspondant à une alarme feu provoquée par un détecteur et s'accompagnant d'une tentative de réarmement par l'exploitant.

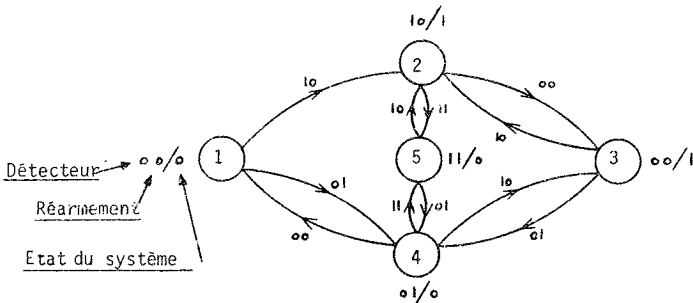
Les données sont les suivantes :

- . Information transmise par le détecteur ;
- . Action fugitive de réarmement par l'exploitant ;
- . Alarme feu signalée par le système.

Les deux premières données sont des actions provoquées sur le système : leur présence est repérée 1, leur absence est repérée par 0.

La dernière donnée situe l'état du système : l'état d'alarme est repéré par 1, l'état hors alarme est repéré par 0.

La graphe s'établit de la manière suivante :



Analyse du graphe

.Le passage à l'état d'alarme (2) s'obtient par la seule présence de l'information du détecteur de l'état (1), de l'état (5) ou de l'état (3).

.L'état d'alarme (3) est conservé malgré la disparition de l'information du détecteur.

.L'état hors alarme (4) apparaît lors de l'action du réarmement de l'état (3) ou de l'état (5).

.L'état hors alarme (5) est provoqué en présence simultanée de l'information transmise par le détecteur et du réarmement.

Le graphe montre que seuls les états (1), (2), (3) sont acceptables, et que les états (4) et (5) sont inacceptables. Il faut donc rechercher les défaillances susceptibles de provoquer l'état (4) et par conséquent entraîner lors d'une alarme feu l'état (5) qui interdira l'apparition de l'alarme en cas d'incendie. Dans l'exemple du schéma 2, nous constaterons lors de l'analyse que le court-circuit du réarmement provoque l'état (4).

Cette méthode offre une possibilité de recenser les causes des défaillances pour lesquelles les conséquences qui en découlent seraient graves pour la sécurité du système.

Cette méthode implique une bonne connaissance du système tant sur l'utilisation que vis à vis des contraintes qu'il peut subir.

Toutes fonctions des matériels puis du système doivent être analysées afin de déterminer les modes de pannes et de défaillances susceptibles de se produire dans chaque état du système : en veille, lors de sollicitation, en alarme.

L'exemple précédent met en relief une défaillance qui impose aux constructeurs de modifier les détecteurs afin d'éviter toute gêne à leur fonctionnement.

CONCLUSION =====

La différence fondamentale qui existe entre les deux méthodes se situe au niveau de la procédure :

.L'une "arbre de défaillance" (déductive) part d'un événement indésirable à l'échelle du système et recherche par phase successive tous les événements et leurs combinaisons pouvant entraîner l'évènement majeur.

.L'autre "F M E A" (inductive) qui au niveau de chaque matériel constitutif du système recherche et énumère tous les modes de pannes et d'erreurs.

Il apparait nettement que la seconde méthode est inefficace si elle n'est pas complétée par une recherche des combinaisons de pannes au niveau du système. A notre avis cette recherche peut se réaliser

aisément en utilisant les données fournies par l'arbre de défaillances.

Nous constatons que les deux méthodes sont complémentaires mais selon le type de système adapté la démarche consistera à utiliser au départ l'une ou l'autre des procédures.

Pour les systèmes relevant des schémas 1 et 2 il est plus séduisant de procéder par la méthode inductive.

Actuellement notre laboratoire suit cette procédure. Notre conviction est renforcée au fil des ans par l'apparition de systèmes de plus en plus disparates incluant de nouveaux matériels construits par des fabricants différents qui ne maîtrisent pas leur associativité.

Par contre il nous semble que l'analyse de la nouvelle génération de systèmes à fonction centralisée devrait s'effectuer à partir de l'arbre de défaillances ; les raisons qui nous incitent à suivre cette voie sont les suivantes :

- 1°) - le manque d'expérience de ces systèmes ne permet pas de procéder à une F M E A dans des conditions optimales ;
- 2°) - la conception totale du système par un seul constructeur devrait réduire fortement les problèmes de compatibilité des matériels d'où une intégration de la sécurité plus aisée.

Les concepteurs qui s'appliquent à rechercher un niveau de fiabilité très élevé devraient également dans leurs études tenir compte des événements susceptibles de se produire et pouvant entraver le fonctionnement du système lors d'un sinistre.

L'utilisation de ces techniques d'analyse devient impérative lorsque les systèmes de détection actionnent une installation d'extinction automatique à gaz et notamment à CO₂. En effet dans ce cas l'évènement indésirable serait caractérisé par l'émission intempes- tive de l'agent extincteur.

Il est intéressant de noter que la construction de l'arbre de défaillances présenterait parfois des caractéristiques en opposition à celle du schéma 3.






Les méthodes d'analyse des systèmes selon une démarche qui prend en compte de nombreux paramètres et leur combinaison en insistant sur l'association des deux matériels doivent concourir à améliorer les particularités des techniques de détection incendie.

Nous souhaitons que cette présentation très générale des méthodes d'analyse de la sécurité des systèmes incite les constructeurs et les organismes de qualification à les approfondir et les employer.

BIBLIOGRAPHIE

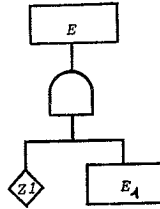
Fiabilité	Bazowky	Dunod
Fiabilité des systèmes	Pagès et Gondran	Eyrolles
Modèles mathématiques pour l'étude de la fiabilité des systèmes	Kaufmann Apouchko Curon	Masson

REPRESENTATION DES EVENEMENTS

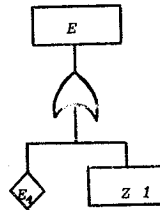
Symbole	Nom du symbole	Signification du symbole
	Rectangle	Représente un événement qui résulte de la combinaison d'événements plus élémentaires agissant à travers des portes logiques.
	Cercle	Représente un événement élémentaire.
	Losange	Représente un événement qui ne peut être considéré comme élémentaire, mais dont les causes ne sont pas et ne seront pas développées.
	Double Losange	Représente un événement dont les causes ne sont pas développées, mais le seront ultérieurement.
	Maison	Représente un événement qui correspond à une utilisation normale du système.

Annexe 2

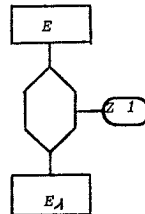
Porte ET : L'événement de sortie de la porte ET est généré si toutes les entrées de la porte sont présentes. Dans le cas de la figure, l'événement E est généré si les événements E_p , Z_1 sont présents simultanément.



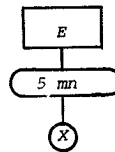
Porte OU : L'événement de sortie de la porte OU est généré si une ou plusieurs entrées de la porte sont présentes. Dans le cas de la figure, il suffit qu'un des événements E_p , Z_1 , soit présent pour que E soit généré.

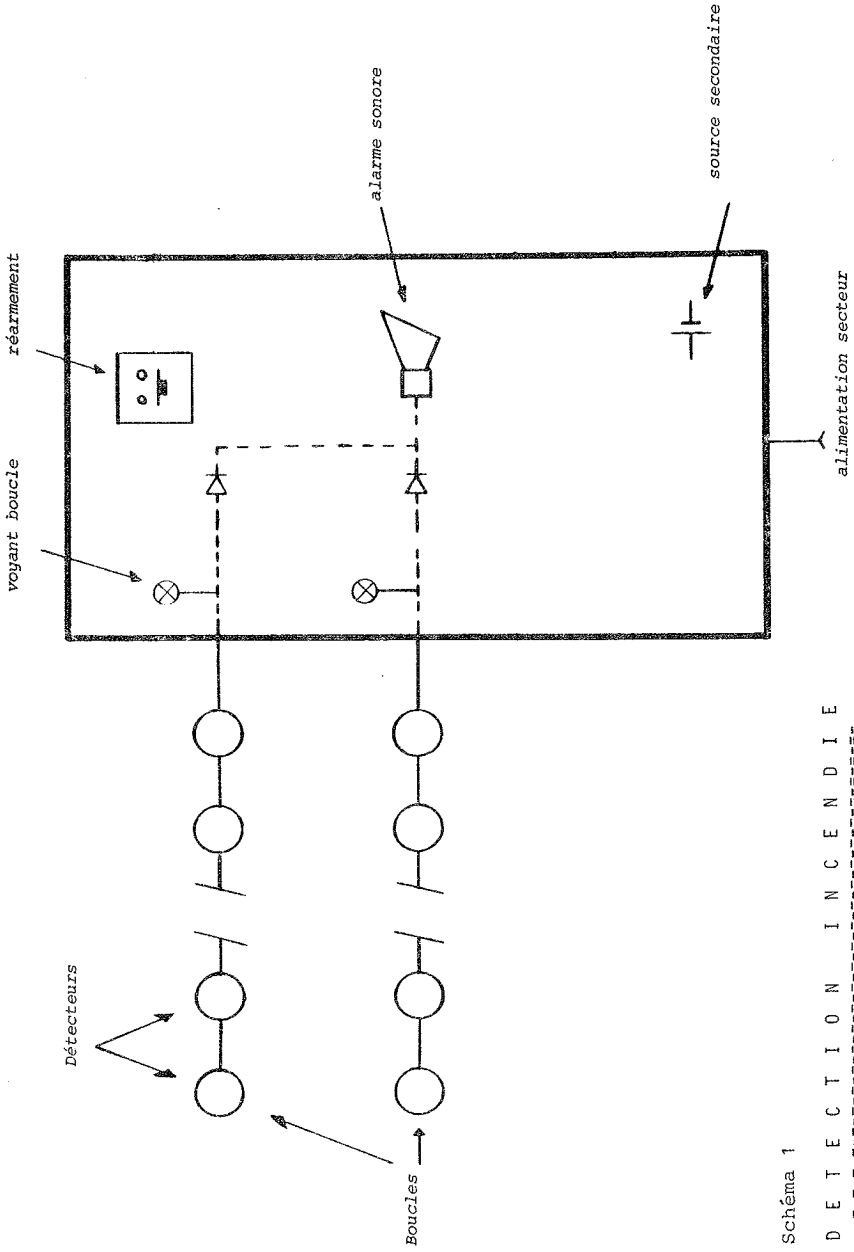


Porte SI : L'événement SI permet d'appliquer les probabilités conditionnelles : l'événement de sortie est généré si l'événement d'entrée est présent et si une condition est réalisée. Dans le cas de la figure, E est généré si E_p est présent et si Z_1 est réalisé.



Porte délai : L'événement de sortie apparaît avec un retard spécifié par rapport à l'événement d'entrée. Dans le cas de la figure, E est généré 5 minutes après que X soit apparu, à condition que X n'ait pas disparu entre temps.





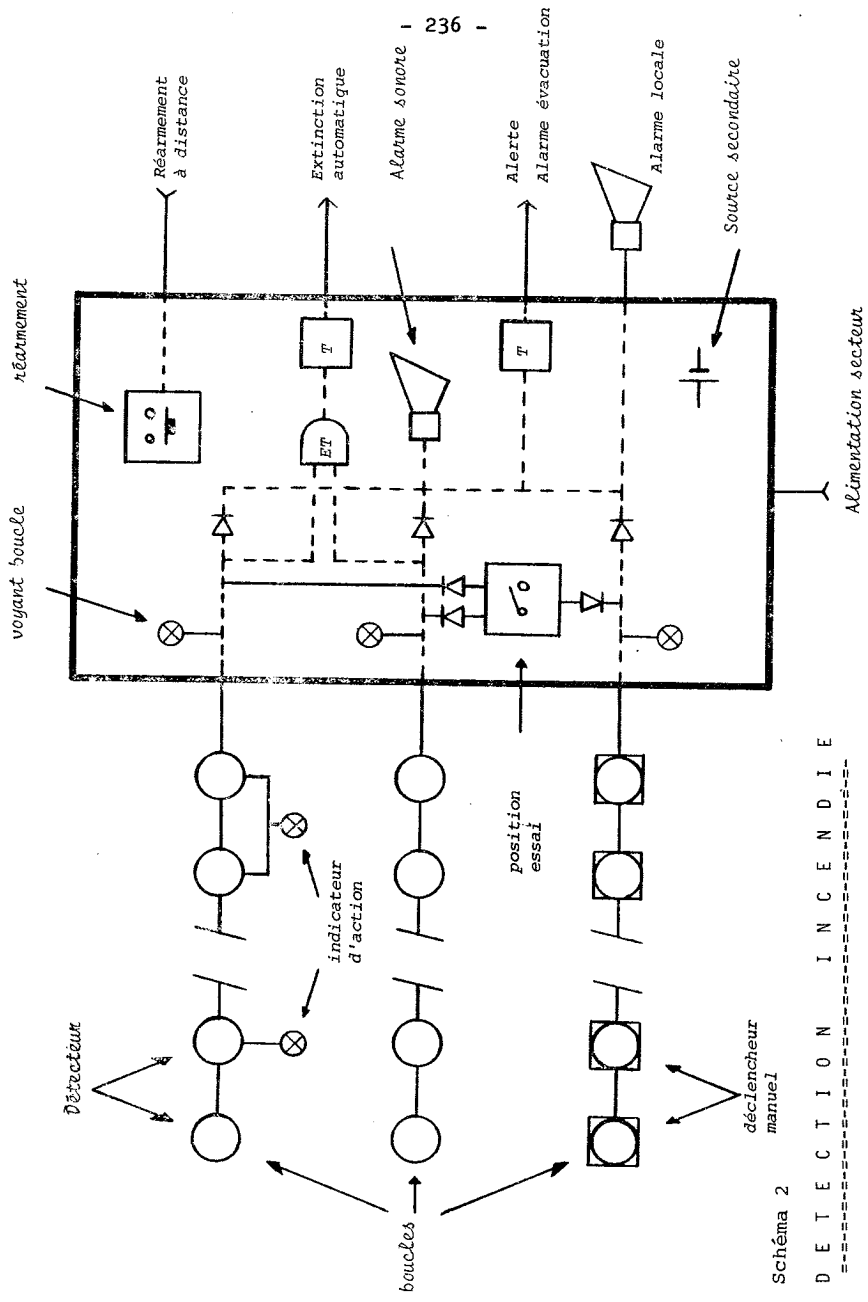
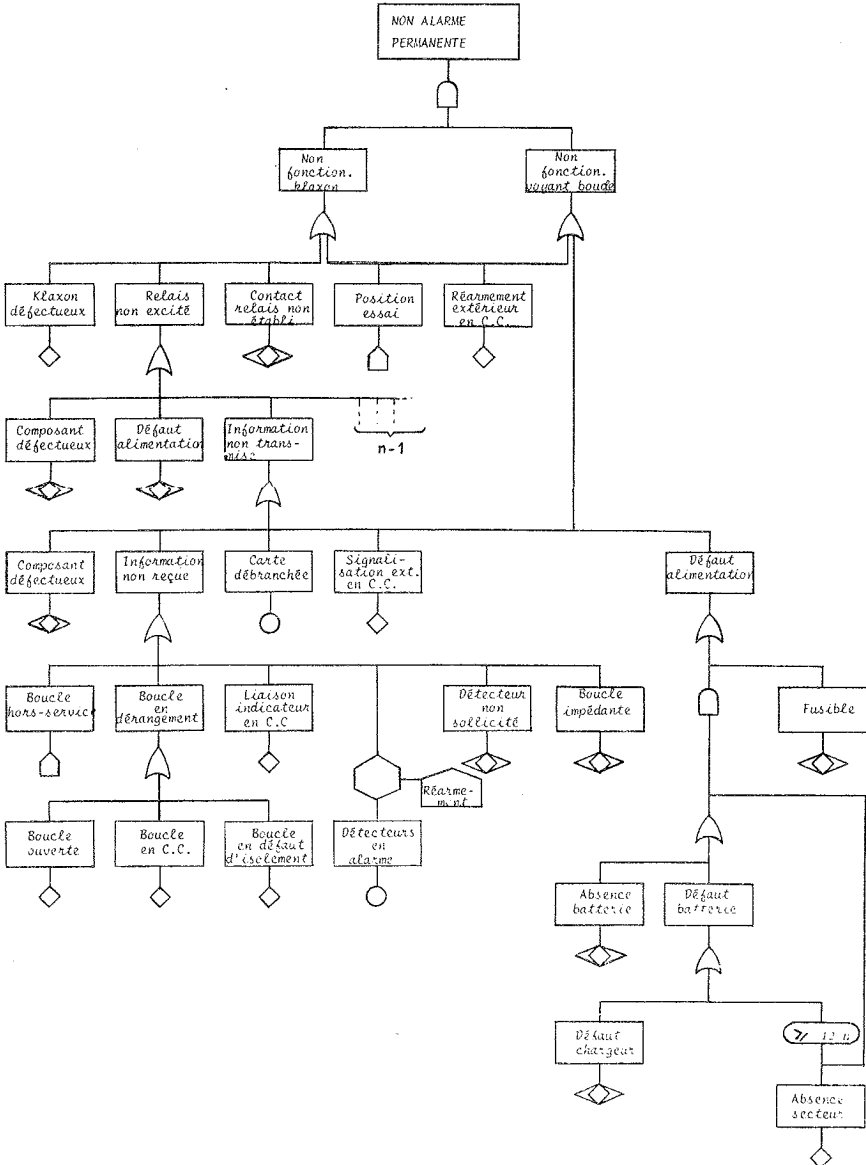


Schéma 2

D E T E C T I O N I N C E N D I E

DETECTION INCENDIE

Arbre de Défaillances



J. Kaiser, A. Katzmayr

Zentralstelle für Brandverhütung, Wien, Österreich

Testfeuer im Zusammenhang mit automatischen Brandmeldeanlagen

Allgemeines

Das Normenwerk EN 54 wird in dem noch zu erwartenden Teil 9 (1) eine Reihe von Testbränden festlegen, an Hand welcher über das unter echten Brandbedingungen zu erwartende Ansprechverhalten automatischer Brandmelder Informationen gewonnen werden sollen. Bei dieser Prüfung werden die zu beurteilenden automatischen Brandmelder an einer festgelegten Stelle der glatten Untersicht des Prüfraumes mit genormten Abmessungen angebracht und an die zugehörige Brandmelderzentrale angeschlossen. Sodann werden in diesem Prüfraum die erforderlichen Testbrände durchgeführt. Diese Testbrände sind jeweils für bestimmte Brandabläufe typisch und überdecken in ihrer Gesamtheit den Großteil der in der Praxis zu erwartenden Arten von Entstehungsbränden. Sie sind so unter Einhaltung eindeutig definierter Umgebungsbedingungen (Geometrie des Versuchsraumes, Raumtemperatur, Luftströmungen, Melderanordnung u.ä.) Bestandteil der Typenbeurteilung automatischer Brandmelder. Ihre Ergebnisse bringen demnach - abgesehen von der Eignung des Brandmelders bezüglich denkbarer Brandabläufe - keine sich auf konkrete Anlagen beziehende Informationen wie z.B. sinnvolle Anordnung der Melder im Überwachungsbereich, erforderliche Melderdichte.

Derartige detaillierte Regelungen in Form von Errichtungs- bzw. Installationsrichtlinien sind zur Zeit in der europäischen Normenreihe EN 54 nicht vorgesehen, sondern nationalen Ausarbeitungen vorbehalten. Allerdings existiert ein europäisches Richtlinienmodell (2), das vom CEA erarbeitet worden ist.

In Österreich steht eine derartige Unterlage seit dem Jahr 1972 zur Verfügung (3). Diese Richtlinie legt für herkömmliche und immer wiederkehrende Nutzungs- und Raumsituationen im Überwachungsbereich u.a. die Aufteilung und Anordnung der automatischen Brandmelder fest. Für durch diese Regelungen nicht erfaßte Situationen

heißt es sodann im Abschnitt V/2.0 dieser Richtlinie:

Brandmeldeanlage mit Rauchmeldern

Liegen Strömungs-, bauliche oder sonstige Verhältnisse vor, die in diesen Richtlinien nicht erfaßt sind, ist die abnehmende Stelle verpflichtet, die Brandmeldeanlage an Hand des Testfeuers gem. Pkt.III/2.21 zu beurteilen. Ansonsten bleibt es der abnehmenden Stelle überlassen, ob sie das Testfeuer zur Beurteilung der Brandmeldeanlage heranzieht oder nicht. Wenn die Brandmeldeanlage nach den Bestimmungen dieser Richtlinie installiert ist und dennoch beim Testfeuer nicht anspricht, sind verschärfte Bedingungen bei der Beurteilung der Anordnung der Brandmelder zu Grunde zu legen. Kann wegen besonderer Gefahrenmomente, wie Brand- oder Explosionsgefahr das Testfeuer nicht durchgeführt werden, sind ebenfalls verschärfte Bedingungen bei der Beurteilung der Brandmeldeanlage zu Grunde zu legen.

Solche Testbrände vor Ort dienen demnach nicht zur Typenbeurteilung automatischer Brandmelder sondern zur Beurteilung von Brandmeldeanlagen. Die Unterschiede der Prüfgrundsätze bei Testbränden zur Typenbeurteilung automatischer Brandmelder einerseits und zur Beurteilung von Brandmeldeanlagen andererseits, sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Versuchsbedingungen	Testbrände zur	
	Typenbeurteilung automatischer Brandmelder	Beurteilung von Brandmeldeanlagen
Raumgeometrie, Umweltbedingungen	vorgegeben	variabel
Brandmelderart	variabel	vorgegeben
Aufteilung und Anordnung der automatischen Brandmelder	vorgegeben	variabel

Tabelle 1

Da wie erwähnt die Unterlage (3) in Österreich seit dem Jahr 1972 angewendet wird, liegen in unserem Land einschlägige Versuchserfahrungen bei Testbränden zur Beurteilung automatischer Brandmeldeanlagen vor, über die im folgenden berichtet wird. Dabei wird vor allem auf Testbrände bzw. auf Versuchsreihen eingegangen, die über den konkreten Anlaßfall hinausgehend auch Schlußfolgerungen generellerer Art zulassen.

Arten von Testbränden

Die erwähnte Österreichische Richtlinie (3) sieht Testbrände nur für Meldeanlagen mit automatischen Rauchmeldern vor und legt im Abschnitt III/2.21 folgendes fest:

Entstehungsbrand

Für Rauchmelder, sowohl optische als auch Ionisations-Rauchmelder, ist ein Entstehungsbrand im Sinne dieser Richtlinien der Abbrand der in der Tabelle angegebenen Anzahl von Polyurethan-Weichschaumstoff-Platten 500 x 500 x 20 mm

offenporiger Polyätherschaum

Normaltype 17 kg/m³

20±2 Zellen pro cm

kein Kaltschaum

kein Formschaum

ohne flammwidrige Zusätze

bis zu 2% Farbstoff

geschnittene Blockware

im folgenden kurz Testfeuer genannt.

Anzahl der Platten aufein- ander gelegt	Raumhöhe bei			
	keiner bis leichter Belüftung bis 10 fachem Luftwechsel/h		mittlerer Belüftung 10...40 fachem Luftwechsel/h	
	Flachdecke	Giebel, Shed	Flachdecke	Giebel, Shed
1	bis 4 m	bis 5 m	bis 3 m	bis 3 m
2	4... 8 m	5... 8 m	3... 4 m	3... 5 m
3	8...10 m	8...10 m	4... 8 m	5...10 m

Der Umstand, daß gemäß (3) nur eine einzige Art an Testbrand, diese aber mit variabler Brandstoffmenge vorgesehen ist, liegt am Wunsch der Richtlinienverfasser, eine Brandart festzulegen,

- die die Brandkenngröße Rauch bei der Messung mit dem Extinktionsmeßgerät und bei der Messung mit der Ionisationskammer in etwa gleich deutlich in Erscheinung treten läßt (4) und
- die bei der Durchführung in der Praxis vor allem in bereits voll in Betrieb befindlichen Bereichen die geringsten Umweltbeeinflussungen erwarten läßt.

Die der Richtlinie (3) in Österreich nachfolgende technische Richtlinie für die Errichtung automatischer Brandmeldeanlagen (5) sieht nunmehr im Abschnitt 5.5 Testbrände gemäß ÖNORM F 3009 (6) vor:

Testbrände für automatische Brandmeldeanlagen, die mit Rauch- oder Wärmemeldern ausgerüstet sind

Testbrände müssen der ÖNORM F 3009 entsprechen und sind durch die abnehmende Stelle der jeweils gegebenen Situation (Überwachungsfläche, Raumgröße, Windgeschwindigkeit im Raum usw.) anzupassen. Mit diesen Testbränden wird nicht beabsichtigt, die Empfindlichkeit der Brandmeldeanlage zu bestimmen und eine vergleichende Beurteilung von Brandmeldern und/oder -systemen vorzunehmen; die Ansprechzeiten werden hier als sekundär betrachtet. Die Testbrände sollten bei abgeschaltetem Netz durchgeführt werden.

Versuchs- und Meßanordnungen

Die Ausbreitung der relevanten Brandkenngrößen (Rauch, Wärme, Flammenstrahlung) wurde auf folgende Arten verfolgt:

- Es wurden automatische Brandmelder aus der Serienproduktion verwendet und an die zugehörige Brandmelderzentrale angeschlossen. Das Übergehen der Brandmelderzentrale vom Normalzustand in den Alarmzustand und die zusätzliche Ortung, welche Melder dieses Übergehen ausgelöst haben, wurde protokolliert (Ja/Nein-Entscheidung).
- Anstatt oder zusätzlich zu den automatischen Brandmeldern aus der Serienproduktion wurden sogenannte Meßmelder verwendet, welche es gestatten, die während der Testbrände in diesen Meldern auftretenden Meßkammerspannun-

gen kontinuierlich zu registrieren. Die vom Melder kommenden, der Melderimpedanzproportionalen Signale wurden zunächst verstärkt und sodann auf einem Mehrkanalschreiber in Prozent der maximal erzielbaren Meßkammerspannung aufgezeichnet.

Der Auswertung der erzielten Kurven wurde jeweils jene Empfindlichkeitseinstellung (Alarmschwellenwert) der (Meß)melder zugrundegelegt, die der nutzungsgerechten Melderempfindlichkeit entspricht.

Diese Anordnung führt zwar gegenüber der zuerst beschriebenen zu einem größeren Versuchs- und Meßaufwand, ermöglicht aber eine von Zufälligkeiten wesentlich besser losgelöste Auswertung der Ergebnisse der Testbrände.

Verwendete Geräte:

- Automatische Brandmelder und zugehörige Brandmelderzentralen aus der Serienproduktion verschiedenster Provenience
- Ionisations-Rauchmeßmelder FM 6
- Optischer Rauchmeßmelder RM 6
- Ionisations-Rauchmeßmelder FM 7
- Universalmeßgerät UMG 6.4
- Multi-Pen Recorder 6-Kanal-Schreiber R-10

Brandmeldeanlagen in hohen Räumen

Immer wieder ist im Zusammenhang mit konkreten Anlagenprojekten die Frage zu beantworten, bis zu welcher Raumhöhe mit Rauchmeldern in nur einer Ebene, unmittelbar unter dem Dach bzw. unter der Decke, das Auslangen gefunden werden kann. Zwei Fälle sollen dafür als Beispiel dienen:

Beispiel 1

Überwachungsbereich:

Lagerhalle mit einer Raumhöhe von 12 m und mit einer gegliederten Untersicht der Dachkonstruktion bzw. Hallendecke

Melderarten:

Optische Rauchmelder und Ionisations-Rauchmelder

Melderanordnung:

In den durch Dachkonstruktion gebildeten Feldern,

horizontaler Melderabstand in der Hallenlängsachse
9,25 m, in der Hallenquerachse 7,0 m

Art von Testbränden:

Variable Anzahl von Polyurethan-Weichschaumstoff-Platten
gemäß (3)

Anordnung der Testbrände:

Schnittpunkt der Diagonalen des durch 4 benachbarte
Melder gebildeten und in den Grundriß projizierten
Viereckes (ungünstigste Stelle)

Auswertung der Ergebnisse:

Kein Ansprechen der eingesetzten optischen Rauchmelder,
hingegen Ansprechen der eingesetzten Ionisations-Rauch-
melder

Beispiel 2

Überwachungsbereich:

Zeltartige, bis zu ca 65 m hohe Produktionshalle (siehe
Abb.1)

Melderart:

Flammenmelder

Melderanordnung:

An einem im Zentrum der Halle befindlichen turmartigen
Gebäudeteil in ca 38 m Höhe sowie an der Deckenuntersicht
in ca 28 m Höhe (siehe Abb.1)

Art von Testbränden:

Polyurethan-Weichschaumstoff-Platten gemäß (3), pro Test-
brand bis zu 4 derartige Matten

Anordnung der Testbrände:

Variabel bzgl. des Abstandes zwischen Stelle des Testbrandes
und Anordnung der Flammenmelder, wodurch Aussagen über den
maximalen derartigen Abstand ermittelt werden sollten (siehe
Abb. 2 und 3)

Auswertung der Ergebnisse:

Siehe Abb. 2 und 3

Anordnung von Brandmeldern bei besonders stark gegliederten Decken

Vor allem die moderne Architektur führt immer wieder zu Erscheinungsformen von tragenden und/oder nichttragenden abgehängten Decken, die eine Ausbreitung der Brandkenngrößen in jener Brandphase, in welcher die Meldeanlage bereits ansprechen soll, kaum voraussagen läßt. In solchen Fällen können nur Testbrände im Projektierungsstadium der Brandmeldeanlage Entscheidungshilfen über die endgültig erforderliche Aufteilung und Anordnung der Brandmelder geben.

Beispiel 3

Überwachungsbereich:

Veranstaltungssaal mit einer Raumhöhe von knapp 9 m, die abgehängte und aus Holz errichtete Decke im Saal besteht aus nach unten weisenden Pyramidenstümpfen mit 4 verschiedenen Höhen bis zu 80 cm.

Melderart:

Ionisations-Rauchmelder

Melderanordnung:

An den Deckflächen der Pyramidenstümpfe

Art von Testbränden:

Polyurethan-Weichschaumstoff-Platten gemäß (3), pro Testbrand bis zu 3 derartige Matten

Anordnung der Testbrände:

Siehe Abb. 4

Auswertung der Ergebnisse:

Bei so stark gegliederten Decken erweist sich die Anordnung der Rauchmelder an jenen Stellen der Decke als günstig, die relativ weit in den Raum hineinragen.

Brandmeldeanlagen in Rechenzentren

In zweierlei Hinsicht können Brandmeldeanlagen in Rechenzentren

den Planer ebenso wie den Beurteiler mit interessanten Fragen konfrontieren: Wie ist durch Anordnung und Aufteilung der Melder den auftretenden Luftströmungen Rechnung zu tragen und wieviele Melderebenen (Kabelboden, Maschinenraum und Zwischen-
decke) sind erforderlich? Aus theoretischen Überlegungen heraus geborene Konzepte, die zu einer relativ großen Anzahl von Brandmeldern in einem räumlich verhältnismäßig kleinen Bereich führen können, stoßen zudem noch allzuoft auf wenig Verständnis beim Bauherrn, manchmal sogar auch beim Planer. Hier können Testbrände einen doppelten Zweck erfüllen: Das Aufzeigen der im Brandfall zu erwartenden Ausbreitung der Brandkenngrößen einerseits und die Motivation zur Freigabe der für eine aufwendigere (mehrere Melderebenen, höhere Melderichte), aber nur so wirksame Brandmeldeanlage erforderlichen finanziellen Mittel andererseits.

Beispiel 4

Überwachungsbereich:

U-förmiger Maschinenraum einer EDV-Anlage mit einer Raumhöhe von 4,1 m und einer lichten Höhe des Kabelbodens von 0,51 m, vollklimatisierter Raum, Zuluft über Zwischenboden, Abluft unter der Raumdecke in den äußeren Wänden, zur Kühlung zusätzlich zwei Umluftgeräte, maximal 23-facher Luftwechsel/h.

Melderart:

Ionisations-Rauchmelder

Melderanordnung:

An der Raumdecke Überwachungsfläche pro Melder ca 25 m²,
im Kabelboden Überwachungsfläche pro Melder ca 17,5 m²

Art von Testbränden:

Polyurethan-Weichschaumstoff-Platten gemäß (3), pro Testbrand bis zu 2 derartige Matten

Anordnung der Testbrände:

Zwischen zwei Ionisations-Rauchmeldern an der ungünstigsten Stelle bezüglich vorhandener Zuluft- und Abluftöffnungen

Auswertung der Ergebnisse:

In Räumen mit so hohen Luftwechselzahlen ist eine entsprechend kleinere Überwachungsfläche zu wählen. Die Rauchmelder sind gleichmäßig im Raum aufzuteilen und zwar so, daß sie von Lufteintrittsöffnungen möglichst weit entfernt sind und ein Rauchmelder vor jeder Abluftöffnung angeordnet wird.

Hochregallager

Auch in Hochregallagern mit Höhen, bei denen eine einzige Ebene an Rauchmeldern (unter dem Dach) nicht mehr ausreicht, kann der Schutz durch eine automatische Brandmeldeanlage noch vertretbar sein. Dies hängt vor allem von den baulichen Gegebenheiten, dem Lagergut, der angewendeten Lagertechnik und der zu berücksichtigenden Situation des abwehrenden Brandschutzes ab. Melder allfällig zusätzlicher Melderebenen in den Regalen sind an den Kreuzungspunkten der vom Lagergut gebildeten Schächte anzuordnen. Üblicherweise wurde für diese Melderebenen der maximal zulässige Melderabstand wie in der Melderebene unter der Decke mit 10 m (gemessen in der Längsachse der Regale) angenommen. Dieser Wert ist allerdings mit der Voraussetzung verbunden, daß sich die Brandkenngröße Rauch im vom Brand betroffenen Raum frei ausbreiten kann und sich so in der für die automatische Brandentdeckung relevanten Brandphase der vom Rauch erfüllte Bereich als ein auf der Spitze stehender Kegel darstellt. Diese Annahme trifft für die Rauchausbreitung in Regalen sicher nicht vollinhaltlich zu, dort ist eher von Rauchprismen in den vom Lagergut gebildeten vertikalen Schächten auszugehen. Im Zusammenhang mit der Ausarbeitung der Unterlage (5) wurde daher in einem Hochregallager eine entsprechende Versuchsreihe durchgeführt.

Versuchsreihe A

Überwachungsbereich:

Hochregallager, siehe Abb.5; Doppelregalreihe in welcher die Versuche durchgeführt worden sind, wurde mit Paletten, die mit Planen und Glaswolle belegt waren, so beschickt, daß die Rauchausbreitung einem Brandfalle entsprechend erwartet werden konnte.

Melderart:

Ionisations-Rauchmelder

Melderanordnung:

Eine oder zwei Melderebenen im Regal (siehe Tabelle 2)

Art von Testbränden:

Polyurethan-Weichschaumstoff-Platten gemäß (3), pro Testbrand bis zu 4 derartige Matten, (siehe Tabelle 2)

Anordnung der Testbrände:

An der ungünstigsten Stelle bezüglich der Projektion des Standortes der Testbrände in die Melderebene; Höhenabstand zwischen Testbränden und Meßmeldern siehe Tabelle 2

Auswertung der Ergebnisse:

Siehe Tabelle 2

Ausschließlicher Schutz der Gänge als Fluchtwege

Beim Schutz vor allem größerer Gebäude, in welchen die einzelnen Geschoße aus zahlreichen, eher kleineren Zimmern bestehen, z.B. Hotels, Verwaltungsgebäude, ist des öfteren über die Vorstellung zu diskutieren, ob die Anordnung automatischer Rauchmelder ausschließlich in den Gangbereichen und sonstigen Hauptverkehrswegen auch zur zeitgerechten Detektion von Bränden ausreicht, die in den von diesen Verkehrswegen aufgeschlossenen Zimmern entstehen. "Zeitgerechte Detektion" wäre nach diesen Vorstellungen als Schutz der Fluchtwege durch Ansprechen der Brandmeldeanlage beim ersten Eintritt von Rauch in die Fluchtwege zu verstehen. Dadurch müßte immerhin erreicht werden, daß während der für die Räumung des Gebäudes von Personen erforderlichen Zeitspanne diese Fluchtwege trotz Vorhandenseins geringerer Rauchmengen funktionstüchtig bleiben.

Zur Klärung der Frage, ob eine derartige Konzeption einer Brandmeldeanlage tatsächlich das erhoffte Schutzziel erreichen läßt, wurden in einem Verwaltungsgebäude zwei Versuchsreihen mit Testbränden durchgeführt. Folgende Darstellungen beziehen sich auf die zweite dieser Versuchsreihen.

Versuch Nr.	Anzahl der PU-Matten	Anzahl der Melder-ebenen	Höhenabstand zwischen Testfeuer u. Melder		waagrechtlicher Abstand zwischen Mefmeldern		größte gemessene Kammer-spannung in %		Auswertung: Kann im Brandfall das rechtzeitige Ansprechen der Brandmelder erwartet werden?	
			1. Melder-ebene	2. Melder-ebene	1. Melder-ebene	2. Melder-ebene	1. Melder-ebene	2. Melder-ebene		
1	3	1	8,0 m		10,4 m		28		1. Melder-ebene unsicher nein	2. Melder-ebene unsicher nein
2	3	1	5,4 m		10,4 m		<5		1. Melder-ebene unsicher ja	2. Melder-ebene unsicher nein
3	3	1	5,4 m		5,2 m		26		1. Melder-ebene unsicher ja	2. Melder-ebene unsicher nein
4	4	1	5,4 m		5,2 m		42		1. Melder-ebene unsicher ja	2. Melder-ebene unsicher nein
5,6	2	2	2,7 m	8,0 m	5,2 m	5,2 m	22 bzw. 54	68 bzw. 65	1. Melder-ebene unsicher nein	2. Melder-ebene unsicher nein
7	2	2	2,7 m	8,0 m	10,4 m	5,2 m	16	17	1. Melder-ebene unsicher nein	2. Melder-ebene unsicher nein
8	4	2	2,7 m	8,0 m	10,4 m	5,2 m	20	35	1. Melder-ebene unsicher nein	2. Melder-ebene unsicher ja

Tabelle 2

Versuch Nr.	Art des Testbrandes und Brandstoffmenge	Betriebszustand der Klimaanlage	größte gemessene Kammer-spannung in %		Auswertung: Kann im Brandfall das rechtzeitige Ansprechen der Brandmelder erwartet werden?
			Melderebene unter der abgehängten Decke	Rohdecke	
1	gefüllter Papierkorb	außer Betrieb	30	35	Melderebene unter der abgehängten Decke abgehängten Decke Rohdecke unsicher nein ja ja ja ja ja ja
2	1 PU-Matte	in Betrieb	10	22	unsicher nein ja ja ja ja ja ja
3	2 PU-Matten	in Betrieb	36	62	unsicher nein ja ja ja ja ja ja
4	1 PU-Matte	außer Betrieb	35	55	unsicher nein ja ja ja ja ja ja
5	Schweißbrand mit 12 Buchenscheiten	außer Betrieb	25	30	unsicher nein ja ja ja ja ja ja
6	1/2 PU-Matte	außer Betrieb	35	55	unsicher nein ja ja ja ja ja ja
7	1 PU-Matte	außer Betrieb	56	68	unsicher nein ja ja ja ja ja ja

Tabelle 3

Versuchsreihe B

Überwachungsbereich:

Teile eines Ganges mit einer abgehängten Decke im 12. Obergeschoß eines Verwaltungsgebäudes; Türe zu dem vom Gang direkt zugänglichen Zimmer, in welchem die Testbrände durchgeführt wurden, bei allen Testbränden voll geöffnet; Klimaanlage fallweise in Betrieb; siehe auch Abb.6 und Tabelle 3

Melderart:

Ionisations-Rauchmelder

Melderanordnung:

Siehe Abb. 6

Art von Testbränden:

Siehe Tabelle 3

Anordnung der Testbrände:

Siehe Abb. 6

Auswertung der Ergebnisse:

Siehe Tabelle 3

Ansprechverhalten von Ionisations-Rauchmeldern in Höhenlagen

Das Prüfschema zur Typenbeurteilung von Ionisations-Rauchmeldern (EN 54, Teil 7) gibt für die Durchführung der Prüfungen keine bestimmte Seehöhe vor, geht aber offensichtlich von einem atmosphärischen Luftdruck im Prüfraum aus, der einer Tallage entspricht. Die Erschließung der Alpen, verbunden mit der Errichtung auch von Gebäuden, die dem Aufenthalt einer größeren Anzahl von Personen dienen (Fremdenverkehr), hat aber die Errichtung von Brandmeldeanlagen in Höhenlagen mit sich gebracht. Somit muß es von Interesse sein, zu klären, ob das im Rahmen der Typenbeurteilung (in Tallage) gemessene Ansprechverhalten von Ionisations-Rauchmeldern auf Höhenlagen unverändert übertragen werden kann, oder ob ein anderes Ansprechverhalten zu erwarten ist.

In diesem Zusammenhang wurde eine vergleichende Versuchsreihe

von Testbränden in 570 m Seehöhe einerseits und in 2756 m Seehöhe andererseits durchgeführt.

Versuchsreihe C

Überwachungsbereich:

Brandversuchsräume mit den Abmessungen $l = 5,30 \text{ m}$, $b = 3,70 \text{ m}$,
 $h = 2,35 \text{ m}$, in 570 m Seehöhe und in 2756 m Seehöhe

Melderart:

Ionisations-Rauchmelder

Melderanordnung:

Sinngemäß nach ÖNORM F 3009 (6)

Art von Testbränden:

Nach ÖNORM F 3009 (6) Anhang B, Testbrände TF2, Anhang D,
Testbrände TF4 und Anhang E, Testbrände TF 5

Anordnung der Testbrände:

Sinngemäß nach ÖNORM F 3009 (6)

Auswertung der Ergebnisse:

An Hand der aufgezeichneten Kurven kann zunächst nicht auf bedeutende Unterschiede der in verschiedenen Seehöhen erzielbaren maximalen Meßkammerspannungen geschlossen werden.

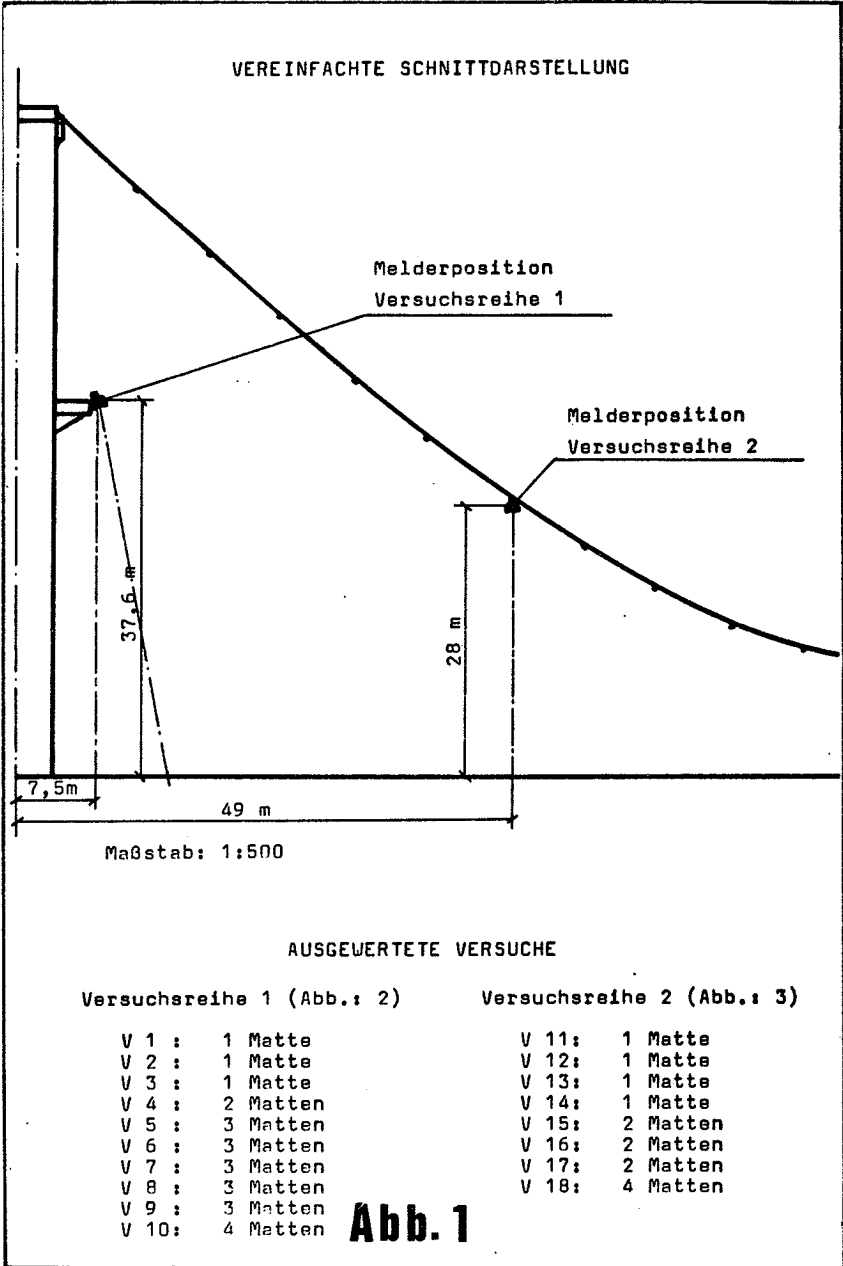
Allerdings lassen die bisher durchgeführten Vergleichsversuche die Möglichkeit offen, daß die Steilheit des Anstieges der Meßkammerspannung bis zur Erreichung des Maximums in Höhenlagen geringer ist als in Tallagen, wobei dieser Effekt umso deutlicher sein könnte, je langsamer ein Brand anläuft. Ob diese Vermutung, die auf der Auswertung von 30 Meßkurven basiert, auch tatsächlich zutrifft, wird erst nach Vorliegen einer wesentlich größeren Anzahl von Meßkurven, die auch eine statistische Auswertung zulassen und möglichst viele Meldertypen und -fabrikate erfassen, entschieden werden können.

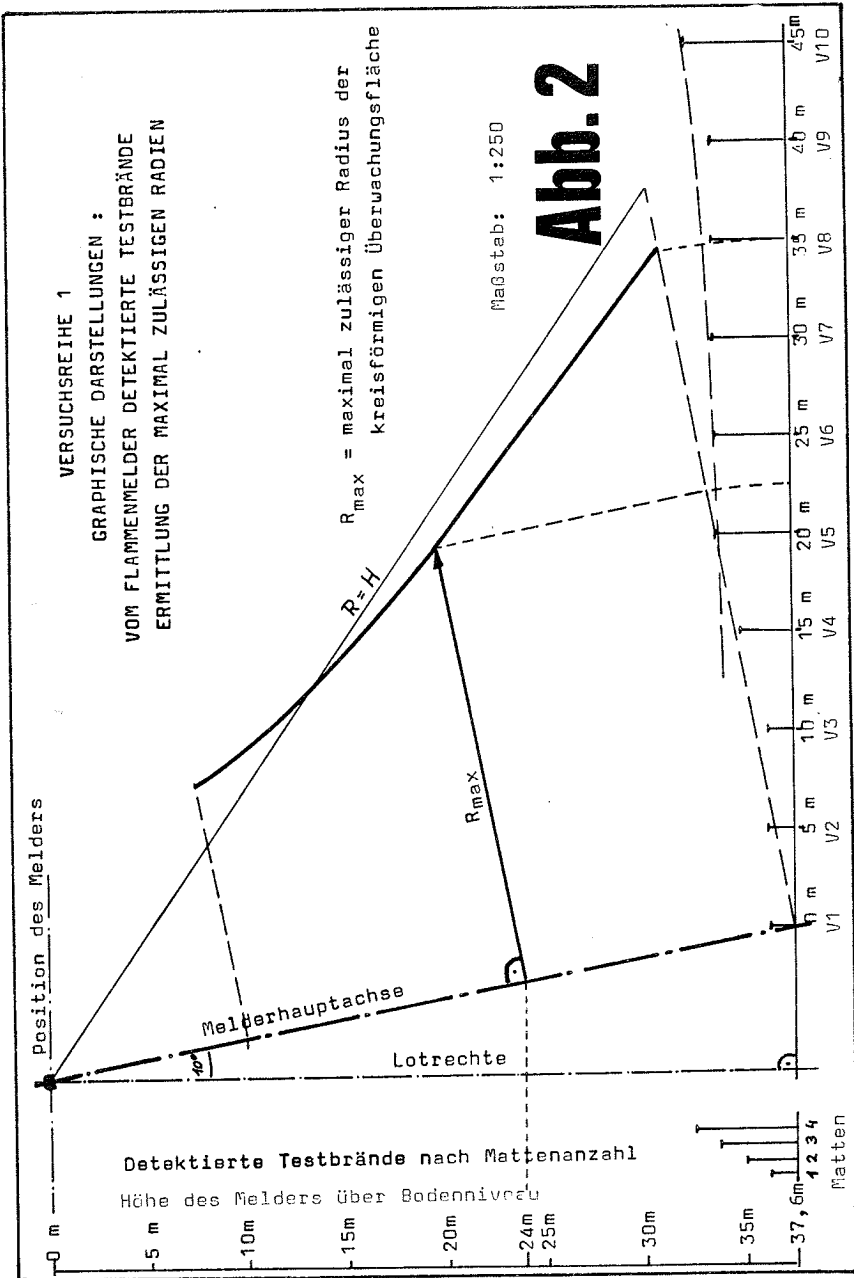
Zusammenfassung

In Österreich werden seit einem Jahrzehnt im Zusammenhang mit

der Beurteilung automatischer Brandmeldeanlagen, wenn erforderlich, Testbrände durchgeführt. Die dabei gemachten Erfahrungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Testbrände sind durchaus geeignet, zur Beurteilung konkreter Brandmeldeanlagen jene, die Aufteilung und Anordnung der automatischen Brandmelder betreffenden Informationen und Entscheidungshilfen zu liefern, die aus den Ergebnissen der Typenbeurteilung nicht abgeleitet werden können.
- Die bei Testbränden festgestellten Ansprechzeiten sind sekundärer Natur. Unterschiede in den Ansprechzeiten bei verschiedenen Meldertypen und -fabrikaten lassen keinerlei Schlüsse auf Güte, Qualitäts- und/oder Eignungsunterschiede zu.
- Ergebnisse von Testbränden und deren Auswertungen haben zunächst für das beim Versuch verwendete Melderfabrikat und nur für die beim Testbrand gegebenen Umgebungsbedingungen Gültigkeit.
- Nur wenn Ergebnisse von Versuchsreihen vorliegen, die mit einer entsprechenden Vielfalt an Melderfabrikaten und/oder Umgebungsbedingungen erzielt worden sind, können aus diesen Ergebnissen auch Schlüsse genereller Art gezogen werden.
- Die Verwendung sogenannter Meßmelder ist dem Einsatz serienmäßiger Melder überlegen, da die kontinuierliche Registrierung der Meßkammerspannungen eine von Zufälligkeiten weitestgehend losgelöste Auswertung zuläßt.
- Da das im Rahmen der Typenbeurteilung von Rauchmeldern ermittelte Ansprechverhalten der Melder ein Testaerosol von ausreichender kinetischer Energie voraussetzt, in der Praxis aber im Brandfall unter Umständen sogar starke Verrauchungen mit kaltem, also energiearmen Rauch auftreten können, sind unterschiedliche Ergebnisse beim Erprobungstest und bei Testbränden vor Ort möglich. Eine nur visuell festgestellte starke Verrauchung darf daher nicht zwangsläufig mit der Annahme "Melder wird im Brandfall ansprechen" gleichgesetzt werden.
- Neben der sachlichen und brandschutztechnischen Klärung von gegebenen Nutzungs- oder sonstigen Situationen können Testbrände auch eine wertvolle Motivationshilfe zur Errichtung wirksamer Brandmeldeanlagen bedeuten.





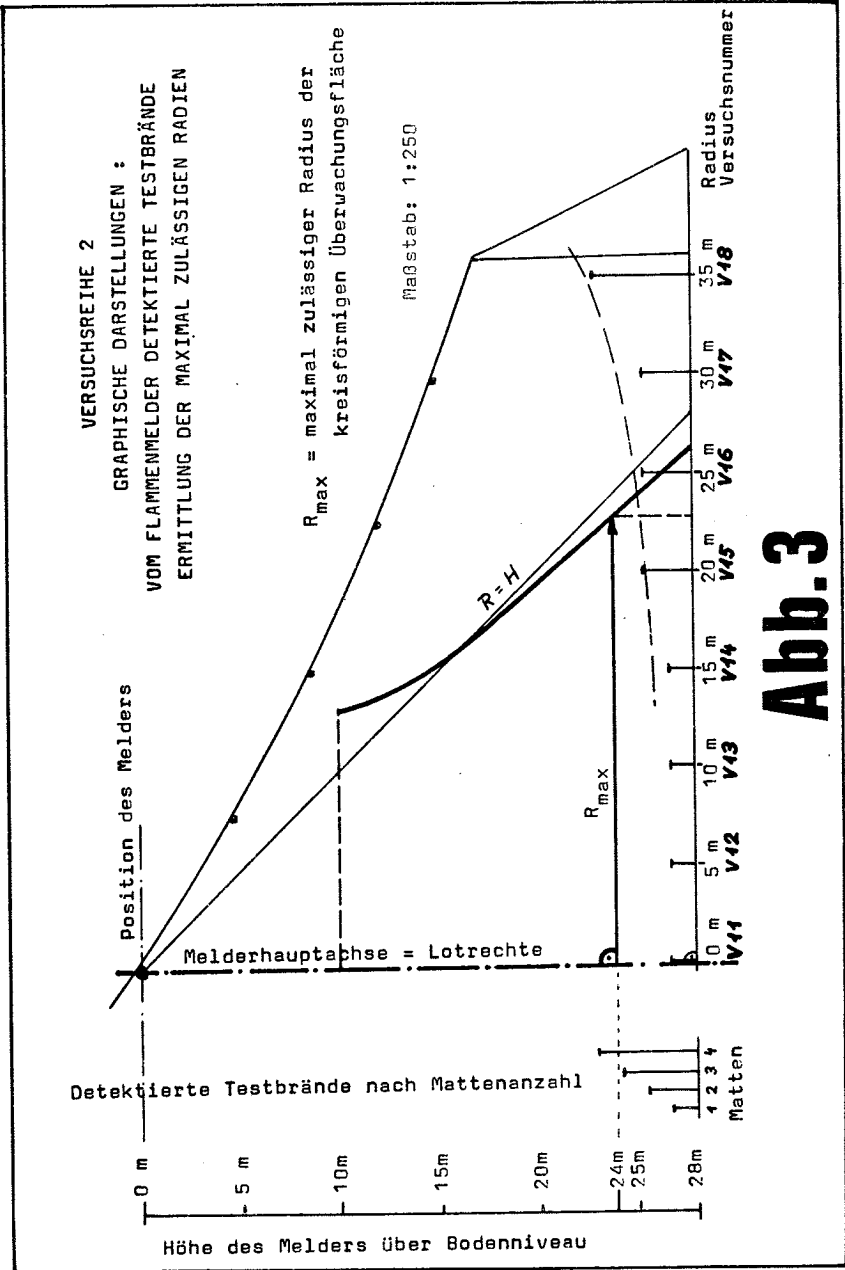
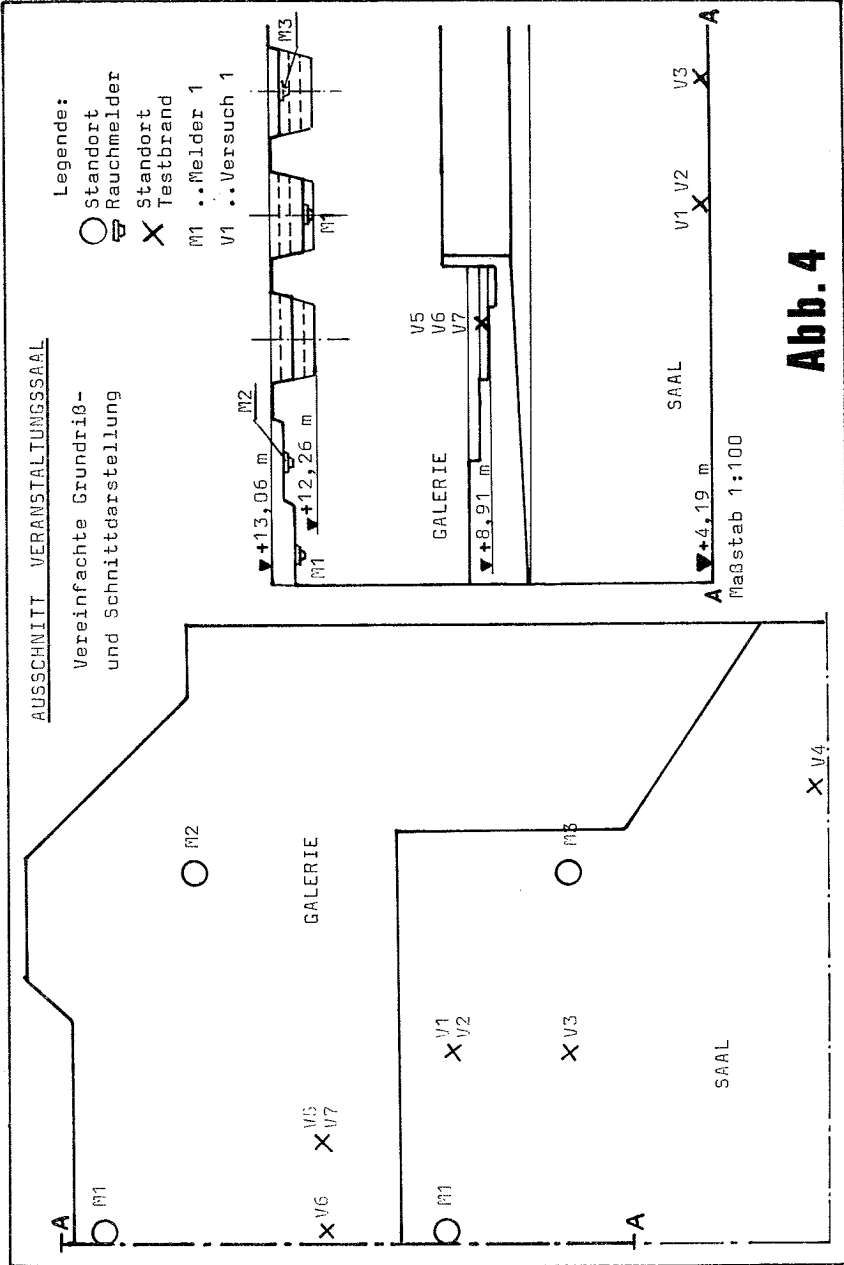
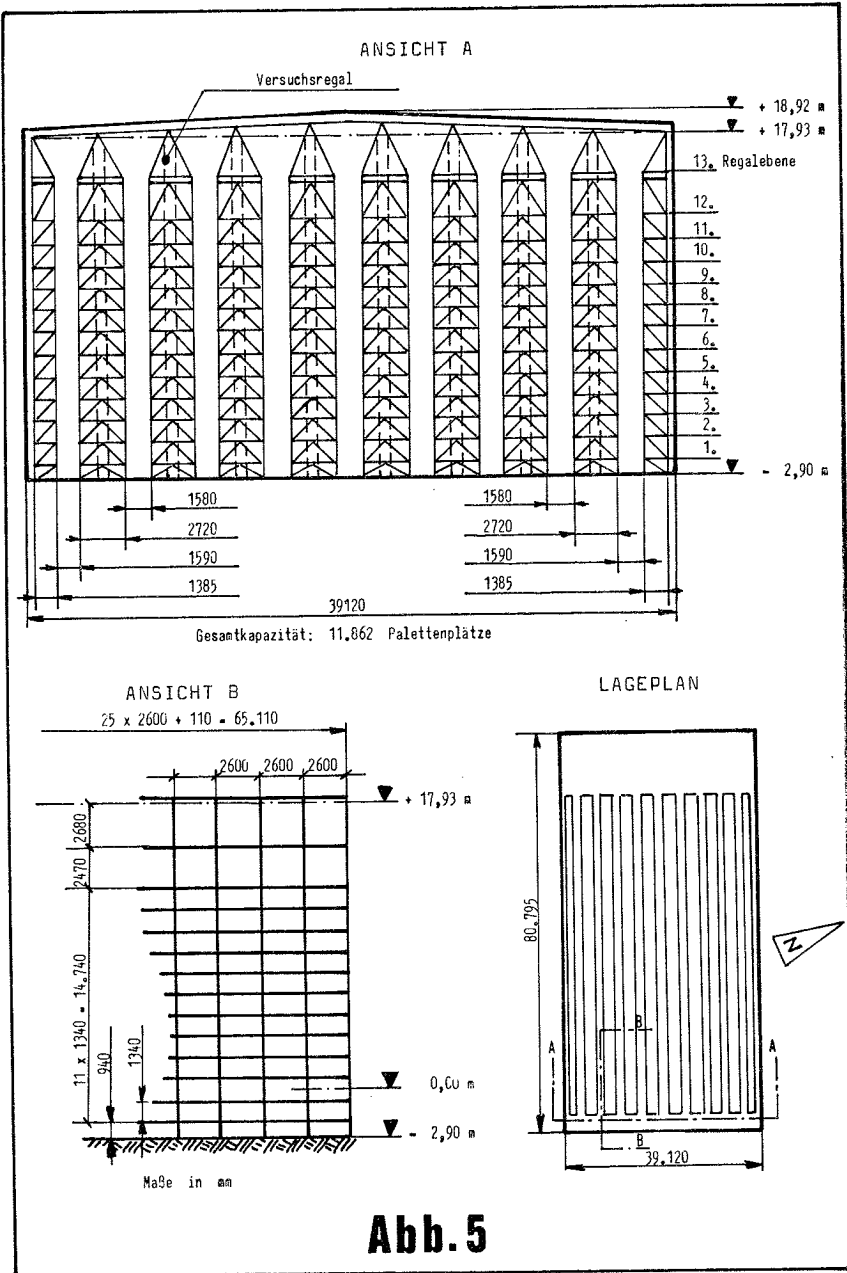
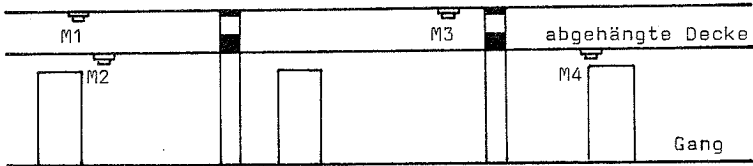


Abb. 3



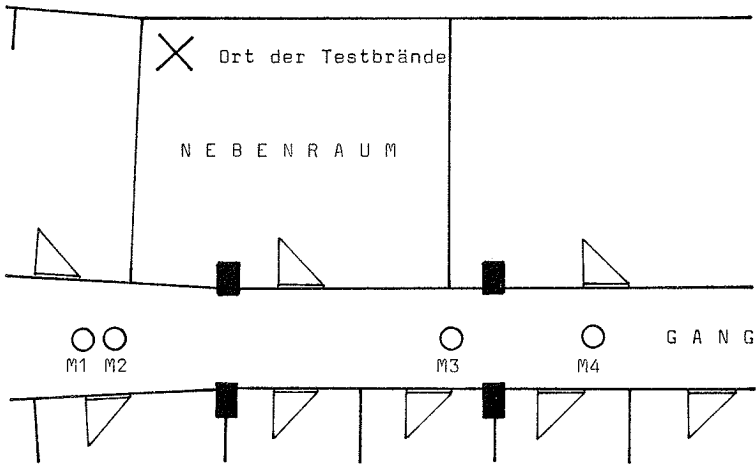


VEREINFACHTE DARSTELLUNGEN IN AUF- UND GRUNDRISS



- M1 ...Melder an der Rohdecke
- M2 ...Melder an der abgehängten Decke
- M3 ...Melder an der Rohdecke
- M4 ...Melder an der abgehängten Decke

Anordnung der Testbrände für die Versuche 1 bis 5



Anordnung der Testbrände für die Versuche 6 und 7

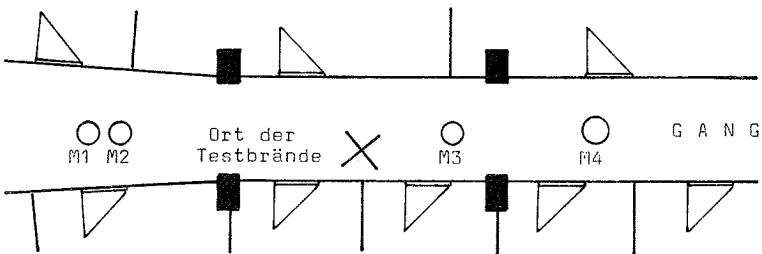


Abb. 6

Literaturverzeichnis

- (1) Entwurf EN 54 Teil 9, "Bestandteile automatischer Brandmeldeanlagen, Erprobungstest"
- (2) "Richtlinien für automatische Brandmeldeanlagen" April 1978
- (3) Merkblatt der österreichischen Brandverhütungsstellen BV/123 "Richtlinien für die Errichtung selbsttätiger Brandmeldeanlagen", November 1972
- (4) Dipl.Ing. Th. Schäfer, I.E.N.T.: "Zur Applikationsprüfung von Branddetektoren", Tagungsbericht zum 6. Internationalen Vortragsseminar über Probleme der automatischen Brandentdeckung, Seite 331 ff
- (5) TRVB S 123 81 "Brandmeldeanlagen"
- (6) ÖNORM F 3009 "Bestandteile automatischer Brandmeldeanlagen, automatische Brandmelder, Brandartenprüfung, Testbrände", 1. Juni 1980

Wien, am 14. Juni 1982

K./S.

Dr. Howard R. Baum
Dr. Ronald G. Rehm
Dr. George W. Mulholland
National Bureau of Standards, Washington, D.C., U.S.A.

Prediction of Heat and Smoke Movement in Enclosure Fires

Introduction

In order to understand the response of a smoke detector to a given fire in an enclosure, it is necessary to relate the local aerosol characteristics actually sensed by the detector to the physical and geometrical properties of the fire and the enclosure. A variety of mathematical models describing various aspects of fire growth and smoke movement have been developed to meet this and related needs. These models can be divided into deterministic analyses based on the physical sciences, and probabilistic approaches based on fire loss statistics and case studies. It is the first class that concerns us here. These models can be further subdivided into two categories; zone models and field equation models. In the following sections, the two approaches are described briefly, with more emphasis on field equation models, since our own work falls in this category. Our analysis is then described by presenting selected results of individual calculations of fire induced flow, aerosol coagulation, and smoke transport. Finally, this methodology is applied to the prediction of the response of an idealized smoke detector to a fire of prescribed strength.

Zone Models

The zone models analyze the problem by dividing the enclosure into distinct control volumes and gas-surface boundaries which characterize the room fire. Typically, the interior of the room is divided into a uniformly heated upper gas layer containing combustion products, a lower layer of cool gases of uniform properties, and a buoyant plume above the fire. Global equations expressing the conservation of mass, momentum and energy within each region are obtained. The effects of doors and windows are treated with hydraulic type flow models. Allowance is also made for convective and radiative heat transfer to walls, ceiling, and floor. Models of this type have been developed by Quintiere (1), Emmons and Mitler (2), (3), and Zukoski and Kubota (4) for room fires. Tanaka (5) has extended this approach to multiple room buildings, while MacArthur and Meyers (6) have used this approach to study aircraft cabin fires. Quintiere (7) has provided an excellent survey of this and related work.

Field Models

The field equation models attempt to provide a more detailed look at the phenomena which control the growth and spread of smoke and flames generated in enclosure fires. The basic equations expressing the conservation of mass, momentum, and energy for gases and smoke particles at each point in the enclosure are solved approximately using computer based numerical techniques. The large, physically motivated control volumes of the zone models are replaced by hundreds or even thousands of small cells whose physical and geometrical properties are chosen for mathematical and computational convenience. Since the basic equations describe individual physical phenomena rather than any particular geometry, it is useful to characterize field equation models by their treatment (or omission) of physical mechanisms. The mathematical and computational complexity of this approach has ensured that all applications to date have been to single rooms of very simple configuration.

The central problem for field equation models is the calculation of the large scale fluid motion induced by the fire. There are two closely related technical issues to be resolved; the computation of three dimensional flow phenomena, and the description of turbulence. These can be discussed with reference to fig. (1), which shows computed temperature contours at an instant of time in one of our simulations of a fire induced flow.

This simulation, like most of those performed anywhere to date, is two dimensional. There is no variation of any physical quantity in the direction perpendicular to the plane of the figure. Even so, motion develops on all length scales from the largest to the smallest resolveable by the cell size employed in the calculations. While computations like this in two dimensions can be readily performed, given sufficient care, the analogous three dimensional result would require (for this example) approximately forty times as many computer operations. Although some calculations on this scale have been ~~performed in~~ such fields as weather prediction and aerodynamics, they remain at the research frontier of computational fluid dynamics.

When the three dimensional analog of the highly time dependent motions depicted in fig. (1) develop at length scales orders of magnitude smaller than those associated with the enclosure geometry, the flow is regarded as turbulent. The prediction of turbulent flows from first principles is one of the major unsolved problems in physics. At present it is only possible to make crude approximate calculations or to represent its effects by an empirical "turbulence model."

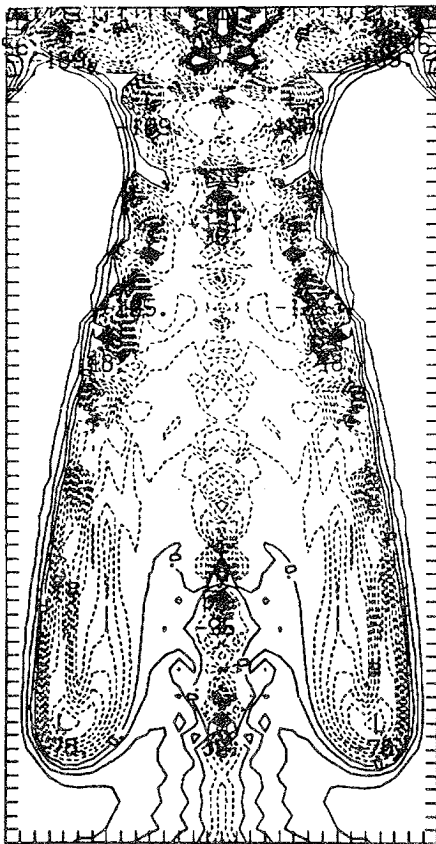


Figure (1). Temperature contours taken from the authors simulation of fire induced flow in an enclosure. The tick marks indicate cell boundaries for the 63 x 31 grid.

The importance of doing better depends crucially on what aspects of fire growth and smoke transport are of interest. We shall return to this subject below.

Prior to our own work, the calculation of fire driven flows in enclosures has fallen into two categories. The time dependent equations of motion including effects of viscosity and thermal conductivity (the Navier-Stokes equations) have been solved directly by Torrance and Rockett (8) and Knight (9). This is in principle the most rigorous approach. However, in practice this approach is limited to study non-turbulent fires in small scale model rooms. In full scale configurations three dimensional effects and turbulence dominate the flow at length scales much larger than those on which viscous forces and thermal conduction operate. Yang, et. al. (10), (11), and Markatos, et. al. (12) have introduced empirical turbulence models into their studies to represent the effect of small scale eddy motions. This removes the problem of computing over wide ranges of length scales. However, the price paid is an inherent loss of predictive capability, the extent of which cannot be assessed without performing the kind of detailed experiments which such calculations are designed to replace.

A Non-empirical Flow Model

The starting point for our own work is the experimental observation by McCaffrey (13) that most of the energy containing eddies in buoyant plumes induced by laboratory scale fires are of low frequency and large spatial extent. Such eddies, with frequencies typically in the range two to five hertz and length scales comparable to the local plume width, are accessible to calculation. These large eddies are but a small part of the spectrum of turbulent flows, and our calculations are at best a crude description of turbulence per se. They cannot be used to analyze turbulent boundary layers at enclosure walls and ceilings. Neither can they be used to study the combustion processes in the flame. However, they are capable of predicting large scale convection driven by a fire of prescribed strength.

To calculate even the largest scale eddies requires that all physical phenomena not relevant to large scale convection be eliminated from the model, so that all computational resources can be focused on the problem of interest. To this end, Rehm and Baum (14) have derived an approximate set of equations that ignores viscous stresses and thermal conduction, filters out sound and shock waves and lumps all combustion processes into a prescribed volumetric heat source. The computational procedures used to solve these equations are elaborate and will not be described here. They are discussed in Rehm, et. al. (15), Baum, et. al. (16), Lewis and Rehm (17), and Baum and Rehm (18).

The evolution of a typical flow pattern calculated from this model is shown in fig. (2). The heat source is centered along the floor of the square enclosure. It is distributed exponentially in the vertical direction and in a Gaussian manner in the horizontal. The unit of time shown is $(h/g)^{1/2}$, where h is the height of the enclosure and g is the gravitational acceleration. All lengths are made non-dimensional with respect to h , the temperature is normalized with respect to its initial ambient value, and the velocities are computed in units of $(gh)^{1/2}$. This "Froude Number" scaling leaves a single source strength parameter $Q(h/g)^{1/2}/Ph^2$ to determine the flow. Here Q is the rate of heat release, and P is the ambient pressure. The value chosen for this parameter is 0.01 for the calculation shown in fig. 2. The tick marks along the boundary of the enclosure show the cell spacing for the 31 x 31 grid employed in the computation. The calculation is two dimensional; there are no variations out of the plane of the paper.

At dimensionless time 2.0, almost no motion has occurred. Thus, the temperature increase in the fluid is directly proportional to the volumetric rate of heat addition. The isotherms are also contours of constant heat addition, which must be parabolas. By dimensionless time 8.5, the heated fluid has begun to rise due to buoyancy. Colder fluid is drawn into the region vacated by the buoyant gases. The entrained fluid pinches off the heated bubble into the characteristic "mushroom cloud" shape. The top of the mushroom is dominated by two large counter rotating eddies. The stem is the incipient buoyant plume. At dimensionless time 11.5 the hot gas has begun to spread out across the ceiling. A considerable amount of secondary eddy formation has occurred. In particular, a quasi-periodic structure has begun to appear in the plume. These are the two dimensional analogs of the large eddies observed by McCaffrey. By dimensionless time 14.5 the enclosure filling process is far advanced. The most striking feature of the flow at this point is the momentum driven wall jets which control the filling process. This calculation was actually run out to dimensionless time 20.0, which is more than sufficient to complete the filling process. The calculation required the computation of about 450 separate time steps, and took 245 seconds of processor time on a CDC Cyber 170/750 computer.

These calculations have been checked by repeating them on a denser (63 x 64) cell grid. They have been compared with experiments performed by us (19) and by Tsang (20) using dyed salt water descending through fresh water to simulate a buoyant plume. This is a very good test of the model since heat transfer to boundaries and thermal radiation are absent in both theory and experiment. Plume rise times can be calculated to approximately ten percent accuracy based on Tsang's data in a six foot water tank. Our own experiments clearly show the

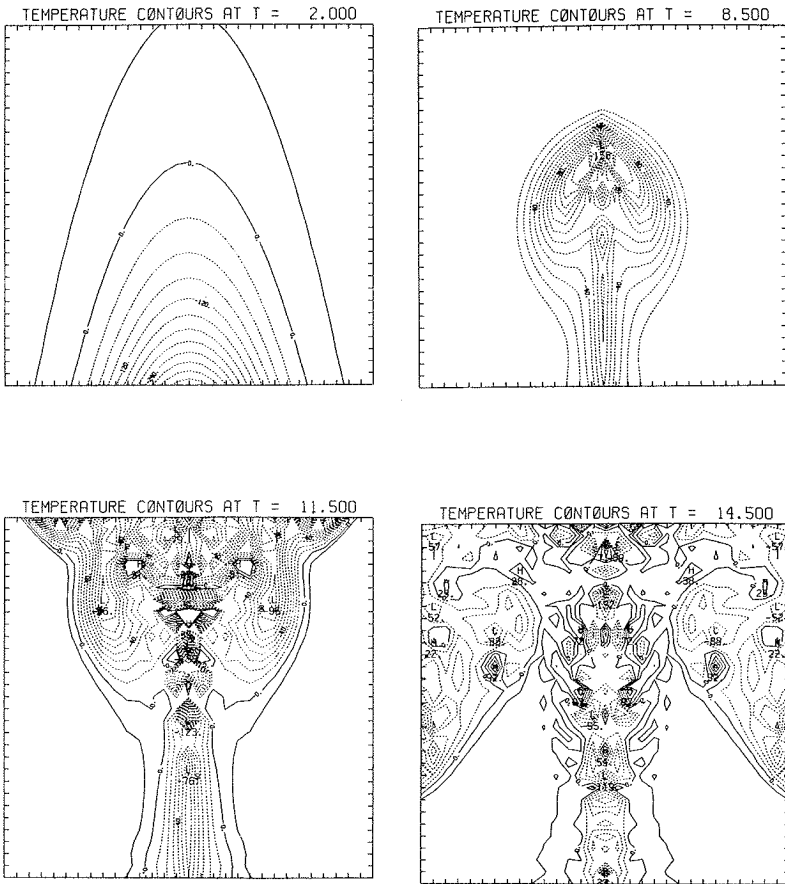


Figure (2). Sequence of temperature contours showing evolution of fire driven flow. The computations use 31 x 31 cells.

momentum jet.

Other features characteristic of buoyancy driven flow emerge for different configurations. Figure (3) shows an instantaneous temperature contour plot for a fire in an enclosure twice as long as it is high. A gravity front moving to the right, with a characteristic "nose" shape may be seen. It is instructive to compare this with the description given by Turner (21). Figure (1) shows the severe plume distortion created by side walls when the height to width ratio is reversed.

Smoke Coagulation

Smoke detector response is sensitive to both the concentration of smoke ingested and the size distribution of the aerosol. Given the ability to calculate the fire induced flow, it is still necessary to determine both the density of the aerosol reaching the detector and its size distribution. This can be accomplished by noting that particles in the size range of most interest in fires (roughly 0.01 to 10 micrometers in diameter) are too large to diffuse and too small to settle out over the time scales associated with large scale smoke transport in enclosures. Thus, in a frame of reference moving with the fluid velocity, the smoke aerosol behaves locally as if it were in a spatially homogeneous environment.

The most important physical mechanism acting to change the aerosol size distribution once it leaves the flame zone of a fire is coagulation. The particles present at high concentration levels collide as a result of Brownian motion and stick together. The coagulation process is described mathematically by the Smoluchowski equation. Our simulation employs an exact analytical solution to this equation found by Mulholland and Baum (22). The solution describes the evolution of an initial state corresponding to an exponentially truncated Junge distribution. The solution predicts a long term "memory effect," a persistence of the initial state for long periods of time for the larger sized particles. This persistence has been observed experimentally by Mulholland, et. al. (23).

Figure (5) illustrates the solution applied to size distribution data obtained by Helsper, et. al. (24). The data is from a flaming wood fire generated by burning stacked sticks of dried beechwood. The calculations show that the small sizes are rapidly depleted, with relatively little change in the distribution above .05 micrometer diameter. During this period, the total particulate number density has been reduced by a factor of sixteen at dimensionless time τ of

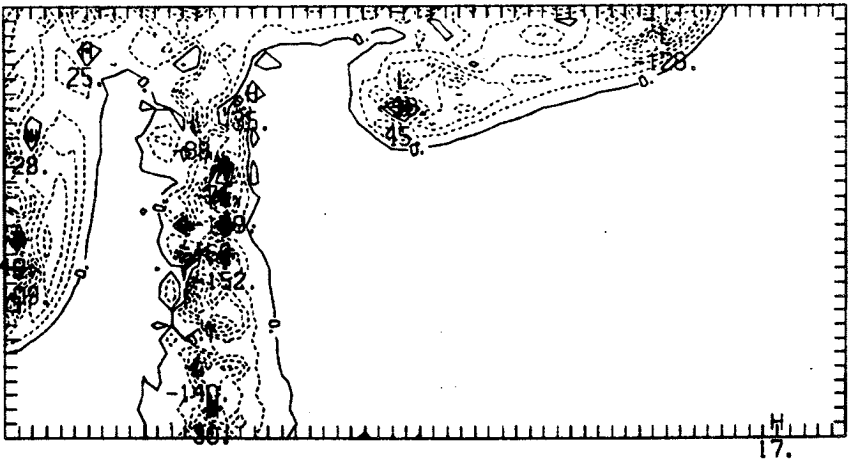


Figure (3). Sample temperature contour plot from enclosure of height to width ratio 0.5. Note the gravity front to the right of the plume.

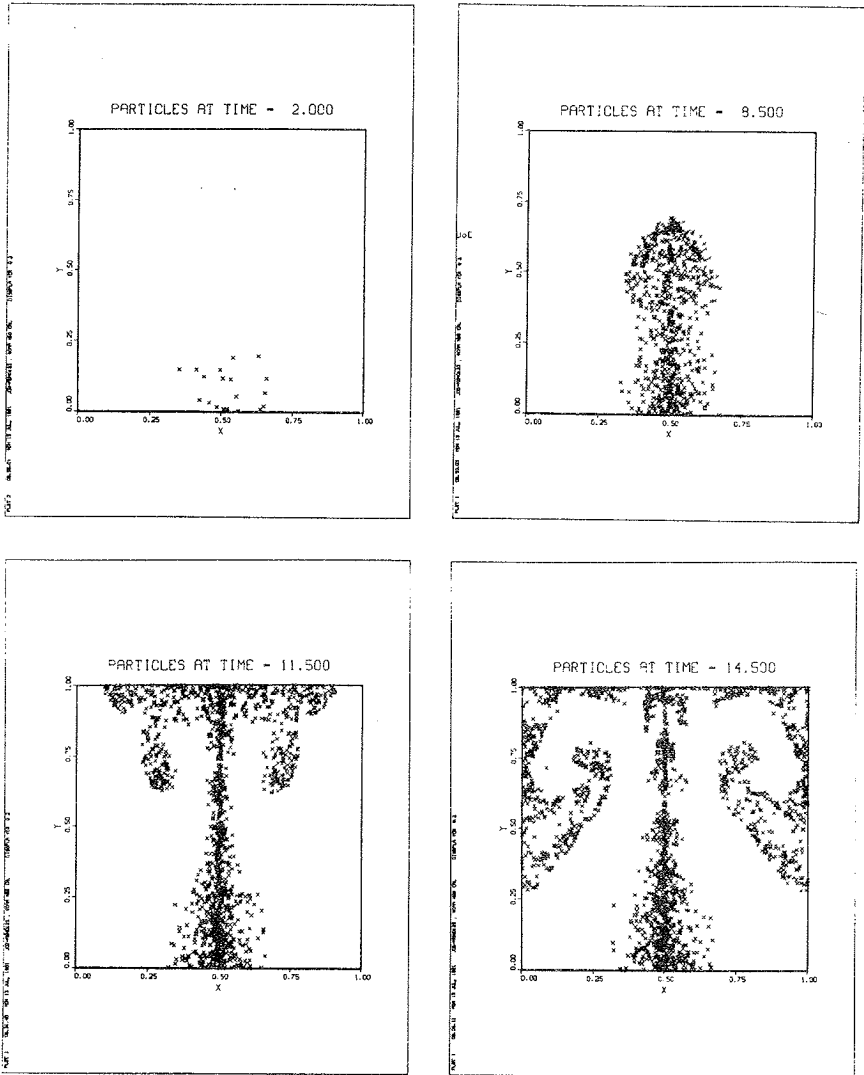


Figure (4). Sequence of particle plots corresponding to the temperature contours shown in fig. (2).

fifteen, and by a factor of thirty one at dimensionless time τ of thirty. The time scale used to normalize τ is the product of the coagulation frequency and the initial particulate number density. The decay rate and the exponential cutoff were chosen to give agreement with the data of Helsper, et. al. in the 0.1 micrometer range. The initial number concentration however, was chosen to be typical of flame conditions. A value of 10^{10} particles per cubic centimeter was used, giving a time scale for τ of 0.1 seconds.

Particle Tracking

The hydrodynamics and smoke properties are tied together by a "particle tracking" procedure. The smoke aerosol is represented by a large number of blobs. Each blob is treated as a homogeneous mass of aerosol, whose properties are determined by their initial state when generated by the fire. The subsequent evolution of the size distribution is found from the results of the homogeneous coagulation analysis described in the previous section. Thus, any property of the smoke aerosol size distribution in a given grid cell may be determined by dividing the fire generated smoke into a large but finite number of blobs of known properties. The blobs are injected into the heat release region at a prescribed rate. Their subsequent location is found by computing the trajectory of each blob as it is carried about by the fluid. This calculation is carried out in parallel with the computation of the flow described earlier. By keeping track of the age of particles entering any given cell as a function of time, the entire size distribution in that cell may be calculated. In addition, the mass and number density of the particles in all cells may be simultaneously found by adding up the mass and number in each cell. This procedure is a generalization of an analytical transformation used previously by Baum and Mulholland (25) in a less detailed study of coagulation in a buoyant plume.

Figure (4) shows an implementation of the particle tracking procedure imbedded in the flow field shown in fig. (2). Five particles per time step are injected into the flow field in the vicinity of the heat source. The initial particle locations are random with a Gaussian distribution in the horizontal direction and an exponential distribution in the vertical. This ensures consistency with the form chosen for the heat source and provides an initial randomness apparent in real fires. The subsequent motion is deterministic. The particle plots clearly show the necking in of the plume caused by the intense influx of cool gases near the base. This is a frequently observed phenomenon in pool fires. The combined hydrodynamics and particle tracking calculation, carried

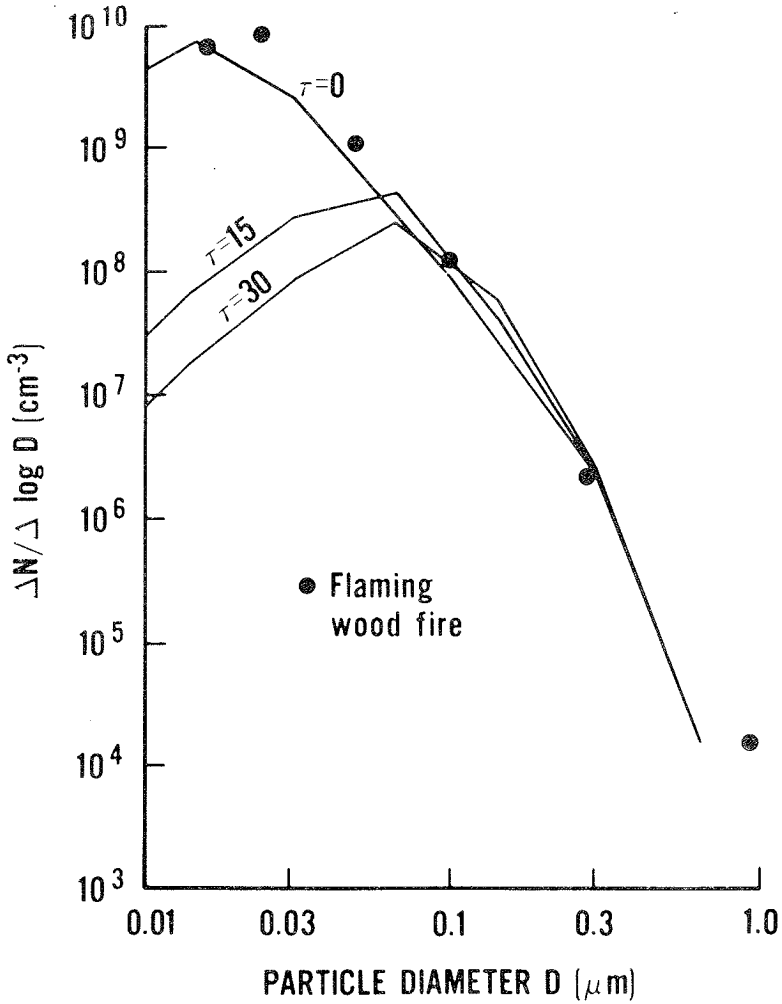


Figure (5). Calculated smoke aerosol size distributions showing the evolution of the distribution under the influence of coagulation. The experimental points are taken from ref. (24).

out to 20 units of dimensionless time with over two thousand blobs (each of which can represent any number of actual smoke particles), required 481 seconds of cpu time.

Detector Response

The response of an idealized detector to an enclosure fire was calculated as an example of the way in which our models could be applied. For this purpose, it is necessary to know the response function of the detector. The response function is defined by Mulholland and Liu (26) as the detector output minus background reading divided by the aerosol number concentration. It is a function of particle size, particle optical properties, detector type, and detector design, but is independent of particle number concentration. The response function is usually expressed in units microvolts times cubic centimeters.

The desired quantity is the detector output in microvolts as a function of time. Figure (6) shows such a response based on the calculations described in the previous sections. The fire is that used to generate fig. (2), with the enclosure taken to be 2.5 meters high. The initial particle number flux generated by the fire is assumed to be 3.5×10^{16} particles per second. The smoke transport is described by introducing 10^3 mathematical blobs per second, so that each blob represents 3.5×10^{13} particles. The initial number concentration in each blob is taken to be 10^{10} particles per cubic centimeters. The results plotted in fig. (5) then describe the evolution of the size distribution in each blob as a function of time. The detector is assumed to be located on the ceiling midway between the center and the right wall (in cell 24, measured from the left). The number and age (time since introduction) of each blob entering this cell at every time step is recorded.

All particles in the cell containing the detector are assumed to mix uniformly within that cell. From this information, the size distribution in the cell as a function of time is determined. The number of particles in each size range is multiplied by the detector response function and integrated over all sizes to obtain the result in fig. (6). The response function used is that for an ionization detector, and is obtained from the work of Mulholland and Liu.

The detector output curve in fig. (6) has large scale fluctuations, caused by the fluctuations in the instantaneous concentration within the cell of interest. This effect can be removed by dividing the detector output by the particle concentration in the cell. This yields the normalized detector output curve shown in fig. (7). The small fluctuations in this curve are primarily due to

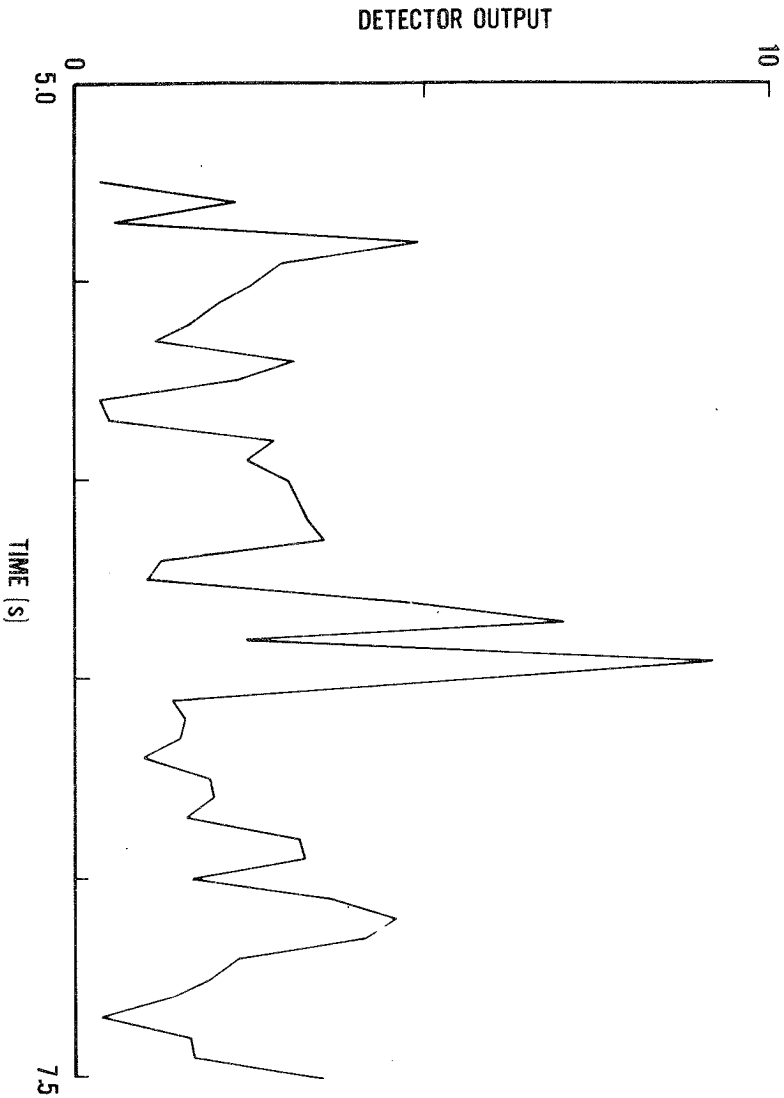


Figure (6). Calculated detector output for an ionization detector located on the ceiling for the fire shown in fig. (2).

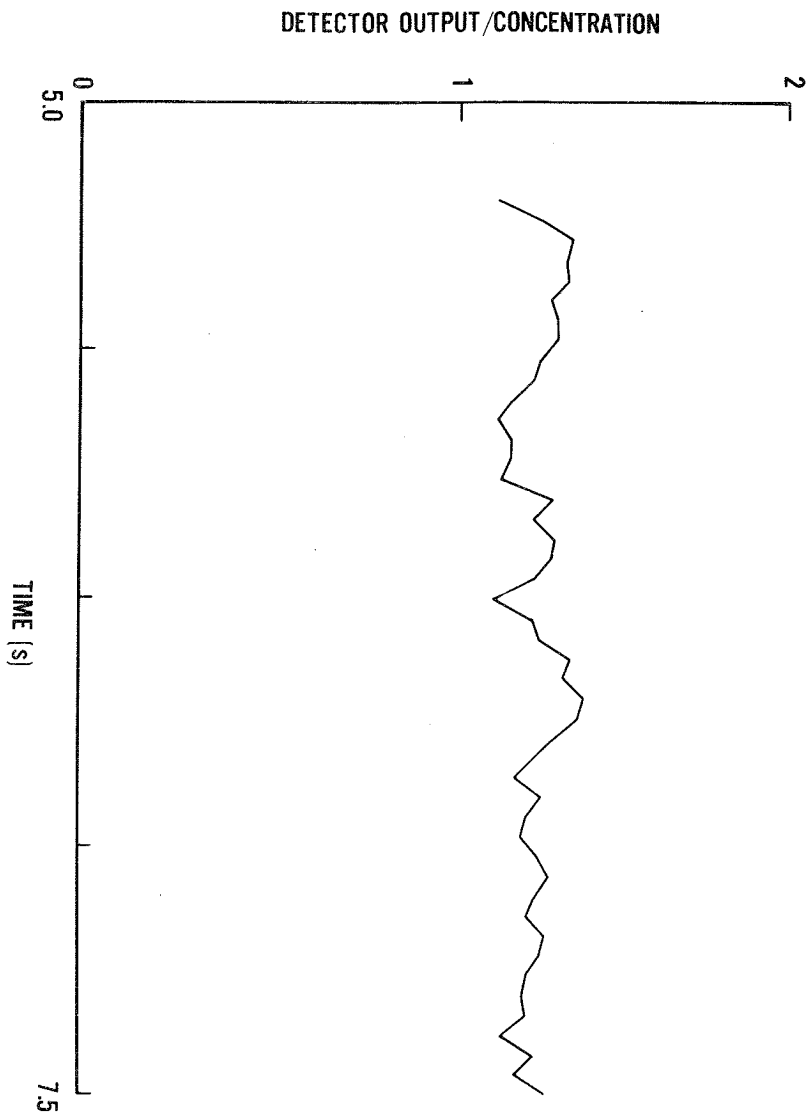


Figure (7). Detector output normalized to show effective response per particle.

fluctuations in particle age as it reaches the detector.

Concluding Remarks

Fire research, considered as a science, is still in its infancy. All the calculations described above have limitations which reduce their applicability to practical problems. Nevertheless, it is clear that some predictive capability already exists. Moreover, research is currently underway to remove many of these restrictions. With respect to our own work, three dimensional flow calculations are now being performed. The particle tracking procedure permits the incorporation of additional aerosol physics into these calculations in a straightforward fashion. More detailed experiments to probe these and other phenomena are planned. The next few years should see a variety of results of great interest to those interested in "Problems of Automatic Fire Detection".

References

1. Quintiere, J.G. and McCaffrey, B.J., The burning of wood and plastic cribs in an enclosure; Vol. 1, National Bureau of Standards Report NBSIR 80-2054, (1980).
2. Emmons, H.W., The prediction of fires in buildings, Proc. Seventeenth Symposium (Int.) on Combustion, p. 1101, The Combustion Institute, Pittsburgh, (1978).
3. Mitler, H.E., The physical basis for the Harvard computer fire code, Home Fire Project Tech. Report. No. 34, Harvard University, (1978).
4. Kukoski, E.E. and Kubota, T., Two-layer modeling of smoke movement in building fires, Fire Mater. 4, 1, (1980).
5. Tanaka, T., A model on fire spread in small scale buildings, B.R.I. Research Paper No. 84, Building Research Institute, Japan, (1980).
6. MacArthur, C.D. and Meyers, J.F., Dayton aircraft cabin fire model validation, Phase I, Rept. No. FAA-RD-78-57, Univ. Dayton Res. Inst., (1978).
7. Quintiere, J.G., An approach to modeling wall fire spread in a room, Fire Safety Journal, 3, p. 201, (1981).

8. Torrance, K.E. and Rockett, J.A., Numerical study of natural convection in an enclosure with localized heating from below-creeping flow to the onset of laminar instability, *J. Fluid Mech.*, 36, p. 33, (1969).
9. Knight, C., Numerical studies of natural convection in an enclosure, Tech. Rept. 15, Div. Engrg. and Applied Phys., Harvard Univ. (1976).
10. Yang, K.T. and Liu, V.K., UNSAFE-II A computer code for buoyant turbulent flow in an enclosure with radiation, Tech. Rept. TR-79002-78-3, Dept. Aero. and Mech. Engrg., Univ. of Notre Dame, (1978).
11. Ku, A.C., Doria, M.L., and Lloyd, J.R., Numerical modeling of unsteady buoyant flows generated by fire in a corridor, Proc. Sixteenth Symposium (Int.) on Combustion, p. 1373, (1977).
12. Markatos, N.C., Malin, M.R., and Cox, G., Mathematical modeling of buoyancy-induced smoke flow in enclosures, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 25, p. 63, (1982).
13. McCaffrey, B., Purely buoyant diffusion flames: Some experimental results, National Bureau of Standards Report NBSIR 79-1910, (1979).
14. Rehm, R.G., and Baum, H.R., The equations of motion for thermally driven buoyant flows, *J. Res. National Bureau of Standards*, 83, p. 297, (1978).
15. Rehm, R.G., Baum, H.R., and Barnett, P.D., Buoyant convection computed in a Vorticity, Stream-function formulation, *J. Res. National Bureau of Standards*, 87, p. 165, (1982).
16. Baum, H.R., Rehm, R.G., Barnett, P.D., and Corley, D.M., Finite difference calculations of buoyant convection in an enclosure, Part I, The Basic Algorithm, National Bureau of Standards Report NBSIR 81-2385, (1981).
17. Lewis, J., and Rehm, R.G., The numerical solution of a nonseparable elliptic partial differential equation by preconditioned conjugate gradients, *J. Res. National Bureau of Standards*, 85, p. 367, (1980).
18. Baum, H.R., and Rehm, R.G., Finite difference solutions for internal waves in enclosures, National Bureau of Standards Report (in preparation).

19. Baum, H.R., Rehm, R.G., and Mulholland, G.W., Computation of fire induced flow and smoke coagulation, Proc. Nineteenth Symposium (Int.) on Combustion, (to appear).
20. Tsang, G., Laboratory study of two-dimensional starting plumes, Atmos. Environment, 4, p. 519, (1970).
21. Turner, J.S., Buoyancy effects in fluids, Cambridge University Press, Cambridge, p. 72, (1973).
22. Mulholland, G.W., and Baum, H.R., Effect of initial size distribution on aerosol coagulation, Phys. Rev. Letters, 45, p. 761, (1980).
23. Mulholland, G.W., Lee, T.G., and Baum, H.R., The coagulation of aerosols with broad initial size distributions, J. Colloid and Interface Science, 62, p. 406, (1977).
24. Helsper, C., Fissan, H.J., Muggli, J., and Scheidweiler, A., Particle number distributions of aerosols from test fires, J. Aerosol Sci, 11, p. 439, (1980).
25. Baum, H.R., and Mulholland, G.W., Coagulation of smoke aerosol in a buoyant plume, J. Colloid and Interface Science, 72, p. 1, (1979).
26. Mulholland, G.W., and Liu, B.Y.H., Response of smoke detectors to mono-disperse aerosols, J. Res. National Bureau of Standards, 85, p. 223, (1980).

Dipl.-Ing. I. Willms
Dipl.-Ing. B. Siemund
Dipl.-Ing. G. Lorbeer

Universität -GH- Duisburg, Deutschland

Opto-computertomographisches Rauchdichtemeßverfahren

Einleitung

Ein wichtiger Punkt bei der Projektierung von Brandmeldeanlagen ist die sachgerechte Positionierung der Brandmelder des Systems. Das Problem der optimalen Positionierung ist gebunden an die Möglichkeit, die Ausbreitung der bei einem Entstehungsbrand produzierten Aerosole vorherzusagen. Dazu sind Modelle heranzuziehen, die die Aerosol- und Wärmeausbreitung beschreiben.

Weil alle Modelle auf bestimmten vereinfachenden Annahmen beruhen, ist es einerseits immer erforderlich, die Gültigkeit bestehender Modelle an der Wirklichkeit zu messen. Andererseits wird die Weiterentwicklung von Modellen immer detailliertere Kenntnisse über die zum Beispiel bei Brandversuchen unter kontrollierten Bedingungen beobachtbaren Meßgrößen: Temperatur, Rauchdichte, Windgeschwindigkeit usw. zu berücksichtigen haben.

Ein unentbehrliches Hilfsmittel dabei ist eine Meßtechnik, die es erlaubt, bei begrenztem Aufwand ein möglichst hohes Maß an Informationen über die tatsächlich vorliegenden Verteilungen der wesentlichen Brandkenngrößen zu erhalten. In diesem Zusammenhang beschränken sich die folgenden Ausführungen auf die Erfassung der zweidimensionalen örtlichen Verteilung der Rauchdichte in geschlossenen Räumen, das heißt auf den mit Extinktionsmeßgeräten

in einer Meßebeene meßbaren Verlauf des Extinktionsmoduls.

Es liegt der Gedanke nahe, mit Extinktionsmeßgeräten entsprechend der gewünschten Ortsauflösung nur an genügend vielen Stellen im Meßgebiet punktuelle Messungen durchzuführen, um auf diese Weise ein Abbild der vorliegenden Rauchdichteverteilung zu erhalten.

Bild 1 zeigt dazu beispielhaft in einer Skizze eine mögliche Anordnung von Meßgeräten in der Meßebeene. Dieses Bild gibt eine quadratische Meßebeene wieder, in die 25 Extinktionsmeßgeräte eingebracht sind. Die Meßwege jedes Gerätes sind durch Balken gekennzeichnet. Man erkennt, daß bei auch nur geringen Anforderungen an die örtliche Auflösung der Rauchdichteverteilung eine erhebliche Anzahl von Meßgeräten erforderlich wäre. Wegen dieses Aufwandes und der Beeinträchtigung der ungehinderten Aerosolausbreitung durch die große Anzahl der zu installierenden Meßgeräte ist eine solche Vorgehensweise nicht praktikabel.

Das im folgenden in den Grundzügen erläuterte Meßverfahren bietet demgegenüber die Möglichkeit, ohne Einbringen einer Vielzahl von Sensoren, die örtlichen Werte des Extinktionsmoduls in einer Ebene des Meßgebietes zu bestimmen. Die Anzahl der dazu erforderlichen Meßmodule ist verglichen mit der Anzahl der damit gewonnenen Meßdaten sehr gering. Man erhält eine relativ hohe Auflösung der örtlichen Verteilung der Rauchdichte.

Grundzüge des Meßverfahrens

Das Meßverfahren beruht darauf, nur am Rande des Meßgebietes eine bestimmte Anzahl von Infrarot-Strahlungsquellen und Strahlungsempfängern anzuordnen und damit mehrfache Extinktionsmessungen durchzuführen. In Bild 2 ist eine Anordnung von 3 Strahlungsempfängern E_j und einer Strahlungsquelle Q_i zusammen mit den sich ergebenden Meßwegen dargestellt. Werden Empfängermodule und Quellenmodule so ausgelegt, daß möglichst jede Quelle mit jedem Empfänger einen Meßwert liefern kann, gewinnt man bei nur wenigen

Meßmodulen eine Vielzahl von Extinktionsmeßdaten. In Bild 3 ist für eine Anordnung von 16 Strahlungsquellen und 16 Strahlungsempfängern die Verteilung der sich ergebenden Meßwege in der Meßebene skizziert. Diese Anordnung entspricht derjenigen, die auch die Meßapparatur eines Modellmeßsystems aufweist, welches im Rahmen von Voruntersuchungen zur Anwendbarkeit des Verfahrens aufgebaut wurde.

Bild 3 ist zu entnehmen, daß die Meßwege nahezu das gesamte Meßgebiet in unterschiedlichen Richtungen durchziehen. Das Bild verdeutlicht auch, daß bei insgesamt nur 32 Meßmodulen 256 unterschiedliche Meßwege möglich sind. Jeder Meßweg in Bild 3 entspricht dabei einem Extinktionsmeßwert, der ein Maß für die durch Aerosolpartikel hervorgerufene Absorption auf dem Weg zwischen Strahlungsquelle Q_i und Strahlungsempfänger E_j ist. Die Größe der Extinktion läßt sich durch Vergleich der auf einen Empfänger auftreffenden Strahlungsmenge zu einem Zeitpunkte t mit der zu einem Zeitpunkte t_0 gemessenen Strahlungsmenge erhalten. Dieser Zeitpunkt t_0 muß dabei so gewählt werden, daß sichergestellt ist, daß im gesamten Meßgebiet die Rauchdichte hinreichend klein ist.

Bezieht man nun die so gemessene Extinktion auf die entsprechende Meßweglänge, d.h. den Abstand zwischen Quelle S_i und Empfänger E_j , so erhält man schließlich den Mittelwert des Extinktionsmoduls \bar{m}_j bezüglich dieses Meßweges.

Auf diese Weise lassen sich allein über die Messung der Signale der Strahlungsempfänger die örtlichen Mittelwerte des Extinktionsmoduls in Bezug auf alle vorhandenen Meßwege bestimmen. Aufgabe der weiteren Auswertung dieser Meßdaten ist es nun, aus diesen Mittelwerten des Extinktionsmoduls die eigentlichen örtlichen Werte dieser Größe zu bestimmen.

Zur Lösung dieses Problems konnte sich einer Anleihe bei der Röntgen-Medizintechnik bedient werden. Computertomographieverfahren sind in diesem Bereich sehr erfolgreich. Auch in anderen

Bereichen, wie z.B. der Luftüberwachung /1,2/ , der Untersuchung von Flammen /3/ usw. sind entsprechende Verfahren vorgeschlagen beziehungsweise schon erprobt worden. Für die gegebene Aufgabe hat sich ein iteratives Verfahren /4,5/ als besonders günstig erwiesen. Dieses Verfahren geht von Schätzungen der Dichteverteilung aus und vergleicht nacheinander jeweils einen Meßwert mit den geschätzten Verteilungen. Entspricht der Meßwert nicht dieser Schätzung, so wird diese korrigiert und in Einklang mit dem betrachteten Meßwert gebracht. Die Korrekturen der Schätzungen richten sich dabei nach der geometrischen Lage der Meßwege im Meßgebiet.

Bild 4 gibt einen vereinfachten Überblick über das Auswerteschema für die Meßdaten mehrfacher Extinktionsmessungen. Im schon erläuterten ersten Schritt der Auswertung werden die auf die Meßwege bezogenen Mittelwerte \bar{m}_j des Extinktionsmoduls bestimmt. Anhand dieser Daten wird die erste Schätzung $\underline{N}^{(0)}$ bestimmt. Der Vektor \underline{N} repräsentiert dabei die geordnete Menge aller örtlichen Werte des Extinktionsmoduls, die anhand der Mittelwerte \bar{m}_j zu bestimmen sind.

Bei den weiteren Iterationen des Auswerteprozesses werden mittels der Vektoren \underline{A}_j , die den Zusammenhang zwischen Mittelwert \bar{m}_j und den örtlichen Dichtewerten beschreiben, Differenzen zwischen gemessenen Daten und den aktuellen Schätzungen festgestellt. Die gegebenenfalls erforderlichen Korrekturen werden dann mittels einer Filtermatrix \underline{F} durchgeführt, die einen " weichen " Verlauf der Schätzungen gewährleistet. Die Schätzungen des Verlaufs des Extinktionsmoduls sind schon nach 4 Iterationen in sehr guter Übereinstimmung mit den Meßdaten.

Auf weitere Details des Auswerteverfahrens soll hier nicht weiter eingegangen werden. Über diese wurde schon an anderer Stelle /6-8/ berichtet.

Das Meßsystem

Im Rahmen von Voruntersuchungen und für erste Meßreihen wurde ein Modell eines Meßsystems für die Opto-Computertomographie an Aesosolen aufgebaut. Die Anordnung der Strahlungsquellen und Strahlungsempfänger der Meßapparatur dieses Modells ist - wie schon erwähnt - in Bild 3 dargestellt. Die Abmessungen des quadratischen Meßgebietes dieser Meßapparatur betragen 26 cm x 26 cm. Weil die in der Apparatur verwandten opto-elektronischen Bauelemente (IR-Photodioden und IR-Emitter) einen Abstrahl- bzw. einen Empfangswinkel von 140° aufweisen, ergab sich eine einfache und wenig aufwendige Konstruktion der Meßapparatur.

In einer Reihe von praktischen Versuchen mit diesem Modell-Meßsystem und zusätzlichen Simulationsrechnungen konnte die Anwendbarkeit nachgewiesen und die grundsätzlichen Eigenschaften des Meßverfahrens herausgearbeitet werden.

Zur Vermeidung von erheblichen Meßfehlern durch Vorwärtsstreuung und vor allem für Messungen in größeren Meßgebieten, z.B. in einem Brandversuchsraum, war es erforderlich, die von den Meßmodulen emittierte bzw. empfangene Strahlung zu fokussieren. Mittels einer geeigneten Optik konnten Abstrahl- bzw. Empfangswinkel von etwa 10° erreicht werden. Bild 5 zeigt in einer schematischen Darstellung die verbesserte Meßapparatur für Anwendungen in Meßgebieten mit Abmessungen von 1 m^2 bis 100 m^2 .

Der prinzipielle Aufbau der Meßmodule dieser verbesserten Meßapparatur ist in den Bildern 6 und 7 dargestellt. In Bild 6 ist das Strahlungsquellenmodul skizziert. Dieses weist in einer halbkreisförmigen Anordnung 17 IR-Strahlung emittierende Dioden auf, die Strahlung der Wellenlänge 950 nm emittieren. In diese Dioden sind Linsen integriert, die den Abstrahlwinkel auf 10° begrenzen. Über einen elektronisch steuerbaren Schalter kann jede dieser Dioden auf eine Konstantstromquelle der Stromstärke 0,7 A geschaltet werden. Zusätzlich werden diese Dioden mit Hilfe einer Modulationseinrichtung mit einer Taktfrequenz von 100 kHz betrie-

ben.

Durch die Umschaltmöglichkeit der Dioden ist praktisch eine elektronisch steuerbare Abstrahlcharakteristik der Strahlungsquellenmodule in einem Winkelbereich von 170° gegeben. Die Module weisen eine maximale Strahlstärke von $0,25 \text{ W/sr}$ auf.

Der Empfänger für die modulierte IR-Strahlung ist vergleichbar einer Kleinbildkamera aufgebaut. Er ist mittels eines Weitwinkelobjektivs in der Lage, IR-Strahlung aus einem Winkelbereich von 140° zu empfangen. In der Bildebene dieser Module ist anstelle eines Filmes eine Photodiodenzeile, bestehend aus 20 Elementen angebracht. Zur Absenkung der Störemfindlichkeit befindet sich zwischen Objektiv und Diodenarray ein IR-Filter. Jede der Photodioden kann einzeln angewählt werden. Nach Vorverstärkung und einer Bandpaßfilterung (100 kHz Mittenfrequenz, Bandbreite 30 kHz) kann das so aufbereitete Signal auf einen analogen Ausgang geschaltet werden, der die Verbindung zu einem Demodulator und dem Digitalvoltmeter herstellt.

Alle Strahlungsquellen und Empfängermodule sind über Flachbandkabel miteinander verbunden. Über dieses Kabel werden Signale zur digitalen Ansteuerung der Module und ihrer Elemente sowie die Leitungen für die Energieversorgung geführt. Eine Haltevorrichtung dient neben der Befestigung aller Module auf einem Rahmen aus Vierkantrohr zur optimalen Ausrichtung der Module aufeinander.

Eine vereinfachte Darstellung des Meßsystems ist in Bild 8 abgebildet. Alle Module sind über einen digitalen Bus miteinander und mit einem Rechnerinterface verbunden. Darüberhinaus sind alle Empfangsmodule über ein geschirmtes Kabel mit dem nicht abgebildeten Demodulator und dem schnellen Digitalvoltmeter verbunden. Das Digitalvoltmeter und alle Module können in ihrer Funktion über einen zentralen Rechner LSI 11/23 gesteuert werden. Dieser legt unter Berücksichtigung der erforderlichen Umschaltzeiten der Meßmodule und der gewählten Meßzeit des Digital-

voltmeters den Ablauf der Messungen fest. Dieser Ablauf ist so gestaltet, daß die Erfassung der Extinktionsmeßdaten für alle Meßwege zeitlich nacheinander erfolgen.

Die Meßzeit des integrierenden Digitalvoltmeters beträgt 0,38 ms und die Zeitspanne zur Umwandlung des Eingangssignales in ein 18 bit-Digitalwort 1,2 ms. Insgesamt sind damit rund 3 Meßzyklen pro Sekunde möglich, wobei jeder Meßzyklus je nach Anordnung der Module aus 200 bis 250 Einzelmessungen besteht.

Alle Daten eines Meßzyklus werden vom Rechner zunächst in einen Speicher abgelegt. Die über mehrere Meßzyklen gemittelten Daten werden dann der Auswertung zugeführt. Diese Auswertung vollzieht sich unter Mitwirkung einer speziellen Recheneinheit, die den sehr rechenintensiven Auswertalgorithmus abarbeitet.

Schrittweise soll die Leistungsfähigkeit dieser Recheneinheit so gesteigert werden, daß die Auswertung eines Datensatzes, der ja der zeitlichen Mittelung über mehrere Meßzyklen entspricht, nicht mehr als 1 s dauert. Auf diese Weise wird es in Kürze möglich sein, mit einer nur geringen zeitlichen Verzögerung, eine sofortige Abbildung des örtlichen Verlaufes des Extinktionsmoduls in einer Meßebeine zu erhalten.

Die mit dem beschriebenen Meßsystem ermittelten Rauchdichteverteilungen können zur späteren Auswertung auf ein Speichermedium abgelegt oder unmittelbar nach ihrer Berechnung auf einem Farbmonitor dargestellt werden.

Wesentliche Eigenschaften des Meßverfahrens

Aus vielen praktischen Versuchen mit dem Modell-Meßsystem aber auch aus den Simulationsrechnungen ergeben sich folgende wesentliche Eigenschaften des Meßverfahrens:

a) Die Ortsauflösung des Meßverfahrens hängt vom betrachteten Ort im Meßgebiet ab. Bei Untersuchungen auf der Basis der im Modell-Meßsystem verwandten Anordnung der Meßmodule ergab sich eine Ortsauflösung zwischen 3,1 % und 4,5 % der Seitenlänge des Meßgebietes.

b) Die oben genannten Werte gelten aber exakt nur für kleine punktförmige Rauchdichtestrukturen, also z.B. für kleinere Rauchwolken oder für die vom Brandherd aufsteigende Rauchsäule. Im allgemeinen hängt die Ortsauflösung vom vorliegenden örtlichen Verlauf der Rauchdichte ab. Wegen der komplizierten, teilweise nichtlinearen Zusammenhänge zwischen Meßwerten und örtlichen Rauchdichtewerten konnten nur durch Simulationen spezifische Aussagen über die diesbezüglichen Eigenschaften des Verfahrens getroffen werden.

Für diese Simulationen wurden Rauchdichte-Testfunktionen vorgegeben, von denen angenommen werden konnte, diese auch in den verschiedenen Stadien realer Brandversuche beobachten zu können. Bei den Simulationen anhand von 4 Testfunktionen ergaben sich mittlere quadratische Abweichungen zwischen 0,4 % und 3,5 % beim Vergleich der Testfunktionen und der rekonstruierten Rauchdichteverteilungen. Auch diese Daten beziehen sich wiederum auf die Anordnung der Meßmodule des Modell-Meßsystems.

c) Bei Simulationen mit anderen Testfunktionen (z.B. konzentrischen Rauchringen) zeigte sich, daß die im Modell-Meßsystem vorhandene Anordnung verbessert werden sollte. Insbesondere in zwei Eckbereichen des Meßgebietes erwies sich die Ortsauflösung als besonders richtungsabhängig. Mit anderen Anordnungen können aber erhebliche Verbesserungen erzielt werden /8/. Zur Zeit laufende Arbeiten dienen u.a. dazu, für auch nicht quadratische Meßgebiete bei vorgegebener Ortsauflösung die minimale Anzahl und eine optimale Anordnung der Meßmodule am Rande des Meßgebietes zu bestimmen. Ziel ist dabei, eine möglichst gleichmäßige und möglichst richtungsunabhängige Ortsauflösung zu erhalten.

d) Das Auswerteverfahren ist recht unempfindlich gegenüber Fehlern in den Meßdaten. Nur bei Meßdaten mit maximalen relativen Fehlern von mehr als 2 % treten im Vergleich zu fehlerfreien Daten erkennbare Unterschiede der rekonstruierten Rauchdichteverteilungen auf. Auch die praktischen Versuche mit dem Modell-Meßsystem konnten diese günstige Eigenschaft bestätigen. Aufgrund ihrer einfachen Konstruktion betragen die Meßfehler hier bis zu 50 %. Dennoch ergaben die durchgeführten Meßreihen in der Regel sehr formgetreue Abbildungen der tatsächlich vorliegenden Dichteverteilungen.

Zusammenfassung

Das beschriebene opto-computertomographische Verfahren ermöglicht, mit vergleichsweise geringen Aufwand eine außerordentlich hohe Auflösung der Feinstruktur einer Rauchdichteverteilung in einer Meßebeane zu erhalten. Das Meßverfahren wertet dazu die Daten mehrfacher, über das gesamte Meßgebiet verteilter Extinktionsmessungen aus, um den Verlauf des Extinktionsmoduls in einer Meßebeane zu schätzen. Diese Extinktionsmessungen werden im nahen Infrarot-Wellenlängenbereich vorgenommen.

Die Anwendung dieses Verfahrens ist mittels eines in den Ausführungen beschriebenen Meßsystemes möglich, welches bei Auswertezykluszeiten im Sekundenbereich zum Echtzeitbetrieb fähig ist. Das Meßsystem ist geeignet, Messungen auch in größeren Räumen zu erlauben.

Literatur

- /1/ Stuck, B.W. A New Proposal for Estimating the
Spatial Concentration of Certain Types
of Air Pollutants

Journal of the Optical Society of
America 67 (1977) 5, S.668-678
- /2/ Byer, R.L. Two-dimensional Remote Air-pollution
Shepp, L.A. Monitoring via Tomography

Optics Letters 4 (1979) 3, S. 75-77
- /3/ Santoro, R.J. Optical Tomography for Flow Field
Semerjian, H.G. Diagnostics
Emmerman, P.J.
Goulard, R. International Journal Heat Mass
Transfer 24 (1981) 7, S. 1139-1150
- /4/ Gordon, R. Algebraic Reconstruction Techniques
Bender, R. (ART) for Three-Dimensional Electron
Herman, G.T. Microscopy and X-Ray Photography

Journal of Theoretical Biology 29
(1970), S. 471-481
- /5/ Gordon, R. A Tutorial on ART

IEEE Transactions on Nuclear Science
NS-21 (1974), S. 78-93

Vorträge

/6/ Willms, I.

A Measurement Procedure for the
Acquisition of Spatial inhomogeneous
Aerosol Concentration

Annual Conference of the Association
for Aerosol Research - Aerosols in
Science, Medicine and Technology
23.9. - 25.9.1981, Duisburg

/7/ Willms, I.

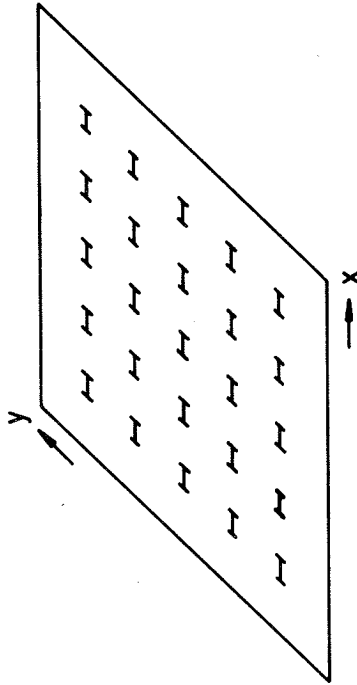
Ein computerunterstütztes Verfahren
zur Rekonstruktion von Dichte-
funktionen anhand von Mehrfach-
-Linienintegralmeßwerten

4. Aachener Kolloquium "Theorie und
Anwendung der Signalverarbeitung"
30.9 - 2.10.1981, Aachen

/8/ Willms, I.

Computer Tomographical Method
Applied to Aerosol Measurement
Techniques

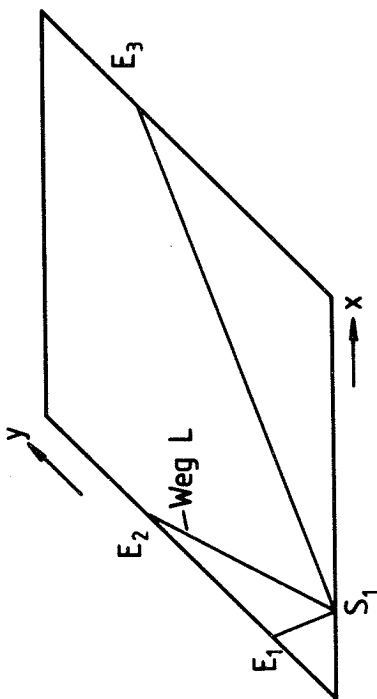
1. Annual Conference of the American
Association for Aerosol Research
17.2 - 19.2.1982, Santa Monica



Wi
1982

Bild 1 : Punktmessungen in einer Meßebene mit
Extinktionsmeßgeräten

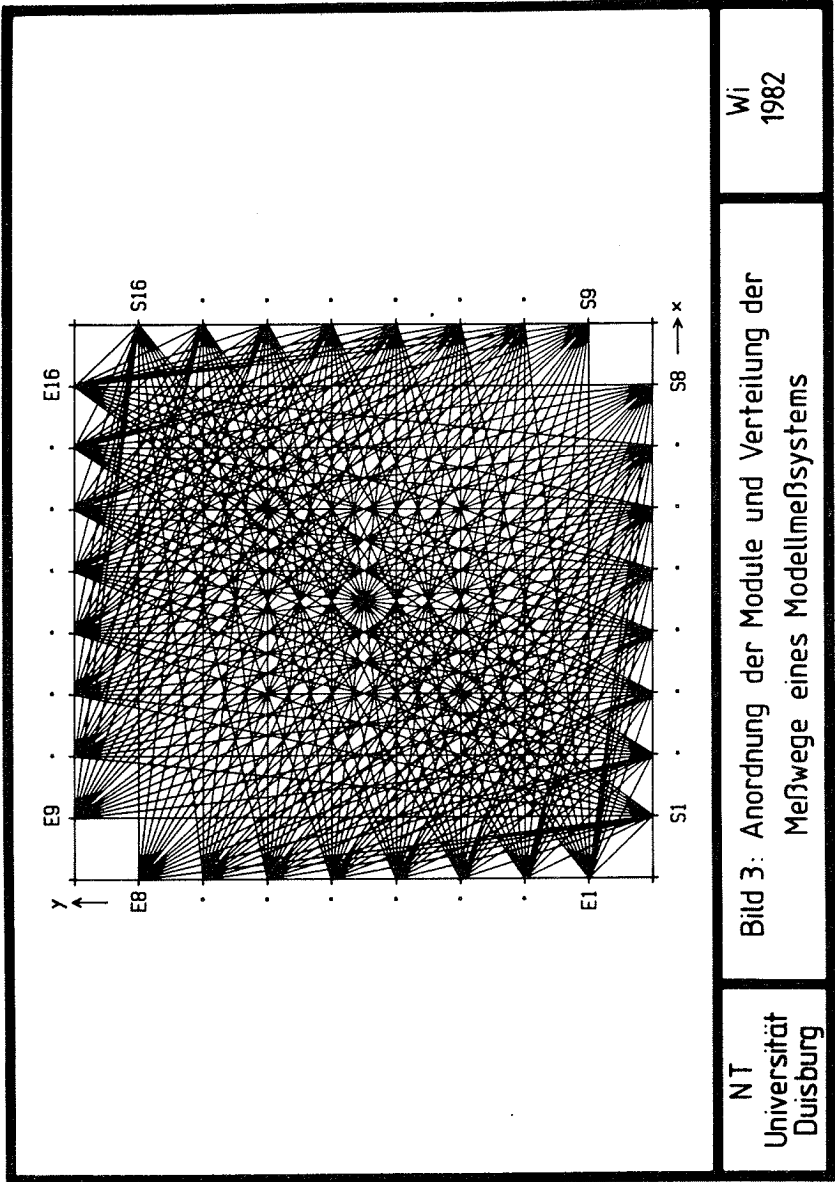
NT
Universität
Duisburg



Wi
1982

Bild 2: Mehrfache Extinktionsmessungen
in einer Meßebeine

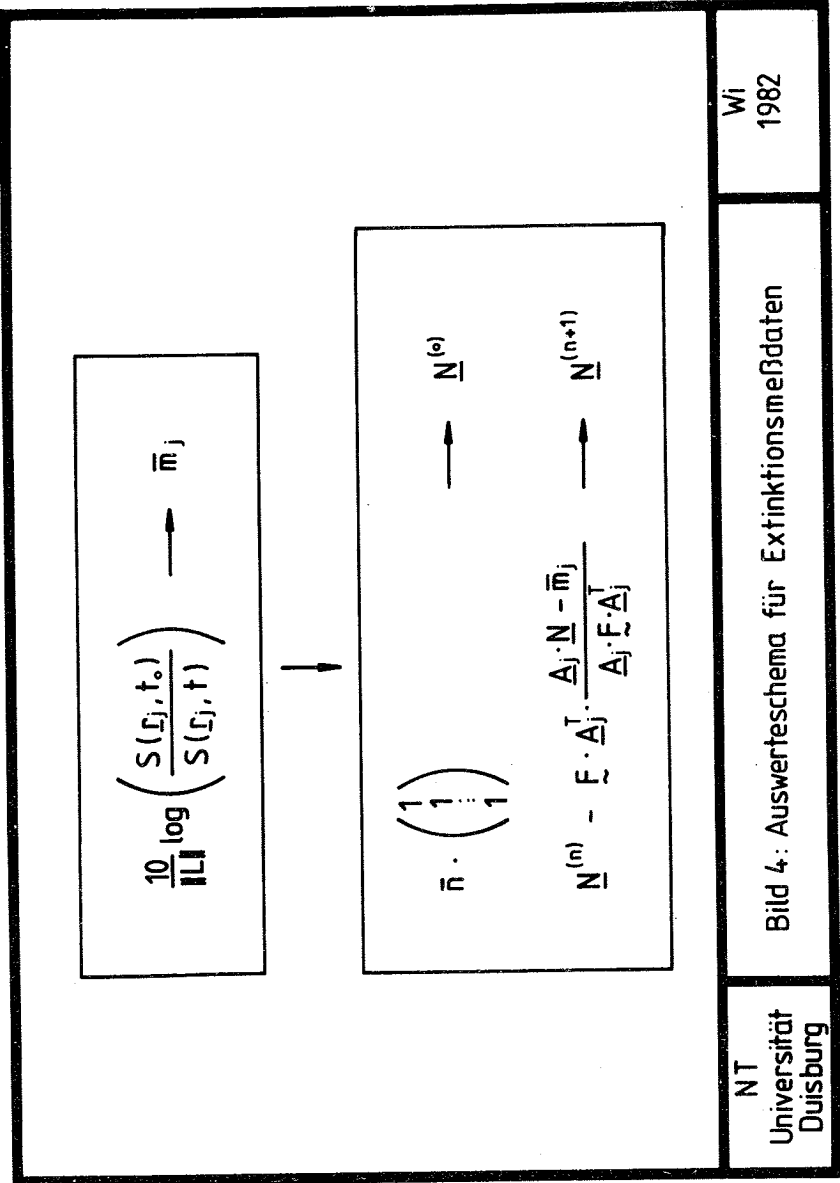
NT
Universität
Duisburg



Wi
1982

Bild 3: Anordnung der Module und Verteilung der
Mefßwege eines Modellmeßsystems

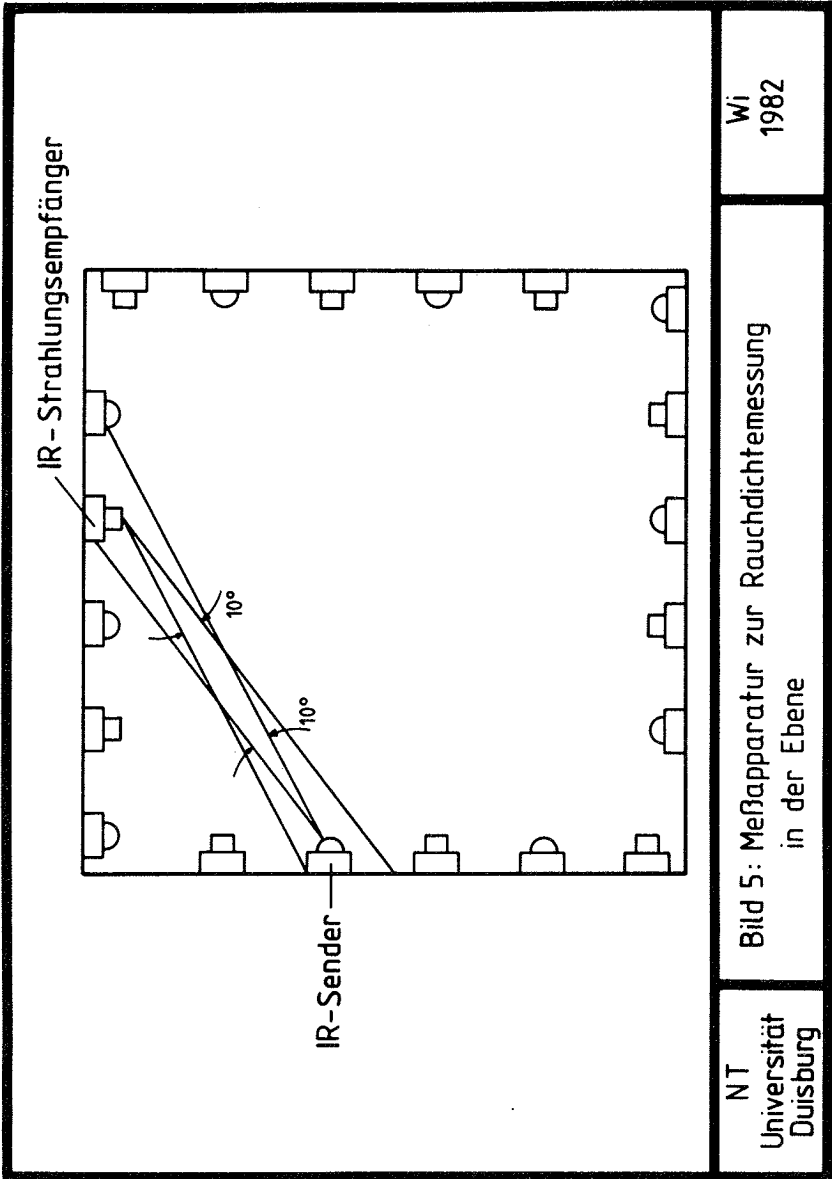
NT
Universität
Duisburg



Wi
1982

Bild 4: Auswerteschema für Extinktionsmeßdaten

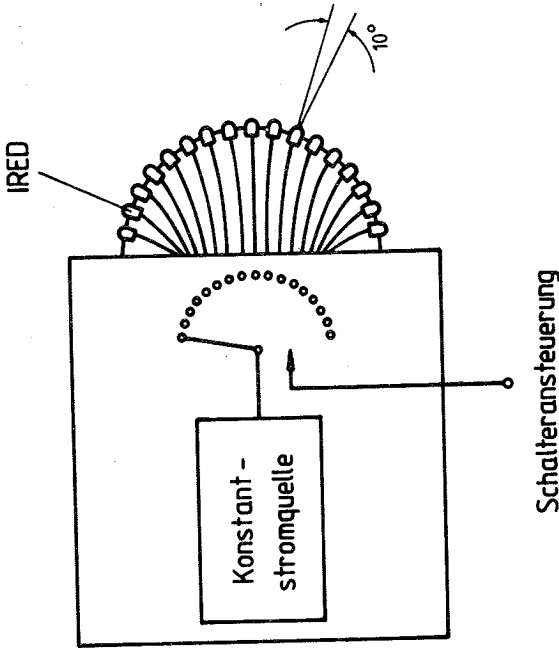
NT
Universität
Duisburg



Wi
1982

Bild 5: Meßapparatur zur Rauchdichtemessung
in der Ebene

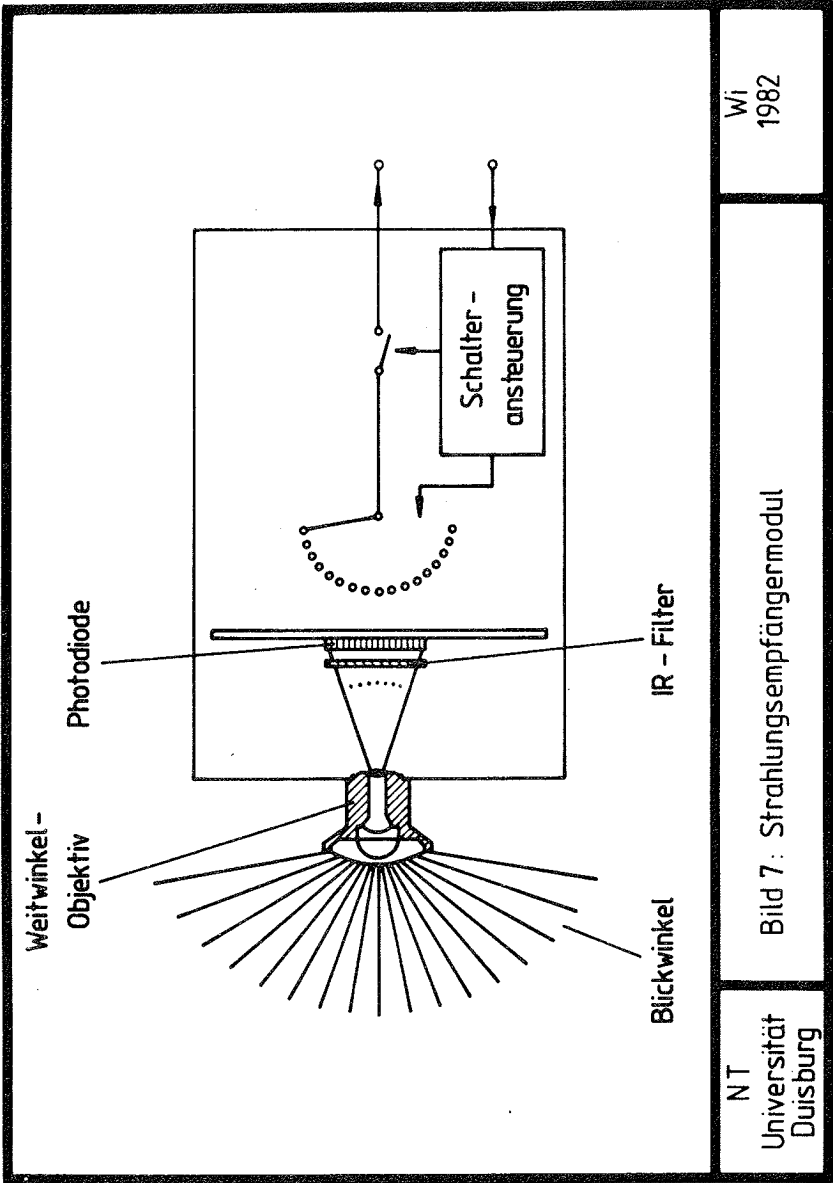
NT
Universität
Duisburg



Wi
1982

Bild 6: Strahlungsquellenmodul

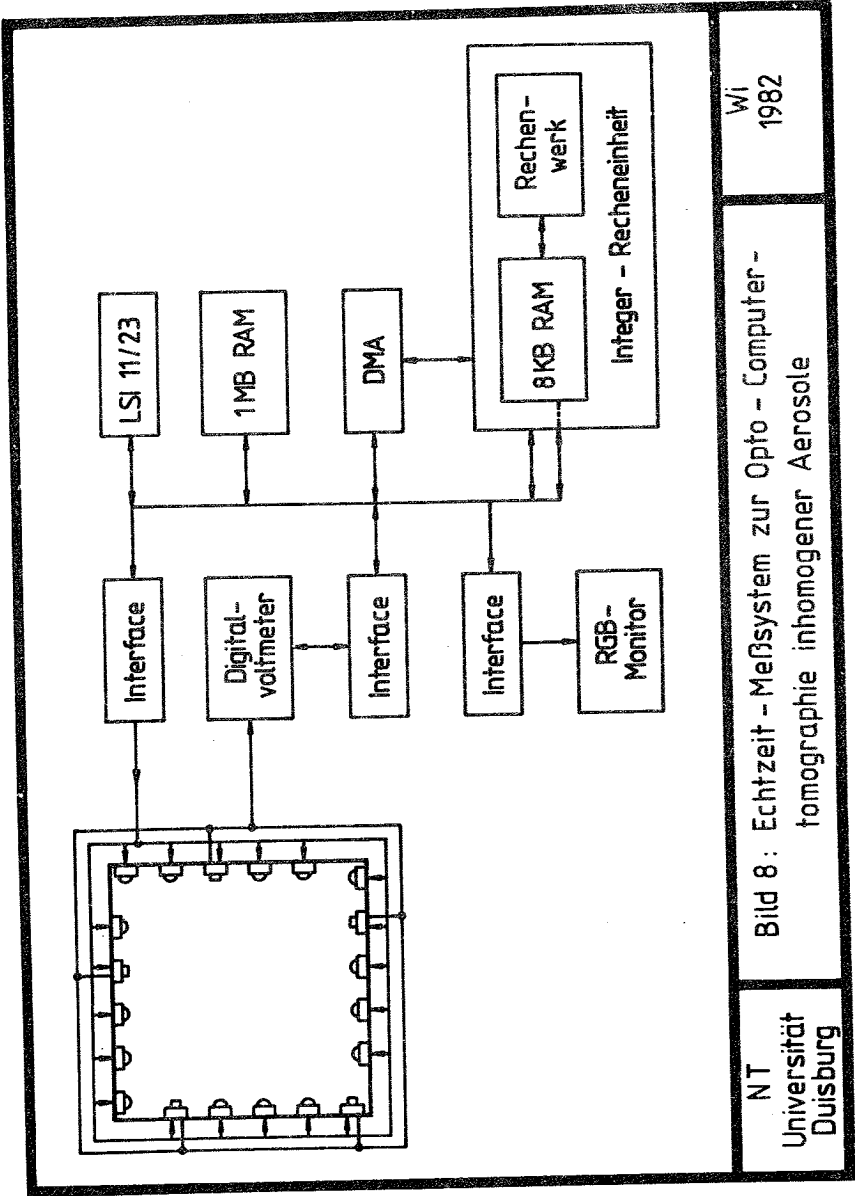
NT
Universität
Duisburg



Wi
1982

Bild 7: Strahlungsempfängermodul

NT
Universität
Duisburg



Wi
1982

Bild 8: Echtzeit - Meßsystem zur Opto - Computer -
tomographie inhomogener Aerosole

NT
Universität
Duisburg

Andreas Scheidweiler, Diplom-Physiker, Dr. rer. nat.
CERBERUS AG, Männedorf, Schweiz

Verteilung der Intelligenz in zukünftigen Brandmeldesystemen

In meinem Referat soll von der Verteilung der Intelligenz in Brandmeldesystemen die Rede sein.

Zum besseren Verständnis meiner Ausführungen halte ich es für sinnvoll, zunächst auf den Begriff "Intelligenz" etwas näher einzugehen und den Versuch einer Definition zu unternehmen, wobei ich nicht die Absicht habe, der Vielzahl von Definitionen auf diesem Gebiet noch eine weitere hinzuzufügen. Sie diene lediglich dem Verständnis und soll die Diskussion erleichtern.

Betrachten wir zu diesem Zweck die relevanten Elemente bzw. Faktoren eines Brandmeldesystems gegliedert nach (Fig. 1):

- Umwelt
- Peripherie I = Brandortperipherie
- Zentrale
- Peripherie II = Massnahmenperipherie

Die auf die Peripherie I einwirkenden Umweltfaktoren können sein:

- Echte Brandkenngrossen
- Täuschungsgrossen, d.h. brandsimulierende Faktoren
- Elektromagnetische Störungen
- Klimafaktoren etc.

Die Peripherie I übermittelt Informationen an die Zentrale, welche Befehle an die Peripherie II weiterleitet. Diese Befehle beinhalten im wesentlichen die Einleitung konkreter Massnahmen.

Unter der Intelligenz eines Brandmeldesystems verstehe ich nun seine Fähigkeit, Umwelteinflüsse und deren Auswirkungen beurteilen zu können, Entscheide zu treffen und Massnahmen einzuleiten.

Die Beurteilung der Umwelteinflüsse erfolgt aufgrund vorliegender Informationen über

- Echte Brandkenngrossen
- Täuschungsgrossen
- Störfaktoren

Denjenigen Teil der Informationsverarbeitung, d.h. Aufnahme von Signalen aus der Umwelt, deren Auswertung bis zum Entscheid auf Vorliegen eines Brandereignisses, möchte ich als Brandentdeckungszintelligenz bezeichnen.

Die Fähigkeit, die richtigen Massnahmen zu treffen, d.h. im Bereich der zweiten Peripherie, nenne ich einmal "Massnahmenintelligenz".

Hierbei geht es darum, ausgehend von einmal getroffenen Entscheiden, Befehle auszugeben, welche der Primäraufgabe eines jeden Brandmeldesystems dienen, nämlich dem Schutz von Menschen und Sachwerten.

Die Richtigkeit der eingeleiteten Massnahmen hängt dabei von der Richtigkeit der vorher getroffenen Entscheide ab und deren Richtigkeit wiederum von der Zuverlässigkeit der zuvor erfolgten Signalverarbeitung und so fort, bis zum Fühlerelement.

Hieraus folgt zwangsläufig, dass der Ueberwachung der Funktionstüchtigkeit bestimmter Funktionsblöcke eines Brandmeldesystems eine hohe, wenn nicht entscheidende Bedeutung zukommt.

Es scheint mir daher durchaus berechtigt, in diesem Zusammenhang von einer Kontroll- bzw. Ueberwachungszintelligenz zu reden, unter der man die Fähigkeit eines Systems versteht, die Funktionstüchtigkeit eines Brandmeldesystems zu beurteilen und Ausfälle bzw. Abweichungen zu melden.

Allerdings sollte man m.E. der Meinung entschieden entgegenzutreten, dass durch erhöhte Ueberwachung Abstriche an der Zuverlässigkeit der Bauelemente oder des Materials in Kauf genommen werden könnten. Hier sollte man dem Grundsatz folgen: "Ueberwachung ist keine Alternative zur Qualität".

Wenn in letzter Zeit so viel von intelligenten Meldesystemen die Rede ist, so ist einer der Gründe sicher, dass man hohe Erwartungen knüpft an die Vermeidung von Fehlalarmen.

Nun kann man sich fragen, welche der drei genannten Intelligenzbereiche tragen zur Fehlalarmreduktion bei?

Die Massnahmenintelligenz wohl kaum.

Die Kontrollintelligenz kann Fehlalarme vermeiden helfen, indem sie z.B. das Wegdriften von Schwellen und Ruhewerten etc. in Richtung "Alarm" rechtzeitig meldet oder kompensiert. Was die Kontrollintelligenz aber sicher nicht kann, ist zwischen echten Brandkenngrössen und brandsimulierenden Einflussfaktoren

zu unterscheiden. Dies ist lediglich durch erhöhte Aufwendungen im Bereich der Brandentdeckungsintelligenz möglich.

Ein Grossteil der Fehlalarme ist nachweislich auf Täuschungsgrössen zurückzuführen. Hinzu kommt, dass der verstärkte Trend in Richtung Frühwarnung, d.h. höhere Empfindlichkeit, die Melder noch anfälliger gegenüber Täuschungsgrössen werden lässt.

Diese Erkenntnis ist keineswegs neu. Wird doch seit Jahren bereits nach Möglichkeiten der intelligenteren Signalverarbeitung gesucht und an entsprechenden Projekten gearbeitet.

Allerdings waren der Realisierung aus technologischen Gründen gewisse Grenzen gesetzt. Durch die Entwicklung der Mikroprozessoren sind aber jetzt neue Wege möglich und werden bereits beschritten.

Verständlicherweise ist z.Z. geradezu eine Euphorie deutlich spürbar, wie jedesmal, wenn bahnbrechende Erfindungen gemacht wurden. Allerdings haben sich auch bereits die ersten Probleme eingestellt, was unter anderem der Grund war, meine Ausführungen zum Thema "Intelligenz von Brandmeldesystemen" auf den Problemkreis Brandentdeckungsintelligenz zu konzentrieren.

Unter Verteilung von Intelligenz in Brandmeldesystemen verstehe ich daher nicht die Aufteilung auf die drei genannten Bereiche, sondern eine Verteilung von Intelligenzfunktionen auf verschiedene Hardwarekomponenten.

Die heutige Situation, d.h. der Stand der Technik von Brandmeldesystemen ist dadurch gekennzeichnet, dass in der überwiegenden Mehrheit die Entscheidungsintelligenz in die Peripherie, d.h. an den potentiellen Brandort verlagert ist. Die Bezeichnung Melder oder Detektor ist daher berechtigt. In einer mechanischen Einheit erfolgt sowohl die Umwandlung der Brandkenngrösse in ein elektrisches Signal sowie dessen Verarbeitung. Das verarbeitete Signal kann als quantitatives Mass für die Gefahr betrachtet werden. Das Ueberschreiten einer bestimmten, vorgegebenen Grösse bewirkt eine sprunghafte Aenderung des elektrischen Zustandes. Dieser Zustand wird von der Zentrale erkannt und in der Regel als Alarmmeldung weitergeleitet (Fig. 2).

An dieser grundsätzlichen Aufgabe eines Brandmelders ändert sich auch nichts, wenn noch Ueberwachungskreise vorhanden sind, welche die Funktionstüchtigkeit kontrollieren und durch eine andere vom Alarm unterscheidbare Zustandsänderung eine Störungsmeldung in der Zentrale auslösen. Massgebend ist, dass die Entscheidungen am Brandort getroffen werden.

Da die Zentrale die Richtigkeit des Entscheids in der Regel nicht mehr überprüft, liegt die Verantwortung für diesen Teil der Meldekette eindeutig beim Melder. Er vereinigt in sich praktisch die gesamte Detektionsintelligenz. Er bestimmt die Empfindlichkeit in Bezug auf echte Brandkenngrossen als auch in Bezug auf Täuschungsgrossen.

Die Anforderungen an die Intelligenz eines Brandmelders, d.h. an seine Fähigkeit echte von unechten Einflussgrössen unterscheiden zu können, sind nun unterschiedlich hoch.

Entscheidend ist, ob und inwieweit die physikalische Grösse auf die er empfindlich reagiert auch unter normalen Bedingungen vorhanden ist oder nicht, d.h. wie gross der Signal- zu Rauschabstand ist. Dies soll an folgendem Beispiel erläutert werden.

Die meisten der heute verwendeten Brandmelder sind Schwellwertdetektoren, welche bei Ueberschreiten eines Maximalwertes Alarm auslösen. Bei Wärmemeldern mit Auslösetemperaturen von ca. 60°C werden an die Intelligenz keine hohen Anforderungen gestellt, solange sie unter Umgebungsbedingungen eingesetzt werden, unter denen sich auch Menschen aufhalten. Dagegen werden unter den gleichen Bedingungen an Rauchmelder bedeutend höhere Anforderungen in Bezug auf Erkennungsintelligenz gestellt, da die Brandkenngrosse Rauch, d.h. Aerosol, schon allein durch die Tatsache dass es Raucher gibt, häufig auftritt.

Der Wunsch, die Intelligenz der Detektoren zu erhöhen um Falschmeldungen zu vermeiden, hat nun zwangsläufig dazu geführt, dass der elektronische Aufwand im Melder immer mehr anstieg. Zwar hat die Entwicklung neuer Technologien auf dem Gebiet der Mikroelektronik neue Wege geöffnet und Möglichkeiten erschlossen; dennoch darf man sagen, dass gewisse Grenzen erreicht sind. Ein immer grösserer Teil der elektronischen Funktionen wird zu Ueberwachungszwecken gebraucht. Es darf auch nicht übersehen werden, dass die Melder ihren Dienst oft unter erschwerten Umweltbedingungen verrichten müssen, was an die technische Zuverlässigkeit der Komponenten höchste Anforderungen stellt.

Es ist daher verständlich, wenn schon seit geraumer Zeit Entwicklungen laufen und auch bereits Systeme auf dem Markt sind, bei denen der Entscheidungsprozess vom Melder in die Zentrale verlegt wird. Dieser Trend war zu erwarten und wurde vor allem durch die Entwicklung des Mikroprozessors gefördert.

Ein solches System ist im Prinzip dadurch gekennzeichnet, dass sich am Brandort nur das Fühlerelement, der Wandler, die Signalverarbeitung und die Uebertragungselektronik befinden. Der der Brandkenngrosse analoge Messwert wird zur Zentrale übertragen und dort ausgewertet. Allen solchen Systemen gemeinsam ist die Adressierbarkeit der Peripherieeinheiten.

Wie Sie bemerken, verwende ich den Begriff Detektor oder Melder nicht mehr. Für diese Peripherieeinheiten muss ein anderer Name gefunden werden. Ohne irgend etwas präjudizieren zu wollen, schlage ich vor, zumindest für das bessere Verständnis dieses Referates den Begriff Sensor zu verwenden (Fig. 3).

Der Sensor überträgt also Messwerte und evtl. Daten über seinen Zustand zur Zentrale. Die Herkunft dieser Information muss bekannt sein, da sonst keine spezifische Auswertung vorgenommen werden kann. Daher müssen die Sensoren eine Adresse haben. Es sind auch Systeme bekannt, welche adressierbare Melder enthalten. Hierbei handelt es sich jedoch mehr um Techniken, welche eine präzisere Brandorterkennung zum Ziel haben und nicht eine Erhöhung der Entdeckungsintelligenz. Allenfalls kann eine Verknüpfung verschiedener Melder untereinander diesem Zweck dienen.

Die Idee, die Intelligenz vollkommen in die Zentrale zu verlagern und am Brandort nur noch einen Messkopf zu installieren, ist auf den ersten Blick faszinierend und hat vor allem seine Anziehungskraft für Computer- und Software-Ingenieure. Es stimmt natürlich, dass in der Computerzentrale ein grosses Datenverarbeitungspotential zur Verfügung steht, um die Frage Brand ja oder nein zu beantworten. Die folgenden Ueberlegungen sollen jedoch zeigen, mit welchen neuen Problemen man bei dieser Technologie zu rechnen hat, ohne im mindesten die Euphorie dämpfen zu wollen.

Hinter der Zielsetzung die Brandentdeckungsintelligenz zu erhöhen steht wohl der primäre Wunsch, die Zahl der Falschmeldungen zu reduzieren.

In diesem Zusammenhang sind wohl einige Fragen erlaubt:

- Sind denn die heutigen Detektoren so schlecht oder so dumm?
- Was verspricht man sich von der Verlagerung der Intelligenz in die Zentrale?
- Was kostet das?

Die erste Frage lässt sich wohl so beantworten, dass in einer grossen Zahl von Anwendungsfällen die Intelligenz der heutigen Detektoren ausreicht. Probleme traten jedoch auf bei denjenigen Anlagen, wo entweder das Risiko sehr

hoch ist, oder störende brandsimulierende Faktoren auftreten.

Zu der anderen Frage lässt sich sagen:

Hier werden zunächst einmal hohe Erwartungen in die Zukunft gesetzt, vor allem in wirtschaftlicher Beziehung. Man hofft, dass die Mikroelektronik es ermöglicht, den Preis der Sensoren niedrig zu halten. Allerdings ergeben sich folgende Probleme:

Die heutigen Detektoren werden im Werk auf gleiche Empfindlichkeit abgeglichen. Sie sind einfach im Feld austauschbar, da sie bezüglich der Zentrale elektrisch kompatibel sind. Die Fabrikationstoleranzen sind entsprechend ihrer Intelligenz relativ gross, was eine hohe Wirtschaftlichkeit in der Gross-Seriefabrikation erlaubt.

Im Fall der Uebertragung von Analogwerten müssen höhere Anforderungen an den Abgleich gestellt werden, damit die Sensorsignale zumindest für ein und dasselbe Funktionsprinzip mit der gleichen Software ausgewertet werden können. Eine höhere, differenziertere Auswertung verlangt eine genauere Uebereinstimmung der vom Wandler erzeugten Signale, d.h. engere Fabrikationstoleranzen.

In Figur 4 ist das Wandlersignal als Funktion der Brandkenngrosse dargestellt. Die Uebertragungsfunktion streut aus Gründen der Produktionstoleranz mehr oder weniger stark. Da eine Eichung im Feld mit der Brandkenngrosse selbst meist nicht möglich ist, ist der Fehler in der Auswertung durch die Streuung der Uebertragungsfunktionen gegeben. Dieser Fehler kann auch nicht mit noch so hohem Softwareaufwand behoben werden. Man muss daher genauer produzieren.

Ferner ist die Flexibilität in Bezug auf konstruktive Aenderungen bedeutend eingeschränkt, da in der Regel Aenderungen der Fühlergeometrie die Wandlercharakteristik und damit die Uebertragungsfunktionen beeinflussen. Hieraus ergeben sich ebenfalls Softwareanpassungen.

Ein anderes Problem stellt die Tatsache dar, dass für jedes Funktionsprinzip, d.h. Rauch, Temperatur, Flamme etc., eine gesonderte Software zu entwickeln ist. Hieraus folgt, dass neben der Sensoradresse auch die Funktionsart adressiert sein muss.

Wie man sieht, bringt die Verlagerung der Entscheidungskompetenz in die Zentrale eine Reihe Probleme mit sich, die zwar zum Teil durch Software-Massnahmen gelöst werden können, aber durchaus auch aufwand- und kostensteigernde Faktoren enthalten.

Die Auswertung muss also einen echten Intelligenzzuwachs bieten, sonst würde sich der Aufwand nicht lohnen. D.h. Uebertragung der Analogwerte und Schwellwertdetektion in der Zentrale bringt noch keine Erhöhung der Entdeckungsin-telligenz.

Es gibt andere Argumente, welche für solche Systeme sprechen, jedoch liegen sie eher im Bereich der Ueberwachungs- und Kontroll-Intelligenz.

Will man Täuschungsgrössen besser als solche erkennen und dadurch Fehlalarme vermeiden, oder will man bei gleichem Signal- zu Rauschverhältnis die Empfind-lichkeit wesentlich erhöhen, so muss man echte Signalverarbeitung betreiben. Dies setzt jedoch voraus, dass das Analogsignal eindeutig interpretierbar ist und mit hohem Auflösungsvermögen übertragen wird, damit in der Zentrale nach bestimmten Algorithmen ausgewertet werden kann.

Dies stellt jedoch hohe Anforderungen an die Uebertragungstechnik. Es ist ein weit verbreiteter Irrtum wenn man glaubt, die Uebertragungsqualität spiele nicht eine so grosse Rolle, da man ja durch wiederholtes Abfragen jeden belie-bigen Grad an Gewissheit erzielen könne. Das folgende einfache Beispiel soll dies untermauern.

Im Verlauf eines Brandgeschehens sind in der Regel die ersten Sekunden bis Minuten die wichtigsten, d.h. der Entscheid muss in dieser Zeit getroffen werden können. Ein analogwertübertragendes System muss in der Lage sein, in dieser Zeit genügend Information zu übertragen. Es ist sicher nicht zuviel verlangt, wenn von jeder Messstelle pro Sekunde eine Information ausgewertet werden soll. Nimmt man an, dass 10 Informationen für einen Entscheid nötig sind, so ist eine Alarmauslösung frühestens nach 10 Sekunden zu erwarten, was meistens toleriert werden kann. Im Falle von brandsimulierenden Umwelt-faktoren wird jedoch die Auswertung länger dauern.

Voraussetzung ist jedoch, dass die eingehende Information überhaupt auswertbar ist. Fallen immer wieder Informationen aus, wegen mangelhafter Uebertragungs-sicherheit, so kann sich die Alarmauslösung unzulässig in die Länge ziehen. Falsche Signale können zwar mit Sicherheit als solche erkannt werden, verhin-dern jedoch die Signalverarbeitung. Deshalb kommt der Uebertragungstechnik bei analogwertübertragenden Systemen eine sehr hohe Bedeutung zu.

Wenn dies so ist, dann sollte man schon aus wirtschaftlichen Ueberlegungen mit der zu übertragenden Datenfülle sparsam umgehen. D.h. die Frage des Auf-lösungsvermögens spielt eine grosse Rolle.

Was den Rechneraufwand in der Zentrale anbetrifft, so sollte man darauf achten, dass die von den Sensoren ausgehende Informationsflut nicht die erforderliche Speicherkapazität ins Unermessliche steigen lässt.

Da zum Glück ein Brand ein sehr seltenes Ereignis ist, ist der grösste Teil der übertragenen Daten brandschutztechnisch irrelevant, d.h. man wird sie wieder löschen. Es erhebt sich dann jedoch die Frage, warum muss man sie dann überhaupt übertragen? Nur um zu erkennen, dass sie nicht brauchbar sind? Es stellt sich die zentrale Frage dieses Referats. Könnte man die Intelligenz des Systems nicht so verteilen, dass irrelevante Daten im Sensor ausgefiltert und gar nicht erst übertragen werden?

Dies würde jedoch bedeuten, dass man den Sensoren wieder eine gewissen Intelligenz und Entscheidungskompetenz zubilligen müsste.

Ein Beispiel, welches die Vorteile einer solchen Konzeption unterstreicht, ist die Flammendetektion. Figur 5 zeigt das Blockschaltbild eines Infrarot-Flammenmelders. Wie man sieht, enthält der Melder zwei Filter. Eines für das Herausfiltern des Infrarotbereiches und das zweite Filter für den Flackerbereich. Im Falle der Analogwertübertragung ohne Filtercharakteristik würde der Sensor lediglich Lichtintensitäten übertragen und alles weitere müsste in der Zentrale erfolgen. Die Anforderungen an den Übertragungskanal sind jedem Fachmann klar.

Eine Alternative wäre ein Sensor nach dem folgenden Schema (Fig. 6). Der Sensor enthält wiederum die Filter 1 und 2 und überträgt nur den Analogwert, der für die Branderkennung relevant ist.

Ähnliche Beispiele aus dem Bereich der Wärmedetektion und der Rauchdetektion könnten angeführt werden.

Auch im Bereich der Mehrkriteriendetektion könnte ich mir Vorteile vorstellen. Einfache Verknüpfungen oder Operationen könnten durchaus im Sensor vorgenommen werden und nur noch deren Resultat übertragen werden.

Gemeinsam wäre die Eigenschaft solcher Sensoren auf niedriger Intelligenzstufe Vorentscheidungen zu treffen und eine Filterfunktion zu übernehmen. Dies würde die Informationsfülle enorm reduzieren und den Übertragungskanal entlasten.

Neben der Entlastung des Übertragungskanals und einer Reduktion des Aufwandes an Übertragungselektronik würde auch der Speicher- und Rechneraufwand in

der Zentrale reduziert. Dies käme vor allem den kleinen bis mittleren Anlagen zugute. Haben doch statistische Untersuchungen ergeben, dass die häufigste Anlagengrösse bei ca. 30 Meldern liegt.

Bei geschickter Datenaufbereitung sollte es möglich sein, für Klein- und Grossanlagen gleiche Sensoren zu verwenden. Die Signale könnten in einer Kleinzentrale mit geringem Rechneraufwand derart ausgewertet werden, dass ein solches System die Intelligenz heutiger Brandmeldesysteme aufweisen würde. Sie könnten aber auch in einer Computerzentrale mit grossem Aufwand und entsprechendem Ergebnis verarbeitet werden, um die Probleme von Grossanlagen zu lösen.

Voraussetzung ist natürlich, dass im Datenfilter des Sensors keine brandschutzrelevante Information verlorengeht.

Ich bin sicher, dass uns die Frage nach einer sinnvollen Verteilung der Intelligenz eines Brandmeldesystems in Zukunft stark beschäftigen wird. Eine allgemeine Antwort lässt sich nicht geben, da die optimale Lösung von zu vielen objektspezifischen Faktoren abhängt. Eines steht jedoch fest, dass sich mit dem Uebergang vom Detektor zum Sensor eine wichtige und bisher so einfache Schnittstelle im Brandmeldesystem vom potentiellen Brandort in die Zentrale verlagern wird.

Dies berührt vor allem die Kompatibilität Sensor-Zentrale. Das einfache Blockschema eines heutigen Brandmeldesystems, bestehend aus Meldern und Zentralen, wird genauer betrachtet in Zukunft anders aussehen (Fig. 7), d.h. räumlich getrennte Hardware-Gruppen bilden eine funktionelle Einheit.

Was die Prüfung und Anerkennung derartiger Systeme anbetrifft, so wird man noch mehr als bisher nur noch das System als Ganzes beurteilen können. Die Vielfalt von Softwarepaketen wird das Leben der Prüfstellen nicht gerade erleichtern, und es wird eine schwierige Aufgabe für die Normengremien sein, hier eine zufriedenstellende Lösung zu finden. Vielleicht wird man nicht umhinkönnen, die brandschutztechnischen Eigenschaften des Systems im Sinne einer black-box Betrachtung zu testen, indem man das System einer Reihe von echten Brandsituationen als auch Störeinflüssen aussetzt.

Es war das Ziel dieses Referats, darauf aufmerksam zu machen, dass bei gleicher Systemintelligenz u.U. eine Verteilung von Intelligenzfunktionen auf verschiedene Hardwarekomponenten sinnvoll sein kann und zwar umso mehr, je höhere Ansprüche an die Gesamtintelligenz gestellt werden.

Für eine solche Aufteilung können wirtschaftliche Gründe sprechen; seine Berechtigung hat sie jedoch erst, wenn die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems dadurch erhöht oder zumindest nicht geschwächt wird.

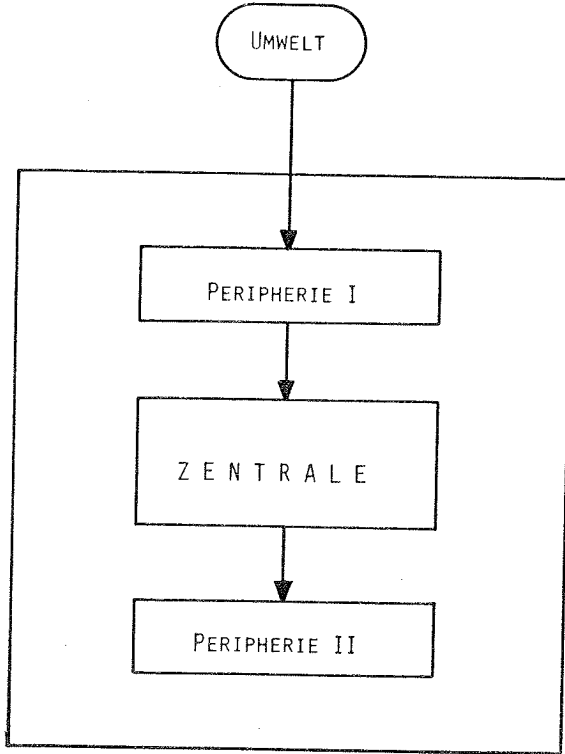


Fig. 1: Schema eines Brandmeldesystems

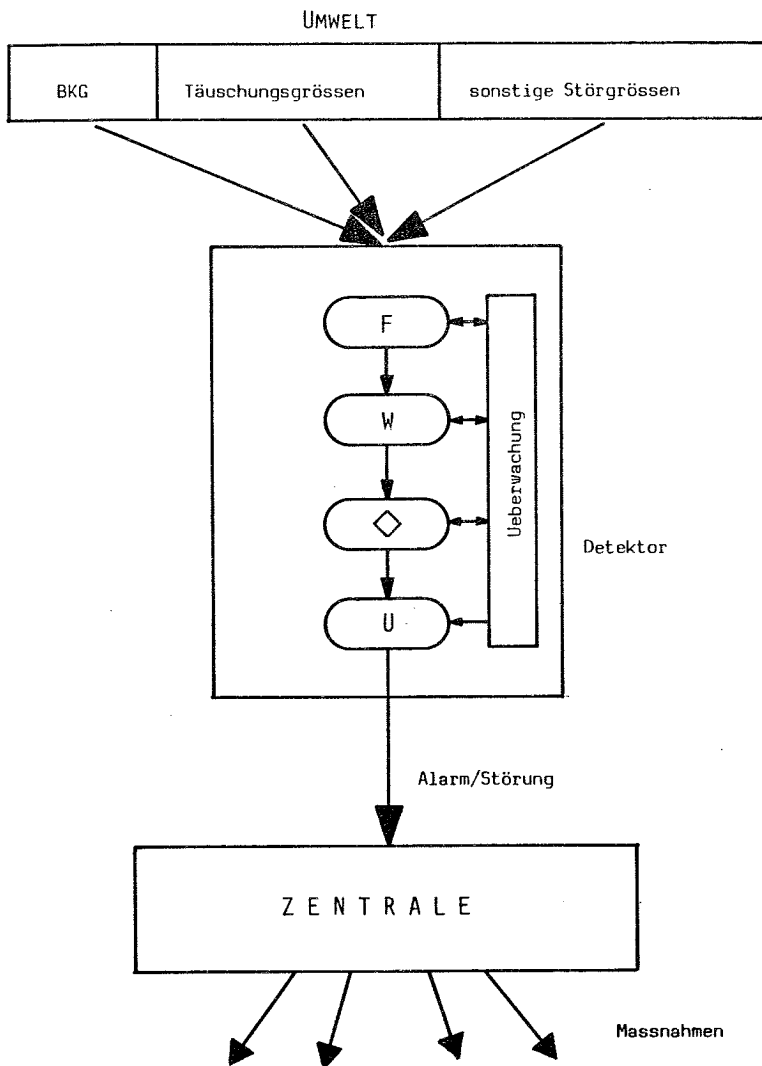


Fig. 2: Schema eines Brand-Detektors

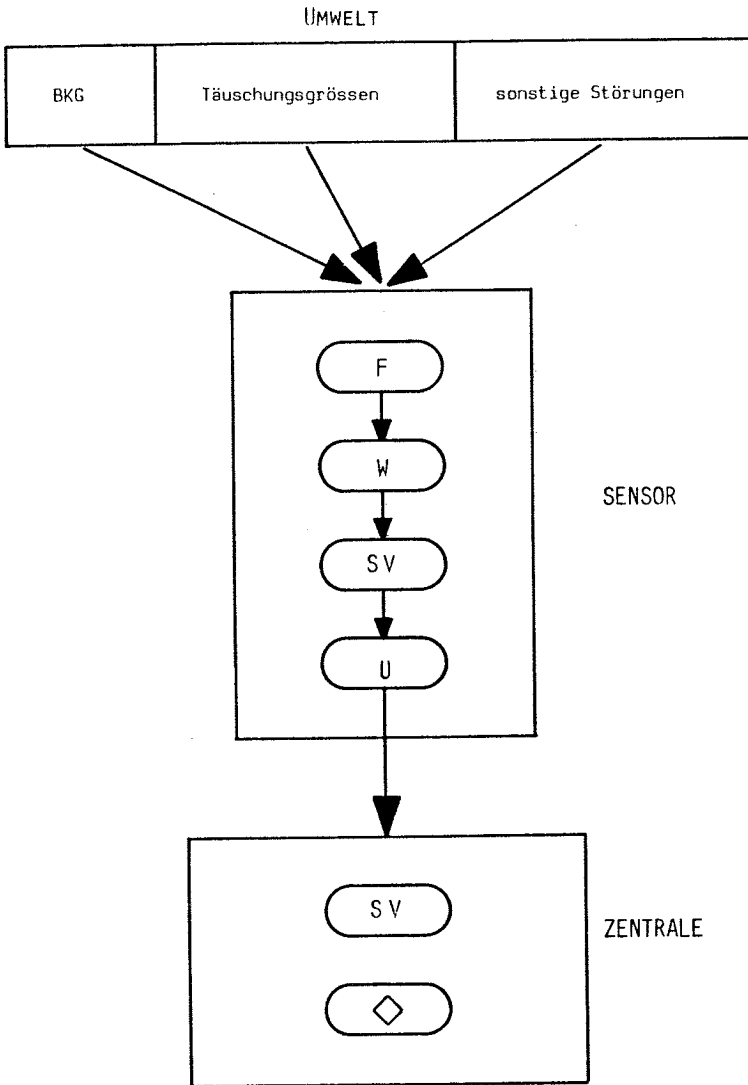


Fig. 3: Schema eines Brand-Sensors

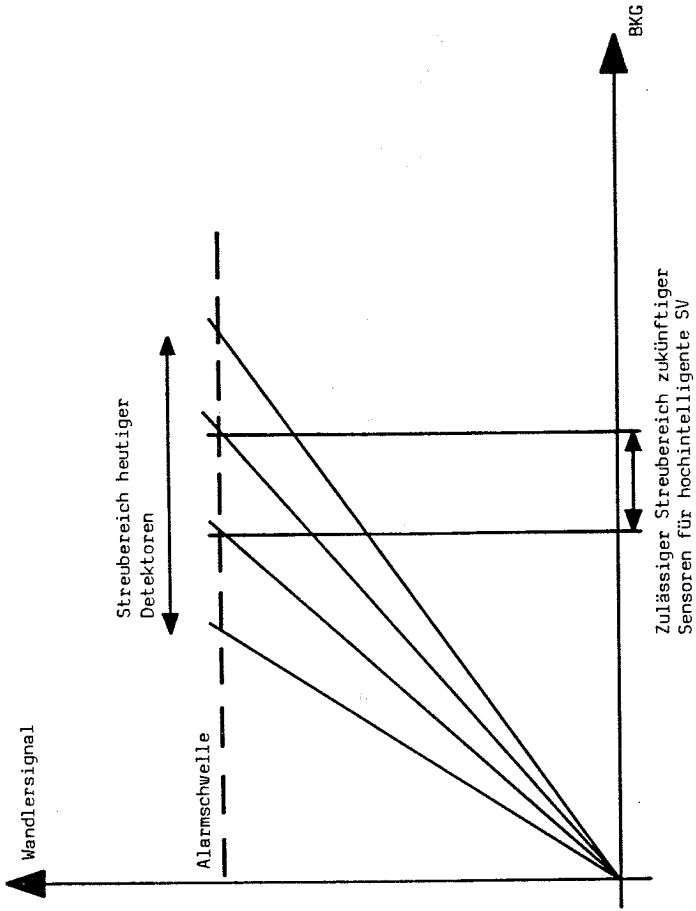


Fig. 4: Anforderungen an Toleranzen zukünftiger Sensoren

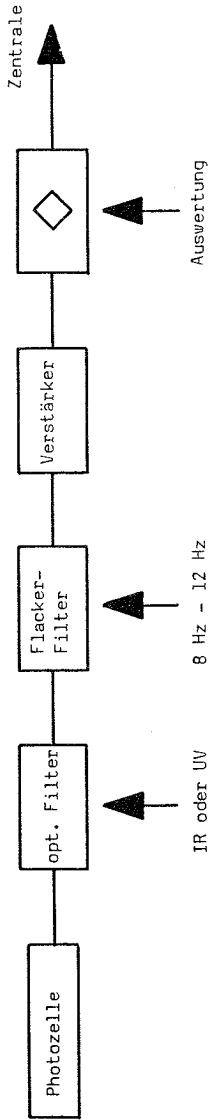


Fig. 5: Schema eines Flammdetektors

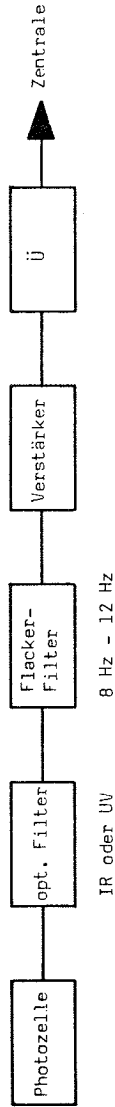
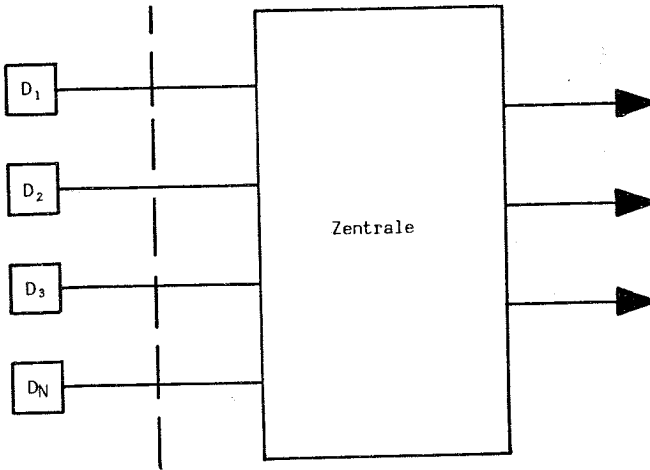
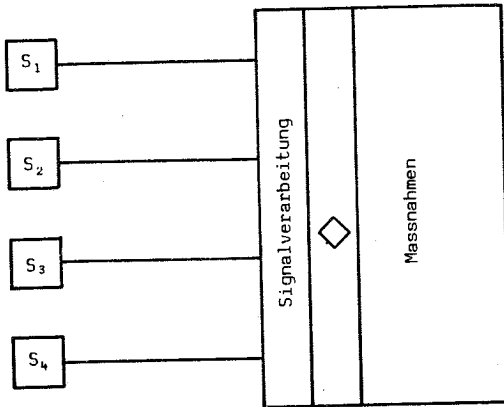


Fig. 6: Schema eines Flammen-Sensors



heutige Schnittstelle



zukünftige Schnittstelle

Fig. 7: Schnittstellen heutiger und zukünftiger Brandmeldesysteme

Dipl.-Ing. R. Krüger

Esser - Sicherheitstechnik GmbH & Co KG, Neuss

Erhöhung der " Intelligenz " von Brandmeldezentralen

Intelligenz in Brandmeldezentralen? Bis vor einigen Jahren waren die logischen Funktionen einer Brandmeldezentrale (BMZ) in ihrer elektronischen Struktur, der " Hardware " festgelegt. Niemand hätte diese Struktur, die aus einigen hundert Transistorfunktionen bestand, als intelligent bezeichnet.

Mit der Entwicklung der Mikroprozessoren und der preiswerten Herstellung hochintegrierter Schaltkreise wurde auch in der Brandmeldetechnik eine neue Qualität der Informationsverarbeitung möglich. Die logischen Funktionen dieser Zentralen werden im wesentlichen durch eine Liste von Anweisungen, dem Programm d.h. der " Software ", festgelegt. Hier entsteht auch der Begriff " Intelligentes System" , obwohl ein solches System besser als kybernetisches oder informationsverarbeitendes zu bezeichnen wäre.

1. Welche Vorteile bieten solche programmgesteuerten Brandmeldezentralen

1.1. Der Wirkungsradius der BM - Zentralen nahm mit der allgemeinen Technisierung zu (1). Die Alarmierung der örtlichen Feuerwehren im Brandfall ist zwar die zentrale Aufgabe, es kamen jedoch weitere hinzu : Ansteuerung von Telefonwählgeräten und externen Alarmgebern, Fluchtleitsysteme für die Evakuierung aus Gebäuden, automatische Löschanlagen, Eingriffe in Aufzugssteuerungen, in Energieverteilungs- und Klimaanlageanlagen, Schließung von Brandabschnittstüren und Bereitstellung von Einsatzinformationen für die Feuerwehren durch sogenannte Einsatzdateien. Bei Großanlagen in öffentlichen Gebäuden und Industriebetrieben sind oft eine große Anzahl von Unterzentralen von übergeordneten Zentralen zu überwachen. Aus diesen Problemstellungen ist der Vorteil programmgesteuerter Mikrocomputerzentralen offensichtlich. Die Anpassung der BMZ an die speziellen Aufgaben ist zum größten Teil durch Erstellung spezieller Programmteile und durch Programmierung kundenspezifischer Daten am Einsatzort möglich. Konventionelle BM - Zentralen waren oft nur mit dem LötKolben und der Entwicklung besonderer Zusatzschaltungen anpaßbar.

1.2. Durch die Konzentration der Elektronik in hochintegrierte, preiswerte und verlustleistungsarme Bauteile läßt sich das Bauvolumen erheblich reduzieren und schafft zumindest bei Großanlagen Kostenvorteile.

1.3. Die Bedienung der Anlage wird durch Eingabetastaturen und alphanumerische Anzeigen erleichtert. Jede Störung und jede Schaltung der Anlage kann über einen

Drucker protokolliert werden.

2. Die Brandmeldezentralen testen sich selbst

2.1. Die Befehlsliste, das Mikrocomputerprogramm, ist in Festwertspeichern (Read Only Memorys) abgelegt und wird innerhalb definierter Zeiten zyklisch abgearbeitet. Die Befehlsliste enthält besondere Überwachungsbefehle (Marken), die den Mikrocomputer veranlassen ein externes zeitabhängiges monostabiles Kippglied rückzustellen. Wird dieses Kippglied nicht rechtzeitig rückgesetzt, dann wird der Mikrocomputer veranlaßt, an einer definierten Stelle des Programms weiterzuarbeiten - ; erfolgt wiederholt kein Rückstellsignal für das Kippglied, dann wird ein Störungssignal ausgegeben.

Eine solche Überwachungsschaltung wird auch als " watch dog " bezeichnet (Abb. 1).

2.2. Ein besonderes Kennzeichen von Mikrocomputer - Zentralen ist die sequentielle Auswertung der Melderlinien. Die Melderlinien werden zyklisch auf nur eine Auswerteelektronik aufgeschaltet und ihr Zustand (Feuer, Störung, Ruhezustand) wird abgefragt. Damit spart man gegenüber konventionellen Anlagen eine große Anzahl Bauelemente ein, weil bei paralleler Abarbeitung für jede Melderlinie eine Auswerteelektronik benötigt wird.

Die Auswerteelektronik ist bei sequentieller Linienauswertung allerdings eine Art " Nadelör ", durch das alle Melderinformationen hindurch müssen, um für den Mikrocomputer verfügbar zu sein. Eine Möglichkeit, die Auswerteelektronik zu überwachen, besteht darin, nach jedem Linienauswertezyklus sogenannte Pseudolinien auf die Auswerteschaltung aufzuschalten und die Reaktion der Auswerteelektronik mit dem bekannten Zustand der Pseudolinien zu vergleichen (Abb. 2).

Es sind natürlich weitere Testfunktionen möglich und auch notwendig (VDS-, DIN-, VDE - Anforderungen). Mit diesen Tests kann ein Ausfall von Bauelementen oder Baugruppen nicht verhindert werden. Der Ausfall wird allerdings entdeckt und führt zu Störungsmeldungen. Besonders wichtige Baugruppen können redundant aufgebaut werden, so daß im Störungsfall eine funktionierende Baugruppe die Funktion einer gestörten übernimmt.

Sollte der Mikrocomputer ausfallen, so läßt sich aus einer minimalen Auswerteschaltung parallel für jede Meldelinie noch eine Feuerinformation gewinnen, die zur Ansteuerung des FW - Hauptmelders (HFM) führt.

3. Einsatz des Mikrorechners zur Verkleinerung der Fehlalarmrate

Fehlalarme sind ein besonderes Problem jeder Brandmeldeanlage, weil das Vertrauen der Feuerwehren und des Betreibers auf die Zuverlässigkeit der Anlage mit jedem Fehlalarm kleiner wird. Gerade bei Anlagen mit einem großen Einwirkungsbereich

(Automatische Löschanlagen, Eingriffe in andere technische Systeme) sind Fehlalarme besonders kritisch, da unter Umständen hohe Kosten verursacht werden können. Für eine typische automatische Brandmeldeanlage ist die Wahrscheinlichkeit des Brandfalles, bezogen auf die Betriebszeit der Anlage, sehr klein. Deshalb können sich Einflußgrößen, deren Wahrscheinlichkeit, einen Täuschungsalarm auszulösen ebenfalls klein ist, nachteilig auswirken.

Obwohl die BMZ nach einer Alarmerkennung ihre Baugruppen auf Funktionstüchtigkeit überprüfen kann, bevor die Ansteuerung des FW - Hauptmelders erfolgt, lassen sich Fehlalarme, die innerhalb der BMZ entstehen, nicht grundsätzlich ausschließen. Ein Bauelementausfall im Ansteuerungskreis des FW - Hauptmelders kann prinzipiell einen Fehlalarm auslösen. Die kritischen " Ansteuerungspfade " der HFM - Ansteuerung müssen deshalb möglichst störsicher und mit wenigen zuverlässigen Bauteilen ausgestattet sein.

Die Wahrscheinlichkeit, daß einer der vielen in Gebäuden und Anlagen verteilten Melder einen Fehlalarm auslöst, ist erfahrungsgemäß größer. In Abb. (3) sind Einflußgrößen dargestellt, die Melder mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten in den Alarmzustand versetzen können. Der Anteil der einzelnen Einflußgrößen an der Gesamtalarmanzahl wird allgemeingültig kaum zu bestimmen sein, da die Intensität der Einflußgrößen vom jeweiligen Einsatzort abhängig ist. Kennzeichnend für die Qualität eines Melders ist aber gerade seine Fähigkeit, die Brandkenngröße aus allen anderen Einflußgrößen mit möglichst hoher Wahrscheinlichkeit zu detektieren.

Prinzipiell kann das Ausgangssignal des konventionellen Brandmelders nur drei Zustände annehmen, Die drei Zustände sind : Feuer, Normalzustand, Störung.

Der Zustand " Feuer " bedeutet : Die Summe aller Einflußgrößen hat den Zustand " Feuer " bewirkt. Der " Normalzustand " bedeutet : Die Summe aller Einflußgrößen hat nur geringe Auswirkungen auf den Melder. Der Zustand " Störung " bedeutet : Der Melder ist für eine Detektion der Brandkenngröße nicht mehr verfügbar.

Es sind bereits verschiedene Maßnahmen zur Unterdrückung von Fehlalarmen vorgeschlagen worden (2). Die Wirkung dieser Maßnahmen auf die Einflußgrößen soll deshalb näher untersucht werden.

a) Erkunden

Dabei wird der Mensch als Kontrollglied in die Alarmorganisation eingeschaltet. Wird ein Brandalarm ausgelöst, so verbleibt eine gewisse Zeit für die Erkundung des Ortes, an dem der Alarm ausgelöst wurde, bis der HFM angesteuert wird.

Der " Erkunder " muß der BMZ die Durchführung der Erkundung quittieren. Stellt der Erkunder einen Fehlalarm fest, so kann er die Ansteuerung des HFM verhindern.

Theoretisch wären auf diese Art fast alle Fehlalarme zu verhindern. Bei räumlich weit verzweigten Anlagen wird diese Art der Fehlalarmunterdrückung praktisch nicht durchzuführen sein, und es besteht die Gefahr, daß der Erkunder die Ansteuerung des Hfm grundsätzlich verhindert, um mehr Zeit für die Erkundung zu gewinnen.

b) Mehrfachabfrage

Bei der Mehrfachabfrage wird der HFM erst dann angesteuert, wenn auf einer Melderlinie mehrmals hintereinander ein Feuersignal erkannt wird. Die Verzögerungszeit für die Alarmweitergabe beträgt dabei nur einige Sekunden. Durch diese Maßnahme wird im wesentlichen nur ein Fehlalarm durch elektromagnetische Störungen auf den Leitungen ausgeschlossen. Waren die Störungen stark genug, um einen Melder in den Alarmzustand zu versetzen, so kann ein Fehlalarm nicht mehr unterdrückt werden.

c) Alarmzischenspeicherung mit Rücksetzen der Melderlinie

Diese Maßnahme zur Unterdrückung von Fehlalarmen ist praktisch eine Erweiterung der Mehrfachabfrage. Durch das Rücksetzen der Melderlinie können auch starke elektromagnetische Störungen unterdrückt werden. Je nach Dauer der Alarmzischenspeicherung kann auch der Einfluß von brandähnlichen Störgrößen und der Sabotage herabgesetzt werden. Die Verzögerungszeit für die Alarmweitergabe liegt in der Größenordnung von einigen 10 sek. bis zu einigen Minuten.

d) Zwei Melder - bzw. Zwei - Linienabhängigkeit mit gleichartigen Meldern

Bei der Zwei - Melder - bzw. Zwei - Linienabhängigkeit wird der HFM erst dann angesteuert, wenn zwei Melder bzw. Linien ein Alarmsignal abgeben.

(Bei der sequentiellen Auswertung der Melderlinien von mikrocomputergesteuerten Zentralen ist die Frage, ob zwei Melder auf einer Melderlinie, oder zwei Melder auf verschiedenen Melderlinien ein Alarmsignal abgeben von geringerer Bedeutung - , außer die räumliche Anordnung der Melder wird in die Alarmauswertung einbezogen.)

Diese Methode der Fehlalarmunterdrückung ist sicherlich sehr wirkungsvoll. Sie vermindert die Wirkung aller unerwünschten Einflußgrößen. Praktisch wird diese Maßnahme fast immer dann angewendet, wenn die BMZ automatische Löschanlagen ansteuern soll. Der Aufwand an Meldern und Leitungslänge verdoppelt sich jedoch und damit nimmt der Preis der Anlage erheblich zu.

e) Zwei - Melderabhängigkeit bzw. Zwei - Linienabhängigkeit mit Meldern, die auf unterschiedliche Brandkenngrößen reagieren

Diese Maßnahme verbessert gegenüber d) vor allem die Unterdrückung von brandähnlichen Störgrößen. Die Täuschungsalarmempfindlichkeit der Anlage wird erheblich herabgesetzt. Gute Erfahrungen mit dieser Maßnahme beschreibt der VDS (3). Dabei werden Rauch - und Flammenstrahlungsmelder eingesetzt. Nachteilig für den generellen Einsatz dieser Anordnung ist der heute noch sehr hohe Preis der Flammenstrahlungsmelder. Außerdem können Schwelbrände nicht mehr

in ihrer Entstehungsphase entdeckt werden.

f) Adressierbare Melder mit Zwei - Melderabhängigkeit

Mikrocomputergesteuerte Brandmeldezentralen schaffen günstige Voraussetzungen für die serielle Informationsverarbeitung der adressierbaren Melder. Dadurch wird der Brandort schnell und genau erkannt und bei der Zwei - Melderabhängigkeit werden nur die Melder miteinander verknüpft, die räumlich zueinander gehören. Damit wird die Fehlalarmunterdrückung weiter verbessert, wenn durch den größeren Bauteileaufwand und den größeren Informationsaustausch die Wirkung der Einflußgrößen nicht wieder zunehmen (Tab. 1).

Durch adressierbare Melder mit analogem Ausgangssignal wird es möglich, die unterschiedlichen Zeitfunktionen der Einflußgrößen mit in die Alarmauswertung einzubeziehen. Ist der zeitliche Verlauf der Brandkenngröße und die praktisch auftretende Variationsbreite dieser Zeitfunktion bekannt, so können über Korrelationsfunktionen Einflußgrößen mit anderem Zeitverhalten unterdrückt werden. Der Zustand des Melders kann über seinen gesamten Einsatzzeitraum kontrolliert werden. Bei Ionisationsrauchmeldern kann z.B. der Einfluß der allmählichen Kammerverschmutzung auf die Ansprechempfindlichkeit kompensiert werden. Die obligatorische turnusmäßige Wartung der Ionisationsmelder wäre damit vereinfacht. Ein verschmutzter Melder kann von der BMZ erkannt und als solcher angezeigt werden. Der elektronische Aufwand dieser Systeme ist allerdings beträchtlich. Der Preis solcher Systeme ist sicherlich noch sehr hoch, verglichen mit konventionellen Anlagen. Durch Fertigung großer Stückzahlen und durch den Einsatz spezieller hochintegrierter Schaltkreise lassen sich jedoch aufwendige Lösungen verwirklichen.

Durch den immer größeren Bauelementenaufwand des gesamten Systems werden allerdings höhere Ausfallraten bewirkt.

Ein Bauteil habe z.B. die Ausfallrate 0,001 pro Jahr. Die Ausfallwahrscheinlichkeit für ein System aus 100 Bauteilen, bei dem der Ausfall jedes Bauteils zum Ausfall des Gesamtsystems führt, ist dann gleich 0,095 pro Jahr, hierbei ist ein Exponentialverteilung der Bauteillebensdauer vorausgesetzt.

4. Zusammenfassung

Der Einsatz von Mikrocomputern in Brandmeldezentralen erleichtert die Anpassung der Zentralen an spezielle Anforderung, die der Einsatzort und die Einsatzbedingungen vorgeben. Die Bedienung und Wartung der Zentralen wird durch Eingabetastaturen und alphanumerische Anzeigen erleichtert. Protokolldrucker und Einsatzdateien (elektronische Terminals) können angesteuert werden. Die Zentralen enthalten umfang-

reiche Testprogramme, um Störungen von Baugruppen und Übertragungskanälen zu entdecken. Die Fähigkeit der Mikrocomputer große Informationsmengen schnell zu verarbeiten, kann dazu benutzt werden, die Fehlalarmrate zu verkleinern. Durch adressierbare Melder kann der Brandort wesentlich genauer und sicherer ermittelt werden. Adressierbare Melder mit Analogausgang ermöglichen es, die Zeitfunktion der Brandkenngröße als weiteres Alarmkriterium heranzuziehen.

Literatur

- 1) Modulare Zentralentechnik bei Brandmeldesystemen ;
A.F. Schaffernak; Sonderdruck aus Elektro - Anzeiger
Nr. 6, 26.3.1976
- 2) Automatische Brandmeldung - gestern, heute, morgen;
Dr. E. Meili; Probleme der automatischen Brandentdeckung;
Aachen; März 1975
- 3) Eine neuartige Konzeption für das automatische Entdecken und Löschen von
Bränden; Dipl.- Ing. D. Lay; Probleme der automatischen Brandentdeckung;
Aachen; März 1975
- 4) Praktische Erfahrungen mit einer mikroprozessorgesteuerten Brandmelde-
anlage; F. Brune; VFDB Zeitschrift Forschung und Technik im Brand-
schutz; Nr. 3; 1980

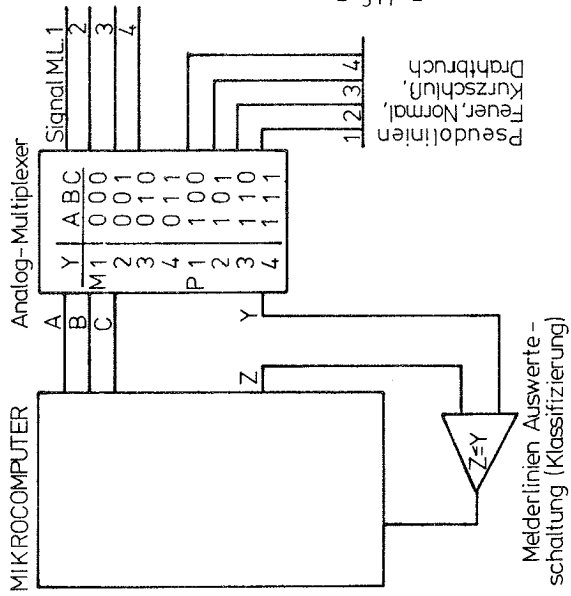


ABB.2 Überprüfung der Linienauswertelektronik mit Hilfe von Pseudolinien (schematisch)

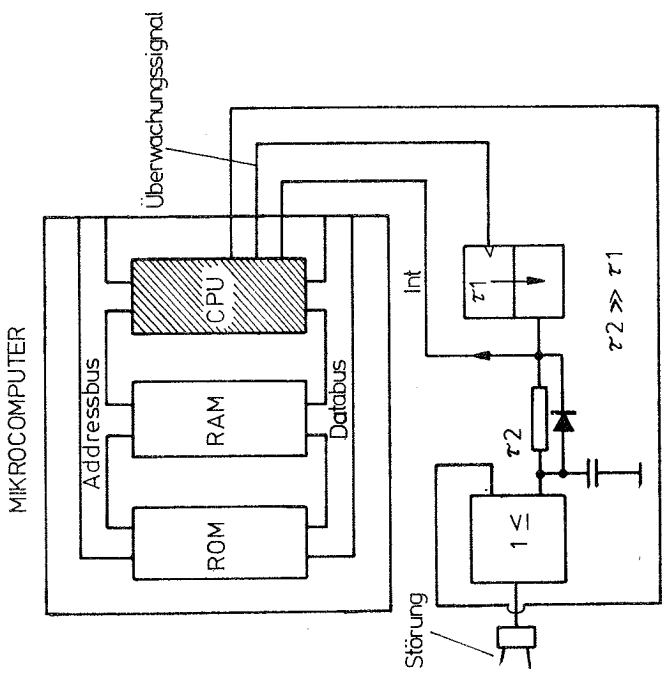


ABB.1 Schematischer Aufbau eines „Watch Dog“-Schaltkreises

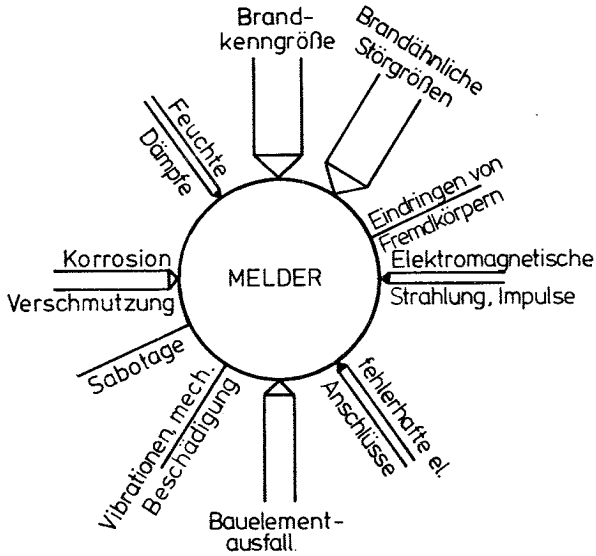


ABB. 3 Einflußgrößen, die den Melder mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten in den Alarmzustand versetzen können

0 ≙ Einflußgröße kann keinen Fehlalarm erzeugen x = Maßnahme ohne Wirkung

EIN - FLUSSGRÖSSE	MASSNAHME						(f)
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	
Erkunden	Mehrfach- abfrage	Alarm- zwischenstg	Zweimelder- abh. (=)	Zweimelder- abh. (≠)	Zweimelder- abh. (adr.)		
Brandkenngröße	nicht verz.	verzögert	gering verz.	verzögert	gering verz.		
Brandähnliche Störgroßen	x	geringe Abschwäch.	erhebliche Abschwäch.	starke Abschwäch.	erhebliche Abschwäch.		
Elektromagn. Stg., Impulse	teilweise	erheblich	erheblich	erheblich	erheblich		
Bauelement - ausfälle	x	x	"	"	starke Abschwäch.		
Korrosion, Verschmutzung	x	x	"	"	erheblich		
Feuchte, Dämpfe	x	x	"	"	"		
Eindringen von Fremdkörpern	x	x	"	"	starke Abschwäch.		
Mech. Beschädigung	x	x	"	"	"		
Fehlerhafte Anschlüsse	x	geringe	"	"	"		
Sabotage	x	"	"	"	"		

TAB.1 Wirkung der Maßnahmen zur Verkleinerung der Fehlalarmempfindlichkeit auf die Einflußgrößen

B B Pigott BA, BAI, DIC, MICE
Head, Operational Research and Statistical Studies
Fire Research Station (UK), Borehamwood, Herts. England.

THE POTENTIAL OF COMPUTER BASED ANALOGUE FIRE SENSING

Introduction

Automatic fire detection systems in the UK receive much less favourable treatment from both insurance companies and fire safety enforcement authorities than do sprinkler systems, not only because the science is newer, but also because of their false alarm performance. In the UK a maximum discount on fire insurance is 12½ per cent of the annual premium and there is no guarantee of trade-off against passive fire precautions to influence a building owner to install it or keep it maintained.

As a consequence of this unhappy commercial situation, there is little expansion in the market and less incentive to manufacturers to innovate using technological advances which are commonplace in other fields.

This paper suggests some ways in which new, computer based technology can be used in fire detection systems. Such a system, which need be no more expensive than existing types, can be such that the information from each sensor can be made available for decision making, both within the protected area and at a remote location. The system can reduce the cost of maintenance and improve the information provided for fire fighting.

Sensors

Conventional heat and smoke fire detectors measure temperature and smoke density, but then apply a decision-making process within the head so that the information is reduced to a yes/no indication. New technology provides the means, by analogue to digital conversion and multiplexing, to bring back to a central point a reading of temperature and smoke density seen by each sensor, without the associated need for multiple wired connections.

Wiring

Wiring in the UK is often required to be of a fire resisting and mechanically strong type which is both expensive to buy and difficult to install. It may account for between one third and one half of the installation cost.

At the UK Fire Research Station we believe that better security can be achieved by using active electronic protection and a ring circuit. New technology allows current sensing and electronic switching of the ring circuit such that a single failure of the wiring (whether by open circuit or short circuit) does not disable the system; at least two faults are necessary to cause any loss of capability of the system. Providing that the elementary, if expensive, design criteria of ensuring that fire sensors are provided in all spaces separated by partitions or barriers, including the control equipment space, it is very unlikely that fire could disable even pvc insulated wiring before activation of a fire alarm.

Modern technology can ensure that an alarm sounder or display, once activated, remains in operation after its remote control is disabled.

It is believed that a system of wiring, having little mechanical protection or fire resistance (as in commonly used telephone cables), but having the active protection available with modern technology, could give a greater standard of reliability than that of the expensive, mechanically strong but poorly monitored wiring now commonly employed.

Objectives

Even conventional automatic fire detection systems will detect most fires very rapidly. Ionization detectors may be relatively insensitive to large smoke particles associated with smouldering fires, while optical sensors may be relatively insensitive to small particles associated with rapid burning. But in general both types will give sufficiently early fire alarms when correctly installed. Greater sensitivity to fires therefore is not the primary objective of FRS thinking. There are two major objectives associated with new system design - the reduction of false alarms (by an order of magnitude) and an increase in reliability. These objectives should be attained without any increase in the capital cost or maintenance cost, and in the longer term be cheaper.

False alarm control

Various statistical studies of false alarms in the UK have suggested that causes break down into three more or less equal categories.

- a) Hardware problems
- b) Human interference
- c) Fire/ambient conditions discrimination

Hardware problems (Figure 1)

In a system which collects analogue data from individual sensors, a serviceable sensor can be designed to provide an output within limits which exclude open and short circuit conditions. The occurrence of either open or short circuit can therefore be diagnosed as a fault. Similarly, electronic logic, now conveniently provided by microprocessors, can locate the position of faults in the primary ring, either by failure to respond or by operation of isolating relays in the presence of a short circuit.

Faults such as short or open circuits can also be distinguished from fires on a time basis; changes due to fire will take seconds, minutes or even hours, whilst the change due to such a fault is instantaneous.

If a computer controller is used, some history can be stored so that faults occurring due to extremes of temperature, for example, only at specific times of day can be recorded. An estimate of sensor reliability by Mr Burry of the Fire Research Station suggests that individual sensors in commercial installations give rise to only about one false alarm in 10 years. It is clearly not cost effective to produce much more reliable devices, but rather to place them in systems where faults can be identified and located with ease.

Some hardware problems are caused by dirt contaminating the sensors. This drift is gradual and can be compensated for in the control computer. Providing the time constant of this correction process is large with respect to the probable rate of fire growth, the amount of correction required, (which must of course be limited to allow a useful fire sensing range to remain), can be used as a measure of serviceability of the sensor.

Similarly, but more complicated from a mathematical point of view, the variation of readings from a sensor over hours, days and weeks can be used to calculate the probability of a false alarm occurring. It is therefore possible to adjust the sensitivity of a sensor to a level which would give an acceptable probability of false alarm (1 in 250 years, say - similar to the fire expectation). As with drift with time, the degree of sensitivity adjustment needs to be limited. The need for a higher degree of sensitivity adjustment can be used as an indicator of unsuitable siting.

Finally, using computing support, the integrity of information in the system can be ensured (Figure 2), with maintenance checks on all parts of the system being carried out every few seconds automatically. All maintenance faults can be classified, routed to appropriate personnel for action, and logged. The maintenance state can be interrogated remotely so the service engineer comes to the site with the correct parts and a good idea of the problem to be cured or prevented in the future. Automatic checks on the system by an external computer - also micro-sized - can ensure that the system remains in operation and at an acceptable level of serviceability.

Human interference

Conventional systems are tested by operating the alarm. Frequently, the tester of the system either does so accidentally or forgets to warn the fire brigade.

In a new system, testing can be made complete and automatic and with great information carrying capacity, can also be made totally distinct from an alarm. Since continuous automatic checks are made on all sensors and switches, manual tests can be confined to the operated devices - displays, alarm sounders, doors, plant etc. Suitable design allows a test engineer to use the system to switch each device when he is near it so he can observe its operation without the need for disturbing the building occupants or for the cooperation of a second man.

A system which relies on data collected over a period, and which excludes extreme readings, is very well protected from short transient impulses such as an engineer's screwdriver or induced electrical disturbances from plant or storms. Malicious interference is not usually a problem with automatic systems but in a system with rapid indication and precise location of the trouble, the chance of capture of the person causing the interference is much improved.

Fire/ambient conditions

Fires requiring fire fighting are intensity phenomena and grow in intensity. Smoke from cigarettes, burning toast and stubble, can be impossible to distinguish from an uncontrolled fire. New technology allows the possibility of central decision making, using several sensors which are geographically close. It would be easy to decrease the rate of rise or

limit at which an alarm is raised for a sensor belonging to a predefined group in which several sensors were showing values considerably higher than their normal ambient levels.

The automatic adjustment of sensitivity has already been mentioned. Such adjustment also has advantages in reducing the likelihood of false alarms due to drafts arising from the siting of, say, ionization sensors near doors or windows. It is likely that future research, using data obtained by such systems, will suggest better strategies of sensor type and grouping. It is unlikely that the problem of fire pattern recognition will ever be fully mastered, but the present position can easily be improved.

Flexibility

When a full computer solution with central decision making is adopted as a system design, several advantages arise which are difficult to accept, since these are contrary to day to day experience.

- 1) The equipment becomes cheaper with time, and price is more dependent on volume of sales than on complexity.
- 2) Reliability is proportional to the number of pin connections on a chip, not to its internal complexity.
- 3) The system, when installed, is flexible, with many of its characteristics embodied in the control programme. Future modification of the system, either in its extent or in its operation, can therefore be made more cheaply than in existing systems.
- 4) It can be made to protect itself from incorrect wiring or maintenance by giving warnings to the user of the building and, if necessary, to a remote control centre.

Human interaction

New technology provides the opportunity to communicate cheaply throughout a protected building. This ability can be used for a dialogue with engineers and building users and for selective operation of plant. Behavioural research conducted for the Fire Research Station indicates that the lack of understandable information given to the building occupants causes them both to disregard alarms and to appear to panic when severely threatened by fire.

The problems might be lessened by displaying a test message when the alarm sounders are tested (Figure 3); and a fire location message when a fire is detected (Figure 4).

Clocks are used regularly by building occupants, who will complain if the clock system fails. Use of the clock system for the fire indication therefore accustoms the occupants to looking there for information, and helps to ensure good maintenance (Figure 5).

The installing and maintenance engineers need to check the operation of controlled plant without assistance. The use of this display in conjunction with a keyboard provides the capability of dialogue with the system. It then makes it easy for him to check that the primary wiring is correct when the 'node' matches his installation drawing (Figure 6); that a sensor he has replaced is being read by the computer (Figure 7); that, say, an indicator light is being switched by the computer. Note that the engineer, by use of a keyboard, instructs the computer to operate the required switch from where he can observe its effect. It is not acted upon locally. The check on the system is therefore complete on logic, electronic and mechanical sub-systems (Figure 8).

Pinpoint location of the fire and how it is spreading should increase the safety of fire fighters, particularly as it is available remotely. This knowledge is of relevance both to building occupants and fire brigades.

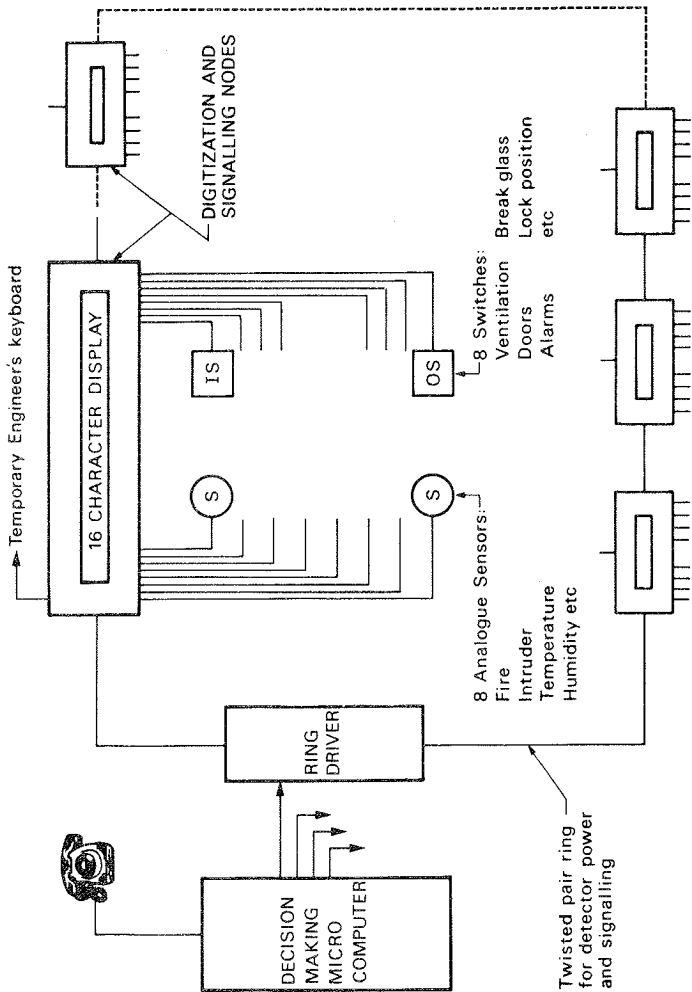
Conclusion

I have shown the first steps in new systems design, prototyped by the Fire Research Station.

Research is needed to collect and analyse data against which sophisticated strategies can be measured. Given computer based systems which can collect and store the data inherent in present day heat and smoke fire sensors, fire checking and false alarm rejection strategies can be implemented with the utmost flexibility and those which are found to be more successful fitted to installations retrospectively.

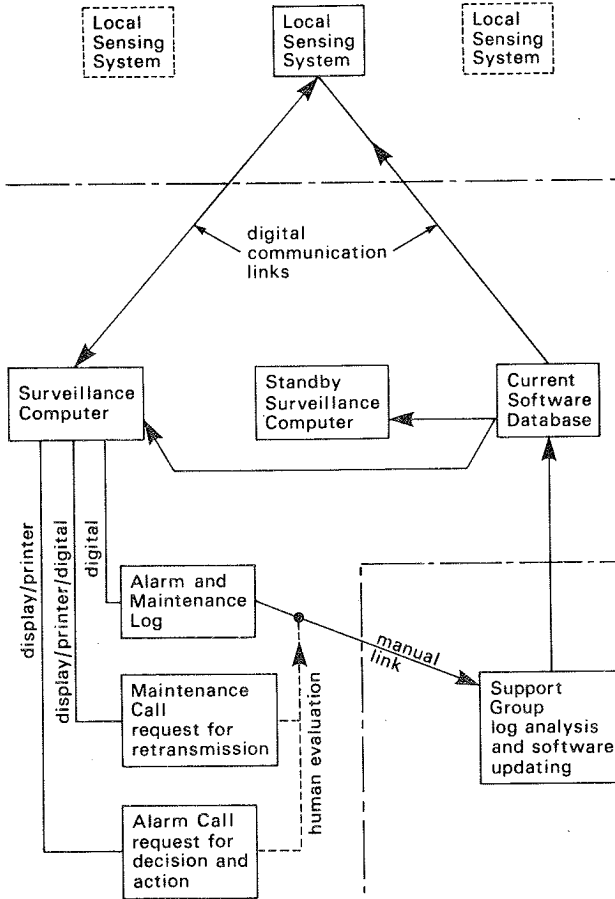
It is hoped that the fire tests and field trials already in progress and those to be conducted in the near future will show that false alarms need not be accepted as a price for automatic detection. Also that a commercial advantage could prudently be offered to create a market for such systems.

When a sound case can be made to legislators and fire authorities that automatic fire detection systems can be as reliable as concrete walls (subject as they are to hole cutting and open doors), then we can expect trade-offs to be allowed such as to give reliable systems a considerable commercial advantage.



'Bresens' prototype local detection system

Figure 1



'Bresens' Overall Scheme

Figure 2

171490 EMB-5 12/11/62

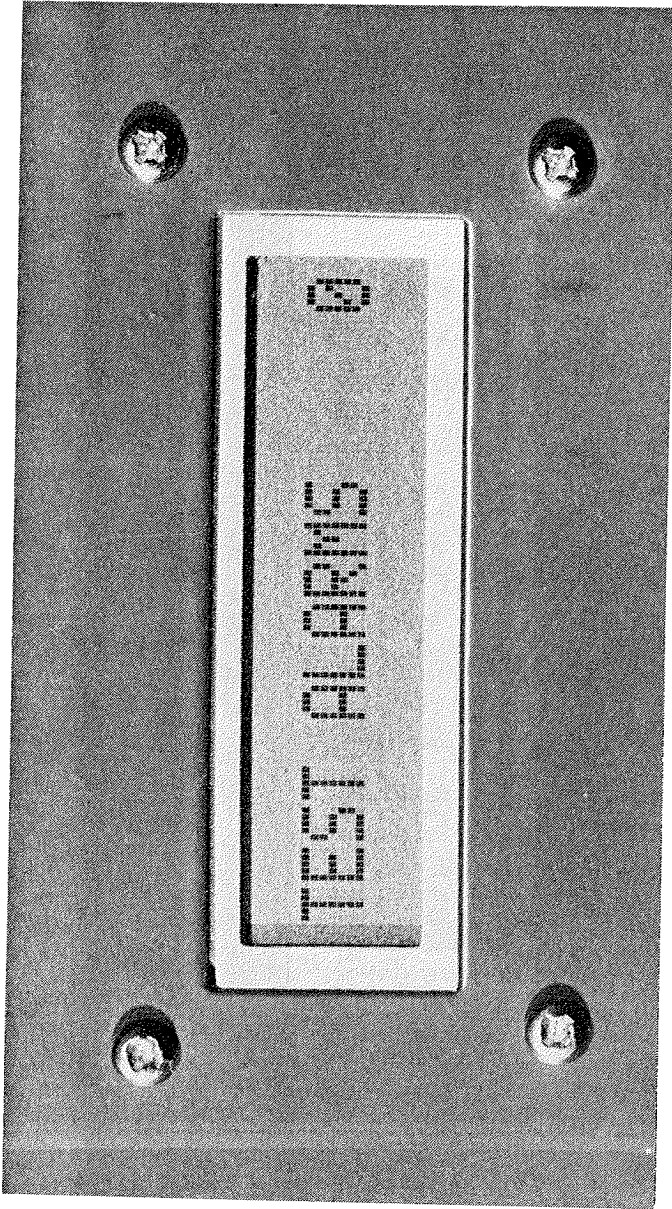


Figure 3

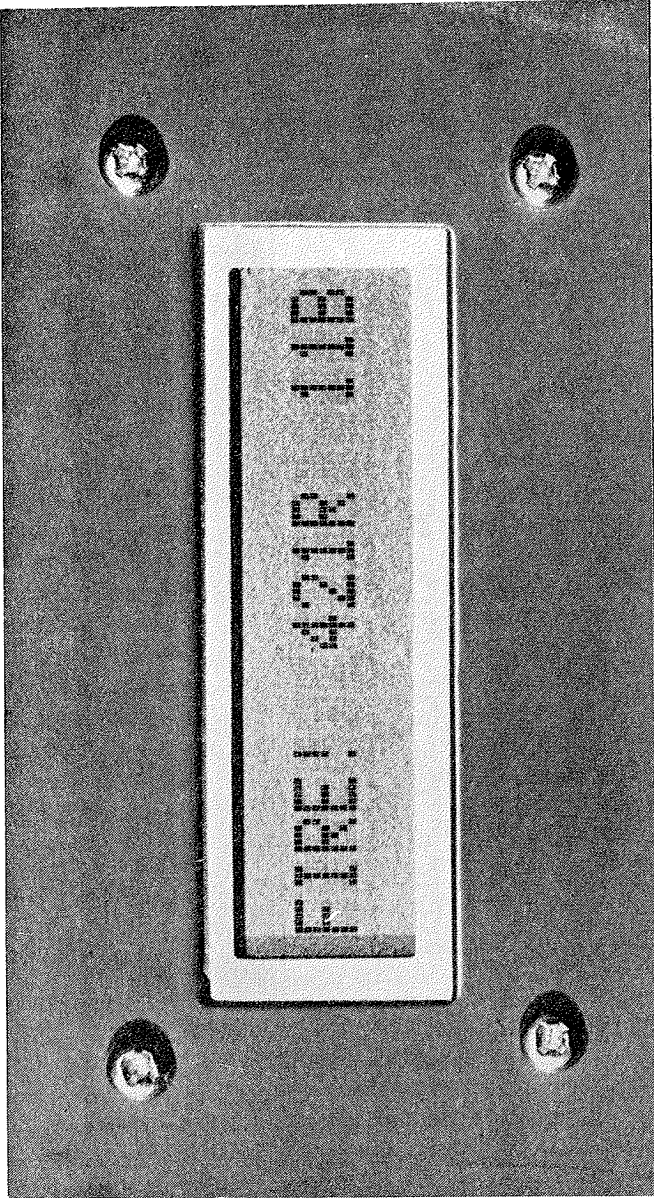


Figure 4

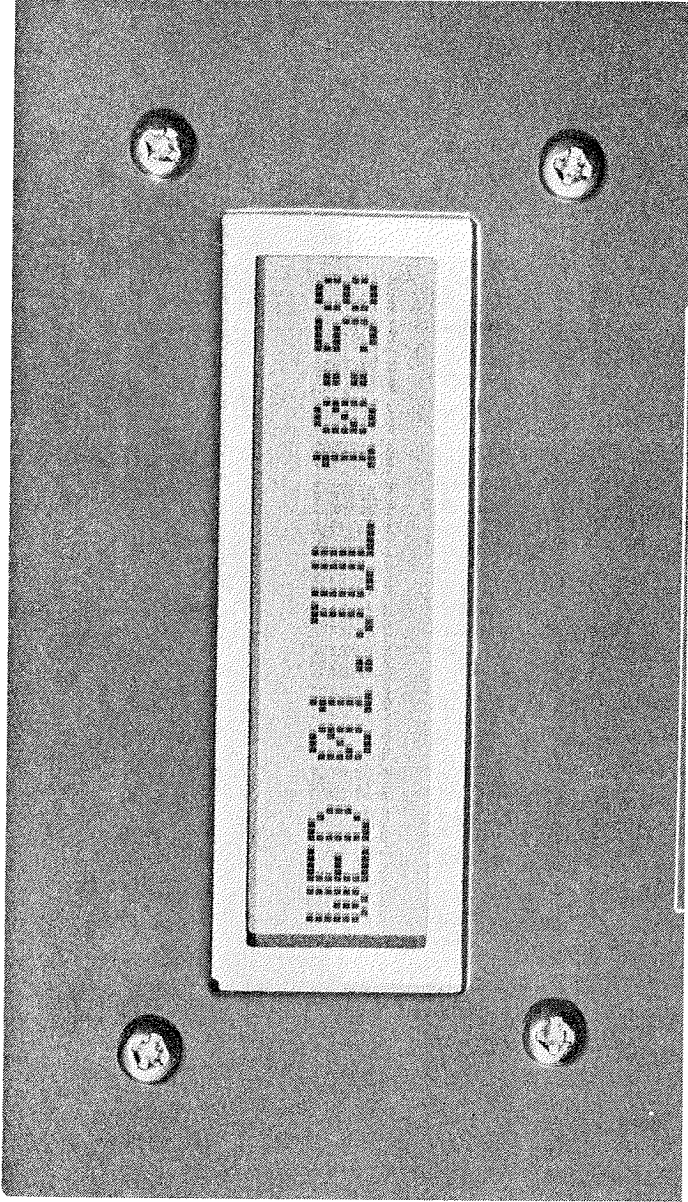
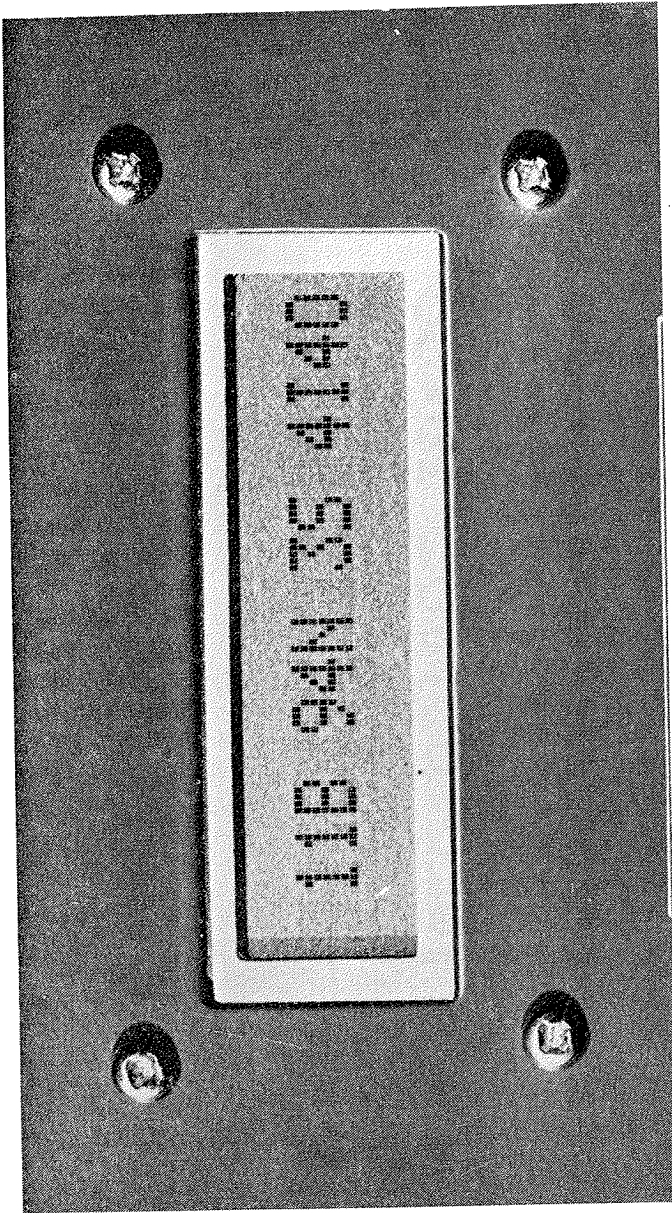
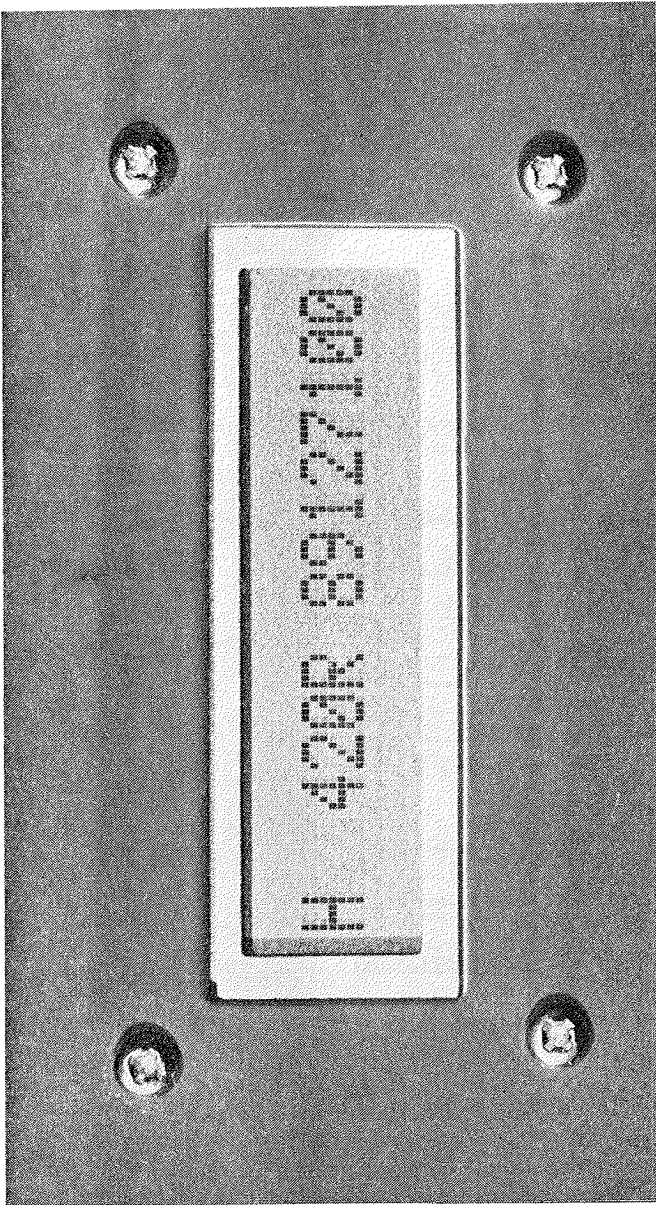


Figure 5



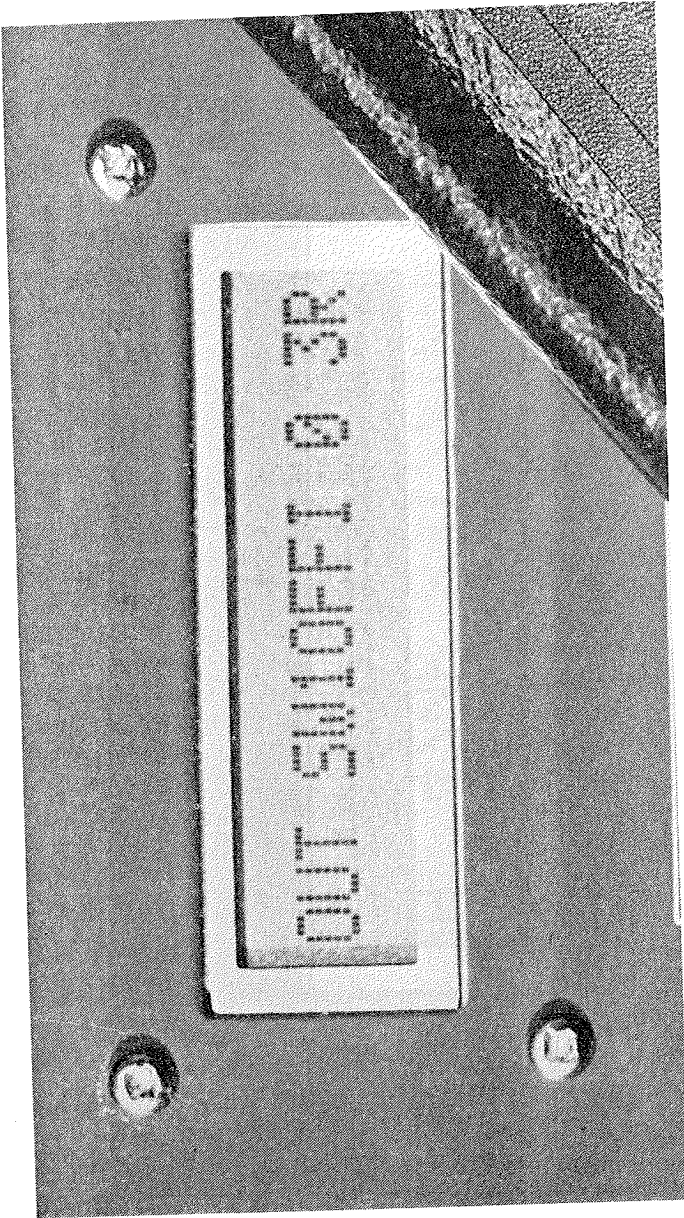
11 Building No 94 Node name 3 Sensors 4 Input switches 4 Output switches

Figure 6



Heat Sensor Floor 4 20 Room 89 Sensor value 127 Creep 100 Sensitivity compensations

Figure 7



Output Switch 1 OFF Indicator light Floor 0 3 Room

Figure 8

Dipl.-Ing. Romuald von Tomkewitsch
Siemens AG, München, Deutschland

Brandschutzanlagen mit "verteilter Intelligenz".
Das Pulsmelde - System

Wenn man Intelligenz verteilen will, setzt man voraus, daß Intelligenz notwendig bzw. vorhanden ist. Bei Brandschutzanlagen kann man 3 Funktionen benennen, die einer gewissen "Intelligenz" bedürfen, oder etwas nüchterner ausgedrückt, die eine Informationsverarbeitung erfordern:

- Die Verarbeitung der Signale automatischer Brandmelder.
- Die Alarmierung im Falle eines Brandes, vor allem wenn vom Brandort abhängige Informationen wie Einsatzdaten und Maßnahmen automatisch ausgegeben werden sollen.
- Die automatische Einleitung von Gegenmaßnahmen wie Auslösung von Löschanlagen, Anzeige von Fluchtwegen, Schließen von Brandschutztüren und Öffnen von Rauchabzügen.

Da dieses Seminar sich der automatischen Brandentdeckung widmet, will ich mich hauptsächlich mit der 1. Funktion, der Verarbeitung der Signale automatischer Brandmelder, befassen.

Warum mehr Intelligenz?

In der Bundesrepublik Deutschland sind mehr als eine Million automatischer Brandmelder im Einsatz. Sie melden, z.T. seit mehr als 30 Jahren, bei sachgerechter Installation und Wartung Brände zuverlässig bereits in deren Entstehungsphase. Wieso also - so wird wohl mancher wissen wollen - wieso stellt sich jetzt die Frage nach "verteilter Intelligenz"? Nun, primär will man natürlich mehr Intelligenz! Frühwarnmelder, insbesondere Rauchmelder sind empfindliche Meßgeräte. Sie können auch durch Umgebungseinflüsse in den Alarmzustand versetzt werden. Selbstverständlich bemühen sich alle Hersteller, ihre Brandmelder so falschalarmsicher wie nur möglich auszubilden. Dieses erreichte man bisher durch deterministische Betrachtungsweisen: Jedem falschen Alarm versuchte man eine wahrscheinliche Ursache - Verschmutzung, Insekten, Temperatureinfluß, Wind, Feuchtigkeit, Korrosion, Blitzeinschlag, el. magn. Beeinflussung oder rauchähnliche Erscheinungen wie Dämpfe, Gase usw. zuzuordnen. Häuften sich bestimmte angenommene Ursachen,

so wurden an den Meldern konstruktive oder schaltungsmäßige Verbesserungen zur Reduzierung dieser Einflüsse vorgenommen.

Mit dieser Methode und einem Lernen aus den Erfahrungen einer 4 Jahrzehnte dauernden Entwicklungsperiode automatischer Brandmelder hat man Falschalarmraten in der Größenordnung von 1% p.a. erreicht. Mit anderen Worten: 100 installierte Melder liefern jährlich durchschnittlich nur einen falschen Alarm. Diese Falschalarmraten können bei hochwertigen, gut gewarteten Meldern in saubereren Räumen unterschritten, bei ungünstigen Einsatzbedingungen aber auch weit überschritten werden.

Aus Sicht der Feuerwehren und der Betreiber von Brandschutzanlagen muß die Falschalarmrate in dem Maße weiter gesenkt werden, wie die Verbreitung automatischer Brandmelder zunimmt, wenn falsche Alarme nicht zu einem Ärgernis werden sollen.

Setzt man sich eine weitere Senkung der Falschalarmraten um mindestens eine Größenordnung zum Ziel, so muß man neue Methoden anwenden. Da an den Meldern kaum noch etwas verbessert werden kann, liegt es nahe, sich verbesserten Auswerteverfahren für die Meldersignale zuzuwenden und geeignete Algorithmen zur Unterscheidung zwischen echten und falschen Alarmen zu erarbeiten. Diese hochwertigere Signalverarbeitung bedeutet "mehr Intelligenz".

Warum verteilte Intelligenz?

Bei herkömmlichen Brandmelderanlagen wird in den Meldern die Entscheidung getroffen, ob die örtliche Konzentration der Brandkenngröße eine Alarmierung rechtfertigt. Die für diese Entscheidung vorgesehene "Intelligenz" ist recht bescheiden. Bei Wärmemeldern wird neben der Temperatur meistens auch deren Anstiegsgeschwindigkeit bewertet. Bei Rauchmeldern wird zumeist nur überprüft, ob die Rauchkonzentration einen eingestellten Schwellwert übersteigt.

Die Nebemelderzentrale kann zur Reduzierung der falschen Alarme beitragen, indem sie einen Melder, der alarmiert, zweimal abfragt (sog. Alarmwiederholung) und indem sie einen Alarm nur an die Feuerwehr weiterleitet, wenn zwei benachbarte Brandmelder ansprechen (sog. Zweilinien- oder Zweimelderabhängigkeit).

Diese schon länger bekannten logischen Verknüpfungen von Meldersignalen werden neuerdings von VdS u.a. als Voraussetzung für die Anerkennung als "Brandmeldeanlage erhöhter Sicherheit" angesehen.

Sie sind bereits als Anfang einer "verteilten Intelligenz" zu werten, denn in den Meldern wird die örtliche Konzentration der Brandkenngröße bewertet, in der Nebemelderzentrale erfolgt eine Überprüfung auf die Dauer bzw. räumliche Ausdehnung des Ereignisses. Die Wahrscheinlichkeit einer Alarmierung infolge elektromagnetischer Beeinflussung oder eng begrenztem Auftreten einer Täuschungsgröße wird dadurch herabgesetzt. Am Rande sei hier allerdings vermerkt, daß die rein formale Erfüllung dieser Maßnahmen den Erfolg nicht sicherstellt. Soll die Zeit vom Beginn eines Brandes bis zu seiner Meldung nicht beträchtlich zunehmen, so muß bei einer Zweimelderabhängigkeit einerseits die Anzahl der Melder je Schutzfläche verdoppelt werden. Soll diese Verknüpfung zu einer Reduzierung der Täuschungsalarmlänge beitragen, so müssen die und-verknüpften Melder andererseits einen möglichst großen Abstand voneinander haben. Der Schutzwert einer Brandmeldeanlage mit der bisher beschriebenen "verteilten Intelligenz" hängt also in hohem Maße von der richtigen Projektierung ab!

Evolutionssprung durch den Microprozessor

Jedermann weiß, daß "technische Intelligenz" durch Microprozessoren viel preiswerter realisiert werden kann. Deshalb liegt es nahe, den Microprozessor auch bei einem so wichtigem Gebiet wie dem der Brandmeldeanlagen einzusetzen. Neue Mittel erfordern meistens jedoch auch neue Wege. Ein bloßes Ersetzen der bisherigen diskreten Logik durch einen Mikroprozessor bringt nicht den entscheidenden Durchbruch.

Microprozessoren sind Gebilde, die viele unterschiedliche logische Operationen sehr schnell nacheinander bearbeiten können. Wirtschaftlich sind sie, wenn man diese Fähigkeit der seriellen Aufgabenbewältigung ausnutzt. Deshalb liegt es nahe, die Intelligenz herkömmlicher Melder in die Nebemelderzentrale zu verlegen, wodurch sich die Struktur der Brandmelderanlage völlig verändert: Aus Meldern, die selbständig entscheiden, ob ein Alarmkriterium gegeben ist, werden unselbständige Sensoren, die permanent ihre Meßwerte der intelligenten Zentrale zur Auswertung übertragen. Aus passiven Zentralen, die lediglich Alarmsignale empfangen und anzeigen bzw. an die Feuerwehr weiterleiten wenn Melder ansprechen, werden aktive Prozessoren, die permanent hochwertigere Algorithmen zur Unterscheidung echter Brände von Täuschungsgrößen anwenden.

Ein solcher Strukturwandel ist allerdings nur durchsetzbar, wenn die guten bzw. gewohnten Eigenschaften der bisherigen Technik nicht verloren gehen: Zweidrahtleitung zwischen den Meldern und der Zentrale, einfache Montage und Handhabung, einfache Austauschbarkeit der Melder, das niedrige Kostenniveau.

Das Pulsmelde-Verfahren

Im folgenden soll ein neues Brandschutzsystem beschrieben werden, bei dessen Entwicklung der Leitgedanke Pate stand, das Altbewährte mit dem Neuen optimal zu vereinen: Das Pulsmelde-System.

Bild 1 zeigt eine Pulsmelder-Linie mit bis zu 30 Pulsmelder-Bausteinen. Die a-Ader ist, wie bei herkömmlichen Brandmelder-Linien, durchgezogen. Die b-Ader hingegen wird in jedem Melder bzw. jedem Steuerbaustein im Ruhezustand unterbrochen. Zu Beginn eines Abfragezyklus erzeugt der Microprozessor in der Zentrale einen Startimpuls u_a , wie in Bild 2 dargestellt. Dieser Impuls gelangt zunächst nur bis zum ersten Melder der Linie, dessen stark vereinfachte Prinzipschaltung in Bild 3 dargestellt ist. Dieser Startimpuls regt ein Zeitglied an, dessen Laufzeit vom Meßwandler des Melders verändert werden kann. Bei einem Ionisationsbrandmelder z.B. bildet die Ionisationskammer den Wandler. Befindet sich kein Rauch in der Kammer, so schaltet das Zeitglied nach etwa 4 ms den Längstransistor T_L durch. Gleichzeitig mit dem Durchschalten von T_L erzeugt der Quertransistor T_Q einen Zählimpuls i_1 (Bild 2), der in der Zentrale registriert wird.

Dringt Rauch in den Wandler ein, so wird die Laufzeit des Zeitgliedes je nach Rauchkonzentration mehr oder weniger verkürzt. Der Abstand zwischen der Rückflanke des Startimpulses u_a und der Vorderflanke des Zeitimpulses i_1 stellt also den Meßwert M_1 des ersten Melders dar.

Durch das Durchschalten des Längstransistors T_L , der im Bild 1, der Einfachheit halber als Kontakt dargestellt ist, gelangt die Linienspannung an den 2. Melder. Ihre Einschaltflanke hat dort die gleiche Wirkung, wie die Rückflanke des Startimpulses u_a beim ersten Melder. Dieser Vorgang wiederholt sich bei allen Bausteinen der Linie. Sobald der Microprozessor in der Zentrale so viele Zählimpulse registriert hat, wie sich Bausteine in der Linie befinden, wird der Abfragezyklus abgeschlossen. Die Linien-

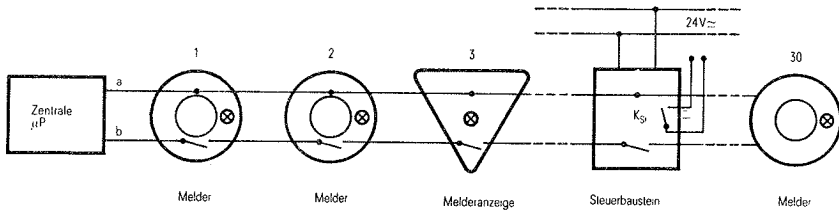
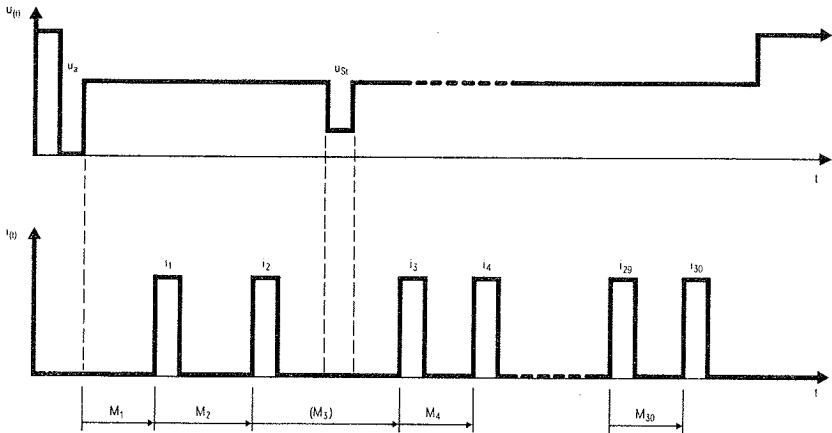


Bild 1 Pulsmelde-Linie mit max. 30 Pulsmelder-Bausteinen



- u_s = Startimpuls zu Anfang eines Abfragezyklus
- u_{s1} = Steuerimpuls
- i = Zählpulse
- M = Meßwerte

Bild 2 Spannungs- und Stromverlauf auf einer Pulsmeldelinie während eines Abfragezyklus

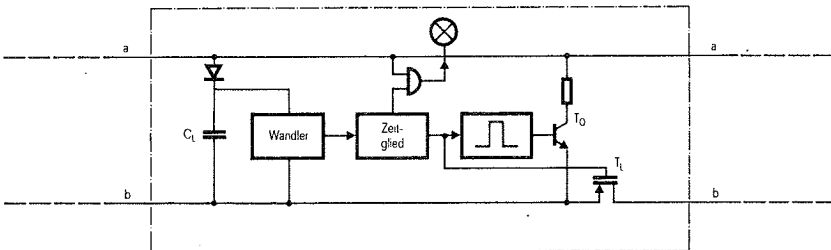


Bild 3 Pulsmelder-Prinzipschaltbild

spannung $u(t)$ wird erhöht, um die Ladekondensatoren C_L aller Bausteine aufzuladen. Danach beginnt der nächste Abfragezyklus.

Die Meßwerte $M_1, M_2 \dots M_{30}$ werden in der Zentrale digitalisiert, gespeichert und verarbeitet. Da jeder Meßwert seinem Melder fest zugeordnet ist, kann die betreffende Melderadresse im Falle eines Alarmes oder einer Störung in der Zentrale angezeigt werden. Eine Anzeige am Melder könnte entfallen - wenn die örtliche Markierung angesprochener Melder nicht gewissermaßen zum Gewohnheitsrecht geworden wäre. Als Zugeständnis an das altbewährte wurde die Individualanzeige auch bei den Pulsmeldern beibehalten, zumal die dafür erforderliche Elektronik für Parallelanzeigen und Steuerbausteine ohnehin vorhanden sein muß. Soll eine solche Anzeige oder ein Steuervorgang ausgelöst werden, so senkt der Microprozessor in der Zentrale die Linien-spannung kurz ab. Der Baustein, in dessen Meßintervall der so entstehende Steuerimpuls u_{st} fällt - im Beispiel von Bild 1 und Bild 2 ist es die Parallelanzeige 3 -, gibt einen Steuerimpuls aus. Dieser Steuerimpuls erregt bei Meldern oder Parallelanzeigen eine Elektroluminiszenzdiode. Bei Steuerbausteinen schließt ein potentialfreier Kontakt K_{ST} .

Dieses Pulsmelde - Prinzip bietet für die Alarmorganisation, die Betriebszuverlässigkeit und die Unterdrückung von falschen Alarmen eine Reihe entscheidender Vorteile:

Vorteile bezüglich der Alarmorganisation

Die Microprozessor - Zentrale identifiziert den Ursprung jeder Meldung. Sie zeigt bei einem Alarm bzw. bei einer Störung die Adresse des ersten Melders einer Linie an, auf dessen Meßwert hin die Meldung erfolgt. Eine Anzeige aller weiteren Adressen bei Mehrfachmeldungen ist höchstens bei Großanlagen mit eigenen Betriebswarten sinnvoll. Bei den üblichen kleineren oder mittelgroßen Anlagen würde der Pförtner, der die Bedienung zu übernehmen hat, durch viele Anzeigen eher verwirrt werden.

Der Hauptvorteil der Einzelmelder - Identifizierung ist darin zu sehen, daß die Linienführung allein nach baulichen Gesichtspunkten optimiert werden kann. Unabhängig von dieser lassen sich die Melder

einer Linie völlig freizügig nach brandschutztechnischen Anforderungen zu drei sog. Meldebereichen zusammenfassen.

Die getrennte Erfassung von Räumen mit unterschiedlichen Brandrisiken - z.B. Rechenzentren inmitten von Büroräumen - erfordert nicht mehr die Verlegung getrennter Melderlinien.

Jeder Meldebereich (Bild 4) verfügt über eine eigene Alarm- und Störungsanzeige und ist deshalb mit einer herkömmlichen Brandmelder-Linie gleichzusetzen. Mit anderen Worten, eine Pulsmelder-Linie leistet bei erheblich geringerem Verdrahtungsaufwand brandschutztechnisch soviel wie drei herkömmliche Brandmelder-Linien.

Vorteile bezüglich der Betriebszuverlässigkeit

Herkömmliche Brandmelder-Linien werden dauernd automatisch auf Drahtbruch und Erdschluß überwacht. Eine Kontrolle der Wandlerfunktion und der Melder-Elektronik erfolgt nur im Rahmen der vorgeschriebenen Wartungszyklen.

Bild 5 veranschaulicht, was innerhalb der Wartungsintervalle geschehen kann: Durch die Alterung von Bauelementen, vor allem aber durch Verstaubung oder Verschmutzung kann der Arbeitspunkt des Melders wegdriften. Entfernt sich der Ruhewert u_{M0} von der Ansprechschwelle des Melders, so wird der Melder empfindlicher, was sich bis zur völligen Unwirksamkeit steigern kann. Aus Sicherheitsgründen werden die Melder im allgemeinen so ausgebildet, daß eine Verschmutzung eher ein Abdriften des Ruhewertes zur Alarmschwelle hin bewirkt. Das vergrößert dann natürlich die Falschalarm-Wahrscheinlichkeit.

Beim Pulsmelde-System fragt der Microprozessor in der Zentrale die Meßwerte aller Melder etwa sekundlich ab und errechnet sich für jeden Melder den gleitenden Mittelwert u_{M0} (Bild 6). Droht ein Melder-Ruhewert aus dem zulässigen Arbeitsbereich zu driften, so wird in der Nebenmelderzentrale beim Überschreiten der oberen oder unteren Grenze u_{vw} für den betreffenden Melder ein Signal "Vorbeugende Wartung" gesetzt. Der Wartungsbeauftragte kann sich durch Abfragen dieser Signale jederzeit ein Bild über die Funktionstüchtigkeit der Anlage verschaffen und danach den nächsten Wartungstermin bestimmen.

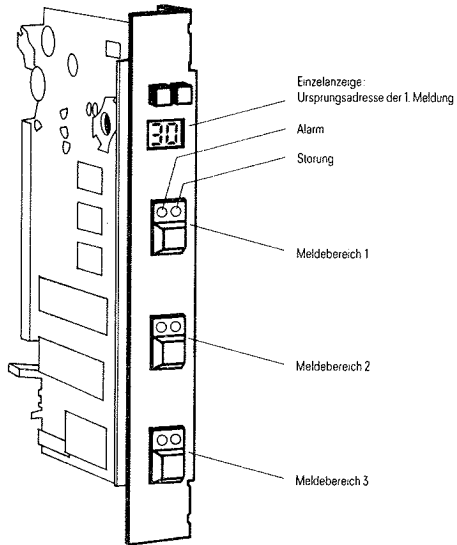


Bild 4 Einschub 3B MS8 des Pulsmeldesystems

Folgen einer Ruhewert-Abdrift bei einem herkömmlichen Schwellwertmelder:

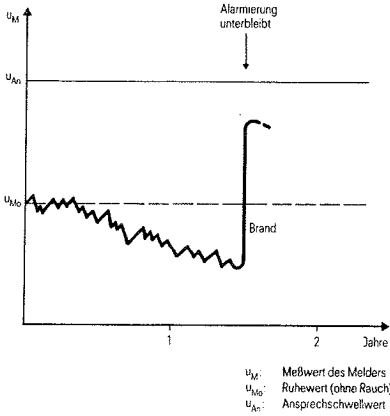


Bild 5a Melder wird unempfindlicher

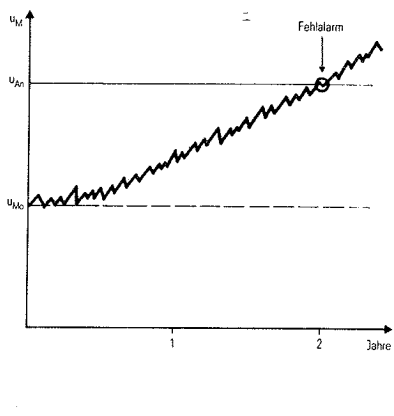


Bild 5b Melder wird empfindlicher

Folgen einer Ruhewert-Abdrift beim Pulsmeldesystem:

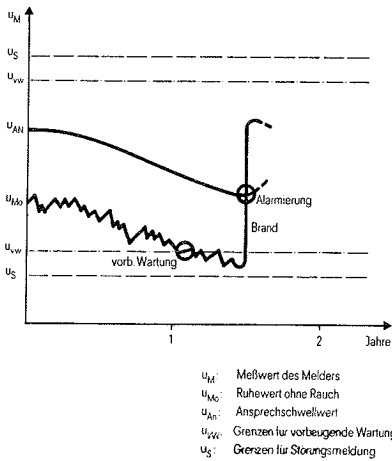


Bild 6a Ansprechempfindlichkeit bleibt gleich
Zulässiger Arbeitsbereich wird überwacht

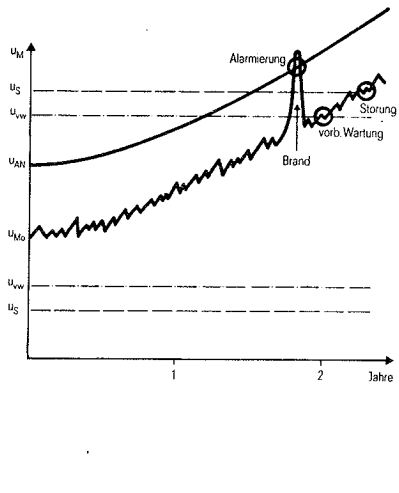


Bild 6b Ansprechempfindlichkeit bleibt gleich
Zulässiger Arbeitsbereich wird überwacht

Driftet ein Melder-Ruhewert aus dem durch die Grenzen u_s bestimmten zulässigen Arbeitsbereich heraus, so leuchtet die Störungsanzeige des betreffenden Meldebereiches auf.

Vorteile bezüglich der Falschalarmunterdrückung

Falschalarme werden unterteilt in Fehlalarme, die auf eine Fehlfunktion von Meldern zurückzuführen sind und Täuschungsalarme mit brandähnlichen Ereignissen als Ursache (Bild 7). Analysen haben ergeben, daß Falschalarme etwa zu gleichen Teilen auf Fehlalarmen und Täuschungsalarmen beruhen. Wie Bild 5b zeigt, können Verstaubung, Feuchte, Wind und Insekten sowohl die Fehlalarmrate als auch die Täuschungsalarmrate steigern, indem sie bei herkömmlichen Schwellwertmeldern den Abstand zur Ansprechschwelle u_{AN} verringern. Mit abnehmenden Abstand zwischen dem Ruhewert u_{MO} und dem Ansprech-Schwellwert u_{AN} bewirken auch kleinere Ereignisse - seien es Fehl- oder Täuschungseinflüsse - falsche Alarme.

Um diesen sehr unerwünschten Effekt zu vermeiden, wird beim Pulsmelde-System die Ansprechschwelle u_{AN} eines jeden Melders nachgeführt sofern sein Ruhewert u_{MO} sich verändert (Bild 6a,b). Auf diese Weise ergibt sich im ganzen zulässigen Arbeitsbereich eine konstante Ansprechempfindlichkeit (Maßnahme 1 in Bild 7).

Bei herkömmlichen Schwellwertmeldern führt auch ein äußerst kurzes Überschreiten der Ansprechschwelle zum Setzen einer Kippstufe, die den Alarmzustand in dem betreffenden Melder speichert. Das Ansprechen dieser Kippstufe auf elektromagnetische Beeinflussungen ist eine häufige Fehlalarmursache.

Das Pulsmelde-System enthält keine solche Kippstufe, weder in den Meldern noch in der Zentrale. Damit können auch solche Fehlalarme nicht mehr auftreten (Maßnahme 2 in Bild 7).

Eine sichere Unterscheidung von Brandkenngrößen und Täuschungsgrößen ist schwierig, weil zu letzteren auch Rauche von Nutzbränden gezählt werden (Zigaretten- und Pfeifenrauch, Autoabgase, Kartoffelfeuer auf einem benachbarten Feld,...), die sich vom Rauch eines Schadensfeuers nicht unterscheiden. Man kann sich diesem Dilemma entziehen, indem man alle Brände zu Nutzbränden erklärt bei denen Menschen zugegen sind. Geht man von der Annahme aus, daß alle Räume während der regulären Arbeitszeit in einem Betrieb besetzt sind so genügt es, Alarme nur im Zeitraum

Fehlalarme (~50%)

- Elektrische Beeinflussung (Blitz, Leuchtstofflampen, Radio)

Täuschungsalarme (~50%)

- Brandähnliche Ereignisse (Kunststoffverarbeitung)
- Nutzbrände (Zigarettenrauch, Fahrzeugabgase)

Verstaubung, Feuchte, Wind, Insekten

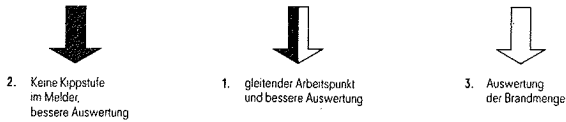


Bild 7 Maßnahmen zur Senkung der Fehlalarmraten beim Pulsmeldesystem

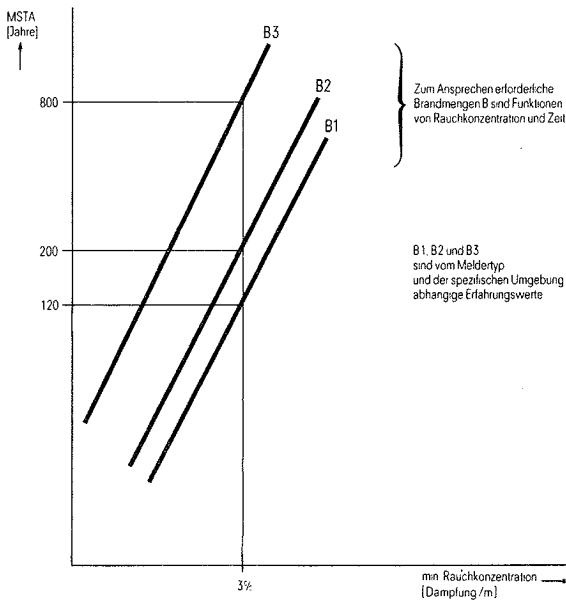


Bild 8 Mittlerer Störstand MSTA zwischen 2 falschen Alarmen eines Melders als Funktion der zur Alarmierung erforderlichen Rauchkonzentration und Brandmenge beim Pulsmelder

nach Feierabend bis Dienstbeginn automatisch zur Feuerwehr durchzuschalten. Dieses Verfahren wird allerdings in der Bundesrepublik Deutschland vom Verband der Sachversicherer nicht anerkannt, mit einigem Recht wie ich meine. Die Gefahr einer Alarmunterdrückung bzw. -verzögerung durch eine solche Tag/Nacht-Umstellung an Feiertagen, bei Kurzarbeit oder anderen außerordentlichen Ereignissen sollte nicht übersehen werden. Sicherer erscheint es uns, eine automatische Brandmeldeanlage erst bei einer etwas größeren Rauchentwicklung ansprechen zu lassen - in der Annahme, daß Täuschungsgrößen diese Rauchmenge nicht erzeugen - als den Menschen als unzuverlässiges Glied in den Alarmierungsvorgang einzubauen.

Selbstverständlich muß das Ansprechverhalten einer Brandmeldeanlage auf das Brandrisiko eines Objektes abgestimmt sein. Beim Pulsmelde-Verfahren ist das dadurch möglich, daß man "Brandmengen" definiert, bei denen die Anlage alarmieren soll. Die Brandmenge ist als Funktion von Rauchkonzentration und Zeit zu verstehen und kann als Parameter in den die Melder-Meßwerte auswertenden Microprozessor eingegeben werden (Maßnahme 3 in Bild 7).

Bild 8 zeigt, daß der mittlere Störabstand MSTa zwischen zwei falschen Alarmen eines Melders in hohem Maße von den zum Ansprechen erforderlichen Brandmengen abhängt. Wesentlich ist auch, bei welcher minimalen Rauchkonzentration die Berechnung der aktuellen Brandmenge im Microprozessor beginnen soll, um beim Erreichen von B1, B2 oder B3 den Alarm auszulösen. Deswegen ist diese minimale Rauchkonzentration auf der Abszisse des Kennlinienfeldes aufgetragen.

Es wird in Zukunft möglich sein, solche Kennlinienfelder für jede typische Umgebung (Bürogebäude, Metallwerkstätte, Holzverarbeitender Betrieb ...) zu erstellen, um Prognosen über die zu erwartende Falschalarmwahrscheinlichkeit abgeben zu können. Bei einer Pulsmelde-Anlage könnte jeder Melder auch als Meßmelder zur Datensammlung für die Erstellung solcher Kennlinienfelder genutzt werden. Es wird damit möglich sein, Erfahrungen von einer Anlage auf andere zu übertragen - eine weitere Art von "verteilter Intelligenz"!

Prof. Dr.-Ing. H. Luck
Dipl.-Ing. K.-R. Hase
Universität Duisburg, Deutschland

Automatische Brandmelder als Signaldetektoren

(Signal detection aspects in automatic fire detection)

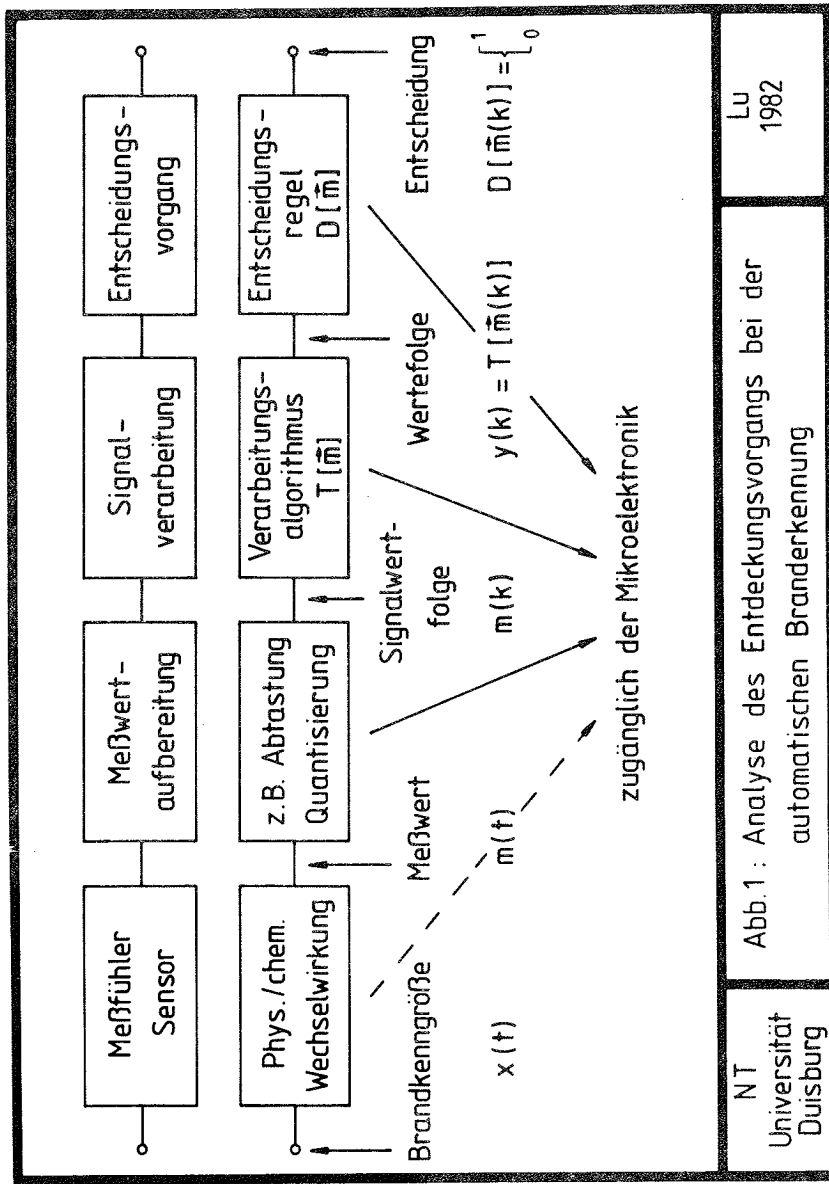
1. Einleitung

Fortschritte der technischen Entwicklung, die der Anwendung zugute kommen, werden in der Regel von zwei Vorgängen verursacht; nämlich

- durch das Aufkommen grundsätzlich neuer Ideen. So hat z.B. die Entdeckung des elektrodynamischen Prinzips eine fast unabsehbare Anwendungswelle verursacht, die die elektrotechnische Industrie revolutionierte.
- durch das Aufkommen neuer technologischer Lösungsmöglichkeiten zu angemessenem Preis. So stellt die moderne Mikroelektronik Möglichkeiten zur Signalverarbeitung zur Verfügung, die noch längst nicht voll ausgenutzt worden sind.

Der zweite Gesichtspunkt gilt zur Zeit auch für die automatische Brandentdeckung. Dabei kann sowohl die Verbesserung der Systemorganisation (also z.B. Alarmsignalweiterleitung; automatische Anlagenüberwachung; Anzeige; Komfort bei der Anlagenbedienung) als auch der Entdeckungsvorgang selbst betrachtet werden. Letzteres soll Gegenstand des folgenden Aufsatzes sein. Dazu sei eine kurze Analyse der Struktur des Entdeckungsvorgangs bei der automatischen Branderkennung vorangestellt.

Ziel der automatischen Brandentdeckung ist, ohne direktes menschliches Zutun, also nur mit technischen Mitteln, ein beginnendes Schadenfeuer so schnell wie möglich und mit akzeptierbarer Fehlerrate zu entdecken und in geeigneter Weise anzuzeigen. Die grundsätzlich bei allen Brandmeldesystemen mögliche Struktur des Entdeckungsvorgangs ist in Abb. 1 skizziert. Die Brandkenngröße $x(t)$ kann direkt nicht beobachtet werden. Sie muß zunächst mit Hilfe einer physikalischen oder chemischen Wechselwirkung (z.B. thermo-elekt. bei Temperaturmeldern, Ionisationskammer-Prinzip bzw. opt. Streulichtprinzip bei Rauchmeldern) in einen Meßwert $m(t)$ umgeformt werden. Dieser Vorgang wird in dem vorliegenden Auf-



NT
 Universität
 Duisburg

Abb.1 : Analyse des Entdeckungsvorgangs bei der
 automatischen Branderkennung

satz nicht weiter behandelt. Der Meßwert $m(t)$ enthält alle auswertbare Informationen über ein zu entdeckendes Schadenfeuer in der Umgebung des Melders oder enthält eine solche Information nicht. Leider wird sie manchmal vorgetäuscht, so daß ein Teil der in der Praxis auftretenden Fehlalarme auf eine solche Täuschung zurückgeführt werden muß [1]. Alle in Abb. 1 aufgeführten Funktionseinheiten sind modernen mikroelektronischen Lösungen zugänglich. Dabei kann bis auf den Sensor auf verfügbares technisches know-how zurückgegriffen werden. In Abschnitt 3 dieser Arbeit wird darüber hinaus auf neue technologische Möglichkeiten hingewiesen.

2. Struktur des Meßwerts $m(t)$ bei automatischen Brandmeldern

Der Meßwert $m(t)$ ist folgendermaßen darstellbar

$$(2.1) \quad m(t) = \begin{cases} s_j(t) + n(t) & \text{wenn ein Brandsignal vorhanden ist} \\ n(t) & \text{unter normalen Bedingungen (kein Schadenfeuer)} \end{cases}$$

mit $j \in \{1, \dots, J\}$.

Die Formel (2.1) weist den Meßwert $m(t)$ als aus zwei Summanden $s_j(t)$ und $n(t)$ zusammengesetzt aus, von denen angenommen wird, daß sie in jeder Beziehung unabhängig voneinander sind. $\{s_j(t)\}$ bezeichnet die Menge der unter Brandbedingungen möglichen, verschiedenen Signale $s_j(t)$. $n(t)$ soll den Meßwertverlauf ohne Brandeinfluß charakterisieren. Von beiden Meßwertkomponenten wird angenommen, daß sie Zufallscharakter haben, also mit den Methoden der statistischen Signaltheorie beschrieben werden können. Über die speziellen Eigenschaften der Meßwertkomponenten ist nur wenig bekannt oder aus Veröffentlichungen zugänglich. Im folgenden wird eine Analyse der allgemeinen Eigenschaften von $\{s_j(t)\}$ und $n(t)$ - und damit auch $m(t)$ - mit dem Ziel versucht, daraus Schlüsse für die Gestaltung des Entdeckungsvorgangs zu ziehen.

Dazu wird angenommen, daß dem Detektor für jede Entscheidung der Verlauf der Meßgröße $m(t)$ über eine Beobachtungsdauer T_0 zur Verfügung steht. Dabei können sich die zur Entscheidung herangezogenen Meßwertverläufe

$$m(t) \text{ mit } t_{k-1} < t \leq t_k \text{ und} \\ k = -\infty, (1), +\infty$$

durchaus zeitlich überlappen, so daß der Abstand der Entscheidungszeitpunkte

$$\Delta t = t_k - t_{k-1}$$

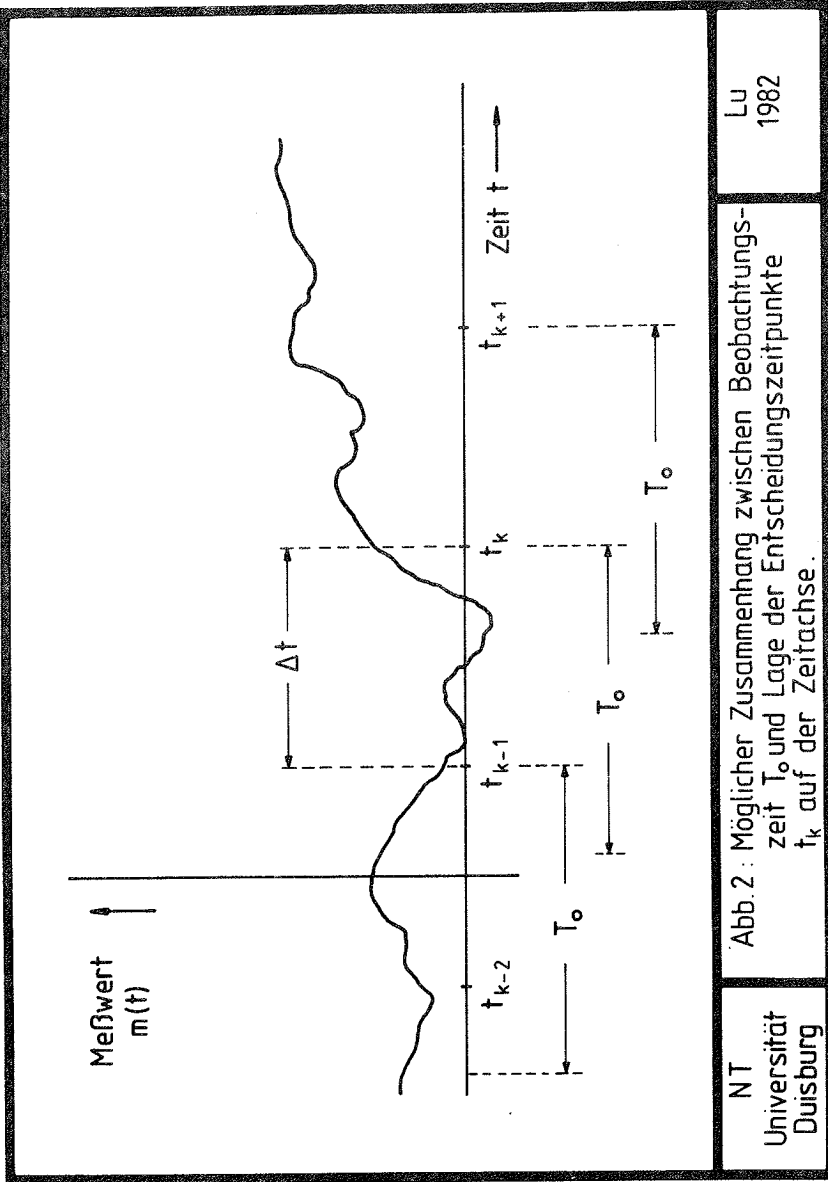
durchaus kleiner sein kann als die Beobachtungsdauer T_0 . |2| Für die praktische Anwendung muß die Beobachtungsdauer T_0 so gestaltet werden, daß ein auftauchendes Brandsignal $s_j(t)$ zum frühest möglichen Zeitpunkt t_k entdeckt werden kann. Abb. 2 zeigt ein mögliches Beispiel für den Zusammenhang zwischen Beobachtungszeit T_0 und der Lage der Entscheidungszeitpunkte t_k auf der Zeitachse. Es ist festzuhalten, daß für alle praktisch auftretenden Fälle die Beobachtungszeit T_0 endlich ist, d.h. nicht beliebig ausgedehnt werden kann.

Die Brandentdeckung selbst hat nur zwei verschiedene Zustände zu unterscheiden:

- a) Die während der Beobachtungszeit T_0 gemessene Größe $m(t)$ enthält eines der möglichen Brandsignale $s_j(t)$.
- b) Das Brandsignal fehlt in $m(t)$.

Selbst bei weitgehender Unkenntnis über die speziellen Eigenschaften von $s_j(t)$ und $n(t)$ kann man folgende Aussagen machen und folgende Schlüsse daraus ziehen:

- Für die Brandentdeckung werden Transformationen $T[m(t)]$ der Meßgröße $m(t)$ gesucht, deren Ergebnis die beiden Zustände möglichst gut unterscheidet. Die Transformationen können als mathematisch formulierte Rechenregeln (Algorithmen) aufgefaßt werden.
- Die Algorithmen $T[m(t)]$ müssen in erster Linie dadurch gefunden werden, daß man diejenigen Eigenschaften der Signalkomponenten $s_j(t)$ betrachtet, die allen verschiedenen $s_j(t)$ gemeinsam sind. Es ist von vornherein nicht bekannt, welches der möglichen Brandsignale $s_j(t)$ im aktuellen Brandfall vorliegt.
- Der "störende" Signalanteil $n(t)$ muß vom Verarbeitungsalgorithmus möglichst unwirksam gemacht werden.



Lu
1982

Abb. 2 : Möglicher Zusammenhang zwischen Beobachtungszeit T_o und Lage der Entscheidungszeitpunkte t_k auf der Zeitachse.

NT
Universität
Duisburg

Die moderne Theorie der Signalerkennung kennt eine Mehrzahl von Verfahren zur Lösung der oben formulierten Aufgabenstellung, die jedoch weitgehend auf spezielle Eigenschaften von $s_j(t)$ und $n(t)$ zugeschnitten sind (siehe z.B. [3]). Da im vorliegenden Fall aber nur sehr allgemeine Eigenschaften der Signalkomponenten formulierbar sind, wird folgendermaßen vorgegangen:

- Es werden aus den allgemein angebbaren Eigenschaften der Brandsignale $\{s_j(t)\}$ Verarbeitungsalgorithmen abgeleitet, die das Brandsignal dann optimal entdecken, wenn die Störkomponente $n(t)$ fehlt. Auf diese Weise ergeben sich an die Brandsignale $\{s_j(t)\}$ angepasste Signaldetektoren [4].
- Das Verhalten der so gefundenen Signaldetektoren (Branddetektoren) wird dann unter den Bedingungen untersucht, die sich durch Hinzufügen der Störkomponente $n(t)$ ergeben.

Es ist also zunächst nötig, allgemein angebbare Eigenschaften der Brandsignale $\{s_j(t)\}$ zu finden, die möglichst unabhängig von der zugehörigen Bandkenngröße sind. In Abb. 3 ist als Beispiel das Meßergebnis aus Messungen in einem Brandversuch angegeben. Dabei soll angenommen werden, daß für diese Messung die Störkomponente $n(t)$ keine Rolle spielt, daß also mit genügender Genauigkeit

$$m(t) \approx s_j(t)$$

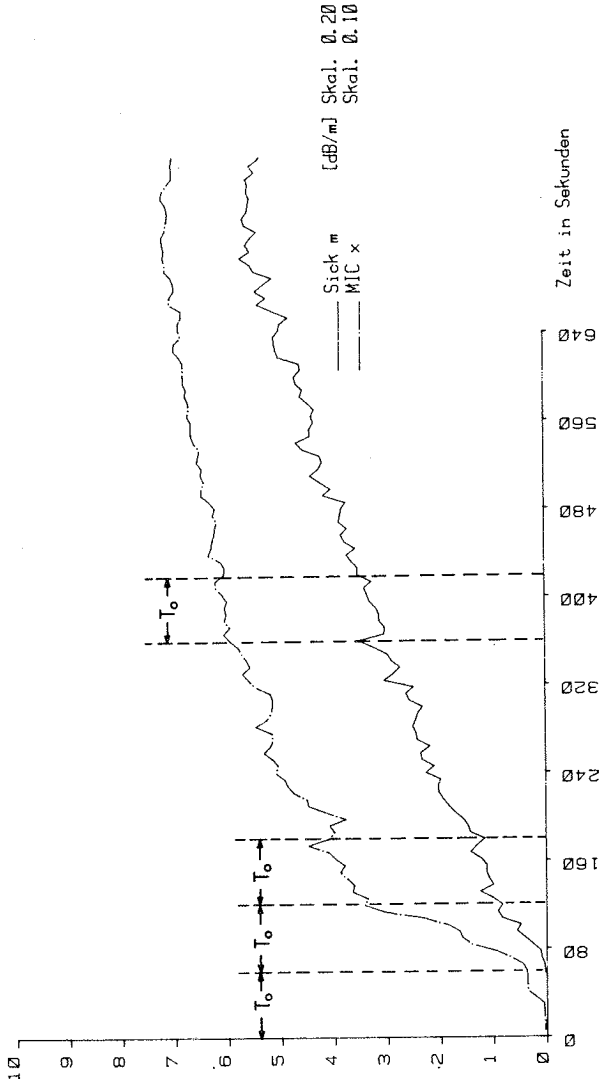
gilt. Aus der Darstellung in Abb. 3 erkennt man zwei wesentliche, allgemeine Eigenschaften der Brandsignale, die unmittelbar ablesbar sind. Zu diesem Zweck ist beispielhaft eine Beobachtungszeit von $T_0 = 60$ sek. für den Detektor angenommen und in die Abb. 3 eingetragen worden.

- I.) Für jede der dargestellten Brandsignalarten $s_j(t)$ und für nahezu jedes Beobachtungsintervall der Länge T_0 ist ein sog. verallgemeinerter Schwellenwert $m_0(t)$ im Beobachtungsintervall der Länge T_0 mit der Eigenschaft angebar, daß

$$(2.2) \quad s_j(t) > m_0(t) \quad \text{für alle } t \text{ aus dem jeweils betrachteten Beobachtungsintervall.}$$

In Abb. 4 sind mögliche Verläufe des verallgemeinerten Schwellenwertes $m_0(t)$ eingetragen. Diese Eigenschaft des Brandsignals

Versuch B 4/3 Dieselölbrand



Lu
1982

Abb. 3: Typische Verläufe von Brandsignalen

NT
Universität
Duisburg

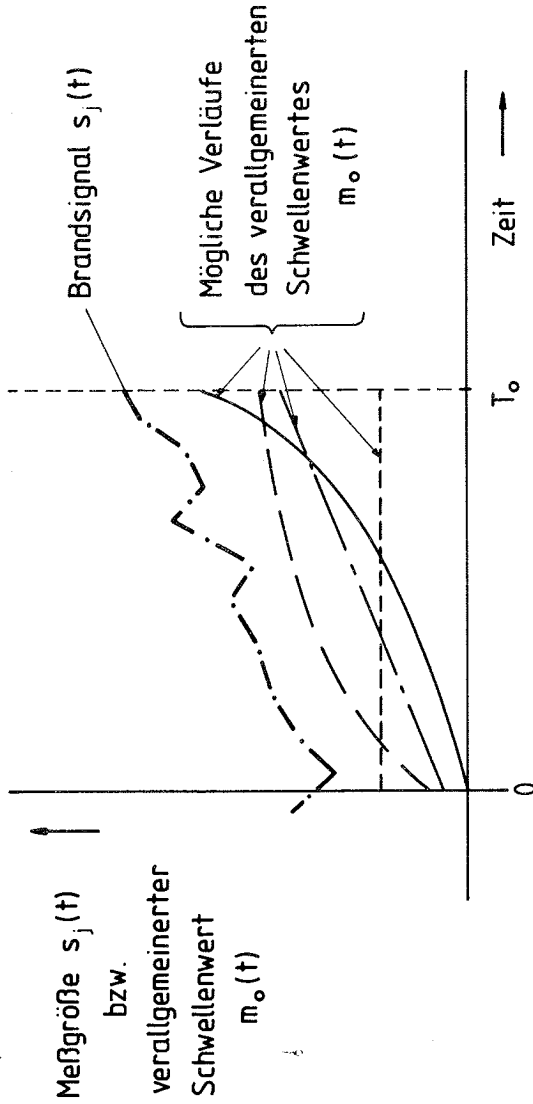


Abb. 4: Beispiel für mögliche Verläufe eines verallgemeinerten Schwellenwertes $m_o(t)$ für Branddetektoren.

NT
Universität
Duisburg

Lu
1982

$\{s_j(t)\}$ hängt stark von dem jeweils angewendeten Meßverfahren $(x(t) \rightarrow m(t))$ (siehe Abb. 1) ab. Sehr wesentlich ist hierbei auch die Festlegung des Nullpunktes für die Meßgröße $m(t)$ und ihre zeitliche Konstanz.

II.) Die Brandsignale $s_j(t)$ zeigen (siehe die Beispiele in Abb. 3) alle in jedem denkbaren Beobachtungsintervall der Länge T_0 einen "ansteigenden Trend". Dieser Trend ist mit der Aussage

$$\frac{d}{dt} s_j(t) > 0 \quad \text{für alle } t \text{ im Beobachtungsintervall der Länge } T_0$$

nicht eindeutig beschreibbar.

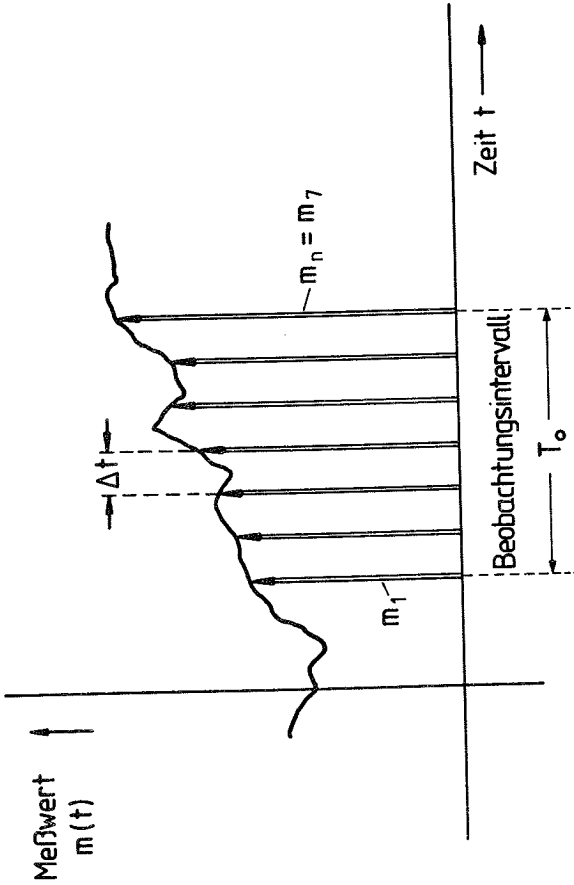
Es ist für diesen Zweck nützlicher, eine andere Beschreibungsweise anzugeben, die auch hinreichend einfach in eine moderne elektronische Realisierung umgesetzt werden kann. Dazu werden der Meßwert $m(t)$ und seine Komponenten $s_j(t)$ und $n(t)$ in geeigneter Form als Abtastwerte im Beobachtungsintervall dargestellt, so daß sich entsprechende Meßwert- bzw. Signalvektoren \vec{m} ergeben (siehe zur ausführlichen Darstellung [4]).

$$(2.3) \quad m(t) \rightarrow \vec{m} = \begin{bmatrix} m_1 \\ \vdots \\ m_i \\ \vdots \\ m_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 = s_{j1} + n_1 \\ \vdots \\ m_i = s_{ji} + n_i \\ \vdots \\ m_n = s_{jn} + n_n \end{bmatrix}$$

$$s_j(t) \rightarrow \vec{s}_j = \begin{bmatrix} s_{j1} \\ \vdots \\ s_{ji} \\ \vdots \\ s_{jn} \end{bmatrix} \quad \text{und} \quad n(t) \rightarrow \vec{n} = \begin{bmatrix} n_1 \\ \vdots \\ n_i \\ \vdots \\ n_n \end{bmatrix}$$

Abb. 5 zeigt ein Beispiel für die Abtastung eines solchen Meßwertes. Das Ergebnis ist also die Darstellung des Meßwertes im Beobachtungsintervall durch eine endliche Folge von Werten (= Komponenten des Meßwertvektors), die nach geeigneter Quantisierung ($\hat{=}$ Darstellung durch Zahlen) zur Weiterverarbeitung einem Rechner oder auch Mikroprozessor zugeführt werden können.

Vergleicht man die Komponenten m_i eines Meßwertvektors \vec{m} entsprechend ihrer Größe miteinander, so kann man jeder Komponente den ihr zukommenden Rang im Meßwertvektor zuordnen. Dieses in der mathematischen Statistik [5] und in der Signaltheorie [4]



Lu
1982

Abb. 5: Abtastung eines Meßwertes

NT
Universität
Duisburg

bestens bekannte Verfahren ordnet jedem Meßwertvektor \vec{m} einen Rangvektor \vec{r}_m zu.

$$(2.4) \quad \vec{m} = \begin{bmatrix} m_1 \\ \vdots \\ m_i \\ \vdots \\ m_n \end{bmatrix} \longleftrightarrow \vec{r}_m = \begin{bmatrix} r_{m_1} \\ \vdots \\ r_{m_i} \\ \vdots \\ r_{m_n} \end{bmatrix}$$

dabei ist r_{m_i} der Rang, der der Komponente m_i des Meßwertvektors \vec{m} entsprechend ihrer Größe im Vergleich zu den anderen Komponenten zukommt.

Mit Hilfe dieser Darstellung kann jede Art Trend eines Signals in der Beobachtungszeit T_0 einfach und eindeutig beschrieben werden. Danach haben z.B. alle streng monoton ansteigenden Meßwertverläufe einen Rangvektor, dessen Komponenten der natürlichen Zahlenordnung folgen:

$$(2.5) \quad \vec{r}_{nat} = \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ i \\ \vdots \\ n \end{bmatrix}$$

Aus dem zuvor Gesagten ergibt sich, daß die Brandsignalverläufe $s_j(t)$ Rangvektoren haben, die dem oben gezeigten \vec{r}_{nat} sehr nahe kommen. Die Berechnung der Rangvektoren \vec{r}_m bei bekanntem Meßwertvektor \vec{m} ist in der einschlägigen Literatur ausführlich behandelt und kann hier überschlagen werden [4; 5; 6].

Es sei darauf hingewiesen, daß zur Beschreibung der Eigenschaft II (Trend) benutzte Methode der Signalbeschreibung durch Signalvektoren auch dazu benutzt werden kann, die Eigenschaft I (verallgemeinerte Schwellenwertüberschreitung) näher zu kennzeichnen. Diese lautet dann (vergl. 2.2):

$$(2.6) \quad \vec{s}_j > \vec{m}_0 \quad \text{d.h.} \quad s_{j_i} > m_{0_i} \quad \text{für alle } i$$

wobei $\vec{m}_0 = \begin{bmatrix} m_{0_1} \\ \vdots \\ m_{0_i} \\ \vdots \\ m_{0_n} \end{bmatrix}$ ein entsprechender Schwellenwertvektor ist.

Weitergehende als die Eigenschaften I und II sind zunächst für

Brandsignale nicht angebar. Beide Eigenschaften können dem Konzept von Brandmeldern zugrundegelegt werden.

3. Detektionsfilter vom Typ verallgemeinerter "matched filter" für die Brandentdeckung

Für die folgenden Überlegungen wird vorausgesetzt, daß die in Abschnitt 2 besprochenen Eigenschaften I (verallgemeinerte Schwellenwertüberschreitung) und II (ansteigender Trend) die dominierenden im Brandsignal sind. Sieht man vorerst von der Wirkung der Störkomponente $n(t)$ (siehe 2.1) ab, so muß ein automatischer Brandmelder auf Meßgrößen ansprechen, die die Eigenschaften I und/oder II aufweisen. Es sind also, nachrichtentechnisch gesprochen, Detektionsfilter gesucht, die im allgemeinen Sinn "matched filter" für Signalklassen mit den Eigenschaften I oder II sind. Solche Filtertypen sind aus der nachrichtentechnischen Literatur bekannt [4, 6]. Ausgehend von Kendall's verallgemeinertem Korrelationskoeffizienten [5] lassen sich solche an die Eigenschaften I oder II angepaßten Detektionsfilter (matched filter) leicht angeben. Ohne auf den theoretischen Hintergrund einzugehen, der in [4] ausführlich dargestellt ist, sollen Detektionsfilter für beide Signaleigenschaften im folgenden erläutert werden.

Signaleigenschaft I (verallgemeinerte Schwellenüberschreitung siehe (2.2) und (2.6)):

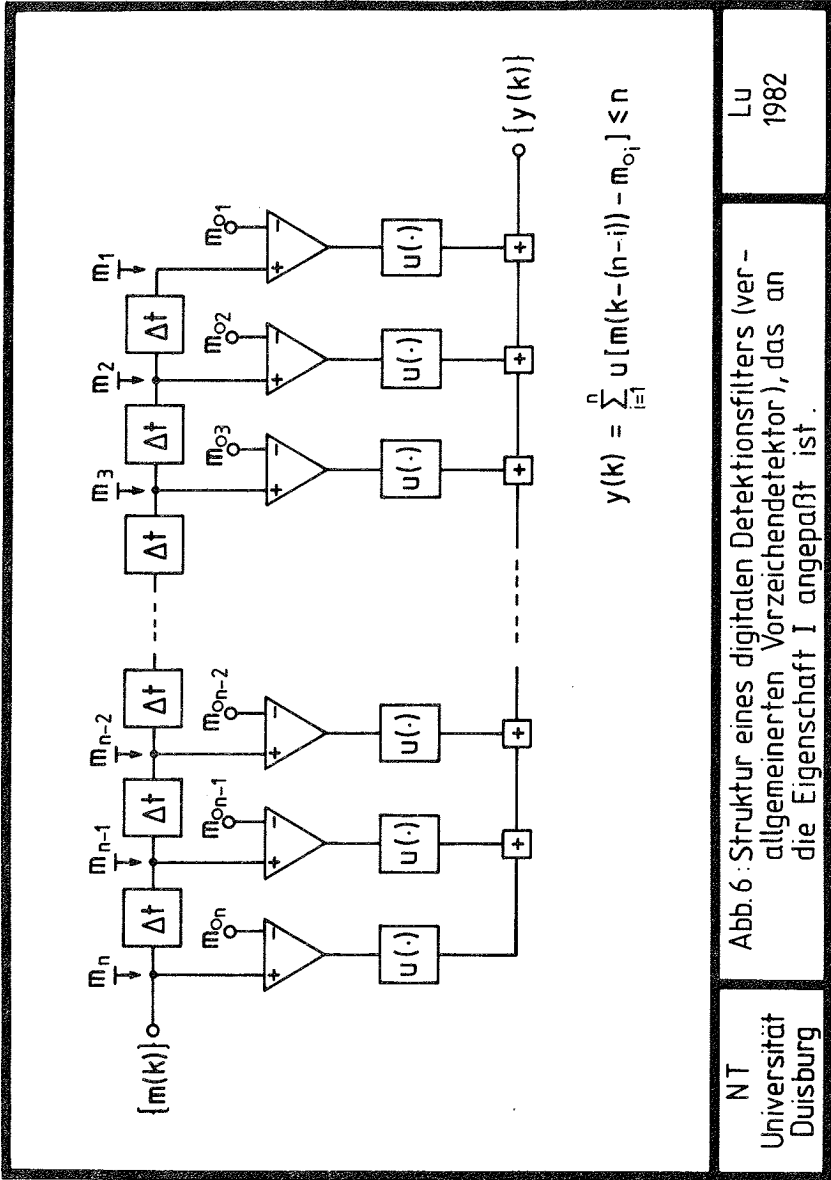
Das hierzu angepaßte Detektionsfilter läßt sich durch folgende Formel beschreiben:

$$(3.1) \quad y = \sum_{i=1}^n u(m_i - m_{0i}) \leq n$$

wobei

$$u(\xi) = \begin{cases} 1 & \text{für } \xi > 0 \\ 0 & \text{für } \xi \leq 0 \end{cases}$$

Formel (3.1) zeigt das Detektionsfilter, das in sehr einfacher Weise lediglich n Wertevergleiche durchzuführen und einen Zählprozess anzuschließen hat. Dieser Algorithmus kann entweder seriell mit Hilfe eines Mikrocomputers abgearbeitet oder parallel mit Hilfe eines nichtlinearen Digitalfilters realisiert werden. Abb. 6 zeigt eine solche Filterstruktur, die als verallgemeinerter Vorzeichendetektor bekannt ist.



NT
 Universität
 Duisburg

Abb. 6: Struktur eines digitalen Detektionsfilters (verallgemeinerten Vorzeichendetektor), das an die Eigenschaft I angepasst ist.

Lu
 1982

Signaleigenschaft II (ansteigender Trend siehe z.B. (2.5)):

Diese Signaleigenschaft läßt mehrere verschiedene angepaßte Detektionsfilter zu [4]. Die für die Realisierung einfachste Möglichkeit ergibt sich aus der Betrachtung eines Vorzeichen-Korrelations-Filters, das auf Signale mit der Eigenschaft (2.5), d.h. bei einem Rangvektor mit Komponenten nach der natürlichen Ordnung, angepaßt ist.

$$(3.2) \quad y_k = \frac{1}{\sqrt{E}} \sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n u(m_j - m_i) \leq \sqrt{\frac{n}{2}(n-1)}$$

mit

$$E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n u(m_j - m_i) \quad , \text{ so daß (3.2) einfacher in der Form}$$

$$(3.3) \quad y = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n u(m_j - m_i) \leq \frac{n}{2}(n-1)$$

geschrieben werden kann. Dieses Detektionsfilter ist als klassischer Kendall- τ Trenddetektor bekannt [4, 5, 6]. Die Formel (3.3) weist eine für die Realisierung unbequeme Doppelsumme auf, die aber durch Ausnutzung der rekursiven Eigenschaft des Kendall- τ Detektors umgangen werden kann. Es gilt

$$(3.4) \quad y(k) = y(k-1) - \sum_{i=1}^{n-1} u(m_i - m_0) + \sum_{i=1}^{n-1} u(m_n - m_i) ,$$

so daß nur zwei einfache Summen berechnet werden müssen. Außerdem muß der Wert $y(k-1)$, also von einer Taktzeit vorher, gespeichert werden. Auch hier ist eine serielle Abarbeitung mit Hilfe eines Mikrocomputers oder eine nichtlineare Digitalfilterstruktur für die technische Realisierung möglich. Abb. 7 zeigt ein solches Digitalfilter. Andere Strukturen für Trend-Detektionsfilter wie z.B. der klassische Spearman- ρ -Detektor sind ebenso leicht angebar [4]. Da in den meisten Fällen die rekursive Eigenschaft fehlt, ergeben sich aufwendigere Strukturen.

Sowohl beim verallgemeinerten Vorzeichendetektor als auch beim Trenddetektor (Kendall- τ) sind, wie die Abbildungen 6 und 7 zeigen, mikroelektronische Realisierungsmöglichkeiten gegeben. Sollen für eine möglichst sichere Brandentdeckung beide Brandsignaleigenschaft-

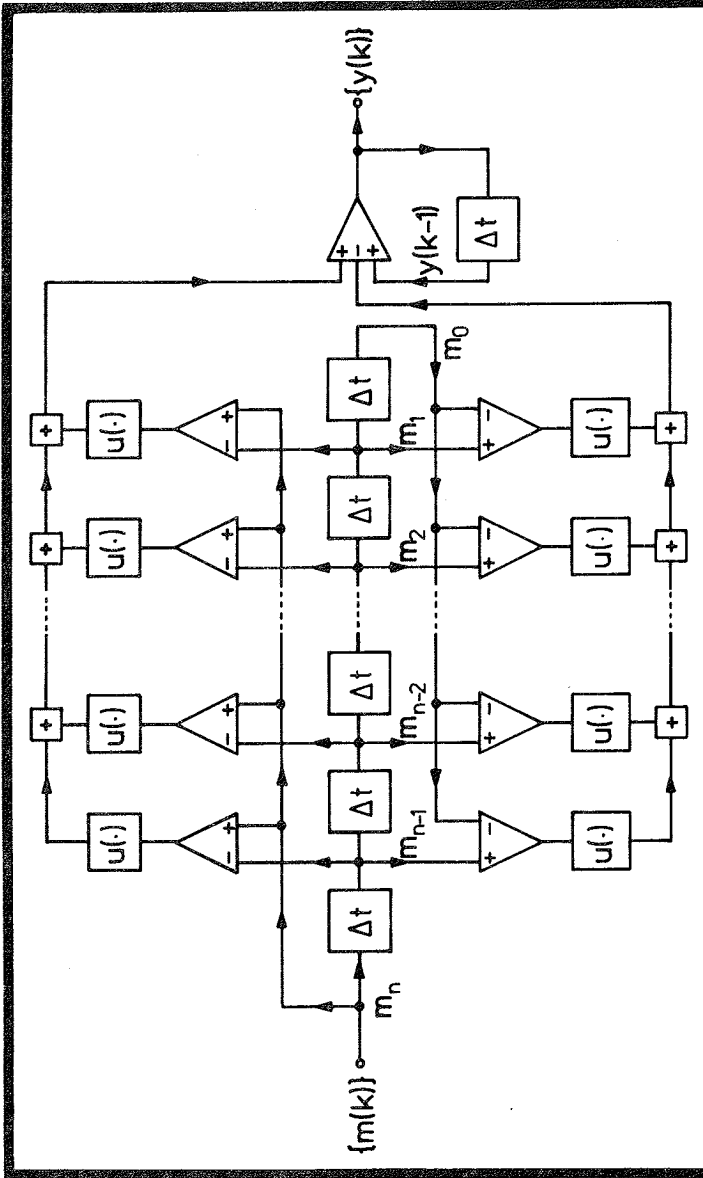


Abb. 7 : Struktur eines digitalen Trend - Detektionsfilters (Kendall - τ - Defektor), das an die Eigenschaft II angepaßt ist.

NT
Universität
Duisburg

Lu
1982

ten I und II ausgenutzt werden, so ist bei Anwendung des Koinzidenzprinzips eine Melderstruktur nach Abb. 8 sinnvoll.

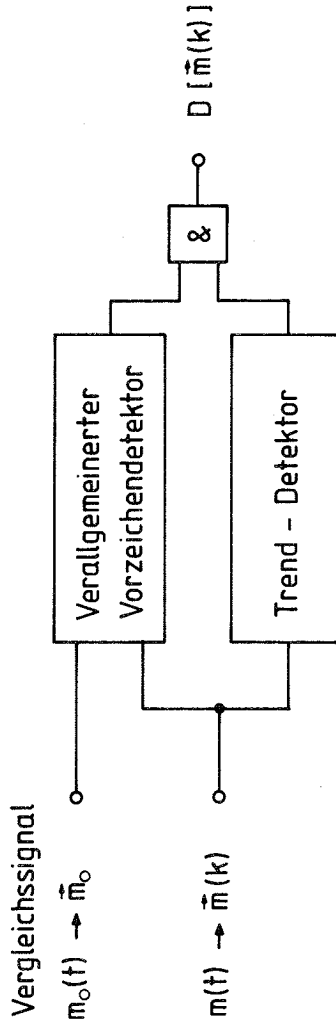
Die besprochenen Detektoren wurden in Form von Algorithmen beschrieben, deren Realisierungsstruktur als elektronische Schaltung angegeben wurde. Die Beschreibungen enthalten noch "freie" Parameter, die es gestatten, den Detektor auf das speziell vorliegende Brandentdeckungsproblem zuzuschneiden. Die Beobachtungszeit T_0 (siehe Abb. 2) wird sich sehr stark nach den Eigenschaften der zu erwartenden Brandsignale $s_j(t)$ und der Störkomponente $n(t)$ zu richten haben. Der Abstand der Entscheidungszeitpunkte Δt wird von der Schnelligkeit des Signalverarbeitungsvorganges bestimmt. Er muß sehr sorgfältig auf die mögliche Gefährdung des zu schützenden Objektes abgestimmt sein und muß eine ausreichend schnelle Brandmeldung garantieren.

Bei den bisher geführten Betrachtungen wurde die Wirkung der Störkomponente $n(t)$ (siehe (2.1)) nicht berücksichtigt und zur Konstruktion der Detektionsfilter nicht herangezogen. Sie bestimmt jedoch in der Praxis das Verhalten und die Wirksamkeit der Brandmelder ganz wesentlich mit. $n(t)$ wird stets Zufallscharakter haben und es wird mit großer Sicherheit für alle praktisch wichtigen Fälle gegeben sein, daß die Komponenten des Signalvektors \vec{n} statistisch voneinander abhängig sind. Damit ergeben sich für die Berechnung der Eigenschaften der betrachteten Detektorstrukturen unter Einwirkung der Störkomponente unüberwindliche Schwierigkeiten. Zur Ermittlung der Fehlalarmwahrscheinlichkeit und der Detektionswahrscheinlichkeit [3] muß die Methode der Simulation angewendet werden. Zu diesem Zweck wurde ein Detektormeßplatz aufgebaut, der solche Untersuchungsmöglichkeiten zur Verfügung stellt.

4. Detektormeßplatz zur Untersuchung von Brandmelderstrukturen

4.1 Begründung für die Notwendigkeit eines Detektormeßplatzes

Eine der wesentlichen Forderungen an einen solchen Meßplatz ist, die in der Umwelt möglichen Meßwerte so schnell zu generieren, daß die zu erwartenden Daten mehrerer Jahre in einem Zeitraum von wenigen Stunden simuliert werden können.

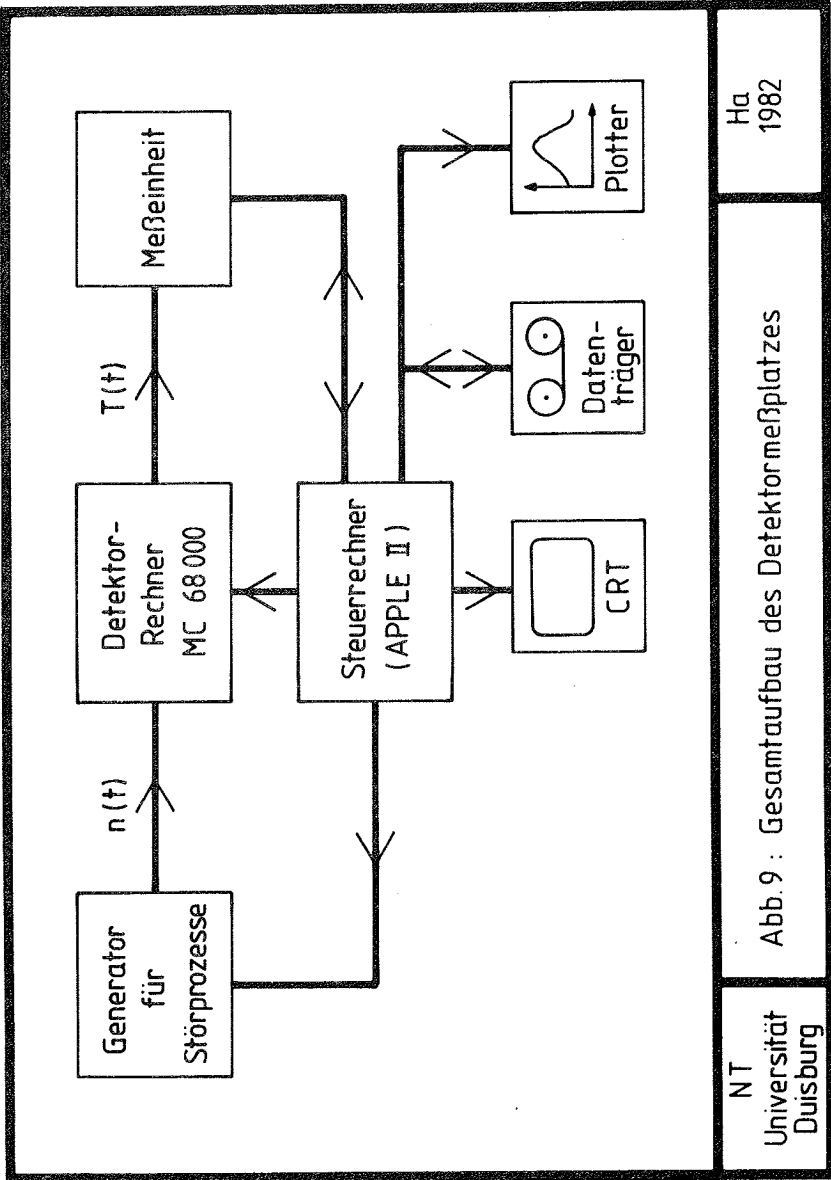


Für den Brandmelder sind zwei, im Grunde widersprüchliche Forderungen zu erfüllen. So soll er einerseits eine hohe Entdeckungswahrscheinlichkeit und andererseits eine möglichst niedrige Fehlalarmrate aufweisen. Um sich eine Vorstellung von der Größenordnung einer sinnvollen Fehlalarmrate zu machen, sei angenommen, daß ein Brandmelder alle 30 Sekunden einen Testwert (d.h. $\Delta t = 30$ sek.) ausgeben soll, die Fehlalarmrate aber so eingestellt werden muß, daß im Mittel nur einmal im Jahr ein Fehlalarm auftritt. Demnach muß bei 52560 Minuten im Jahr eine Wahrscheinlichkeit für Fehlalarme von weniger als 10^{-5} gefordert werden.

Möchte man bei einer Simulation einigermaßen zuverlässige Aussagen über das Verhalten einer Detektorstruktur in diesem Bereich haben, so sollte man im Experiment dafür sorgen, daß der Fehlalarm ca. 1000 mal ausgelöst wird. Das bedeutet aber, daß man mindestens 10^8 mal den Detektoralgorithmus abarbeiten lassen muß. Benötigt ein Großrechner nur 10 Mikrosekunden für jeden Detektorzyklus, so muß für ein solches Experiment eine Rechenzeit von 10^3 Sekunden \approx 16 Minuten veranschlagt werden. Hierzu kommen noch die Zeiten für die Generierung der Zufallszahlen des Störprozesses mit ca. 10 Minuten. Variiert man auch nur einen Parameter des Detektors oder der beteiligten Signalprozesse, so ergeben sich für die Untersuchung eines Brandmeldertyps immerhin schon mehrere CPU-Stunden Rechenzeit. Bei den üblichen Mehrbenutzersystemen lassen sich daher eingehende Untersuchungen an Detektoren nicht mehr mit der herkömmlichen Rechnersimulation durchführen.

Will man ein entsprechendes Simulationsprogramm auf einem Minicomputer laufen lassen, wie er üblicherweise für "single user"-Betrieb in Laboratorien zur Verfügung steht, so muß wegen der erheblich geringeren Verarbeitungsgeschwindigkeit mit einer Simulationsdauer gerechnet werden, die in der Größenordnung von Tagen liegt.

Diese Überlegungen haben zu dem Entschluß geführt, einen Meßplatz so aufzubauen, daß die Generierung der Zufallszahlen, die Abarbeitung des Detektoralgorithmus und die Meßwertvorverarbeitung parallel ablaufen können. Dabei wurden die zeitkritischen Komponenten als Hardware ausgeführt und nur diejenigen Teile, die bei den Untersuchungen häufig modifiziert werden müssen, unter Verwendung schneller Mikroprozessoren aufgebaut. Die Auswertung der so gefundenen Meßwerte übernimmt dann ein handelsüblicher Mikrorechner



NT
Universität
Duisburg

Abb. 9 : Gesamtaufbau des Detektormeßplatzes

Ha.
1982

(siehe Abb. 9)

4.2 Simulation von geeigneten Stör- und Signalprozessen

Die in der natürlichen Umwelt vorkommenden Störgrößen (z.B. Raumtemperatur) sind analoger Natur, d.h. sie lassen sich durch eine dimensionsbehaftete reelle Funktion darstellen, deren Definitionsbereich überabzählbar unendlich viele Werte hat. Bei der Simulation solcher analoger Vorgänge z.B. als Spannungsverlauf, ist man auf natürliche Rauschquellen (z.B. Halbleiter) angewiesen. Hierbei ist es jedoch in der Regel außerordentlich schwierig, die wesentlichen Parameter des Rauschsignals konstant zu halten, da Umgebungstemperatur, Versorgungsspannung, Alterung usw. hierauf Einfluß haben.

Wie oben gezeigt, werden jedoch nur die Signalwerte zu bestimmten Zeitpunkten betrachtet, so daß man eine Zahlenfolge erhält, wie man sie auch durch eine Abtastung hervorrufen kann. Zahlenfolgen lassen sich aber auch einfach auf einem Computer erzeugen und so hat sich für Simulationszwecke mit Zufallszahlen fast ausnahmslos die Generierung auf Rechnern durchgesetzt.

Hierbei tritt jedoch eine grundsätzliche Schwierigkeit auf. Rechner können nur einen deterministischen Rechenalgorithmus abarbeiten und erzeugen damit immer Zahlen, deren Werte im Prinzip eindeutig vorhersagbar sind. Genau das aber widerspricht der Definition des Zufälligen.

Man nennt solche Zahlen daher auch Pseudo-Zufallszahlen und hat eine Reihe von Testverfahren auf Zufälligkeit entwickelt, um die Verwendbarkeit solcher Generatoren beurteilen zu können. Einer der Vorzüge solcher Quellen ist der, daß sich ihre statistischen Eigenschaften nicht verändern und die Folgen exakt reproduzierbar sind, was bei vergleichenden Untersuchungen der Forderung nach konstanten Randbedingungen entgegenkommt.

In gleicher Weise, wie der Störprozeß als Zahlenfolge dargestellt wird, muß auch das zu detektierende Nutzsignal als Zahlenfolge realisiert werden. Bei den Problemen der Gefahrenmeldung kann man dieses Signal, wie oben dargestellt, ganz allgemein als monoton

steigende Funktion beschreiben. Solche Signale lassen sich sehr einfach erzeugen und bedürfen keines besonderen Generators. Sie werden daher als Teil der Detektoralgorithmen im Simulationsrechner programmiert.

4.3 Generierungsverfahren für den Störprozeß

Die vollständige Beschreibung beliebiger Zufallsprozesse ist bekanntermaßen nicht mit endlich vielen Parametern möglich. Bei der Modellierung von Zufallsprozessen kann man aber vielfach vom sog. "reinen Zufallsprozess" mit Gaußcharakter ausgehen, der sich mit nur zwei Momenten beschreiben läßt. Hierbei geht man davon aus, daß zwischen beliebig eng abgetasteten Werten einer Zeitfunktion keine statistische Abhängigkeit besteht. In Wirklichkeit muß aber bei Energieprozessen immer mit endlichen Beharrungsvorgängen gerechnet werden. Eine hinreichende, wenn auch nicht generell vollständige Beschreibung für die Beziehung aufeinanderfolgender Abtastwerte untereinander ist durch die Autokorrelationsfunktion (Akf) gegeben. Aus praktischen Gründen beschränkt man sich bei der Beschreibung von Zufallsprozessen auf die (ein- oder zweidimensionale) Verteilungsfunktion bzw. Verteilungsdichtefunktion und die Akf.

Bis auf wenige Ausnahmen sind durch die Angabe von Akf und Verteilungsfunktion Zufallsprozesse nicht eindeutig bestimmt, so daß sich hinter jedem Funktionenpaar eine Vielzahl von verschiedenen Zufallsprozessen (Signalen) verbirgt. Für die gezielte Erzeugung von Zufallsprozessen (Signalen) mit wenigstens in diesem Rahmen vorgebbaren Eigenschaften wäre die voneinander unabhängige Vorgabemöglichkeit für beide Beschreibungsgrößen Akf und Verteilungsfunktion wünschenswert. Es ergibt sich aber die Schwierigkeit, daß die gezielte Beeinflussung der einen Größe in der Regel auch die andere verändert.

Ausgehend von der Beschreibung der menschlichen Sprache als nicht-gaußischen Zufallsprozeß, wird in [7] die Theorie der sphärisch invarianten Prozesse weiterentwickelt, deren wesentliches Charakteristikum es ist, daß die Linien konstanter Dichte Ellipsen bzw. Kreise sind, d.h. alle zwei- und höherdimensionalen Dichten sich als Funktionen quadratischer Formen darstellen lassen und die $(n+1)$ -dimensionalen aus den n -dimensionalen Dichten hergeleitet

werden können. Hierbei ist der Gaußprozeß insofern ein Spezialfall, da er im Gegensatz zu den anderen sphärisch invarianten Prozessen stationär ist.

Obwohl das in |7| dargestellte Generierungsverfahren zu relativ einfachen Modellquellen führt, ist der für die Parameterbestimmung erforderliche numerische Rechenaufwand jedoch so erheblich, daß der Einsatz in einem Detektormessplatz der vorgestellten Form z.Zt. noch nicht realisierbar erscheint.

Es wurde daher ein anderes Generierungsverfahren gewählt, bei dem einer Rauschquelle (Pseudozufallszahlengenerator) ein Filter zur Beeinflussung der Akf und ein nichtlineares, gedächtnisloses System zur Veränderung der Amplitudenverteilungsdichte nachgeschaltet werden. Unter Berücksichtigung der in |8| dargestellten Symmetriebedingungen der Verteilungsdichten, können dann Akf und Verteilungsdichte näherungsweise unabhängig voneinander vorgegeben werden. Die Generierung wird, wie nachfolgend beschrieben, in mehreren Stufen vorgenommen.

4.3.1 Generierung statistisch unabhängiger Zufallszahlen

In einem Generator aus Schieberegistern und Addierern wird eine weitgehend gleichverteilte und statistisch unabhängige Zufallszahlenfolge mit 35 bit Wortbreite nach folgendem Algorithmus erzeugt:

$$x_{n+1} = ax_n + b \quad \text{mod } (2^{35})$$

mit $a = 7$, $b = 1$, über dessen Eigenschaften Hinweise in |9, 10| zu finden sind.

Aus der gleichverteilten Zufallszahlenfolge werden zwei unabhängige gleichverteilte Zufallszahlenfolgen abgeleitet, die beide mittels einer geeigneten nichtlinearen Kennlinie in voneinander unabhängige, nahezu gaußförmig verteilte Zahlenfolgen überführt werden. Durch Addition zweier gleichzeitig generierter Werte entsteht eine Zahlenfolge mit einer Wortbreite von 16 binären Stellen, die hinreichend genau Gaußcharakter hat, wobei für die Kennlinienspeicher nach diesem Verfahren erheblich kleinere Speicher eingesetzt werden können, als dies bei direkten Abbildungen mit nur einer Kennlinie möglich wäre.

4.3.2 Erzeugung korrelierter Zufallszahlenfolgen

Bei den kontinuierlichen (analogen) Zufallsprozessen nimmt der Gaußprozeß unter anderem deshalb eine zentrale Rolle ein, weil bei der Übertragung über lineare, zeitinvariante Systeme auch der Ausgangsprozeß eine Gaußverteilung aufweist, die sich mit zwei Parametern vollständig beschreiben läßt. Will man in einem nachfolgenden Schritt die Verteilungsform gezielt beeinflussen, so empfiehlt es sich, immer von einer gleichbleibenden Verteilung ausgehend diese Transformation vorzunehmen.

Beim Einsatz digitaler Systeme gilt dieser Zusammenhang in ähnlicher Weise, wobei allerdings an dieser Stelle auf Probleme der Zahlenbereichsüberschreitung (Überlauf) und Rundungsfehler, die sich durch geeignete Dimensionierung gering halten lassen, nicht näher eingegangen werden kann.

Das System, mit dem die Korrelation der Zahlenfolge gezielt beeinflußt werden soll, ist als Digitalfilter mit transversaler Struktur und einer effektiven Wortbreite von 16 binären Stellen ausgelegt. Das System kann direkt mit seiner Impulsantwort programmiert werden, deren Stützstellenzahl zwischen 8 und 1024 variiert werden kann. Abhängig davon liegt die maximale Verarbeitungsgeschwindigkeit, bei Taktraten bis zu $2,5 \cdot 10^5 \text{ s}^{-1}$.

Da in der Regel aber nicht eine bestimmte Impulsantwort des Übertragungssystems, sondern die Autokorrelationsfunktion des Ausgangsprozesses vorgegeben ist, muß die einzustellende Impulsantwort aus der Akf gewonnen werden. Hier besteht die Schwierigkeit, daß es keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Impulsantwort eines Filters und der Akf des Ausgangsprozesses gibt, wenn man von einem Eingangsprozeß als einer Folge statistisch unabhängiger Zufallszahlen ausgeht. Zu jeder Akf lassen sich unendlich viele verschiedene Impulsantworten finden. Die Menge der Lösungen läßt sich durch folgende Randbedingungen eingrenzen:

- a) Die Impulsantwort hat nur endlich viele Stützstellen.

$$h(t) = \sum_{i=0}^n h_i \cdot \delta(t-i\Delta t) \quad i, n \in \mathbb{N}_0$$

b) Das erste Glied der Impulsantwort $h_0 > 0$

c) Die Fouriertransformierte des Faltungsproduktes

$$F(f) = \int \{h(t) * h(-t)\} \geq 0 \quad \text{für alle Frequenzen.}$$

(Diese Bedingung ist notwendig, da das Leistungsdichtespektrum eines entsprechenden analogen Zufallsprozesses, den es letztlich nachzubilden gilt, an keiner Stelle f kleiner Null sein kann.)

Werden diese Randbedingungen beachtet, so kann die Impulsantwort so gefunden werden, daß ausgehend von der gewünschten Autokorrelationsfunktion daraus das Leistungsdichtespektrum berechnet wird. Besitzt die Fouriertransformierte der gewünschten Akf negative Werte, so läßt sie sich zwar nicht exakt realisieren, kann aber angenähert werden, indem eine Konstante zur Fouriertransformierten derart addiert wird, daß die negativen Anteile gerade verschwinden. Dies wirkt sich auf die Akf nur an einer Stelle aus ($t=0$), sichert aber deren Realisierbarkeit.

Die Fouriertransformierte der Akf, die als Betragsquadrat der Übertragungsfunktion $H(f)$ interpretiert werden kann, wird durch eine Wurzeloperation in ein $H'(f)$ überführt. Der Rechenweg sei durch nachfolgende Zuordnung dargestellt:

$$\begin{aligned} R_{xx}(\tau) &= h(\tau) * h(-\tau) \\ \uparrow & \\ H(f) \cdot H^*(f) &= |H(f)|^2 \xrightarrow{\sqrt{}} H'(f) \\ & \uparrow \\ & h'(t) \text{ mit } h'(\tau) * h'(-\tau) = R_{xx}(\tau) \end{aligned}$$

Das solchermaßen bestimmte Digitalfilter liefert eine Zufallszahlenfolge, deren Verteilung der Gaußverteilung sehr nahe kommt, wobei die Varianz durch geeignete Normierung für alle einstellbaren Autokorrelationsfunktionen konstant ist, was lediglich einer Multiplikation mit einem konstanten Faktor entspricht. Der Mittelwert wird in der Regel zu Null gesetzt, kann aber bei Bedarf jeden zulässigen Wert annehmen.

4.3.3 Beeinflussung der eindimensionalen Amplitudenverteilung

Mit der zuvor beschriebenen Vorgehensweise kann erreicht werden, daß die Verteilung der Zufallszahlenfolge am Ausgang des Filters unabhängig von der gewünschten Akf immer dieselbe ist. Diese Zahlenfolge bildet dann eine Folge von Adressen für einen nachgeschalteten Verteilungsspeicher. Dieser kann als nichtlineares, gedächtnisloses System aufgefaßt werden, dessen Eingangswortbreite von 16 bit, entsprechend 64 K Worten Speicherraum, eine Quantisierung der Auftrittswahrscheinlichkeiten in kleinsten Stufen von $2^{-16} = 1,53 \cdot 10^{-5}$ gestattet. Mit der Wortbreite von 10 bit ergibt sich eine Amplitudenquantisierung, die bei einem Promill liegt.

Diese Quantisierungsstufung für die Auftrittswahrscheinlichkeiten der Amplitudenstufen der Zufallsvariablen gestattet eine genügend genaue Approximation gewünschter Verteilungsfunktionen, sofern diese wie die Gauß- oder Laplace-Verteilung ein ausgeprägtes Maximum besitzen. Sollen jedoch Verteilungsfunktionen generiert werden, die einer Gleichverteilung nahe kommen, so muß der Verteilungsspeicher erweitert werden. Eine solche Erweiterung ist bis 256 K Worte zu 10 bit vorgesehen, so daß auch Gleichverteilungen bei voller Ausnutzung des zulässigen Wertebereiches mit einem Fehler von weniger als 0,5 % erzeugbar sind.

Die Verteilungsfunktion läßt sich mit dem Verteilungsspeicher direkt und im Rahmen der Quantisierungsstufung genau einstellen. Bei dieser Einstellung wird aber zwangsläufig die Korrelation der Zahlenfolge wieder verändert. Wie in |8| gezeigt, lassen sich für bestimmte Symmetrien der gewünschten Verteilungen die Fehler vernachlässigen. Sind die Symmetriebedingungen nicht erfüllt, so müssen in einem iterativen Verfahren die Impulsantwort und der Speicherinhalt mehrfach modifiziert werden, bis eine genügend genaue Approximation erreicht ist.

Ein Blockschaltbild des Generators zeigt die Abb. 10.

4.4 Simulation des Detektors auf einem Mikrorechner

Da die verschiedenen zu untersuchenden Brandmelder sehr unterschiedlich in ihrer Struktur sind und eine Festlegung auf bestimmte Strukturen nicht erfolgen soll, muß die hierfür vorgesehene Einheit pro-

grammierbar sein. Wegen der Wortbreite des Zufallssignals von 10 binären Stellen und um auch genügend kleine Verhältnisse von Nutzsignal- zu Störsignalleistung (im folgenden als S/N-Verhältnis bezeichnet) untersuchen zu können, ist eine Wortbreite im Detektorrechner von mindestens 16 bit zu fordern.

Dem Prozessor muß ein genügend großer RAM-Speicher zur Verfügung stehen, damit auch Meßvektoren mit mehreren tausend Abtastwerten realisiert werden können und bei der Abarbeitung komplizierter Algorithmen die Verarbeitungszeit durch lineare Programmierung minimiert werden kann.

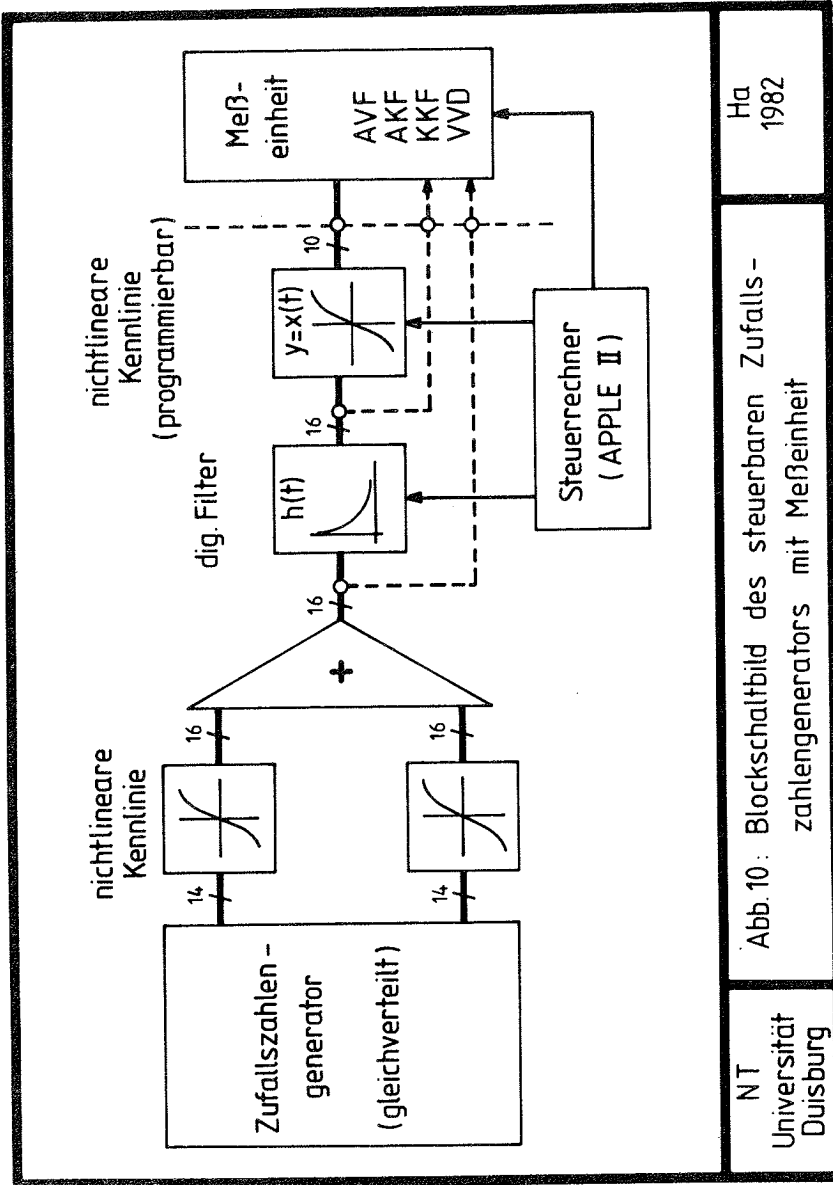
Gewählt wurde für die Untersuchung ein Einplatinen-Mikrocomputer mit dem Prozessor MC 68000 und 32 k-Byte RAM. Der Rechner ist wegen fehlender Peripherie wie Ein/Ausgabeterminal bzw. Massenspeicher nicht selbständig lauffähig und wird daher vom Steuerrechner des Zufallszahlengenerators gesteuert (Programmierung mit dem Detektoralgorithmus und Übergabe der Parameter) und gestartet.

Die Programme, die für den Detektorrechner erstellt worden sind, bestehen aus einem Rahmenprogramm, welches die Aufbereitung des Signalvektors und Übergabe der zu messenden Größe bzw. der Testwerte bewerkstelligt und den zu untersuchenden Algorithmus aufruft. Während dieses Rahmenprogramm für die verschiedenen Untersuchungen unverändert bleibt, können die Detektionsalgorithmen als eigenständige Assemblerprozeduren vom Steuerrechner ausgewechselt werden. Das Rahmenprogramm gestattet zwei verschiedene Meßzyklen durchzuführen, die nachfolgend beschrieben sind.

4.4.1 Messung von Kenngrößen der Testwerteverteilungen

Die Testwerte, die die verschiedenen Detektoralgorithmen der nachfolgenden Entscheidungsstufe anbieten, sind ihrerseits wieder Zufallsvariablen. Zur Untersuchung dieser Algorithmen wird daher die Verteilungsfunktion unter den verschiedenen Vorgaben und die Autokorrelationsfunktion bei korreliertem Störprozeß von Interesse sein.

Aus der Wahrscheinlichkeitsverteilung $\Pr\{y \leq k | H_1\}$ kann in einfacher Weise die sog. Receiver-Operating-Characteristic (ROC), das ist der Verlauf der bedingten Entdeckungswahrscheinlichkeit γ als Funk-



Ha
1982

Abb. 10: Blockschaltbild des steuerbaren Zufallszahlengenerators mit Meßeinheit

NT
Universität
Duisburg

tion der bedingten Fehlalarmwahrscheinlichkeit α (siehe [3]), errechnet werden. Es gilt:

$$\gamma = \sum_{\kappa=C+1}^{\kappa_{\max}} \Pr\{y = \kappa | H_1\} \quad \text{und}$$

$$\alpha = \sum_{\kappa=C+1}^{\kappa_{\max}} \Pr\{y = \kappa | H_0\}$$

Für die Hypothese H_0 (kein Brandsignal vorhanden) wird der Detektoralgorithmus nur auf Meßvektoren angewandt, die in fortlaufender Folge dem Zufallsgenerator entnommen wurden. Während unter der Hypothese H_1 (Brandsignal vorhanden) Signale mit unterschiedlichen Steigungen, Formen usw. dem Zufallssignal unterlegt werden. Dies geschieht derart, daß das Brandsignal immer in gleicher Weise in den Vektorregistern abgelegt ist und die Zufallszahlen aufaddiert werden. Dadurch kann bei beliebig vorgegebenen Signalverläufen, die mehr Abtastwerte erfordern als der Meßwertvektor besitzt, die zugehörigen Testwerteverteilungen bzw. die ROC's abschnittsweise ermittelt werden.

4.4.2 Bestimmung der Wirksamkeit [2]

Basierend auf der Definition der mittleren Fehlalarmzeit \bar{t}_F als dem Zeitraum zwischen Inbetriebnahme des Detektors und dem Zeitpunkt der ersten falschen Entscheidung zugunsten der Hypothese H_1 (Brandsignal vorhanden) unter der Bedingung, daß in Wirklichkeit kein Brandsignal vorhanden ist und der mittlere Entdeckungszeit \bar{t}_E , die den mittleren Zeitraum angibt, die der Brandmelder vom Anfangszeitpunkt des Brandsignals bis zur ersten Entscheidung zugunsten der Hypothese H_1 benötigt, wenn das Brandsignal tatsächlich vorhanden ist, resultiert das Wirksamkeitsverhältnis der Melder T_1 und T_2 mit

$$W_{T_1, T_2}(\theta) = \frac{\bar{t}_{E, T_2}}{\bar{t}_{E, T_1}}$$

bei gleicher mittlerer Fehlalarmzeit $\bar{t}_{F, T_1} = \bar{t}_{F, T_2}$ als Funktion eines Parameters θ , der das S/N-Verhältnis angibt.

Für den Fall beliebig korrelierter Störprozesse können die Fehl-

alarm- bzw. Entdeckungszeiten nur noch empirisch ermittelt werden. Deshalb wurde das Rahmenprogramm für den Detektorrechner so ausgestattet, daß bei vorgegebener Meßvektorlänge und mittlerer Fehlalarmzeit \bar{t}_F , die ihrerseits durch die Lage der Entscheidungsschwelle C bestimmt wird, die Entdeckungszeit dem Verteilungsmeßgerät übergeben wird.

Das S/N-Verhältnis kann dann wahlweise durch Variation der Varianz der Stör- oder Änderung der Signalkomponente eingestellt werden.

4.5 Darstellung der Meßergebnisse

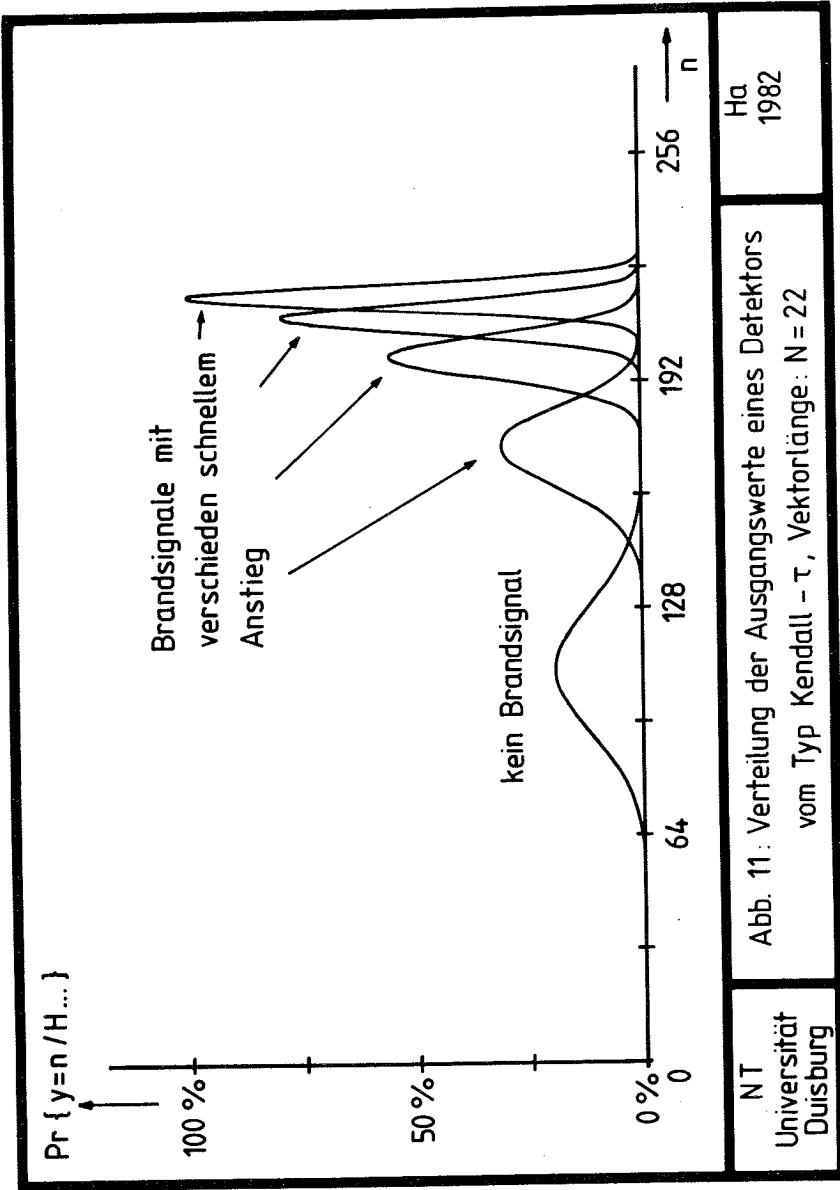
Für die grafische Darstellung der Meßergebnisse wurde ein Programmpaket entwickelt, welches die Abbildung ein- und zweidimensionaler Funktionen auf einem Bildschirmdisplay oder auf einem Plotter gestattet.

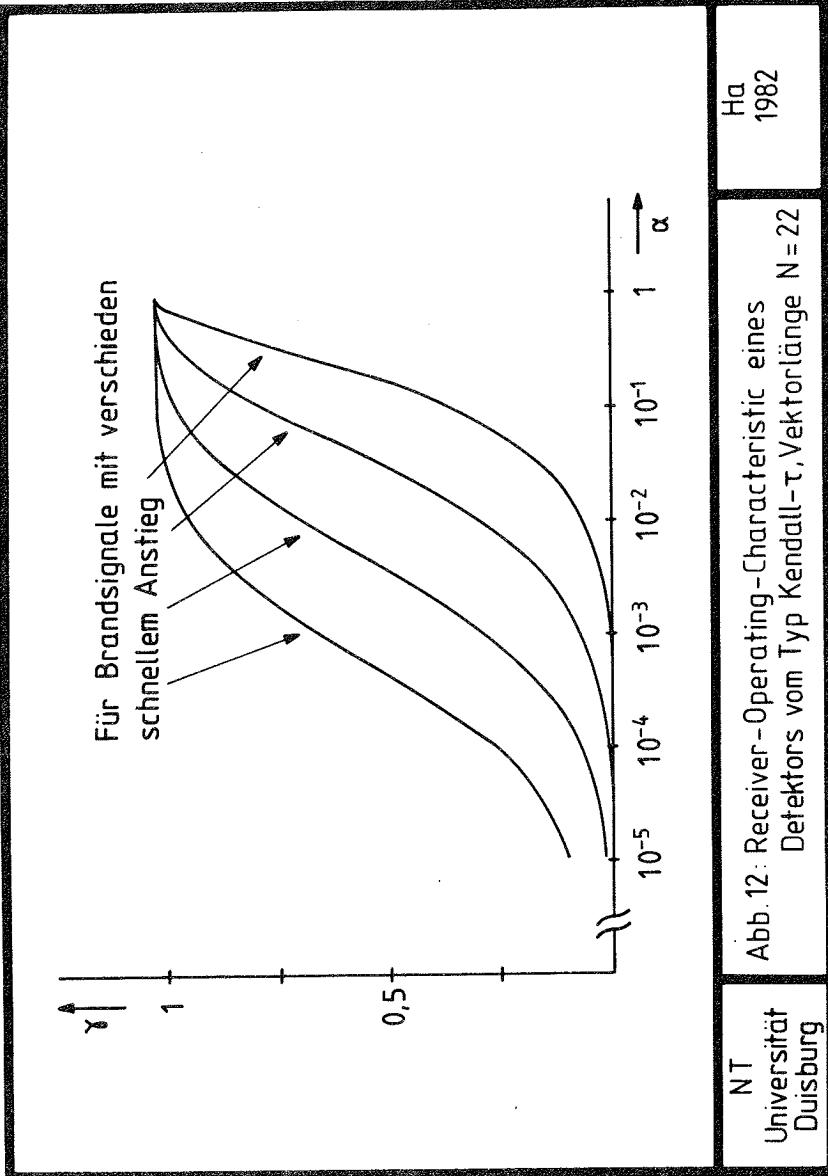
Die Abbildungen 11 und 12 zeigen beispielhaft die Verteilung der Ausgangswerte eines Detektors vom Typ Kendall- τ mit 22 Abtastwerten bei linearem Anstieg für den Brandsignalverlauf und die daraus berechnete ROC für verschiedene S/N-Verhältnisse.

Dem in den Abbildungen 11 und 12 dargestellten Beispiel wurde eine Störgröße $n(t)$ mit unabhängigen Abtastwerten und dreieckförmiger Verteilungsfunktion der Signalamplitude unterstellt. In Abb. 11 wurde zur übersichtlichen Darstellung eine Normierung der Abszissenwerte so vorgenommen, daß der größte auftretende Wert 100 % entspricht.

5. Zusammenfassung

Ausgehend von der Darlegung des grundsätzlichen Entdeckungsvorgangs bei automatischen Brandmeldern wurde gezeigt, welche allgemeinen Eigenschaften der physikalisch meßbaren Brandsignale zur Ableitung von Strukturen für automatische Branddetektoren ausnutzbar sind. Auf ein Verfahren zur Konstruktion solcher eigenschaftsangepaßter Detektorstrukturen wurde hingewiesen. Für die Brandentdeckung sind die Eigenschaften der verallgemeinerten Schwellenwertüberschreitung und des überwiegend ansteigenden Trends als Signaleigenschaften hauptsächlich wichtig. Das angesprochene Verfahren berücksichtigt nicht den Einfluß der das Brandsignal überdeckenden Störgröße $n(t)$ auf das Verhalten des Brandmelders. Um dieses Verhalten untersuchen





Ha
1982

Abb. 12: Receiver-Operating-Characteristic eines
Detektors vom Typ Kendall- τ , Vektorlänge $N=22$

NT
Universität
Duisburg

zu können, wurde ein Detektormeßplatz aufgebaut, der die Einstellung bestimmter Kombinationen von Brandsignal $s_j(t)$ und Störgröße $n(t)$ gestattet. Außerdem ist die Simulation verschiedenster Detektorstrukturen möglich, so daß die in der Praxis vorliegenden Fälle nachgebildet und studiert werden können. Auf diese Weise kann das praktische Verhalten des untersuchten Brandmelders im zeitgerafften Verfahren gemessen werden. Die vorgestellte Methode wird allerdings erst dann voll nutzbar sein, wenn mehr Kenntnisse als bisher über die in der Praxis vorkommenden statistischen Eigenschaften der verdeckenden Störgröße $n(t)$ bekannt sind. Ein großangelegtes Meßprogramm in der Praxis ist dringend notwendig, das die Amplitudenverteilung und eine Aussage über die statistischen Abhängigkeiten liefert.

Literatur

- |1| Fry, J.F. The Problem of False Alarms from
Fire Detection Systems
Tagungsbericht zum 6. Internationa-
len Vortragsseminar über
Probleme der automatischen Brandent-
deckung
4./6. Okt. 1971 RWTH Aachen
- |2| Cobben, W. Ein Wirksamkeitsmaß für Signaldetek-
toren
AEÜ Bd. 34 (1980) S. 353-360
- |3| van Trees, H.L. Detection, Estimation and Modulation
Theory, Part I
J. Wiley and Sons, New York 1968
- |4| Luck, H. Signal Detection Using a General
Matched Filter Concept
AEÜ Bd. 36 (1982) S. 217-222
- |5| Kendall, M. Rank Correlation Methods
Ch. Griffin & Comp. 4th. ed.
(2. impression), London 1975
- |6| Gibson, J.D. Nonparametric Detection with Appli-
Melsa, J.L. cations
Academic Press, New York 1975
- |7| Brehm, H. Sphärisch invariante stochastische
Prozesse
Habilitationsschrift Erlangen 1981

- |8| Hug, H. Verbesserte Signalentdeckung im nichtgauß'schen Rauschen durch die Erzeugung stochastischer Prozesse mit vorgeschriebenen Eigenschaften. Dissertation Universität Stuttgart 1980 ersch. im Hochschulverlag Freiburg 1981
- |9| Zielinski, R. Erzeugung von Zufallszahlen Verlag Harri Deutsch, Thun, Frankfurt/Main 1978
- |10| Abramowitz, M. Handbook of Mathematical Functions Stegun, I.A. Dover Publications Inc., New York 1970
- |11| Brockmann, T. Aufbau eines Zufallszahlen-Generators mit einstellbarer Verteilungs- und Korrelationsfunktion Diplomarbeit Universität Duisburg 1982
- |12| Orłowski, J. Graphische Darstellung statistischer Funktionen für einen Rechner mit UCSD-PASCAL-Betriebssystem Diplomarbeit Universität Duisburg 1982

München, 15.6.1982

Dr.-Ing. Erich Unger
Friedrich Merk Telefonbau GmbH., München

Probleme der Betriebszuverlässigkeit von Brandmeldezentralen

1. Einführung

Eine für Gefahrenmeldeanlagen im allgemeinen und für Brandmeldeanlagen im besonderen sehr wichtige Eigenschaft ist die Betriebszuverlässigkeit. Etwas vereinfachend gilt eine Brandmeldeanlage dann als besonders betriebszuverlässig, wenn während einer langen Betriebszeit

1. Brände mit hoher Sicherheit und schnell erkannt und gemeldet werden,
2. Fehllalarme nur sehr selten auftreten,
3. Störungen der Anlage mit hoher Wahrscheinlichkeit und frühzeitig erkannt bzw. gemeldet werden.

Die Rechtfertigung für den Einsatz einer Brandmeldeanlage ist u.a. in dem Zeitgewinn bei der Detektion des Feuers zu suchen.

Eine für die Betriebszuverlässigkeit besonders kritische Kategorie stellen die Großanlagen mit etwa 500 bis zu 20 000 Brandmeldern wegen der multiplikativen Effekte dar: Kommt es bei einer kleinen Gefahrenmeldeanlage mit z.B. nur zwei Meldelinien und 10 Meldern zu einem Fehllalarm/Jahr und zu 3 Störungsmeldungen/Jahr - was u.U. noch akzeptabel ist -, so wäre, linear hochgerechnet, bei 500 Meldern die Zahl der Fehllalarme auf 1 pro Woche und 3 Störungsmeldungen je Woche angestiegen, offenbar eine Möglichkeit.

Die Elektronik hat es ermöglicht, sehr konzentrierte, d.h. kleine Meldezentralen zu bauen, mit sehr vielen Gefahrenmeldelinien, Meldern und mit vielen besonderen Leistungsmerkmalen. Die schnelle und hochempfindliche Elektronik hat zu wesentlichen Verbesserungen u.a. im Leistungsbedarf geführt. Die Kehrseite dieser positiven Eigenschaften stellt - ohne besondere Gegenmaßnahmen - die verminderte Betriebszuverlässigkeit dar.

Das hat, wie gesagt, zwei Gründe: Einen statistischen, je größer der Anlagenumfang, um so höher ist die auf die Anlage bezogene Ausfallrate. Zum anderen ist die schnelle und hochempfindliche Elektronik zunächst auch für Störungen anfälliger.

Was kann getan werden, um die Betriebszuverlässigkeit von elektronischen Brandmeldeanlagen zu verbessern? Darüber soll hier aufgrund von Erfahrungen an vielen hundert größeren und großen Anlagen berichtet werden. Bild 1 erinnert an die Struktur einer Gefahren- bzw. einer Brandmeldeanlage.

2. Was bestimmt die Betriebszuverlässigkeit?

Es gibt bekanntlich mehrere Ansatzpunkte, die Betriebszuverlässigkeit einer elektronischen Anlage zu beeinflussen. Dazu zunächst in einem Überblick nur Stichworte, vergl. Bild 2.

- 2.1 Die Zeit, die für die Entwicklung und Erprobung aufgewendet wird (Modeling techniques); kurze Entwicklungs- und Erprobungszeiten gehen leicht zu Lasten der Zuverlässigkeit;
- 2.2 Die Lebensdauer der einzelnen elektrischen Bauelemente, Verbindungen, Kontakte und Schalter (zunächst) bei Nennbedingungen; Zahl der Bauelemente; Verhalten der Bauelemente bei Abweichungen von den Nennbedingungen (Mean-Time-Between-Failure); viele, weit tolerierte Bauelemente vermindern oft die Zuverlässigkeit;
- 2.3 Das Konzept der Verknüpfung der elektrischen und der mechanischen Bauelemente sowie deren Dimensionierung (Worst-Case-Design). Die Abhängigkeit oder Unabhängigkeit der Funktion von Datenstreuungen und Toleranzen, die Absicherung des Datenverkehrs (Handshake-Verfahren) bestimmen wesentlich die Zuverlässigkeit;
- 2.4 Die besondere Konzeption der Logik des Systems derart, daß sich im Störfall der jeweils weniger kritische Zustand mit großer Wahrscheinlichkeit einstellt (Fail-Safety-Konzept);
- 2.5 Abhängigkeit der Anlage von klimatischen und atmosphärischen Umwelteinflüssen, also das Verhalten der Anlage bei Abweichungen von den klimatischen Nennbedingungen (Klimafestigkeit);

- 2.6 Mechanische Umwelteinflüsse, wie Erschütterungen, Stöße, Vibrationen, Transport, natürlich auch Erdbeben und Explosionen können die Anlage gefährden;
- 2.7 Elektrische Umwelteinflüsse; die Unempfindlichkeit gegenüber externen elektrischen und el.magn. Störsignalen; die "Elektromagnetische Verträglichkeit" (EMV); Gefahr der Funktionsstörung oder der Gerätezerstörung.

Weiter:

- 2.8 Fehlbedienungen und deren Konsequenzen auf das Betriebsverhalten;
- 2.9 Vorkehrungen zur Selbstüberwachung und Störungsmeldung, Ferndiagnose; Bedienerführung;
- 2.10 Vorkehrungen für leichten Service, leichte Wartung und rasche Fehlerbeseitigung; Verfügbarkeit von Ersatzteilen;
- 2.11 Auswertung von Fehlerstatistiken (Schwachstellenanalyse);
- 2.12 Anwendung der in Richtlinien enthaltenen Hinweise (VDE, VdS, DIN, IEC);
- 2.13 Wirkungsvolle Qualitätssicherungsprozeduren beim Hersteller; (Eingangs-, Zwischen-, Endkontrolle, Feldtest).

Wie aus der vorstehenden Aufzählung ersichtlich, ist der Begriff der Betriebszuverlässigkeit für die weiteren Betrachtungen nicht so eng zu sehen, wie in DIN 40041 festgelegt - dort werden nur lebensdauerbedingte Bauelementausfälle behandelt -, sondern er beinhaltet Störungen verschiedenster Ursachen, die während der Betriebszeit einen ordnungsgemäßen Anlagenbetrieb unterbinden können.

3. Konkrete Maßnahmen zur Anhebung der Betriebszuverlässigkeit

Was fängt jetzt der Entwickler und Hersteller von Gefahrenmeldeanlagen mit diesen Stichworten an?

3.1 Entwicklungs-, Prüf-, Erprobungszeit und Kosten

Die Betriebszuverlässigkeit einer großen elektrischen Anlage wird in den verschiedenen Stufen der Realisierung festgelegt, nämlich bei

- der Konzeption, beim Entwurf,
- der Entwicklung, Konstruktion, Dimensionierung,
- der Mustererprobung,
- dem Teile-Einkauf, von der Qualität der Bauelemente,
- der Fertigung,
- der Prüfung, der Prüftiefe, der Prüfdauer,
- der Inbetriebnahme beim Anwender,
- der Wartung und der Reparatur.

Nun weiß jeder Entwickler, daß dieses einfache Schema teilweise in mehr oder weniger vielen Wiederholschleifen durchlaufen werden muß: Wenn das Muster erbaut ist, stellt man bei der Erprobung vielleicht fest, daß mit einer etwas veränderten Konzeption bei gleichem Aufwand eine höhere Betriebszuverlässigkeit erzielt werden kann, vergl. Bild 3.

Dieses "Pilgerschrittverfahren" mit Entwurf, Musterbau, Prüfung, Neuentwurf und Musterbau, die "Modeling Technique", führt zu folgendem Zusammenhang zwischen dem zeitlichen Abstand zwischen zwei Störungen und der (Entwicklungs+Prüf-Erprobungs)Zeit.

$$\text{Mittlerer Zeitabstand} \\ \text{zwischen zwei Störungen} = \text{Const.} \sqrt{k \cdot (\text{Entw.} + \text{Prüf-})\text{Zeit}}$$

Dabei liegt k nach LERNER oft bei 2. D.h., mit der vierfachen Entwicklungszeit und den damit oft vierfachen Entwicklungs-

kosten erhält man bei $k = 2$ u.U. die doppelte "Mean-Time-Between-Failure", also doppelten Zeitabstand zwischen zwei Störungen.

D.h. aber auch, das erste Funktionsmuster hat nur einen Bruchteil der Betriebszuverlässigkeit gegenüber dem vielleicht 1 oder 2 Jahre später gelieferten und vielfach geprüften und verbesserten Seriengerät. Auch letzteres gewinnt natürlich mit laufender praktischer Erprobungszeit noch an Zuverlässigkeit.

Das wiederum hat Konsequenzen für die Konzeption neuer Systeme: Praktisch erprobte Schaltungen und Baugruppen sind mindestens anfänglich i.a. zuverlässiger als völlig neue Konzepte, sofern keine gravierenden technologischen Unterschiede vorliegen. Ähnlich wie Halbleiter-Bauelemente-Hersteller Learning-Kurven für ihre Produkte kennen, haben auch Anlagen-Hersteller mit Learning-Kurven zu rechnen.

Führt man diese Überlegungen weiter, so kommt man bald zu einer Art Wirtschaftlichkeitsüberlegung: Welcher Mehraufwand ist für die Zuverlässigkeitssicherung zu vertreten? Geht man ins Detail, so lautet die Antwort: Für große Gefahrenmeldeanlagen ist ein sehr großer Entwicklungs- und Erprobungsaufwand richtig. Aber honoriert das der Kunde?

Erinnert wird hier - wieder einmal - an den Erfolg der japanischen Industrie. Nach vielen Veröffentlichungen ist ein Teil der günstigen Entwicklung darauf zurückzuführen, daß dort die Maximierung der Qualität (mit an erster Stelle) die Unternehmensziele bestimmt - mit dann umso nachhaltigerer Auswirkung auf den Ertrag.

3.2 Bauelemente-Lebensdauer

Es gibt viele Statistiken über die Lebensdauer von Bauelementen. Eine davon zeigt Bild 4. Wie dort zu sehen ist, sind Schichtwiderstände zuverlässiger als Potentiometer,

Zenerdioden zuverlässiger als IC's. Fast noch wichtiger ist, daß viele Bauelemente bei 1/2 oder 1/4 ihrer Nennbelastung (Strom, Spannung, Leistung) viel länger leben, als bei Nennbelastung. Das Konzept der Unterbelastung (Derating) ist jedoch nicht in jedem Fall geeignet, die Betriebszuverlässigkeit zu erhöhen. Als Beispiel sei hier die Versorgungsspannung von C-MOS-IC's genannt. Eine Versorgungsspannung von 3 Volt würde gegenüber 18 V zwar eine erheblich geringere Ausfallrate bewirken, der statische Störabstand wäre jedoch bei 18 V sechsmal größer als bei 3 V. In der Praxis muß u.U. ein Kompromiß zwischen Ausfallrate und Störfestigkeit gesucht werden, z.B. bei einer Versorgungsspannung von 12 V.

Der Betrieb bei stärkeren Erschütterungen, wie z.B. beim Einsatz im Kraftfahrzeug "kostet" wie aus Bild 4 ersichtlich, leicht eine Zehnerpotenz bei der Lebensdauer von Bauelementen.

Die breiten Streubereiche der Ausfallraten in Bild 4 sind nicht zuletzt auf unterschiedliche Ausführungsformen der Bauelemente zurückzuführen.

Außerdem sieht man in Bild 4, daß höhere Umgebungstemperaturen die Lebensdauer erheblich verkürzen. D.h. für den Entwickler: Überdimensionieren, Wärmenester vermeiden, nicht zu sehr an Platz sparen, Lüftung vorsehen, evtl. Zwangsbelüftung durch Ventilatoren (die ebenfalls nur eine begrenzte Lebensdauer haben!).

Das "Arrhenius'sche Gesetz" gibt für manche Fälle eine grobe Daumenregel: Pro 10 Grad Übertemperatur - Halbierung der Lebensdauer.

Manche Bauelemente zeigen eine Neigung zu Frühausfällen, die insbesondere auf unerkannte Fertigungsfehler zurückzuführen sind. Haben Bauelemente die ersten 100 Betriebsstunden gut überstanden, sind in vielen Fällen die Chancen z.B. 100 000 Stunden, also rund 10 Jahre alt zu werden, sehr groß.- Die Konsequenz ist das Voraltern, das Einkrennen, das Burn-in.

Hier gibt es ein halbes Dutzend Thesen, wie man "richtig" einbrennt. Z.B. nur die Bauelemente 1 Woche bei 80° C lagern und dann prüfen? Oder die gesamte Anlage bei 40° C zwei Wochen lang dynamisch - also schaltend - betreiben? Oder genügt Betrieb im sog. Ruhezustand? Jedenfalls ist ein sehr ausgedehntes Burn-in bei den ersten Serien zweckmäßig, um besondere Schwachstellen zu erkennen.

3.3 Schaltung

Eine ganz kritische Frage lautet: Wann ist ein Bauteil ausgefallen? Dann, wenn die Grenze des angegebenen Toleranzbereiches überschritten ist, oder erst dann, wenn die Veränderung zu einem Ausfall der Baugruppenfunktion in der Anlage führt? (Driftausfall, Totalausfall). Beispielsweise könnten sich "Pull-up-Widerstände" an Gattereingängen um mehr als 50% ändern, ohne daß die Gatterfunktion beeinträchtigt wird. Die gleiche Widerstandsänderung würde jedoch im Gegenkopplungsnetzwerk von linearen Verstärkern einen unzulässigen Übertragungsfehler bewirken. Hier kann der Schaltungsentwickler Vorsorge treffen und durch geeignete Auslegung seiner Schaltung die Fähigkeit "Toleranzen zu tolerieren" erheblich verbessern.

Jedenfalls müssen die einzelnen Schaltungsbaugruppen in Abhängigkeit von den Bauteiletoleranzen sorgfältig auf alle Funktionen hin untersucht werden. Dies geschieht am Besten

durch rechnerische Toleranzanalysen und eine experimentelle Gegenkontrolle. Die Erfahrung gut eingearbeiteter Entwickler sowie deren Fähigkeit und Bereitschaft zu rechnen und nachzumessen, sind hier von großem Wert.

Ein weiterer Weg, die Betriebszuverlässigkeit zu verbessern, besteht darin, kritische Bauelemente oder Baugruppen redundant, d.h. meist doppelt, einzusetzen. In einfachsten Fällen heißt das z.B. statt eines Elektrolyt-Kondensators deren zwei parallel zu legen. Falls einer unterbricht, genügt der andere noch, um die ordnungsgemäße Funktion zu gewährleisten. Will man auch noch denkbare Kurzschlüsse der Kondensatoren berücksichtigen, so sind davon 2 x 2 parallel und in Reihe zu legen.

Schließlich ist hier noch die Möglichkeit der digitalen Datensicherung zu nennen: Es können z.B. mit besonderen Vorkehrungen Gefahrenmeldeanlagen erst dann und nur dann ausgelöst werden, wenn ein bestimmtes codiertes Signal sicherheits- halber dreimal richtig übertragen wurde. Man kann natürlich auch Signale quittieren lassen (Handshake-Verfahren), um Zuverlässigkeit zu gewinnen.

Grundsätzlich ist auch die Wahl des Informationsparameters von wesentlicher Bedeutung. Hier kann z.B. durch Verwendung der Frequenz als Informationsparameter ein "Live-zero-Signal" angewendet werden, dessen signaltechnische Redundanz beispielsweise noch zusätzliche Störungserkennung gestattet. Generell gilt natürlich auch hier: Je mehr Zeit für die Übertragung einer Nachricht zur Verfügung steht, um so sicherer kann sie übertragen werden.

3.4 Fail Safety

Ist die Ausfallwahrscheinlichkeit einer Baugruppe nicht hinreichend gering, so hilft es manchmal zu versuchen, die Folgen einer Störung in eine solche Richtung zu lenken, daß der Folgeschaden minimiert wird.

3.5 Klima

Eine Gefahrenmeldeanlage muß selbstverständlich innerhalb des in ihrer Umgebung praktisch auftretenden Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsbereiches, also z.B. zwischen +5 und 45° C und 0 bis 85% r.F. einwandfrei funktionieren, vergl. Bild 5. An manchen Einsatzplätzen ist die Luft durch Schwefel-, Stickoxyd- oder Chlorgase verunreinigt, was an Kontakten, Potentiometern, Leiterbahnen und kunststoffgekapselten Halbleitern zu großen Problemen führen kann, vergl. DIN 50 019, Teil 3.

Teilweise können die Einflüsse und die entsprechende Dimensionierung vorausberechnet werden. Zum Teil ist allerdings nur durch Oberflächenbehandlung (Schutzlackierung, Metallschichten, Eingießen) oder Kapselung ausreichende Vorsorge möglich.

Jedenfalls ist eine gründliche Prüfung in der Klimakammer über die praktisch erwarteten Einsatzbereiche hinaus (!) sehr wichtig. Dabei ist noch ein Nebeneffekt interessant: Funktioniert eine Anlage in einem großen Temperaturbereich befriedigend, so ist das oft ein Indiz für eine hohe Betriebszuverlässigkeit bei Nennbedingungen.

3.6 Mechanik

Die mechanische Rüttel- und Stoßprüfung soll zweierlei bewirken:

- 1) Es soll sichergestellt werden, daß die Anlage Erschütterungen auf dem Transport und vor Ort - etwa hervorgerufen durch vorbeifahrende Fahrzeuge - gut übersteht.
- 2) Die mechanische Prüfung soll auch die durch Fertigungsfehler entstandenen Schwachstellen - etwa Wackelkontakte, schlechte Lötstellen und Haarrisse auf Leiter-

platten - aufdecken. Sehr geläufig ist deshalb eine Untersuchung der Anlage während der Erschütterungen: Treten dabei Störimpulse auf, so ist das ein schlechtes Zeichen.- Übrigens werden Haarrisse oft auch unter der Einwirkung eines Kühlmittel-Sprays entdeckt.

Mittlerweile wird ein ganzes Arsenal an Rütteltischen, Guillotinen und Sprays gebraucht, um große Anlagen nach allen Richtungen und Richtlinien zu prüfen.

3.7 Störfestigkeit, EMV

Die hohe elektrische Empfindlichkeit elektronischer Bausteine und ihre Schnelligkeit haben es, wie oben erwähnt, ermöglicht, sehr günstige Kennwerte, viele zusätzliche Leistungsmerkmale, niedrigen Stromverbrauch und kleine Abmessungen zu realisieren.

Das ganze hat aber eine Kehrseite: Die hochempfindlichen und schnellen elektronischen Einrichtungen sind damit auch für kurze Störsignale empfindlich. Solche Spannungsstöße können die Funktion stören oder sogar die Anlage zerstören.

Gleichzeitig steigt der allgemeine elektromagn. Störnebel von Jahr zu Jahr durch Handfunkgeräte, durch mehr und stärkere Funksender, durch nicht voll entstörte Motoren in Kraftfahrzeugen und Haushaltsgeräten, durch Mikrowellenherde usw.

Gefahrenmeldeanlagen mit ihren oft langen Zuleitungen (d.h. "Antennen") sind hier besonders empfindlich. Bild 6 zeigt die verschiedenen Angriffspunkte für Störsignale.

Dem Entwickler stehen 17 Gegenmaßnahmen zur Verfügung, um die Störfestigkeit zu verbessern, vergl. Bild 7. Freilich muß er einige Maßnahmen schon sehr frühzeitig bei der Produktkonzeption und -entwicklung berücksichtigen, sonst ist es für eine bestimmte Maßnahme - z.B. mehrmalige Abschirmung oder Erdung - zu spät Bild 8. Jedenfalls muß die Störfestigkeit durch

entsprechende Untersuchungen verifiziert werden. Einige Verfahren und genormte Störsignale dazu zeigt Bild 9.

3.8 Fehlbedienungen

Zur Untersuchung von möglichen Bedienungsfehlern dient ein einfaches, allerdings zeitraubendes Verfahren, nämlich das systematische Absuchen aller denkbaren Bedienungs- und damit auch Fehlbedienungs-Möglichkeiten und deren Konsequenzen. Vorsichtshalber geschieht dieses Absuchen sowohl theoretisch als auch praktisch.

Im übrigen ist eine optimale Bedienerführung, etwa mit Hilfe eines Bildschirms (Notstromversorgung!) natürlich ein sehr wirksames Mittel, Fehlbedienungen unwahrscheinlich zu machen.

3.9 Selbstüberwachung, Störungsmeldung

Besonders bei sehr großen Gefahrenmeldeanlagen sind manchmal Kombinationen von Bauelementeausfällen denkbar, die sich unter ungünstigen Umständen nicht sofort durch einen Fehlalarm oder eine Störungsanzeige melden (selbstmeldender Ausfall). Die Verwendung von Selbstüberwachungs-Schaltungen, in Verbindung mit Störungsmeldungen, kann hier helfen, die überwiegende Anzahl gefährlicher Ausfälle automatisch und rechtzeitig zu erkennen. Das kann z.B. durch regelmäßig eingespeiste Prüfsignale geschehen.

3.10 Verfügbarkeit

Die Verfügbarkeit einer Gefahrenmeldeanlage wird wesentlich durch die mittlere Reparaturdauer (Mean-Time-To-Repair) beeinflusst. Bei einer Störung soll der Fehler nicht nur schnell erkannt, sondern auch umgehend beseitigt werden können. Eine kurze MTTR kann erreicht werden durch:

- eine rasche und möglichst automatische Störungserkennung,

- eine schnelle Fehlerdiagnose, z.B. durch den Einsatz von Prüfprogrammen und Diagnosegeräten,
- die Möglichkeit der schnellen Reparatur und des schnellen Austausches,
- die Bereitstellung von Ersatzbaugruppen und Ersatzteilen,
- einen kurzfristig eintreffenden Revisionsdienst.

3.11 Auswertung von Fehlerstatistiken

Die Auswertung der Felderfahrung, insbesondere die Auswertung der Fehlerstatistik ist eines der wirksamsten Mittel zur Verbesserung der Betriebszuverlässigkeit.

3.12 Auswertung von Richtlinien und Vorschriften

Jahr für Jahr müssen mehr Richtlinien und Vorschriften beachtet werden (VDE, VdS, DIN, CEN). Man kann davon ausgehen, daß in diesen Richtlinien viel Betriebserfahrung enthalten ist, die auch der Betriebszuverlässigkeit zugute kommt.

Einige Beispiele aus der VDE-Richtlinie 0833, die der Verbesserung der Betriebszuverlässigkeit dient, werden im folgenden stichwortartig aufgezählt:

- Errichtung der Anlagen durch Fachkräfte (Teil 1, § 3.1),
- Hersteller muß Betreiber Grenzdaten der Umgebungsbedingungen nennen, unter denen Gefahrenmeldeanlage sicher arbeitet (Teil 1, § 3.3),
- Primärleitungen müssen im meldebereiten Zustand überwacht werden (Teil 1, § 3.4),
- Unterscheidung von Gefahrenmeldung und Störungsmeldung bei der Anzeige (Teil 1, § 3.4.2),
- Löschen anstehender Meldungen erst nach Erfassung durch die Zentrale (Teil 1, § 3.8.1),

- Kabel, Leitungen, Verteiler so anzuordnen, daß Außerbetriebsetzung sehr erschwert ist (Teil 1, § 3.8.4),
- Zwei voneinander unabhängige Energiequellen notwendig (Teil 1, § 3.9),
- Ausreichende Kapazität der Notstromversorgung (Teil 1, § 3.9.5.2),
- Vor Inbetriebnahme: Abnahme durch Fachkraft (Teil 1, § 4.1),
- Regelmäßige Inspektion durch Fachkräfte (Teil 1, § 5.3),
- Primärleitungen müssen auf Unterbrechung und Kurzschluß überwacht werden (Teil 2, § 3),
- Parallele optische und akustische Gefahrenmeldung (Teil 1, § 3.4.1, 3.4.2).

3.13 Prozeduren zur Qualitäts- und Zuverlässigkeitsicherung bei der Herstellung

Ein Teil von Ausfällen während der Einsatzzeit einer Brandmeldeanlage ist auf Fertigungsfehler oder Bauelementefehler rückführbar. Die Funktionsprüfung der fertigen Leiterplatten erbringt hier den Nachweis, daß die einzelnen Systemkomponenten - zum Zeitpunkt der Prüfung - intakt sind. Das ist aber, bei den oft mit ICs vollgepackten, großen Leiterplatten nur noch mit Prüfautomaten möglich, von denen jeder einige 100 TDM kostet.

Geeignete Wareneingangskontrollen, insbesondere bei Halbleiterbauelementen, und wirkungsvolle Zwischenprüfungen an Baugruppen können helfen, den Anteil von defekten oder anfälligen Baugruppen zu senken. - Die Endkontrolle einer großen Gefahrenmeldeanlage benötigt, wenn alle Funktionen in verschiedenen Kombinationen mehrfach geprüft werden, 4 - 6 Wochen Arbeitszeit von mehreren Mitarbeitern.

4. Substituierbarkeit

Dem Entwickler, dem Projekteur, dem Prüffeldingenieur und dem Fertigungsleiter steht also eine Reihe von Möglichkeiten zur Verbesserung der Betriebszuverlässigkeit zur Verfügung. Eine naheliegende Frage ist die nach der Substituierbarkeit der verschiedenen Methoden. Kann z.B. durch sehr starke Überdimensionierung so viel an Zuverlässigkeit gewonnen werden, daß damit allein schnell und kostengünstig das Ziel erreicht wird? Die Antwort nach vielen Untersuchungen ist: Nein. Es müssen möglichst alle der o.g. Wege in mittlerer Dosierung begangen werden, dann wird eine hohe Betriebszuverlässigkeit erreicht.

5. Schlußbemerkung

Was gezeigt werden sollte ist dies: Eine hohe Betriebszuverlässigkeit ist, insbesondere bei den größeren elektronischen Brandmeldeanlagen, eine nur mit großen technischen, zeitlichen und finanziellen Aufwendungen sowie durch Systematik und Planung zu erreichende Eigenschaft.

LITERATUR

- W. HOFMANN Zuverlässigkeit von Meß-, Steuer-,
 Regel- und Sicherheitssystemen
 Thieme, München 1968
- W. ANGST und V. WOHLER
 Betriebssicherheit automatischer Steuer-
 rungssysteme
 Interkamaberichte 1971
- A. MARGANITZ Zuverlässigkeit elektronischer Geräte
 Elektronik 1974, H6,
- R. LUSSER Die Unzuverlässigkeit komplizierter
 Geräte
 Flugkörper 1969, H6
- Th. STUMPS Zuverlässigkeitssicherung an Endprodukten
 BBC Nachrichten 1973, S.283
- R. ALLAN The failure tracers
 IEEE Spectrum, Okt. 1976, S.33
- A. LORANGER The case for component burn-in:
 The gain is well worth the price
 Electronics, Jan. 23, 1975
- H.W. BACH Die Zuordnung von Umweltprüfungen und
 Umweltbedingungen
 VFJ / 1979, S.31
- P. MIRAM Elektronische Geräte mit garantierter
 Zuverlässigkeit
 Neue Zürcher Zeitung, April 63
- E. DOYLE How parts fail
 IEEE Spectrum 1981, S.36
- E. LERNER Reliable systems, Design and test
 IEEE Spectrum 1981, S. 50
- E. UNGER, TH. STUMPF
 Kosten der Zuverlässigkeit
 Interkamaberichte 1977
- E. UNGER Entwurf störfester Meßsysteme
 VDE/VDI-Aussprachetaq, Frankfurt, Febr.81

LITERATUR (Fortsetzung)

Richtlinien

DIN 57833

DIN 14675, Ausg. 1981

DIN 14 661

VdS Richtlinien für autom. Brandmeldeanlagen

VdS Richtlinie 3006, Ausgabe 1981/82

VdS Richtlinie für Peripherie-Geräte

VDE 0833

VDE 0100

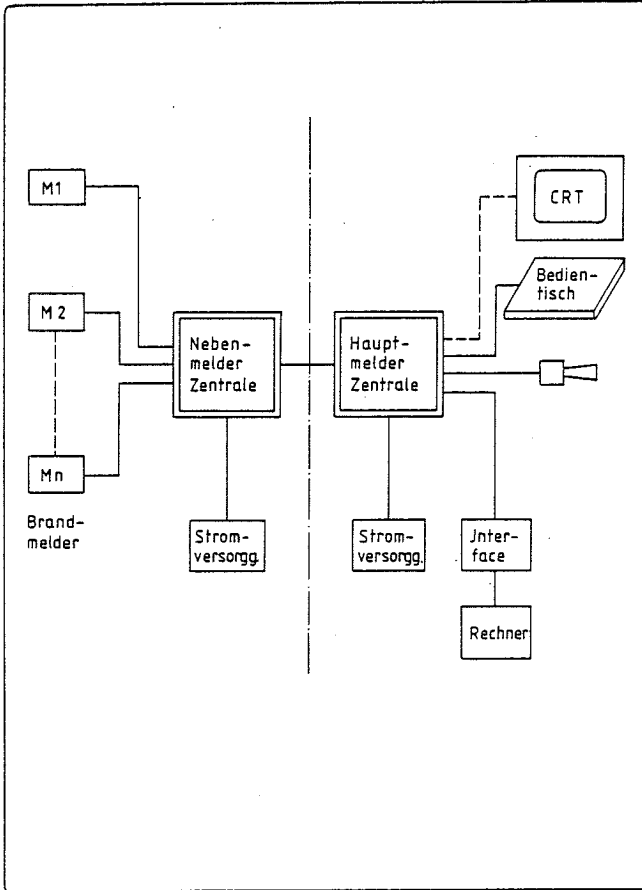
Europ. Norm EN 54, Teil 1 - 9

DIN 4040/41

DIN 50019

DIN 40050

IfB Richtlinie



6. 82

Bild 1

Struktur einer (einfacheren) autom. Brandmeldeanlage.
Melder, Installation, Neben- u. Hauptmelderzentrale,
Stromversorgung, Bedientisch, Rechnerschnittstelle, CRT.

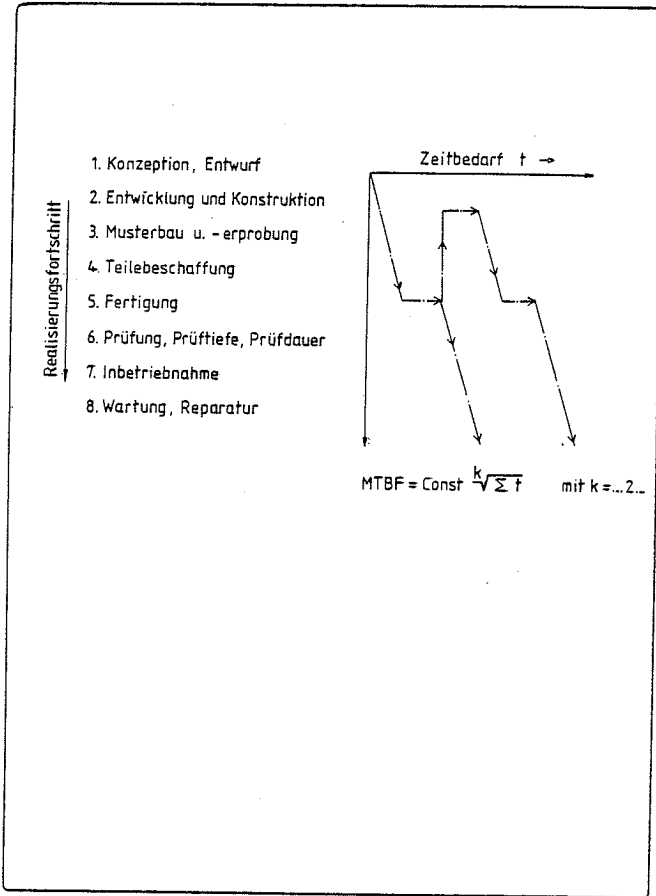
1. Entwicklungs-, Prüf-, Erprobungszeit, Kosten
2. Bauelemente hoher Lebensdauererwartung
3. Schaltdimensionierung, Signalverarbeitung
4. Fail safety Konzept
5. Klimafestigkeit
6. Mechanische Festigkeit
7. Elektromagnetische Verträglichkeit
8. Bedienungskonzept
9. Selbstüberwachung, Bedienerführung
10. Servicekonzept, Verfügbarkeit der Ersatzteile
11. Auswertung der Fehlerstatistik
12. Richtlinien, Auswertung allgem. Betriebserfahrung
13. Prozeduren zur Qualitäts- und Zuverlässigkeits-sicherung beim Hersteller



6. 82

Bild 2

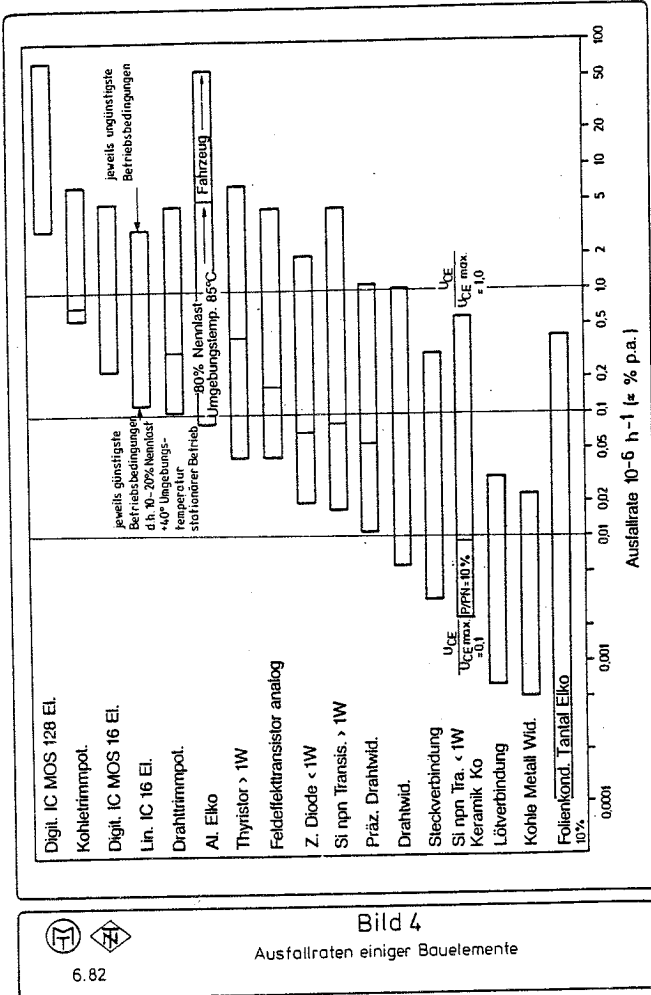
Ansatzpunkte zur Verbesserung der Betriebszuverlässigkeit



6. 82

Bild 3

Realisierungsschritte, Zeitbedarf "Modeling Technique"



6.82



Bild 4

Ausfallraten einiger Bauelemente

Temperatur

Betriebstemperaturbereich	+5° +45°C
dazu Prüftemperaturbereich	-15° +65°C
Lagertemp. + Transporttemperatur	-10° +60°C

Feuchte

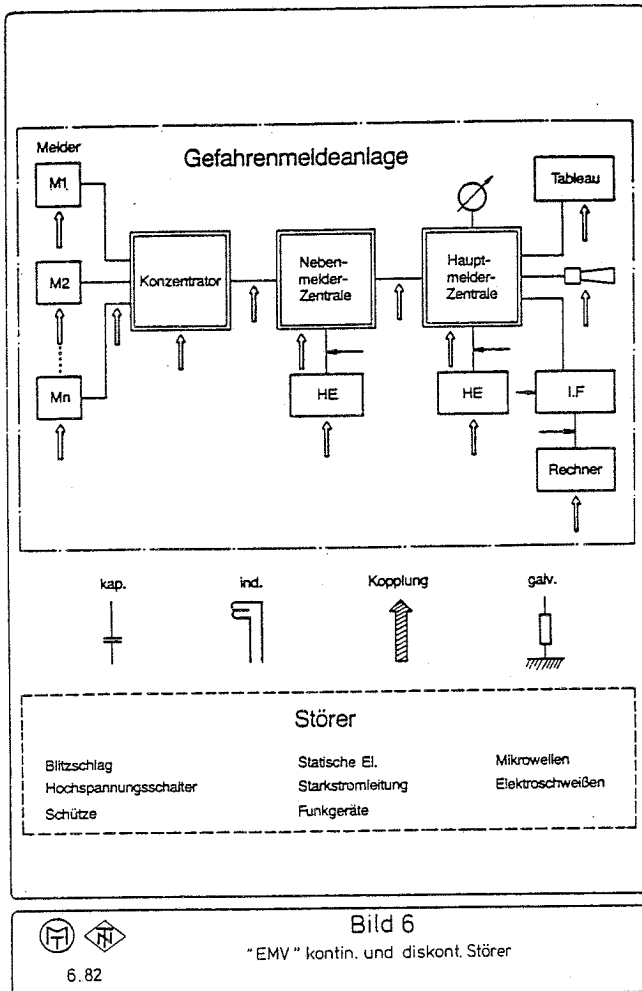
Betriebsbereich	5 85%r.F
dazu Prüfbereich	0 95%r.F
Lager + Transport	0 95%r.F
zulässige Dauer der Einwirkung	



6.82

Bild 5

Klimaanforderung an große Gefahrenmeldeanlagen
Beispiele



Nr.	Verfahren	Hinweise
1	Entkopplung kap.	pF im MHz Bereich?
2	Entkopplung ind.	Erdschleife
3	Entkopplung galv.	
4	Erdung	Kopplung-Imped., MHz Bereich?
5	Symmetrierung kap.	Op amp. unsym. > 100 kHz?
6	Symmetrierung ind.	auch LPI symmetrisch., MHz?
7	Symmetrierung galv.	
8	Abschirmung kap.	Erdung und Ableitströme?
9	Abschirmung ind.	$\mu = f(\sqrt{\epsilon})$; mehrfach?
10	Abschirmung el. magn.	Eindringtiefe bei niedrigen Frequ.
11	hohe Signalp., Halbl.	
12	niedrige Eingangsimp.	auch MHz Bereich?
13	Filterung	ind.-arme Kond., MHz?
14	El. Begrenzung	kurze Ansprechz., Belastb.?
15	kl. Bandbreite	Störspektrum bei Schaltvorgang?
16	Signalformat	hohe Redundanz erwünscht?
17	Austastung	



Bild 7

Die verschiedenen Verfahren zur Verbesserung der Störfestigkeit
Hinweise in Stichworten

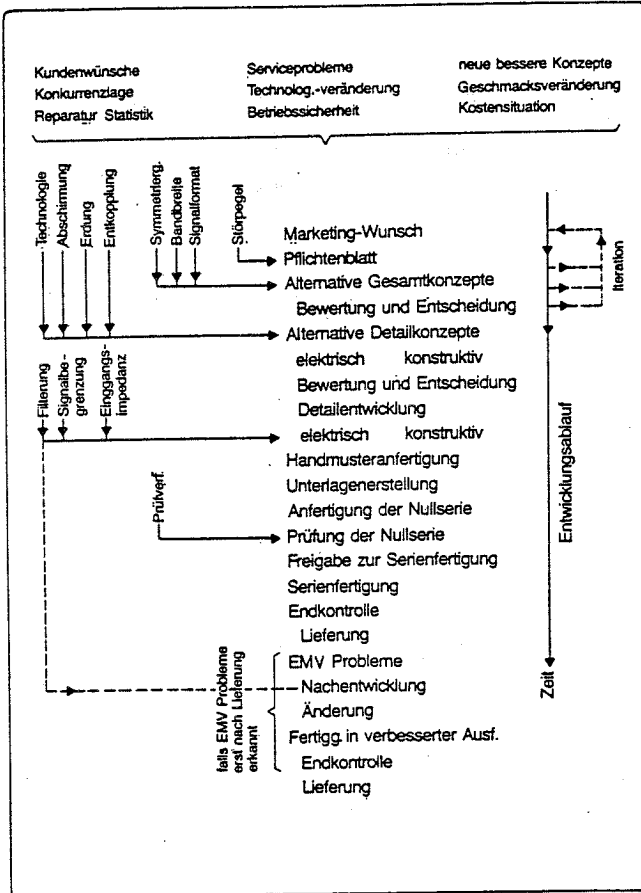


Bild 8
Wann welche Maßnahmen zur Verbesserung der Störfestigkeit

1. 1 MHz-Burst-nach 3-6 Perioden auf 50% der Anfangsamplitude

Innenwiderstand 200 Ohm
Wiederholungsrate 400 sec. ⁻¹
Prüfdauer 2 sec.
1 oder 5 KV

2. Dreieckimpulse 1.2 μ sec. Anstieg auf Scheitel
50 μ sec. Abfall auf 50%

Innenwiderstand 500 Ohm
Energieinhalt 0,5 J.
Umpolung!
1 oder 5 KV

3. Dreieckimpulse 50 nsec. Anstieg auf Scheitel
200 nsec. Abfall auf 50%

1 KV



6. 82

Bild 9

Verschiedene Simulationsspannungen
für die Untersuchung der Störfestigkeit

Ingénieur Diplômé E.S.E. et Radio E.S.E. Daniel LECUYER

LA DETECTION ELECTRONIQUE FRANCAISE S.A.
20 rue de la République - 92170 - VANVES -FRANCE

" L'UTILISATION DES TECHNIQUES LOGICIELLES DANS LES
SYSTEMES DE DETECTION INCENDIE "

I N T R O D U C T I O N

A l'origine des machines de calcul de haute capacité, deux techniques s'affrontaient.

La technique analogique, selon laquelle les données numériques étaient transformées en paramètres physiques (courants tensions par exemple) qui évoluaient d'une manière analogue à ces données, pour se combiner et donner un résultat approché.

Les techniques logiques selon lesquelles toutes les données de quelque nature que ce soit sont quantifiées, la machine ne traitant alors que l'absence ou la présence d'un signal. Par exemple une donnée physique évolutive en fonction du temps, est transformée en une suite de nombres descriptifs de l'évolution, relevé à intervalles plus ou moins rapprochés, et écrit en système binaire, c'est à dire ne comportant que deux états. Ce système permet de traduire l'évolution avec une précision théoriquement aussi grande que l'on veut, puisque la fréquence de la prise d'information n'est limitée que par la rapidité de commutation des circuits électroniques, et le nombre des chiffres de la traduction binaire.

L'évolution des circuits électroniques a permis de choisir la technique logique pour toutes les machines traitant l'information. Depuis la plus simple (calculatrice à quatre opérations), jusqu'aux traitements les plus compliqués, la même technique de base est employée utilisant exclusivement des circuits basculant d'un état à un autre.

On trouve maintenant sur le marché des circuits comprenant une grande quantité de ces bascules dans un très faible volume, connectées à des entrées et des sorties et connectées entre elles par des liaisons établies à la demande ... Ce sont les circuits prédiffusés.

Cette technique de grande diffusion, par conséquent peu onéreuse pénètre peu à peu dans toutes les applications de transmissions d'informations permettant d'en améliorer à la fois la qualité, les performances et le coût.

Il est extrêmement important de déterminer si ces nouvelles techniques sont susceptibles d'assurer une sécurité de fonctionnement égale ou supérieure à la sécurité actuellement imposée par les normes et textes en vigueur.

- 1 - Pour les capteurs eux-mêmes, le temps moyen qui sépare deux pannes, n'en sera pas affecté, bien que l'adjonction d'une adresse augmente le nombre d'éléments.

En effet, un défaut de circuit d'adresse est automatiquement contrôlé par le tableau central, si bien que le risque de défaut de transmission n'en est pas augmenté.

- 2 - Pour les lignes de transmission, le risque est identique à celui qui existait. Cependant, chaque fil transmettant un beaucoup plus grand nombre d'informations, il sera nécessaire d'apporter un plus grand soin à leur installation. La réduction de leur nombre qui s'en suit permet d'envisager un double cheminement, limitant le risque lors d'un incident sur la filerie. De toute façon tout incident sur la liaison est signalé.

- 3 - Pour le tableau central, il apparaît que la sûreté de fonctionnement est beaucoup augmentée du fait de l'utilisation des circuits standards à haute performance et de la possibilité d'autocontrôle du système lui-même.

Il faut cependant considérer qu'il est extrêmement important que l'utilisateur soit clairement averti des processus d'alarme, et de leur hiérarchie. En effet, supposons que cette centrale soit utilisée également pour la gestion des ascenseurs, cette gestion au niveau des signalisations doit être clairement différenciée de l'incendie ou du vol. Un effort doit être fait par les professionnels de toutes ces techniques, afin que dans un cadre commun, ils soient à même de préserver pour chacun d'eux la spécificité de leur technique. Le sujet mérite d'être développé beaucoup plus largement à l'aide d'exemples concrets, et nous souhaitons qu'il puisse être débattu par des commissions multidisciplinaires, aboutissant à des recommandations concrètes, concernant les différentes informations groupées à la fois par nature, et par mode de traitement.

Le coût de tels systèmes sera notablement inférieur au coût des systèmes actuellement utilisés à trois conditions :

- 1) Que cette technique nouvelle ne reste pas l'apanage de quelques grands constructeurs mais soit mis en oeuvre par le plus grand nombre.
- 2) Que les normes et règlements ne viennent pas faire obstacle à son développement.
- 3) Que les utilisateurs admettent de modifier leurs habitudes et leur comportement.
Que l'utilisateur des techniques dites informatiques sortent du cercle restreint des salles climatisées, où elles sont actuellement confinées.

C'est dans cette optique que l'on doit se poser la question, que peut apporter cette technique à la détection des incendies?

Rappelons tout d'abord brièvement que la technique actuelle, consiste à utiliser des capteurs réagissant aux phénomènes caractéristiques d'un foyer d'incendie, délivrant un signal analogique qui, lorsqu'il atteint un seuil déterminé envoie un signal dit " d'alarme ", et lorsqu'il se trouve dans des conditions telles qu'il ne soit plus en mesure de transmettre ce signal, délivre un signal de dérangement. Ces capteurs groupés transmettent en synthèse par modification du courant de ligne, l'information à un tableau centralisateur. C'est la technique de la logique câblée dans laquelle chaque fil ne transporte qu'une seule information.

L'utilisation de la technique logicielle, ou groupe de capteurs, permet l'identification simple de chaque capteur, par une adresse qui lui est affectée. L'adresse est un nombre, transmis sous forme binaire propre à chaque capteur ou groupe de capteurs. Elle permet de mettre hors service n'importe quel capteur pour toute raison que ce soit, par une manipulation simple, elle permet à tout moment par interrogation à partir du clavier, de connaître l'état de n'importe quel capteur. Elle permet de donner n'importe quelle information en synthèse, et enfin elle permet aussi bien de visualiser comme précédemment les différents événements, que de les faire apparaître en clair sur un écran vidéo et de les imprimer sur un journal.

Ces dernières années, l'exploitation de la détection incendie a prolongé le simple signal d'avertissement jusqu'à des actions automatiques programmables. Par exemple, d'extinctions automatiques ou de dispositifs de désenfumage, les programmes se sont de plus en plus compliqués et l'on en est venu au point de se demander les raisons pour lesquelles l'ordinateur dont dispose l'entreprise ne pourrait pas être utilisé pour la réalisation de ce processus. A la notion simple de détection incendie est donc venue se substituer la notion de système, intégrant non seulement la gestion des capteurs d'incendie, mais aussi la gestion des actions de toute nature qui sont susceptibles d'en découler et enfin la gestion de toute la sécurité y compris l'effraction, les alarmes techniques, etc ...

Il conviendrait maintenant que ces généralités sont dites, de pénétrer plus dans le détail des systèmes qui peuvent actuellement être proposés et peut être d'imaginer, rêver peut être aux développements futurs.

On peut décrire succinctement un système complet d'avertissement de sécurité comprenant :

- 1) Différents type de capteurs :
 - capteur incendie
 - capteur effraction
 - capteur gaz
 - capteur de mesure
 - capteur de position

- 2) Des appareils à télécommander automatiquement ou non à partir de l'unité centrale.

- 3) Des liaisons électriques entre ces différents capteurs et une unité centrale ou des éléments sous station et dans ce dernier cas, des liaisons électriques entre ces sous stations et une unité centrale.

- 4) L'unité centrale de gestion

LES CAPTEURS

Ils sont tous caractérisés par leur élément de sortie commun qui correspond au mode de transmission choisi. On peut grouper ces capteurs par zone, selon la technique ancienne, connectés à des sous stations.

On peut aussi individualiser chaque capteur grâce à un circuit adresse.

Cette deuxième solution présente de nombreux avantages car elle permet au niveau du tableau central, de télécommander la mise " HORS " ou " EN " service temporaire ou non, d'un ou de plusieurs capteurs. Elle permet aussi à partir d'une alimentation centrale d'alimenter l'ensemble des capteurs.

Les capteurs effraction se présentent la plupart du temps comme des contacts qui peuvent être directement traités de la même façon.

En ce qui concerne les capteurs de mesure et les capteurs de position (ascenseurs par exemple), il est intéressant de disposer sur l'élément d'adressage de plusieurs sorties codées permettant de délivrer plusieurs états du capteur.

Les liaisons électriques entre les différents capteurs et la centrale ou la sous station peuvent être faites par une ligne bifilaire sur laquelle les capteurs peuvent être raccordés en parallèle. L'état délivré par le capteur permet de donner l'état de la ligne qui est ainsi entièrement surveillée.

Le tableau central d'alarme se réduit alors à un visu, une imprimante et un clavier. Chaque événement apparaît en clair sur la visu et déclenche ou non les conséquences programmées. Chaque asservissement peut être déclenché manuellement à partir du clavier.

A partir de celui-ci, on programme les adresses en service, les séquences d'asservissement, les mots en clair à faire apparaître sur la visu et à imprimer.

On peut imaginer que dans le futur, la sécurité des villes sera assurée de manière entièrement automatique par des centrales de ce type qui géreront à la fois la sécurité des biens et des personnes.

Le développement de la télévision par câble permettra d'acheminer tous les signaux jusqu'au poste central et décrira d'une manière permanente à la fois la santé des personnes âgées que l'incendie ou l'effraction ou la fuite du gaz. Chacun disposera d'un terminal où il pourra programmer lui-même aussi bien l'orientation de son capteur solaire que le programme d'économie d'énergie.

C'est dans cette optique qu'il convient désormais de situer nos vues de développement.

Dipl.-Ing. Hans Rohrbacher
Brown, Boveri & Cie AG., 6909 Walldorf, BRD

Automatische Brandentdeckung in explosionsgefährdeten Bereichen

Brände können überall auftreten und müssen, damit der Brandschaden möglichst gering bleibt, frühzeitig erkannt werden. Dies gilt auch für Bereiche, in denen eine explosionsfähige Atmosphäre auftreten kann. Denn Entstehungsbrände müssen nicht sofort und auch nicht unbedingt zu einer folgenschweren Explosion führen.

Hierfür ist die Bedingung, daß

zur gleichen Zeit und am gleichen Ort
eine explosionsfähige Atmosphäre in einer
gefährdenden Menge

und eine Zündquelle vorhanden sind.

Als Beispiel kann man einen im Winter schwer zu startenden Verbrennungsmotor anführen:

Beim Kaltstart verdampft Benzin in solch schwachem Maße, daß das Gemisch zu mager ist. Durch das Drosseln der zugeführten Luft (automatisch oder von Hand) wird im Gemisch somit Benzin anteilmäßig angereichert. Es besteht aber auch die Möglichkeit, daß das Gemisch zu stark angereichert wird. Ein zu fettes Gemisch ist dann ebenfalls nicht explosibel. Eine erschöpfte Batterie vermag schließlich nur noch ganz schwache Funken abzugeben, d.h. der Motor würde, selbst wenn nun das Gemisch zündfähig ist, immer noch nicht anspringen, da eine wirksame Zündquelle fehlt (1).

In explosionsgefährdeten Bereichen entsteht jedoch außer dem Brandschaden, der im Entstehungsstadium relativ gering ist, immer die Gefahr, daß durch einen nicht erkannten und nicht bekämpften Entstehungsbrand eine folgenschwere Explosion ausgelöst wird. Daher werden in diesen Bereichen in zunehmendem Maße automatische Brandmelder zur frühzeitigen Brandentdeckung eingesetzt.

Brandmelder, die mit elektrischer Energie betrieben werden, können aber unter gewissen Umständen selbst eine Explosion auslösen. Das kann z.B. ein elektrisch erzeugter Funke beim Schalten eines Relaiskontaktes oder im Fehlerfalle eine sehr hohe Temperatur beim Aufbrennen eines überlasteten Widerstandes sein.

Um diese Gefahr zu beseitigen, müssen deshalb für die Brandmelder selbst besondere Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

In den europäischen Normen FN 50 014 bis FN 50 020, die mit den VDE-Bestimmungen VDE 0170/0171 übereinstimmen, sind die Anforderungen an die Schutzmaßnahmen für unterschiedliche explosionsfähige Atmosphären festgelegt.

Ich will nun versuchen, anhand einiger Beispiele die heute in der Brandmeldetechnik gebräuchlichsten Zündschutzarten darzustellen.

Hier sehen Sie einen UV-Flammenmelder (Bild 1), der nach FN 50 018 druckfest gekapselt ist. Der Melder befindet sich im Inneren eines stabilen Aluminium-Gehäuses. In den aufgeschraubten Deckel ist eine Quarzglas-scheibe eingelegt, welche die UV-Strahlung zum Melder gelangen läßt.

Die innere Atmosphäre steht mit der Umgebungsatmosphäre über den nicht gasdichten Deckel in Verbindung. Durch einen Defekt am Melder könnte jetzt im Inneren des Gehäuses ein zündfähiges Gemisch zur Explosion kommen. Das Gehäuse hält jedoch den Explosionsdruck aus und verhindert eine Übertragung der Explosion auf die Umgebungsatmosphäre.

Das letztere erreicht man durch genügend lange und enge Gewindespalte. Hierdurch werden austretende zündfähige Partikel soweit abgekühlt, daß sie nicht mehr genügend Energie zum Zünden der außerhalb des Gehäuses befindlichen Atmosphäre besitzen.

Für verschiedene Gas-Luft-Gemische sind dabei unterschiedliche Zündenergien erforderlich (Bild 2). So werden z.B. für Methan-Luft-Gemische 280 mWs benötigt, dagegen für Wasserstoff-Luft-Gemische nur 19 mWs. Nach der erforderlichen Zünderergie werden die Gas-Luft-Gemische in Explosionsgruppen von II A bis II C eingeteilt (2).

Hieraus ist ersichtlich, daß ein Gehäuse, für das Explosionsgruppe II C ausgewiesen ist, auch mit Gas-Luft-Gemischen der Explosionsgruppe II A in Berührung kommen kann. Umgekehrt darf jedoch kein Gehäuse der Explosionsgruppe II A mit Gas-Luft-Gemischen der Explosionsgruppe II C in Berührung kommen.

Wie schon erwähnt, können explosionsfähige Gemische nicht nur durch Funken sondern auch durch hohe Temperaturen gezündet werden. Die niedrigste gerade noch zündende Temperatur wird als Zündtemperatur bezeichnet. So liegt zum Beispiel die Zündtemperatur von Schwefelkohlenstoff bei 95 °C, die Zündtemperatur von Benzin jedoch bei 300 °C. Nach der erforderlichen Zündtemperatur werden brennbare Gase in die Temperaturklassen T 1 bis T 6 eingeteilt.

Für den druckfest gekapselten UV-Flammenmelder bedeutet dies, daß beim Einsatz die Oberflächentemperatur des Gehäuses kleiner als die Zündtemperatur der umgebenden Atmosphäre ist (Bild 3). Aus der Tabelle 3 ist die für die Temperaturklassen höchstzulässige Gehäuse-temperatur ersichtlich (3). Aufgrund der geringen Verlustleistung von Brandmeldern ist die Temperaturerhöhung des Gehäuses jedoch sehr gering, so daß hier immer die Temperaturklasse T 6 erreicht wird.

Aus der Gehäusebezeichnung des UV-Flammenmelders läßt sich nun direkt die Zündschutzart, die Explosionsgruppe und die Temperaturklasse ersehen (Bild 4). Das Gehäuse ist allerdings noch nach der alten VDF 0170/0171/2.61 zugelassen und durch Schutzart, Explosionsklasse und Zündgruppe gekennzeichnet. Wegen der korrespondierenden Begriffe kann diese Kennzeichnung aber leicht in die neue Form überführt werden. Anzumerken ist nur, daß für die Temperaturklasse T 6 keine entsprechende Zündgruppe existiert.

Dieser druckfest gekapselte Melder ist danach zum Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen, in denen explosionsfähige Gemische bis zur Explosionsgruppe II C und Temperaturklasse T 5 auftreten können, geeignet.

Das nächste Bild (Bild 5) zeigt einen optischen Rauchmelder in der Schutzart Sonderschutz nach VDE 0170/0171 Ausgabe 2.61. Der Sonderschutz ist als eigenständige Zündschutzart in der neuer harmonisierten VDE 0170/0171 nicht mehr vorhanden, sondern weitgehend in den Zündschutzarten Vergußkapselung und Sandkapselung aufgegangen. Geräte mit dieser Zulassung dürfen jedoch bis 1988 weiter gebaut werden.

Der hier gezeigte Rauchmelder ist innen mit Sand gefüllt, welcher einen eventuell entstehenden Funken zum Erlöschen bringt und damit ein Ausdringen an die Umgebungsatmosphäre verhindert. Zusätzlich ist als mechanischer Schutz das Unterteil mit einem Stahlmantel umgeben. Auch dieser Melder kann in explosionsgefährdeten Bereichen, in denen explosionsfähige Gemische bis zur Zündgruppe G 5 auftreten können, eingesetzt werden.

An dieser Stelle sei bemerkt, daß auch Melder geprüft und zugelassen werden können, deren Bauart keiner Vorschrift entspricht, deren konstruktive Ausführung aber den physikalischen Grundprinzipien des Explosionsschutzes entspricht. Von dieser Vorgehensweise ist jedoch wegen des äußerst komplizierten Zulassungsverfahrens abzuraten. Brancheninsider sprechen in diesem Zusammenhang von einer "Ochsentour".

Das nächste Bild (Bild 6) zeigt einen explosionsgeschützten Rauchmelder, der sich von der Normalausführung auf den ersten Blick äußerlich nicht unterscheidet und in eigensicheren Stromkreisen eingesetzt wird. Bei der Zündschutzart Eigensicherheit werden durch Schaltungsmaßnahmen der Strom und die Spannung im Stromkreis so begrenzt, daß auch im Fehlerfall kein zündfähiger Funke oder eine zu hohe Wärmeentwicklung auftritt. Dazu werden Zenerbarrieren oder Trennwandler benutzt. Weiterhin sind - falls vorhanden - die Kapazitäten und Induktivitäten im eigensicheren Stromkreis so zu begrenzen, daß der in ihnen gespeicherte Energieinhalt kleiner 20 "Ws ist.

Wenn nun aber wie bei dem gezeigten Streulichtmelder Kondensatoren vorhanden sind, deren Energieinhalt größer 20 mWs ist, so muß dafür gesorgt werden, daß durch diese innerhalb des Melders gespeicherte Energie kein zündfähiger Funke entstehen kann.

Die Rückwirkungsfreiheit der Kapazitäten auf der eigensichereren Kreis erreicht man durch zwei in Reihe geschaltete Dioden in der Zuleitung zur Melderelektronik (Bild 7). Zwei parallel zur Spannungsversorgung geschaltete Zenerdioden verhindern ein Auskoppeln von Sparrungsspitzen, die im Fehlerfall z.B. durch vorhandene Induktivitäten hervorgerufen werden können.

Zusätzlich wird durch eine Vergußkapselung der Leiterplatte verhindert, daß auf dieser im Fehlerfall zündfähige Funken entstehen können. Weiterhin muß bei der Schaltungsentwicklung des Melders durch geeignete Dimensionierung darauf geachtet werden, daß bei der im eigensichereren Stromkreis auftretenden höchsten Spannung bzw. dem höchsten Strom im Fehlerfall innerhalb des Melders an Widerständen, Dioden oder Transistoren keine unzulässig hohen Temperaturen auftreten.

Eigensichere Melder sind im allgemeinen wesentlich preisgünstiger als Melder anderer Zündschutzarten. Sie sind leichter zu installieren, einfacher zu warten und werden deshalb bevorzugt eingesetzt. Da aber zusätzlich für jede eigensichere Meldergruppe ein Trennwandler, eine Zenerbarriere oder ein besonderer Einschub in der Zentrale erforderlich ist, hängt die Entscheidung für oder gegen eigensichere Melder oft davon ab, wieviele explosionsgeschützte Melder pro Anlage bzw. pro Meldergruppe eingesetzt werden.

Die bisherigen Ausführungen haben primär die Anforderungen an die explosionsgeschützten Brandmelder näher erläutert. Entwickelt und baut jetzt der Hersteller den Melder so, daß alle Anforderungen erfüllt werden, dann wird nach positiver Prüfung durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt der Melder zugelassen und erhält eine Prüfnummer.

Soll dieser zugelassene Melder jetzt in eine Anlage eingebaut werden, so sind auch von dem Betreiber Vorschriften bzw. staatliche Rechtsnormen zu beachten (2).

Dies sind insbesondere:

- Elex V
- EX-RL, Richtlinien für die Vermeidung der Gefahren durch explosible Atmosphäre mit Beispielsammlung
- VDE 0165, Errichten elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen
- VDE 0100
- VDE 0800
- und die besonderen Bedingungen aus dem Prüfungsschein

Wegen ihrer Wichtigkeit will ich hier kurz auf die in diesen Richtlinien vorgenommene Zoneneinteilung eingehen.

Explosionsgefährdete Räume werden nach der Wahrscheinlichkeit des Auftretens gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre in Zonen eingeteilt. In Bereichen, die durch brennbare Gase, Dämpfe oder Nebel gefährdet sind, gilt dabei folgende Einteilung:

- Zone 0 umfaßt Bereiche, in denen gefährliche explosionsfähige Atmosphäre ständig oder langfristig vorhanden ist.
- Zone 1 umfaßt Bereiche, in denen damit zu rechnen ist, daß eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre nur selten und dann auch nur kurzzeitig auftritt.
- Zone 2 umfaßt Bereiche, in denen damit zu rechnen ist, daß eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre nur selten und dann auch nur kurzzeitig auftritt.

In Bereichen, die durch brennbare Stäube explosionsgefährdet sind, gibt es analog die Zonen 10 und 11 und in medizinisch genutzten Räumen die Zonen G und M.

Den Zonen sind bestimmte Installationsarten und Betriebsmittel zugeordnet.

In der Zone 0 dürfen nur Betriebsmittel eingesetzt werden, denen in der Baumusterprüfung die Eignung für Zone 0 ausdrücklich bestätigt wird. Dies sind meist Betriebsmittel mit zwei kombinierten Schutzarten, z.B. ein sandgekapselter Flammmelder in einem druckfest gekapselten Gehäuse.

In der Zone 1 dürfen alle Betriebsmittel eingesetzt werden, die der VDE 0170/0171 entsprechen und einer Baumusterprüfung unterzogen worden sind.

In der Zone 2 dürfen Betriebsmittel, die für die Zone 1 und Zone 0 geeignet sind und solche, die nicht der VDE 0170/0171 entsprechen und nicht einer Baumusterprüfung unterzogen worden sind, eingesetzt werden, sofern betriebsmäßig keine Funken, Lichtbögen oder unzulässigen Temperaturen auftreten und mindestens die Schutzart IP 54 eingehalten wird.

Für die Zonen 10 und 11 sowie für die Zonen G und M gilt ähnliches wie für die Zonen 0, 1 und 2.

Wird nun in explosionsgefährdeten Bereichen eine Brandmeldeanlage errichtet, so ist eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Betreiber und dem Errichter der Anlage erforderlich. Denn es müssen neben den Projektierungsrichtlinien für Brandmeldeanlagen alle Vorschriften, Richtlinien und Rechtsnormen für den Explosionsschutz eingehalten werden.

Der Betreiber legt - oft mit Unterstützung des Gewerbeaufsichtsamtes - die Zonen fest und gibt an, welche Zündschutzarten, Explosionsgruppen und Temperaturklassen erforderlich sind.

Der Errichter wählt danach die Brandmelder so aus, daß die Belange des Explosionsschutzes und der Brandentdeckung berücksichtigt werden. Er installiert die Anlage und erstellt die Installationsbeschreibung.

Verantwortlich für die Gewährleistung des Explosionsschutzes während des Betriebes, bei Reparaturen, Instandsetzungen und Wartungsarbeiten ist jedoch einzig der Betreiber.

In den bisherigen Ausführungen wurde aufgezeigt, was beim Einsatz von elektrisch betriebenen Brandmeldern in explosionsgefährdeten Bereichen beachtet werden muß.

Zündschutzmaßnahmen nach VDE 0170/0171 sind jedoch nicht erforderlich, wenn die Brandmelder keine elektrischen Bauteile enthalten und nicht mit elektrischer Energie betrieben werden. Hier gibt es bereits linienförmige Thermomelder, die den Druckanstieg innerhalb eines luftgefüllten Metallrohres als Folge einer äußeren Temperaturerhöhung auswerten.

Eine weitere Möglichkeit, einen Brandmelder zu realisieren, der keine elektrischen Bauteile enthält, besteht beim optischen Streulichtmelder durch das Trennen der Melderelektronik von der eigentlichen Meßkammer.

Die Elektronik einschließlich der Leucht- und Fotodioden befindet sich dann außerhalb des explosionsgefährdeten Bereiches. Die Verbindung zur Meßkammer, die sich innerhalb des explosionsgefährdeten Bereiches befindet, erfolgt über Lichtwellenleiter. Die Lichtintensität ist hierbei so gering, daß sie weder im Betrieb noch im Störfall explosive Gemische fotochemisch oder fotothermisch zünden kann.

Bei der in den Versuchsaufbauten benutzten Wellenlänge von 940 nm hat sich bis zu Längen von ca. 100 m die Dämpfung des Lichtwellenleiters nicht nachteilig bemerkbar gemacht.

Wesentlich kritischer ist jedoch die Ankopplung der Glasfaser an die Leucht- bzw. Fotodioden. Um die Kopplungsverluste möglichst gering zu halten, muß hier sehr genau justiert werden. Das gleiche gilt am anderen Ende der Übertragungsstrecke für die Aus- und Einkopplung im Meßkopf. Das aus dem Lichtwellenleiter austretende divergente Lichtbündel wird über eine Optik in den Streubereich fokussiert. Für das an den Rauchpartikeln rückgestreute Licht gilt das analoge.

Weiterhin muß auch, ohne daß Rauch im Meßkopf ist, durch konstruktive Maßnahmen dafür gesorgt werden, daß ständig eine geringe Rückstreuung vorhanden ist. Diese wird dann in der Melderelektronik ausgewertet und zeigt an, daß die Verbindung zwischen Elektronik und Meßkopf nicht unterbrochen ist. Die Forderungen an eine Primärleitung nach VDE 0833 werden damit erfüllt. Die Entwicklung dieses Melders ist zwar noch nicht abgeschlossen, doch zeigen die bisherigen Versuche ermutigende Ergebnisse.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß heute eine breite Palette von explosionsgeschützten Brandmeldern dem Anwender zur Verfügung steht, aus der in enger Zusammenarbeit zwischen Betreiber und Errichter die Melder nach den Gesichtspunkten des Brandschutzes und des Explosionsschutzes ausgewählt werden können.

Literatur

- 1) Dr. Gerhard Jesse, Grundlagen zum Explosionsschutz, Frankfurt, Nov. 80, S. 16 (Schulungsunterlagen, Haus der Technik, Essen)
- 2) Auszug aus dem Tabellenwerk "Sicherheitstechnische Kennzahlen brennbarer Gase und Dämpfe", zusammengestellt im Auftrage der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig, von K. Nabert und G. Schön; 2. erweiterte Auflage, Berlin 1963
- 3) DIN 57 165/VDE 0165, Pkt. 2, Tabelle 1
- 4) K. Nowak, Explosionsschutz, Neuregelung der Bestimmungen, Elektro-Anzeiger, 1980, Nr. 21, S. 27 ... 38

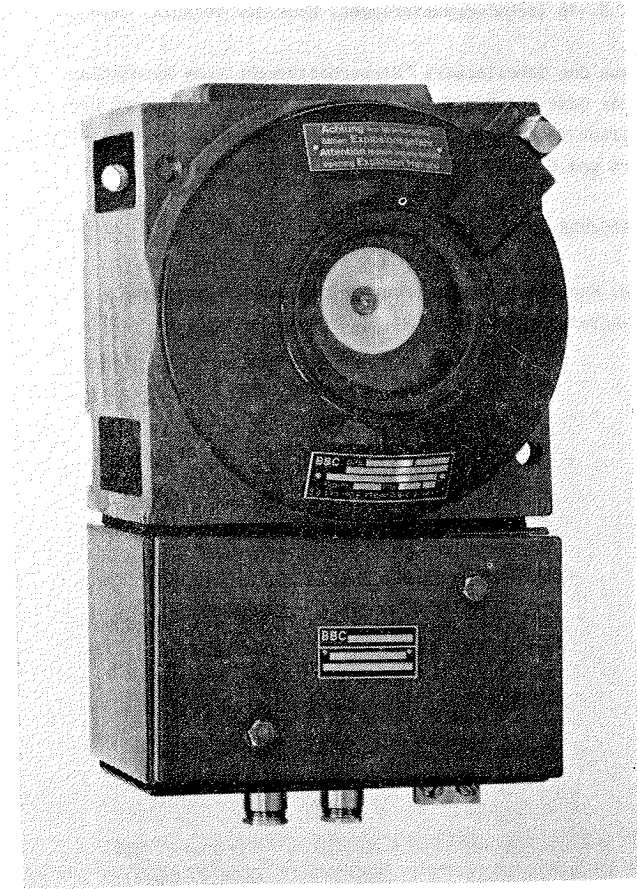


Bild 1: UV-Flammenmelder

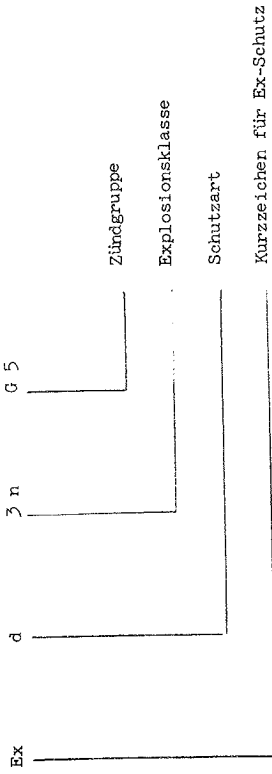
Gasart	Zündenergie (μJ od. μWs)	Explosionsgruppe (Gasgruppe)
Methan (nicht Grubengas)	280	II A
Propan	260	II A
Äthylenoxid	65	II B
Acetylen	19	II C
Wasserstoff	19	II C

Bild 2: Zündenergien für Gas-Luft-Gemische (nach Nabert-Schör.)

Temperaturklasse		
Zündtemperatur $^{\circ}\text{C}$		Höchste Oberflächen- temperatur $^{\circ}\text{C}$
T 1	450	450
T 2	300	300
T 3	200	200
T 4	135	135
T 5	100	100
T 6	85	85

Bild 3: Einteilung der Temperaturklassen

alte Kennzeichnung
nach VDE 0170/0171/2.61



entsprechende
neue Kennzeichnung

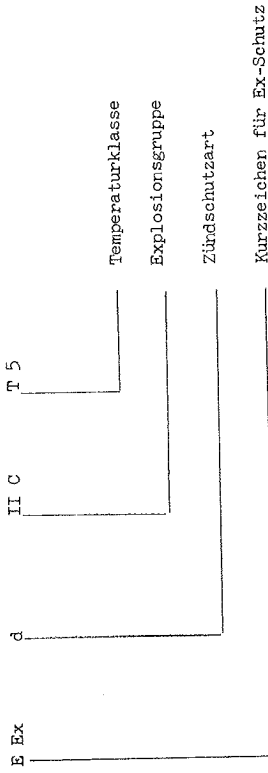


Bild 4: Gehäusekennzeichnung

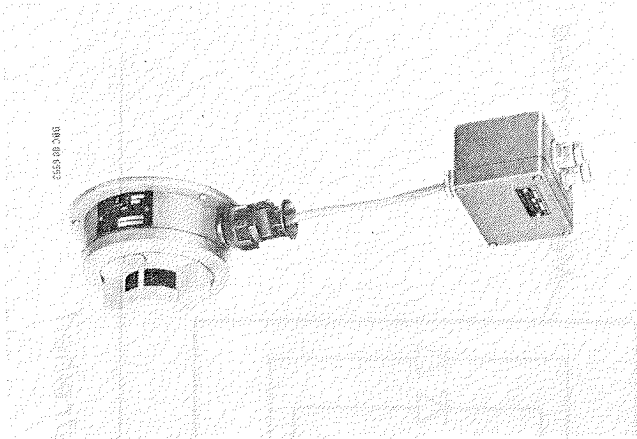


Bild 5: Optischer Rauchmelder, Schutzart: Sonderschutz



Bild 6: Optischer Rauchmelder, Zündschutzart: Eigensicherheit

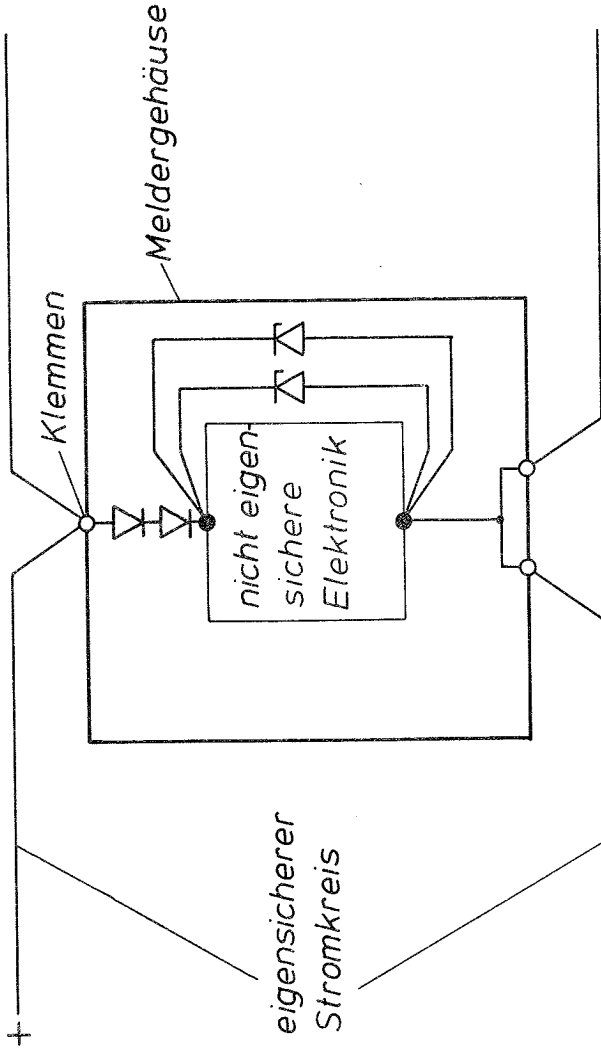


Bild 7: Beschaltung für Rückwirkungsfreiheit

B. Heinen

Esser - Sicherheitstechnik GmbH & Co KG, Neuss

Ausfallwahrscheinlichkeiten mikroprozessorgesteuerter Brandmeldesysteme

Der Vormarsch mikroprozessorgesteuerter Brandmeldesysteme ist, den Bemühungen nahezu aller führenden Hersteller zufolge, schwerlich aufzuhalten, wird jedoch auch vor allem von Vertretern vorschiftgebender Institutionen mit gewisser Skepsis beobachtet. Sie richtet sich insbesondere gegen die erheblich größere schaltungstechnische Komplexität, die starke Konzentration wichtiger Signalfade sowie die als unzureichend empfundene Anzeige- und Bedientransparenz solcher Anlagen.

Die ersten beiden Aspekte sind prozessorbedingt, die Ausführung der Anzeige- und Bedienelemente als alphanumerisches Display bzw. Zehnertastatur sind dagegen nicht zwingend sondern resultieren aus dem Wunsch nach Vereinfachung und Kostenreduzierung insbesondere bei größeren Anlagen.

Andererseits ist der Einsatz elektronischer Intelligenz der Schlüssel zur Lösung einer beträchtlichen Zahl von Problemen automatischer Branderkennung. So können wichtige Detektorfunktionen wie z.B. das Ausfiltern und damit Abgrenzen von Brandkenngrößen gegen Täuschungsalarne besser und kostengünstiger in die Zentrale verlagert werden (1), ebenso die zentrale Funktions- oder Empfindlichkeitskontrolle. Voraussetzung hierfür ist die Meldereinzelerkennung, die darüberhinaus zudem auch eine genauere Bestimmung des Brandortes und Brandverlaufs ermöglicht. Systeme dieser Art zu vernünftigen Kosten setzen den Einsatz von Mikroprozessoren voraus.

Wenn man die Zuverlässigkeit mikroprozessorgesteuerter Brandmeldesysteme diskutiert, so ist demzufolge stets das gesamte System einschließlich seiner Peripherie zu betrachten, dies wird leider oft übersehen.

Im folgenden möchte ich versuchen qualitativ und soweit als möglich auch quantitativ darzustellen, inwieweit sich die Zuverlässigkeit mikroprozessorgesteuerter Brandmeldesysteme im Vergleich zu konventionellen Systemen verändert.

1. Definition der Zuverlässigkeit und Ausfallrate von Komponenten und Systemen

Wird ein Fehlalarm ausgelöst oder unterbleibt ein Alarm trotz eines Brandes, so liegt ein Ausfall vor. Unter der Zuverlässigkeit eines Systems versteht man die Wahrscheinlichkeit dafür, daß das System im Zeitintervall $[0,t)$ nicht ausfällt.

Grundsätzliche Betrachtungen zur Zuverlässigkeit elektronischer Systeme waren

bereits vor einer Reihe von Jahren Gegenstand dieses Seminars (2), (3). Es sei deshalb nur kurz an die wichtigsten Ergebnisse erinnert.

Die zufällige Zeit x von der Inbetriebnahme eines Systems bis zu seinem Ausfall folgt einer Verteilungsfunktion $F(t)$ mit der Verteilungsdichte $f(t)=F'(t)$:

$$F(t) = \int_0^t f(x) dx \tag{1}$$

Die mittlere Lebenszeit des Systems $E(x)$ ist definiert als

$$E(x) = \int_0^{\infty} t f(t) dt \tag{2}$$

mit Gl.1 erhält man daraus durch partielle Integration

$$E(x) = \int_0^{\infty} (1-F(t)) dt \tag{3a}$$

$R(t)=1-F(t)$ ist dabei die Zuverlässigkeitsfunktion des Systems. Statt durch $R(t)$ wird die Anfälligkeit eines Systems gegenüber einem Ausfall häufig durch die Ausfallrate λ charakterisiert. Zwischen den beiden Größen besteht der Zusammenhang

$$\lambda(x) = - \frac{R'(x)}{R(x)} \tag{3b}$$

bzw. nach Integration

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(x) dx} \tag{4}$$

Die Ausfallrate eines elektrischen Systems ist in der Regel nicht zeitlich konstant sondern folgt einer sogenannten Badewannenkurve. Geht man jedoch davon aus, daß die Phase der Frühausfälle durch geeignete Maßnahmen (Voralterung durch burn-in) ebenso wie die Alterungsausfälle (durch rechtzeitige Anlagenerneuerung) aus der Betrachtung herausgenommen werden können, so bleibt eine Zone mit im wesentlichen konstanter Ausfallrate übrig, sodaß gemäß Gl.4 die Zuverlässigkeit und damit auch die Lebenszeit einem Exponentialgesetz folgt, in dem die rein statistische Ursache der Ausfälle zum Ausdruck kommt.

Im Falle einer exponentiell verteilten Lebenszeit erhält man aus Gl. 3a für die mittlere Lebenszeit

$$E(x) = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \tag{5a}$$

In diesem Fall sind also mittlere Lebenszeit (im engl. MTTF=Mean Time to Failure) und Ausfallrate einander umgekehrt proportional.

In den Reliability Reports der Hersteller und den Prüfberichten der insbesondere militärischen Anwender (4) findet man zumeist die Angabe der prozentualen Zahl F der Ausfälle in einer vorgegebenen Betriebsdauer τ (z.B. 0,1% pro 1000 Std.). Daraus läßt sich T direkt bestimmen zu

$$T = - \frac{\tau}{\ln(1-F/100)} \approx \frac{\tau}{F} \cdot 100 \tag{5b}$$

nach Reihenentwicklung für kleine F.

Ein Seriensystem aus n Komponenten mit den mittleren Lebenszeiten T_n ist dadurch charakterisiert, daß der Ausfall eines Elements zum Ausfall des gesamten Systems führt. Es sind deshalb die Überlebenswahrscheinlichkeiten der Einzelelemente und damit die Ausfallraten miteinander zu multiplizieren. Für die mittlere Lebenszeit des Gesamtsystems gilt deshalb entsprechend

$$T = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i} \right)^{-1} \quad (6)$$

2. Die Ausfallraten einzelner Systemkomponenten

Die Wahrscheinlichkeit dafür, ob ein System ausfällt, wird entscheidend bestimmt von den wirkenden Umgebungseinflüssen z.B. Temperatur, Druck, Feuchte, radioakt. Strahlung und den Betriebsdaten z.B. Strom, Spannung, elektr. und magn. Feldstärke.

In der Regel nimmt die Ausfallrate mit wachsender zugeführter Energie zu. Im Falle von Halbleiterkomponenten gilt für die Größen Temperatur T und Spannung V ein Gesetz der Form

$$F/100 = A \exp\left(-\frac{E}{kT} + BV\right) \quad (7)$$

Hierbei sind A, B bauteilspez. Konstanten, E die halbleiterspez. Aktivierungsenergie, k die Boltzmann-Konstante, T die absolute Temperatur und F die prozentuale Ausfallrate. Für den Feuchteeinfluß läßt sich eine ähnlich einfache Beziehung nicht angeben. Empirisch erhält man z.B. bei Erhöhung der relativen Luftfeuchte (gemessen bei 85 °C) von 30% auf 85% eine Vergrößerung der Ausfallrate um den Faktor 40 bei bipolaren Bauteilen und 70 bei integrierten Bauteilen der C-MOS B-Serie (5) innerhalb einer Meßdauer von 2000 Std. Der Einfluß von atmosphärischen Druckschwankungen im Bodenbereich ist demgegenüber zu vernachlässigen.

Bild 1 zeigt den Einfluß von Temperatur und Betriebsspannung auf die Ausfallrate gemäß Gl.7 für die in Sicherheitsanlagen verbreitete C-MOS B-Serie im DIP-Gehäuse (6). Man erkennt, daß eine Verdopplung der Umgebungstemperatur von 25 °C auf 50 °C die entsprechende Ausfallrate mehr als verzehnfacht. Der Einfluß der Betriebsspannung ist zwar schwächer, bewirkt jedoch immerhin noch eine Vergrößerung der Ausfallrate um den Faktor 4 bei Verdopplung der Betriebsspannung von 6 V auf 12 V. Entscheidend

ist darüberhinaus der Bautyp des verwendeten Typs. So liefert z.B. der Einsatz einer Frit-Seal-Keramik-Version eine Verbesserung der Temperatur- und Spannungsraten um den Faktor 4 gegenüber einer elektrisch identischen Plastik-Version. Allerdings schneidet die letztere wiederum bei Feuchtemessungen in der Regel besser ab. Hier muß unter Berücksichtigung aller Faktoren wie Umgebungsbedingungen, Betriebsdaten und Kosten die jeweils geeignete Lösung gefunden werden.

Bei der weiteren Betrachtung wird bezogen auf eine Betriebstemperatur von 25 °C und auf eine Betriebsspannung von 7 V von den folgenden Ausfallraten ausgegangen (7) (8)

Ausfälle in 1 000 000 Std.

Kohleschichtwiderstände	0,01
Keramik Kondensatoren	0,02
Elektrolytkondensatoren, Tantal	0,10
Dioden, Silizium	0,01
Transistoren, Silizium	0,01
C-MOS ICs Serie B, DIP	0,13
LSI-ICs DIP NMOS	0,60
LSI-ICs DIP CMOS	0,90

Bedenkt man, daß ein LSI-Schaltkreis aus 40000 Einzeltransistoren und mehr aufgebaut ist, so zeigt ein Blick in die obige Tabelle, daß hinsichtlich seiner Ausfallrate ein aus diskreten Transistoren aufgebautes äquivalentes System mit einem Chip schwerlich konkurrieren kann, seine Ausfallrate läge bei etwa 400 in 1000000 Std. und würde somit im Mittel nach Gl.5a nur 2500 Std. funktionieren. Die Lebensdauern von Einzelhalbleitern sind somit nicht auf integrierte Bausteine übertragbar.

Bei optoelektronischen Bauteilen ist der Verteilungsfunktion der rein statistischen Ausfälle noch eine zweite Verteilungsfunktion überlagert, die von der zeitlichen Abnahme der Lumineszenzdiode bestimmt ist. Nimmt man vereinfachend für letztere auch eine Exponentialverteilung an, so ergibt die Faltung beider Funktionen in etwa eine Exponentialverteilung mit demzufolge konstanter Ausfallrate. Ein Ausfall liegt dabei dann vor, wenn sich die Strahlungsleistung bzw. das Stromübertragungsverhältnis auf 50% des Nullstundenwertes verringert hat. In diesem Fall erhält man für

Optokoppler	2,50
LEDs	1,00

Ausfälle in 1000000 Std. bei 50% des maximal zulässigen Dauerstroms der Dioden.

Die Unterschiede hinsichtlich der Zuverlässigkeit aller mechanischen Komponenten z.B. Schalter, Steckverbinder, Löt- und Kontaktstellen, Leiterbahnen, Leitungsschlüsse und Gehäuseteile, Relais, akust. Warngeräte etc. werden als vernachlässigbar angesehen. Allenfalls dürfte sich bei genauerer Betrachtung ein Vorteil bei mikroprozessorgesteuerten Systemen nachweisen lassen, da hier die Zahl insbesondere der benötigten Lötstellen, Steckverbindungen und Leiterbahnen erheblich reduziert werden kann.

3. Vergleichende Abschätzung der Systemausfallraten

Eine direkte Bestimmung der Ausfallraten mikroprozessorgesteuerter Systeme ist aufgrund der derzeit noch unzureichenden Stichprobengrößen und Beobachtungszeiträume kaum möglich, wohl aber ein Vergleich auf der Basis der Lebenszeiten von Einzelkomponenten. Es sollen im übrigen folgende vereinfachende Annahmen getroffen werden:

- a) Jedes Bauteil führt im Falle seines Versagens zu einem teilweisen oder totalen Ausfall des Systems. Dies ist in der Praxis nicht immer der Fall. So kann z.B. der Drahtbruch einer Blitzschutzdiode im Eingang einer Meldelinie ohne Einfluß auf die Zuverlässigkeit des Systems bleiben, während ein durch sie verursachter Kurzschluß zum Ausfall der Linie führt.
- b) Systemausfälle als Folge von Bauteilkurzschlüssen seien für beide Anlagenversionen als gleich wahrscheinlich angenommen. In der Regel sind die Verhältnisse bei Mikroprozessorsystemen wegen des geringeren Bauteil-aufwands günstiger.
- c) Nur die unmittelbar auf einen Signalpfad wirkenden Bauelemente und Kop-pelglieder werden als Seriensystem im zuverlässigkeitstheoretischen Sinne betrachtet, alle übrigen Bauelemente dagegen seien rückwirkungsfrei.

Diese Annahme vermeidet die Berücksichtigung von Sekundärausfällen.

Die Bilder 2a und 2b geben einen schematischen Aufbau der beiden Systeme wieder. Obgleich natürlich je nach Hersteller erhebliche konzeptionelle Unterschiede zwischen den einzelnen Brandmeldesystemen bestehen, lassen sich dennoch prinzipielle Gemeinsamkeiten ableiten, die in dem dargestellten Blockschema ihren Ausdruck finden.

Die Stromüberwachung der einzelnen Meldelinien erfolgt bei einem Prozessorsystem dynamisch durch periodische Abfrage über einen schnellen Analogmultiplexer. Die Auswerteeinheit ist deshalb für eine ganze Gruppe von Linien nur einmal erforderlich.

Eine Filterfunktion, z.B. die Ausblendung schneller Störimpulse, wird durch entsprechende Mehrfachabfrage der jeweiligen Linie erreicht und macht deshalb keinen weiteren Hardwareaufwand erforderlich. Die Speicherung der Meldelinienzustände wird in den Arbeitsspeicher des Prozessorsystems verlegt. Die Verbindung des Prozessors mit den Auswerte- und Ansteuer-elementen (LEDs, Relais, etc.) geschieht durch Input/Outputbausteine, die über einen gemeinsamen Adress- und Datenbus auch mit

den Programm- und Arbeitsspeicherbausteinen verbunden sind.

Die in den einzelnen Blöcken angegebenen Zahlen geben die jeweiligen Ausfallraten wieder, errechnet unter Verwendung der in Abschnitt 2. aufgelisteten Werte.

Für die Bestimmung des für die Einzelnen Funktionsgruppen üblicherweise benötigten Bauteilbedarfs standen zwei Systeme unseres Unternehmens sowie je ein System zweier Wettbewerber Modell. Die Abschätzung erfolgte dabei unter Verwendung der Maximalwerte und erwies sich im übrigen als nicht allzu kritisch. Als Systemausbau wurde eine 10-Linienzentrale angenommen.

Bei der Bestimmung der Ausfallraten des Gesamtsystems ist zu berücksichtigen, daß elektronisch parallel arbeitende Bauelemente im Sinne der Zuverlässigkeitstheorie ein Seriensystem bilden können. Unter Benützung der Gl.6 erhält man dann die angegebenen Ausfallraten.

Man erkennt, daß die starke Konzentration der Liniensignalfade die Zuverlässigkeit des Mikroprozessorsystems vergleichsweise erheblich verschlechtert, dies gilt vor allem für Totalausfälle. Das Ergebnis ist nicht ganz unerwartet und bestätigt die Skeptiker. Zu betonen ist allerdings, daß diese Verschlechterung primär in der Signalfadkonzentration und nicht in der generell niedrigeren Zuverlässigkeit von LSI-Bauteilen zu suchen ist. Zudem ist die Verschlechterung nicht dramatisch, denn die technologisch veränderte Baugruppe mit LSI-Bausteinen besitzt immerhin noch eine mittlere Lebenszeit von ca. 10 Jahren und tritt damit gegenüber Detektorausfällen und Ausfällen durch Täuschungsalarme kaum in Erscheinung. Die starke Anfälligkeit gegen Totalausfälle muß allerdings bedenklich stimmen.

4. Verbesserung der Ausfallrate durch Redundanzhöhung

Die Zuverlässigkeit eines Systems läßt sich verbessern, indem ein oder mehrere weitere Systeme gleicher Funktion parallelgeschaltet werden. Diese Parallelschaltung muß rückwirkungsfrei erfolgen, sodaß bei Ausfall des Primärsystems das Parallelsystem dessen Funktion übernehmen kann. Dabei ist zu unterscheiden, ob das Parallelsystem erst bei Ausfall des Primärsystems zugeschaltet wird (kalte Reserve) oder mit diesem ständig mitbetrieben wird (heiße Reserve). Ist $R_i(t)$ die Zuverlässigkeit des i-ten Einzelsystems, so gilt für die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems im letzteren Fall

$$R(t) = 1 - \prod_1^n (1 - R_i(t))$$

Sind insbesondere λ_1 und λ_2 die verschiedenen Ausfallraten eines verdoppelten Systems, so erhält man für die mittlere Lebenszeit

$$E(x) = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2}$$

Falls die Ausfallraten der Parallelsysteme dem Wert nach gleich sind ergibt eine einfache Rechnung

$$E(x) = \int_0^{\infty} 1 - (1 - e^{-\lambda t})^n dt = \frac{1}{\lambda} (1 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/n) \quad (8)$$

Aus Gl.8 ist zu erkennen, daß sich durch Parallelsysteme die mittlere Lebenszeit des Gesamtsystems nur unterproportional steigern läßt, während die zugehörigen Kosten zumindest proportional wachsen. Man wird deshalb erwarten, daß es ein kostenoptimales Parallelsystem gibt. In der Literatur werden verschiedene mathematische Verfahren zur optimalen Reservierung eines solchen Systems angegeben, z.B. mittels dynamischer Optimierung oder Lagrangescher Multiplikatoren (9). Es kann in diesem Rahmen jedoch nicht näher darauf eingegangen werden. Eine geeignete Lösung läßt sich zudem leicht erraten.

Wenig erfolgreich erscheint eine Verdopplung des Prozessorsystems, da sich hier die Systemkosten insbesondere wegen der dann erforderlichen Entkopplungsmaßnahmen mehr als verdoppeln. Da, wie bereits eingangs erwähnt, ein Mikroprozessorsystem geeignet ist, durch entsprechende Softwaremaßnahmen die Ausfallquote durch Täuschungsalarme zu senken, allerdings zu Lasten der Hardwarezuverlässigkeit, liegt es nahe, diesem ein System parallel zu schalten, das bei größter Hardwarezuverlässigkeit eine entsprechend niedrigere Selektivität bei der Detektorauswertung aufweist.

Bild 4 gibt hierzu ein Beispiel. Fällt das Mikroprozessorsystem aus, so wird die zyklische Anforderung des fail-save Bausteins nicht mehr quittiert und ein Störsignal ist die Folge. Tritt in diesem Betriebszustand ein Alarm auf, so wird dieser über eine separate Auswerteelektronik sowie über ein zugehöriges Anzeigeelement direkt auf die Sammelleitung geschaltet und kann somit z.B. den Hauptfeuermelder auslösen.

Die sich aus dieser Maßnahme ergebenden Ausfallraten entsprechen denen konventioneller Systeme und dürften in der Regel ausreichen.

5. Ausfallwahrscheinlichkeiten für das Nichterkennen eines Alarms

Im Rahmen zumeist fester Wartungsintervalle wird geprüft, ob ein System einen eingehenden Alarm erkennt. Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß innerhalb eines solchen Intervalles ein Alarm unerkannt bleibt ist gegeben durch

$$\frac{1}{P} \int_0^P t/T dt = P/2T$$

Hierbei ist T wieder die mittlere Lebenszeit des Systems und P die Länge der Wartungsintervalle. Bei Wartungsintervallen von 3 Monaten und Lebenszeiten von z.B. 10 Jahren ergibt dies einen Wert von 0,0125, d.h. unter den genannten Bedingungen wird etwa ein Prozent der Alarme nicht erkannt, weil die Zentrale defekt ist. In der Praxis dürfte dieser Wert erheblich größer sein, da die Lebenszeit der Detektoren in dieser Rechnung nicht berücksichtigt wurde.

Dieses Verhältnis läßt sich durch elektronische Selbsttestfunktionen erheblich verbessern. In diesem Fall wird durch zyklische Erzeugung der Alarm- und Störungskriterien auf den einzelnen Meldelinien geprüft, ob das System diese Zustände erkennt. Mit Testzyklusintervallen von einigen Sekunden läßt sich so nach Gl.9 die Wahrscheinlichkeit auf Werte kleiner als 10^{-6} reduzieren.

In Verbindung mit der Meldereinzelerkennung können auch automatische Funktionsprüfungen der einzelnen Detektoren durchgeführt werden, wenn in diesen elektronisch ein alarmäquivalentes Testsignal ausgelöst werden kann. Nimmt man dazu praxisnahe Testperioden von einigen Stunden an, so erhält man Wahrscheinlichkeiten kleiner als 10^{-4} .

6. Ausfallwahrscheinlichkeiten bei Softwarefehlern

Die in Abschnitt 4 beschriebene fail-save Sicherung ist nur dann wirksam, wenn die durch diesen Baustein geforderte Quittung nicht erfolgt. Es ist jedoch denkbar, daß z.B. durch einen Programmfehler das System in eine Schleife läuft, in der zwar noch die Quittierung, nicht jedoch die Überwachung möglich ist. Grundsätzlich stellt sich deshalb die Frage nach der Softwarezuverlässigkeit. Da in diesem Rahmen eine eingehendere Diskussion dieses Themas nicht möglich ist, seien hier nur einige Möglichkeiten zur Verbesserung aufgezählt z.B.

- a) Benutzung spezieller Programmiersprachen und -techniken zur Vermeidung von Sprungbefehlen
- b) Belegung unbenutzter Speicherzellen mit Halt-Befehlen
- c) redundante Systemstatusprotokollierung, z.B. Mehrfachabspeicherung wichtiger Systemdaten in verschiedene Speicherbereiche, redundante Datencodes
- d) kurze Statusrefreshzyklen zur Aktualisierung des jeweiligen Systemzustands, durch die die Wirkung z.B. eines Datenfehlers auf sehr kurze Zeiten begrenzt bleibt

7. Ausfälle durch Täuschungsalarme

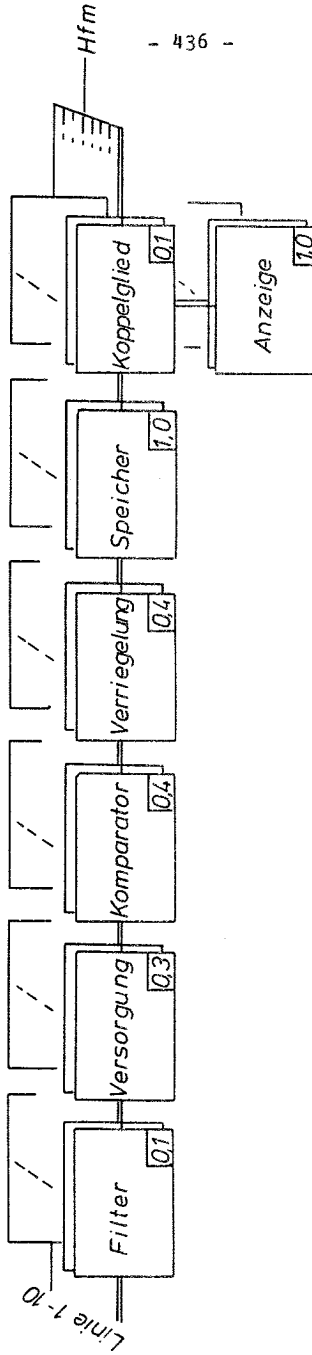
Die durch Täuschungsalarme bedingten Ausfälle sind weitgehend durch die Eigenschaften der jeweilig eingesetzten Detektoren bestimmt, wie bereits erwähnt bietet jedoch ein mikroprozessorgesteuertes Brandmeldesystem durch die Meldereinzelerkennung die Möglichkeit der zentralen Auswertung des Detektorsignals. Dies vereinfacht den eigentlichen Detektor, wobei jedoch bei Zuverlässigkeitsbetrachtungen der Aufwand für die Einzelerkennung mitberücksichtigt werden muß.

Eine quantitative Aussage über die so mögliche Verbesserung der Anfälligkeit gegenüber Täuschungsalarmen ist zum jetzigen Zeitpunkt kaum möglich, da die Entwicklung entsprechender Detektoren noch in den Anfängen steckt. Erste Ergebnisse lassen jedoch vermuten, daß eine Verbesserung der Ausfallraten um wenigstens eine Zehnerpotenz schon in den nächsten Jahren realisiert werden kann.

Literatur

- (1) R.Portscht, Messung und Analyse des Zeitverhaltens der von offenen Bränden emittierten Temperaturstrahlung, Forschungsbericht NRW Nr.2201, Westdt. Verlag, Köln, 1971
- (2) P.-Th. Wilrich, Statistische Methoden zur Beurteilung der Systemzuverlässigkeit, Tagungsbericht zum Seminar "Probl. der autom. Brandentdeckung", RWTH Aachen, 1971
- (3) Sard, Mather & Platt, Reliability in Control and Indicating Equipment in Automatic Fire Detection Systems, Tagungsbericht zum Seminar "Probleme der autom. Brandentdeckung", RWTH Aachen, 1971
- (4) MIL - STD - 690 B, Failure Rate Sampling Plans and Procedures, Washington D.C., US Department of Defense, 1968
- (5) IC Reliability Technology, RCA, 1981, S.43 f
- (6) IC Reliability Technology, RCA, 1981, S.34
- (7) E. Philippow, Taschenbuch der Elektrotechnik, C.Hanser Verlag, München Wien, 1977
- (8) D. Nüßmann, Werkbuch Elektronik, Franzis Verlag, München, 1981
- (9) R.E. Barlow; F.Prochan, Mathematical Theory of Reliability, New York London Sydney, J. Wiley & Sons, 1965

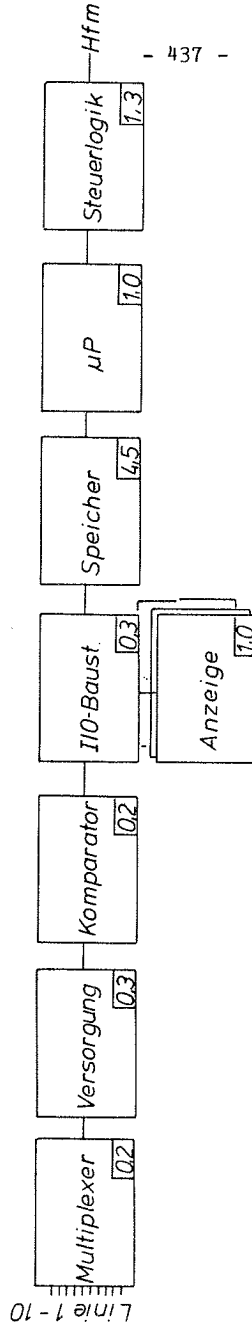
Blockdiagramm eines konv. Systems



Gesamtausfallrate 1 Linie 4,2
 10 Linien 2,1 in 10^6 Std.

Bild 2a

Blockdiagramm eines μP -Systems



- 437 -

Gesamtausfallrate 1 Linie 8,8
 10 Linien 8,5 in 10^6 Std.

Bild 2b

Blockdiagramm eines μP -Systems mit fail-save

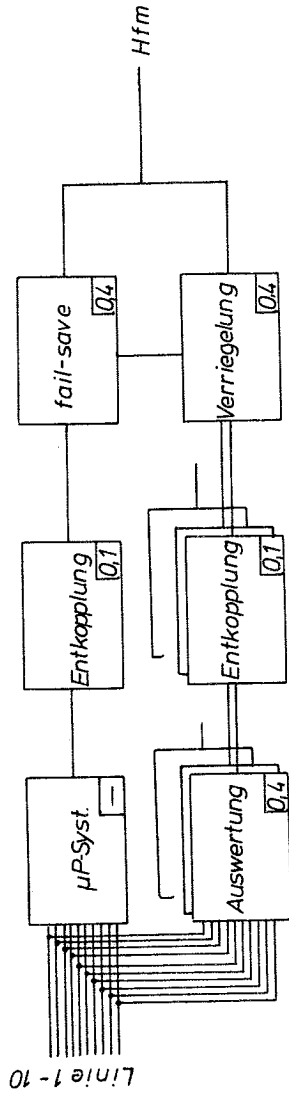
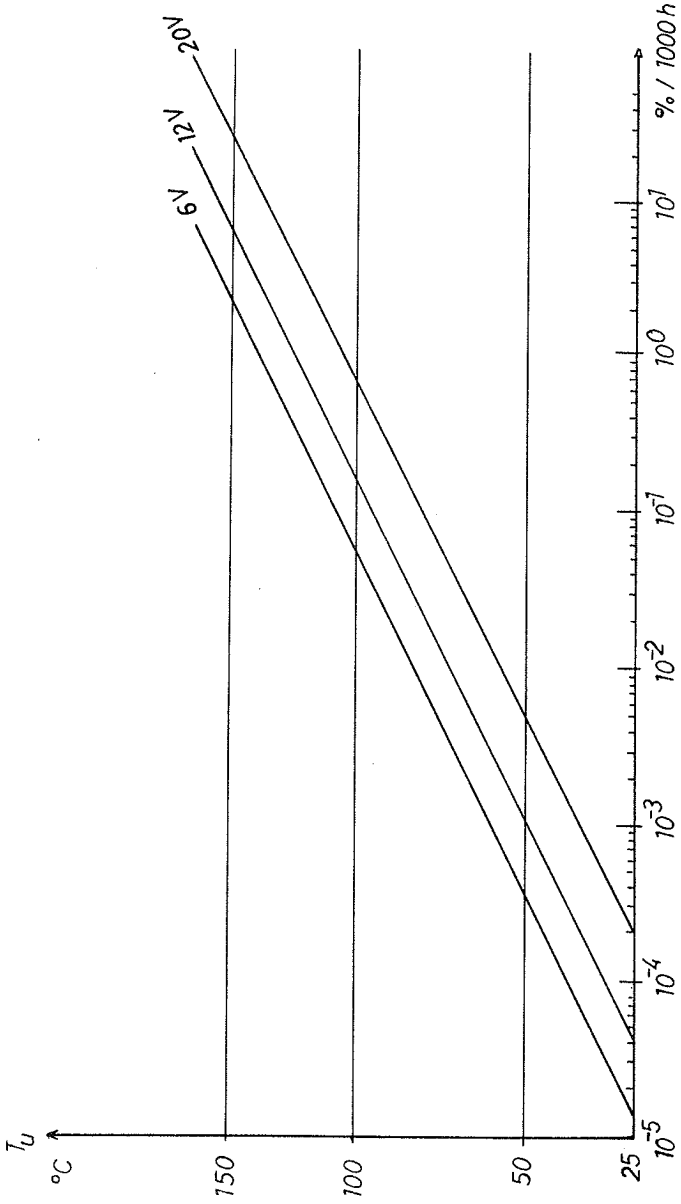


Bild 3
Gesamtausfallrate 1 Linie 1,3
10 Linien 1,0 in 10^6 Std.

Ausfallraten der CMOS B-Serie $\lambda(T, U)$



L. Haffmans

Technical Centre for Fire Prevention TNO, Delft, The Netherlands

Fire Detectors in Telephone Exchanges

By order of the Dutch PTT, at the Technical Centre for Fire Prevention TNO*, investigations are in progress to select criteria for automatic fire detectors to be used in telephone exchanges. To arrive at objective performance criteria it is necessary to select the fire causes and fire development and which kind of smoke is produced. For this reason a systematic inventory is made of possible fires. Automatic detection is only effective if after the alarm enough time is available to extinguish the fire before serious damage occurs. Moreover the reliability of an automatic fire detection system must be judged in conjunction to other applied safety measures.

Risks

Only during working time there will be a limited number of personal in telephone exchanges. It may be expected that nobody is asleep and the way out is known. Most people will be able to save themselves. The danger for live is small compared with the situation in hotels and hospitals. There exists a social structure and one knows each other. In a fire situation it is expected one will warn colleagues and the social structure will make a more or less organised fire fighting possible. The only danger exists in a large building where some one is working on a remote place. In these buildings a warning system saves time.

On the contrary the risk for material and the consequential economic and social losses is very high. Telephone exchanges contain many expensive electronic devices, increasingly specialized. As a result apparatus replacing takes a long period. But most important are the consequential losses. Without telephone connections, companies are sincerely handicapped. Social contacts by telephone are cut of. Police, fire brigades and medical help can't be alarmed in a appropriate way.

*The Netherlands Organization for Applied Scientific Research

Electronic equipment is very sensitive. An ambient temperature above 60°C sometimes may be already fatal. This temperature will be exceeded not only in flames but also very often in smoke.

Cables are mostly insulated by polyvinyl chloride (PVC). This material starts pyrolysing at a temperature of about 200°C and releases hydrochloric (HCl). Burning 1 kg PVC produces about 7 kg unmixed smoke containing about 0,5 kg HCl. This smoke is very aggressive and even affects metals. Electronic components and contacts will soon be unreliable. So heated and burning PVC implies a special danger.

Due to the great vulnerability of electronic devices and the important losses, it is worth defending telephone exchanges very carefully against fires, which on the other hand fortunately rather seldom occur.

Fire causes

Information on fire causes in Dutch telephone exchanges is gathered. For this purpose also some buildings of the PTT are inspected. These information is completed with results from the Cerberus Performance Statistics (1).

People are able to detect a fire by smelling and observing smoke and flames, by feeling heat, and by hearing noises. So people would be very good fire detectors provided they are present all the time. But working time is limited to 40 hours a week (≈ 25%). About 75% of the fires starts during workingtime. But even then most rooms are empty, and only in 25% of these cases someone is in the vicinity of a beginning fire. It is difficult to predict whether people will alarm the fire brigade after detection. Fear and feeling guilty don't raise the reliability of human detectors.

The rest of the fires during workingtime, 50%, plus the 25% of the fires during nighttime and weekends will be discovered late, unless an appropriate automatic detection system is installed.

Nearly all fire causes which have occurred in telephone exchanges may be divided into three categories. The first category concerns causes resulting directly from working and other human activities and contains about 1/3 of the causes. Cigarettes and soldering-

irons covers more than half of this category. Cigarettes are thrown away in waste-paper baskets, between refuse matter and picked up in a vacuum cleaner. Because non-smokers remove the ashtray out of their rooms, visitors use baskets, plastic coffee cups and a piece of cardboard. Soldering-irons are sometimes placed on the floor, on packing material, etc. By a soldering-lamp insulation material can be ignited.

More seldomly occurring fire causes in this first category are welding and making wrong connections. A low voltage apparatus is connected on high voltage, alternating current is changed with direct current, and a temporary connection creates short circuit.

Sometimes flammable materials are placed against or upon a heater. It is also quite often forgotten to switch off electric cooking plates and coffee makers.

The second category concerns the non-electronic apparatus which also causes about 1/3 of the fires. In Swiss (1) brakes and overloaded motors of elevators appear to give rise to troubles. In The Netherlands a synthetic lampshade ignited. Heating installations, air humidifiers and boilers can be overheated for instance by a defective thermostat. Mechanical apparatus, like a fan, can jam because of dust or faulty ball bearings and produce heat. An emergency current aggregate is not used daily. Nevertheless regular service and testing is required in order to avoid that it does produce energy in a wrong way.

The third category contains the last 1/3 of the fires and covers electronic devices. In here specially the coils are overloaded and start smouldering. Capacitors, resistances and transformers rarely cause a fire. The same holds for switches and switch clocks. Moving devices like a motor for the tape in a computer and the paper transport in a printer or a copy apparatus may get stuck. The quality of cable insulation may decrease due to aging and resulting in a short circuit. PVC is heated with the consequences mentioned already before.

Arson, terrorism and some rare causes like selfheating are not included in these categories. These first two causes require also a special security system which is not in the scope of this project.

To avoid fire causes is the first step in fire safety. This can be achieved by good house keeping, non-smoking requirements in certain rooms and the opportunity of smoking in other rooms. A total non-smoking requirement leads to hidden smoking which is even more dangerous. Also self-extinguishing paper baskets and a solid holder for soldering-irons are useful. Nevertheless not all fire causes can be avoided, so more measures are deemed to be necessary.

Places of origin of the fire

In large buildings with telephone exchanges the rooms containing the expensive electronics are only a part of the building. Other parts are corridors, cloak-rooms, canteens, workshops, offices, garages and shafts for elevators and cables.

The critical room containing the electronic devices is in many cases directly surrounded by other rooms, a room above and below and on the same floor a corridor and two adjacent rooms.

The sum of floor areas of latter rooms is about four times the floor area of the critical room. Mostly one side of the critical room is adjoining the outside of the building. By sufficient distance to other buildings and good parabets there is a neglectible probability of fire penetration from the outside. A fire form adjoining room can damage electronics by heat, smoke and water during fire fighting (Fig. 1).

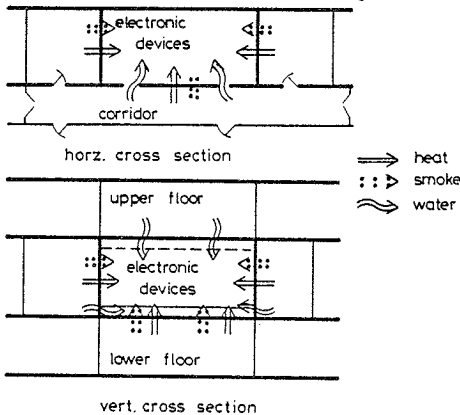


Fig. 1 Risks from adjoining rooms

Assuming in all rooms the same probability of a fire to occur per unit floor area, 80% of the fires which may affect the electronics

directly starts in an adjoining room. The thus derived 80% agrees fairly well with the figures mentioned by Alquier on basis of statistics (2).

The most appropriate precaution to protect against these fires is to provide sufficient fire resistance. All construction components, ventilation shafts, cable penetrations etc. must be able to omit fire penetration. Speaking in terms of fire resistance, it must be kept in mind however that the temperature at the non to flames exposed side of walls may reach values of 150 to 200°C. Through fire resistant windows considerable heat losses due to radiation occur. The ambient temperature from the apparatus may rise too much.

A higher degree of fire resistance or an early fire fighting is a solution. Fire detectors in the adjoining rooms will directly after the beginning of a fire alarm the fire brigade which mostly will arrive within a few minutes. Again a short time later effective fire fighting activities will be in progress.

Smoke penetration through doors and cracks in windows and walls is possible. This can be prevented by an overpressure of at least 30 Pa (3) in the critical room. A ventilation system, shutters and valves and smoke resistant doors can be operated by the detection system. Also cable penetration and cracks have to be sealed up for smoke. Otherwise in buildings with high cable shafts 30 Pa overpressure may even be too less.

The electronic devices are to be protected against water by waterproof canvas and drains. By these measures in which early fire detection plays an important role, a great part of the 80% of the fires can be kept out of the critical room. Taking into account the attendance time of the firebrigade and all possible fire causes a projection of smoke detectors according to CEA (5) projection rules is sufficient. Detectors in cable shafts and corridors have to be able to detect smouldering PVC.

Yet one additional remark concerning projection detectors in shafts. In high vertical shafts detectors are installed on several levels. All these detectors have to be connected with the same detection zone belonging to the floor from which fire fight-

ing in the shaft is possible. Otherwise a fire in the shaft will raise an alarm in more zones. In such a situation finding the fire is rather difficult.

Rooms containing electronic devices

From the foregoing discussion it follows that about 20% of the fires which may damage the electronic devices originates in the critical room itself. Non-smoking requirements and avoiding the use of combustible materials as much as possible is a first step towards greater fire safety.

In spite of such precautions fire occurrence can not fully be excluded. A soldering-iron may be dropped, a coil may get overheated and faulty insulation is possible. These remaining fire causes however, have in common that they generally lead to a rather slow fire development.

After the beginning of a fire the first smoke needs some time to reach the nearest detector. Depending on its projection and sensitivity one detector may give an earlier alarm than another. Up to now most research is directed towards the time between the beginning of a fire and the moment of detection (4). However this time does not provide in itself a realistic criterion. The time between detection and the moment at which unacceptable damage arises is important. This moment may be flashover, a certain temperature level or smoke concentration. Obviously by flashover losses will increase exponential. After this moment all measures are too late. Typical developments of two fires are shown in Figure 2. Curve a represents a glowing cable which causes minor damage during the first say 15 minutes. After these 15 minutes the flaming phase is arrived and one minute later heat production increases rapidly. An attendance time for the fire brigade, including starting extinguishing, of 10 minutes means that detection must take place during the

first 6 minutes. In this figure the detectors I and II are effective, detector III however is not.

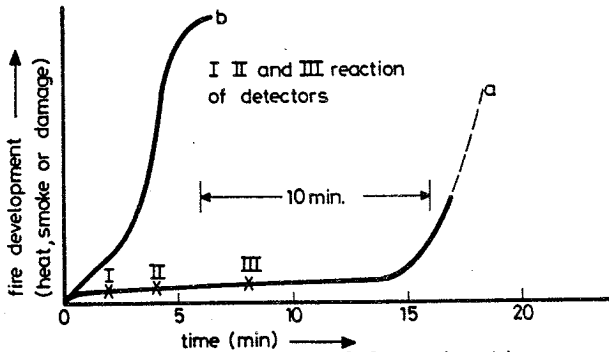


Fig. 2 Fire development - and detection times

Curve b represents an extreme rapid fire development. Such fires possibly may occur as a result of new trends in operating telephone exchanges. These trends implying the use of chips and microprocessors. Such electronic devices are very small so a lot of spare room is available, which may be used for storage of combustible goods and packing materials. Extreme damage occurs in say 2 minutes. It will be clear that detector devices in such situations will not decrease the damage in the room.

During this research project on detection systems performed by the Technical Centre for Fire Prevention TNO possible fire developments will be studied explicitly. The time between detection and the moment of increasing damage will be measured. It is thought that on base of such investigations realistic criterion for minimum reaction times can be derived.

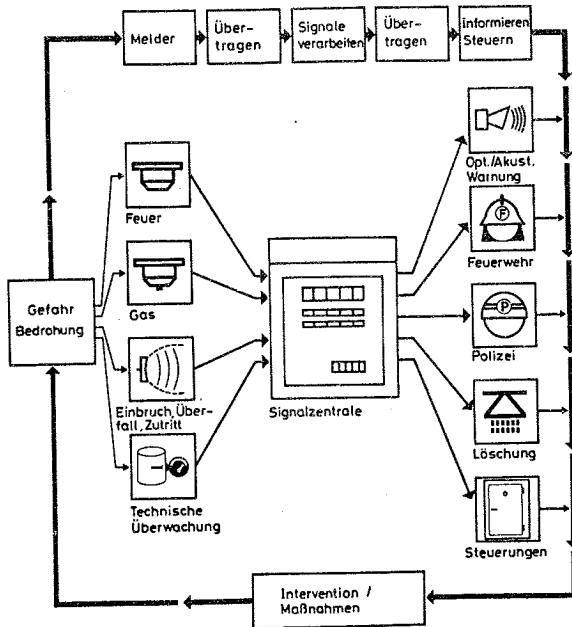
- (1) Cerberus Fire Alarm Systems, Performance Statistics, Switzerland (1960 - 1967)
- (2) Alquier, J.R., Protection contre l'Incendie des ateliers d'Ordinateurs et de leurs Annexes, 6e Internationalen Vortragesseminar über Probleme der automatischen Brandentdeckung, Technischen Hochschule Aachen, 1971.
- (3) Nederlands Normalisatie Instituut (Dutch Standard Organization), Brandbeveiliging van gebouwen, computerafdelingen (Fire protection of buildings, computerrooms) NPR 3900, Delft, 1976.
- (4) Plüss, E. und Purt, G.A., zum Brandschutz in Telephonzentralen, Technische Mitteilungen PTT, Nr. 6, 1971.
- (5) Comité Européen des Assurances CEA, Avertisseurs Automatiques d' Incendie Commission 14P; Richtlinien für automatische Brandmelanlagen.

Otto Meier, El.-Ing. ETH
CERBERUS AG, Männedorf, Schweiz

Man-Machine-Interface moderner Brandmeldezentralen

1. Einleitung

Die Brandmeldezentrale ist der Kopf und das Herz einer automatischen Brandmeldeanlage, und als Interface zwischen der Anlage und dem Menschen ermöglicht sie diesem die Brandentdeckung. Diese Funktion hat auch im französischen Sprachgebrauch dazu geführt, dass die Zentrale als "tableau de signalisation" bezeichnet wird. Im Sinne des Tagungsthemas wird hier versucht, einen Einblick in die Probleme zu geben, welche sich bei der Realisierung dieser Mensch-Maschine-Schnittstellenfunktion heute stellen und auch einige Lösungsansätze aufzuzeigen.



Figur 1: Hauptfunktionen sicherheitstechnischer Systeme

2. Problembeschreibung

Brandmeldung gibt es schon sehr lange; im Mittelalter z.B. war dies eine Aufgabe der Feuerwächter. Automatische Brandentdeckung ist noch nicht so alt, aber offenbar haben sich die Anforderungen und Möglichkeiten geändert, sonst wären wir immer noch mit dem Ausrufer und den Kirchenglocken zufrieden. Unsere heutigen automatischen Systeme sind also um vieles leistungsfähiger. Wenn wir nun trotzdem von Problemen sprechen, so sind dies eigentlich nur noch Teilprobleme auf dem Weg zur Optimierung dieser Leistungen.

Es handelt sich dabei also um "Evolutionsprobleme", welche man weiter unterteilen kann in "induzierte" und "importierte" Probleme, nämlich solche, die sich durch die Verbreitung der Brandmeldetechnik allgemein ergeben haben und solche, die durch den Einsatz neuer Technologien hervorgerufen wurden:

Induzierte Problematik

Die Verbreitung der automatischen Brandentdeckung konfrontiert immer mehr Leute und neue Anwendungsgebiete mit der entsprechenden Systemtechnik.

Es werden immer mehr neue Anforderungen gestellt.

Importierte Problematik

Die Evolution der Technik bringt neue Komponenten und Geräte.

Es werden immer mehr neue Funktionen realisierbar.

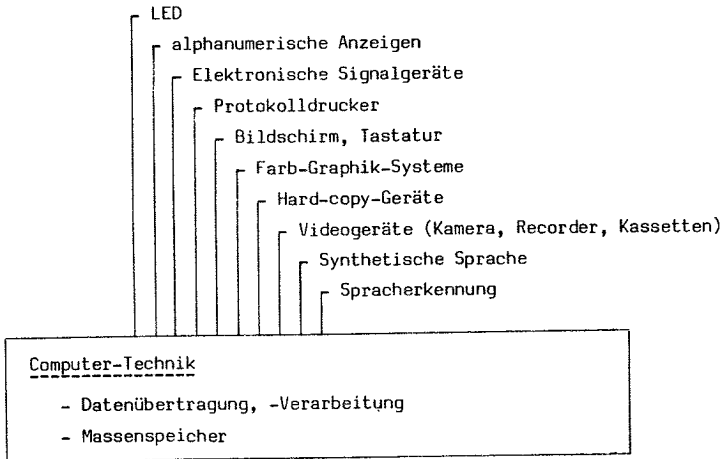
Durch diese von 2 Seiten vorangetriebene Anforderungs-Breitenentwicklung wird speziell die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle immer problematischer, und es gilt nun diese Vielfalt von Angebot und Nachfrage, von Möglichkeiten und Anforderungen in sinnvolle, geordnete Bahnen zu lenken.

3. Technische Neuerungen

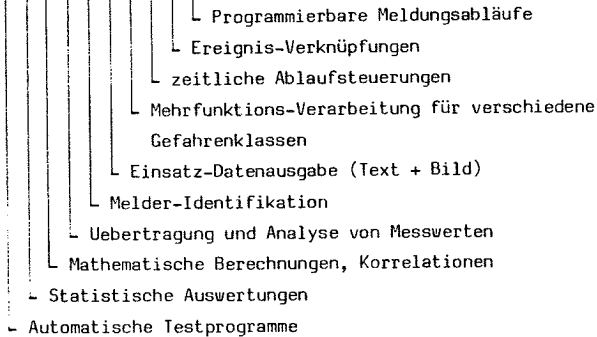
Eine Zusammenstellung der heute zur Realisierung der Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Verfügung stehenden technologischen Mittel zeigt sehr rasch und eindrucklich die Vielfalt der damit möglichen Lösungen, und es wird auch sofort klar, dass dabei die Computer-Technik eine zentrale,

verbindende Rolle spielt. Darum herum ordnet sich eine ganze Reihe von Elektronikkomponenten und Peripheriegeräten auf der einen Seite und neue funktionelle Möglichkeiten auf der anderen Seite.

Komponenten/Geräte



Funktionen



Die optimale Anwendung all dieser Möglichkeiten für die Bedürfnisse der automatischen Brandentdeckung ist, gerade wegen der so offensichtlich verheissungsvollen Vorteile, das grosse Problem der heutigen Brandmelde-zentralen-Entwicklung. Es gilt, aus dem Machbaren das Sinnvolle heraus-zukristallisieren. Dabei werden nicht zuletzt die Kosten die erfolgreiche Lösung bestimmen, neben den Beurteilungskriterien auf der Basis von Ergo-nomie und medienangepasster Informationsdarstellung.

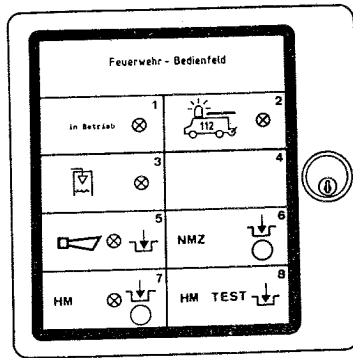
Es sind für die Realisierung der Mensch-Maschine-Schnittstellen der Zu-kunft eine ganze Reihe von z.T. ineinander verknüpfter Fragen zu beantwor-ten. Einige davon seien hier als Beispiele herausgegriffen:

- Kann ein Bildschirm oder ein Drucker das heutige Lampenfeld vollwertig ersetzen? (Funktionen, Zuverlässigkeit)
- Wie muss die entsprechende Informationsdarstellung gestaltet sein? (Layout, zeitliche Sequenzen)
- Wie weit können Funktionstasten durch alphanumerische Code-Eingaben ersetzt werden?
- Wie weit kann in kombinierten Sicherheitsanlagen Anzeige und Bedie-nung von verschiedenen Bereichen (z.B. Feuer und Intrusion) gemein-sam realisiert werden?
- Wie kann eine "geführte Bedienung" konzipiert werden, welche auch unter Ernstfall-Belastung die richtigen Aktionen sicherstellt?

4. Stand der Technik, Entwicklungstrends

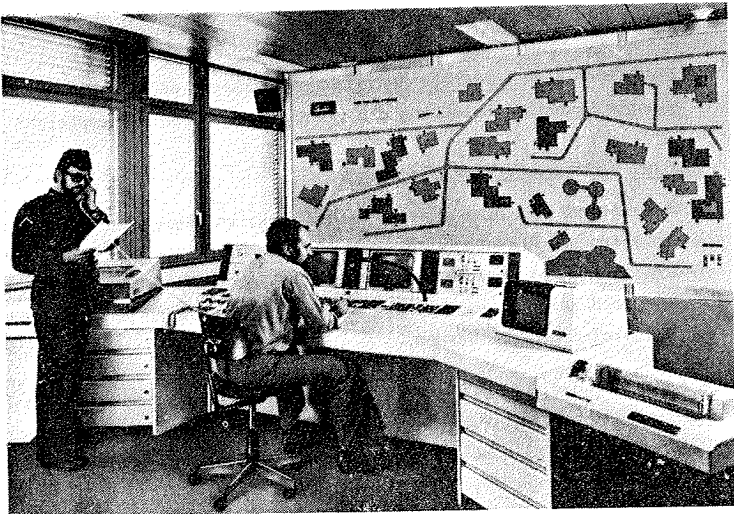
Es ist verständlich, dass sich auf diesem breiten Gebiet der Gestaltungs-möglichkeiten und Anwendungsanforderungen sowohl Hersteller wie Vorschrif-ten-Gremien noch nicht zu Hause fühlen. Die Entwicklungen gehen denn auch zur Zeit noch in sehr verschiedene Richtungen. Dies kann am besten an zwei Beispielen gezeigt werden.

Das Feuerwehr-Bedienungsfeld (Fig. 2) ist eine klassische Lösung für die "induzierte" Problematik. Durch eine sehr einfache, genormte Mensch-Maschine-Schnittstelle soll der weiten Verbreitung von Brandmeldeanlagen Rechnung getragen werden.



Figur 2: Feuerwehr-Bedienfeld

Komplette Einsatzleitstellen mit Kommandoraum und -Pult (Fig. 3) sind geballte Ladungen von Computer-Technik, welche ihre Berechtigung zu einem grossen Teil daraus beziehen, dass dies heute eben machbar ist und für Anlagen ab einer bestimmten Grösse und Komplexität auch einen wirklichen Fortschritt bedeutet.



Figur 3: Einsatzleitstelle

Extrembeispiele für Mensch-Maschine-Schnittstellen

a) Feuerwehr-Bedienfeld

- Ziel : Möglichst einfache Anzeige und Handhabung der minimalen, vorschriftsgemässen Funktionen
- Benützer: Feuerwehrmann im Einsatz, ortsfremd
- Ursprung: Pragmatische, praxisbezogene Erkenntnis; Normierungs-Bestrebung

b) Einsatzleitzentrale

- Ziel : Umfassende Datenerfassung und -Aufbereitung zur möglichst zielkonformen Aktions-Steuerung
- Benützer: Kunde / Sicherheitsbeauftragter (ortskundig) / Feuerwehr (im Verbund, der aktionsbezogen gelenkt werden muss)
- Ursprung: Technischer Fortschritt des Machbaren, zur Beherrschung komplexerer Situationen

5. Problemlösungsansätze

Eine Analyse der bis heute realisierten Brandmeldezentralen auf μ -Prozessorbasis lässt erkennen, dass der Dialog zwischen Entwicklern und Anwendern im Gang ist, aber noch keineswegs abgeschlossen werden kann.

Aus dem bisher gesagten lässt sich jedoch eine Grund-Philosophie ableiten, die für die Realisierung der Mensch-Maschine-Schnittstelle richtungsweisend sein soll: "Flexibilität zum Zwecke der Einfachheit."

- Die Anpassung an notwendige und gewünschte Funktionen, an örtliche organisatorische Gegebenheiten, muss in rel. kleinen Inkrementen möglich sein. Sowohl im Entwicklungs-Fortschritt als auch in der Systemgrössen-Anpassung ist ein Schritt für Schritt Vorgehen möglich und sinnvoll.
- Die modulare Struktur der modernen Technik hilft uns dabei, ein umfassendes Lösungskonzept mit möglichst entkoppelten, selbständigen Einheiten zu verwirklichen.
Modulare Software und Hardware der 80er-Jahre löst dabei die funktionell modulare Elektronik der 60er- und 70er-Jahre ab.

Die Modularität soll also dazu verwendet werden, sowohl die Erstellung als auch den Betrieb von Brandmeldeanlagen in übersichtlichen, handhabbaren Teilen in den Griff zu bekommen. In grösseren Anlagen führt diese Modularität zur eigentlichen Dezentralisierung von Anlageteilen, was sowohl technisch/wirtschaftlich als auch betrieblich Vorteile bietet und aus Gründen der Funktionssicherheit (Verfügbarkeit) auch bald gefordert werden dürfte. Schon bei einzelnen Zentralen jedoch gilt, dass mit der neuen Technik eine Funktions-Änderung oder -Anpassung in Software einen Bruchteil der entsprechenden Hardware-Änderung kostet.

Oberstes Ziel muss dabei immer sein, die Mensch-Maschine-Schnittstelle so einfach zu gestalten, wie es für die entsprechende Anwendung möglich ist.

6. Normen und Vorschriften

Diese sollen die vielfältigen Forderungen der Anwender kanalisieren und in einen allgemeinen, sachgerecht optimierten Rahmen bringen. Zentralen-Normen im besonderen befassen sich zu einem grossen Teil mit der hier angesprochenen Mensch-Maschine-Schnittstelle, da damit ja die Hauptfunktionen der Zentrale beschrieben werden ("tableau de signalisation"). Die EN 54, Teil 2 ist schon seit gut 10 Jahren in Arbeit. Daneben entstanden in dieser Zeit die British Standards (BS 3116), zwei Versionen der französischen Normen (AFNOR NF 61.950) und Uebearbeitungen von DIN 14675 und VDE 0833.

10 Jahre sind für die heutige Zeit der Technologie-Evolution eine halbe Ewigkeit. Solange keine EN vorhanden ist, können wir uns damit trösten, dass sie wenigstens noch nicht schon veraltet ist. Wir hätten also jetzt die Gelegenheit, eine Norm zu schreiben, welche in 10 Jahren die dannzumal als Stand der Technik greifbaren Mittel nicht verbietet, also mit der Evolution der technischen Möglichkeiten mithalten könnte. Dies ist erreichbar, wenn auch die Normen sich noch mehr einer Modularität bedienen und wo immer möglich, sich auf die "Gesetzgebung" beschränken und nur wo absolut notwendig "Ausführungsbestimmungen" enthalten. Alles kann ja nicht vorgeschrieben werden; am Schluss bleibt immer ein Gebiet zur Interpretation durch die Prüfstellen vorbehalten.

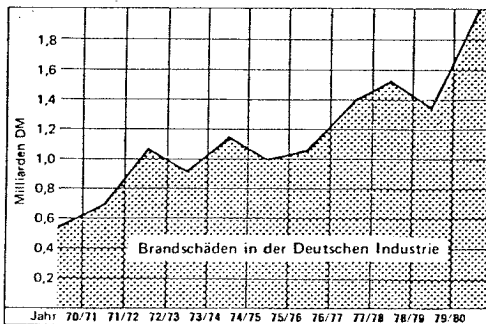
WILFRIED ADOLPHS Dipl.-Ing.
Abteilungsleiter

THYSSEN AKTIENGESELLSCHAFT
vorm. August Thyssen-Hütte

4100 Duisburg 11
Bundesrepublik Deutschland

Probleme der Brandfrüherkennung in der Industrie

Wie in allen Industrieländern der Welt steigt auch in der Bundesrepublik Deutschland die Brandschadenskurve ständig an. Die Darstellungen, die es über diesen



Sachverhalt gibt, sind meistens im gewissen Sinne tendenziös. Die nicht nur in der Statistik möglichen unterschiedlichen Perspektiven - je nachdem, ob man Erfolg oder Mißerfolg interpretieren will - geben in dieser Darstellung ein übertriebenes Bild ab, weil die sowieso vorhandene Inflationsrate vernachlässigt wird. Trotzdem: die Tendenz stimmt, wenn auch nur in dieser Größenordnung.

In der Industrie zeigten sich erst noch keine übermäßigen Reaktionen. Man glaubte mit diesem - und im übrigen ja versicherten - Risiko leben zu können. Erst einige spektakuläre Großbrände weckten das volkswirtschaftliche Gewissen und richteten das Augenmerk auf den vorbeugenden Brandschutz, der in allen seinen Technologien und Techniken augenblicklich einen Boom erlebt.

In der Vergangenheit hatte man sich nicht viel um die lästigen Brandschützer gekümmert, und der Gesetzgeber war mit seinen Brandschutzparagrafen der Sache auch nicht sehr dienlich. In den Schlußpassagen der Landesbauordnungen heißt es immer

"Ausnahmen sind gestattet, wenn wegen des Brandschutzes Bedenken nicht bestehen".

So war man in der Industrie gezwungen, eigene Sicherheitsregeln aufzustellen und Maßstäbe festzulegen.

Das gesteigerte Sicherheitsbedürfnis nahm teilweise euphorische Formen an und mußte in wirtschaftliche Bahnen gelenkt werden. Man erwartete Entscheidungshilfen, die zu einem risikogerechten Schutz der Produktionsstätten führen.

Dazu mußte man auf der einen Seite die Effektivität der vielen technischen Möglichkeiten des vorbeugenden Brandschutzes klassifizieren, und auf der anderen Seite die Größe der Brandrisiken in Stufen unterteilen. Neben dem Bilden von kleineren Brandabschnitten und deren Lüftungstechnischer Beherrschung, spielte die Entwicklung der Brandentdeckungstechnik eine herausragende Rolle.

Zunächst stellt sich für die Unternehmen nicht die Frage nach dem Was und Wie der Schutzeinrichtungen, sondern es gilt zu unterscheiden: wann überhaupt und wenn ja, wieviel muß ich schützen, und wie sieht die Finanzierbarkeit aus? Daß Sicherheitseinrichtungen Geld kosten, ist eine unwiderlegbare Tatsache. Es hat sich aber auch erwiesen, daß Schutzmaßnahmen sich selbst finanzieren können und sich sogar auf den Gewinn positiv auswirken.

Wenn ich Ihnen nun als Beispiel für einen adäquaten vorbeugenden Brandschutz ein Verfahren aus der Stahlindustrie erläutern möchte, bedeutet das nicht, daß es in anderen Industriezweigen nicht auch andere Verfahren und Wege gibt, vorbeugenden Brandschutz zu betreiben.

Es ist nur wegen der peripheren Ansiedlung des Brandschutzes im Gefüge eines Unternehmens sehr schwer, die Zeit und die Mittel zu bekommen, die zum Sammeln, Ermitteln und Auswerten der erforderlichen Daten gehören.

Nicht die Installation von Brandschutzeinrichtungen macht Schwierigkeiten, sondern der Nachweis ihrer Effektivität. Es hat sich aber gezeigt, daß auch hier eine Kosten-Nutzen-Analyse möglich ist.

Die im folgenden dargestellte Rechenmethode hat eine Grundthese:

Es ist mit wirtschaftlichen Mitteln nicht zu verhindern, daß Brände entstehen, es kann wohl verhindert werden, daß Entstehungsbrände sich zu Großbränden ausweiten.

Man setzt also nach wie vor die menschliche Unzulänglichkeit, die Möglichkeit von Störungen im Betriebsablauf, die Anhäufung von Zufällen voraus und versucht die Höhe des wahrscheinlichen Schadens so gering wie möglich zu halten. Der dafür erforderliche Aufwand soll sich innerhalb eines selbstgesteckten Sicherheitsrahmens bewegen.

Wie kann man ein Brandrisiko definieren?

Es gibt auf der Welt eine ganze Reihe von Verfahren und Methoden der Risikoberechnung. Die meisten kommen aus der Versicherungsbranche. Sie sind deshalb mehr prämienbestimmend als schadenverhütend anwendbar. In der Bundesrepublik Deutschland bemüht man sich seit über 10 Jahren eine Norm für den Brandschutz in der Industrie zu erstellen. In ihr ist ein Rechenverfahren enthalten, das es ermöglicht, den erforderlichen Brandschutz für eine Industrieanlage vorher zu berechnen. Dabei dachte man an den baulichen Brandschutz für neu zu erstellende Gebäude. Da wir aber auch für die vorhandenen Werksanlagen nach Möglichkeiten des Schutzes zu suchen hatten, und außerdem nicht nur den passiven, sondern auch den aktiven Schutz mit einbeziehen wollten, stellten wir das Rechenverfahren auf die spezifischen Erfordernisse eines Hüttenwerks um. Die diesem Rechenverfahren zugrunde liegende Formel heißt dann:

$$Q'_r = q \cdot w \cdot n \cdot m_m \cdot a \cdot \sigma \cdot R_s \cdot R_a$$

Mit q_r bezeichnet die Norm die rechnerische Brandbelastung, das heißt: die tatsächlich vorhandene Menge brennbarer Stoffe wird durch Schutz- oder Risikofaktoren verändert. Da wir in unserem Verfahren hüttenwerksspezifische Faktoren noch zusätzlich eingebracht haben, nennen wir unser Produkt q'_r .

An dieser Stelle sei der Hinweis gestattet, daß das Rechenverfahren in DIN 18230 inzwischen eine neue Form erhalten hat. Die zum Teil empirischen Faktoren dieser Formel sind mit wissenschaftlichen Mitteln untermauert und gegen akademische Kritik abgesichert worden. Die Genauigkeit der hier dargestellten Formel reicht für unsere Zwecke völlig aus. Trotzdem werden wir uns, nach dem Inkrafttreten der DIN, auf die geänderten Faktoren der Formel umstellen.

Was verbirgt sich hinter den Faktoren?

q ist die Summe der Heizwerte aller im betrachteten Abschnitt sich befindenen Stoffe, ausgedrückt in kWh/m^2 .

w ist der Wärmeabzugsfaktor. Er berücksichtigt die Lüftungstechnischen Gegebenheiten in dem betrachteten Gebäude. Dabei ist die Größe und die Lage der Öffnungen, durch die Rauch und Wärme abziehen können, entscheidend.

n als Geschosfaktor, steht für die Anzahl der Stockwerke in dem Gebäude. Je mehr Etagen vorhanden sind, um so größer ist das Risiko eines Totalschadens.

m_m ist der mittlere Abbrandfaktor. Jeder brennbare Stoff hat einen eigenen Abbrandfaktor m . In ihm wird das Brandverhalten im Vergleich zu Holz dargestellt. Im Grunde genommen ist im ein Zeitfaktor, der angibt, ob ein Stoff schneller oder langsamer abbrennt als Holz in einer ganz bestimmten Beschaffenheit.

Da es in einem Brandabschnitt immer mehrere brennbare Stoffe gibt, muß der Mittelwert m_m gebildet werden.

- a ist der Flächenfaktor, der die Größe des Brandabschnittes berücksichtigen soll. Das Brandrisiko steigt mit zunehmender Abschnittsfläche nicht linear an, sondern in einer Hyperbelfunktion.
- α als Brandbekämpfungsfaktor, berücksichtigt die Schlagkraft und die Einsatzmöglichkeit der Werkfeuerwehr. Der Faktor ist abhängig von der Anzahl der ständig anwesenden Feuerwehreinheiten und dem Produkt aus Geschoßfaktor, Flächenfaktor und Wärmeabzugsfaktor.
- R_s soll das Schadensrisiko repräsentieren. Dieser Faktor gibt Auskunft über die Wertanhäufung und über die Größe der Zündwahrscheinlichkeit. Die Wertanhäufung ist eine kaufmännische bzw. eine versicherungstechnische Aussage über den Wert des vorhandenen Inventars in DM. Sie ist relativ leicht zu ermitteln. Die Zündwahrscheinlichkeit dagegen ist etwas schwieriger zu bestimmen. Dazu müssen umfangreiche statistische Auswertungen durchgeführt werden, bei denen die Häufigkeitsverteilungen der Brandereignisse in den einzelnen Betriebsarten zu ermitteln sind. In dem hier vorliegenden Falle war der Zeitraum 10 Jahre.
- R_a soll das Ausfallrisiko darstellen bzw. den ideellen Wert einer Produktionsanlage. Der Faktor soll die Konsequenzen berücksichtigen, die der Ausfall des betrachteten Abschnittes nach sich zieht. Hier wird die Betriebswichtigkeit angesprochen. Eine Anlage mit hoher Redundanz erfordert keinen so aufwendigen Schutz wie z.B. die einzige Schaltzentrale einer Stromverteilung.

Das Ergebnis ist ein theoretischer Wert für die äquivalente Brandbelastung, der früher in kcal/m^2 heute in kWh/m^2 ausgedrückt wird. Er ist gleichzusetzen mit der potenziellen Brandgefahr oder dem Brandrisiko. Die ermittelten Werte sind in 5 Brandschutzklassen einordenbar.

Brandschutzklassen und Zuordnung der Brandschutzmaßnahmen

rechnerische Brandbelastung q_r oder q_r' Mcal/m ²	Brandschutzklasse BK	Brandschutzwände nach DIN 4102	Türen	Kabelabschottung	Schutzanlagen
≤ 75	I	F 30	T 30	Steinwolle und Flammenschutzmittel - Beschichtung	Feuerlöscher
$> 75 - 150$	II	F 30	T 30	Steinwolle und Flammenschutzmittel - Beschichtung	Feuerlöscher Druckknopf-Feuermelder
$> 150 - 300$	III	F 60	T 90	Steinwolle in Asbesttuch und Flammenschutzmittel	Feuerlöscher automatische Warnanlage
$> 300 - 450$	IV	F 90	T 90	Schottung mit Prüfzeugnis für F 90	Feuerlöscher ortsfeste Löschanlagen Warnanlage Fluchtwegbeschilderung
$> 450 - 600$	V	F 90	T 90	Schottung mit Prüfzeugnis für F 90	Feuerlöscher automatische Löschanlage Fluchtwegbeschilderung

Entsprechend dem Risiko sind die nach unserer Meinung erforderlichen Schutzmaßnahmen gestaffelt. Einem hohen Risiko soll ein maximaler Schutz zugeordnet werden, während ein Brandabschnitt mit geringer äquivalenter Brandbelastung einen geringen Aufwand erfordert.

Ab Brandschutzklasse II findet man als zugeordneten Schutz eine automatische Warnanlage. Damit ist eine Brandfrüherkennungseinrichtung gemeint. Wenn bei Brandschutzklasse V eine automatische Löschanlage empfohlen wird, bedeutet das, daß darin die Erkennungsbauteile integriert sind.

Der finanzielle Aufwand für die Umsetzung dieser Theorie in die Praxis erscheint zunächst hoch. Wir sind trotzdem diesen Weg gegangen und haben unsere sämtlichen Werksanlagen brandschutztechnisch innoviert.

Zu den bereits vorhandenen Lösch- und Meldeanlagen sind noch einige hinzu gekommen. Außerdem wurden umfangreiche bauliche Maßnahmen durchgeführt.

Die Effektivität des Brandschutzes nahm immer mehr zu, im Anfang aber zu Lasten unserer Werkfeuerwehr. Die zur Feuerwache durchgeschalteten Meldeschleifen verursachten eine Fülle von Alarmen, die naturgemäß das Ausrücken der ganzen Feuerwehr-Einheit zur Folge hatte. In den Werksanlagen unserer Konzern-Muttergesellschaft gab es bis zu 250 Alarmer im Jahr, bei denen die Feuerwehr tätig werden mußte. Demgegenüber mußte sie bis zu 350 mal im Jahr wieder einrücken ohne tätig zu werden, weil sie von Meldern getäuscht wurde.

Durch unsere Aktion verdoppelte sich die Anzahl der Melder von 2000 auf 4000. Es mußte also etwas geschehen, wenn nicht unser Sicherheitsbestreben ad absurdum geführt werden sollte. Die anfängliche Fehlerquote von fast 16 % war bei steigendem Melderbedarf für die Feuerwehr und auch für die Betriebe nicht tragbar. Eine Abteilung in unserer Werkfeuerwehr befaßte sich mit dieser Aufgabe. In Kooperation mit den Lieferfirmen und der Forschung wurden die Ursachen der Fehl- und Täuschungsalarme systematisch analysiert. Die Ergebnisse setzte man sofort in die Praxis um. So kam es zu folgenden kontinuierlichen Aktionen:

Regulierung der Empfindlichkeit von I-Meldern.

Produktionsgase und -dämpfe oder Nichtbeachten des Rauchverbots, die zum Überschreiten der Meldeschwelle führten, wurden vermieden.

Aufklärung der Mitarbeiter über die Funktion und die Technik von Früherkennungseinrichtungen.

Die persönliche Einstellung zu diesen Dingen konnte positiviert werden.

Einkapselung von besonders stark emittierenden

Produktionsstätten. Diese Maßnahmen wurden allerdings nicht nur wegen der Optimierung der Melder durchgeführt, es lagen oft auch Umweltschutzgründe vor.

Ortsveränderung falsch platzierter Melder. Durch Umbauarbeiten ändern sich die baulichen Gegebenheiten. Dadurch kommen einige Melder manchmal in die hoffnungslose Lage, zwischen Gut und Böse entscheiden zu sollen.

Erweiterung der Instandhaltungsvorschriften. Vor jeder Reparatur, bei der Schweiß- und Brennarbeiten durchgeführt werden müssen, wird die Feuerwehr verständigt. Die betroffene Meldelinie wird kurzzeitig abgeschaltet.

Intensivierung der Wartung. Es werden vor Ort keine Reinigungsarbeiten an Meldern mehr durchgeführt, sondern grundsätzlich die Meldereinsätze ausgetauscht.

Auswechslung von Meldertypen. Die Möglichkeit des Einsatzes unterschiedlich wirksamer Meldertypen ist durch Normung der Sockel gegeben. Die Wahl zwischen I-Meldern, optischen Rauchmeldern, Thermomaximalmeldern und Thermodifferenzialmeldern erleichtert die Optimierung des Schutzes.

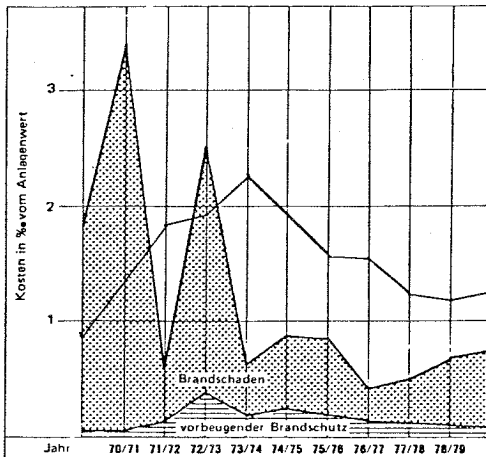
Entwicklung neuer Meldertypen. Durch die Forschung konnten einige neue Meldertypen auf den Markt gebracht werden, die nicht mehr so empfindlich auf Störfaktoren reagierten.

Durch die konsequente Durchführung aller dieser Maßnahmen gelang es, die Fehlerquote für Brandfrüherkennungseinrichtungen auf fast 4 % zu senken.

Diese Aktivität fügte sich nahtlos in den großen Rahmen der Maßnahmen zur Anhebung unseres Sicherheitsniveaus ein. Die Durchführung war zu keiner Zeit gefährdet, weil durch die Transparenz des Rechenverfahrens die Maßnahmen von allen Verantwortlichen mitgetragen werden konnten. Wenn hin und wieder von der Regel abgewichen worden ist, so geschah dies in Spezialfällen.

Es ist nämlich auch möglich, Brandmelder zur Betriebsüberwachung einzusetzen, auch dann, wenn aus Gründen des Brandschutzes keine Früherkennungseinrichtung erforderlich war. Diese Melder werden dann nicht zur Feuerwache durchgeschaltet.

Es gelang also, mit Hilfe relativ weniger Mittel, das Brandrisiko in unseren Werksanlagen zu senken.



Die Statistik zeigt, wie sich die vorhin dargestellte Methode auf die Brandschäden auswirkt. Der Erfolg der Schutzmaßnahmen ist unschwer zu erkennen. Es ist aber auch zu erkennen, daß bei Nachlassen der Bemühungen, die Schadenskurve sofort ihren Trend ändert.

Es muß noch einmal betont werden, daß hier ohne behördliche Vorschriften gearbeitet werden mußte. Die getroffenen Maßnahmen sind nicht von Gesetzen oder Bauauflagen ableitbar, sondern wurden in unserer Werknorm festgelegt.

Un doch wurden unsere Bemühungen honoriert; von unseren Versicherungen! Sie konnten sich den Ergebnissen nicht verschließen und räumten uns einen bemerkenswerten Rabatt ein. Auf diese Weise fand unsere Arbeit doch eine Unterstützung, die wir mit sporadischen Einzelaktionen wohl nie bekommen hätten.

Sie wissen, daß man mit der Installation von Brandfrüherkennungseinrichtungen bei den Versicherungen keinen tiefen Eindruck hinterläßt. Eine Meldeanlage allein kann noch keinen Brand löschen. Dazu gehört eine perfekte Infrastruktur, eine Durchschaltung zu einer schlagkräftigen, ständig besetzten Feuerwehr. Und selbst die kann nicht so frühzeitig einen Entstehungsbrand erreichen, wie eine automatische Löschanlage. Da muß man den Versicherern Recht geben.

Man muß sich bei der Planung von Meldeanlagen vor Augen halten, daß der Einbau einer kostspieligen Meldeanlage kaum einen risikovermindernden Nutzen hat, wenn die Meldung in einer Pfortnerloge endet. Werden Meldeanlagen in ein Brandschutzsystem eingefügt, bei dem die Verhältnismäßigkeit der Mittel die Ausrüstung bestimmen, dann ist nicht einzusehen, warum Meldeanlagen nur mit 5 % Prämienrabatt bedacht werden. Demgegenüber ermöglichen automatische Löschanlagen Prämienrabatte von über 30 %.

Diese Diskrepanz stellt uns oft vor Entscheidungsprobleme. Eine Löschanlage wird nur als solche anerkannt, wenn sie automatisch auslöst. Diese Auslösung aber einer Automatik zu überlassen, wäre in manchen Fällen falsch. Wenn man in Bereichen von flüssigem Eisen oder Stahl zum Beispiel unkontrolliert mit Wasser operiert, kann das zu Katastrophen führen. Der Zeitpunkt, zu dem man Löschwasser einsetzen darf, ist nur von Fachleuten zu bestimmen, wenn es nicht zu Explosionen kommen soll. Das bedeutet, daß man zwischen Branderkennung und Starten des Löschvorganges einen Menschen mit Entscheidungsfunktion setzen muß. Damit aber werden die Versicherungsbedingungen nicht erfüllt.

Ein anderes Beispiel wäre ein durch eine CO₂-Löschanlage geschützter Lärmbetrieb. Die mit Gehörschutz versehenen Mitarbeiter könnten die Vorwarnung zum Auslösen des Flutens nicht wahrnehmen und würden vom Kohlendioxid überrascht.

Als drittes Beispiel sei eine Löschanlage angeführt, die die Kellerräume unter einer Walzenstraße schützt.

Wenn hier der Löschvorgang ausgelöst wird, kann nur eine Wirkung erzielt werden, wenn das Kühlluftsystem der großen Walzantriebe abgeschaltet wird.

Das bedeutet: die ganze ca. 200 m lange Walzenstraße wird eventuell mitten während eines Walzvorganges automatisch abgeschaltet, und das wegen einer verbotenerweise gerauchten Zigarette! Das glühende Walzgut auf dem stillliegenden Rollgang bewirkt örtliche Überhitzungen, die dann ihrerseits zu Bränden führen können.

In diesem, wie in den beiden anderen Fällen, muß der Meldeimpuls der Brandmelder unterbrochen werden. Er darf erst für weitere Funktionen freigegeben werden, wenn der verantwortliche Entscheidungsträger den richtigen Zeitpunkt erkannt hat.

Die 3 zitierten Fälle zeigen, daß die schadenverhütende Wirkung einer Meldeanlage manchmal größer ist, als die einer automatischen Löschanlage.

Es ist also nicht korrekt, wenn man grundsätzlich alle Früherkennungseinrichtungen geringer bewertet als automatische Löschanlagen.

In kleineren und mittleren Industriebetrieben ohne eigene Werkfeuerwehr ist es natürlich schwierig, eine geeignete Stelle zu finden, zu der man die Brandmeldung führen kann. Es muß eine ständig personalbesetzte Stelle sein, die nach Möglichkeit zwischen Gut und Böse unterscheiden kann. In den meisten Fällen ist das der vielzitierte Pförtner am Haupttor. Er sollte die Fehl- und Täuschungsalarme selektieren können, denn die Arbeitsfreude der kommunalen Feuerwehr läßt merklich nach, wenn sie in der selben Nacht 3 mal zum gleichen Täuschungsalarm gerufen wird.

Alle diese Aspekte sollte man bei der Prämienfindung berücksichtigen. Pauschalierung sind hier nicht angebracht.

Wenn man das Sicherheitsbestreben eines Unternehmens auf dem Brandmeldegebiet besser honorieren würde, wäre die Brandschadenskurve in der Bundesrepublik bestimmt etwas flacher verlaufen.

Es gibt leistungsfähige Brandmelder, es gibt Meldezentralen mit hoher Verfügbarkeit, es gibt Methoden eines risikogerechten Brand-schutzes und es gibt die Möglichkeit eines Wirtschaftlichkeits-nachweises. Warum sollte es nicht möglich sein, das Feuer auf den Teil zu beschränken, in dem es "wohltätig" ist. "Wohltätig ist des Feuers Macht" nach Schiller aber nur, "wenn es der Mensch bezähmt, bewacht". Unseren Part der Bezähmung und Bewachung wollen wir gerne übernehmen.

Quellenangabe

DIN 18 230 E 1968

Thyssen-Werknorm TH-N 038 100

Der Spiegel Nr. 3/1981

Kubalski: Erfahrung mit auto-
matischen Brandmeldern
bei der Thyssen AG

Ing. Axel Laursen, Department Manager
Elektronikcentralen, Venlighedsvej 4, 2970 Hørsholm, Denmark
and

Ing. Jørgen Duvald Christensen, EMC Specialist
Elektronikcentralen, Venlighedsvej 4, 2970 Hørsholm, Denmark

Environmental Test Specifications for Automatic Safety Systems

1. Introduction
2. Basic considerations for environmental testing
3. Layout and document structure of CEN/TC72 environmental test catalogue.
4. Description and specification of tests with special attention to EMC tests.
5. Conclusions.

Appendix A: The principal effect of a single environment.

Appendix B: Survey of tests.

Appendix C: Layout of general specification.

Appendix D: Dry heat test (example).

Appendix E: Transient test-spark (example).

Appendix F: List of EMC test modules.

1. INTRODUCTION

The demand for good test specifications for environmental tests is a constant challenge to all test engineers. Within the area of test of automatic safety systems, this challenge has been taken up, and a lot of work has been done in the last years to improve the situation. The spread of automatic safety systems into a very broad scale of environments, together with new detection techniques, signal processing and manufacturing have been some of the driving forces behind this work.

Within the European countries this work has taken place in CEN/TC72, where a working group on environmental tests has prepared a draft document on environmental tests, -EN54-11. Further work has been initiated within ISO/TC21/SC3 where a similar working group has been established. Both WG's have Danish convenorship and the following presentation of background information, test descriptions, and document layout is based on this work.

2. BASIC CONSIDERATIONS FOR ENVIRONMENTAL TESTING

2.1 General

The purpose of environmental testing is to demonstrate with some measure of assurance that an equipment or component will survive or perform under specified environments. The selection of the severity of a test, or even the choice of the test itself - corresponding to a given environmental stress - can be difficult, and for various reasons it is impossible to give a universally valid rule for relating test conditions to actual environmental conditions. It may, however, be possible to lay down such relations in certain simple cases. It is therefore only possible to point out the essential points which should be taken into consideration when selecting tests and test severities or the sequence of the tests to be made.

The testing procedures have the following aims:

- determine the ability of an item to be stored, transported and operated in specific environments, in relation to its expected life.
- provide information on the quality of a design or of a manufactured item.

In the actual case transportation and storage has been left out, and the question concerning life time has only been dealt with to some extent.

2.2 IEC test methods

As much as possible tests from IEC publication 68 has been used. The reasons for this are:

IEC Publication 68 tests are devised with the intention of ensuring repeatability and reproducibility, but it is essential that the test procedure used complies completely with IEC publication 68.

When adapting a standard test for a specific application as here safety systems, it can in some cases be necessary to some extent to deviate the procedure from the standard test. It is in such cases very important that the modifications, which are made, still ensure repeatability and reproducibility of the test.

Speaking about repeatability and reproducibility a definition of these two notions could be:

Repeatability is the closeness of agreement between successive results obtained with the same method on identical test specimens and under the same conditions (same operator, same apparatus, same laboratory and same time).

Reproducibility is the closeness of agreement between individual results obtained with the same method on identical test specimens, but under different conditions (different operators, different apparatus, different laboratories and/or different times).

The tests of IEC Publication 68 are liable to be applied to products of the most varied kinds, so that these tests have been designed, as far as possible, to be independant of the kind of product under tests, which implies that results obtained in different laboratories may be compared, whereby:

Proliferation of slightly different test procedures and apparatus is thus avoided;

Continued use of the same test enables results to be related to test results on earlier items whose performance in service is now known.

As far as possible the tests are specified in terms of the test parameters and not by a description of the test facilities. However, for some tests it has been necessary to specify the test apparatus.

In choosing the test to be applied, the drafter of a specification should always take into account the economic aspects, particularly where two different tests exist, the results of which are likely to supply the same information.

When two or more environments applied separately do not provide the desired information, considerations should be made to find out whether a combined test is necessary. The most significant combined tests given are temperature/humidity tests.

2.3 Effects of an environment

2.3.1 Environmental parameters

The major effects on an item caused by its exposure to an environment include: corrosion, cracking, embrittlement, moisture adsorption or absorption, oxidation, etc., which may bring about a change in the physical or chemical properties. A survey of the principal effects of a single environment can be found in Appendix A.

2.3.2 Time

Significant changes in characteristics due to environmental conditions are often brought about only slowly. Thus in order to make tests within a practicable time it is necessary to accelerate these changes by intensifying the conditions e.g. by increasing the level of a parameter, or by increasing the time of application.

Although there should be a known relationship between the intensification of stress and the reduction in time this is not always possible. Tests are normally arranged to avoid introducing mechanisms of failure which differ from those in service.

The results obtained in the laboratory testing conditions should not be regarded as a direct guide to the behaviour of the tested equipment and materials in all environments where the tested equipment or materials may be used.

2.3.3 Sequence

A special problem exists in choosing the sequence in which tests have to be performed. It is often the case that the exposure to one test condition influence the results of an exposure to another test condition.

The choice of the test sequence to suit the objective in view has to be based on considerations which may some times be contradictory.

Some examples are stated below:

Objectives

Principal applications

- | | |
|---|--|
| a) To obtain information about failure tendencies from the early part of the test sequence, i.e. to start with the most severe tests. However, tests which result in inability of the specimen to resist further testing are placed at the end of the sequence. | Development testing. Generally used as part of investigations into the capabilities of prototypes. |
| b) To obtain as much information as possible before the specimen is damaged, i.e. to start with the least severe tests, e.g. non-destructive tests. | Development testing. Generally used as part of investigations into the capabilities of prototypes, especially when a limited number of specimens is available. |
| c) To use a sequence of tests which will give the most significant effects; in particular certain tests may reveal damage caused by previous tests. | Standardized type approval testing of components and equipments. |
| d) To use a sequence of tests which would simulate the sequence of environments most likely to occur in practice. | Type approval testing of equipments and complete systems where the conditions of use are known. |

The test sequence would be different for detectors and equipment due to the available number of specimens.

In fact real sequence testing is only applied for the control and indicating panel.

3. LAYOUT OF DOCUMENT STRUCTURE FOR GENERAL AND DETAIL SPECIFICATIONS OF EN54

3.1 General

The general structuring of test documents for test of fire detection systems can be seen in appendix B.

Specifications are divided into two groups as follows:

- a) General specifications, at the moment part 1, part 9, part 10 and part 11, Environmental test.
- b) Detail specifications for each system component.

3.2 General specification for environmental tests

The layout of the general specification part 11, can be seen in appendix C.

The classification and numbering of tests have been arranged as follows:

Classification of Tests

The standard specifies a range of test methods with a number of test severities in order to cover the need for relevant tests for each system component.

The tests selected have been given only for applications indoor in buildings with moderate environmental conditions, such as living rooms, offices, and light industrial environments. It is foreseen in the future to widen the range of tests to cover a broader environment, i.e. to introduce a number of environmental classes.

The aim of each test is characterized by allocation of the test to one of the following two tests classes:

Test Class A: Operation Tests

The object of a test in class A is

1. to demonstrate the ability of the specimen to operate correctly under the influence of the normal service environment,
2. and/or to demonstrate the immunity of the specimen to false alarm under the influence of a particular service environment.

The test specimen is subjected to exposures, which in nature correspond to the normal service in question.

Test Class B: Accelerated Tests

The object of a test in class B is to demonstrate the ability of the specimen to survive under the influence of an artificial environment being more severe than the normal service environment.

The test specimen is subjected to exposures, which deliberately are more severe than the service environment, in order to give information about the long term stability.

Identification of Tests

References in other parts of the EN 54 standard to a specific environmental test in this part of the standard will be identified as follows:

Example:

EN 54-11/A-1/1

This part -----
Test class e.g. A: Operation test -----
Test serial number -----
Test severity e.g. 1: 40°C/2h -----

Note: Reference "A-1/1" in this example identifies the relevant test method and severity.

Use of a higher severity No. does not necessarily mean a more severe test.

As far as possible the description of each test has been limited to one page only. This has been possible by using reference to the relevant IEC specification forming the basis for the test. An example is shown in appendix D. (test A-1).

The format shown is used for all tests, which gives quick and easy view of the main issues to deal with, when using a specified test.

The severity of each test is given as a number which in this test A1 is a combination of test temperature and duration.

3.3 Detail Specifications

The use of the general specification for environmental tests is controlled of a detail specification. As an example the specification of environmental test in the EN 54-2 draft is used. The table below gives the sequence and number of tests specified in 4.1.7 of EN 54-2 draft.

Test Method

Dry heat
Cold
Damp heat, steady state
Dielectric strength
Insulation resistance
Vibration
Electrical spikes
Electrical sparks
Electrostatic discharge
Short-time interruptions in mains voltage
Electromagnetic fields
Variation in power supply

The actual description of the dry heat test is shown below giving the test identification No. and test details.

Test method : Dry heat

Test identification : EN 54-11/A-1/3

Test details : The following details shall apply during the test.

Electrical load conditions : As specified in par 4.1.5.

Function test : Functional test in accordance with 4.1.2 shall be carried out at standard atmospheric conditions before and after the heat exposure. In addition the functional test shall be carried out during the last hour of the exposure period.

Requirements : The test specimen shall remain in normal condition during the exposure period before the function test.

The specimen shall function correctly in each of the functionally tests.

No mechanical damage shall be caused by the heat exposure.

4. DESCRIPTION AND SPECIFICATION OF TESTS WITH SPECIAL ATTENTION
TO EMC TESTS

A detailed description of each test as well as guidance for use of the test is not possible to give here. However, the introduction of a new range of tests in this field - namely EMC testing - should be payed some attention and especially these tests will be explained more in details below.

4.1 Introduction to EMC testing

EMC is an abbreviation of Electromagnetic Compatibility. Generally speaking the EMC test shall demonstrate the ability of a specimen to operate correctly under the influence of various electromagnetic interference and that the electrical emission from the specimen will not affect the operation of other equipment.

Measuring methods for control of the electrical emission have through many years been given by international organizations like IEC, where a special committee on radio interference (CISPR) exists. The aim of all work inside this organization has until now been to put up rules to protect the Radio- and TV communication. Most contries have legislation covering this area.

The present paper will only discuss measuring techniques for determination of the susceptibility to various electrical interference. The electromagnetic susceptibility test is a part of the general environmental test, which also include climatic and vibration test. Though the paper only discusses suscpetibility testing the abbreviation EMC testing will be used through out the text.

The extensive use of sensitive electronic circuits - e.g. microcomputers etc. - in automatic safety systems have made these vulnerable to electrical disturbance sources normally to present in their service location. The disturbances may be either transient, intermittent or continuous in nature generated from objects like: contactors, relays, thyristors, transmitters, walkie-talkies, electrostatic discharge etc. A fully description of the electrical environments cannot be given as they are of a statistical nature both in time as well as severity. For example, there will always be a risk for the equipment to be exposed to high frequency fields even if no transmitters exist in the neighbourhood. A walkie-talkie may always be

brought into the vicinity of the equipment. A contactor does not generate the same transient every time it is activated. New disturbance sources can be brought into the vicinity of the specimen after the installation. Apart from a few disturbance sources, such as lightning and long distance transmitters, the electrical environments are local phenomenon.

Even though the electrical milieu cannot be described in detail, it is a fact that electronic equipment are more and more often affected by electrical interference. This aspect is recognized by the users and therefore a growing demand for well documented susceptibility data for electronic equipment exists. Test methods to demonstrate immunity (good immunity corresponds to low susceptibility) to electrical interference can be found in the literature. But usually the relevant test methods are described in various standards as one standard normally only covers a part of the electromagnetic environment. A further complication in assembling a comprehensive set of tests for a specific type of equipment is that some EMC test methods are found in appendices to more general, rather extensive standards mainly covering subjects other than EMC. In order to simplify electromagnetic susceptibility test on commercial electronic equipment it is found useful to construct a set of test modules. All test modules shall be self-contained documents. Each module describes how to simulate the influence from a small part of the total electromagnetic environments. Where internationally recognized test methods exist these are recommended to be used. An example of such a test module is given in appendix E and a list of test modules is given in appendix F. By combining a number of test modules, a test specification for a specific milieu and type of equipment can easily be set up.

The EMC test modules are no attempt to make any kind of EMC standard, as this work has to be done in international technical working groups. But where no EMC standards exist, the test modules can be a helpfull tool in solving an EMC problem. With advantage they can also be used where well documented susceptibility data is needed.

4.2 EMC test of automatic safety systems

Before going into details with the proposed EMC tests in draft document EN54-11 some special terms shall be explained:

- . Susceptibility: The characteristic of electronic equipment that permits undesirable response when subjected to electromagnetic energy.
- . Susceptibility level: The exposure signal level where undesired response is registered.
- . Conducted Susceptibility (CS): The electromagnetic energy is transmitted through a coupling network.
- . Radiated Susceptibility (RS): The electromagnetic energy is radiated from antennas. No galvanic connection between test object and test equipment exists.
- . LISN: Line Impedance Stabilization Network is used as coupling network for CS test.
- . Strip Line: Parallel plate transmission line to generate an electromagnetic field for testing purposes.
- . Polarization: The orientation of the electric-field vector of a radiated field.
- . Operational mode: A description of how the test object operates during the exposure.

Five different EMC tests have been chosen in draft proposal 54-11. These give a good simulation of the influence of the electromagnetic interference, which frequently may be present at the service locations.

4.2.1 Electrical spikes

Object of the test is to determine the suitability of a specimen to function under conditions where electrical spikes are superimposed on the mains or induce on signal lines.

The test signal is a double exponential pulse with a rise time of 35 ns and a decay time of 1 μ s. Transient amplitude of 1 kV is recommended on the mains lead. Such kind of pulses may originate from electrical contacts. The frequency content of the test pulse is primarily below 10 MHz.

The test equipment is a transient generator, which can be purchased on the market, and a LISN, which mainly consists of an inductance of 5 mH.

The test can be carried out in a general laboratory. A ground plane might be necessary.

4.2.2 Electrical Sparks

The object of the test is to determine the suitability of a specimen to function under conditions where electrical transients in form of a pulse train (repetitive transients) are superimposed on the mains voltage.

The test signal is a burst of transients, where the burst duration is 1 ms. The test pulse has a frequency spectrum up to more than 100 Mhz. Transient amplitudes up to 4 kV are recommended. Such impulses may originate from contactors disconnecting currents for highly inductive loads. The large energy stored in the load causes restrikes of the arc in the contactor.

The test equipment can be a double contactor switching of a 115 VDC voltage to a 300 H inductance, a LISN with a 5 mH inductor and a 100 pF coupling capacitor. A suitable generator is not yet commercial available.

The test can be carried out in a general laboratory. A ground plane might be necessary.

4.2.3 Electrostatic Discharge (ESD)

Object of the test is to evaluate the performance of a specimen when subjected to electrostatic discharges.

The test signal shall be generated by charging a capacitor of 150 pF with a DC voltage (8 kV is recommended) and then discharge the stored energy through a series resistance of 150 Ω and a probe to the chassis of the specimen.

A suitable test equipment can be purchased on the market.

The test can be carried out in a general laboratory. A ground plane is necessary.

4.2.4 Short-time interruptions in mains voltage

Activating heavy loads on the distribution network may cause momentary drop out of the supply voltage to an equipment installed near such a load.

To verify that a specimen is not affected by such drop outs a number of half cycles are excluded from the supply voltage.

A suitable test equipment can be purchased on the market.

The test can be carried out in a general laboratory.

4.2.5 Electromagnetic fields

Object of the test is to determine whether the specimen is susceptible to electromagnetic fields transmitted from radio stations, mobile transmitters (taxi radio, etc.), amateur transmitters and high frequency generators for industrial purposes.

The test signal is a modulated high frequency field in the frequency range 100 kHz to 500 MHz. The radiated field strength has severities up to 10 V/m.

The test equipment consists of suitable antennas, which can be a strip line, a long wire or dipole antennas, signal generators and power amplifiers covering the specified frequency range.

The test must be carried out in an electromagnetic shielded room. During the test it is very important that all relevant cables or at least representative cables are connected to the test object, because these act as antennas for picking up the radiated field, the cables shall be stretched out so the best antenna effectiveness is achieved. For documentation a description of the measuring set-up is recommended.

4.3 Summary of the EMC test

Until now it has not been common practice to make electromagnetic susceptibility tests on commercial equipment. But as more and more equipment today are implemented with μ -processors and other sensitive electronic circuits there have become vulnerable to electrical disturbances. It is therefore naturally to let the EMC test be a part of the environmental test program. Five different EMC tests

have been suggested for automatic safety systems. These tests simulate a wide range of the conditions that may be encountered at the service location. The major effects on test objects exposed to the EMC test signals have been malfunctions - e.g. change of operational mode, false alarms etc. Damages of the test objects have been more rare effects, but damages can occur and they have especially been registered during the static discharge tests.

5. CONCLUSIONS

The present situation for environmental test specifications for safety systems is now being improved through the new EN 54-11 draft. A number of international accepted test methods are used, raising the reproducibility of test conditions. Further the addition of new test areas like the EMC tests updates the draft to the level of modern environmental testing as it is carried out on other kinds of electronic equipment to day.

APPENDIX A

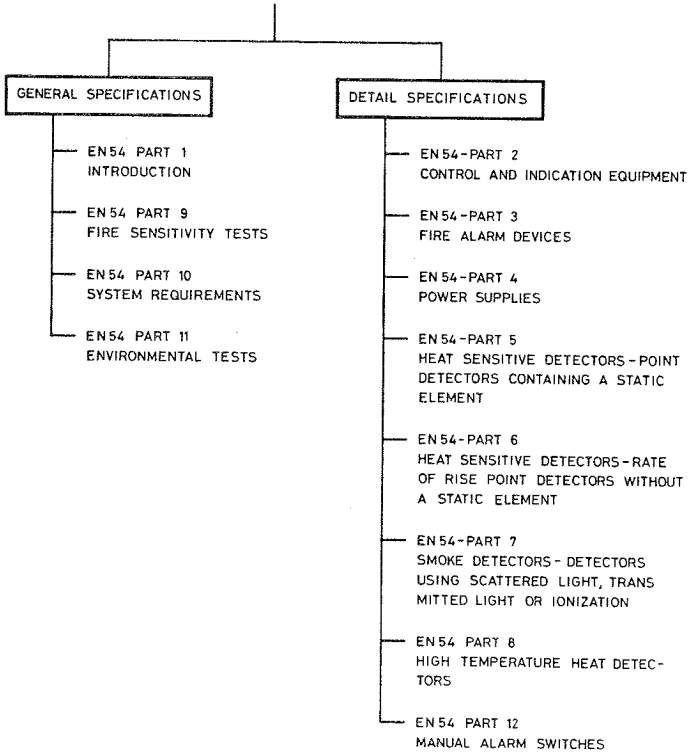
The principal effects of single environments

Environment	Principal effects	Typical failures induces
High temperature	Thermal ageing. Oxidation Cracking Chemical reaction Softening, melting, sublimation Viscosity reduction, evaporation Expansion	Insulation failure, mechanical failure, increased mechanical stress, increased wear on moving parts due to expansion or loss of lubrication properties
Low temperature	Embrittlement Ice formation Increased viscosity and solidification Loss of mechanical strength Physical contraction	Insulation failure, cracking, mechanical failure, increased wear on moving parts due to contraction or loss of mechanical strength and to properties. Failure of pressure seals)gaskets
High relative	Moisture absorption or absorption Swelling Loss of mechanical strength Chemical reaction. Corrosion Electrolysis Increased conductivity of insulators	Physical breakdown, insulation failure, mechanical failure
Low relative humidity	Desiccation Embrittlement Loss of mechanical strength Shrinkage Increase of abrasion between moving contacts	Mechanical failure
High pressure	Compression, deformation	Mechanical failure, leaks (failures of seals)
Low pressure	Expansion Reduced electric strength of air Corona and ozone formation Reduced cooling	Mechanical failure, leaks (failures of seals), flashover, overheating
Solar radiation	Chemical, physical and photochemical reactions: Surface deterioration Embrittlement Discoloration, ozone formation Heating Differential heating and mechanical stresses	See "high temperature"

Environments	Principal effects	Typical failures induces
Sand or dust	Abrasion Seizing Clogging Thermal insulation Electrification	Increased wear, electrical failures, mechanical failures, overheating
Corrosive atmospheres	Chemical reactions: Corrosion Electrolysis Surface deterioration Increased conductivity Increased resistance of contact materials	Increased wear, mechanical failures, electrical failures
Wind	Force application Fatigue Deposition of materials Clogging Abrasion Induced vibration	Structural collapse, mechanical failure See "sand or dust" See "corrosive atmospheres"
Rain	Water absorption Temperature shock Erosion Corrosion	Electrical failure, cracking, leaks surface deterioration
Hail	Abrasion Temperature Shock Mechanical deformation	Structural collapse, surface damage
Snow or ice	Mechanical loading Water absorption Temperature shock	Structural collapse, See "Rain"
Rapid change of temperature	Temperature shock Differential heating effects	Mechanical failure, seal damage, cracking, leaks
Ozone	Rapid oxidation Embrittlement (especially rubber) Reduced dielectric strength of air	Electrical failures, crazing, cracking mechanical failures
Steady acceleration Vibration Acoustic noise Bump or shock	Mechanical stress Fatigue Resonance	Mechanical failures, increased wear of moving parts, structural collapse

APPENDIX B

STRUCTURE OF TEST SPECIFICATIONS
FOR
AUTOMATIC FIRE DETECTION SYSTEMS



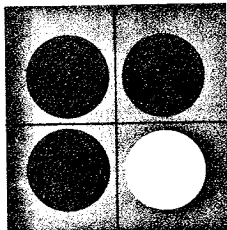
APPENDIX C

Test Class	Test Method	Appendix	Page
A	OPERATION TESTS		
	- Dry heat	A-1	4
	- Cold	A-2	5
	- Shock	A-3	6
	- Sinusoidal Vibration	A-4	7
	- Random Vibration	A-5	8
	- Damp heat, steady state	A-6	9
	- Damp heat, cyclic	A-7	10
	- Variation in power supply	A-8	11
	- Electrical spikes	A-9	12
	- Electrical sparks	A-10	13
	- Electrostatic discharge (ESD)	A-11	14
	- Short-time interruptions in mains voltage	A-12	15
	- Electromagnetic fields	A-13	16
	- Stray light	A-14	18
	- Insulation resistance	A-15	20
	- Impact	A-16	21
- Air velocity	A-17	22	
B	ACCELERATED TESTS		
	- Dry heat	B-1	23
	- Damp heat, steady state	B-2	24
	- Damp heat, cyclic	B-3	25
	- Sinusoidal Vibration	B-4	26
	- Random Vibration	B-5	27
	- Corrosion SO2	B-6	28
	- Corrosion H2S	B-7	29
	- Dielectric Strength	B-8	30
- Dust	B-9	32	

APPENDIX D

- Appendix : A-1.
- Test method : Dry heat
- Reference to standard : IEC-Publication 68-2-2, Fourth edition, 1974, Basic environmental testing procedures, Part 2: Tests, Test Bd: Dry heat, for heat dissipating specimen with gradual change of temperature.
- Object of the test : To determine the suitability of components, equipments and other articles to operate under conditions of high temperature.
- Background information concerning dry heat tests are given in IEC-Publication 68-3-1, First edition, 1974, Part 3: Background information, Section One - Cold and dry heat tests.
- Test procedure in brief : The test consists of exposure to the specified high temperature under "Free air" condition for the time specified. The time shall be long enough for the specimen to achieve temperature stability.
- Special pre-conditioning may be specified.
- The change of temperature shall not exceed 1°C/min.
- The humidity content of the test atmosphere must not exceed 20g/m³.
- Detail specification : For full test details reference is made to the IEC-Publication stated above, and the detail specification of this test in the relevant part of the standard, EN 54.
- Test severities : The following severities can be specified:

Severity:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temperature: °C	40	55	40	55					
Duration : hours	2	2	16	16					



EC - test No. 2904

Transient test - Spark

EMC section

issue: 1 date: 81.09.21 page 1 of 3 pages

1. Scope

This test method is used to determine whether electronic equipment is susceptible to high frequency disturbances from sparks caused e.g. when breaking electrical contacts.

2. Related Documents

SEN 361503 (Sweden), "Interference environment classes and testing requirements for electronic apparatus in control equipment for power installations".

3. Test Specimen

All kinds of equipment can be tested.

4. Test Equipment

The open circuit voltage of the test generator shall have a wave form as shown in Fig. 1.

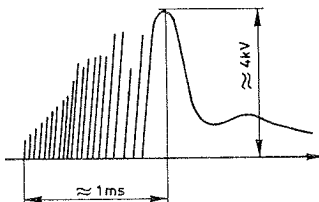


Fig. 1. Wave Form of the Test Signal.

This is an internal standard, issued by Elektronikcentralen for testing purpose.

The test signal has the following data:

- . train of pulses where each pulse has a slow rise and a very fast fall.
- . duration of the pulse train, approx 1 ms.
- . amplitude starting at 2 kV and increasing to 4 kV.
- . the upper frequency limit of the spectrum, approx. 100 MHz.

5. General Requirements

None.

6. Test Procedure

All external connections shall be divided into logical groups. For example the mains cable forms one group; one multiconnector may form another group and a second multiconnector may form a third group etc. Some interface cables may be excluded from the test. The test pulse is applied as follows:

1. Between the individual groups and the reference ground for the test specimen (common mode test). All wires in the group under test are connected to the output of the test generator through coupling capacitors.
2. Between pairs of wires, as phase and neutral, signal lead and return, etc. (transversal test).
3. Between different groups. All wires in one group are connected through coupling capacitors to the output and all wires in another group are connected through coupling capacitors to the reference of the test generator.

To prevent dissipation of the transient energy it is necessary to insert isolating inductors into those wires on which transients are injected. The coupling capacitors shall have a value greater than 100 pF.

The test signal shall be applied for a period of 2 min. with a repetitive rate of one per second. The specimen shall be tested with both positive and negative pulses.

7. Severity

The test signal is defined in clause 4, Fig. 1.

Voltage: 2-4 kV.

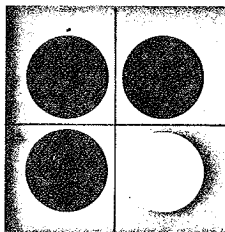
8. Documentation

The submission of documentation including the following is obligatory:

1. Description of any peripheral units which are connected to the specimen during the test.
2. Operational mode(s) for the specimen during the test.
3. All external connections shall be specified and divided into logical groups.
4. Malfunction criteria.

After the test the following documentation will be given:

5. Identification of leads included in the test.
6. Observations during the test.



EC - SERVICE INFORMATION

EC-TEST MODULES EMC

TEST NO. 2901	TRANSIENT TEST - SPIKES
TEST NO. 2902	TRANSIENT TEST - SURGES
TEST NO. 2903	STATIC DISCHARGE
TEST NO. 2904	TRANSIENT TEST - SPARK
TEST NO. 2905	TRANSIENT TEST - 1 MHZ PULSE
TEST NO. 2906	ELECTROMAGNETIC FIELD 30-1000 MHZ
TEST NO. 2907	CONDUCTED SUSCEPTIBILITY POWER LINE, 50 KHZ-30 MHZ
TEST NO. 2908	RIPPLE ON DC POWER LINE, 50 HZ-2 KHZ
TEST NO. 2909	ELECTROMAGNETIC PULSE (NEMP)
TEST NO. 2910	TRANSIENT FIELD
TEST NO. 2911	IMPULSE VOLTAGE WITHSTAND TEST
TEST NO. 2912	MAINS VOLTAGE PERTURBATIONS
TEST NO. 2913	ELECTRIC FIELD 10 KHZ-150 MHZ, STRIP LINE
TEST NO. 2914	MAGNETIC FIELD 50 HZ-20 KHZ, HELMHOLTZ COIL

ELEKTRONIKCENTRALEN

DANISH RESEARCH CENTRE FOR APPLIED ELECTRONICS
VENLIGHEDSVEJ 4, DK-2970 HØRSBOLM, DENMARK
TEL.: + 45 2 86 77 22

El. Ing. HTL E. Hess

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen, Bern, Schweiz

Sicherheitsphilosophie und Anwendungsgrenzen moderner elektronischer Bauelemente in Brandmelderzentralen

1. Einleitung

Die Brandmelderzentrale ist bekanntlich das "Nervenzentrum" oder "Gehirn" einer Brandmeldeanlage. In ihr laufen alle Signale und Meldungen zusammen, die ausgewertet, gewichtet und signalisiert sein wollen. Es kann sich dabei einerseits um eine Brandmelderzentrale handeln, an welche nur einige wenige, andererseits aber auch einige hundert oder gar tausend Brandmelder angeschlossen sein können.

Z.Zt. laufen die Entwicklungen für zukünftige Brandmelderzentralen auf Hochtouren. Dabei werden - nicht zuletzt auch aus marktpolitischen Überlegungen - die neuesten elektronischen und optoelektronischen Bauelemente wie Mikroprozessoren aber auch alphanumerische Anzeigefelder, wie z.B. LED- oder LCD-Displays, verwendet.

Unter dem Deckmantel des "technischen Fortschritts" wird heute viel angepriesen, was sich in Tat und Wahrheit nur als "Gag" und eher als Rückschritt herausstellt. Leider wurden bisher beim Entwickeln der neuen Zentralengeneration die grundsätzlichen Anforderungen, die aus der Sicht der Feuerversicherer, Feuerwehr und auch der Anlagebetreiber gestellt werden, zuwenig berücksichtigt. Dabei geht es primär darum, Lösungen für den Normalfall und nicht für eine komplexe Gebäudeautomation oder Grossanlagen vorzuzeichnen. Für derartige komplexe Anlagen muss sowieso von Fall zu Fall eine zweckmässige Lösung gesucht werden.

Uns interessierte deshalb einmal die Grössenverteilung der 1981 in der Schweiz eingesetzten Brandmelderzentralen.

Abbildung 1: Grössenverteilung Brandmelderzentralen, Statistik 1981 (siehe Anhang)

Das Ergebnis war verblüffend und zeigte, dass die Brandmelderzentrale in 92,2% der total 1160 erfassten Brandmeldeanlagen max. 32 Meldergruppen enthielt. Dies entspricht einer Brandmeldeanlage, welche ca. 300 Brandmelder umfasst.

Es sind dies nur einige Gründe, weshalb es sich lohnt, sich im folgenden mit den Anforderungen, dem Konzept und der Sicherheitsphilosophie für eine Brand-

melderzentrale, aber konsequenterweise auch mit der gesamten Brandmeldeanlage kritisch auseinandersetzen. Bei diesen Ueberlegungen wird davon ausgegangen, dass das gleichzeitige Eintreten von zwei oder mehr Fehlern oder Ausfällen ausgeschlossen werden kann.

2. Sicherheitsphilosophie

Mit der Mikroelektronik, alphanumerischen Anzeigefeldern oder auch Tastencodes lassen sich bezüglich der Konzeption einer Brandmelderzentrale neue Lösungen realisieren. Redundante Schaltkreise und Anzeigen, die sich mit der bisherigen Technik vielfach automatisch ergaben, entfallen. Ein Beispiel dazu stellt der Schaltkreis für die Meldergruppe dar, welcher bisher einzeln ausgelegt und damit vielfach vorhanden war. Mit dem Einsatz der Mikroelektronik mit grosser "Packungsdichte" (bis zu 1 Mio. Transistoren pro Chip) und somit extremer Datenkonzentration, sind bei einem möglichen und denkbaren Ausfall, auch durch äussere Einwirkungen wie z.B. Sabotage, Blitzschlag usw. unter Umständen grössere Anlageteile betroffen.

Es stellt sich deshalb die schwierige Frage, wo die Einsatzbereiche und Grenzen einer derartigen Datenkonzentration und der alphanumerischen Anzeigefelder liegen und wo eventuell Vereinfachungen bei Brandmelderzentralen ohne Beeinträchtigung der Sicherheit und Uebersichtlichkeit sowie des Bedienungs- und Anzeigekomforts möglich sind. Um über diese Frage zu philosophieren und eventuell eine Antwort zu finden, muss man vorerst den Aufbau einer Brandmeldeanlage betrachten.

Der Ausfall eines einzelnen Brandmelders wird in der Regel noch kein kritisches Risiko darstellen und nicht allzu grosse Folgen haben. Wir nehmen einmal an, dass dadurch ca. 60 - 80 m² nicht mehr überwacht sind. Schon schlimmer sieht es aus, wenn eine Meldergruppe mit z.B. 15 - 20 Brandmeldern ausfällt. In diesem Fall haben wir unter Umständen bereits eine Fläche von 1200 m², die nicht mehr überwacht ist. Als Extremfall ist der Ausfall des Uebertragungssystems (Uebertragungsgerät oder Uebertragungsweg) zu bezeichnen.

Das Sicherheitskonzept einer Brandmeldeanlage muss deshalb so gewählt werden, dass in der ganzen Kette zwischen der Brandentdeckung (Brandmelder) und der Alarm-Empfangseinrichtung bei der Feuerwehr möglichst keine Schwachstellen oder "Flaschenhälse" auftreten können, d.h. Anlageteile ausfallen können, welche einen grossen Teil der Brandmeldeanlage lahm legen. Es könnte deshalb

etwa folgender Grundsatz aufgestellt werden:

"Je grösser die Datenkonzentration oder Bedeutung eines Anlageteils resp. eines Knotens (Schnittstelle), desto grössere Anforderungen sind an die Qualität und Zuverlässigkeit zu stellen, und / oder es muss mindestens ein redundantes System verfügbar sein."

Aus diesen grundsätzlichen Ueberlegungen geht hervor, dass der heutige Trend nach grösstmöglicher Zentralisation aus sicherheitstechnischen Ueberlegungen nicht erwünscht ist. Dies gilt ebenso für kombinierte Sicherheitsanlagen, z.B. Brand, Einbruch, Ueberfall, bei welchen noch zusätzliche, vor allem organisatorische Probleme dazukommen. Es genügt nicht, wenn die verschiedenen Apparate und Systeme überwacht sind und ein Ausfall signalisiert wird. Die Errichterfirma wird nicht in jedem Fall in der Lage sein, einen Schaden kurzfristig zu beheben. Ersatzteile müssen beschafft und eventuell grössere Distanzen durch den Servicedienst überbrückt werden. Doch was geschieht in der Zwischenzeit mit der Brandmeldeanlage ?

Damit sich das zusätzliche Risiko bei einem Ausfall eines Anlageteils der Brandmeldeanlage in Grenzen hält, ist ein Konzept zu wählen, welches die Brandmeldeanlage in kleinere autonome Bereiche aufteilt, oder welches wichtige Anlageteile in doppelter oder mehrfacher Ausführung vorsieht.

Die Idee eines derartigen Konzepts für eine grosse Brandmeldeanlage zeigt die folgende Darstellung.

Abbildung 2: Mögliches Sicherheitskonzept einer grösseren Brandmeldeanlage (siehe Anhang)

Dieses Konzept zeichnet sich durch folgende Charakteristik aus:

- Autonome Bereichszentralen
- Terminal als parallele Anzeige und Bedienung
- Ueberwachte Uebertragungswege für Meldelinien, Terminal und Uebertragungseinrichtung
- Energieversorgung, Netz und Akku
- Redundante Uebertragungseinrichtung

Für Brandmelderzentralen gelten sinngemäss dieselben Ueberlegungen.

Zum besseren Ueberblick der immer komplexeren Konzeption wird die Brandmelderzentrale in verschiedene Funktionsgruppen aufgeteilt.

Abbildung 3: Funktionsgruppen Brandmelderzentralen (siehe Anhang).

Die Brandmelderzentrale umfasst im wesentlichen folgende Funktionsgruppen:

- Bedienung und Anzeige
- Signalverarbeitung mit Eingangs- und Ausgangs-Interface
- Ueberwachung
- Energieversorgungs-Einrichtung (Netzgerät und Energiequellen)
- Genormtes Bedienungs- und Anzeigefeld

Mit diesem Blockschema sind auch relativ leicht die sicherheitstechnisch kritischen Stellen erkennbar. Sie betreffen vor allem die Signalverarbeitung, Energieversorgung, Bedienung und Anzeige. Bei der Energieversorgung behilft man sich so, dass der Betrieb der Brandmelderzentrale mit dem Netz resp. Netzgerät und / oder dem Akkumulator sichergestellt wird. Eine Signalverarbeitung muss mehrfach vorhanden sein und ist auf eine maximale Anzahl von Brandmeldern, z.B. 50 Stück, zu begrenzen. Zudem hat ein unabhängiger Schaltkreis bei einem Ausfall der Signalverarbeitung den Notbetrieb zu übernehmen und mindestens eine zuverlässige Auswertung eines Brandalarms (Sammelalarm ohne Brandortanzeige) und eine Uebertragung zur Feuerwehr sicherzustellen. Die Anzeige- wie auch Bedienungs-Möglichkeiten sind ebenfalls aufzuteilen und sollen mehrfach vorhanden sein. Eine Ueberwachung der wichtigsten Funktionen und Uebertragungswege wird als selbstverständliche Voraussetzung betrachtet. Zur Sicherheitsphilosophie gehört gleichfalls der Hinweis, dass Brandsignale in Zukunft noch sicherer und zuverlässiger ausgewertet werden müssen. Dies vor allem aufgrund unterschiedlicher Erfahrungen in den letzten Jahren mit zahlreichen Fehlauflösungen durch Brandmeldeanlagen, die bis zur Feuerwehr übertragen wurden.

3. Einsatz und Anwendungsgrenzen von mikro-elektronischen Schaltungen und Displays

Durch die intensive Weltraumforschung in den 80er Jahren und die damit eng verbundene Computerevaluation sind eine ganze Reihe von neuen und modernen elektronischen und opto-elektronischen Bauelementen wie Mikroprozessoren, LED und LCD-Displays entwickelt worden. Dies vor allem mit dem Ziel, mehr Informationen auf kleinerem Raum zu verarbeiten und damit Platz und Gewicht einzusparen. Nachdem die Preise für diese Bauelemente infolge grosser Produktionszahlen enorm gesunken sind, stehen diese nun auch dem Entwickler von Brandmelderzentralen zur Verfügung und eröffnen neue Lösungsmöglichkeiten. Die Anwendung will jedoch gerade in der Sicherheitsbranche gründlich überlegt sein.

3.1 Opto-elektronische resp. alphanumerische Anzeigen

In einer Brandmelderzentrale müssen unter anderem alle Betriebszustände optisch klar, eindeutig und übersichtlich angezeigt werden. Bei den bisherigen Brandmelderzentralen war diese Forderung gut und zweckmässig erfüllt. Diese Lösungen zeichneten sich durch folgende Vorzüge aus:

- leuchtende Anzeige mit farblicher Unterscheidung
- gleichzeitige Anzeige mehrerer Betriebszustände und damit guter Gesamtüberblick
- eindeutige Zuordnung eines Betriebszustandes und Bedienungselementes
- klare und direkte Bezeichnung der Anzeige- und Bedienungselemente
- mehrfach vorhandene Anzeigeelemente (Redundanz)

Wird nun anstelle mehrerer Anzeigeelemente wie z.B. Leuchtdioden ein LCD-Display als alphanumerische Anzeige verwendet, handelt man sich nebst einer fragwürdigen Platzeinsparung die oben aufgeführten Vorzüge als Nachteil ein. Als einziges Anzeigeelement wäre ein eventueller Ausfall eine schlimme Situation.

Für den Anlagebetreiber bedeutet dies in der Praxis, dass eine Anzeige ohne Beleuchtung nicht abgelesen werden kann und eventuell anhand einer Liste decodiert werden muss. Der Ueberblick für weitere Betriebszustände, die wohl gespeichert aber nicht angezeigt werden und somit abgefragt werden müssen, ist viel schwieriger. Bei einer grösseren Brandmeldeanlage und unter dem Druck der Ereignisse dürfte der Ueberblick mit einer derartigen Anlage ein echtes Problem darstellen.

In verschiedenen Brandmelderzentralen findet man nun auch eine sogenannte Melderidentifikation mit codierter Anzeige des betreffenden Melders. Eine derartige zusätzliche Anzeige wird die Uebersicht auch nicht gerade verbessern; denn wer kann schon ohne Verzeichnis oder Plan z.B. etwas mit der Nummer 28 anfangen ?

Für LED-Displays, Monitore und Drucker ergeben sich ähnliche Ueberlegungen. Alphanumerische Anzeigeelemente wie LCD- und LED-Displays oder Monitore eignen sich meiner Ansicht nach nicht als einzige Anzeige und Informationsfeld für Brandmelderzentralen, sondern höchstens als zusätzliche periphere Geräte. Eine derartige Vereinfachung und Miniaturisierung geht ganz ein-deutig auf Kosten der Uebersicht und damit auch der Sicherheit.

3.2 Mikroelektronische Schaltkreise

Mikroprozessoren, Speicher (Programm- und Datenspeicher) und Ein- / Ausgabe-Bausteine sind die wesentlichen Elemente eines Mikrocomputers, welcher nun auch im Zusammenhang mit Brandmeldeanlagen Anwendung findet. Die Vorzüge der mikroprozessorgesteuerten Systeme sind im wesentlichen Miniaturisierung und billigere Fertigung der Schaltkreise, hohe Zuverlässigkeit durch das Wegfallen eines grossen Teils der äusseren Verbindungen (löten usw.) sowie hohe Arbeitsgeschwindigkeit. Damit nun diese Vorteile auch in einer Sicherheitsanlage voll ausgenutzt werden können, bedarf es auch noch einiger konzeptionellen Voraussetzungen.

Aus sicherheitstechnischen Überlegungen stellt die hohe Packungsdichte und damit grosse Datenkonzentration von Mikroprozessoren und Speichern ein gewisses Problem dar. Wie bereits im Rahmen meiner Ausführungen über die Sicherheitsphilosophie erwähnt, muss auch mit dem Ausfall eines zentralen Bausteines gerechnet werden. Diese "worst-case" Betrachtung ist bei der Erarbeitung eines elektronischen Schaltkreises zu berücksichtigen. Es ist ein Konzept zu realisieren, welches die Grundzüge der besprochenen Sicherheitsphilosophie beachtet.

Im weiteren ist sicherzustellen, dass bei einem Ausfall der Mikroelektronik (Mikroprozessor, Speicher) keine falschen und irreführenden Signale entstehen können.

Eine sinnvoll vertretbare Anwendung von mikroprozessorgesteuerten Systemen und Speichern (PROM, ROM, RAM) ist nur möglich, wenn ein sauberes Konzept für die elektronischen Schaltkreise auch unter Berücksichtigung der sicherheitstechnischen Aspekte vorliegt. Nur grosse Stückzahlen, wie z.B. für Taschenrechner und elektronische Uhren, rechtfertigen zudem den Aufwand für eine gute Qualität von mikroelektronischen Bauteilen, wie dies für Brandmelderzentralen notwendig wäre.

Durch die Anwendung der komplexen und für Aussenstehende kaum mehr überblickbare Technik wird den Typenprüfungen von Brandmelderzentralen noch grösseres Gewicht beigemessen werden müssen. Die Prüfstellen werden die nicht leichte Aufgabe und Verantwortung haben, die Konzeption einer Brandmelderzentrale zu beurteilen. Eine reine "black-box" Betrachtung wird in diesem Falle kaum ausreichend sein.

3.3 Bedienungs-Einrichtungen

Ein neuer Trend bei modernen Brandmelderzentralen stellt ebenfalls die Verwendung von sogenannten Tastaturen als Codewähler (Tastencodes) für die Steuerung verschiedener Funktionen dar. Die Konzentration der verschiedenen Bedienungsfunktionen auf eine einzige Einrichtung hat auch hier bei einem möglichen Defekt gravierende Folgen. Aber auch eine falsche Wahl (Fehlmanipulation) des Tastencodes, wie beim Telefon, ist denkbar. Es ist deshalb darauf zu achten, dass spezielle Funktionen wie z.B. "Test", "Rückstellen", "Horn aus" usw. auch weiterhin mit separaten Bedienungselementen gesteuert werden können. Einzig eine Kombination der "Ein / Aus" - Funktionen der Meldergruppen mit einem Tastencode wird als vertretbare Lösung erachtet, sofern der jeweilige Zustand klar erkennbar ist und eine Unterteilung in "Funktion" - "Adresse" - "Start" vorhanden ist.

4. Genormtes Bedienungs- und Anzeigefeld

Auf dem Markt ist heute eine sehr grosse Anzahl verschiedener Brandmelderzentralen anzutreffen. Seit Brandmeldeanlagen gebaut werden, dürfen es in der Schweiz ca. 80 verschiedene Modelle sein. Da die Entwicklung rasch voranschreitet und eine Zentralen-Generation nach 5 - 6 Jahren bereits wieder überarbeitet wird, kommen rasch neue und zusätzliche Modelle dazu. Die Bedienung dieser vielen verschiedenen Brandmelderzentralen ist sehr unterschiedlich und stellt die Feuerwehren teilweise vor fast unlösbare oder aber unzumutbare Probleme. Aber auch der Anlagebetreiber ist für eine einfache und zweckmässige Anzeige- und Bedienungsmöglichkeit dankbar.

Damit die allerwichtigsten Anzeigen und Bedienungen in Zukunft vereinheitlicht werden können, wurde in Zusammenarbeit mit der Brandmelde-Industrie ein genormtes Bedienungs- und Anzeigefeld für Brandmelderzentralen kreiert, welches ab 1983 in der Schweiz in jeder neuen Brandmeldeanlage vorhanden sein muss.

Abbildung 4: Genormtes Bedienungs- und Anzeigefeld (siehe Anhang).

Dieses beinhaltet folgende Anzeigen und Funktionen:

- | | | |
|---|---|---------------|
| 1. Brandalarm |) | |
| 2. Störungsmeldung |) | Sammelanzeige |
| 3. Betriebsüberwachung (ausgeschaltete Anlageteile) |) | |
| 4. Löschanlage ausgelöst |) | |
| 5. Horn / Summer "AUS" |) | |

6. Uebermittlung Brandalarm
7. Rückstellen Brandmelderzentrale
8. Schlüsselschalter (Sperrung Pos. 6 und 7)

Im Gegensatz zum Feuerwehrkasten in der Bundesrepublik Deutschland wurde dieses genormte Bedienungs- und Anzeigefeld voll in die Brandmelderzentrale integriert.

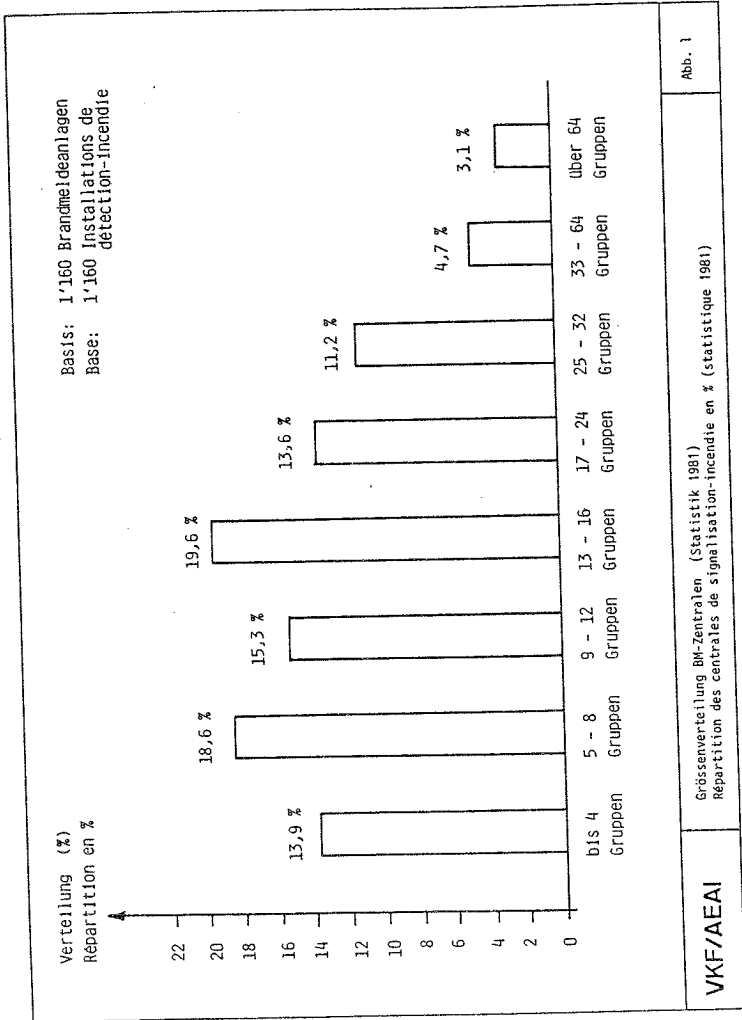
5. Zusammenfassung und Schlussbemerkung

Meine kritischen Ausführungen zum Thema Brandmelderzentralen bezwecken, den Einsatz- und Anwendungsbereich von mikroprozessorgesteuerten Systemen, alphanumerischen Anzeigen und Tastencodes unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Anforderungen und des Sicherheitsgedankens darzustellen.

Sicherlich wird der eine oder andere Gedanke von den Entwicklern und Herstellern von Brandmelderzentralen aufgegriffen werden, so dass wir dadurch in Zukunft akzeptablere Lösungen von Brandmelderzentralen für alle Beteiligten antreffen werden.

Literatur:

- | | |
|---|--|
| - Mikrocomputer /
Mikrocomputer 2 | Zusammenfassung von Aufsätzen über Mikrocomputer aus der Fachzeitschrift "Elektroniker"
Fachschriftenverlag Aargauer Tagblatt,
Aarau |
| - Mikroelektronik -
Möglichkeiten, Gefahren
und Grenzen | Wirtschaftsbulletin 30
Zürcher Kantonalbank, Zürich
Prof. Dr. H.J. Mey |
| - Brandmeldeanlagen
Teil A: Grundsätze | Wegleitung für Feuerpolizeivorschriften
der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen, Bern |



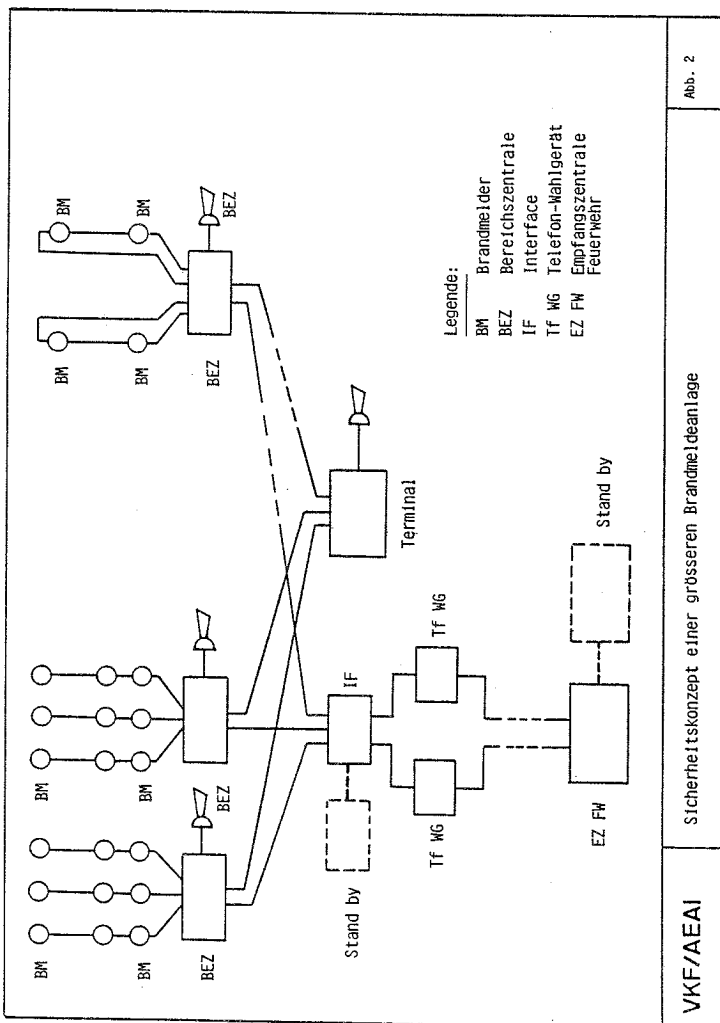
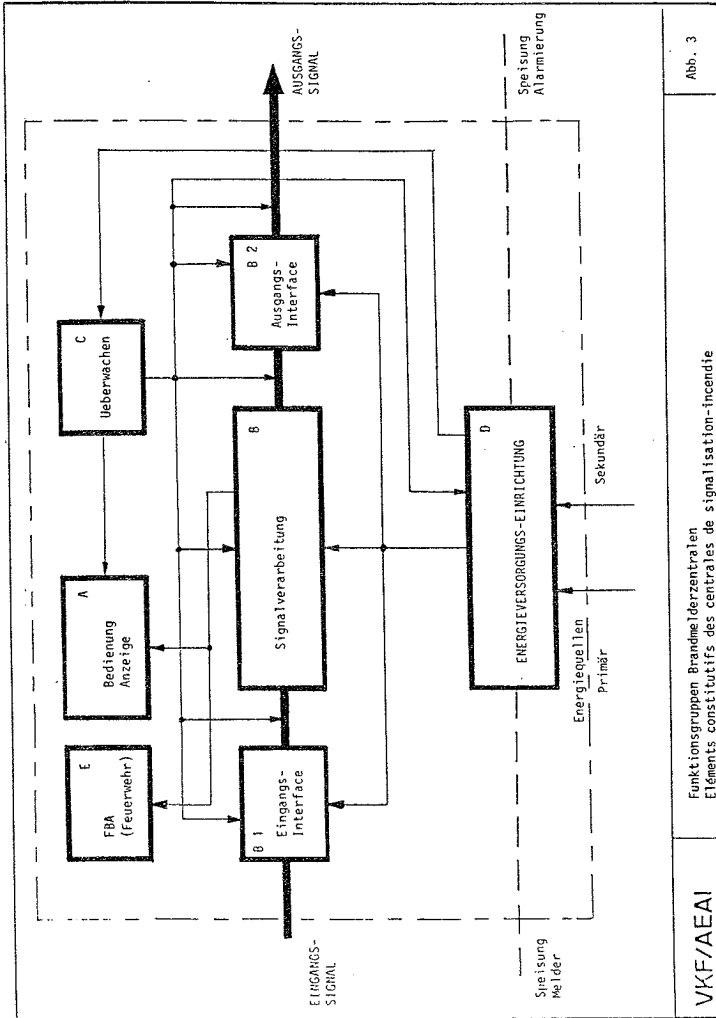


Abb. 2

Sicherheitskonzept einer grösseren Brandmeldeanlage

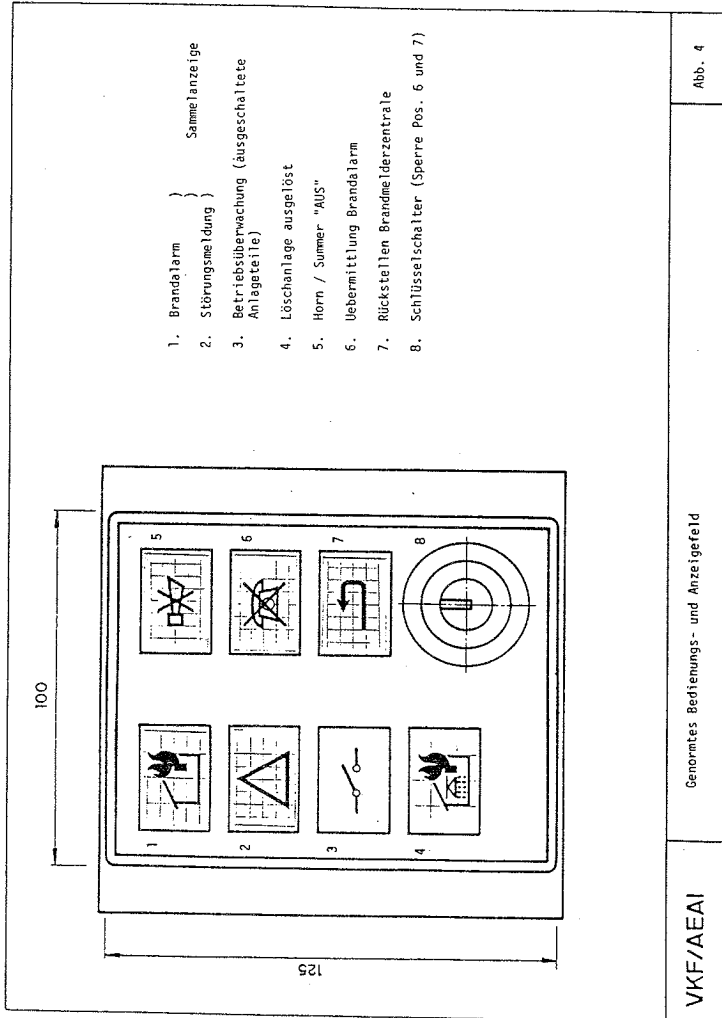
VKF/AEI



VKF/AEI

Funktionsgruppen Brandmeldezentralen
Éléments constitutifs des centrales de signalisation-incendie

Abb. 3



Genormtes Bedienungs- und Anzeigefeld

VKF/AEAI

Abb. 4

Prof. Dr.-Ing. H. Luck
Dipl.-Ing. B. Siemund
Universität - GH - Duisburg, Deutschland

Grundlegende Prinzipien zur Prüfung von Brandmelderzentralen

1. Einführung

Automatische Brandmeldeanlagen sind technische Sicherheitseinrichtungen, die den Zweck haben, die Gefährdung von Menschen und Sachgütern im Fall eines ausbrechenden Schadensfeuers zu vermeiden.

Daraus erklärt sich, daß Anlagenteile und Geräte schon immer und in zunehmendem Maße technischen Normen und Prüfvorschriften unterworfen waren. Dabei ist zu beachten, daß diese Sicherheitsvorschriften in erster Linie auf die sichere und zuverlässige Funktion gerichtet waren und nicht, wie bei den meisten technischen Erzeugnissen anderer Art, auf die Vermeidung von Gefahren auf die Umgebung (Mensch und Umwelt), die vom Gebrauch oder Betrieb des technischen Erzeugnisses ausgeht [1]. Der Normalfall einer technischen Norm oder Vorschrift trägt also dem Gefährdungspotential einer technischen Einrichtung Rechnung. Vorschriften dieser Art gestatten und/oder verbieten die Verwendung technischer Erzeugnisse, wenn geklärt ist, ob die von ihnen ausgehende Gefährdung unbedenklich ist und ob sie auch von technischen Laien beherrscht werden können oder nicht. Der dabei angewendete Maßstab läßt sich durch drei Begriffe beschreiben. Es müssen dabei beachtet werden:

- die allgemein anerkannten Regeln der Technik (Maschinenschutzgesetz) oder
- der Stand der Technik (Bundes-Immissionsschutz-Gesetz) oder
- der Stand von Wissenschaft und Technik (Atomgesetz) (siehe [1] S. 383 ff.).

In diesem Beitrag sollen Brandmeldeanlagen, also Sicherheitsanlagen behandelt werden, bei denen die wichtigen Vorschriften grundsätzlich andere Ziele verfolgen. Es ist sicherzustellen, daß Anlagen dieser Art

- (1.) ein Mindestmaß an Wirksamkeit aufweisen
und
- (2.) mit einer hohen Funktionssicherheit ausgestattet sind.

Eine Brandmeldeanlage muß z.B. bei geringer Fehlalarmrate eine sehr gute Entdeckungssicherheit für Brandsignale aufweisen (Forderung (1.)). Außerdem muß sie diese Eigenschaft für die gesamte Betriebsdauer in gleicher Weise beibehalten (Forderung (2.)). Dabei ist einzukalkulieren, daß der Zustand "Feueralarm" für die einzelne Anlage ein sehr seltenes Ereignis ist, so daß sehr lange Zeiten im sog. Bereitschaftsbetrieb (stand by) zu überbrücken sind. Zweifellos werden Forderungen der Art (1.) und (2.) auch an andere technische Einrichtungen gestellt (z.B. an Küchengeräte, Hochöfen oder Automobile), sie sind aber in der Regel nicht in Normen und Vorschriften niedergelegt, die über den Bereich des Herstellers hinaus öffentlich sind und Bedeutung haben.

Bei Sicherheitsanlagen und speziell bei automatischen Brandschutzanlagen erklärt sich das Interesse an Normen und Vorschriften der zuletzt skizzierten Art aus der Interessenlage der beteiligten Gruppen:

- Der Anwender verlangt vom Einbau einer Brandschutzanlage den wirklichen Schutz vor einer meistens unbekanntem Gefahr. Ausprobieren läßt sich der Ernstfall nicht, jedenfalls nicht in der Form, in der er wahrscheinlich eintritt. Da dieser Ernstfall sehr selten ist und der Einbau einer Anlage auf den ersten Blick nichts als Kosten verursacht (jedenfalls trägt die Anlage in keiner Form zu irgendeinem Produktionsergebnis bei), ist für den Anwender die Ermittlung eines Preis-Leistungsverhältnisses schwierig. Sehr oft spielen Auflagen von Behörden oder Versicherungen eine dominierende Rolle.
- Die Hersteller von Geräten und Anlagen sehen sich einem Markt gegenüber, der vielfach auf Aufлагengeschäfte beschränkt ist. Darüberhinaus läßt sich die Wirksamkeit des Produktes nur zufällig und relativ selten am Ernstfall demonstrieren. Leistungsfähige und seriöse Hersteller müssen ein Interesse daran haben, daß der technische Standard aller eingebauten Anlagen hoch ist, damit nicht durch das zufällige Versagen einzelner die gesamte Brandmeldetechnik in Verruf gerät.
- Die Versicherungswirtschaft hat ein grundsätzliches Interesse, die auftretende Schadenshöhe in bestimmten kalkulierbaren Grenzen zu halten. Neben anderen Gesichtspunkten ist die Gewährung von Prämienrabatten ein indirektes Mittel dazu. Das erfordert aber

- ein vernünftiges Maß an Sicherheit und Kontrolle darüber, daß die begünstigten Anlagen auch wirksam und funktionstüchtig sind.
- Die Behörden, vor allem Feuerwehren und Baubehörden, vertreten das öffentliche Interesse am Schutz von Menschenleben und Sachgütern. Sie wirken durch Auflagen und Genehmigungen bzw. Verweigerungen auf die Anwender ein. Daraus erwächst die Notwendigkeit einer hinreichend sicheren Beurteilung.

Die Interessen der zitierten Gruppen sind in Einzelfragen bei der Formulierung von Normen und Vorschriften keineswegs immer deckungsgleich. Das grundsätzliche Interesse kann aber vorausgesetzt werden. Da der Markt für solche technischen Sicherheitsanlagen nur international (d.h. weltweit) groß genug ist, um auf Dauer auch wirtschaftlich interessant zu sein, überlagern sich die einzelnen nationalen Interessen bei der Formulierung von Vorschriften und Prüfmethode ebenfalls. Alle erwähnten Aspekte zusammen haben in den letzten beiden Jahrzehnten dazu geführt, daß sich folgende nationale und internationale Gremien mit unterschiedlichem Tempo und Erfolg um Vorschriften und Prüfmethode für Brandmeldegeräte und Anlagen bemüht haben:

- Verschiedene nationale Gremien wie z.B.
British Standards Inst. in Großbritannien
AFNOR in Frankreich
Underwriter's Lab. und National Bureau of Standards in den USA
Fachnormenausschuß Feuerwehrewesen (DIN) und der VDE in der Bundesrepublik Deutschland
und viele andere mehr. Es würde den Rahmen dieses Beitrags sprengen, wenn alle aufgezählt werden.
- Comité Européen de Normalisation CEN mit der CEN-Arbeitsgruppe 72
- Comité Européen des Assurances (CEA) mit dem CEA-CTP-N° 14 P
- International Standards Organisation (ISO) mit dem Techn. Committee TC 21/Subcommittee SC 3 "Fire Detection and Alarm Systems"
- Europäische Herstellervereinigung EURALARM

Während in der Vergangenheit die Arbeit an Vorschriften und Prüfmethode für die einzelnen Brandmeldertypen im Vordergrund stand, hat in letzter Zeit die Technik der Brandmelderzentralen überwiegende Bedeutung erlangt. Das ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, daß die moderne Entwicklung der Mikroelektronik neue Lösungsmöglichkeiten

ten in einer noch nie dagewesenen Vielfalt anbietet. Alle zuvor aufgezählten Gremien arbeiten z.Zt. an neuen Vorschriften und Prüfmethoden für Brandmelderzentralen. Das gibt die Gelegenheit, über die Grundsätze für solche Vorschriften und die daraus resultierenden Prüfmethoden mit dem Ziel nachzudenken, die Grundsätze so zu gestalten, daß

- die Brandmelderzentralen ein bestimmtes Mindestmaß an Wirksamkeit garantieren,
- die Brandmelderzentralen eine hohe Funktionssicherheit aufweisen,
- der wissenschaftliche Fortschritt und die technische Entwicklung nicht behindert wird,
- die Vorschriften und Prüfmethoden eine aufeinander bezogene, logische Struktur erhalten. D.h. es ist sorgfältig zu überlegen, welche Anforderungen an Anlagenteile und Geräte zu stellen sind und wie sie überprüft werden sollen.

2. Zusammenhang zwischen Aufgabenstellung, Funktionen, technischen Anforderungen und Prüfmethoden für Brandmelderzentralen

Im folgenden wird der Versuch dargelegt, ohne Rücksicht auf bestehende nationale oder internationale Vorschriften, Grundsätze für den Aufbau von Vorschriften für Brandmelderzentralen zu formulieren und daraus technische Anforderungen sowie Prüfmethoden abzuleiten. Die Brauchbarkeit von Prüfmethoden ist dann daran zu messen, wie ausreichend sie Informationen über die Erfüllung der technischen Anforderungen liefern.

Unter Brandmelderzentrale werden alle Teile einer Brandmeldeanlage verstanden, die nicht als Brandmelder oder reiner Signal- und/oder Energieübertragungsweg verstanden werden. Außerdem werden außengelegene zusätzliche Alarmmittel nicht zur Brandmelderzentrale gezählt. Es kommt nicht darauf an, daß alle Teile der Brandmelderzentrale an einem Ort konzentriert sind.

Ausgegangen wird von den Aufgabenstellungen für die Brandmelderzentrale. Daraus werden Funktionen einer Brandmelderzentrale abgeleitet. Diese Funktionen können Funktionseinheiten (Funktionsteilen)

zugeordnet werden, die in der Brandmelderzentrale vorhanden sind oder sein können. Für jede der Funktionseinheiten sind technische Forderungen formulierbar, die die Erfüllung der gegebenen Aufgabenstellung unter vernünftigen Bedingungen sicherstellen.

Diese Überlegung führt auf das Postulat der Überprüfbarkeit:

Die Erfüllung jeder technischen Anforderung muß eindeutig und nachvollziehbar überprüft werden können. Forderungen, die das nicht zulassen, sind unwirksam.

So ist z.B. die Forderung: "Eine Brandmelderzentrale muß sicher funktionieren" nicht nachprüfbar und daher keine sinnvolle technische Anforderung im oben genannten Sinn.

Technische Anforderungen müssen stets in eine Prüfmethode umsetzbar sein, die als Ergebnis die Information liefert, inwieweit die Anforderung erfüllt wird. In Ausnahmefällen wird die Anforderung durch die zugeordnete Prüfmethode definiert.

Die Mißachtung des Zusammenhangs zwischen Aufgabenstellung, technischer Anforderung und Prüfmethode führt in manchen Fällen zu der Praxis, daß Dinge geprüft werden, die leicht zu prüfen sind, ohne daß klar ist, welche konkrete Anforderung nachgewiesen werden soll und welcher Zusammenhang mit der Aufgabenstellung besteht. Andererseits werden manchmal Forderungen formuliert, ohne über ihre Nachprüfbarkeit nachzudenken.

Im folgenden werden nun die Aufgaben einer Brandmelderzentrale und eine der möglichen sich daraus ergebenden Einteilungen in Funktionen und Funktionseinheiten beschrieben.

Aufgabenstellungen an eine Brandmelderzentrale

Allgemeine Aufgabenstellungen

1. Aufnahme und Auswertung der Meldung der angeschlossenen Melder bzw. der Signale der angeschlossenen Sensoren.
Optische und akustische Anzeige der Meldung sowie des Ortes der Gefahr.

2. Überwachung der Übertragungswege zu Meldern bzw. Sensoren, externen Geräten, Alarmierungseinrichtungen und Übertragungseinrichtungen für Meldungen.
Optische und akustische Störungsanzeige
3. Unterstützung von Revisions- und Wartungsarbeiten an Anlageteilen außerhalb der Brandmelderzentrale

Mögliche zusätzliche Aufgabenstellungen, die in speziellen Anwendungsfällen gegeben sein können

4. Weiterleitung der Brandmeldung an externe Alarmierungseinrichtungen
5. Registrierung von Meldungen und ggf. von Störungen
6. Weiterleitung der Brandmeldung an Übertragungseinrichtungen für diese Meldung
7. Weiterleitung der Störungsmeldung an Übertragungseinrichtungen für diese Meldung
8. Weiterleitung der Brandmeldung an Steuereinrichtungen für automatische Brandschutzeinrichtungen
9. Versorgung der Melder bzw. Sensoren mit Energie
10. Weiterleitung von Meldungen an Parallelanzeigen
11. Austausch von Meldungen mit anderen Fernmeldeanlagen einschließlich informationsverarbeitender Anlagen
12. Aufnahme von Meldungen aus anderen Brandschutzeinrichtungen

Funktionen einer Brandmelderzentrale

In einer Brandmelderzentrale lassen sich die im Bild 1 angegebenen Funktionen B1 bis B6 unterscheiden. Darüberhinaus sind in diesem Bild diejenigen Teile einer Brandmeldeanlage angedeutet, mit der die Brandmelderzentrale in Verbindung steht, falls die entsprechenden Anlagenteile in einer speziellen Brandmeldeanlage vorhanden sind.

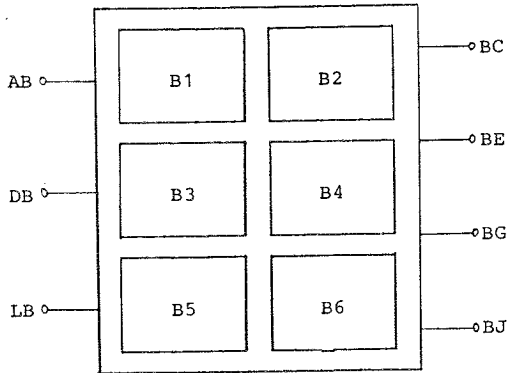


Bild 1: Prinzipieller Funktions-Aufbau einer Brandmelderzentrale

Funktionen: B1 Überwachung
B2 Signalverarbeitung
B3 Prüfung
B4 Energieversorgung
B5 Anzeige, Registrierung
B6 Bedienung

externe Verbindungswege:

AB zu: Meldelinien für automat. Brandmelder
DB zu: Meldelinien für nichtautomat. Brandmelder
LB zu: Elektr. Netz oder zusätzlicher Energieversorgung
BC zu: externer Alarmierungseinrichtung
BE zu: Übertragungseinrichtung für Brandmeldungen
BG zu: Übertragungseinrichtung für Störungsmeldungen
BJ zu: Steuereinrichtungen für Brandschutzeinrichtungen

Beschreibung der Funktionen und Funktionseinheiten (Funktionsteile) und der Anforderungen an diese Funktionsteile

Aus Gründen der Übersichtlichkeit der Beschreibungen und Festlegungen wird die folgende Abkürzung verwendet:

Bxy: Bezeichnung für eine Funktionseinheit y innerhalb der Funktion Bx

Die im folgenden zur Beschreibung der Funktionseinheiten verwendeten Tabellen kennzeichnen in der 2. Spalte mit einer Ziffer die zugehörigen Aufgabenstellungen. Stehen die Symbole in der 2. Spalte in Klammern, so gelten die damit verbundenen Aussagen nur, wenn auch in dem speziellen Fall die entsprechenden Anlagenteile vorhanden sind.

Im Anschluß an die Beschreibungen werden die Festlegungen der Anforderungen an die Funktionsteile angegeben und in Klammern vermerkt, für welche Funktionseinheiten die betrachtete Anforderung gelten soll.

Funktion B1: Überwachung

Funktionsbeschreibung:

Ständiger oder in hinreichend kurzen Zeitabständen erfolgender Vergleich der Zustände mit vorgegebenen Sollwerten.

Funktionseinheiten:

Bezeichnung	Bezug zur Aufgabenstellung	Beschreibung
B11	9	Überwachung der Stromversorgung
B12	1, 2	Überwachung aller angeschalteten Meldeleitungen auf Störungen und Meldungen
B13	(2)	Überwachung der Übertragungswege zu externen Alarmierungseinrichtungen
B14	(2)	Überwachung der Übertragungswege zu Übertragungseinrichtungen für Brandmeldungen
B15	(2)	Überwachung der Übertragungswege zu Übertragungseinrichtungen für Störungsmeldungen
B16	(2)	Überwachung der Übertragungswege zu Steuereinrichtungen für Brandschutzeinrichtungen

Anforderungen an Funktionseinheiten:

- Es müssen Unterbrechungen, Kurzschlüsse und bei möglicher Beeinflussung der Anlage durch Erdschlüsse auch diese erkannt werden können (betr. B11 bis B16).

- Es müssen die Zustände aller nicht abgeschalteten Übertragungswege geprüft werden. Die Prüfung muß, bezogen auf einen Übertragungsweg, in so kurzen Zeitabständen erfolgen, daß alle Meldungen bzw. alle länger als eine vorgegebene Zeitspanne andauernden Störungen erkannt werden können (betr. B12 bis B16).
- Es muß die Herausnahme von Brandmeldern und Sensoren erkannt werden können (betr. B12).
- Es muß der Ausfall einer Energieversorgung erkannt werden können (betr. B11).
- Gleichzeitiges Eintreffen von mehreren Meldungen innerhalb einer Linie soll in gleicher Weise wie das Eintreffen einer Meldung gewertet werden (betr. B12).

Funktion B2: Signalverarbeitung

Funktionsbeschreibung:

Auswertung der durch Überwachung festgestellten Zustände aller Übertragungswege unter Berücksichtigung abgeschalteter Linien und Geräte sowie wie Weitergabe der Zustandsmeldungen.

Funktionseinheiten:

Bezeichnung	Bezug zur Aufgabenstellung	Beschreibung
B21	1	Auswertung der Zustände der Übertragungswege
B22	3	Sperrern der Verarbeitung von Meldungen bei abgeschalteten Übertragungswegen
B23	3	Sperrern der Alarmweitergabe im Prüfbetrieb
B24	1	Ausgabe von Meldungen an die Anzeige
B25	(4)	Ausgabe von Brandmeldungen an ext. Alarmierungseinrichtungen
B26	(6, 7)	Ausgabe von Meldungen an Übertragungseinrichtungen
B27	(8)	Ausgabe von Brandmeldungen an Steuerungseinrichtungen für automat. Brandschutzeinrichtungen
B28	4, 6, 7, 8	Auswertung von Quittungssignalen bei der Weiterleitung von Meldungen

Anforderungen an Funktionseinheiten:

- Ein praktisch gleichzeitiger Wechsel von Zuständen auf Übertragungswegen darf zu keiner Verfälschung des Auswertergebnisses führen (betr. B21).
- Entscheidung auf Brandfall oder nicht muß nach einem beliebigen Zustandswechsel innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne getroffen werden (betr. B21).
- Entscheidung auf Störfall oder nicht muß nach einem beliebigen Zustandswechsel innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne getroffen werden (betr. B21).
- Bei Bedienvorgängen (geöffnete Frontabdeckung) dürfen Brandmeldungen nicht an Übertragungseinrichtungen und Steuereinrichtungen für Brandschutzeinrichtungen weitergeleitet werden (betr. B26, B27).

Funktion B3: Prüfung

Funktionsbeschreibung:

Automatischer oder nichtautomatischer Test der notwendigen Funktionen der Brandmelderzentrale.

Funktionseinheiten:

Bezeichnung	Bezug zur Aufgabenstellung	Beschreibung
B31	-	Simulation von Meldungen der einzelnen Linien
B32	-	Simulation von Störungen auf den Übertragungswegen
B33	-	ggf. automatische Überprüfung der ordnungsgemäßen Funktion der Brandmelderzentrale während einer Simulation

Anforderungen an Funktionseinheiten:

- Es müssen Unterbrechung, Kurzschluß, ggf. Erdschluß und die Entnahme von Brandmeldern simuliert werden können (betr. B31 bis B33).

- Bei ggf. automatischer Simulation darf diese den Normalbetrieb der Brandmelderzentrale nur für eine hinreichend kurze Zeitspanne unterbrechen (betr. B31 bis B33).

Funktion B4: Energieversorgung

Funktionsbeschreibung:

Versorgung aller Baugruppen der Brandmelderzentrale sowie ggf. aller angeschlossenen Melder mit elektrischer Energie.

Funktionseinheiten:

Bezeichnung	Bezug zur Aufgabenstellung	Beschreibung
B41	1 bis 12	Bereitstellung einer unterbrechungsfreien Energieversorgung für alle in der Brandmelderzentrale vorhandenen Baugruppen
B42	9	Bereitstellung einer unterbrechungsfreien Energieversorgung für alle angeschlossenen Melder
B43	9	Bereitstellung einer zusätzlichen unabhängigen 2. Energieversorgung

Anforderungen an Funktionsteile:

- Die 1. Stromversorgung muß aus einem im Normalfall ununterbrochen betriebenen Netz gespeist werden (betr. B41, B42).
- Die 2. Stromversorgung muß aus einem Akku gespeist sein, der den uneingeschränkten Betrieb der Brandmelderzentrale gewährleistet (betr. B43).
- Die Aufladung des Akku muß im Normalbetrieb der Anlage innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne möglich sein (betr. B43).

Funktion B5: Anzeige, Registrierung

Funktionsbeschreibung:

Anzeige von durch die Signalverarbeitung erkannten Meldungen, von Störungen sowie der entsprechenden Ursprungsorte; ggf. Registrierung dieser Ereignisse.

Funktionseinheiten:

Bezeichnung	Bezug zur Aufgabenstellung	Beschreibung
B51	1	Optische und akustische Anzeige für Brandmeldungen
B52	1, 2	Optische und akustische Anzeige für Störungen
B53	1	Anzeige des Ursprungsortes der Meldung
B54	(4)	Anzeige weitergeleiteter Meldungen
B55	3	Anzeige von abgeschalteten Übertragungswegen
B56	2	ggf. Anzeige für Fehlfunktionen der Brandmelderzentralen
B57	(5)	ggf. Registrierung von Meldungen und Störfällen
B58	2	Netzanzeige
B59	2	Betriebsanzeige ext. Geräte und Einrichtungen

Anforderung an Funktionseinheiten:

- Störungs- und Brandmeldungen müssen sich unterscheiden (betr. B51, B52).

Funktion B6: Bedienung

Funktionsbeschreibung:

Manuelle Eingriffsmöglichkeit zur Prüfung und für An- und Abschaltvorgänge.

Funktionseinheiten:

Bezeichnung	Bezug zur Aufgabenstellung	Beschreibung
B61	3	Auslösung von An- und Abschaltvorgängen von Anlagenteilen außerhalb der Brandmeldeanlage
B62	-	Auslösung von nichtautomatischem Test von Funktionseinheiten der Brandmelderzentrale

Anforderungen an Funktionseinheiten:

- keine besonderen Anforderungen

Alle bisher formulierten Anforderungen sind direkt und eindeutig nachprüfbar. Außerdem stehen sie bis auf wenige Ausnahmefälle in direkter Beziehung zu den formulierten Aufgabenstellungen. Es wird sich bei näherer Betrachtung im nächsten Kapitel zeigen, daß sie im einzelnen noch weiter präzisiert werden müssen, wenn sie auf bestehende Brandmelderzentralen angewendet werden sollen.

3. Vergleich von vorhandenen Funktionseinheiten und entsprechenden Anforderungen anhand ausgewählter Brandmelderzentralen

Zur praktischen Erprobung der betrachteten Definitionen von Funktionseinheiten und den entsprechenden Anforderungen wurden vergleichende Untersuchungen an 5 ausgewählten Brandmelderzentralen durchgeführt.

Diese Brandmelderzentralen wurden so ausgewählt, daß ein möglichst breites Typenspektrum abgedeckt werden konnte. Sie sind nach unterschiedlichen schaltungstechnischen Konstruktionsprinzipien aufgebaut und weisen teilweise neuartige Prinzipien bei der Überwachung (Zeitmultiplexprinzip) auf.

Der Vergleich der in den Brandmelderzentralen vorhandenen Funktionseinheiten und der von diesen erfüllten Anforderungen wird im Anhang in Form einer Matrix-Darstellung wiedergegeben. Dabei wurden die Funktionseinheiten weiter aufgeschlüsselt.

Die untersuchten Brandmelderzentralen wurden dabei in die Matrixspalten eingeordnet und mit den Symbolen "BMZ Nr. 1" bis "BMZ Nr. 5" versehen. In einigen Fällen war es notwendig, erklärende Kommentare der Matrixdarstellung hinzuzufügen. Sie sind durch kleine Buchstaben gekennzeichnet.

Außerdem wurden die z.Zt. beim CEA und beim CEN in Arbeit befindlichen Vorschriften- bzw. Normenentwürfe in die Betrachtung mit einbezogen und sind in die Darstellung mit einbezogen. Daraus wird ersichtlich, welche der Anforderungen in diesen Entwürfen z.Zt. enthalten sind. Als Ergebnis kann festgehalten werden, daß die aufgestellten Anforderungen von den untersuchten Brandmelderzentralen im wesentlichen erfüllt werden. Die angestellten Überlegungen gehen also an der bisher üblichen Praxis nicht vorbei.

4. Anforderungen an Funktionseinheiten unter verschiedenen Umgebungseinflüssen

Die bisherige Betrachtung bezog sich auf die Funktionsweise einer Brandmelderzentrale ohne Rücksicht darauf zu nehmen, welchen Umgebungseinflüssen die Brandmelderzentrale während des Betriebs ausgesetzt ist. Grundsätzlich wäre es möglich, für jede Funktionseinheit diejenigen Umgebungsbedingungen festzulegen, unter denen sie ordnungsgemäß arbeiten muß. So sinnvoll ein solches Vorgehen im Einzelfall wäre, es würde den Prüfaufwand ins Unerträgliche steigern. Deshalb werden die Umweltbedingungen so festgelegt, daß sie sich nicht auf einzelne Funktionseinheiten verschieden, sondern auf die gesamte Brandmelderzentrale einheitlich beziehen.

Vorgesehen werden Anforderung unter:

Temperatureinflüsse:	Wärmeprüfung
	Kälteprüfung
Feuchtebeanspruchung:	Feuchte Wärme
Erschütterung:	Vibrationsprüfung
Elektromagnetische Verträglichkeit:	Elektromagnetische Interferenzprüfung

Für alle diese Umgebungsbeanspruchungen ist dann eine generelle Funktionsprüfung festzulegen, die die wichtigsten Funktionen der Brandmelderzentrale erfaßt und die stets vor und nach bzw. während der Umgebungsprüfung durchgeführt wird. Im Rahmen dieses Aufsatzes kann nicht näher auf die Einzelheiten einer solchen Funktionsprüfung eingegangen werden. Im Anhang 2 ist ein Beispiel dargestellt. Die Prüfung der Umgebungsbeanspruchungen selbst wirft erhebliche Probleme auf. Es ist üblich, sich hier an bestehende Testverfahren anzuschließen (z.B. IEC 68). Dabei ist es nicht einfach möglich, festzustellen, ob die damit aufgebrachte Beanspruchung derjenigen entspricht, die für Brandmelderzentralen in der Praxis wesentlich ist. Ein auf die Klärung dieser Frage zielendes Untersuchungsprogramm ist sehr aufwendig.

5. Zusammenfassung

Ausgehend von der Aufgabenstellung für Brandmelderzentralen wurde versucht, Funktionen und Funktionseinheiten für Brandmelderzentralen so zu definieren, daß daraus technische Anforderungen abgeleitet werden können. Diese Anforderungen müssen nachprüfbar sein, so daß sich damit bestimmte Prüfmethoden ergeben. Es konnte gezeigt werden, daß bestehende Brandmelderzentralen und die im europäischen Bereich in der Beratung befindlichen Vorschriften und Prüfmethoden nach den dargelegten Prinzipien betrachtet werden können. Es ergibt sich damit eine Orientierungshilfe.

|1| Kuhlmann, A.

Einführung in die Sicherheitswissenschaft
Friedr. Vieweg & Sohn Verlag
TÜV Rheinland, Köln 1981

Anhang 1

Ergebnis des Vergleichs verschiedener Brandmelderzentralen und
Vorschriftenentwürfe in bezug auf technische Anforderungen an
Funktionseinheiten

Den untersuchten Brandmelderzentralen wurden die Spalten der folgenden Matrixdarstellung zugeordnet und diese mit den Symbolen "BMZ Nr. 1" bis "BMZ Nr. 5" bezeichnet.

Der Zusammenhang zwischen den in den Zeilenfeldern kurz umschriebenen Anforderungen und der Erfüllung dieser Anforderungen wurde in den Feldern der Matrix durch die im folgenden beschriebenen Symbole kenntlich gemacht.

- "*" steht für Übereinstimmung
- " " steht für Nicht-Übereinstimmung
- "/" bedeutet, daß die Anwendung der Anforderung aufgrund nicht vorgesehener Anschlußmöglichkeiten nicht möglich ist.
- "0" bedeutet, daß die entsprechende Anforderung angewendet werden kann.

In einigen Fällen wurde diese Symbolik noch durch zusätzliche Kommentare ergänzt. Die entsprechenden Fußnoten sind mit Buchstaben gekennzeichnet.

Sind die entsprechenden Anforderungen auch in einer der angegebenen Richtlinien/Normvorschläge enthalten, ist dies durch das Sternchen-Symbol * gekennzeichnet.

Die hierbei mitunter erforderlichen ergänzenden Hinweise sind ebenfalls durch mit Ziffern bezeichneten Fußnoten aufgelistet.

Fußnoten zu Brandmelderzentralen

- a) Außer bei Erdschluß werden Störungsfälle nicht verarbeitet und angezeigt.
- b) Störungen bei Übertragungswegen zu abgeschalteten Ansteuer-
einrichtungen werden verarbeitet und angezeigt.
- c) Nur nach Einstecken der Revisionseinrichtung werden Brandalar-
me nicht weitergegeben.
- d) Die Störungsmeldung wird dabei nicht angezeigt.
- e) Es können maximal 4 Brandmeldungen gleichzeitig ausgewertet
werden.
- f) Es ist eine Kartenstörungsanzeige vorhanden.
- g) Es ist eine Zähleinrichtung für Brandalarme, Auslösen der Über-
tragungseinrichtung für Brandmeldungen und Brandalarme im Prüf-
betrieb eingebaut.
- h) Registrierung erfolgt durch einen Zähler für Brandalarme im
Prüfbetrieb.
- i) Betriebsanzeige besteht aus einer getrennten Netz- und Akkumu-
lator-Anzeige.
- j) Die externe Alarmierungseinrichtung ist nicht abschaltbar.
- k) Eine Wiedereinschaltmöglichkeit besteht nur dann, wenn nicht
vorher die interne akustische Anzeige zurückgesetzt wurde.
- l) Diese Anschlußmöglichkeit besteht nur mittels eines nicht über-
wachten Relaisatzes.
- m) Diese Anschlußmöglichkeit besteht nur mittels einer gesonderten
Tableauansteuereinrichtung.
- n) Diese Anschlußmöglichkeit besteht nur mittels eines separaten
Ausganges für Störungsalarme.

Fußnoten zu Richtlinien / Normentwürfe

- 1) Nur bei möglicher Beeinflussung des bestimmungsgemäßen Betriebs der Anlage.
- 2) Nur, wenn diese Überwachung nicht durch andere Einrichtungen in gleichwertiger Weise erfolgt.
- 3) Nur, wenn diese Störungen nicht anderweitig erkennbar sind.
- 4) Gilt nur für Übertragungseinrichtungen öffentlicher Einsatzzentralen.
- 5) Maximale zulässige Anzahl der Meldungen pro Gruppe muß der Hersteller angeben.
- 6) Sind die Übertragungswege gestört, ist dies innerhalb 100 s anzuzeigen.
- 7) Die Zeit von der Entscheidung auf Brand bis zur Anzeige und Weiterleitung darf maximal 10 s betragen.
- 8) CEA-Richtlinien für automatische Brandmeldeanlagen.
Die 1. Energieversorgung muß so bemessen sein, daß die Meldeanlage und die Alarmeinrichtungen betrieben und gleichzeitig der Akku aufgeladen werden kann.
- 9) CEA-Richtlinien für automatische Brandmelderanlagen:
Der Akku muß so bemessen sein, daß die Meldeanlage 72 Stunden und die Alarmeinrichtungen 0,5 Stunden betrieben werden können.
- 10) CEA-Richtlinien für automatische Brandmelderanlagen:
Ein entladener Akku muß innerhalb 24 Stunden so aufgeladen sein, daß die Alarmeinrichtungen durch den Akku 0,5 Stunden lang betrieben werden können.

Funktion: <u>Überwachung</u>	BMZ Nr. 1	BMZ Nr. 2	BMZ Nr. 3	BMZ Nr. 4	BMZ Nr. 5	CEA Jan 81	CEN Jan 81
Überwachung der Energieversorgung	*	*	*	*	*	*	*
Überwachung aller angeschalteten Meldergruppen auf	*	*	*	*	*	*	*
Meldungen							
Unterbruch							*
Kurzschluß							*
Erdschluß						1)	*
Überwachung der Übertragungswege zu externen Alarmierungseinrichtungen auf							*
Unterbruch						2)	*
Kurzschluß						2)	*
Erdschluß						1) 2)	*
Überwachung der Übertragungswege zu Übertragungseinrichtungen für Brandmeldungen auf	*	*	*	*	*	2)	*
Unterbruch						2)	*
Kurzschluß						2)	*
Erdschluß						1) 2)	*
Überwachung der Übertragungswege zu Übertragungseinrichtungen für Störungsmeldungen auf							*
Unterbruch						2)	*
Kurzschluß						2)	*
Erdschluß						1) 2)	*
Überwachung der Übertragungswege zu Steuereinrichtungen für Brandschutzeinrichtungen auf							*
Meldungen							*
Unterbruch						2)	*
Kurzschluß						2)	*
Erdschluß						1) 2)	*
Erkennung der Herausnahme eines automatischen Brandmelders aus dem Sockel	*	*	*	*	*	*	*
Die Überwachung muß in ausreichend kurzen Zeitabständen erfolgen	*	*	*	*	*	*	*
Die Übertragungswege müssen ständig selbsttätig überwacht werden	*	*	<1S	*	*	*	*

Funktion: <u>Signalverarbeitung</u> (Fortsetzung)	BMZ Nr. 1	BMZ Nr. 2	BMZ Nr. 3	BMZ Nr. 4	BMZ Nr. 5	CEA Jan 81	CEN Jan 81
Bei gleichzeitigem Vorliegen eines Störung- und eines Brandfalles bei verschiedenen Meldergруппen hat die Brandmeldung bei der Anzeige und Weiterleitung der Meldung den Vorrang	*	*	* d)	*	*	*	*
Die Brandmeldung muß den Vorrang vor anderen Meldungen haben, wenn über einen Übertragungsweg unterschiedliche Meldungen gegeben werden können	/	/	/	/	/	/	*
Das gleichzeitige Vorliegen von 2 Brandfällen pro Meldergруппe darf nicht zu einer Störungsmeldung führen	*	*	*	*	*	*	* 5)
Der Eingang einer Brandmeldung aus einer weiteren Meldergруппe muß erneut zur akustischen Anzeige gebracht werden	*	*	*	*	*	*	*
Die Zeit vom Vorliegen eines Brand- oder Störungsfalles bis zur Anzeige und Weiterleitung der Meldung darf einen Grenzwert nicht überschreiten	* <1S * <1S	* <1S * <1S	* <1S * <1S	* 10S * bis 10 min	* 1S * 4S	* *	* 6) * 7)
Bei Zentralen mit weniger als 5 Meldergруппen müssen Meldungen aus allen Linien gleichzeitig empfangen und ausgewertet werden können	*	/	/	/	/	/	*
Bei Zentralen mit mehr als 4, jedoch weniger als 26 Meldergруппen müssen die ersten 5 Meldungen aus verschiedenen Linien gleichzeitig empfangen und ausgewertet werden können	/	*	e)	*	*	/	*
Bei Zentralen mit n Meldergруппen, $n > 25$, müssen die ersten \sqrt{n} Meldungen aus n verschiedenen Linien gleichzeitig empfangen und ausgewertet werden können. n ist die gesamte Anzahl der Meldergруппen, \sqrt{n} ist auf die nächste ganze Zahl aufzurunden	/	/	/	/	/	/	*

Funktion: <u>Prüfung</u>	BMZ Nr. 1	BMZ Nr. 2	BMZ Nr. 3	BMZ Nr. 4	BMZ Nr. 5	CEA Jan 81	CEN Jan 81
Simulation von Brandmeldungen der einzelnen Meldergruppen	*	*	*	*	*	*	*
Simulation auf den Übertragungswegen zu Meldergruppen von Kurzschluß Drahtbruch	*	*	*	*	*	**	**
Simulation auf den Übertragungswegen zu externen Alarmierungseinrichtungen von Kurzschluß Drahtbruch	/	/	/			**	**
Simulation auf den Übertragungswegen zu Übertragungseinrichtungen von Kurzschluß Drahtbruch		*		*		**	**
Simulation auf den Übertragungswegen zu Ansteuereinrichtungen von Kurzschluß Drahtbruch	/	/		*		**	o o
Die für die Prüfung notwendigen Baugruppen sind in der Brandmelderzentrale eingebaut	*	*	*	*	*	o	o
Automatische Überprüfung der ordnungsgemäßen Funktion der Brandmelderzentrale während einer Simulation von Meldungen und Störfällen	/	/	/	/	/	o	
Bei automatischer Simulation darf diese den Normalbetrieb nur für eine hinreichend kurze Zeit unterbrechen	/	/	/	/	/	*	

<p>Funktion: Energieversorgung</p>	<p>BMZ Nr. 1</p>	<p>BMZ Nr. 2</p>	<p>BMZ Nr. 3</p>	<p>BMZ Nr. 4</p>	<p>BMZ Nr. 5</p>	<p>CEA 81</p>	<p>CEN Jan 81</p>
<p>Die 1. Energieversorgung wird aus dem Netz gespeist</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>* 8)</p>	
<p>Die 2. unabhängige Energieversorgung wird aus einem Akku gespeist</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>* 9)</p>	
<p>Der Akku muß im Normalbetrieb innerhalb einer hinreichend kurzen Zeitspanne automatisch aufgeladen werden</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>* 10)</p>	
<p>Wenn externe Geräte mit Energie versorgt werden können, darf dadurch der leistungsmäßig uneingeschränkte Betrieb der Brandmelderzentrale nicht gestört werden</p>	<p>/</p>	<p>*</p>	<p>/</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	

Funktion: Anzeige, Registrierung	BMZ Nr. 1	BMZ Nr. 2	BMZ Nr. 3 Nr. 3	BMZ Nr. 4	BMZ Nr. 5	CEA Jan 81	CEN Jan 81
Anzeige für Brandmeldungen	* *	* *	* *	* *	* *	* *	* *
Anzeige für Störungen	* *	* *	* *	* *	* *	* *	* *
Anzeige des Ursprungs- ortes von Brandmeldungen Störungen	* *	* *	* *	* *	* *	* *	*
Die Brandmeldung ist in der BMZ durch ein optisches Signal pro Meldergruppe anzuzeigen	*	*	*	*	*		*
Sammelanzeige für Brandmeldungen als aktives optisches Signal bei Brandmelderzentralen mit mehr als einer Meldergruppe	*	*	*	*	*		*
Sammelanzeige für Störungen als aktives optisches Signal	*	*	*	*	*		*
Alle Abschaltzustände müssen einzeln optisch angezeigt werden	*	*	*	*	*	*	*
Anzeige für Fehlfunktionen der Brandmelder- zentrale	/	* f)	/	/	/	o	
Registrierung von Meldungen und Störfällen	/	* g)	* h)	/	/	o	

<p>Funktion: Anzeige, Registrierung (Fortsetzung)</p>	<p>BMZ Nr. 1</p>	<p>BMZ Nr. 2</p>	<p>BMZ Nr. 3</p>	<p>BMZ Nr. 4</p>	<p>BMZ Nr. 5</p>	<p>CEA Jan 81</p>	<p>CEN Jan 81</p>
<p>Anzeige von an Übertragungseinrichtungen weitergeleiteten Meldungen</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>o</p>
<p>Der interne akustische Signalgeber darf für Brand- und Störmeldungen gleich sein</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>
<p>Separate Betriebsanzeige für die Brandmelder- zentrale</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>i)</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>
<p>Anzeige des Ausfalls einer Energiequelle</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>
<p>Die optischen Anzeigen müssen für Brand und Störmeldungen eindeutig unterscheidbar sein</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>	<p>*</p>

Funktion: <u>Bedienung</u>	BMZ Nr. 1	BMZ Nr. 2	BMZ Nr. 3	BMZ Nr. 4	BMZ Nr. 5	CEA Jan 81	CEN Jan 81
Manuelle Abschaltmöglichkeit für die Meldergruppen	*	*	*	*	*	*	*
Manuelle Abschaltmöglichkeit für externe Alarmierungseinrichtungen	/	/	/	*	*	*	*
Manuelle Abschaltmöglichkeit für Ansteuer-einrichtungen	/	/	*	*	*	*	*
Manuelle Rücksetzmöglichkeit für die akustische Anzeige von Brandmeldungen und Störungen	*	*	*	*	*	*	*
Wenn keine Brandmeldung ansteht, darf die Be-tätigung des Rücksetzelementes für die akustische Anzeige die Brandmeldezentrale nicht beeinflussen	*	*	*	*	*	*	*
Die externe Alarmierungseinrichtung muß wieder einschaltbar sein, solange die Brandmeldung ansteht	j)	/	/	* k)	*	*	*
Die optischen Anzeigen für Brandmeldungen und Störungen dürfen nur rücksetzbar sein, wenn die Meldungen nicht mehr anstehen	*	*	*	*	*	*	*
Manuelle Abschaltmöglichkeit für Über-tragungseinrichtungen	*	*	*	*	*	*	*

CEN Jan 81		*
CEA Jan 81	o	
BMZ Nr. 5	*	*
BMZ Nr. 4	*	*
BMZ Nr. 3	*	*
BMZ Nr. 2	*	*
BMZ Nr. 1	*	*
<p>Funktion: Bedienung (Fortsetzung)</p> <p>Auslösung eines nichtautomatischen Tests von Funktionsteilen der Brandmeldezentrale</p> <p>Keine Abschaltmöglichkeit für eine der beiden Energiequellen</p>		

Anhang 2

Beispiel für eine Prüfmethode zur zusammengefaßten Funktionsprüfung

Die Brandmelderzentrale wird entsprechend den Herstellerangaben mit der maximal anschließbaren Melderanzahl und allen anschließbaren externen Einrichtungen betrieben. Melder, externe Einrichtungen und die Impedanz der Leitungen können durch Nachbildungen simuliert werden. Die Funktionsprüfung wird bei normalen Umgebungsbedingungen durchgeführt. Diese sind wie folgt definiert:

Temperatur:	15°C - 25°C
relative Luftfeuchtigkeit:	45% - 75%
Luftdruck:	860 mbar - 1060 mbar

Die mit den Anforderungen übereinstimmende Reaktion der Brandmelderzentrale wird überprüft bei den Betriebsfällen a) bis f):

- a) Beide Energiequellen sind an die Brandmelderzentrale angeschlossen. Die Batterie ist vollständig aufgeladen und das Netz auf Nennspannung eingestellt.
- b) Das Netz ist abgeschaltet. Die Batterie ist an die Brandmelderzentrale angeschlossen und vollständig aufgeladen.
- c) Die Batterie ist abgeschaltet. Die Brandmelderzentrale ist an das Netz angeschlossen. Das Netz wird auf die obere Grenze des vom Hersteller genannten zulässigen Betriebsspannungsbereiches eingestellt.
- d) Die Brandmelderzentrale wird wie im Betriebsfall c) betrieben. Das Netz wird abweichend zu c) auf die untere Grenze des zulässigen Betriebsspannungsbereiches eingestellt.
- e) Das Netz ist abgeschaltet. Die Batterie wird durch eine weitere Spannungsquelle simuliert, die auf die vom Hersteller angegebene Batterieschlußspannung eingestellt ist.
- f) Die Brandmelderzentrale wird wie im Fall e) betrieben. Im Gegensatz zu e) wird jedoch das Netz angeschlossen und auf die untere Grenze des zulässigen Betriebsspannungsbereiches eingestellt.

Für jeden Betriebsfall soll folgender Ablauf eingehalten werden:

1. Es wird aufeinanderfolgend für alle Meldergruppen je eine Brandmeldung pro Meldergruppe ausgelöst.
2. Es werden aufeinanderfolgend für alle Meldergruppen jeweils 2 Brandmeldungen pro Meldergruppe ausgelöst. Die Auslösung der Brandmeldungen sollte dabei praktisch gleichzeitig erfolgen.
3. Es werden \sqrt{n} beliebige Meldergruppen ausgewählt und praktisch gleichzeitig je eine Brandmeldung in jeder dieser Gruppen ausgelöst. Die Anzahl n ist hier die Anzahl der angeschlossenen Meldergruppen. Bei Brandmelderzentralen mit $n < 25$ wird in 5 Meldergruppen eine Brandmeldung ausgelöst. Bei Zentralen mit $n < 5$ wird eine Brandmeldung in allen anschließbaren Meldergruppen ausgelöst.
4. Es wird aufeinanderfolgend auf allen Übertragungswegen ein gemeinsamer Kurzschluß aller Leitungen dieses Übertragungsweges simuliert. Die Dauer jedes Kurzschlusses sollte minimal 100 s betragen.
5. Es wird aufeinanderfolgend bei den Leitungen eines Übertragungsweges eine Unterbrechung simuliert. Ist der Übertragungsweg mit m Leitungen ausgeführt, müssen m Simulationen von Leitungsunterbrechungen getrennt durchgeführt werden. Die Dauer jeder Leitungsunterbrechung sollte mindestens 100 s betragen.

Nach jeder Auslösung einer Brand- oder Störungsmeldung wird die Brandmelderzentrale in den Normalzustand gebracht. Sicherungen müssen im Bedarfsfall ausgewechselt werden.

Finn Dyhring, Electrical Engineer, B.Sc.,
Danish Association of non-life Underwriters,
Copenhagen, Denmark.

Organization of Danish Type Testing Procedure for Control and Indicating Equipment.

The organization of the Danish type testing procedure for control and indicating equipment is in my lecture discussed under the following headings:

1. Introduction.
2. Quality declaration.
3. Structure of rules.
4. Type testing.
5. Functional and safety specifications.
6. Research and development.
7. Conclusions.

System structures and terminology introduced by modern European standardization are presupposed well-known to the members of the audience. For that reason my lecture only will define nomenclature not covered by the standards in question.

1. Introduction.

I have devoted my lecture to a discussion of the principal question:

- How to maintain an organization of national type testing procedure for control and indicating equipment thus the authorities and other users of advanced active fire protection can specify and judge the necessary high applicability and reliability of a particular automatic fire detection system?

Below, the control and indicating equipment in its capacity of being the brain in the infra-structure of such systems, will be used to illustrate my reply to the question.

To 'organize' describes 'the act of arranging the separate parts of the subject so that they all work together' and notifies as such the means to reach the object. In my presentation of the Danish contribution to an overall solution to this question, the object is defined as the quality declaration.

The development within the last decade has confirmed that quality is a relative abstract, closely connected to the technical and economical practicabilities.

The domain of automatic fire detection is not only a highly specialized technical field where the ordinary user normally will find his knowledge and experience inadequate for a qualified evaluation of an offered system. Now and then the rate of development in technology takes even the experts by surprise.

The observer of today may consider the strongly centralized control and indicating equipment, typical for the early seventies with all its electro-mechanical components just suitable for a low-speed, one-way processing of on-off signals from groups of detectors as relics of the past.

At the same time he is but standing on the threshold of the future promising the use of highly decentralized control and indicating equipment based on microprocessor technique with high-speed, two-way processing of analogue signals from multipurpose detectors of high intelligence.

Therefore, the organization must be able to maintain a quality declaration reflecting not only the need and the possibilities of today but also of tomorrow.

2. Quality declaration.

In many countries ordinary people are accustomed to find an informative label on much consumer goods, declaring whether a prescribed level of quality is demonstrated by relevant testing supervised by the consumers' organization with the necessary support from scientific and technological research bodies, impartial to manufactures interests.

A corresponding arrangement for automatic detection systems would be desirable though such transference of the idea on quality declaration uncovers special problems to be solved, because detection systems deviate from consumer goods due to the obvious need of professional planning and installation and also maintenance after commissioning.

Looking upon the total life-time of a detection system as a connected whole, the declaration must consider the following terms of quality:

- A. Satisfactory adaption to the existing operation and alarm organization.
- B. Professional planning and craftsmanlike installation of the system followed by careful maintenance.
- C. Adequate mutual harmonized concurrence between the individual system components.
- D. Sufficient applicability and reliability for each individual system component and connection element.

The terms of quality just mentioned for the system are also valid for the control and indicating equipment as an individual system component, especially by the expected future use of distributed control and indicating elements which seemingly blurs the difference between the system and the system component in question.

In order to optimize the economical and technical practicabilities, a set of rules in general must establish counterbalance between on the one hand the need for verification of the appropriate quality of the individual system components and their mutual harmonized concurrence and on the other hand the need for demonstration of the reasonable proficiency in planning, installation and maintenance supported by the reliable execution of alarm management no matter whether dealing with a genuine fire alarm or a fault warning.

3. Structure of rules.

The Danish rules on automatic fire detection systems aim a structure which provide for the necessary counterbalance as they reflect the state of art internationally in the use of advanced technical testing for verification of functional and performance criteria and also base the traditional practice of good workmanship well-known from electronic safety equipment manufactured in the Nordic countries.

The rules too consider the need of the ordinary purchaser and user to specify requirements on quality and extent of a specific automatic fire detection system and make possible the comparison of different tenders not preconditioning special technical knowledge or experience.

The Danish legislative fire codes for buildings refer traditionally as in many other European countries to the installation of automatic fire detection systems in accordance with the rules specified by national insurers, in Denmark: The Danish Association of non-life Underwriters.

This procedure applies to installations which are to be approved by the authorities and/or the insurers and must be sufficiently justified by the insurers position as users of advanced fire protection for which they need a quality declaration of the necessary applicability and reliability.

The rules specify the minimum requirements and give references to international recognized standards whenever possible. For legal and administrative reasons the nomenclature of the Danish rules is split into the following groups:

- A. Objects of the rules and their approval.
- B. Legal persons affected by the rules and their registration.
- C. Executive bodies instituted by the rules and their functions.
- D. Contractual agreements arranged by the rules and their use.

Within the nomenclature described the control and indicating equipment is an object of the rules and as such subject to certification after not only approved type testing but also system control carried out all by an impartial executive body, authorized in accordance with the Danish legislation for technical testing.

When the different groups of the nomenclature are placed together in a table of structure, the fields of responsibility of the legal persons for the individual objects of the rules in question are clearly indicated by the vertical columns of the table.

In accordance with the responsibilities a set of contractual agreements are arranged within the rules, indicated in the table by the horizontal rows, marked: Documentation, where reports from testing body are the legal basis for approval of the control and indicating equipment as a component of a certified system and where statements from the contractor are the legal basis for registration of the legal person referred to.

As the Danish rules call for independent approval of systems and registration of installers due to their different contractual responsibilities, every registered installer is given the liberty to use more than one approved system, provided his ability to plan, install and maintain his installations in accordance with the rules is still possessed.

The rules also allow approved systems to comprise system components of different manufacture, provided the contractors ability to advise and deliver his system components in accordance with the rules is still possessed too.

The purpose of this structure is to make no unreasonable restrictions on design, construction etc. and to avoid any negative influence on the free marketing not conditional in regard to the prescribed quality. So the rules apply exclusively to functional demands anywhere possible.

The former Danish rules for automatic fire detection systems were build on the use of constructive demands, easy to demonstrate but creating very narrow bounds for the manufacturer and in fact responsible for the stagnation of the whole market in the early seventies.

The use of functional demands within the last ten years has given the necessary freedom for the manufacturers to utilize the very rapid developing technology within this field, but leave open the effect of this procedure to depend on the prescribed quality declaration of system function and performance demonstrated by type testing of applicability and reliability of each individual system component.

4. Type testing.

As the house-keeper of the manufacturer's system concept much commercial and technical effort is given to the construction and design of better and better control and indicating equipment.

The development in type testing procedures for this principal system component in fact reflects at all times the development in technology, although normally with some time lag. Apart from the need for verification of special functional and safety demands and the lack of need for demonstration of sensitivity to real fire exposure the testing procedure in principle does not differ from the procedure valid for other system components as detectors for instance.

So, the control and indicating equipment must have the applicability requisite to create the system/man interface to the attached operation and alarm organization responsible for all measures to be taken in due time in case of a fire alarm or a fault warning. Further the equipment must have the reliability necessary to operate correct under the influence of the normal service environment within the expected time of service.

Specifications for type testing of the functional performance for control and indicating equipment have existed in many European countries for a longer period of time, whereas the need for type testing of safety performance with respect to environmental exposures only just has been generally accepted in recent years, in Denmark since 1974 where specification for environmental tests was introduced.

Although testing is a selected method, some disadvantages have to be considered. It may be difficult always to make a test representative to the environmental exposure in question. Reproducible testing is necessary also but demands the use of qualified test equipment and specialist knowledge.

Within the Danish organization of type testing procedure we are privileged to incorporate directly one of the most recognized test institutes in Europe, probably contributory to the fact that Denmark has been selected responsible for the specifications on environmental testing of components of automatic fire detection systems in both CEN and ISO as convener of the working groups in question.

The establishment of test specification for components of automatic fire detection systems has turned out to be a rather complicated matter. Experts in different fields have to co-operate fully to ensure that the test philosophy, methods and measuring instrumentations are of high technical level.

The question of incorporating the experiences and point of views from affected interests, say authorities, development and research institutes, manufacturers and other users of the specifications not only in Denmark but also abroad, has for the last decade been satisfactorily solved through the contribution to the European and International work on standardization, although somebody must be taken by surprise by the fact that the first European draft standard for control and indicating equipment only just has been published for national voting in autumn 1982.

The Danish contribution within standardization gives excellent support to the national work within the field of automatic fire detection and provides a fruitful supplement to the co-operation originated from the basic work done within CEA through the seventies.

With purpose to offer an increased control and to improve the safety of automatic fire detection systems the use of microprocessing techniques have been recently introduced and no doubt this tendency will be intensified in the future.

We have observed some characteristic stages of development.

First, efforts were given to increase the intelligence of detectors exclusively and with the purpose to limit the increasing numbers of unwanted alarms. Second, computer supported control and indicating equipment was developed with the purpose to increase the comfort of operation.

The third and present stage deals with the implementation of microprocessor control on system level with the purpose to allow far superior signal-processing. In the very near future we can expect common introduction of the so-called "addressing", but first at this fourth stage of development real progress in the use of computers in fire detection technology will be demonstrated due to the utilization of the computers ability to evaluate a mass of signals.

In my personal opinion the fifth stage will describe the application of highly decentralized system techniques with nearly unlimited possibilities.

The present stage of development has already but demonstrated that the perfection of microprocessing techniques is a qualified truth. It has no doubt taken somebody by surprise that not only hardware but also software has a need for declared quality.

Perhaps this point of view demands a better explanation?

5. Functional and safety specifications.

The object of my lecture is to define quality declaration with respect to control and indicating equipment for automatic fire detection systems.

The declared quality is to be verified by a procedure using type testing and control of the necessary applicability and reliability of the system component in question and its harmonized concurrence with the other components of the system.

The procedure therefore implies preparation of an up-to-date specification.

Previously in my lecture I have subdivided the specification into functional and safety specifications according to their different objects. The reason for this procedure can be illustrated by the help of a figure defining the following characteristics and their interaction:

A: What should be done?

(as defined by the functional specification).

B: What should not be done?

(as defined by the safety specification).

There are plenty of examples of such dual control in the present specifications, although typical expressed implicit because the qualification of hardware normally didn't have a need for this pedantic subdivision. On the other hand we are all well aware, that a functional specification may be achieved only with a certain availability. So, also a safety specification may cease to be fulfilled with a certain probability.

Functional and safety specifications are shown as overlapping. Such overlap corresponds to possible inconsistency, when the specifications define that two incompatible actions are to be carried out at the same time or incompleteness, when they do not define what is to occur in the same circumstance, all due to error in the specification. In order to demonstrate the complete effect from such errors on the quality declaration the following third characteristic and its interaction with the just mentioned characteristics must be implemented in the figure as follows:

C: What can be done?

(as defined by the equipment performance data).

The figure now demonstrates the following sample of error areas with different origin and effect:

D: Unfulfilled requirements.

(normally due to ignorance in design or specification).

E: Specification errors.

(normally due to inconsistency or incompleteness in specification).

F: Specifications contravened.

(normally due to misconception or oversight in design or specification).

Consequently the figure also can be used to illustrate why software after all fails within the existing specifications, mainly due to errors in programme, combinations of errors in programme and equipment or errors in specifications.

The potential of errors depends on the conception of the designers and/or the specifiers and their ability and inclination to calculate the consequences of their actions. The correctness of a specification will depend on

- whether a result is achievable and truly desired.
- whether a result will be achieved and if so, will cause undesirable side effects.

6. Research and development.

Now we can return to the question of declaring software quality.

It will be absurd to imagine that the future work on standardization will endeavour to lay down a fixed procedure for the use of software in fire detection technology. I dare not contemplate such a relapse into the late era of constructive demands with all its restrictions for utilization of the technique of tomorrow.

The software element however is and will continue to be considerable more important than the hardware and in fact decisive for the quality of the whole system. Therefore the need for a practicable software quality declaration is obvious but desirable only if such future requirements will confirm themselves to an improvement of the reliability of performance not creating any restrictions of the applicability in functions.

For the time being the question of software quality assurance is subject to intensive investigations in Denmark as well as in other European countries. In my best judgement no breakthrough should be expected as regards the future use of testing as a means of verifying software quality. Construction of the software element will always be a question of good workmanship. Evaluation of its quality will likewise be a question of careful and competent analysis with regard to reliability, usability, structure, maintainability etc. of the software.

Additions to the traditional hardware type testing procedure will only be necessary with respect to environmental exposures to which the software is sensitive. The introduction of a revised series of electrostatic, electrodynamic and electromagnetic test methods in the draft European Standard, EN 54, Part 11: General Specification for Environmental Testing of Components of Automatic Fire Detection Systems, expected published for national voting in autumn 1982, illustrate the additions necessary.

7. Conclusions.

Until now the control and indicating equipment has been treated as one of the well-defined black-boxes, all together constituting the standardized automatic fire detection system.

The use of the black-box philosophy has really been of assistance to the organization of the present type testing procedure, based on standardized input/output relationships to be demonstrated under the influence of different normal and artificial environmental exposures. Adequate mutual harmonized concurrence between the individual black-boxes has been conducted by a separat system control. Together the type testing and the system control constitute the cornerstones in the present quality declaration of the whole system.

Towards the end of my lecture I think it will be wise to bring up the question whether it should be possible in the future to maintain this procedure?

Even by the expected development towards the use of distributed control and indicating equipment in its most broaden sense the brain in the infrastructure of a future automatic fire detection system will be constituted by a definite number of individual elements, whose interaction will create the intelligens of the whole system.

Such system still can be qualified by the present procedure as far as the individual interfaces can be defined. Please note, that interfaces are the very little details which often become the big problems if not considered in the initial system planning.

The introduction of microprocessor techniques and intelligent detectors stresses the need for system control of mutual harmonized concurrence between the control and indicating equipment and the other components of the system - a control, which in the future can be very complicated and troublesome. On the other hand this will possibly call attention to the need for the implementation of standardized interface specification on system components as a useful alternative to the present system control procedure.

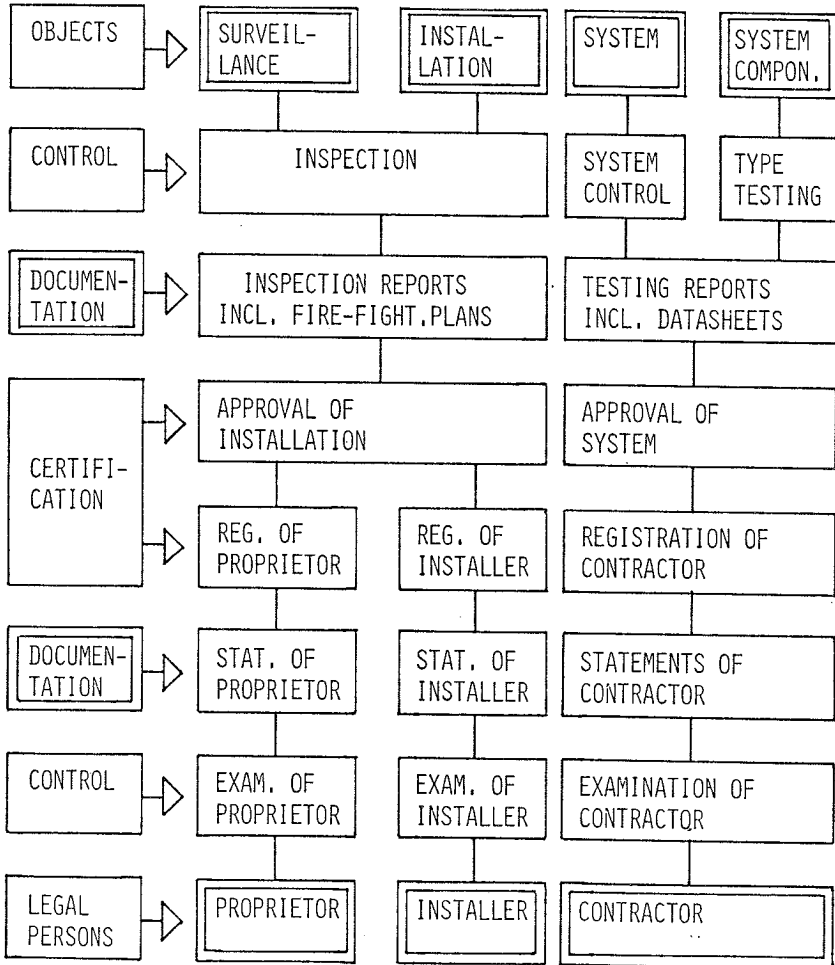
If we take a bird's eye view of the system of tomorrow once again the interfaces will be in focus, as an arbitrary constellation of software, hardware and human being, all represent interfaces to be dealt with in the approval of design, planning and maintenance of fire detection systems.

Also in the future the organization of type testing procedure will be the means to reach the object, defined as the quality declaration.

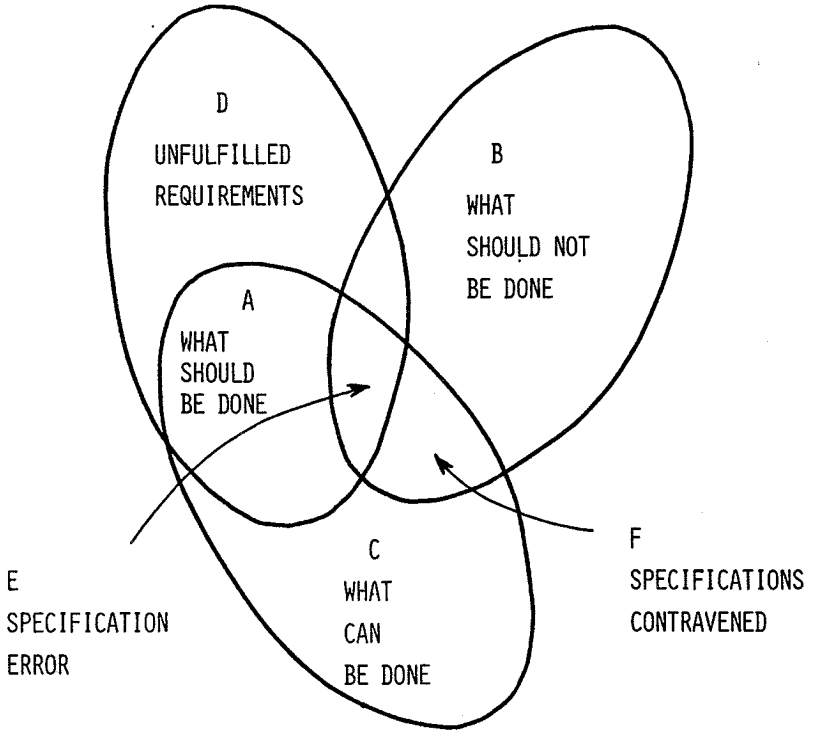
No one ought to neglect that the authorities and other users of advanced active fire protection still have to specify and judge the necessary high applicability and reliability of a particular automatic fire detection system even when the system concept will change from "conventional control" to "sophisticated cybernetics".

Edition: July 1982.

STRUCTURE OF RULES



ERROR AREAS



Dipl.-Ing. Michael Schnell

Verband der Sachversicherer e. V., Köln, Bundesrepublik Deutschland

Brandmelderzentralen in der Richtlinien- und Normungsarbeit

Rückblick

In den fünfziger Jahren erlebte die Anwendung der automatischen Brandentdeckung in relativ kurzer Zeit eine starke Verbreitung. Folgende Gründe mögen dafür verantwortlich gewesen sein:

1. Die stürmische industrielle Entwicklung führte dazu, daß bei vielen Produktionsprozessen immer weniger Menschen benötigt wurden. Unregelmäßigkeiten im Betrieb, die leicht zu Bränden führen können, wurden unter Umständen nicht sofort durch Menschen bemerkt.
2. Moderne Industrieanlagen - insbesondere elektronische Datenverarbeitungsanlagen - stellten vorher nicht gekannte Wertkonzentrationen dar. Schäden führten oft sehr schnell zu schwer kalkulierbaren Ausfällen.
3. Von der Schweiz ausgehend, wurde der dort erfundene Ionisationsrauchmelder erstmals in größeren Stückzahlen eingesetzt. Mit dem Ionisationsrauchmelder stand ein Gerät zur Verfügung, mit dem in den meisten Fällen ein Brand viel früher entdeckt werden konnte, als mit den bis dahin fast ausschließlich verwendeten Wärmemeldern.

4. Die Entwicklung des Transistors und später die der integrierten Schaltungen erlaubte es, zu einem tragbaren Preis immer kompliziertere und komfortablere Brandmeldesysteme zu realisieren.

Notwendigkeit von Richtlinien

Durch die starke Verbreitung von automatischen Brandmeldeanlagen wurde in mehreren Ländern der Ruf nach Beurteilungskriterien, nach Regeln für die Prüfung der Geräte und nach Richtlinien für den Einbau laut.

Die Feuerversicherer wurden sowohl von den Betreibern als auch von den Herstellern von Brandmeldeanlagen gedrängt, den Einbau solcher Systeme versicherungstechnisch zu honorieren. Dies führte dazu, daß die Versicherer nationale Richtlinien aufstellten, und daß im Rahmen der Normungsarbeit mehr oder weniger allgemeine Bestimmungen erarbeitet wurden.

Nationale Normen

In diesem Zusammenhang wurden auch erste Mindestanforderungen an Brandmelderzentralen formuliert. In Deutschland fand man dies in den Normen VDE 0800 "Bestimmungen für Errichtung und Betrieb von Fernmeldeanlagen" und in der DIN 14675 "Feuermelde- und Alarmanlagen - Aufbau und Betrieb". In Frankreich und Großbritannien wurden entsprechende Normen veröffentlicht. In den USA findet man Bestimmungen für Brandmelderzentralen im Richtlinienwerk der Underwriters' Laboratories (UL).

Harmonisierung

Bereits in den 60er Jahren wurde eine Harmonisierung der Bestimmungen - zumindest für den westeuropäischen Bereich - angestrebt. Die Versicherer gründeten innerhalb ihres westeuropäischen Dachverbandes

dem Comité Européen des Assurances (CEA), eine Kommission, die sich mit Problemen der automatischen Brandentdeckung befassen sollte. Als Reaktion darauf wurde im Comité Européen de Normalisation (CEN) bekanntlich zunächst "CENTRI 14" gegründet, in dem Frankreich, Großbritannien und Deutschland mitarbeiteten. 1972 wurde "CENTRI 14" in das Technische Komitee 72 des CEN umgewandelt und für alle Mitglieder des CEN geöffnet. Sowohl im CEA wie auch im CEN ergaben sich große Schwierigkeiten beim Versuch, allgemein gültige Anforderungen für Brandmelderzentralen aufzustellen. Erst Ende der 70er Jahre zeichnete sich eine Möglichkeit für die Normung ab. Diese Arbeiten sind allerdings bis heute noch nicht abgeschlossen.

Gründe für Anfangsschwierigkeiten

Die Hauptursachen für die Verzögerung der Arbeiten sehe ich wie folgt:

1. Es existierten bereits viele verschiedene nationale Normen. Sie waren zwar teilweise unbefriedigend allgemein, aber in anderen Details so speziell, daß eine Harmonisierung fast unmöglich war und sogar technische Weiterentwicklungen gehemmt wurden.
2. Der Hauptzweck einer automatischen Brandmeldeanlage war in manchen Ländern verschieden. In Großbritannien zum Beispiel wurden Brandmeldeanlagen in vielen Fällen für die automatische Warnung von Hotelgästen im Falle eines Brandes eingesetzt. Im übrigen Europa kannte man diese Anwendung kaum. Dort wurden automatische Brandmeldeanlagen hauptsächlich im industriellen Bereich installiert

und dienten dem automatischen Herbeirufen von Löschkraften oder dem automatischen Auslösen von Löschanlagen.

Es ist sehr leicht zu verstehen, daß für die aufgezeigten Anwendungsfälle ganz unterschiedliche Anforderungen wichtig sind. Auch das Interesse an der Normung war dadurch in den einzelnen Ländern ganz verschieden.

3. Die Brandmelderzentrale ist die Übergabestelle für die Brandmeldung an eine hilfeleistende Stelle. Hier werden die in den verschiedenen Ländern existierenden Übertragungssysteme berührt. In Deutschland waren und sind die sogenannten "Nebenmelder"- und "Hauptmeldersysteme" üblich, in der Schweiz wird oft das Telefonnetz zur Übertragung von Gefahrenmeldungen benutzt, in Großbritannien die doppelten Schleifensysteme. Es ist natürlich eine Illusion zu glauben, daß ein Land nur wegen eines Harmonisierungsbedürfnisses sein allgemein übliches und bewährtes Übertragungssystem grundlegend ändert.

Allgemeine Grundsätze für Technische Regeln

Einige Grundsätze, die ganz allgemein bei der Erarbeitung von technischen Bestimmungen gelten sollten, gelten auch für Richtlinien für Brandmelderzentralen:

1. Anforderungen müssen eindeutig und nachprüfbar sein.
2. Nur das Ziel und nicht der Weg dorthin sollte festgelegt werden.

3. Durch Prüfungen sollte festgestellt werden können, ob der sichere Betrieb des Gerätes für eine ausreichend lange Zeit gewährleistet ist.
4. Bei großen und komplizierteren Geräten sollte durch den Ausfall eines Bauteils nicht das ganze Gerät ausfallen.

Arbeit im CEN

Diese Grundsätze wurden weitgehend beachtet bei den entsprechenden Arbeiten des CEN TC 72. Nach langen schweren Diskussionen ist es gelungen, innerhalb des Technischen Komitees 72 Übereinstimmung zu erreichen, was die Funktionsanforderungen für Brandmelderzentralen angeht. Prüfmethode - speziell die Prüfung der Auswirkung von Umwelteinflüssen - sind in der abschließenden Beratung. Zum besseren Verständnis möchte ich ganz kurz auf den Inhalt des CEN-Normentwurfs - er wird EN 54, Teil 2 heißen - eingehen.

Die Norm wird für Brandmelderzentralen gelten, welche die Möglichkeit einer Übertragung der Brandmeldung an eine hilfeleistende Stelle haben. Dies sind Brandmelderzentralen, die normalerweise im industriellen Bereich eingesetzt werden.

Die Anforderungen sind eingeteilt in

1. Funktionsanforderungen
2. Anforderungen an die Bauteile
3. Anforderungen an den mechanischen und elektrischen Aufbau
4. Überprüfung der Umwelteinflüsse
 - trockene Wärme
 - Kälte

- feuchte Wärme, statisch
- dielektrische Festigkeit
- Isolationswiderstand
- Vibration
- Störspannungen
- elektrische Funkenstrecken
- kurze Unterbrechungen der Netzspannung
- elektrostatische Entladung
- elektromagnetische Felder
- Spannungsabhängigkeit

5. Dauerprüfung.

Im Abschnitt "Funktionsanforderungen" ist im wesentlichen festgelegt, welche Übertragungswege automatisch überwacht sein müssen - welche Funktionen und Zustände angezeigt werden müssen. Brandmeldungen müssen spätestens nach 10 s, Störungen spätestens nach 100 s angezeigt werden.

Diese Zeiten sollen zugelassen werden, um moderne Systeme, die einzelne angeschlossene Melder oder Meldelinien zyklisch abfragen, nicht auszuschließen.

Bei großen Brandmelderzentralen wird erlaubt, daß nicht gleichzeitig Meldungen aus allen Meldelinien angezeigt werden können - es genügt, wenn bei n Meldelinien \sqrt{n} Anzeigen gleichzeitig möglich sind.

Die "Umweltprüfungen" basieren hauptsächlich auf entsprechenden Empfehlungen der International Electrotechnical Commission (IEC).

Die Arbeiten im CEN TC 72, die unter Beteiligung aller betroffenen Stellen, wie Hersteller, Behörden, Anwender, Hochschul- und Prüfinstitute und der Feuerversicherer geleistet wurden, stellen nach meiner Ansicht einen wertvollen Ansatz dar, die Probleme bei der Erarbeitung von allgemein anerkannten Richtlinien für Brandmelderzentralen zu lösen.

Andere internationale Normungsgremien (ISO, CENLEC, IEC)

Leider wird der Erfolg der Arbeiten dadurch in Frage gestellt, daß sich inzwischen auch andere internationale Gremien mit der Normung auf dem Gebiet der automatischen Brandentdeckung befassen. Seit einigen Jahren gibt es entsprechende Technische Komitees beim ISO, beim CENELEC und beim IEC. Zwar hat man sich auf eine Abgrenzung der Arbeit geeinigt, aber wenn tatsächlich alle Gremien richtig aktiv werden, wird es meiner Ansicht nach große Abgrenzungsschwierigkeiten geben. Ich befürchte, daß man mehr Zeit für die Abgrenzungs- und Koordinierungsgespräche verbrauchen wird, als für die eigentliche technische Arbeit.

Es wird auch schwierig sein, ausreichend viele Fachleute zu finden, die so zur Mitarbeit bereit sind, daß alle Komitees effektiv arbeiten können.

So gerechtfertigt die Existenz dieser vielen Arbeitsgruppen von der Theorie her auch sein mag, sollte doch die Vernunft siegen. Es genügt, wenn sich die internationale Normung auf dem Gebiet der automatischen Brandentdeckung das CEN und die ISO betätigen.

Feuerversicherer

Die Feuerversicherer honorieren in bestimmten Fällen den Einbau von automatischen Brandmeldeanlagen in Form von Rabatten. Voraussetzung dafür ist unter anderem, daß die verwendeten Geräte geprüft und für gut befunden wurden.

In Deutschland haben die Feuerversicherer die existierenden Normen als Prüfgrundlage genommen, aber dort wo diese Normen zu viel Spielraum lassen, regulierend eingegriffen.

Moderne Techniken (Mikroprozessoren)

Ein besonderes Problem stellt die zunehmende Verwendung von Mikroprozessoren in Brandmelderzentralen dar.

Einerseits können mit Mikroprozessoren Brandmelderzentralen gebaut werden, an die bei gleicher geometrischer Größe mehr Melder oder Meldergruppen angeschlossen werden können. Die Art der Anzeige von Meldungen und Fehlern kann wesentlich verbessert werden, vor allem dann, wenn moderne Anzeigemittel, wie Schriftfelder oder Bildschirme, verwendet werden.

Andererseits darf nicht vergessen werden, daß es sich bei Brandmelderzentralen um Geräte für Sicherheitsanlagen handelt, an die besondere Anforderungen auch hinsichtlich der Funktionssicherheit gestellt werden müssen.

Es ist meiner Ansicht nach nicht vertretbar, daß durch Ausfall eines Bauteils, z. B. eines Mikroprozessors, eines Multiplexers oder eines Speichers, die gesamte Anlage mit vielleicht 100 oder mehr angeschlos-

senen Meldelinien ausfallen kann. Die Brandmelderzentralen müssen so aufgebaut sein, daß bei Ausfall eines Bauteils entweder andere Bauteile die Funktion des ersten übernehmen können, oder daß ein eingeschränkter Notbetrieb erhalten bleibt.

Bedienung

Ein anderes Problem ist die komplizierte Bedienung von manchen modernen Brandmeldesystemen. In vielen Fällen ist eine Bedienung, ohne besondere Anleitung nicht mehr möglich. Dies ist vor allem ein Problem im Falle einer echten Brandmeldung. Es ist Feuerwehrleuten nicht zuzumuten, daß sie bei einem Brand die Bedienung aller Brandmelderzentralen auswendig kennen.

Seit einiger Zeit wird in Deutschland versucht, die Anordnung der für die Feuerwehr wichtigsten Bedienelemente zu vereinheitlichen. Das hierfür vorgeschlagene Bedienfeld soll normalerweise in Form eines kleinen Zusatzgerätes neben der Brandmelderzentrale montiert werden - aber es soll auch erlaubt sein, daß das Bedienfeld in die Brandmelderzentrale integriert wird.

Schlußbemerkungen

Da die Anfangsschwierigkeiten für die Erarbeitung internationaler oder regionaler Regeln für die Beurteilung von Brandmelderzentralen überwunden sind, sollten die am weitesten fortgeschrittenen Arbeiten - es sind die im CEN TC 72 geleisteten - ohne weitere Verzögerung abgeschlossen werden. Im entsprechenden ISO-Komitee sollte geprüft werden, ob die Ergebnisse der Arbeiten des CEN übernommen werden können.

Die Anwendung modernster Techniken (z. B. Mikroprozessoren) sollte auf keinen Fall verhindert oder erschwert werden. Allerdings muß durch besondere Maßnahmen sichergestellt werden, daß die Zuverlässigkeit des Brandmeldesystems nicht eingeschränkt wird.

Richard Phillips B.Sc. M.Sc.

Fire Insurers' Research and Testing Organisation,
Borehamwood, Hertfordshire, WD6 2BJ, England.

The Development of Standards and Test Specifications
for Fire Detection and Alarm Systems

INTRODUCTION

It is obvious that safety equipment, such as fire detection and alarm systems, should operate in an effective and reliable manner. Some control of the quality of the equipment and installation can be applied by the specifiers and users of the equipment, such as local authorities, architects, insurers, fire brigades, etc. It is, however, difficult to determine what level of quality and performance a system will provide by simply looking at the manufacturer's specification of the equipment.

The objective of a fire detection and alarm system may be simply stated; that it should always detect the presence of a fire and initiate some action, which will effect the safe escape of people and/or the extinction of the fire. This is, however, difficult to put into practice as the design of the equipment must always be a compromise between its sensitivity to fire, its propensity to give false alarms, the facilities provided for initiating action, its reliability and, of course, its cost.

The setting of agreed minimum standards for the system components and its installation provides a level of confidence for the system user and allows a common means of assessment and comparison. These standards can also benefit the manufacturer, providing a known minimum level of acceptable performance, while allowing the manufacturers to make the best use of the available technology to reach, what they consider to be, the most suitable compromise between the factors mentioned above. It must, however, be remembered that the misapplication of standards can restrict the development and improvement of products and may prevent the use of a more suitable device in a particular application.

The Fire Offices' Committee (F.O.C.) was probably the first body in the U.K. to attempt to assess the level of protection provided by fire detection systems. Their assessments have led to the allowance of discounts applied to the insurance rates, in certain circumstances, where an automatic fire detection system is installed. The eligibility for discounts is contingent upon two conditions being met:

- a) the equipment and system operation must be of a type approved by the insurers
- and b) the system must be installed and maintained by approved installers in accordance with the rules laid down by the insurers.

The approval mentioned in a), above, includes a technical evaluation of the equipment and system operation. Initially such evaluations were based on 'ad hoc' tests derived for each particular system. The information and experience gained from these tests and from tests carried out by similar bodies in other countries have provided a major input into the standards used today.

The standards must include requirements, which will lead to equipment with sufficiently high levels of performance and ability to withstand its operating environment, whilst accepting the design limitations mentioned previously. The test procedures included in the standard must be such that the requirements can be verified in a reasonable time and at a reasonable cost. Otherwise manufacturers will be dissuaded from updating or improving their equipment. In order to maintain the integrity of the standard it is also important that these test procedures can be carried out repeatably and reproducibly in accordance with the current 'state-of-the-art'.

In the U.K. the fire detection and alarm standards are based around a 'Code of Practice' (BS 5839:Part 1), which specifies the requirements for fire alarm systems in the various types of premises. The code of practice provides basic recommendations for planning, installation and servicing of fire alarm systems and makes direct reference to the equipment standards covering the components suitable for use in the system.

Table 1 shows the published and draft standards likely to be applicable in the U.K. It can be seen that where possible European standards in the EN54 series are used.

DETECTOR STANDARDS

The 'fire' detectors, which we use, can be considered as sensors which monitor the environment for changes caused by fire. In general the changes monitored are associated with the convective heat, smoke and flame radiation generated by the fire. Figure 1 shows the commonly used detector types making use of these fire characteristics.

The standards for fire detectors are intended to ensure:

- a) that, under its various operating conditions, a detector is sufficiently sensitive to the chosen fire characteristic(s), without being too prone to false alarms.
- b) that, the detector can, for a reasonable length of time, withstand and operate reliably in the environmental conditions, to which it is likely to be exposed.

The tests included in the fire detector standards can generally be divided into the following groups:

1. The fire sensitivity assessment

In practice the detector must be sensitive to a range of fire types, which can have different effects on the environment. For example, a smouldering fire will lead to a slow increase in temperature and may produce white smoke consisting of large particles, on the otherhand, a flaming fire may produce a rapid increase in temperature and black smoke consisting of smaller particles.

The fire sensitivity assessment, therefore, usually involves a number of tests and may also include a test or requirement to limit the maximum sensitivity of the device.

2. A comparative response test

A number of the tests in the standard will involve comparisons of detector sensitivity before, during or after exposure to various operating or environmental conditions. It would be difficult and expensive to repeat the numerous sensitivity tests each time. A comparative response test is therefore used. This involves measuring the response of the detector to a particular fire characteristic applied to the detector in a defined way. For example, the response of a heat detector to a particular rate-of-rise of temperature applied under controlled conditions.

3. Basic response tests

The comparative response test can be used:

- a) to assess the effect of the fire characteristic reaching the detector from different directions,
i.e. directional dependence.
- b) to ensure that a number of specimens of a particular detector design have similar sensitivity settings,
i.e. reproducibility.
- c) to ensure that the detectors response is consistent and that it remains stable over a period of time,
i.e. repeatability and stability.

4. Environmental tests

The comparative response test can also be used to assess the effects of various environmental conditions, on the detector. The conditions considered under environmental tests have generally been extended from the more traditionally considered climatic conditions to also include the mechanical and electrical conditions affecting the equipment.

All of these environmental tests are considered as two main types:

- a) Functioning tests. In these tests the environmental conditions are simulated with a severity, which can be expected to occur where the detector is installed. These tests are applied to discover what effect the environmental condition has on the sensitivity of the detector and if the condition causes the detector to give a false alarm.
- b) Endurance tests. These tests are intended to assess the effect of a long period of exposure to the environmental conditions. These tests may be of the 'accelerated' type, in which the environmental condition is simulated with a severity in excess of that expected to occur, where the detector is installed, in order to accelerate the effect on the detector.

5. Constructional requirements

There also may be some limitations or requirements on the construction of the detector. For example, certain marking or identification may be required or critical dimensions may be fixed.

Table 2 lists these tests and forms the framework of the test programmes for fire detectors. The list is not exhaustive but covers the tests being considered for European (C.E.N.) and International (I.S.O.) standards. The applicability, severity and requirements for each test will of course depend upon the detector type and its envisaged use.

In general the basic response and environmental tests are applied to all detector types in much the same way. The sensitivity assessments and comparative response tests, on the other hand, depend on the fire characteristic(s) used by the detector.

The sensitivity assessment, perhaps the most important part of the standard, has been the subject of lengthy discussions both nationally and internationally. These discussions have led to a number of 'philosophies' for applying these tests. One of these, the 'black box philosophy' suggests that all the detectors should be treated as 'fire' detectors and that their sensitivity should be assessed against the same tests, usually assumed to be a number of test fires. This approach has a number of advantages, especially when considering detectors the operating principle of which may combine a number of those currently used or may use a new detection principle.

In practice it is very difficult to produce such a series of tests, which can give a good assessment of all the detector types, without a great deal of redundant testing. It is also a gross simplification to assume that the test fires in themselves are a good representation of a practical installation. In fact we rely on the fire safety engineer to assess the real risk and to select the most suitable detectors using his knowledge of the strengths and weaknesses of each type. The standards, therefore, use sensitivity assessment and comparative response tests developed for each detector type.

Point type heat detectors

In the CEN standard EN54:Part 5, the sensitivity test involves measuring the time of response of the detector when various rates-of-rise of temperature are applied to a constant mass flow of air arranged to pass the detector in a specially designed wind tunnel. The rates-of-rise of temperature applied are 1, 3, 5, 10, 20 and 30 °C/minute. The temperature of operation of the fixed temperature (static) element is also measured at a very low rate-of-rise of temperature.

In order to meet the sensitivity requirements of the standard, these response times and temperature must lie between stated limits, which define three grades. The provision of three response grades is intended to allow the use of less sensitive detectors in rooms with lower ceiling heights.

It is time consuming to carry out response tests at all of these rates-of-rise of temperature. The comparative response test, therefore, involves measuring the response with rates-of-rise of temperature of 3 and 20 °C/minute.

There are two standards, soon to be published, which are derived from EN54:Part 5. One of these, EN54:Part 8 covers 'High temperature heat detectors'. The requirements of this standard are very similar to Part 5 but they allow the design of detectors with higher operating temperatures. These devices are intended for use in areas with higher than normal ambient temperatures.

The other, EN54:Part 6 covers detectors incorporating only rate-of-rise of temperature elements. This is in contrast with detectors covered by Parts 5 and 8, which must have a fixed temperature (static) element and may also incorporate a rate-of-rise element. Despite this difference the requirements of the standard are very similar to those of Part 5 but without any requirements for operation at rates-of-rise of temperature less than 5 °C/minute. The use of these devices is not recommended by the British Standard code of practice. It is therefore unlikely that there will be a British standard equivalent to EN54:Part 6.

Point type smoke detectors

Two published standards for point type smoke detectors are in common use in the United Kingdom. These are BS 5446:Part 1, for detectors used in residential premises and a CEA standard for detectors used more generally. There is also the European standard EN54:Part 7, which should be published shortly, and which is already being used in its draft form.

In all of these standards the sensitivity assessment is made by a series of test fires. These tests are designed to subject the detectors to the wide range of different 'types' of smoke produced by fire.

During the drafting of EN54:Part 7 it was considered that it would be useful to include a catalogue of fire sensitivity tests in the EN54 series of standards. The object of the catalogue was to provide repeatable and reproducible tests covering a wide spectrum of fire conditions. Appropriate tests could then be called up by the component specifications.

This catalogue (EN54:Part 9) has been agreed and should also be published shortly. Table 3 gives a brief summary of the tests included at present. It is accepted that it will probably be necessary to include further tests if they are required by standards for other types of detectors. Test fires TF 2, 3, 4 and 5 are called up by EN54:Part 7 and are applied to point type smoke detectors.

These fire tests are not really suitable for use as the comparative response tests. 'Wind tunnel' tests are, therefore, used. In these tests the detector is placed in a controlled airflow in the 'wind tunnel'. Smoke is introduced into the tunnel so that a steadily increasing density of smoke passes the detector. The density of smoke in the air when the detector responds is taken as a measure of the detector's sensitivity. Since these tests are used for comparative measurements it is more important that the smoke is produced repeatably than that it should represent any practical fire type. In many cases artificial smoke is produced by an aerosol generator.

To ensure that any differences in the measured sensitivity of the detector are due to changes in the detector rather than changes in the smoke, the instrument used to measure the smoke density should ideally work on the same principle as the detector under test. In practice a special measuring ionization chamber (M.I.C.) is used when ionization chamber detectors are being tested but a light obscuration instrument is used when light scatter type detectors are being tested. This is not ideal but a suitable standard light scatter measuring instrument is yet to be produced. Good results are, however, achieved by careful production and monitoring of the test smoke.

Flame radiation detectors

At present there are C.E.A. standards covering Infra-red and Ultra-violet type flame radiation detectors. The sensitivity assessments in these standards also involve test fires. Table 4 gives a brief summary of these, all of which involve flaming combustion of different materials. Test fire 2-1 does, however, involve the production of smoke from a smouldering fire before the flaming fire is ignited.

The comparative response tests are carried out on an optical bench. A radiation source, such as a flame or lamp, is fitted to one end of the bench. The point on the bench at which the detector will just operate within 30 seconds is found by moving the detector towards the source in steps and exposing it to the radiation source at each position. The intensity of the radiation at that point is found from a previously prepared calibration curve and is taken as a measure of the detector's sensitivity.

Other trigger devices

Figure 1 shows a number of types of detector which are not covered by agreed standards at present. When other detector types have to be evaluated 'ad hoc' test programmes can be devised using the framework of Table 1, to suit the particular detector type. These evaluations must include some assessment of what sensitivity limits are acceptable. This information may be the background for future standards.

CONTROL AND INDICATING EQUIPMENT STANDARDS

Since the techniques used for fire detection are generally similar throughout Europe it has proved possible to prepare agreed European standards, for a number of fire detector types. It has proved far more difficult, however, to obtain agreement on standards for control and indicating equipment. I believe that this is because the control and indicating equipment involves interfacing the system with people and other external factors such as installation practices and the fire alarm transmission procedures.

The variation of these factors between the member countries has made it difficult to agree some of the functional requirements for control and indicating equipment.

BS 3116:Part 4 is the standard generally used in the U.K. for evaluating the control indicating and power supply equipment. The tests and requirements of this standard can be considered in the following groups.

1. Functional requirements

The primary function of the control and indicating equipment is to raise an effective alarm in the event of the operation of a trigger device (detector or manual call point) by automatically switching on alarm sounders, by giving some indication of the origin of the operated trigger device and in certain cases by transmitting a signal to a remote manned centre or initiating some other fire protection measure.

The standard therefore defines:

- a) the responses which the equipment must give when a trigger device or trigger devices operate.
- b) limitations on the times in which these responses must be given and the ways in which they can be controlled by manual intervention at the control panel.
- c) that automatic indication must be given in the event of certain faults or temporary limitations to the systems operation (e.g. isolation of part of the system) which may affect the primary function.
- d) that the system must be fed by two suitable power supplies, so that operation will continue for at least a certain time in the event of a failure of one or other of the supplies.

2. Constructional and design requirements

Various requirements are included concerning the reliability of the equipment, to perform its primary function, and to make the system safe and simple to operate to reduce the possibility of incorrect operation.

3. Environmental tests

Environmental tests similar to those shown in Table 2 are also applied to control and indicating equipment. Since the equipment is normally expected to be installed in less severe environments than detectors, fewer and less severe tests are therefore usually applied.

4. Durability tests

The equipment is expected to have a life of about 20 years when properly maintained. Accelerated life and durability tests are therefore included to ensure that the equipment can withstand the normal use and testing expected during this period.

COMPATIBILITY

It is not sufficient to ensure that all the components of a fire detection system meet the appropriate standards mentioned. In practice the system has to operate when the components are connected together in a real installation. The installation designer must be informed of the limitations in the ways in which the components can be connected. Tests should be carried out during a system evaluation to verify that the limitations stated by the system supplier will lead to satisfactory installations.

The nature of these tests will depend upon the type of system and these generally have to be devised as ad hoc tests for each system.

QUALITY ASSURANCE

The standards and test procedures described all take the form of 'type tests', that is, they are intended to be applied to a small sample of the equipment to assess the design.

The performance of the equipment in the field, however, will also depend upon the quality of manufacture of the particular units installed.

Type testing of the equipment must therefore be backed up by continuous assessment of the manufacturing process and regular checking of production samples to ensure the required performances.

'INTELLIGENT' DETECTION SYSTEMS

In the majority of systems available at present the detector incorporates the sensor element and also the element which attempts to discriminate between changes caused by fire and normal environmental changes. i.e. The detector makes the 'decision' that there is a fire. Advances in electronics technology allow this critical decision making process to be more sophisticated, and in some modern systems part or all of this process is carried out in the control unit.

With these more intelligent systems it may not be possible to consider the detector and control equipment separately during the testing discussed previously. In some cases the same requirements can be applied to the system as a whole but a new approach for assessing sensitivity is required for systems taking full advantage of their greater 'intelligence'. In such a system the decision that a fire exists may be taken on the basis of a number of measurements made over a certain area and a certain period of time. i.e. The sensitivity is adapted to suit its environment in the most effective way.

In evaluating such systems we can subject the sensor elements to the basic and environmental tests as described previously but in order to evaluate the fire sensitivity of the system we will have to study the programme which analyses the data received from these sensors.

At this point I believe we return to the beginning of the standardization procedure. It is here that the approvals bodies must assess the merits of each system rather than its performance in standard type tests. It can be expected that as more systems of this type are produced the methods of assessing the 'software' will become standardized such that certain performance requirements can be applied.

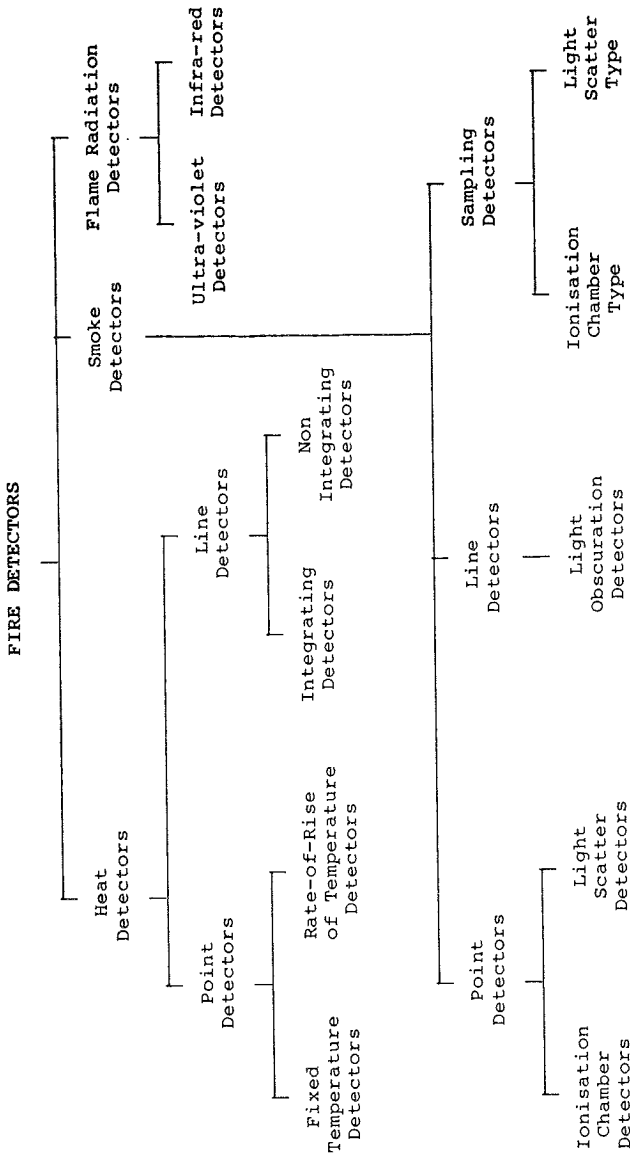


FIGURE 1 TYPES OF FIRE DETECTORS

SUBJECT/ EQUIPMENT	BRITISH STANDARD	EUROPEAN STANDARD	OTHER STANDARDS
Introduction	BS 5445: Part 1	EN54: Part 1	
Point Heat Detectors (General)	BS 5445: Part 5	EN54: Part 5	
Point Heat Detectors (High Temperature)		pr EN54: Part 8	
Point Smoke Detectors (General)		pr EN54: Part 7	CEA Test Method for Point Smoke Detectors
Point Smoke Detectors (Residential Premises)	BS 5446: Part 1		
Infra-red Flame Detectors			CEA Test Method for Infra-red Flame Detectors
Ultra-violet Flame Detectors			CEA Test Method for Ultra-violet Flame Detectors
Fire Sensitivity Tests		pr EN54: Part 9	
Environmental Tests		pr EN54: Part 11	
Manual Call Points	BS 5364 Part 1		
Control and Indicating Equipment	BS 3116: Part 4	pr EN54: Part 2	
Power Supply Equipment		pr EN54: Part 4	
Installation and Servicing etc.	BS 5839: Part 1		CEA & FOC Installation Rules

NB. Published Standards shown bold

**TABLE 1 STANDARDS RELATING TO FIRE DETECTION
AND ALARM SYSTEMS**

1. SENSITIVITY ASSESSMENT

2. COMPARATIVE RESPONSE TEST

3. BASIC RESPONSE TESTS

Directional Dependence

Reproducibility

Repeatability

Stability

4. ENVIRONMENTAL TESTS

Climatic - Dry Heat (Functioning and Endurance)

Cold (Functioning and Endurance)

Damp Heat (Functioning and Endurance)

Corrosion (Endurance)

Air Movement (Functioning)

Ambient Light (Functioning)

Mechanical - Shock (Functioning)

Impact (Functioning)

Vibration (Functioning and Endurance)

Electrical - Supply Voltage Variation (Functioning)

Electrical Interference (Functioning)

5. CONSTRUCTIONAL REQUIREMENTS

TABLE 2 FRAMEWORK FOR FIRE DETECTOR TEST PROGRAMME

DESIGNATION	TYPE OF FIRE	CHARACTERISTIC FEATURES					
		Development of heat	Upcurrent	Smoke Produced?	Aerosol Spectrum	Visible Portion	
TF 1	Open cellulosic fire (wood)	strong	strong	yes	predominantly invisible	dark	
TF 2	Smouldering Pyrolysis fire (wood)	can be neglected	weak	yes	predominantly visible	light, high scattering	
TF 3	Glowing smouldering fire (cotton)	can be neglected	very weak	yes	predominantly invisible	light, high scattering	
TF 4	Open plastics fire (polyurethane)	strong	strong	yes	partially invisible	very dark	
TF 5	Liquid fire (n-heptane)	strong	strong	yes	predominantly invisible	very dark	
TF 6	Liquid fire (methylated spirits)	strong	strong	no	none	none.	

NOTE: All tests conducted in standard fire test room (10 ± 1 x 7 ± 1m and 4 ± 0.2m high)

TABLE 3 LIST OF TEST FIRES IN pr EN54:PART 9

FIRE TYPE	FUEL	FUEL QUANTITY
1 Clear Burning wood	Beechwood sticks (10 x 20 x 250 mm)	Grade I 0.75kg Grade II 1.5 kg Grade III 3.0 kg
2-1 Smouldering wood followed by clear burning wood	Beechwood sticks (10 x 20 x 50 mm) (10 x 20 x 250 mm)	Smouldering 12 sticks Flaming 3.0 kg
3 Burning Plastic	Polyurethane foam mats (500 x 400 x 20 mm)	Grade I 1 mat Grade II 2 mats Grade III 3 mats
4 Burning Liquid	Diesel oil	Grade I 15g, area 25 cm ² Grade II 25g, area 50 cm ² Grade III 40g, area 100 cm ²
5 Burning Liquid	Methylated spirit	Grade I 1.2kg, area 1100 cm ² Grade II 1.6kg, area 1500 cm ² Grade III 2.0kg, area 1900 cm ²
6 Burning Liquid	Methylated spirit	2.7kg, area 2500 cm ² Distance between fire and detector = 15m

NOTE: All test fires, except No. 6, conducted in standard fire test room
(11 ± 1 x 7 ± 1m and 4 ± 0.2m high)

TABLE 4 SUMMARY OF TEST FIRES FOR IR AND UV FLAME DETECTORS