



Fraunhofer Institut
Biomedizinische
Technik

Vorstudie zum Thema Brandfrüherkennung

Forschungs- und Entwicklungsvorhaben

Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik (IBMT)

Institutsleitung: Prof. Dr. Günter R. Fuhr

Durchführung: Arbeitsgruppe Miniaturisierte Systeme
Leiter: Dr. Thomas Velten

Projektleitung: Dipl. Phys. H. Schuck

Bericht über das durchgeführte Vorhaben:

Vorstudie zum Thema Brandfrüherkennung

Kurzbezeichnung: **Sicherheit im Haus A1-219**

Bericht und Projektbearbeitung durch:

Dr. Thomas Velten

Dipl.- Phys. H. Schuck

Oliver Ziermann

Auftraggeber: Heinz Trox-Stiftung

Vorstudie zum Thema Brandfrüherkennung

Dr. Thomas Velten
Dipl.- Phys. H. Schuck
Oliver Ziermann

Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik, St. Ingbert, und Fachrichtung
Medizintechnik, Universität des Saarlandes, Homburg/Saar

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	5
2.	Grundlagen und Definitionen	7
2.1	Brandursachen	7
2.2	Brandverlauf	7
2.3	Brandkenngrößen	8
2.4	Glimmtemperatur, Flammpunkt und Zündtemperatur	9
2.5	Verbrennungs- und Ausbreitungsgeschwindigkeit	10
2.6	Brandgase und Brandrauch	11
2.7	Brand-Testeinrichtungen	13
3.	Brandmeldertypen	14
4.	Detektionsprinzipien	16
4.1	Rauchmelder	16
4.1.1	Optische Rauchmelder	16
4.1.1.1	Streulichtrauchmelder	17
4.1.1.2	Durchlichtrauchmelder	18
4.1.1.3	Linienförmige optische Rauchmelder	19
4.1.2	Ionisations-Rauchmelder	20
4.2	Wärmemelder	21
4.3	Linienförmige Wärmemelder	22
4.4	Flammenmelder	22
4.5	Gasmelder	23
4.5.1	Elektrochemische Sensoren	23
4.5.2	Halbleitende Gassensoren	24
4.5.3	Massensensitive Sensoren	24
4.5.4	Sensoren mit Farbreaktionen (Optochemische Sensoren)	26
4.5.5	Infrarotsensoren (Ultraviolettsensoren)	27
4.5.6	Ionisationsmelder zur Gasetektion	28
4.5.6.1	Photoionisationsdetektor (PID)	28
4.5.6.2	Flammenionisationsdetektor (FID)	28
4.5.6.3	Wärmeleitfähigkeitsdetektor (WLD)	29
4.6	Sondermelder	29
4.7	Melderzubehör	29
5.	Vergleich der verschiedenen Branddetektionsprinzipien	31
6.	Innovative Entwicklungen bei Branddetektionsverfahren	34
6.1	Esser Rauchansaugsystem LSR	34
6.2	Laserbrandmeldesystem VIEW der Firma Notifier	35
6.3	Rauchmelder mit zwei Erfassungstechnologien	35
6.4	Lichtwellenleiter zur Brandfrüherkennung	37
6.5	Bildgebender Brandmelder	37
6.6	Gassensoren zur Branddetektion	38
6.7	Rauchmelder mit Zwei- Winkel- Technik	39
6.8	Infrarot- und Fourier Transformation Infrarot Spektrometer (IR, FTIR)	40
6.9	Ionenmobilitätsspektrometer (IMS)	40

6.10	Massenspektrometer (MS).....	41
6.11	Gaschromatograph (GC) mit FID, PID oder WLD- Kopplung	41
6.11.1	Gaschromatograph mit Massenspektrometer (GC-MS)	42
6.11.2	Gaschromatograph mit Fourier- Transform- Infrarot- Spektrometer (GC-FTIR) ...	42
6.12	Brandmelder nach dem Ultraschall-Mikrowellen " Anti-Inzidenz" -Prinzip	42
6.13	Leistungspotenziale biochemischer Sensorik	43
6.14	Signalverarbeitungskonzepte und Softwareentwicklungen.....	44
7.	Vorschriften und Richtlinien	46
7.1	Brandschutztechnische Institutionen.....	46
7.1.1	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (VDE)	47
7.1.2	Verband deutscher Sachversicherer (VdS)	48
7.1.3	Unfallverhütungsvorschriften, UVV	49
7.1.4	Deutsches Institut für Normung.....	49
7.1.5	Feuerwehr- Richtlinien.....	49
7.1.6	Ex- Schutz- Bestimmungen.....	50
7.1.7	Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)	50
8.	Anhang	51

1. Einleitung

Noch im Mittelalter wurden Brände als unabwendbare Schicksalsschläge angesehen, die man lediglich mit Magie und Beschwörungen einzudämmen versuchte. Später als Großbrände nicht nur als Naturereignis galten, sondern auch als Folge von Kriegshandlungen entstanden, versuchten sich die Menschen frühzeitig vor den Flammen zu schützen. Es wurden beispielsweise Nachtwächter eingesetzt, deren Aufgabe es war, von Türmen aus, die Umgebung zu beobachten und die Bevölkerung akustisch durch Signalhorn oder Glocken vor einem Brand zu warnen. 1848 entwickelte C. A. von Steinheim in München die erste elektrische Feuermeldeanlage. Aber auch diese war noch auf menschliche Sinnesorgane angewiesen. Hierbei wurden mit Hilfe von Drucktasten mehrere Signalglocken aktiviert, die die Feuerwache alarmierten. Die erste komplette telegraphische Feuermeldeanlage wurde drei Jahre später in Berlin realisiert, bei der über Kabelverbindungen 37 Feuerwehren alarmiert werden konnten.

Die Erfahrungen und Erkenntnisse, die im Laufe der Zeit besonders bei Großbränden gesammelt wurden, sowie eingehende Untersuchungen über das Brandverhalten brandgefährdeter Industriegüter, führte zu einer stetigen Entwicklung in der Brandmeldetechnik. Der Einsatz immer teurerer Anlagen und Maschinen in der Produktion von unterschiedlichen Industriegütern, sowie die Lagerung hochwertiger Materialien auf immer kleineren Stellflächen erforderten zuverlässige Brandwarnsysteme. Die ersten Brandmelder bestanden jedoch lange Zeit nur aus einer Kombination von physikalischen Sensoren, mechanischen Komponenten und elektrischen Bauteilen.

Heute kommen insbesondere "intelligente" und sehr empfindliche Sensorsysteme auf der Basis von Halbleitern und Mikroprozessoren zur Anwendung, die normalerweise sehr gut auf die Umgebungsbedingungen abgestimmt werden können. Allerdings weisen auch diese hochentwickelten Systeme einige Schwächen auf. Zum einen ist im industriellen Bereich für viele Betriebe und öffentliche Einrichtungen eine flächendeckende und permanent aktive Brandmeldeanlage zu kostenintensiv. Ausgereifte Meldersysteme, die trotz schwieriger Umweltbedingungen eine hohe Fehlalarmrate bieten, sind teuer in der Anschaffung, s. d. bei großen Gebäudekomplexen immense Kosten entstehen können. Dies hat einerseits zur Folge, dass kostengünstigere Systeme mit eingeschränkter Leistungsfähigkeit installiert werden. Andererseits sind die teuren hochsensiblen Branddetektoren, die überwiegend auf physikalischen Messgrößen wie Temperatur, Licht und Lichtstreuung basieren, sehr empfindlich gegenüber Stör- und Täuschungsgrößen wie z. B. Temperaturschwankungen, hohe Luftfeuchten, Zigarettenrauch, Papierstäube und Abgase. Die Gefahr einer Fehlalarmierung ist bei Verwendung solcher Sensoren besonders hoch. Weiterhin zeigen die oben genannten physikalischen Messgrößen erst nach dem Ausbruch eines Brandes diesen an. Um die Interventionszeit, die sich aus der Zeit zwischen den Brandentstehung und dem Ansprechen des Melders bis hin zur vollständigen Brandbekämpfung zusammensetzt, so kurz wie möglich zu halten, kommt es besonders auf eine frühe Detektion von typischen Brandkenngrößen an.

Mit der Entwicklung leistungsfähigerer Detektionsverfahren wurden stets Vorkehrungen entwickelt, die die Entstehung von Bränden verhinderten oder diese zumindest begrenzten. So beinhaltet die Deutsche BauNorm Vorschriften, die angeben, welche Materialien beim Bau eines Gebäudes verwendet werden dürfen. Dies bedeutet z. B., dass eine Tür die im Brandfall ihre Funktion für 90 Minuten behalten muss, der Sicherheitsklasse T90 entspricht.

Analoge Vorschriften gibt es für Stahlträger, tragende Bauteile etc. Des Weiteren werden in den Vorschriften Angaben darüber gemacht, ob ein verwendetes Material brennbar oder nicht brennbar sein darf. In einem Mehrfamilienhaus ist es z. B. nicht erlaubt, eine Treppe aus Holz zu bauen, da diese im Brandfall dem Feuer nicht lange genug standhalten kann. In der Fachsprache werden die brennbaren Gegenstände als Brandlast bezeichnet. Das Deutsche Institut für Normung e. V. (DIN) entwickelt Normen, die allgemein Anforderungen an technische Geräte, wie z. B. Branddetektoren festlegen. Auch der VdS (Verband deutscher Sachversicherer) prüft die Funktion und Qualität von Branddetektoren. Des Weiteren sind an dieser Stelle noch die Richtlinien des VDE (Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik) und der Feuerwehr zu nennen.

2. Grundlagen und Definitionen

2.1 Brandursachen

Brände haben vielerlei Ursachen, sie können z. B. durch menschliches Fehlverhalten, durch technische Defekte oder in Folge von nicht vorhersehbaren Naturereignissen entstehen. Tabelle 2.1.1 gibt einen Überblick über die häufigsten Brandursachen im Jahr 1998.

Ursache	in Prozent
Blitzschlag	40,7
Sonstiges/Unbekannt	12,8
Selbstentzündung	2,4
Explosion	3,6
Überhitzung	3,5
Offenes Feuer	11,6
Elektrizität	10,3
Menschliches Fehlverhalten	4,1
Feuergefährliche Arbeiten	2,4
Brandstiftung	8,6

Tabelle 2.1.1

Quelle: Arbeitssicherheit durch vorbeugenden Brandschutz
(Arbeitsgemeinschaft der Metall- Berufsgenossenschaften)

Auffallend hoch ist der Anteil der Brände, die durch Blitzschlag entstehen. Rund 10% werden durch den Betrieb elektrischer Leitungen und Geräte verursacht.

2.2 Brandverlauf

Jeder Brand ist durch stoffliche Veränderungen und energetische Vorgänge charakterisiert. Als solcher ist er ein einmaliges, nicht wiederholbares und nicht vorhersagbares Ereignis. Trotzdem lassen sich Brände in bestimmte Klassen einstufen und typische Verläufe feststellen. Bei einem Zimmerbrand lassen sich z. B. in der Regel 5 Phasen erkennen (vgl. Abb. 2.2.a). Während der Zündungsphase (A) steigt die Temperatur langsam an, bis die Zündtemperatur des Brandmaterials erreicht ist. In der Entstehungsphase (B) werden große Mengen an brennbarem CO entwickelt. Die Temperaturen reichen in dieser Phase aus, um naheliegende Gegenstände so stark zu erhitzen, dass charakteristische Gase entstehen. Die dadurch bedingte Erhöhung des Druckes hat zur Folge, dass die Verbrennung bzw. die Brandintensität nicht weiter zunimmt. Druck und Temperatur können allerdings ein Zerplatzen der Fensterscheiben herbeiführen. Durch die plötzliche Sauerstoffzufuhr brennen die Schwelgase an der Decke des Raumes innerhalb weniger Sekunden ab (flash-over, C). Dadurch steigt die Temperatur schlagartig an und alle brennbaren Gegenstände werden entzündet, ohne dass sie in Kontakt mit einer Zündungsflamme treten müssen. Der

Vollbrand (D) ist erreicht und hält so lange an, bis kein brennbares Material mehr vorhanden ist.

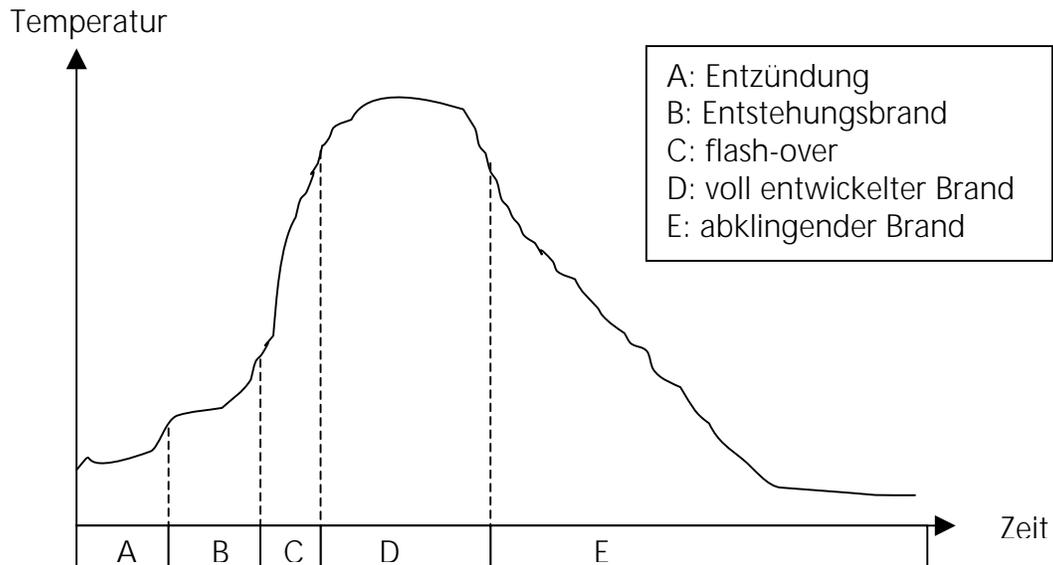


Abb.: 2.2.a

Während der Brandablauf d. h. die Reihenfolge der aufeinander folgenden Phasen A bis E oft gleich ist, sind der zeitliche Ablauf innerhalb dieser Phasen und die entstehenden Temperaturen von vielen Einflussgrößen abhängig. Vor allem die Art und die Verteilung des Brandmaterials in Bezug zur Wärmequelle spielen eine große Rolle. Ebenso wichtig ist die durch Strahlung, Konvektion oder Wärmeleitung zugeführte absolute Energiemenge. Ein Brand kann durch Umgebungsbedingungen wie z. B. Luftzirkulation oder die Wärmeaufnahmefähigkeit der betroffenen Gegenstände beeinflusst werden. Die entstehenden Zersetzungsgase bestimmen je nach Brennbarkeit den weiteren Brandverlauf. Aufgrund der Vielzahl dieser Einflussgrößen ist ein Brandverlauf im Detail nicht vorhersehbar.

2.3 Brandkenngrößen

Für die Detektion von Bränden sind typische Erkennungsmerkmale (Brandkenngrößen) von besonderer Bedeutung. Zu ihnen gehören die entstehenden Brandgase wie z. B. Wasserdampf, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Stickstoffdioxid, Stickstoffmonoxid und viele weitere brennstoffspezifische kohlenstoffhaltige gasförmige Zersetzungsprodukte. Als weitere Kenngrößen sind vor allem physikalische Größen wie z. B. der Temperaturanstieg oder die von einem Brand ausgehende Strahlung anzusehen. Diese Größen sind in der Regel einfacher und schneller zu detektieren als die Vielzahl der möglichen Brandgase. Die Verwendung solcher Größen gestattet daher den Aufbau kostengünstiger Brandmelder. Eine Detektion der spezifischen Gase hat gegenüber der Messung physikalischer

Messgrößen jedoch eine Reihe ganz entscheidender Vorteile. Gelingt es, im Entstehungsbrand materialspezifische Substanzen zu detektieren, so ist eine rasche Identifizierung sowohl des Brandortes als auch der Brandsubstanzen möglich. Hierdurch können die eingeleiteten Löschmaßnahmen schneller und effizienter erfolgen und die Brandschäden möglichst klein gehalten werden. Eine Gasdetektion mit entsprechender Alarmierungseinrichtung bietet darüber hinaus einen zusätzlichen Schutz für betroffene Personen und Einsatzkräfte, da mit ihnen auch Substanzen (Gase) detektiert werden können, die für Menschen gefährlich sind. Von Detektoren, die hauptsächlich nach den physikalischen Kenngrößen eines Brandes detektieren geht ein solcher Schutz nur bedingt oder gar nicht aus. Auf das Detektionsprinzip der Gasmessung wird in Kapitel 4.5 näher eingegangen.

2.4 Glimmtemperatur, Flammpunkt und Zündtemperatur

Die Entstehung eines Brandes wird maßgeblich durch die physikalischen Eigenschaften der Brennstoffe bestimmt. Insbesondere sind Glimmtemperatur, Flammpunkt und Zündtemperatur dieser Stoffe entscheidend. Unter der Glimmtemperatur versteht man die niedrigste Oberflächentemperatur einer freiliegenden erwärmten Fläche, bei der ein darauf abgelagerter Staub zur Entzündung kommt. Der Flammpunkt bezeichnet die Temperatur, bei der unter normalen Umgebungsbedingungen Lösungsmitteldämpfe mit der umgebenden Luft ein durch Fremdentzündung entflammbares Gemisch bilden. Die Zündtemperatur ist die Temperatur, bei der sich unter normalen Umgebungsbedingungen Dämpfe einer brennbaren Substanz in Berührung mit Luft oder einem heißen Gegenstand selbst entzünden können.

Für feste Brennstoffe kann eine genaue Angabe zur Zündtemperatur nicht gemacht werden, da die äußere und innere Beschaffenheit die Formgebung und die Abmessungen fester Brennstoffe starken Einfluss auf den Entzündungsvorgang haben. Bezüglich flüssiger Brennstoffe ist es wichtig zu wissen, dass eine Flüssigkeit nicht selbst brennt, sondern das Dampf-/Luft-Gemisch über dem Flüssigkeitsspiegel. Der Flammpunkt einer solchen Flüssigkeit, bezeichnet die Temperatur, bei der sich so viel Dampf über der Flüssigkeitsoberfläche bildet, dass ein entzündbares Dampf-/Luft-Gemisch entsteht. Dies ist jedoch nicht gleichbedeutend damit, dass sich dieses Gemisch bei dieser Temperatur auch entzündet. Es besteht lediglich prinzipiell die Möglichkeit diese „Flüssigkeit“ ab bzw. oberhalb der Flammpunkttemperatur durch Einwirkung der Zündtemperatur zu entzünden. In Tabelle 2.4.a sind einige wichtige Glimm-, Flammpunkte und Zündtemperaturen aufgelistet.

Feste Brennstoffe	Glimmtemperatur [°C]	Zünd-Temperatur [°C]
Braunkohle	160	420
Holz	200	460
Papier	240	460
Baumwolle	250	480
Flüssige Brennstoffe	Flammpunkt [°C]	Zündtemperatur [°C]
Heizöl	55	220
Benzin	-20 bis 55	240 bis 280
Benzol	-11	555
Alkohol	12	425
Gasförmige Brennstoffe		Zündtemperatur [°C]
Acetylen		305
Butan		365
Methan		595
Wasserstoff		560

Tabelle 2.4.a

2.5 Verbrennungs- und Ausbreitungsgeschwindigkeit

Die Verbrennungsgeschwindigkeit (verbrannte Stoffmenge pro Zeiteinheit) gibt an, wie schnell ein Stoff mit Sauerstoff zu den Verbrennungsprodukten reagiert. Die Geschwindigkeit mit der sich ein Feuer fortbewegt nennt man Ausbreitungsgeschwindigkeit (verbrannte Strecke pro Zeiteinheit). Verbrennungs- und Ausbreitungsgeschwindigkeit sind abhängig vom Verteilungsgrad des brennbaren Stoffes und der Konzentration des Sauerstoffes. Eine Verbrennung in einer reinen Sauerstoffatmosphäre (100 Vol.-% O₂) läuft bedeutend schneller ab als die in normaler Luft (21 Vol.-% O₂). Andererseits nehmen die Geschwindigkeiten stark ab, wenn die Konzentration des brennbaren Stoffes oder des Sauerstoffes verringert wird. Je feiner ein brennbarer Stoff verteilt ist, desto schneller läuft die Verbrennung ab, da der Sauerstoffzutritt sehr gut erfolgen kann. Der Verteilungsgrad eines brennbaren Stoffes wird durch das Verhältnis seiner Oberfläche zu seiner Masse angegeben. Bei Stäuben brennbarer Stoffe oder Dämpfen und Nebel von brennbaren Flüssigkeiten ist dieses Verhältnis sehr groß. Kann in diesem Fall genügend Sauerstoff durch Luftzufuhr bereitgestellt werden und ist eine feine Verteilung in Luft vorhanden, so können sehr große Verbrennungsgeschwindigkeiten erreicht werden. Es baut sich eine Druckwelle auf. Je nach Ausbreitungsgeschwindigkeit dieser Druckwelle unterscheidet man zwischen einer Verpuffung, einer Explosion und einer Detonation (vgl. Tab. 2.5.a)

Reaktion	Ausbreitungsgeschwindigkeit der Druckwelle	Druck	Beispiel	Wirkung
Verpuffung	cm/s	≤ 1 bar	Gemische in der Nähe der Explosionsgrenze	weiche Stichflammen Geräuscheentwicklung, Fensterscheiben werden zerstört
Explosion	m/s	7- 10 bar	günstiges Mengenverhältnis	harte, weitreichende Stichflammen heftiger Knall, Zerstörung von Gebäudeteilen
Detonation	km/s	> 10 bar	vorverdichtete Gemische mit reinem O ₂ , Sprengstoff	äußerst heftiger Knall Totalzerstörung von Gebäuden

Tabelle 2.5.a
Quelle: K. BIRTH 1992

Die Verbrennungsgeschwindigkeit fester Stoffe ist relativ gering, sie steigt mit der Zerkleinerung des Brennstoffes. Bei Gasen ist die Verbrennungs- und Ausbreitungsgeschwindigkeit gegenüber Feststoffen viel höher. In reinem Sauerstoff erreicht der Brand von Wasserstoff eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von etwa 9 m/s (Benzin 30 cm/s, Schwefelkohlenstoff 50 cm/s).

2.6 Brandgase und Brandrauch

Besonders bei Bränden in geschlossenen Räumen erleiden die vom Brand Überraschten häufig Verletzungen durch den entstehenden Rauch. Als Rauch bezeichnet man im Allgemeinen die Dispersion fester, sichtbarer Stoffe in einem Trägergas, d. h. Rauch enthält sowohl die bei einer Verbrennung entstehenden festen Partikel, als auch die Verbrennungsgase, die in Verbindung mit Luft als Trägergas wirken. Gewöhnlich ist der Rauch sichtbar und enthält relativ große Partikel. Es entstehen jedoch auch sehr kleine Partikel, die mit dem Auge nicht mehr wahrgenommen werden können. Treten sie nicht in Verbindung mit großen Partikeln auf, dann ist der Rauch unsichtbar, da die Trägergase (z. B. Luft oder CO₂) ebenfalls in der Regel nicht sichtbar sind. In den kühleren Regionen der Luft können Kondensate einiger Rauchgase entstehen, die in Form von Nebel (fein verteilte Tröpfchen) sichtbar sind, oder die in Form winziger Partikel als Festkörper direkt aus der Gasphase entstehen. Beim Durchgang durch hellen Rauch werden Lichtstrahlen überwiegend reflektiert. Dunkler Rauch absorbiert dagegen den größten Teil des eingestrahnten Lichts. Die Tröpfchen und/oder Partikel in der Luft werden als Aerosole bezeichnet. Sie können sich aneinander anlagern und Mischformen bilden. Es besteht die Möglichkeit, dass sie mit den Rauchgasen zu neuen chemischen Verbindungen reagieren. Wassertröpfchen reagieren z. B. mit Schwefeldioxid (SO₂) zu Schwefeliger Säure (H₂SO₃).

Schon bei einem „normalen Zimmerbrand“ enthält 1 m³ Brandrauch unzählig viele Stoffe, deren genaue Analyse z. Zt. vor Ort unmöglich ist. Aus diesem Grund beschränkt man sich bei der Einschätzung von Brandrauch auf Leitsubstanzen, die qualitativ und quantitativ die Toxizität des Brandrauches maßgeblich beeinflussen (z. B. Kohlenmonoxid und Cyanwasserstoff). Brandrauch kann bereits in geringer Konzentration tödlich sein. In erster Linie hängt seine Toxizität vom Brennstoff, der Brandphase, der Konzentration und der Expositionszeit ab. Tabelle 2.6.a zeigt die Entstehung von charakteristischen Schadstoffen bei verschiedenen Brennstoffen und Brandphasen:

	Entstehungsbrand	Vollbrand	Brandbekämpfung	Abkühlphase	Brand-schutt
Holz, Papier, Zellstoffe	CO, CO ₂ , H ₂ O	CO, CO ₂ , H ₂ O, Aldehyde, Aromate, PAK*, Alkohole, Essigsäure, KW**	CO, CO ₂ , H ₂ O, Aldehyde, Aromate, PAK*, Alkohole, Essigsäure, KW**	Aldehyde, Aromate, PAK*, Alkohole, Essigsäure, KW**	Aromate, PAK*
Wolle, Haare, Federn	CO ₂ , CO, H ₂ O, HCN, SO ₂	CO ₂ , CO, H ₂ O, HCN, SO ₂ , H ₂ S, SO ₂ , Amine, Aromate, PAK*, KW**	CO ₂ , CO, H ₂ O, HCN, SO ₂ , H ₂ S, SO ₂ , Amine, Aromate, PAK*, KW**	Amine, Aromate, PAK*, KW**	Aromate, PAK*
Org. Schwefelverbindung	CO ₂ , CO, SO ₂	CO ₂ , CO, SO ₂ , H ₂ S, Aromate, PAK*, KW**	CO ₂ , CO, SO ₂ , H ₂ S, Aromate, KW**	Aromate, PAK*	Aromate, PAK*
Org. Phosphorverbindung	CO, CO ₂ , H ₂ O, P ₄ O ₁₀	CO, CO ₂ , H ₂ O, P ₄ O ₁₀ , Aromate, PAK*	CO, CO ₂ , H ₂ O, P ₄ O ₁₀ , Aromate, PAK*	Phosphorsäure, Aromate, PAK*	Phosphorsäure, Aromate, PAK*

PAK* (= Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe)

KW** (= Kohlenwasserstoff)

Tabelle 2.6.a

Aus der Färbung und dem Geruch der Rauchgase kann in der Entstehungsphase des Brandes auf ihre Gefährlichkeit geschlossen werden. Helle Rauchgase deuten auf feuchte Brennstoffe (z. B. Holz) hin. Der entstehende Wasserdampf kondensiert in der kühleren Umgebungsluft. Die entstehenden Leitsubstanzen sind in diesem Fall Kohlenmonoxid und Kohlendioxid. Dichter weißer Rauch deutet auf giftige Phosphorgase hin. Hinzu kommt ein laugenartiger Geruch. Schwarze Rauchgase enthalten unverbrannte Kohlenwasserstoffe und fein verteilte Kohlenstoffpartikel (Ruß). Sie entstehen vor allem bei Bränden von Flüssigkeiten und/oder von Kunststoffen. Die Zusammensetzung der schädlichen Stoffe

(Dämpfe und Gase) ist sehr komplex. Rotbraune Rauchgase entstehen bei der Entwicklung von nitrosen Gasen (NO_x). Gelbe Rauchgase sind Anzeichen für das Vorhandensein von Schwefel und/oder schwefelhaltigen Stoffen. Bei einer vollkommenen Verbrennung entsteht farbloses Kohlendioxid. Es wirkt erstickend, da es die Luft und damit den lebensnotwendigen Sauerstoff verdrängt. Darüber hinaus führt es zu einer Hyperventilation durch Erregung des Atemzentrums. Farbloses Kohlenmonoxid entsteht bei einer unvollständigen Verbrennung organischer Stoffe aufgrund von Sauerstoffmangel. Es blockiert die Aufnahme des eingeatmeten Luftsauerstoffes durch das Blut und wirkt schon in geringer Konzentration toxisch. Sichtbehindernder und gesundheitsgefährdender Rauch erschwert die Flucht und macht das Retten und Löschen nur mit Atemschutzgeräten möglich. Ca. 90% aller Brandopfer werden durch eine Rauchvergiftung getötet.

2.7 Brand-Testeinrichtungen

Experimentelle Brand-Testeinrichtungen dienen der Ermittlung und Erfassung brandspezifischer Daten, wie sie in den vorherigen Kapiteln beschrieben wurden. Sie werden benötigt um neue Sensoren mit komplexen Signalverarbeitungsalgorithmen zu entwickeln. Hierzu werden Testbrände unter Realbedingungen in Brandentdeckungslaboratorien durchgeführt. Untersucht werden die Anfangsphasen der Brände, das Ausbreitungsverhalten von Rauch und Brandgasen (mit und ohne Thermik) und das Ansprechverhalten unterschiedlicher Sensorprinzipien. Die messtechnische Erfassung der Brandversuche entspricht den Festlegungen der Europeanorm EN 54. Mit den gewonnenen Daten ist es möglich verschiedene Brandabläufe zu simulieren. Dies ermöglicht eine rechnerische Variation charakteristischer Brandkenngrößen und eine verbesserte Klassifizierung der Brände. Die Alarmsicherheit wird dadurch entscheidend verbessert. Vor allem der Fachbereich Nachrichtentechnik der Universität Duisburg besitzt ein sehr gut ausgestattetes Brandentdeckungslabor und forscht sehr intensiv an neuen Signalverarbeitungskonzepten.

3. Brandmeldertypen

Brandmelder werden im allgemeinen gemäß den vorherrschenden Umgebungsbedingungen eingesetzt. Neben den räumlichen Gegebenheiten, wie z. B. Raumhöhe und Raumgröße erfolgt die Auswahl in erster Linie nach den auswertbaren Brandkenngrößen. Zusätzlich müssen die wahrscheinliche Brandentwicklung in der Entstehungsphase und die möglichen Störgrößen (Rauch, Staub, Wasserdampf, etc.) in dem zu überwachenden Bereich bei der Planung berücksichtigt werden.

Man kann Brandmelder prinzipiell nach der Art ihrer Auslösung (automatisch/ nicht automatisch) unterscheiden. Bei nicht automatischen Brandmeldern erfolgt die Detektion durch den Menschen selbst. Diese Melder dienen nur zur Alarmierung der zuständigen Überwachungseinrichtungen und zur Warnung gefährdeter Personen. Automatische Brandmelder sind in der DIN EN 54-1 folgendermaßen definiert: "Ein automatischer Brandmelder ist der Teil einer Brandmeldeanlage, der mindestens einen Sensor enthält, der mindestens eine geeignete physikalische und/oder chemische Kenngröße zur Erkennung eines Brandes in dem zu überwachenden Bereich ständig, oder in aufeinanderfolgenden Zeitintervallen beobachtet und an eine Brandmeldezentrale weiterleitet. Ob eine Brandmeldung abgegeben oder eine Brandschutzeinrichtung betätigt werden soll, kann im Brandmelder selbst oder in einem anderen Bestandteil der Brandmeldeanlage, z.B. in der Brandmeldezentrale entschieden werden." Dies bedeutet, dass automatische Brandmelder die Räume online überwachen. Je nach Ausführung wird das Ausgangssignal als Information weitergeleitet oder setzt ohne weiteren Zwischenschritte z. B. eine Sprinkleranlage in Gang.

Ein weiteres Unterscheidungskriterium ist die Art des Aufbaus der Brandmelder. Es gibt punktförmige Melder, Mehrpunktmelder und linienförmige Melder. Unter punktförmigen Meldern versteht man jene Melder, die an einem Punkt im Raum plziert sind. Unter Mehrpunktmeldern versteht man die Verknüpfung mehrerer Meldereinheiten die an unterschiedlichen Punkten montiert sind. Lineare Brandmelder sind Melder, die eine Strecke kontrollieren, dies kann sowohl eine optische Strecke, als auch eine Sensorleitung sein. Bei diesen Meldern ist zu beachten, dass sie Informationen integral über die gemessene Strecke liefern und keine Information über den genauen Ort.

Man kann die verschiedenen Meldertypen auch nach physikalischen oder chemischen Brandkenngrößen differenzieren. Zur Detektion einer Kenngröße können unterschiedliche Verfahren eingesetzt werden. Rauch ist beispielweise sowohl von Ionisations-Rauchmeldern als auch von Optischen Rauchmeldern erfassbar. Optische Rauchmelder haben den Nachteil das der Rauch sichtbar sein muss. Ionisations-Rauchmelder können sowohl sichtbaren als auch nicht sichtbaren Rauch detektieren. Die Überwachungsfläche, die je Melder kontrolliert werden kann, ist bei beiden Verfahren etwa gleich groß. Als weitere Brandkenngröße kann eine bereits vorhandene Flamme herangezogen werden. Flammenmelder reagieren auf moduliertes Licht. Die Fläche, die mit dieser Art von Meldern überwacht werden kann, ist etwa fünf mal so groß, wie die von Rauchmeldern und entspricht einem Bereich von bis zu 500 m². Der Nachteil dieser Melder ist die relative späte Detektion der Brände, da in der Entstehungsphase noch keine sichtbare Flamme vorhanden ist. Wärmedifferential- und Wärmemaximalmelder lösen in Abhängigkeit von der Temperatur aus. Der Unterscheid zwischen beiden besteht darin, dass Differentialmelder ansprechen wenn der Temperaturgradient zu hoch ist und Maximalmelder auslösen wenn

eine vorgeschriebene maximale Temperatur erreicht ist. Die meisten Wärmemelder sind Kombinationen aus Wärmemaximal- und Wärmedifferenzialmeldern. Ist der Temperaturanstieg bei einem Brand nicht ausreichend für eine Alarmierung, so löst eine Kombination der beiden Melder trotzdem Alarm aus, wenn die maximal erlaubte Temperatur erreicht ist. Auf die unterschiedlichen physikalischen Vorgänge die einer Detektion zu Grunde liegen wird in Kapitel 4 noch genauer eingegangen. Neben den Meldern, die allgemeine Brandkenngößen erfassen gibt es weiterhin eine Reihe von Spezialmeldern, die für bestimmte Einsatzgebiete wie z. B. besonders gefährdete Bereiche (Chemikalien Lager) konzipiert sind. In Tabelle 3.a sind die charakteristischen Eigenschaften der oben genannten Melder noch einmal kurz gegenübergestellt.

Meldertyp	Auslösekriterium	Überwachungsfläche
Ionisations-Rauchmelder	Rauch sichtbar und unsichtbar	10 bis 100 m ²
Optische Rauchmelder	heller und dunkler Rauch sichtbar	10 bis 80 m ²
Flammenmelder	Moduliertes Licht	bis 500 m ²
Wärmedifferenzialmelder	Temperatur Anstieg	bis 20 m ²
Wärmemaximalmelder	Temperatur Maximal	bis 20 m ²
Druckknopffeuermelder	Handauslösung	keine Überwachungsfläche Montage: z.B. an Fluchtwegen

Tabelle 3.a

Hauptsächlich werden in Brandmeldeanlagen punktförmige Rauch- und Wärmemelder eingesetzt. Die Art des Einsatzes automatischer Brandmelder richtet sich nach den örtlichen Gegebenheiten. In den Vorschriften der DIN bzw. VdS sind entsprechende Hinweise enthalten.

Büro- und Verwaltungsräume sowie saubere Fertigungsräume (Montagen, Prüffelder etc.) werden in erster Linie mit punktförmigen optischen Rauchmeldern oder Ionisationsrauchmeldern überwacht. In größeren sauberen Fertigungsräumen (Montagehallen etc.) werden lineare Rauchmelder eingesetzt. In Fertigungsräumen, in denen mit großer Staub- oder Dunstentwicklung (z.B. Schreinereien, Schweißereien) zu rechnen ist, werden meistens Wärmemelder verwendet. Als sinnvoll kann sich eine "Mischbestückung" mit verschiedenen automatischen Brandmeldern erweisen, so z.B. in Tiefgaragen oder Räumen mit besonderer Brandlast. Ist unsicher welcher Brandmelder für die vorhandenen Umgebungsbedingungen der richtige ist, so ist dies von Fachleuten für den Einzelfall zu ermitteln .

4. Detektionsprinzipien

4.1 Rauchmelder

Der erste Rauchmelder wurde 1894 zum Patent angemeldet. Zur Detektion dienten damals zwei Vögel, die im Brandfall an Rauchvergiftung starben und von der Stange fielen. Erst das Körpergewicht beider Vögel zusammen löste den Alarm aus. Diese "Zwei-Vögel-Abhängigkeit" sollte einem Fehlalarm durch natürlichen Vogeltod vorbeugen. Dieses Prinzip wird heute noch zur Erhöhung der Fehlalarmicherheit eingesetzt. Anstelle der Vögel verwendet man zwei Sensoren und bezeichnet das Verfahren als Zwei-Melder- oder Zwei-Gruppen-Abhängigkeit bekannt.

Rauchmelder werden oft verwendet wenn in der Entstehungsphase mit einem Schwelbrand zu rechnen ist. In einem solchen Fall ist eine starke Rauchentwicklung typisch. Da der Brand ohne sichtbare Flammenstrahlung und mit nur geringer Wärmeentwicklung entsteht, ist ein Rauchmelder hierfür der am besten geeignete Detektor. Auch bei zu erwartender Personengefährdung oder Schäden durch Brandrauch werden bevorzugt Rauchmelder eingesetzt. Die möglichen Brandfolgeprodukte hängen in erster Linie von den beim Bau eines Gebäudes verwendeten Materialien und von den im Brandbereich befindlichen Gegenständen ab. Allgemein kann man sagen, dass alle Kunststoffe sowie sonstige kohlenstoffhaltige Verbundstoffe mit einem Schwelbrand und daher mit einer starken Rauch- aber einer geringen Wärmeentwicklung beginnen.

Die Geometrie der zu überwachenden Räume hat wesentlichen Einfluss auf die Positionierung der Rauchmelder. Hierfür ist die Höhe der Räume genauso maßgebend wie die Ausbildung der Decken. Für Decken mit Unterzügen gelten besondere Planungsrichtlinien. Bei Räumen mit geraden Decken, die nicht höher als 6m sind, kann eine Überwachungsfläche je Melder von 60m² erreicht werden. Dabei darf kein Punkt der Decke weiter als 5,8m von dem nächsten Rauchmelder entfernt sein. Die Zusammenschaltung zweier Melder, wird historisch bedingt (s. o.) als Zwei-Gruppen- oder Zwei-Melder-Abhängigkeit bezeichnet. Die Alarmierung erfolgt in diesem Fall erst dann, wenn von beiden Meldern Rauch detektiert wird. Der Abstand zwischen zwei Meldern muss bei dieser Technik reduziert werden, da theoretisch jeder zweite Melder defekt sein kann, ohne dass Alarm ausgelöst wird. Aus den Vorschriften des VdS geht hervor, dass die genannte Überwachungsfläche je Melder um mindestens 30% zu reduzieren ist. Wird die Zwei-Gruppen- oder Zwei-Melder-Abhängigkeit nicht zur Fehlalarm-Minimierung, sondern zur Ansteuerung von brandschutztechnischen Einrichtungen, wie ortsfesten automatischen Feuerlöschanlagen, verwendet, ist der Überwachungsbereich laut VdS je Melder um 50% zu reduzieren. Handelsüblich werden Ionisations-Rauchmelder und optische Rauchmelder angeboten.

4.1.1 Optische Rauchmelder

Das Messprinzip optischer Rauchmelder konnte in den letzten 20 Jahren so verfeinert werden, dass die Detektionsgenauigkeit mit den im Anschluss erläuterten Ionisations-Rauchmeldern vergleichbar wurde. Als optische Rauchmelder werden Streulicht- und Durchlichtrauchmelder angeboten.

4.1.1.1 Streulichtrauchmelder

Streulichtrauchmelder bestehen aus einer Kammer, in der eine Leuchtdiode und eine Photozelle so angeordnet sind, dass das von der Fotodiode ausgestrahlte Licht im Normalfall nicht in den Empfangsbereich der Photozelle gelangen kann (vgl. Abb. 4.1.1.1.a u. 4.1.1.1.b). Das Material, mit dem die Oberfläche der Innenseite ausgekleidet ist, ist so beschaffen, dass auftreffendes Licht nicht reflektiert wird. Die Kammer verfügt über Öffnungen, durch die die Umgebungsluft über Konvektion ins Innere gelangen kann. Werden mit der Luft Rauchpartikel in die Messkammer transportiert, so wird das von der Diode ausgesandte Licht an den Rauchpartikeln reflektiert. Das dadurch entstehende Streulicht gelangt in den Empfangsbereich der Photozelle. Um eine Fehlalarmierung durch kurzzeitiges Auftreten von Rauchpartikeln zu verhindern, wird der Messvorgang in kleinen Zeitintervallen wiederholt. Erst wenn auch bei nachfolgender Messung eine Belastung der Umgebungsluft durch Rauchpartikel festgestellt wird, löst der Melder Alarm aus.

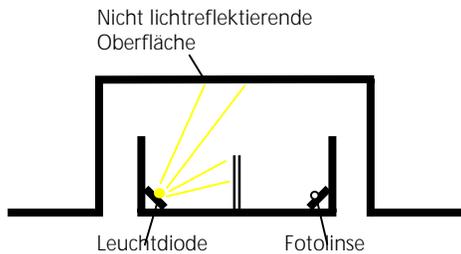


Abb. 4.1.1.1.a

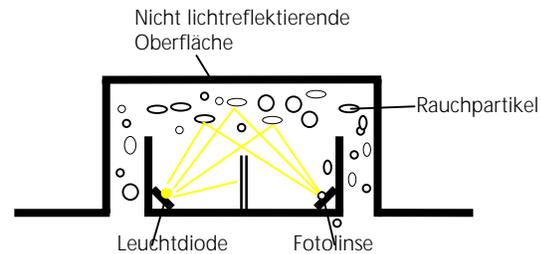


Abb. 4.1.1.1.b

Streulichtrauchmelder eignen sich am besten zur Detektion größerer heller Partikel. Bei kleinen, bzw. nichtreflektierenden (absorbierenden) Partikeln kann es vorkommen, dass diese nicht registriert werden. Brände mit dunkler Rauchentwicklung werden aus diesem Grund von Streulichtmeldern schlecht detektiert. In Bereichen mit hoher Staubbelastung kann es vorkommen, dass der in die Messkammer eingedrungene Staub eine Fehlalarmierung zur Folge hat. Streulichtmelder sind am besten zur Detektion von Bränden mit hellem Rauch geeignet.

Das von den Rauchpartikeln gestreute Licht wird in Abhängigkeit von der Größe der Partikel und der verwendeten Wellenlänge unterschiedlich stark in Vorwärts- bzw. Rückwärtsrichtung gestreut (vgl. Abb. 4.1.1.1.c). Bei kleinen Partikeln ($d < \lambda$) sind die Intensitäten in beiden Richtungen annähernd gleich stark. Je größer die Partikel werden, umso mehr nimmt die Komponente in Vorwärtsrichtung zu. Dunkler Rauch besteht in der Regel aus sehr kleinen Russpartikeln zwischen 5nm und 500nm. Heller Rauch dagegen enthält überwiegend fein verteilte Wassertröpfchen (Nebel) zwischen 1 μ m und 10 μ m. Staubpartikel liegen in der Größenordnung von 10 μ m bis 200 μ m. Ist der Detektor in Vorwärtsrichtung angeordnet, so werden überwiegend große (helle) Partikel registriert (s. o.). Ist der Detektor in Rückwärtsrichtung angeordnet, so werden kleine und große Partikel (heller und dunkler Rauch) gleich gut erkannt. Allerdings ist die Intensität der zurückgestreuten Strahlung relativ gering und erfordert sehr empfindliche Detektoren.

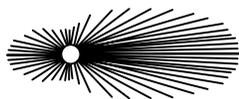
Verhältnis	Art der Streuung	Abstrahlcharakteristik
$d < \lambda$	Rayleigh- Streuung	Gleichmäßig, $1 + \cos\Theta$, wichtig im UV- und blauen Spektralbereich, da Streuamplitude $\sim 1/\lambda^4$
$d = \lambda$	Mie- Streuung	In Vorwärts- und Rückwärtsrichtung
$d > \lambda$	Mie- Streuung	Primär in Vorwärtsrichtung

Rayleigh- Streuung



Lichtstreuung an Partikeln mit $d < \lambda$

Mie- Streuung



Lichtstreuung an Partikeln mit $d = \lambda$

Mie- Streuung



Lichtstreuung an Partikeln mit $d > \lambda$

Abb.4.1.1.1.c

4.1.1.2 Durchlichtrauchmelder

In einem Durchlichtrauchmelder sind Lichtquelle und Photozelle gegenüberliegend montiert. Die Intensität des von der Lichtquelle ausgesendeten Lichtes wird von der Photozelle registriert. Gelangen Rauchpartikel in den Lichtstrahl wird dieser geschwächt, oder gar gebrochen. Wenn die Intensität des Lichtstrahles unter eine vorher festgelegte Grenze sinkt, findet eine Alarmierung statt. Zur Verbesserung der Fehlalarmicherheit sind die meisten Melder mit einer Vergleichskammer ausgestattet, durch die ebenfalls ein Lichtstrahl gelenkt wird. Im Gegensatz zu der ersten Kammer ist sie jedoch von der Umgebungsluft isoliert (vgl. Abb. 4.1.1.2.a). Dadurch ist gewährleistet, dass eine Schwächung des Lichtsignals, hervorgerufen durch Alterung oder Verschmutzung der Diode, nicht zu einer Alarmierung führt.

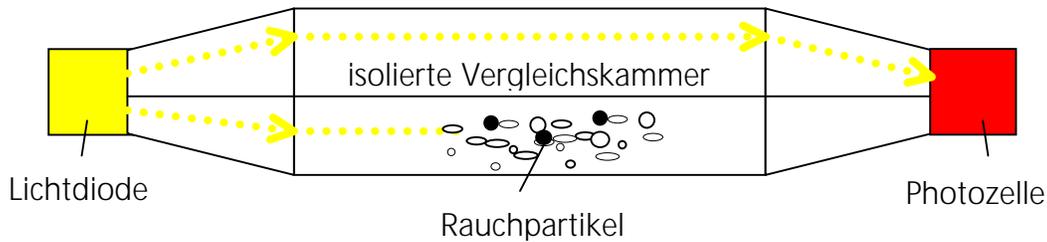


Abb. 4.1.1.2.a

Da Durchlichtrauchmelder sowohl auf die Streuung als auch auf die Absorption von Licht reagieren, eignen sie sich für alle Brände mit sichtbarer Rauchentwicklung. Die Gefahr einer Fehlalarmierung durch hohe Staubbelastung besteht auch bei diesen Meldern. Allen optischen Rauchmeldern gemeinsam ist die Unempfindlichkeit gegen Luftströmungen, sie können in Luftkanälen mit Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu 20m/s verwendet werden. Ionisationsrauchmelder hingegen können nur bei Luftgeschwindigkeit von bis zu 5m/s verwendet werden.

4.1.1.3 Linienförmige optische Rauchmelder

Das Funktionsprinzip linienförmiger Rauchmelder entspricht dem Durchlichtprinzip aus Kap. 4.1.1.2. Im Gegensatz zu den Durchlichtrauchmeldern befindet sich der Strahlengang nicht in einer Messkammer sondern geht quer durch den zu überwachenden Raum. Linienförmige optische Rauchmelder bestehen aus einem Sender und einem Empfänger, die gegenüberliegend montiert sind. Der Sender strahlt Licht im infraroten Bereich aus, dessen Intensität vom Empfänger registriert wird. Durch Rauch im Strahlengang wird die Intensität des Signals reduziert. Sinkt die Intensität des Strahls unter eine vorher festgelegte Mindestgrenze, löst das System Alarm aus. Die allgemeine Funktionsweise von linienförmigen optischen Rauchmeldern ist in Abbildung 4.1.1.3.a verdeutlicht. Diese Melder sind in der Lage sowohl loderndes als auch schwelendes Feuer zuverlässig zu erkennen.

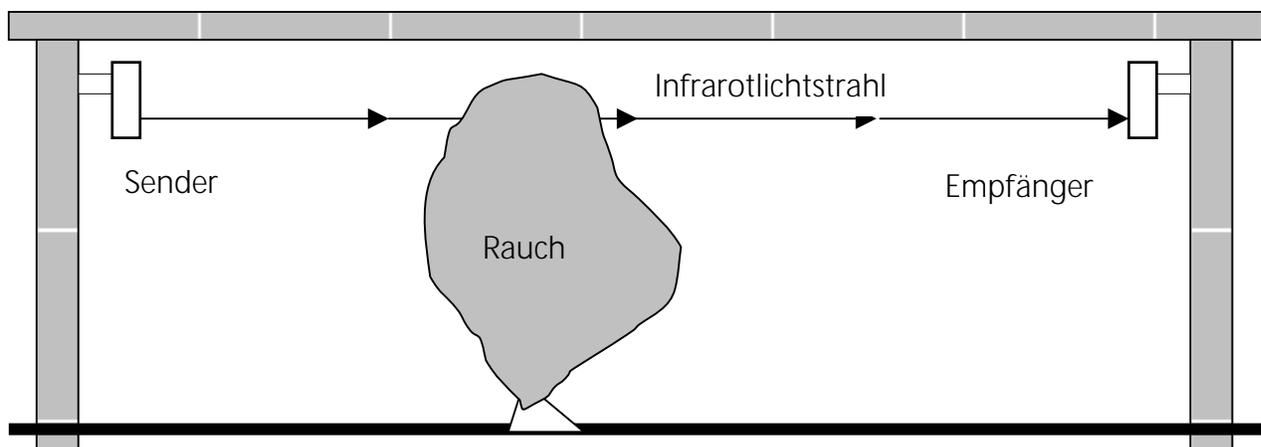


Abb.: 4.1.1.3.a

Mit handelsüblichen linienförmigen Rauchmeldern können Räume bis zu einer Breite von 100m überwacht werden. Sie kommen hauptsächlich dort zum Einsatz wo punktförmige Melder auf Grund zu hoher oder offener Gebäude keinen ausreichenden Schutz gewährleisten können. Bei vorschriftsmäßiger Montage kalibrieren sich linienförmige optische Rauchmelder immer wieder selbst. Staub und Schmutz auf den Linsen wird selbstständig kompensiert. Sie sind daher relativ sicher gegenüber einer Fehlalarmierung.

4.1.2 Ionisations-Rauchmelder

Ionisations-Rauchmelder waren die ersten Sensoren, die zuverlässig Rauch detektieren konnten. Das bereits 1940 von Jaeger/Meili in der Schweiz serienreif entwickelte Verfahren konnte bereits Rauchpartikel ab einer Größe von $0,5\mu\text{m}$ erfassen. Bei Ionisations-Rauchmeldern wird die Umgebungsluft zwischen zwei Elektroden in einer Messkammer in positiv und negativ geladene Ionen mit Hilfe eines schwach radioaktiven Präparates (^{241}Am oder ^{226}Ra (Alphastrahler)) aufgespalten. Es entsteht ein geringer Stromfluss zwischen den Elektroden (vgl. Abb. 4.1.2.a). Gelangen Verbrennungsprodukte wie Rauch oder Aerosole in die Messkammer, so lagert sich ein Teil der Ionen an die viel schwereren Verbrennungsteilchen an. Diese Anlagerung beeinflusst den bestehenden Stromfluss negativ. Die angelagerten Partikel verursachen aufgrund ihrer Größe und Schwere, dass weniger Ladungen pro Zeiteinheit von einer Elektrode zur anderen wandern (vgl. Abb. 4.1.2.b). Sinkt der Strom unter ein vorher festgelegte Grenze löst das System Alarm aus.

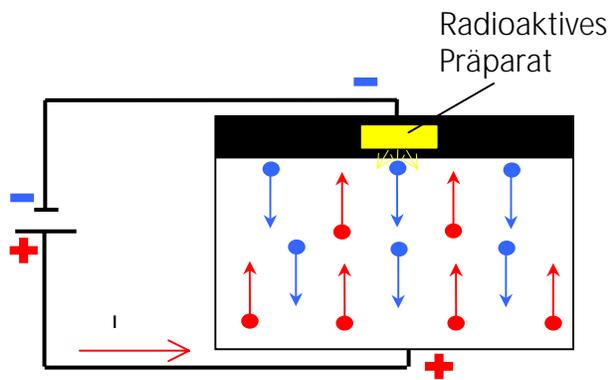


Abb. 4.1.2.a

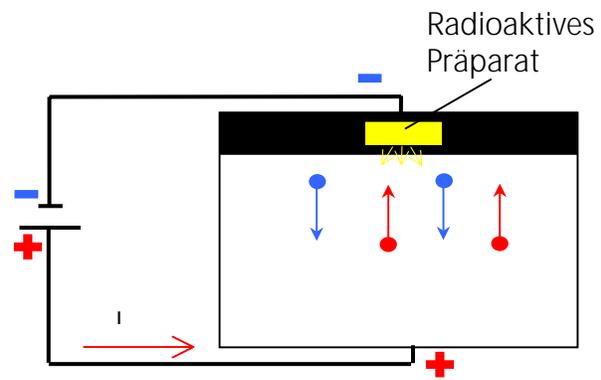


Abb. 4.1.2.b

Mit Ionisations-Rauchmeldern können kleinste Aerosole (wie sie bei offenen Bränden entstehen) unabhängig von ihrer Farbe erfasst werden. Sie sind für alle rauchenden Brände geeignet. Allerdings besteht die Gefahr der Auslösung von Fehlalarmen durch Staubpartikel. Auch in den Fällen, in denen bei optischen Rauchmeldern die Gefahr einer Fehlalarmierung - verursacht durch starke Staubbelastung - zu hoch ist, kommen Ionisations-Rauchmelder zum Einsatz. Staubpartikel, wie sie z. B. in einer Schreinerei anfallen, sind durch ihre Größe und ihr Gewicht nicht in der Lage, sich an die Ionen anzulagern und verändern so den Ionenstrom nicht. Der Messwert wird nicht verfälscht. In solchen Anwendungen ist jedoch darauf zu achten, dass der Melder in regelmäßigen kurzfristigen Abständen gereinigt wird. Der Staub beeinflusst zwar nicht das

Detektionsverhalten des Melders, er kann sich jedoch im Einströmungsbereich der zu überwachenden Luft so lange ansammeln, bis die unzureichende Luftzufuhr die Funktion des Melders beeinträchtigt.

4.2 Wärmemelder

Wärmemelder detektieren mit Hilfe von Temperatursensoren Temperaturmaxima bzw. Temperaturgradienten. Der Ausdruck Wärmemelder ist an dieser Stelle etwas irreführend, da Wärme physikalisch gesehen mit Energie gleichzusetzen ist. Diese Melder müssten physikalisch gesehen Temperaturmelder heißen. Handelsüblich werden Wärmemelder als **Wärmemaximal-** und als **Wärmedifferential-**melder angeboten.

Wärmemaximalmelder lösen dann aus, wenn die definierte Maximaltemperatur überschritten wird (gemäß DIN EN 54-5: 57°C). Wärmemaximalmelder sind besonders gut geeignet, wenn die Temperaturen betriebsbedingt stark schwanken, im Arbeitsablauf Rauch oder andere Aerosole auftreten und mit einem schnellen Brandverlauf zu rechnen ist. Ältere Ausführungen von Wärmemaximalmeldern waren mit Schmelzlot oder Bimetallfedern ausgestattet. Im Brandfall schmolz das Lot (bzw. verbog sich die Bimetallfeder) bei einer vorher definierten Maximaltemperatur und unterbrach einen stromführenden Kontakt, wodurch ein Alarm ausgelöst wurde. Eine digitale Datenverarbeitung zur Eingliederung in eine Brandmeldeanlage war zu dieser Zeit nicht möglich. Moderne Wärmemelder arbeiten heute ausschließlich mit NTC- Widerständen, die ihren Widerstand bei Temperaturanstieg verringern. Eine eingebaute Elektronik verarbeitet diese Information und löst im Bedarfsfall einen Alarm aus.

Wärmedifferenzialmelder sprechen an, wenn die Änderungsgeschwindigkeit der gemessenen Temperatur einen bestimmten Wert während einer genügend langen Zeit überschreitet (6-10 K/min). Sie sind gut geeignet, wenn im normalen Arbeitsablauf Rauch oder andere Aerosole auftreten, im Brandfall aber mit einem offenen und schnell ablaufenden Brand zu rechnen ist.

Die meisten Wärmemelder sind Kombinationen aus Wärmemaximal- und Wärmedifferenzialmeldern. In dem unteren Temperaturbereich wird der Gradient der Temperaturentwicklung ausgewertet. Steigt die Temperatur jedoch so langsam, dass der Gradient nicht zur Alarmierung hinzugezogen werden kann, wird nach Erreichen eines Maximalwertes trotzdem Alarm gegeben. Wärmemelder sind in der DIN EN 54 Teil 5, 6 und 8 beschrieben. Wärmemaximal- als auch Wärmedifferenzialmelder eignen sich besonders gut, wenn schon in der Entstehungsphase mit einem offenen Brand und schneller Brandentwicklung, d. h. mit starker Hitzeentwicklung und Thermik zu rechnen ist. Auch in Bereichen in denen besondere Störgrößen vorhanden sind, zeichnen sich Wärmemelder durch eine hohe Unempfindlichkeit gegen Dämpfe, wie z.B. kochendes Wasser, Staub und ähnliche Verschmutzungen aus.

4.3 Linienförmige Wärmemelder

Im Gegensatz zu linienförmigen optischen Rauchmeldern arbeiten linienförmige Wärmemelder mit einem durchgehend wärmeempfindlichen Kabel oder einem Kupferrohr. Unter Berücksichtigung der maximalen Umgebungstemperatur und der Sensorlänge kann mit Hilfe der (durch die Temperaturänderung hervorgerufenen) Widerstandsänderung der Sensorleitung oder der mechanischen Längenänderung des Kupferrohres eine zuverlässige Alarmierung gewährleistet werden. In manchen Ausführungen werden auch fiberoptische Wellenleiter eingesetzt, die thermisch bedingte Veränderungen der Lichtreflexion im Wellenleiter erfassen. Linienförmige Wärmemelder werden (wie die meisten anderen linienförmigen Meldesysteme) zur Überwachung von mittleren und großen Objekten verwendet. Neben der frühzeitigen Erkennung von Bränden und Überhitzungen eignen sie sich auch zum Einsatz in beengten Raumverhältnissen und rauen Umgebungsbedingungen.

Werden die Melder in einer Gruppe zusammengefasst kann die Gesamtlänge der Sensorkabel bis zu 1,5 km betragen. Pro Auswerteeinheit können bis zu 300 m Sensorkabel verlegt werden. Um das System an die vorhandenen Umgebungsbedingungen anzupassen stehen drei verschiedene Sensorkabel zur Verfügung. Das erste kommt bei "normalen" Umgebungsbedingungen (21°C und 35% r. F.) zum Betrieb, es ist aber auch für den Einsatz in hoher Luftfeuchtigkeit geeignet. Typ 2 ist mit einem Nylonüberzug versehen, der es ermöglicht die Sensorkabel in aggressiven Atmosphären einzusetzen. Der Nylonüberzug ist z. B. resistent gegen Säuren und Basen. Typ 3 der Sensorleitungen ist von einem Stahlgeflecht umgeben. Es verhindert, dass Zugkräfte auf das eigentliche Sensorkabel einwirken. Auf diese Art und Weise können z. B. tragende Stahlseile überwacht werden.

4.4 Flammenmelder

Das physikalische Detektionsverfahren, mit dem Flammenmelder einen Brand erkennen, basiert auf einem charakteristischen Flackern der Flammen in einem Frequenzbereich von etwa 5 - 20Hz. Auch die Wärmestrahlung die von einem offenen Feuer ausgeht kann registriert werden. In diesem Fall wird mit Hilfe einer Photozelle oder einem lichtempfindlichen CCD- Chip die von einem Brand emittierte Strahlung gemessen. Flammenmelder werden laut EuropaNorm in Abhängigkeit von der Wellenlänge der Strahlung in IR- und UV- Flammenmelder eingeteilt. Erhältlich sind Kombinationsmelder, die mit mindestens zwei Detektionselementen ausgerüstet sind, die auf die unterschiedlichen Wellenlängenbereiche ansprechen. Flammenmelder kommen dort zum Einsatz, wo Rauchmelder aufgrund ständig hoher Rauchbelastung nicht eingesetzt werden können. Sind unter normalen Betriebsbedingungen permanent hohe Temperaturen vorhanden, so können auch in diesem Fall Flammenmelder eingesetzt werden, da Wärmemelder nur bis 57°C verwendet werden können (lt. DIN EN 54-5).

4.5 Gasmelder

Erste Ideen zur Verbesserung von Brandmeldern mit Hilfe von Gassensoren entstanden schon vor fast 25 Jahren. Obwohl zahlreiche Gassensoren erhältlich sind, konnten sie sich in der konventionellen Brandmeldetechnik als ausschlaggebende Signalgeber bislang nicht durchsetzen. Sie werden z. Zt. hauptsächlich im Verbund mit herkömmlichen Brandmeldern eingesetzt, um deren Fehlalarmsicherheit zu verbessern. Gründe dafür sind unter anderem der hohe Strombedarf, die Querempfindlichkeiten, mangelnde Langzeitstabilität und der relativ hohe Anschaffungspreis.

Die Vielzahl der unterschiedlichen Brandgase erfordert verschiedene Gassensoren. Als typische Brandgase werden neben Wasserdampf und Kohlendioxid vor allem Kohlenmonoxid, Stickstoffdioxid, Stickstoffmonoxid, Wasserstoff und diverse kurzkettige Kohlenwasserstoffe identifiziert. Zur letzten Kategorie gehören unverbrannte Pyrolysefragmente (wie zum Beispiel Amide) oder ungesättigte flüchtige Kohlenwasserstoffe. Jeder Brand erzeugt unterschiedliche Brandgase und verschiedene Brandgasgemische. Sowohl die Information über die Art der Brandgase als auch über ihre prozentuale Zusammensetzung gestattet Rückschlüsse auf die Brandart und das Brandmaterial. Mit diesen Informationen ist eine gezielte Brandbekämpfung möglich. Man kann hauptsächlich sechs Verfahren in der Detektion von Gasen unterscheiden, die aufgrund des finanziellen und gerätetechnischen Aufwandes bislang nur teilweise zur Detektion von Brandgasen geeignet sind.

4.5.1 Elektrochemische Sensoren

Man unterscheidet bei elektrochemischen Zellen prinzipiell drei Meßmethoden: Konduktometrie, Potentiometrie und Amperometrie.

Der bekannteste Sauerstoffsensor ist die Lambda-Sonde aus Zirkondioxid die im Abgasstrom von Autos eingesetzt wird. Auch im Bereich der Müllverbrennung wird diese Sonde meist amperometrisch betrieben. Das Meßgas wird mit konstanter Geschwindigkeit in die Meßkammer eingeleitet und an der Arbeitselektrode umgesetzt. Der einsetzende Diffusionsstrom ist im Arbeitspunkt der Zelle proportional zur anliegenden Konzentration. Neben Sauerstoff können auf diese Weise auch Kohlenmonoxid und Stickstoffoxide nachgewiesen werden.

Mit Hilfe der Konduktometrie lassen sich z. B. Schwefeldioxid und HCl bestimmen. Das Probengas wird kontinuierlich mit einer Wasserstoff-Peroxid-Lösung in Berührung gebracht. Dabei wird die im Probengas enthaltene Meßkomponente absorbiert und enthaltenes Schwefeldioxid zu Schwefelsäure oxidiert, während HCl direkt in Wasser dissoziiert. Die hierdurch verursachte Änderung der elektrischen Leitfähigkeit der Reaktionslösung ist ein direktes Maß für die Schadgas-Konzentration des Probengases.

Das potentiometrische Prinzip wird z. B. bei der Detektion von anorganischen Chlor- oder Fluor-Verbindungen eingesetzt. Hierbei wird die Probe mit einer Pufferreagenz vermischt, um die Ionenkonzentration zu stabilisieren und eventuelle Querempfindlichkeiten zu beseitigen. Dann gelangt sie in eine Meßzelle, deren Temperatur mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1^\circ\text{C}$ thermostatisiert wird. Zwischen Meß- und Referenzelektrode wird eine elektrische Spannung gemessen, aus der ein Computer die Konzentration errechnet.

Durch spezielle Arbeitspotenziale, über die Einbringung selektiver Sperrschichten und die Auswahl geeigneter Elektroden und Elektrolyten, können die Eigenschaften der Elektrochemischen Zellen so gewählt werden, dass eine stoffspezifische Detektion möglich ist. Querempfindlichkeiten zu Gasen aus gleichen Stoffgruppen oder Gasen mit ähnlichem elektrochemischem Potenzial können aber nie vollständig eliminiert werden. Zudem muss die Temperaturabhängigkeit der Diffusionsprozesse berücksichtigt werden. Für präzise Messungen sind zusätzlich regelmäßige Kalibrierungen durch Eichgase und Nullpunktabgleiche notwendig. Die Lebensdauer der elektrochemischen Zellen mit Flüssigelektrolyten ist durch die Beschaffenheit des Elektrolyten begrenzt. Durch Austrocknen oder auch durch Verbrauch des Elektrolyten werden die Zellen bei normalen Bedingungen nach einem Zeitraum von etwa 1 Jahr unbrauchbar. Unter extremen Bedingungen (geringe Luftfeuchte, hohe Temperaturen, hohe Gaskonzentrationen, usw.) sind die Betriebszeiten sogar wesentlich geringer.

4.5.2 Halbleitende Gassensoren

Halbleitergassensoren bieten heute eine kostengünstige Möglichkeit zum Nachweis von Umweltschadgasen. Als Signal wird vorwiegend die Änderung der Oberflächen- oder Volumenleitfähigkeit genutzt. Als gassensitive Schichten dienen oxidische Materialien (z.B. SnO_2 , WO_3 , Ga_2O_3 , Fe_3O_4 , SrTiO_3 , BaTiNbO_3 , CeO_2) bei Arbeitstemperaturen von 100°C bis 750°C und organische Materialien (z.B. Phthalocyanin, Polypyrole) bei Temperaturen von 80°C bis 200°C . Die Arbeitstemperatur wird über eine elektrische Heizung eingestellt. Durch geeignete Variationen der Materialien (z. B. Dotierung mit Platin oder Palladium) können die Materialcharakteristiken auf einzelne Gase optimiert werden. Hohe Empfindlichkeiten bis in den ppb- Bereich lassen sich auf diese Weise für den Nachweis einzelner Gase erzielen. Neben dem Einfluss der Luftfeuchte auf die Empfindlichkeit tragen Querempfindlichkeiten zu unerwünschten Leitfähigkeitsänderungen bei. Halbleitende Sensoren sind zur Zeit nur für spezielle Anwendungsfälle optimiert. Ein universeller Einsatz ist noch nicht möglich. Jeder einzelne Sensor benötigt eine hohe Heizleistung. Da häufig mehr als hundert Meldereinheiten über eine Melderprimärleitung mit Energie versorgt werden, ist es nicht möglich eine Vielzahl von Sensorarrays mit halbleitenden Sensoren zur Brandmeldung einzusetzen.

4.5.3 Massensensitive Sensoren

Bei massensensitiven Sensoren unterscheidet man zwischen Quartz- Mikro- Balance (QMB)- und Surface- Acoustic- Wave (SAW)-Sensoren. Beide Sensorprinzipien nutzen die Adsorptions- und Absorptionsprozesse gassensitiver Schichten aus und wandeln die Veränderungen der Schichtmasse in ein Messsignal um. QMB- Sensoren erzeugen für die Schichtmessung Dicken- und Scherschwingungen mit charakteristischen Resonanzfrequenzen. Dazu werden auf den Seiten eines piezoelektrischen Blättchens (beispielsweise Quarz) Elektroden angebracht, die durch Anlegen einer Wechselspannung die Dicken- Scherschwingungen induzieren. Die resultierende Resonanzfrequenz der Dicken- Scherschwinger hängt von der Dicke des piezoelektrischen Materials ab.

Grundfrequenzen von 4 bis 20 MHz sind bei heutigen Bauteilen üblich. Die Alarmierung erfolgt in diesem Fall bei einer Änderung der Resonanzfrequenz. Für die Messung der Schichteigenschaften bei SAW- Sensoren werden akustische Oberflächenwellen eingesetzt. Diese werden mit Hilfe von Interdigital Transducern (IDT) auf einem piezoelektrischen Substrat (z. B. Quarz, ZnO oder Lithiumniobat) in elektromagnetische Wellen umgewandelt. Durch den Betrieb eines IDT im Wechsellspannungsmodus und dem daraus resultierenden elektrischen Feld wird aufgrund des reziproken piezoelektrischen Effektes ein mechanisches Spannungsmuster geprägt. Bei entsprechender Auswahl der Substrateigenschaften führt dies zur Ausbildung der akustischen Oberflächenwellen. Die erzeugten akustischen Wellen breiten sich entlang der Oberfläche des Substrats aus und durchlaufen eine mit einer gassensitiven Schicht belegte Messfläche, bevor sie an einer IDT- Empfängerstruktur wieder in ein elektrisches Signal umgewandelt werden. Die Resonanzfrequenzen der SAW hängen dabei im wesentlichen vom verwendeten piezoelektrischen Material und den Elektrodenabständen der IDT ab. Die Grundfrequenzen gängiger Bauelemente reichen von 100 MHz bis in den unteren GHz- Bereich. Die Änderung der Resonanzfrequenzen bei Massenbeladung lässt sich bei SAW- Sensoren, unter Vernachlässigung der Materialeigenschaften der sensitiven Schichten beschreiben. Durch die wesentlich höheren Grundfrequenzen von SAW- Sensoren gegenüber QMB- Sensoren ist ein größerer Frequenzhub möglich. Da die Zunahme des Signalrauschens wesentlich geringer ausfällt, ergeben sich bei gleichen Schichtmaterialien und gleicher Schichtdicke höhere Empfindlichkeiten für SAW- Sensoren bzw. für Sensoren mit höheren Grundfrequenzen. Nachweisgrenzen bis in den ppb- Bereich sind bei SAW- Sensoren möglich. Die Auswahl geeigneter chemisch sensitiver Schichtmaterialien spielt für die massensensitiven Sensoren eine zentrale Rolle. Als sensitive Schichten eignen sich ganz besonders Polymere. Neben der Schichtherstellung mit Methoden, wie Spin-, Spray- oder Dropcoating, können Polymere für höhere Selektivitäten modifiziert werden. Das Anpflanzen funktioneller Gruppen ermöglicht die Anpassung der Schichten auf unterschiedliche Stoffgruppen. Das Einbringen sogenannter Hohlräumoleküle für Wirt-Gast-Komplexe bietet weitere Möglichkeiten für die Herstellung selektiver Sensorschichten. Diese Form der Anpassung erfordert jedoch (zur Reduzierung des synthetischen Aufwands) Methoden zur Molekülmodellberechnung. Eine Auswahl möglicher SAW- Schichten für die Gasdetektion ist in Tab. 4.5.3.a dargestellt: Massensensitive Schichten zur Detektion von Gasen müssen in der Praxis noch ihre Einsatzmöglichkeit zeigen. Technische Schwierigkeiten, wie z.B. die Korrosion der Substratstrukturen, reproduzierbare Herstellung der Sensorschichten, sind noch nicht vollständig gelöst. Auch die Kosten für die Primärelektronik sind relativ hoch, so dass sich hohe Anschaffungskosten ergeben.

Gasart	Chemische Schicht
H ₂ O	Polyimide (PI), Polyethyleneimine (PEI), Polyphenylacetylene (PPA), Phthalocyanine sodium sulfanate
CO ₂	PEI
NO ₂	Fe-Phthalocyanin, Cu-Phthalocyanin
Pentane	Polyisobutylene
Octane	Polydimethylsiloxane
Methanol	Phosphatidylethanolamine (PE), Phosphatidylcholine (PC)
Ethanol	PE, PC, Hydroxybutylmethylcellulose
Toluene	Ethylene-vinyl acetate copolymer
Benzene	A paracyclophane
Menthone	Asolectin, PE, PC, Stearic acid

Tabelle 4.5.3.a: Schichten zur Gasdetektion mit massensensitiven Sensoren

4.5.4 Sensoren mit Farbreaktionen (Optochemische Sensoren)

Bei Farbreaktionsmessungen macht man sich die Eigenschaft chemisch reaktiver Substanzen zunutze, die durch die Reaktion mit einem bestimmten Gas einer farblicher Änderung unterliegen. Aus der Chemie sind die nötigen Substanzen und die ablaufenden Reaktionen gut bekannt. Entsprechende Reaktionsschichten können deshalb definiert und mit hoher Stoffselektivität hergestellt werden. Eventuelle Querempfindlichkeiten sind meist sehr genau spezifiziert. Dieses Prinzip wird bei kontinuierlich arbeitenden Messgeräten eingesetzt. Bei den optochemischen Sensoren führt die Wechselwirkung bestimmter Gase mit der Sensorschicht zu einer Änderung der Absorption, Reflexion oder Fluoreszenz. Die Änderung der Schichtparameter kann mit Hilfe einer photometrischen Einheit kontinuierlich überwacht werden. Im einfachsten Fall besteht diese photometrische Einheit aus einer Leuchtdiode als Sender und einer Photodiode als Empfänger. Erweiterte Prinzipien kompensieren über eine Referenzstrecke (z.B. weitere Photodiode) mögliche Drift- und Fremdlichteinflüsse. Die optochemischen Schichten werden für die Gasdetektion auf hochtransparenten Trägermaterialien aufgebracht. Es lassen sich sehr kostengünstige Messsysteme mit geringer Stromaufnahme (2-50mA) realisieren. Die Empfindlichkeiten der bisher möglichen Sensorschichten reichen bis in den ppb- Bereich. Unterschiedliche Schichten sind zur Zeit nur in begrenzter Anzahl verfügbar. Auch die chemische Stabilität

der einzelnen Schichten ist noch nicht gewährleistet. Die Ansprechzeiten der einzelnen Schichten reichen von 1 min bis 15 min. Ihre Lebensdauer liegt maximal bei fünf Jahren. Auch bei diesem System ist die allgemeine Störanfälligkeit optischer Systeme zu beachten.

4.5.5 Infrarotsensoren (Ultraviolettsensoren)

Prinzipiell lassen sich Gase mit infraroter Strahlung durch charakteristische IR-Absorption oder mit Nicht-Dispersiver-IR-Strahlung nachweisen. In einigen Fällen wird auch der ultraviolette Bereich benutzt, da bestimmte Gase nur in diesem Bereich auswertbare Spektren besitzen.

Die Methode der IR-Absorption beruht darauf, dass einige Gase nach dem Lambert-Beer'schen Gesetz ein charakteristisches Absorptionsspektrum im infraroten Bereich besitzen. Ein IR-Spektrometer besteht aus einer IR-Lichtquelle, einem Interferometer zur Selektion charakteristischer Wellenlängen, der Probenkammer und einem IR-Detektor. Durch IR-Strahlung werden Probenmoleküle mit Dipolmomenten zum Schwingen innerhalb der Molekülstruktur angeregt. Anhand der in Resonanz absorbierten Strahlung lässt sich auf den Aufbau des Moleküls schließen. Die real aufgezeichneten Spektren werden mit den charakteristischen Spektren nach Art und Intensität verglichen. Ein Rechner berechnet anschließend die resultierenden Gase und dazugehörigen Mengen. Angewendet wird die IR Absorption bei Ammoniak, anorganischen gasförmigen Chlorverbindungen, Feuchte, Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid, und Stickstoffoxid. Mit UV Absorption können Ammoniak, Feuchte, Formaldehyd, Quecksilber, Schwefeldioxid und Stickstoffoxide gemessen werden. Beim NDIR Verfahren wird nichtdispersive infrarote Strahlung gehoppert durch eine Messküvette mit der Gasprobe geleitet und tritt anschließend in eine Kammer ein, die das Referenzgas in einer bestimmten Konzentration enthält. Je stärker die Gaskomponente in der Gasprobe vorhanden ist, um so mehr Strahlung wird absorbiert. Die restliche Strahlung wird in die eigentliche Messkammer geleitet, die mit einer bestimmten Konzentration des auszumessenden Gases gefüllt ist. Die Absorption der verbleibenden Strahlung in dieser Kammer ist mit einer Erwärmung und daher mit einer Ausdehnung verbunden. Die Ausdehnung kann auf verschiedenste Art und Weise gemessen werden z. B. mit Strömungssensoren oder Mikrofonen. Um den Nullpunkt bei dieser Messmethode zu finden wird oft ein zweiter Strahlengang durch ein infrarot inaktives Medium zeitlich versetzt (gehoppert) ebenfalls in die Messkammer geleitet. Angewendet wird dieses Verfahren bei Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid (NO_2). Das Verfahren lässt sich analog im ultravioletten Spektrum einsetzen (NDUV) und kann dort zur Detektion von Schwefeldioxid und Stickstoffoxid (NO) benutzt werden.

Eine Variante des NDIR-Verfahrens wird bei einem Photometer eingesetzt. Der Unterschied besteht in der Selektion der charakteristischen Strahlung des zu messenden Gases. Dies geschieht in diesem Fall durch entsprechende Filterkombinationen. Ammoniak, anorganische gasförmige Fluorverbindungen, Feuchte, Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid, Stickstoffoxide und Quecksilber können so nachgewiesen werden.

Die Nachweisgrenze lässt sich mit NDIR-Verfahren gegenüber der „Absorptions- Detektion“ um eine Größenordnung verbessern. Sie ist stark stoffabhängig. Querempfindlichkeiten durch Überlagerungen anderer Molekülstrukturen in naheliegenden Bandenbereichen, z.B. H_2O oder CO_2 , sind sehr häufig vorhanden. Außerdem besitzen Infrarotsensoren (UV-

Sensoren) annähernd die gleichen Nachteile wie andere optische Sensoren zur Detektion von Bränden. Besonders ist die hohe Störanfälligkeit in partikelhaltiger Raumluft zu erwähnen. Die Partikel verschmutzen die optischen Systeme und beeinträchtigen so deren Empfindlichkeit. Weiterhin ist zu beachten, dass der Transport des zu detektierenden Aerosols zum Detektor durch thermische Konvektion geschieht. Diese ist in der Entstehungsphase eines Brandes relativ träge, was zur Folge hat, dass der Detektor erst dann auf einen Brand reagieren kann, wenn die Gase am Detektor angelangt sind.

4.5.6 Ionisationsmelder zur Gasdetektion

Bei Ionisationsgasmeldern werden im Gegensatz zu optischen Ionisationsrauchmeldern, bei denen sich Partikel an die ionisierte Umgebungsluft anlagern, die Gasmoleküle selbst ionisiert. Man unterscheidet nach Ionisationsverfahren zwischen Photoionisationsdetektoren (PID), die die Gasmoleküle durch Anregung mit UV-Strahlen ionisieren, und Flammenionisationsdetektoren (FID) die die Gasmoleküle durch das Verbrennen in einer Wasserstoff/Luft- Flamme anregen.

4.5.6.1 Photoionisationsdetektor (PID)

Das Ionisierungspotenzial der Gase im PID muss unterhalb der eingestrahlten Energie (der UV-Strahlung), von typischerweise 10,2 eV bzw. 11,8 eV, liegen. Die Ionen-Ausbeute kann als Ladungsfluss zwischen zwei Kondensatorplatten gemessen werden. Die Ausbeute ist stoffspezifisch und muss für eine Quantifizierung vorher bestimmt werden. Bei bekannten Einzelstoffen können später aus den Responsefaktoren die Konzentrationen berechnet werden. Die Nachweisgrenzen für gut ionisierbare Stoffe, z.B. Benzol, Xylol oder Toluol liegen unter 1 ppm. Die Ansprechzeit des PID-Signals liegt bei wenigen Sekunden. Durch Luftfeuchtigkeit im Probengas kann das Ansprechverhalten gegenüber den detektierten Stoffen negativ beeinflusst werden. Man spricht dann vom Quench-Effekt. Da Gasgemische als Summenparameter gemessen werden, müssen PID's bei unbekanntem Gemischen für stoffspezifische Aussagen beispielsweise mit einem Gaschromatographen erweitert werden.

4.5.6.2 Flammenionisationsdetektor (FID)

Organische Verbindungen sind im Vergleich zu anorganischen leicht in einer Wasserstoffflamme zu ionisieren. Die entstehenden Ionen können in einem elektrischen Feld abgesaugt werden. Über einen weiten Bereich ist der daraus resultierende Strom dem Massenfluß des organisch gebundenen Kohlenstoffs proportional. In einem Flammenionisationsdetektor können daher alle organischen Verbindungen als Gesamt-Kohlenstoff nachgewiesen werden. Das Detektionsprinzip entspricht dem Photoionisationsdetektor. Der Unterschied zu PID's besteht lediglich in der Art der Ionisierung. Bei einem FID wird durch das Anlegen eines elektrischen Feldes an einer Wasserstoffflamme ein sehr geringer Ionenstrom erzeugt. Wenn dieser Flamme ein

kohlenstoffhaltiges Messgas zugeführt wird, so steigt der Ionenstrom proportional zum Kohlenstoffgehalt an. FID's zeichnen sich durch eine hohe Empfindlichkeit (Nachweisgrenze 10-100pg) und eine sehr große Linearität (bis 10^7) aus. Die erforderliche Gasversorgung mit Wasserstoff stellt besonders für portable Geräte einen Nachteil dar. Außerdem kann das Detektorsignal bei sehr hohen Luftfeuchten verfälscht werden.

4.5.6.3 Wärmeleitfähigkeitsdetektor (WLD)

Der Wärmeleitfähigkeitsdetektor spricht auf Verbindungen an, deren Wärmeleitfähigkeit sich von der des Bezugsgases unterscheidet. Sehr häufig kommt Helium wegen seiner hohen Wärmeleitfähigkeit und chemischen Inertheit als Bezugsgas zum Einsatz. Befindet sich ein anderes Gas als das Bezugsgas in der Wärmeleitzelle, verschlechtert sich die Wärmeleitfähigkeit in der Zelle und ein Heizdraht erwärmt sich (bezogen auf Helium) bei konstanter Heizspannung. Über die Widerstandsänderung des Heizdrahts kann die Temperaturerhöhung gemessen werden. Nachzuweisen sind auf diese Weise prinzipiell alle gasförmigen Stoffe. Die Nachweisgrenzen des Detektors reichen dabei bis in den unteren ppm-Bereich. Problematisch ist die Abhängigkeit des Signals von der Gastemperatur und dem Fluss des Gases über den Heizdraht. Über Referenzstrecken läßt sich dieses Problem zum Teil beheben. Unbekannte Gasgemische liefern bei Einsatz eines WLD's nur eine integrale Aussage. In diesem Fall ist zuerst die Auftrennung des Gasgemisches z. B. in einem Gaschromatographen erforderlich.

4.6 Sondermelder

Zur Überwachung von brandgefährdeten Bereichen bei außergewöhnlichen Umgebungsbedingungen werden Sondermelder eingesetzt, die speziell für die Gegebenheiten ihres Einsatzes entwickelt wurden. So werden beispielweise für Räume mit besonders hohen Temperaturen spezielle Melder angeboten. Aber auch für Räume in denen extrem tiefe Temperaturen herrschen gibt es entsprechende Modifikationen, wie z. B. Melderheizungen, die den Melder auf Betriebstemperatur aufheizen. Des weiteren werden Brandmelder für Gehörlose mit einem eingebauten Blitzlichtgeber oder einem Vibrationsgeber modifiziert.

4.7 Melderzubehör

Automatische Brandmelder sind meist steckbar. Sie bestehen aus einer fest montierten Fassung und einem Sensorelement, das über einen Bajonettesanschluss in der Fassung befestigt ist. Zu den automatischen Brandmeldern ist eine Vielzahl von Zubehör lieferbar, das die Anpassung an die Umgebung ermöglicht. Spezielle Halterungen ermöglichen z. B. die Montage an schrägen Decken, in Zwischenböden, Lüftungskanälen und Elektronikschränken.

Weiteres Zubehör verbessert die Fehlalarmsicherheit. So kann durch den Einsatz einer Melderheizung der Melder zwei bis drei °C über die Umgebungstemperatur aufgeheizt

werden und damit eine Betauung verhindert werden. Dies ist besonders empfehlenswert für Melder, die im Einströmbereich von kalter oder feuchter Außenluft (z. B. hinter Toren) montiert sind. Neben dem mechanischen Schutz der Melder (z. B. durch Schutzkörbe und Feuchtraumfassungen) werden zur Reduzierung der Anzahl der Fehlalarme auch gesonderte Schutzvorrichtungen bei Belastung durch elektrische und magnetische Felder, wie sie z. B. bei Strom- und Spannungstößen entstehen (EMV/Elektro-Magnetische-Verträglichkeit), angeboten. Es besteht aber auch die Möglichkeit die Melder so auszulegen, dass sie mit Schaltern und/oder Bewegungsmeldern modifiziert werden können. Diese Einrichtungen dienen der Deaktivierung des Melders. Dies kann über einen Taster am Gerät selbst, oder über einen externen Schalter, der an einer leicht zu erreichenden Stelle montiert wird, geschehen. Diese zusätzliche Schaltung hat den Vorteil, dass die Alarmierung der Melder bei einer kurzzeitigen aber beabsichtigten Rauchentwicklung wie sie z. B. in Küchen vorkommt, unterdrückt werden kann. Für die Reaktivierung des Melders ist eine Zeitschaltung vorgesehen die dafür Sorge trägt das der Melder nicht wegen Unachtsamkeit im Off- Line Modus bleibt. Auch die Möglichkeit der Vorschaltung anderer Sensoren, wie z. B. Temperatursensoren, Gassensoren oder Bewegungsmeldern ist möglich.

5. Vergleich der verschiedenen Branddetektionsprinzipien

Die zur Zeit konkurrierenden Systeme zur Brandfrüherkennung verwenden unterschiedliche Detektionsverfahren, deren Ursprung in der Detektierbarkeit der verschiedenen Brandkenngrößen begründet ist. Die Anforderungen an einen Brandmelder variieren ebenfalls aufgrund verschiedener Rand- bzw. Umgebungsbedingungen. Bei der Auswahl eines Brandmelders und der damit verbundenen Festlegung auf ein bestimmtes Detektionsprinzip ist die wahrscheinlichste Brandentwicklung in Betracht zu ziehen und ein Optimum bezüglich der Detektierbarkeit bei gegebenen Umweltbedingungen und vorhandenem Kostenbudget zu finden. Ein Vergleich von Stärken und Schwächen der verschiedenen Detektionsverfahren führt zu bevorzugten Einsatzbedingungen.

Da mit Hausbränden oft eine starke Rauchentwicklung verbunden ist, die für den Menschen aufgrund hoher Erstickungs- und Vergiftungsgefahr gefährlich ist, werden in Haushalten optische Rauchmelder am häufigsten verwendet. Zur Detektion benötigen sie keine sichtbare Flammenstrahlung oder starke Wärmentwicklung (vgl. Kap 4.1.1). Das Auftreten von Rauch, Staub oder Kondensaten wie z.B. Nebel (Wasserdampf wie er beim Kochen von Wasser entsteht) kann jedoch zu Fehlalarmen führen. Diese Art von Melder ist daher nicht zur Installation in Küchen geeignet. Rauchmelder dürfen nur dort eingesetzt werden, wo sichergestellt ist, dass Fehlalarme durch das Auftreten solcher Aerosole weitestgehend ausgeschlossen sind und Aerosolablagerungen durch zusätzliche Wartungsmaßnahmen kompensiert werden.

Eine falsche Einschätzung der Brandmaterialien kann zu einer Fehlentscheidung bei der Auswahl der Brandmelder führen. Geht man davon aus, das bei einem Gebäudebrand beispielsweise Kunststoffe und/oder brennbare Flüssigkeiten beteiligt sind, die im Brandfall dunklen fast schwarzen Rauch erzeugen, und das Gebäude wäre mit einem Streulichtmelder versehen, so kann dieser aufgrund seiner physikalischen Wirkungsweise einen solchen Brand nicht detektieren (vgl. Kapitel 4.1).

Mit einem Ionisationsrauchmelder lässt sich gleichermaßen heller, dunkler und nicht sichtbarer Rauch detektieren. Er besitzt eine relativ hohe Unempfindlichkeit gegenüber Staub. Diese Vorteile übertreffen herkömmliche optische Rauchmelder. Da Ionisationsrauchmelder die Umgebungsluft in der Messkammer mit Hilfe eines radioaktiven Strahlers ionisieren, sind strenge Richtlinien zu beachten. Die Verwendung muss bei den entsprechenden Behörden (Umwelt- und Strahlenschutzbehörde) gemeldet werden und der Verbleib der Melder ist nachweispflichtig. Wird die Brandmeldeanlage durch den Betreiber nicht instandgehalten, muss ein Strahlenschutzbeamter ernannt und ausgebildet werden. Nach Ende des Einsatzes (Reparaturfall oder Beschädigung, z.B. bei Brand), müssen die alten Melder entsorgt werden. Dazu ist der Hersteller, der sie in den Verkehr gebracht hat, verpflichtet. Im Brandfall muss der Verbleib der einzelnen Melder nachgewiesen werden. Ist dies nicht mehr nachvollziehbar, wird der Gesamtstrahlenwert der verloren gemeldeten Ionisationsrauchmelder ermittelt. Ist er zu hoch, kann die Behörde (Innenministerium- oder Umweltministerium der Länder) die Entsorgung des gesamten Bauschuttes als Sondermüll verfügen.

Linienförmige Rauchmelder kommen überall dort zum Einsatz, wo große Bereiche mit möglichst wenig Meldereinheiten überprüft werden sollen. Da der Melder an zwei gegenüberliegenden Wänden und nicht an der Decke montiert wird, können auch sehr hohe Komplexe kontrolliert werden. Das Funktionsprinzip von linienförmigen Rauchmeldern

entspricht dem von Durchlichtrauchmeldern mit dem Unterscheid, dass die Messkammer in diesem Fall der zu überwachende Raum selbst ist. Das System führt einen ständigen Nullabgleich durch, um die Verschmutzungen der Sende- und Empfangseinheit zu kompensieren. Der Nachteil besteht jedoch darin, dass Störgrößen, wie hohe Staubbelastung und Dämpfe, zu Falschalarmen führen können. Mit diesem Detektionsprinzip kann keine Unterscheidung zwischen Staub und Brandaerosolen getroffen werden.

Wärmemelder sind in Ihrer Handhabung vergleichsweise unkompliziert. Ihre Unempfindlichkeit gegenüber Staub und ähnlichen Verschmutzungen ist ausgezeichnet. Sogar Dämpfe, wie sie beim Kochen von Wasser entstehen, haben keinen Einfluss auf das Detektionsverfahren. Wärmemelder eignen sich besonders gut wenn schon in der Entstehungsphase mit einer starken Wärmeentwicklung, z. B. bei offenen Bränden, und schneller Brandentwicklung zu rechnen ist. Aufgrund des Detektionsverfahrens haben Wärmemelder jedoch den Nachteil, dass sie verzögert auf Brände reagieren. Es muss zuerst ein Maximalwert bzw. ein genügend großer Temperaturgradient vorhanden sein. Da das Detektionsverfahren von der Temperaturentwicklung abhängt, kann eine Rauch- und Gasentwicklung unbemerkt entstehen. Wärmemelder sind aus diesem Grund nicht geeignet um vor Erstickungsgefahren durch Rauch und/oder Gase zu warnen. Auch zur Überwachung von Gebäuden und Lagern, in denen wertvolle Sachgüter lagern, die durch Rauch beschädigt werden können, sind Wärmemelder nicht geeignet. Wie schon bei den linearen Rauchmeldern erwähnt, werden lineare Wärmemelder auch dort eingesetzt, wo aufgrund zu großer oder zu komplexer Gebäudeabmessungen die Verwendung von punktförmigen Wärmemeldern unrentabel ist. Dieses Meldesystem hat den Vorteil, dass es für den Betrachter unsichtbar montiert werden kann. Die Sensorleitung kann beispielsweise in Zwischendecken, Kabelkanälen oder Fußleisten montiert werden. Das System ist zwar nicht auf Konvektionsströmungen angewiesen, jedoch besteht hierbei, wie auch bei punktförmigen Wärmemeldern, der Nachteil, dass entweder eine Maximaltemperatur oder ein genügend hoher Temperaturgradient erreicht werden muss, bevor es zu einer Alarmierung kommt. Das System ist somit nicht in der Lage einen Brand in seiner Entstehungsphase zu detektieren.

Bereiche mit ständig hohen Umgebungstemperaturen und Rauchentwicklung sind für Flammenmelder der geeignete Einsatzort. Der Nachteil dieser Systeme besteht jedoch darin, dass sie einen Brand erst dann erkennen, wenn er bereits entstanden ist. Zur Brandfrüherkennung sind diese Systeme daher nicht geeignet.

Gassensoren sind vielseitig einsetzbar und lassen sich an nahezu alle Umgebungsbedingungen anpassen. Ihre größten Nachteile sind zu hoher Strombedarf, Querempfindlichkeiten zu anderen Gasen, mangelnde Langzeitstabilität und zu hohe Anschaffungspreise. Gelingt es diese Nachteile zu beseitigen, so lässt sich ein Detektionssystem aufbauen, mit dem nicht nur Brände festgestellt sondern auch klassifiziert werden könnten. Die Einsatzkräfte wüssten bereits im Vorfeld, mit welcher Situation vor Ort zu rechnen ist, d. h. ob z. B. eine Verwendung von Atemgeräten notwendig ist oder ob z. B. explosionsgefährliche Gaskonzentration vorhanden sind. Zur Zeit sind die auf dem Markt erhältlichen Gassensoren für eine derartige Anwendung in mehrfacher Hinsicht noch nicht geeignet. So steht mit elektrochemischen Detektoren z.B. ein Verfahren zur Verfügung, das zwar eine genaue stoffspezifische Detektion ermöglicht, es können jedoch nie Querempfindlichkeiten zu Gasen aus stoffgleichen Gruppen oder Gasen mit ähnlichem

elektrochemischen Potenzial ausgeschlossen werden. Weiterhin kann bei diesen Sensoren keine einwandfreie Funktion bei tiefen Temperaturen und geringer Feuchtigkeit garantiert werden. Ihre Lebensdauer beschränkt sich auf etwa ein Jahr. Die Detektionszellen trocknen aus oder der Elektrolyt verbraucht sich. Auch bei Infrarotsensoren zur Gasdetektion sind Querempfindlichkeiten durch Überlagerungen anderer Molekülspektren (Kap. 4.5.5) immer wieder vorhanden. Außerdem treten bezüglich der Störanfälligkeit in partikelhaltiger Raumluft ähnliche Nachteile auf, die schon von optischen Rauchmeldern bekannt sind. Bei optochemischen Gassensoren besteht das Problem, dass noch nicht genügend Schichten zur Detektion entwickelt wurden. Der größte Nachteil dieses Detektionsprinzips liegt jedoch darin, dass die Detektion bis zu 15 Minuten dauern kann. Zur Brandfrüherkennung ist dieses System daher z. Zt. nicht geeignet. Dem Einsatz halbleitender Gassensoren in der Brandfrüherkennung steht die hohe Heizleistung entgegen, die zur Erhitzung der gassensitiven Schichten erforderlich ist. Eine Zusammenschaltung mehrerer Detektoreinheiten über eine Primärleitung ist aus diesem Grund nicht möglich. Trotz dieses Nachteils wurden Halbleiter-Gassensoren für einige Anwendungen optimiert. Der Einfluss der Luftfeuchte auf die Empfindlichkeit und unerwünschte Leitfähigkeitsänderungen (hervorgerufen durch Querempfindlichkeiten) sind bei der Abstimmung dieser Systeme problematisch. Massensensitive Schichten sind zur Detektion von Gasen noch nicht ausgereift. Bei diesen Systemen besteht sowohl das Problem der Korrosion der Substratstrukturen als auch die Reproduzierbarkeit der Sensorschichten. Der Einsatz von Flammenionisations- und Photoionisationsdetektoren (FID/PID) ist aufgrund der notwendigen Versorgung mit Wasserstoff sehr aufwändig.

Die Kombination unterschiedlicher Detektoren hat sich in der Vergangenheit positiv bewährt; in Zukunft wird die Komplexität und Funktionalität der Systeme weiter zunehmen.

6. Innovative Entwicklungen bei Branddetektionsverfahren

Alle bislang auf dem Markt verfügbaren Systeme führen die Detektion auf einzelne Brandkenngrößen zurück. Daraus resultiert eine Unsicherheit in der Detektion. Die Kombination verschiedener Brandkenngrößen verspricht eine weitere Minimierung dieser Unsicherheit. Hinzu kommt, dass mit zunehmender Rechnerkapazität die Entwicklung immer schnellerer und genauerer Auswertelgorithmen möglich ist. Zukünftige Melder werden über eine gewisse „Entscheidungsintelligenz“ verfügen. Den Systemen ist es durch den Vergleich mit Musterszenarien möglich, zwischen echten Alarmfällen und Störgrößen zu unterscheiden. Eine Kostenreduktion ist über den Weg der Miniaturisierung möglich. Durch Miniaturisierung wird ebenfalls der Leistungsbedarf der Sensoren (vor allem der Gassensoren) gesenkt.

6.1 Esser Rauchansaugsystem LSR

Das Rauchansaugsystem LSR der Firma Esser verspricht aufgrund des sehr empfindlichen Detektionsmoduls die Erkennung kleinster Mengen von Brandaerosolen. Das Modul arbeitet mit einem Laser und besteht aus einer Kammer in die der Rauch geleitet wird. Die optischen Komponenten des Moduls werden von gefilterter Luft umspült. Eine Verschmutzung wird dadurch weitgehend verhindert. In der Kammer misst eine Photodiode ständig die Intensität des Lichtes, die je nach Anzahl und Größe der in der Luft enthaltenen Partikel geschwächt wird. Die detektierbare Abschwächung reicht von 0,005% bis 20% bei einer Auflösung von 0,0015%. Da die Luft bei diesem System an mehreren örtlich getrennten Punkten angesaugt wird, können bereits kleinste Mengen von Brandaerosolen detektiert werden. Mit diesem System ist es möglich Gebäude zu überwachen, deren räumlichen Gegebenheiten den Einsatz punktförmiger Rauchmelder nicht erlauben, weil z. B. die Decken so hoch sind, dass Rauchpartikel zu lange benötigen, bis sie durch Konvektion zum Rauchmelder gelangen. Pro Detektionseinheit stehen bis zu vier Ansaugrohre mit einer Einzellänge von maximal 200m zur Verfügung. Es ergibt sich so eine maximale Überwachungsfläche von 1600 m² pro Detektionseinheit. Das System kann mit bis zu 99 anderen Modulen kombiniert werden. Nach der Installation passt sich das System in einem bis zu 14 Tage andauernden Prozess den Umgebungsbedingungen an. Die Einheit verfügt über eine Lernfunktion die es ermöglicht, tageszeitabhängige Raumluftbelastungen zu erkennen, wodurch Tag-, Nacht-, Wochenend- und Ferienbedingungen angepasst werden können. Der integrierte Ereignisspeicher speichert bis zu 18.000 Ereignisse, dadurch ist eine zeitlich detaillierte Auflistung aller Vorfälle möglich.

Das hier beschriebene System hat den Vorteil, dass es leicht zugänglich untergebracht werden kann und die zu schützenden Bereiche von einer zentralen Stelle aus kontrolliert werden können. Im Gegensatz zu anderen Rauchmeldern ist es aufgrund der Ansaugvorrichtung nicht darauf angewiesen, dass Brandaerosole erst durch Konvektion zu dem an der Decke montierten Melder gelangen. Durch die Länge der Leitungen wird dieser Vorteil jedoch zum Teil wieder relativiert. Neu ist an diesem System die intelligente Datenanalyse, die eine selbständige Anpassung an die jeweiligen Umgebungsbedingungen ermöglicht. Die Spülung der optischen Komponenten in der Detektionskammer mit

gereinigter Luft ist generell ein interessanter Ansatz, der sich in anderen optischen Systemen adaptieren lässt.

6.2 Laserbrandmeldesystem VIEW der Firma Notifier

Die Firma Notifier führte 1996 das erste punktförmige Laserbrandmeldesystem (VIEW) ein. Das System arbeitet nach dem Prinzip von Rauchmeldern (vgl. Kap 4.1). Als Lichtquelle wird gegenüber herkömmlichen diffusen Lichtquellen ein Laser eingesetzt. Das reflektierte Licht wird gebündelt und zu einem Empfänger geleitet. Durch den Einsatz des Lasers ist ein größeres Signal Rausch Verhältnis erreichbar, das eine 10 – 50 -fache Steigerung der Detektionsempfindlichkeit ermöglicht.

Der oben beschriebene Detektor wird mit einer neu entwickelten Software (AWACS = Advanced Warning Addressable Combustion Sensing) betrieben, die in der Lage ist zwischen echten Alarmfällen und Fehlalarmen durch Verschmutzungen zu unterscheiden. Die Kombination mehrerer benachbarter Melder ermöglicht es, Gefahrenherde schneller zu entdecken und genau zu lokalisieren. Außerdem werden Störungen erkannt und gegebenenfalls als ungefährlich eingestuft. In diesem Fall macht der Melder auf die Störung aufmerksam, die beseitigt werden muss.

Das System arbeitet ähnlich wie das unter 6.1 beschriebene mit einem Laser. Im Gegensatz zu diesem (zentral arbeitendem System), muss es in den entsprechenden Räumen/Bereichen an der Decke montiert werden. Da es über keine Ansaugereinheit verfügt ist es darauf angewiesen, dass die bei einem Brand entstehenden Aerosole und Rauchpartikel durch das Aufsteigen der warmen Luft zum Rauchmelder gelangen. Während der Entstehungsphase eines Brandes ist die Konvektion relativ träge. Welches der beiden Systeme besser geeignet ist, hängt in erster Linie von dem zu überwachenden Bereich ab. Soll beispielsweise nur ein einzelner Raum überwacht werden, so ist die Installation eines einzelnen Brandmelders die kostengünstigere Alternative, wenn man bedenkt, dass das zentral messende System von Esser im Bereich von 6000.-€ und der Brandmelder von Notifier im Bereich von 400.-€ zu erwerben ist.

6.3 Rauchmelder mit zwei Erfassungstechnologien

Multisensoren wurden entwickelt, um die Anzahl der Fehlalarme zu reduzieren. Ein Prozessor wandelt die von den verschiedenen Sensoren erfassten analogen Brandkenngrößen in digitale Werte um, wertet sie mittels bestimmter Algorithmen aus und trifft selbst eine Alarmentscheidung. Der Vorteil solcher Multisensoren besteht darin, dass durch eine Korrelation der verschiedenen Einzelsensoren die Wahrscheinlichkeit eines Brandes berechnet wird. Der Prozessor verfügt über einen Datenspeicher und kann die typische zeitliche Charakteristik eines Brandverlaufes von einer atypischen zeitlichen Charakteristik, wie zu schneller oder zu langsamer Signalanstieg, unterscheiden. Unnötige und kostspielige Falschalarme können so vermieden werden.

Ein Beispiel hierfür ist der Rauchmelder Firex Model CCPB das 1997 in den USA vorgestellt wurde (US-Patent Nr. 4 316 184 und 5 633 501). Das System verfügt über einen Optischen- und einen Ionisationsdetektor. Optische Rauchmelder eignen sich besonders gut zum

Erfassen langsamer, schwelender Feuer (vgl. Kap.4). Solche Feuer können über Stunden schwelen, bevor sichtbare Flammen entstehen. Während des Schwelprozesses wird immer viel sichtbarer Rauch erzeugt. Die emittierte Strahlungswärme ist aufgrund der fehlenden Flammen noch so gering, dass sie zu diesem Zeitpunkt nicht detektierbar ist. Solche Brände können z. B. durch brennende Zigaretten in Sofas oder Bettbezügen entstehen. Durch den zusätzlich eingebauten Ionisationsrauchmelder lassen sich auch heftig lodernde Feuer schnell und effizient detektieren. Solche Feuer verbrauchen schnell brennbares Material und breiten sich mit hoher Geschwindigkeit aus. Aus diesem Grund müssen sie schnell und sicher detektiert werden. Sie können z. B. durch brennendes Papier in einem Mülleimer oder durch brennendes Fett in der Küche entstehen. Durch die Kombination zweier Detektionsprinzipien wie sie oben beschrieben ist, lassen sich gezielt Nachteile einzelner Prinzipien beheben. Die höhere Sicherheit ist in der Regel auch mit höheren Kosten verbunden.

Ähnlich, wie das Modell Firex kombiniert der Brandmelder AlgoRex der Firma Cerberus zwei unterschiedliche Verfahren, einen optischen Sensor für die Rauchdichteentwicklung und einen Wärmesensor für den Temperaturanstieg. Die Signale werden nach der Stärke, der Anstiegsrate und der Fluktuation analysiert und anschließend mit Mustern verglichen, die für Brände typisch sind. Erst dann setzt der Melder die Gefahrenstufe fest, die er an die Zentrale weitergibt. Dass ein solcher Detektor schnell und kostengünstig intelligente Entscheidungen treffen kann, hat verschiedene Ursachen. Die Signale werden nicht mehr analog, sondern mit Hilfe von Mikroprozessoren digital verarbeitet. Digitale Filter erlauben das schnelle Erkennen bestimmter Merkmale. Die optischen und thermischen Signale werden über ein kleines Neuronales Netz miteinander kombiniert und mit Verfahren der Fuzzy-Logik analysiert. Diese "unscharfen" Bewertungen entsprechen menschlichen Entscheidungsprozessen besser als starre Regelwerke und Schwellwerte. Das Verfahren ist so zuverlässig, so dass es in Bereichen wie z. B. asiatischen Garküchen zum Einsatz kommt, in denen wegen der starken Rauch- und Dampfungwicklung konventionelle Melder öfter einen Fehlalarm produzieren. Werden diese „intelligenten Melder“ beispielsweise aus einer Garage in eine Bibliothek versetzt, so müssen sie umprogrammiert werden. In einer Garage müssen sie eine Rauchmenge tolerieren, die für Bibliotheken viel zu hoch ist. Eine verspätete Alarmierung wäre die Folge. Die Kombination zweier Detektionsprinzipien wird durch eine „intelligente“ Auswertung weiter verbessert.

Einen ähnlichen Weg hat Cerberus bei dem Flammenmelder WaveRex beschritten, der seit 1998 auf dem Markt ist. Flammenmelder reagieren sehr empfindlich auf Reflexe von spiegelnden Oberflächen oder von der Sonne. Sie wurden bislang nur in bestimmten Chemieanlagen oder in hohen Räumen eingesetzt, in denen die Rauchentwicklung nicht stark genug ist, um auf Brände aufmerksam zu machen. Flammen besitzen charakteristische Flackerfrequenzen, die man zur Unterscheidung "Brand" oder "Sonnenreflex" heranziehen kann. WaveRex vermisst eine Flamme bei drei verschiedenen Wellenlängen (4,3 μm , 5 - 6 μm und 0,8 μm) mit 3 verschiedenen Sensoren. Die Signale dieser drei Sensoren werden einer Wavelet-Analyse unterworfen und dann in einen Fuzzy-Regler eingespeist. Da eine Wavelet-Analyse viel schneller und dem Problem angepasster durchgeführt werden kann als eine Fourier-Analyse, liegt das Ergebnis innerhalb von Sekunden vor. Der Melder kann anschließend eine "intelligente" Entscheidung treffen. Auch an diesem Beispiel ist erkennbar, dass die Kombination mehrerer Sensoren durch die anschließende Datenverarbeitung besonders effektiv und sicher wird.

6.4 Lichtwellenleiter zur Brandfrüherkennung

Die Professoren Dr.-Ing. Borsi, Hossein und Dr.-Ing. Gockenbach, Ernst beschreiten mit ihrem Prinzip der Brandfrüherkennung einen interessanten Weg. Sie beginnen mit der Branddetektion in den elektrischen Haushaltsgeräten an den Stellen, an denen die Gefahr eines Brandes relativ hoch ist. Im Jahr 2000 entwickelten sie einen potenzialfreien Lichtsensor (Patent Nr.: DE 100 35 723 A 1), der aus einem Lichtwellenleiter besteht, der an die zu überwachenden Gegenstände in der Länge angepasst werden kann. Soll z.B. ein Transformator geschützt werden, so wird dieser einmal, oder mehrmals quer zur Wicklungsrichtung mit dem Lichtwellenleiter umwickelt, bis alle Windung zumindest an einem Punkt erfasst werden. In Flugzeugen kann der Lichtwellenleiter beispielsweise mit dem Signalbündel zu dessen Schutz mitgeführt werden. Im Falle eines Brandes wird das Signal auf dem Weg vom Empfänger zum Sender (an den Lichtwellenleiterenden) verzerrt, gedämpft oder gar unterbrochen. Wird eine solche Veränderung registriert, wird ein Alarmsignal generiert, das zur Aktivierung entsprechender Schutzmaßnahmen führt. Die Detektion und Meldung erfolgt zu einem sehr frühen Zeitpunkt. Aufgrund der Potenzialfreiheit kann das System auch dort installiert werden, wo Anlagenbereiche auf Hochspannungspotenzial liegen. Das System ist nachträglich leicht zu installieren, es ist preisgünstig und sehr robust.

Für die oben erwähnten Bereiche bietet das hier vorgestellte Verfahren eine schnelle und sichere Detektion möglicher Brandherde. Es ist bedingt mit linearen Wärmemeldern vergleichbar, die mit einem Sensorkabel arbeiten, das von einem Strom durchflossen wird. Solche Sensorkabel sind jedoch naturgemäß nicht potenzialfrei und können nicht in empfindlichen elektronischen Bauteilen verwendet werden. Lichtwellenleiter sind nicht dazu geeignet Brände zu detektieren die nicht auf technischen Fehlern basieren. Ein Brand, der z. B. durch eine brennende Zigarette entsteht, kann auf diese Art nicht detektiert werden. Als zusätzlicher Schutz für Fernseher, Backöfen, Bügeleisen und viele weiteren technischen Gegenstände ist des System jedoch bestens geeignet.

6.5 Bildgebender Brandmelder

Die Firma Robert Bosch GmbH stellte im Jahr 2000 ein Verfahren zur Brandfrüherkennung vor, das bis dahin noch nicht zur Branddetektion eingesetzt wurde. Bei diesem System werden charakteristische Kenngrößen eines Brandes einzeln oder in Kombination mit aufgenommenen Bildfolgen ausgewertet. Der bei einem Brand entstehende Rauch wird beispielsweise hinsichtlich seiner Partikeldurchmesser, Farbe, Rauchdichte und der Trübung von Objekten analysiert. Die Wärmeentwicklung die einen Brand normalerweise begleitet, führt zu Wärmeschlieren. Die umgebende Luft und die Wärmeschlieren haben unterschiedliche Brechungsindizes, so dass die Schlieren optisch identifizierbar sind. Die entstehende Wärmestrahlung und die Lichterscheinung der Flammen werden mit einer Video- und einer Infrarotkamera aufgezeichnet. Die entstehende Bildfolge wird mit einem Prozessor verarbeitet und der zeitliche Ablauf eines entstehenden Brandes analysiert. Zusätzlich kann die Trübung und/oder Streuung der Bildfolge, hervorgerufen durch den

Rauch, mit Hilfe einer Lichtquelle ermittelt werden. Der an das System angeschlossene Prozessor analysiert die Strukturschärfen und vergleicht die aufgenommenen Bildfolgen mit den als Bildfolgen gespeicherten Referenzbildern, wobei er kurzfristige Änderungen mittels eines Schwellenwertes für die Dauer der Änderung identifiziert und verwirft. Das vorgestellte System hat den Vorteil, dass es im Falle einer Alarmierung den entsprechenden Rettungseinheiten schon vor dem Beginn der Rettungsarbeiten ein klares Bild der Situation zeigt. Die Einheiten können somit die bestmögliche Strategie zur Bekämpfung des Feuers wählen.

Dieses System wird hauptsächlich in U- und S-Bahn Bereichen, zur Sicherung von Tunneln verwendet. Mit zunehmender Miniaturisierung und steigender Rechenleistung sind neue Einsatzbereiche denkbar, sowie eine größere Verbreitung bei sinkenden Preisen. Von der technischen Seite besitzt das System weiteres Entwicklungspotenzial. Die Akzeptanz in privaten, öffentlichen, Büro- oder Verwaltungsbereichen ist aus Datenschutzgründen jedoch fraglich.

6.6 Gassensoren zur Branddetektion

Wie bereits in Kap. 4.5 erwähnt konnten sich Gasmelder zur Branddetektion bislang nicht durchsetzen. Ihre Querempfindlichkeit zu anderen Gasen ist zu groß, der Stromverbrauch ist zu hoch, ihre Lebensdauer ist zu gering und ihr Preis ist zu hoch. Auf der anderen Seite können Gassensoren typische Brandgase detektieren, die Rückschlüsse auf die Art des Brandes und das brennende Material erlauben. Außerdem liefern sie für die Einsatzkräfte wichtige Informationen über die Gefährlichkeit der Brandgase. In der Entstehungsphase von Bränden werden die Brandgase aufgrund der fehlenden Konvektion in erster Linie durch Diffusion transportiert. Gassensoren können Brände bereits in einem sehr frühen Stadium detektieren. Aus diesen Gründen werden Gassensoren zusammen mit anderen physikalisch arbeitenden Detektoren in Brandmeldern eingesetzt. Diesen Weg ging auch die Firma Siemens mit ihrem Patent Nr.: DE 199 56 303 A. Der wesentliche Gedanke der Erfindung besteht darin, dass zur Gasetektion mindestens ein Feldeffekttransistor vorgesehen ist, dessen Leistungsaufnahme im Mikro- oder Milliwattbereich liegt. Mit einer einzigen Meldeprimärleitung ist es unter energetischen Gesichtspunkten möglich, mehrere hundert solcher Feldeffekttransistoren zu kombinieren. Die Herstellung von Feldeffekttransistoren ist relativ kostengünstig, da die Produktionstechnologie schon seit vielen Jahren zur Verfügung steht. Die geometrischen Abmessungen in denen sich ein Feldeffekttransistor bewegt, liegen im Mikrometer-Bereich. Dies bringt eine Reihe von Vorteilen mit sich. Es können z. B. mehrere Einzelsensoren auf einem Chip zusammengeschaltet werden, um die Täuschungssicherheit signifikant zu steigern. Außerdem lassen sich problemlos Sensorarrays bilden und durch kombinatorische Auswertelgorithmen Brände klassifizieren. Die chemischen Reaktionen die in einem Gassensor bei der Detektion ablaufen, führen in der Regel zu einem neuen Stoff, der die weitere Detektion behindert, weil er die Oberfläche des Sensors überzieht (Vergiftung). Zur Regeneration der sensitiven Eigenschaften kann eine thermische Behandlung der Sensorschicht durchgeführt werden. Um Querempfindlichkeiten auszuschließen, können dem Feldeffekttransistoren Gasfilter vorgeschaltet werden, welche die Aufgabe haben, beeinträchtigende korrosive Gase oder

aber Täuschungen verursachende Gaskomponenten herauszufiltern. Die Zielgase können diese Gasfilter jedoch problemlos passieren. Zusammenfassend kann man sagen, dass:

1. Die Querempfindlichkeiten durch Einsatz von Gasfiltern, Sensorarrays und kombinatorischen Auswertelgorithmen minimiert werden können.
2. der Stromverbrauch durch Miniaturisierung und Verwendung von Feldeffekttransistoren erheblich reduziert werden kann.
3. die Lebensdauer durch regenerative Prozesse gesteigert werden kann.
4. Der Preis durch Miniaturisierung mit Techniken der Mikroelektronik gesenkt werden kann.

Die Firma Siemens hat mit diesem Konzept gezeigt, dass Gassensoren für Brandmelder ein großes Entwicklungspotenzial besitzen. Erreicht wird dies ebenfalls durch eine sehr komplexe und leistungsfähige Signalverarbeitung in der die Vielzahl der eingehenden Sensorsignale miteinander verknüpft und durch Kombination die relevanten Informationen herausgefiltert werden. Da in Zukunft weiterhin fallende Preise für die Signalverarbeitung aufgrund immer höherer Rechenleistung der Prozessoren zu erwarten ist, ist ein Konzept wie das hier beschriebene für zukünftige Entwicklungen interessant. Die „Unschärfe“ einzelner Sensoren wird durch eine Vielzahl intelligenter Verknüpfungen nicht nur aufgehoben, sondern liefert neue nutzbare Ergebnisse.

6.7 Rauchmelder mit Zwei- Winkel- Technik

Wie bereits in Kap 4.1.1.1 erwähnt besteht prinzipiell bei Streulichrauchmeldern die Möglichkeit die Detektoren in Vorwärts- oder in Rückwärtsrichtung zu positionieren. Um die Nachteile bestehender optische Rauchmelder zu kompensieren hat die Firma Esser einen Melder auf den Markt gebracht, der sowohl einen vorwärts- als auch einen rückwärtsstreuenden Detektor in sich vereint. Die integrierte intelligente Auswertelektronik ist in der Lage, Partikelgrößen bestimmter Substanzen durch das Verhältnis von vorwärts zu rückwärtsgestreutem Licht zu identifizieren und als mögliche Störgröße aufzunehmen. Der Detektor kann so zwischen echtem Alarmfall und Täuschung unterscheiden. Dies gestattet die Verwendung des Melders in Druckereien, Papierfabriken, Küchen, Duschzellen, etc. Herkömmliche optische Rauchmelder können in diesen Bereichen nicht eingesetzt werden, da der dort vorkommende Wasserdampf in regelmäßigen Abständen zu Fehlalarmen führen würde. Auch der Einsatz in Sägewerken und Bäckereien, wo mit hohen Staubbelastungen zu rechnen ist, ist mit diesem Melder problemlos möglich. Mit der Kombination eines vorwärts- und eines rückwärtsstreuenden Rauchmelders hat die Firma Esser einen Melder auf den Markt gebracht, der ein breites Anwendungsspektrum aufweist. Der Einsatz einer intelligenten Auswertelektronik macht diesen Melder zu einem vielseitigen Produkt. Die allgemeinen Probleme optischer Rauchmelder wie z. B. Verschmutzung der Optiken sind jedoch weiterhin ungelöst. Außerdem ist nur eine Detektion von Bränden möglich, die in ihrer Entstehungsphase Rauch entwickeln.

6.8 Infrarot- und Fourier Transformation Infrarot Spektrometer (IR, FTIR)

Die FTIR-Spektroskopie basiert im Grunde auf den bei der Infrarot-Absorption erwähnten Effekten (vgl. Kap 4.5.2). Der Unterschied besteht jedoch in der Art, wie das Spektrum erzeugt wird. Bei der Infrarot-Absorption geschieht dies in der Regel mit Prismen oder Gittern. Bei der FTIR-Spektroskopie dagegen wird z. B. mittels eines Michelson-Interferometers ein Intensitäts/Zeit (Weg) Profil der Strahlung aufgezeichnet, das dann mittels Fouriertransformation in ein Intensitäts/Frequenz (Wellenlänge) Profil umgewandelt wird. Der Vergleich der Spektren mit den charakteristischen erfolgt dann analog zur Infrarot-Absorptions-Spektroskopie. Auf diese Art können Ammoniak anorganische gasförmige Chlorverbindungen, Feuchte, Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid, und Stickstoffoxide nachgewiesen werden. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass alles Licht auf den Detektor fällt und nicht nur ein schmaler Wellenlängenbereich. Dadurch entsteht ein gutes Signal-Rauschverhältnis. Außerdem ist die Wellenlängenstabilität und Reproduzierbarkeit der FTIR-Spektren besonders gut.

6.9 Ionenmobilitätsspektrometer (IMS)

Große Ionen bewegen sich in einem elektrischen Feld langsamer durch ein Gas als kleine. Dieser Effekt wird im IMS zur Auftrennung nach der Größe ausgenutzt. Im Ionenmobilitätsspektrometer werden in einer Ionisationskammer, durch Einstrahlung energiereicher Elektronen (Nickel-63-Quelle) aus den Bestandteilen eines Driftgases, negative und positive Reaktantionen gebildet. Bei den positiven Reaktantionen handelt es sich um Molekülcluster aus 3 bis 6 Wasser- und Sauerstoffmolekülen. Die angesaugten Probengasmoleküle diffundieren durch die Membran, die den Probengasraum von der Ionisationszone trennt und werden von den Reaktantionen eingefangen. Durch pulsartige Spannungsänderungen an einem Injektionsgitter werden aus der Ionenwolke Ionen angesaugt und auf eine Driftstrecke gebracht. In dieser Driftstrecke werden die Ionen mit Hilfe eines entgegen gerichteten Luftstroms (Driftgas) entsprechend ihrer Größe und Gestalt getrennt. Dabei verhält sich die Laufzeit durch die Driftstrecke proportional zur Ionenlänge. An einer Detektorelektrode werden die Ionen zeitaufgelöst nachgewiesen. Eine Quantifizierung und Identifizierung der Probeninhaltsstoffe ist über die Auswertung des IMS-Spektrums möglich. Der IMS-Detektor ermöglicht den Nachweis vieler organischer und anorganischer Gase; ganz besonders empfindlich ist der Nachweis von polaren Verbindungen (kleiner 1ppm). Die Ansprechzeiten des Detektors liegen bei wenigen Sekunden. Der Hauptzeitaufwand der Probenanalyse liegt in der Bestimmung der Probe über Bibliothekenvergleich bzw. komplexe Spektrumsauswertung. Ein weiterer Nachteil ist der technische Aufwand der Spültechnik zur Verhinderung von Überladungen des Detektors bei hohen Gaskonzentrationen und der für Reaktantionenerzeugung nötige β -Strahler.

Um die IMS zur Brandfrüherkennung einsetzen zu können, ist eine genaue Analyse der entstehenden Gase im Vorfeld erforderlich. Das Verfahren muss speziell auf diese Gase zur Detektion abgestimmt werden. Gegenüber einem Massenspektrometer wird bei der IMS mit Normaldruck gearbeitet, wodurch sich eine wesentlich einfachere Handhabung ergibt.

Erste Prototypen von IMS wurden von der Firma Bruker Saxonia bereits entwickelt und werden zur Zeit von der Berufsfeuerwehr Mannheim eingesetzt.

6.10 Massenspektrometer (MS)

Ein Massenspektrometer liefert ein Spektrum geordnet nach der Massengröße der untersuchten Gase. Dazu werden die Stoffe eines Gasgemisches ionisiert und in elektrischen oder elektromagnetischen Feldern entsprechend ihrer Massen separiert. Durch die unterschiedlichen Flugbahnen in diesem „Massenfilter“ gelangen nur ausgewählte Massen bis zum Ionendetektor. Die angelangten Ionen werden in einem Elektronenvervielfacher detektiert und verstärkt. Durch Abfahren eines Massenbereichs (Scan) im Massenfilter wird ein Spektrum aufgezeichnet. Als Massenfilter werden am häufigsten Quadrupole oder Ionenfallen eingesetzt. Nachweisen lassen sich auf diese Art alle anorganischen und organischen Gase mit sehr hohen Empfindlichkeiten. Nachteilig wirkt sich der hohe apparative Aufwand, z.B. für die Vakuumerzeugung im Massenfilter aus. Für die Stoffidentifizierung müssen Datenbanken mit Vergleichsspektren angelegt werden. Zudem können Überlagerungen im Spektrum auftreten (Stoffe mit gleichen Massenzahlen), die keine eindeutige Zuordnung ermöglichen.

6.11 Gaschromatograph (GC) mit FID, PID oder WLD- Kopplung

Die Gaschromatographie gehört wohl zu den leistungsfähigsten Trennmethoden bei Gasgemischen. Für die Trennung nutzt man die unterschiedliche Affinität der Stoffe zu einem Trägermedium und den daraus resultierenden Flüchtigkeitsunterschied aus. Nach der definierten Aufgabe des Stoffgemisches (Startpunkt) laufen die Stoffe mit Hilfe des vorantreibenden Trägergases durch eine Glas- oder Stahlkapillare mit einem Innendurchmesser kleiner 1 mm. Diese Kapillaren sind an den Wänden typischerweise mit einer polymeren Phase beschichtet, die mit den durchlaufenden Gasmolekülen in Wechselwirkung steht. Die unterschiedlichen Polaritäten bzw. Flüchtigkeiten der Moleküle führen zu unterschiedlichen Laufgeschwindigkeiten innerhalb der Kapillarsäule. Zusätzlich kann die Laufgeschwindigkeit über die Säulentemperatur (bis ca. 200 °C) beeinflusst werden. Während niedrige Temperaturen intensive Wechselwirkungen der Stoffe mit der Kapillarsäule zulassen, welche wiederum zu niedrigen Laufgeschwindigkeiten führen, steigen die Laufgeschwindigkeiten mit zunehmender Temperatur aufgrund der geringeren Wechselwirkung an. Nahezu optimale Trennbedingungen erhält man durch Temperaturprogramme mit langsamen Temperatursteigerungen. Dies führt allerdings zu längeren Analysezeiten. Bei fester Säulenlänge werden die Stoffe entsprechend ihrer Laufzeit durch die Kapillarsäule getrennt und können am Ende der Säule mit Hilfe eines Gasdetektors nachgewiesen werden. Das über die Chromatographie erhaltene, nach der Laufzeit aufgelöste Spektrum, kann über Referenzbibliotheken bzw. Vergleichssubstanzen ausgewertet werden. Prinzipiell ist der Nachweis von Gasen bzw. Gasgemischen aus nicht-aggressiven Stoffen mit hoher Empfindlichkeit und hoher Trennleistung möglich. Nachteilig wirkt sich im besonderen bei portablen Geräten, die nötige Energie- und Trägergasversorgung aus.

6.11.1 Gaschromatograph mit Massenspektrometer (GC-MS)

Die Kopplung von Gaschromatograph und Massenspektrometer hat sich für die Gasanalyse als sehr leistungsfähig erwiesen. Gasgemische werden bei einer GC-MS-Analyse in der gaschromatographischen Trennsäule nach Flüchtigkeit bzw. Polarität getrennt an das Massenspektrometer übergeben. Dort werden die Gasmoleküle im Vakuum ionisiert und entsprechend ihrer Masse innerhalb eines Scans ($< 1\text{sec}$) weiter separiert. Man erhält eine Kombination aus Chromatogramm und Massenspektrum. Die hohe Informationsdichte der Gesamtanalyse ermöglicht eine Stoffidentifizierung auch komplexer Gasgemische. Quantitative Aussagen sind mit einer großen Dynamik in Stoffmengen bis zu wenigen Nanogramm möglich. Aufgrund der komplexen Zusammenhänge ist nur eine computergestützte Auswertung mit Bereinigungsprogrammen für Spektren und Datenbanken mit Vergleichsspektren möglich. Demzufolge sind Analysen auch nur von geschultem und fachkundigem Bedienpersonal durchführbar. Zudem stehen sehr hohe Anschaffungskosten (bis ca. 250.000,- DM) der hohen Leistungsfähigkeit einer GC-MS-Kopplung gegenüber, was den Einsatz in einigen Gebieten der Umweltmessung erschwert.

6.11.2 Gaschromatograph mit Fourier- Transform- Infrarot- Spektrometer (GC-FTIR)

Mit der Kopplung von Gaschromatograph und FTIR- Spektrometer lassen sich ähnliche Informationsdichten wie bei einer GC-MS-Analyse erreichen. Durch die gaschromatographische Auftrennung der Probe nach der Flüchtigkeit bzw. Polarität kann die Aussagekraft der nachgeschalteten FTIR- Spektroskopie stark verbessert werden. Die Wahrscheinlichkeit von Überlagerungen bei Absorptionsbanden, z.B. den C-H-Schwingungen bei organischen Molekülen unterschiedlicher Kettenlänge, ist durch die Trennung deutlich vermindert. Auch bei diesem Verfahren ist eine Auswertung zur Stoffidentifikation nur mittel umfangreicher Vergleichsbibliotheken möglich.

6.12 Brandmelder nach dem Ultraschall-Mikrowellen "Anti-Inzidenz"-Prinzip

Durch Kombination von Ultraschall- und Mikrowellen ergeben sich neue Möglichkeiten, die Detektion von Bränden hinsichtlich Empfindlichkeit und Relevanz entscheidend zu verbessern. Während Mikrowellensignale durch Rauch, Flammen oder Wärme kaum berührt werden, rufen diese Erscheinungen einen Pegelverlust und Dopplerverschiebungen bei einer Schallwelle hervor. Treten also im Ultraschall-Empfangssignal stark fluktuierende Veränderungen auf, welche im Mikrowellensignal nicht beobachtet werden, so ist dies ein Hinweis auf Fluktuationen im Ausbreitungsmedium, welche bei einem entstehenden Brand typisch sind. Die Ultraschall- Mikrowellen- Doppelfrequenz- Koinzidenz zur verlässlichen Bewegungsdetektion nutzt den Effekt, dass von bewegten Objekten reflektierte Ultraschall- und Mikrowellen-Signale mit kohärenten Dopplerfrequenzen empfangen werden, während Störsignale unterschiedlich auf die beiden Wellen einwirken. Hinsichtlich verschiedener Phänomene bei der Brandentwicklung können bei dem Einsatz von Ultraschall prinzipiell folgende Möglichkeiten der Wechselwirkung auftreten:

- 1) Rauch auf dem Übertragungsweg vom Sensor zum Empfänger ruft signifikante Dopplerverschiebungen hervor. Außerdem ist ein Pegelverlust der Schallwelle aufgrund von Absorption und Diffraktion zu beobachten.
- 2) Intensive Wärmeentstehung bewirkt eine veränderte Schallgeschwindigkeit und Dopplerverschiebung durch Luftturbulenzen auf dem Übertragungsweg.
- 3) Flammen verursachen charakteristische rhythmische Veränderungen der Dopplerfrequenz (Flackerbewegungen).

Die Mehrzahl der Brände in Räumen beginnt, bedingt durch den hohen Kunststoffanteil der Einrichtung, mit starker Rauch- und Rauchgasentwicklung. Dadurch werden große Turbulenzen und Deckenströmungen von Partikeln und Gasen erzeugt, die von einem im Deckenbereich angebrachten Ultraschallsensor sicher detektiert werden können. Zur Verifizierung der Empfangssignale werden von der selben Stelle Ultraschall- und Mikrowellen- Dauerstrichsignale in den zu überwachenden Raum ausgestrahlt. Die fortlaufend verfolgten Phasen und Amplituden der Empfangssignale liefern eine Aussage darüber, ob die festgestellten Einflüsse auf das Ultraschallsignal durch einen Brand verursacht wurden.

Die Ultraschall- Mikrowellen- Doppelfrequenz- Koinzidenz zur verlässlichen Bewegungsdetektion wurde in einer Zusammenarbeit von H. Ruser, Siemens AG München sowie V. Mágori und H.-R. Tränkler der Universität der Bundeswehr München, Institut für Mess- u. Automatisierungstechnik entwickelt und zeigt neue Wege auf, die in der Brandfrüherkennung beschritten werden können.

6.13 Leistungspotenziale biochemischer Sensorik

Die Frage ob sich Biosensoren zur Detektion von Bränden eignen wurde von den Gießener Phytopathologen Dr. Stefan Schütz, Dr. Bernhard Weißbecker und Prof. Dr. Hans E. Hummel gemeinsam mit Wissenschaftlern der Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn (Dr. Helmut Schmitz und Prof. Dr. Horst Bleckmann, Institut für Zoologie) und der Landesforstanstalt Eberswalde (Dr. Karl-Heinz Apel, Abteilung Waldschutz) an dem schwarzen Kiefernprachtkäfer (*Melanophila acuminata*) untersucht. Dieser Käfer legt seine Larven bevorzugt in verkohlte Baumstämme, die er mit speziell entwickelten Sinnen ausfindig macht. Hinter den mittleren Beinen des Insekts befinden sich zwei Gruben mit jeweils 50 bis 100 Sinneszellen, die empfindlich auf Infrarotlicht reagieren. Diese sogenannten Sensilien, die unter dem Mikroskop wie Froschlauch aussehen, sind einzigartig in der Tierwelt. Sie funktionieren nach einem optomechanischen Prinzip: Durch einen kleinen Pfropfen, der von der Außenhaut ins Innere der blasenförmigen Sinneszellen führt, gelangt infrarote Strahlung hinein. Dadurch heizen sich die Kugeln auf und drücken gegen das Ende einer Nervenfasern, die von unten in die Blasen ragt. Die Empfindlichkeit der Nervenzellen des Käfers ist so hoch, dass sie mit den derzeit zur Verfügung stehenden Apparaturen nicht messbar ist. Die Wissenschaftler fanden jedoch heraus dass die Nervenzellen schon bei einem Wärmefluss von fünf Milliwatt pro Quadratzentimeter erregt werden– das entspricht etwa der Wärmemenge die unsere Haut abstrahlt. Dabei erwärmt

sich die Blase des Käfers um 0,01 Grad und dehnt sich um weniger als ein Nanometer aus. Die Wissenschaftler stellten außerdem fest, dass der Käfer schon mit seinen Fühlern zuckt, wenn der Infrarotimpuls nur zwei tausendstel Sekunden anhält. Dass die Infrarotstrahlung seine Sensilien so effektiv aufheizt, verdankt der Käfer dem chemisch-physikalischen Aufbau seiner Blasenhaut. Die spezielle Chitinmischung der Blasenhaut besteht aus Molekülen, deren chemische Bindungen bei infraroten Wellenlängen von zwei bis vier Mikrometern besonders stark ins Schwingen geraten; dies entspricht genau der Wellenlänge der Infrarotstrahlung, die bei einem Brand entsteht.

Der Käfer verfügt darüber hinaus auch noch über einen extrem guten Geruchssinn. Aufgrund der Untersuchungen gehen die Wissenschaftler davon aus, dass der Geruchssinn so gut ausgebildet ist, dass es dem Käfer möglich ist einen einzelnen angekohlten Baum auf eine Entfernung von einem Kilometer wahrzunehmen. Es ist dem Käfer sogar möglich aufgrund der Zusammensetzung des Brandgeruches die Art des brennenden Baumes zu erkennen. Diese Entwicklungen der Natur können Menschen in zweierlei Hinsicht bei der Lösung eigener Probleme helfen: Zum einen kann das Verständnis des Wechselspiels von Infrarot- und Geruchssinn der pyrophilen Käfer dazu beitragen, bessere und sicherere Brand-Frühwarnsysteme zu konstruieren, indem man konventionelle Infrarot- und Gassensoren auf eine "insektenartige" Weise miteinander koppelt. Zum anderen kann auch der Geruchssinn der Käfer für Biochemische Sensoren genutzt werden, indem man eine direkte Kopplung des Geruchsorgans an elektronische Mikrochips anstrebt. Aufgrund der hohen Empfindlichkeit und des hohen Differenzierungsvermögens des Geruchsorgans der Käfer könnten Brände nicht nur sehr früh entdeckt werden, sondern auch Informationen über die Art des brennenden Materials gewonnen werden.

6.14 Signalverarbeitungskonzepte und Softwareentwicklungen

Die Universität Duisburg besitzt eines der am besten ausgestatteten Forschungslabors auf dem Gebiet der Brandforschung. Die Schwerpunkte liegen sowohl auf der Entwicklung neuer Brandmelder, als auch auf der Entwicklung komplexer Algorithmen, die es möglich machen Brände genau zu analysieren, um bessere Vorhersagen über den Verlauf zu machen. Die Kombination solcher komplexer Algorithmen mit Brandmeldern ermöglicht es einen echten Brandfall von Täuschungsgrößen zu unterscheiden. Beispiele hierfür sind die in Punkt 6.3 erwähnten Detektoren mit hoher Entscheidungsintelligenz. Ein weiteres Beispiel ist die von der Universität Duisburg eigens entwickelte Low- Cost- Version eines IR-Flammenmelders. Um die aufwändigen Verarbeitungsalgorithmen in Sekundenbruchteilen abzuarbeiten, wurde ein leistungsfähiger Signalprozessor zur Signalverarbeitung verwendet. Dadurch wurde erreicht, dass keine Alarmmeldung durch starke, intensitätsmodulierte breitbandige Störstrahlung (wie z.B. bewegte heiße Körper) ausgelöst werden kann und dass der Flammenmelder darüber hinaus in der Lage ist, vor einem extrem starken Störhintergrund noch Flammen kohlenwasserstoffhaltiger Brennmaterialien zu erkennen. Der vorliegende Prototyp ist speziell ausgelegt für kurze Reaktionszeiten und sehr gute Falschalarmresistenz bei explosionsartiger Flammenentwicklung in Innenbereichen. Für Außenanwendungen mit direkter modulierter Sonneneinstrahlung auf die Sensoren müssen andere Parameter eingestellt und eine modifizierte Software verwendet werden. Generell gilt, dass die Falschalarmresistenz mit der Komplexität der Algorithmen zunimmt. Dies

bedeutet, dass die Sicherheit um so größer wird, je mehr Zeit (selbst Sekundenbruchteile) für eine Entscheidung zur Verfügung steht.

Die Signalentdeckung und Signalverarbeitung ist eine originär nachrichtentechnische Aufgabe. In technischen Sicherheitsanlagen sind die zu betrachtenden Signale in der Regel Zufallsprozesse mit instationären Eigenschaften (d.h. im Laufe der Zeit sich ändernde statistische Eigenschaften). Die Methoden, die zur Verarbeitung solcher Signale angewendet werden entsprechen denen, die z. B. auch bei der Sprach- oder Bildverarbeitung eingesetzt werden. Sie sind ebenfalls geeignet um bei Bränden eine Eigenschaftsextraktion und Klassifizierung zu ermöglichen. Durch den Einsatz neuer Signalverarbeitungskonzepte in Verbindung mit billiger Rechenleistung sind in Zukunft sicherere Brandmelder zu erwarten.

7. Vorschriften und Richtlinien

Brandmeldeanlagen als Gefahrenmeldeanlagen dienen dem Schutz von Leben, Gesundheit, Umwelt und Sachwerten. In der Europeanorm **DIN EN 54** ist definiert:

"Zweck einer automatischen Brandmeldeanlage ist es, Schadenfeuer zum frühestmöglichen Zeitpunkt zu erkennen und so zu melden, dass geeignete Gegenmaßnahmen ergriffen werden können."

Brandmeldeanlagen mit früher Alarmierung reduzieren die durch den Brand entstehenden potentiellen Schäden ganz wesentlich. Viele Feuerversicherungen gewähren daher bei der Installation einer Brandmeldeanlage Rabatte auf die anfallenden Prämien. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass Brandmeldeanlagen gemäß den einschlägigen Richtlinien des Verbandes der Schadensversicherer (VdS) geplant, errichtet und betrieben werden.

Gemäß den Landesbauordnungen sind bei bestimmten materiellen Anforderungen Ausnahmen und Abweichungen möglich, wenn das "Maß an Brandschutz" gleich bleibt. Im Rahmen eines Brandschutzkonzeptes kann eine automatische Brandmeldeanlage eine Maßnahme sein, die hilft, Ausnahmen und Abweichungen in anderen Bereichen zu kompensieren. Auch können die Genehmigungsbehörden der Länder in der Baugenehmigung den Einbau von Brandmeldeanlagen vorschreiben. Brandmeldeanlagen und Alarmierungseinrichtungen sind z.B. auch in der Muster-Krankenhausbauverordnung (MKhBauVO) vorgeschrieben.

Die Vernetzung einer privaten Brandmeldeanlage mit der Feuerwehr ist nur dann möglich, wenn die entsprechenden Bedingungen, die jede ortsansässige Berufsfeuerwehr für ihren Wirkungsbereich erlassen kann, eingehalten werden.

Allgemein sind folgende Vorschriften zu beachten:

1. Brandmeldeanlagen sind von anerkannten Errichterfirmen zu installieren.
2. Sie müssen den Bestimmungen der DIN VDE 0100, 0800, 0833-2 und 2, 0165 der DIN 14675 und der DIN EN 54-1 bis -12 in der jeweils gültigen Form entsprechen.
3. Es dürfen nur anerkannte Produkte Verwendung finden, deren Zusammenwirken aufeinander abgestimmt sind.
4. Brandmeldeanlagen müssen gemäß den Richtlinien des Verbandes der Schadensversicherer e.V. Köln (VdS) errichtet werden.
5. Die Vorschriften des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt) müssen Beachtung finden.
6. Nachweis eines Installationsvertrages mit einer anerkannten Errichterfirma.
7. Die Bestimmungen der Telekom sind einzuhalten.

7.1 Brandschutztechnische Institutionen

In den folgenden Kapitel wird ein Überblick darüber gegeben, welche Institutionen auf dem Gebiet des Brandschutzes arbeiten und von welchen Personen einschlägige Vorschriften, Richtlinien und Bestimmung zu beachten sind. Dieser Personenkreis gliedert sich in drei

Bereiche: Erstens die Hersteller, Zweitens die Planer und Errichter und Drittens die Betreiber und Instandhalter von Brandmeldeanlagen. Im Anschluss an diese Beschreibung wird in Tabelle 7.1.a aufgelistet, wer welche Vorschriften, Richtlinien und Bestimmungen zu beachten hat.

	zu beachten durch		
Vorschriften, Richtlinien und Bestimmungen erlassen durch:	Hersteller	Planer / Errichter	Betreiber / Instandhalter
VDE (Verein Deutscher Elektrotechniker)	Funktionen Zuverlässigkeit	Errichtung Abnahmeprüfung	Bedienung Instandhaltung (Umfang, Zyklen)
VdS-Richtlinien	Funktionen Qualität Typprüfung	Planung Errichtung Attest	Bedienung Instandhaltung
UVV (Unfallverhütungsvorschriften)	Funktion	Planung Errichtung Abnahmeprüfung	Bedienung Instandhaltung
DIN (Deutsches Institut für Normung)	Maße, Bezeichnung Anzeigen, Bedienung	Aufbau	
EN (Europannorm)	Funktionen Qualität Typprüfung	Planung Aufbau	Instandhaltung
Feuerwehr Richtlinien	Funktion	Anschlussbedingungen	Einsatzmaßnahmen Instandhaltung
Ex-Schutz-Bestimmungen	Schutzklasse Typprüfung (PTB/BAM) Qualitätsüberwachung	Errichtung Gefahrenzone	Bedienung Instandhaltung Schutzmaßnahmen
DIBt Baurecht	Bauartprüfung Qualitätsüberwachung	Projektierung Installation Abnahmeprüfung	Bedienung Instandhaltung

Tabelle 7.1.a

7.1.1 Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (VDE)

Da Brandmeldeanlagen elektrische Anlagen sind, unterliegen sie den einschlägigen Installationsbestimmungen. Der VDE erstellt ein VDE-Vorschriftenwerk. Die hierbei erarbeiteten Bestimmungen sind gleichzeitig Bestandteil der DIN-Normen (**DIN VDE 0800** und **DIN VDE 0833**).

- Die **DIN VDE 0800** gilt für alle Fernmeldeanlagen und somit auch für Gefahrenmeldeanlagen, zu welchen auch Brandmelder zählen, bindend.
- **DIN VDE 0833** wird in drei Teile gegliedert:
 - **Teil 1:** Allgemeine Festlegungen zu Gefahrenmeldeanlagen:
Gefahrenmeldeanlagen sind Fernmeldeanlagen, die Gefahren für Leben und Sachwerte melden.
Dazu gehört auch die Erfassung von Störungen der Anlage sowie das Überwachen von Übertragungswegen.
 - **Teil 2:** Festlegungen zu Brandmeldeanlagen:
Neben den allgemeinen Festlegungen werden hier spezielle Anforderungen für Brandmeldeanlagen formuliert.
 - **Teil 3:** Festlegungen zu Einbruch- und Überfallmeldeanlagen:
Neben den allgemeinen Festlegungen werden hier spezielle Anforderungen für Einbruch- und Überfallmeldeanlagen formuliert.

Zusätzlich besitzt der VDE eine eigene Prüfstelle, die das VDE- Prüfzeichen an elektrische Geräte und Bauteile vergibt, wenn sie den Bestimmungen des VDE- Vorschriftenwerkes entsprechen. In diesen Bestimmungen finden Hersteller Angaben über Anforderung an die Funktion und Zuverlässigkeit ihrer Produkte. Planer und Errichter die mit dem Einbau einer Brandmeldeanlage beauftragt werden, müssen gemäß der VDE- Bestimmungen die Errichtung einer solchen Anlage durchführen und eine anschließende Abnahmeprüfung vollziehen. In diesen Bestimmungen ist auch enthalten in welchen Zyklen und in welchem Umfang Instandhaltungsarbeiten durchzuführen sind. Für diese Arbeiten ist der Betreiber selbst ebenso verantwortlich wie für die Bedienung seiner Anlage und ihrer Melder.

7.1.2 Verband deutscher Sachversicherer (VdS)

Der VdS ist ein Zusammenschluss der Sachversicherungsgesellschaften in Deutschland. Er erarbeitet Vorschriften, die den Aufbau und das Wesen von Gefahrenmeldeanlagen sowie den Betrieb dieser betreffen. Allgemein hat er für solche Anlagen zusammen mit dem KVK (Kommission Vorbeugender Kriminalitätsschutz) Vorschriften für folgende Klassifizierungsstufen verfasst:

Klasse A	Wertsachen im Hausratbereich bis 200.000 DM
Klasse B	Gewerblicher Bereich und Wertsachen im Hausratbereich über 200.000 DM
Klasse C	Gewerblicher Bereich

Für Hersteller von Gefahrenmeldeanlagen schreibt der VdS vor, dass diese die Funktion und die Qualität ihrer Produkte gewährleisten müssen und eine Typprüfung ihrer Produkte durchführen. Planung und Errichtung der Anlagen hat durch geschulte Personen zu

erfolgen, die ein Attest für die von ihnen installierte Anlage erstellen müssen. Die Bedienung und die Instandhaltung bleibt dem Betreiber selbst, oder einer von ihm beauftragten Person (einem Instandhalter) überlassen.

7.1.3 Unfallverhütungsvorschriften, UVV

Die UVV beschreiben Vorschriften zum Schutz der Gesundheit und des Lebens gefährdeter Personen am Arbeitsplatz, in privaten und in öffentlichen Bereichen. Sie beinhalten Hinweise auf Anlagen, organisatorische Maßnahmen sowie alle relevanten Richtlinien in der Elektrotechnik und der Gefahrenmeldetechnik. Den Hersteller betreffend werden in den UVV nur Vorschriften über die Funktion von Gefahrenmeldeanlagen gemacht. Planer und Errichter finden in den UVV Bestimmungen über die Planung und Errichtung solcher Anlagen. Auch die UVV schreibt eine Prüfung dieser Anlagen vor und die Bedienung sowie Instandhaltung ist Sache des Betreibers oder Instandhalters. Für ihn gelten entsprechende Richtlinien, die er beachten muss.

7.1.4 Deutsches Institut für Normung

Das Deutsche Institut für Normung wurde am 22. Dezember 1917 als Normenausschuss der deutschen Industrie (damals noch NADI) gegründet. Seine Hauptaufgabe ist die Erstellung **D**eutscher **I**ndustrie **N**ormen (DIN) zum Nutzen der Wirtschaft und der gesamten Gesellschaft. Bezüglich Gefahrenmeldeanlagen werden in der DIN Angaben über Maße, Bezeichnung, Anzeigen und Bedienung gemacht. Für Planer und Errichter enthält die DIN Angaben über den Aufbau der Anlagen. Zum Betrieb und zur Instandhaltung werden in der DIN keine Angaben gemacht.

In entsprechenden Europeanormen finden sich für Hersteller Angaben über Funktion und Qualität. Auch hier wird zur Anerkennung von Detektoren eine Typprüfung vorgeschrieben. Planer und Errichter müssen den gemachten Angaben Folge leisten. Für Betreiber und Instandhalter sind im Gegensatz zur DIN Angaben bezüglich der Instandhaltung gemacht.

7.1.5 Feuerwehr- Richtlinien

Von der Feuerwehr gibt es einen Verband der ebenfalls Richtlinien Brandmeldeanlagen betreffend herausgibt. Sie beschreiben die Funktion, die Anschlussbedingungen und die Einsatzmaßnahmen, die zu treffen sind.

7.1.6 Ex- Schutz- Bestimmungen

Für Explosionsgefährdete Bereiche gelten besondere Bestimmungen, die in der Europanorm EN 50014-50020 bzw. VDE 0170/0171/5.1978 definiert sind. Hersteller finden hier Angaben über Schutzklassen, die zu beachten sind. Eine Typprüfung und eine ständige Qualitätsüberwachung sind Pflicht. Planer und Errichter müssen auf vorhandene Gefahrenzonen achten. Betreiber finden Vorschriften darüber, wie die Geräte zu bedienen sind, welche Instandhaltungsmaßnahmen durchzuführen und welche Schutzmaßnahmen getroffen werden müssen.

7.1.7 Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)

Aufgabe des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt) ist unter anderem die Erteilung allgemeiner bauaufsichtlicher und europäischer technischer Zulassungen. Die Bekanntmachung der Bauregellisten A, B und C und die Anerkennung von Prüf-, Überwachungs-, und Zertifizierungsstellen gehört ebenfalls zum Aufgabenbereich des DIBt. Der DIBt selbst ist eine Institution des Bundes und der Länder zur einheitlichen Erfüllung bautechnischer Aufgaben auf dem Gebiet des öffentlichen Rechts.

Im DIBt Baurecht werden für die Hersteller Festlegungen entsprechend der Bauartprüfung sowie der Qualitätsüberwachung gemacht. Den Planern wird vorgeschrieben wie und wo die Melder zu Positionieren sind. Außerdem müssen Sie die Anlagen durch eine Prüfung abgenommen werden. Betreiber und Instandhalter müssen unter Einhaltung der Bau-Richtlinien für Bedienung und Instandhaltung sorgen.

8. Anhang

- DIN EN 54-5 Brandmeldeanlagen Teil 5: Wärmemelder Punktförmige Melder
- DIN EN 54-7 Brandmeldeanlagen Teil 7: Rauchmelder-Punktförmige Melder nach dem Streulicht-, Durchlicht- oder Ionisationsprinzip
- DIN EN 54-12 Bestandteile automatischer Brandmeldeanlagen (Entwurf) Teil 12 optische lineare Rauchmelder
- VdS 2344 Verfahren für die Prüfung und Anerkennung von Geräten, Bauteilen und Systemen der Brandschutz- und Sicherheitstechnik