

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 74 (1983)

Heft: 9

Artikel: Gasdetektoren in stationären Gasmeldesystemen für den Explosionsschutz

Autor: Christen, P.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-904797>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 24.01.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Gasdetektoren in stationären Gasmeldesystemen für den Explosionsschutz

P. Christen

Nach einigen grundsätzlichen Bemerkungen zum Explosionsschutz (primärer/sekundärer Ex-Schutz, Explosionsgrenzen) werden die beiden wichtigsten Messprinzipien für die Detektion brennbarer Gase und Dämpfe in Luft näher erläutert: das Wärmetönungsprinzip sowie das Prinzip der elektrischen Leitfähigkeitsänderung. Anhand eines Beispiels werden Funktionsweise und Alarmierungskonzept eines modernen Gasmeldesystems dargelegt.

Après quelques remarques fondamentales sur la protection contre les explosions (protection primaire ou secondaire, limites d'explosion), on explique les deux principes de mesure les plus importants pour la détection de gaz et de vapeurs inflammables dans l'air: celui de la chaleur de réaction et celui de la variation de la conductivité électrique, puis on donne un exemple de fonctionnement et de conception d'alarme d'un système stationnaire de détection des gaz.

1. Explosionsschutz durch Gasmeldesysteme

Brennbare Gase, flüssige Brennstoffe und Lösungsmittel sind aus Industrie, Gewerbe und Verkehr nicht mehr wegzudenken. Als Energieträger sind Erdgas und Flüssiggas eine wichtige Alternative zu Erdöl und elektrischer Energie geworden. Die immer noch zunehmende Verbreitung solcher Medien hat aber leider auch das aus dem Umgang mit brennbaren Gasen und Dämpfen hervorgehende Explosionsrisiko durch technisches oder menschliches Versagen erhöht. Deshalb ist das Bedürfnis nach ausreichendem Schutz sowohl für die potentiell gefährdeten Personen als auch für die von Zerstörung betroffenen Sachwerte gewachsen.

Im industriellen Bereich besteht zwar schon lange die Forderung, mögliche elektrische Zündquellen in Geräten und Anlagen durch «explosionsgeschützte Ausführung» unwirksam zu

machen. Dieser sekundäre Explosionsschutz ist aber unvollständig, insbesondere dann, wenn nichtelektrische, schlecht kontrollierbare Zündgefahren in den Betrieb gebracht werden. Ausserdem besteht zum Beispiel für den kommunalen und Verwaltungsbereich keine analoge Forderung. Sie wäre in dieser Form auch schwerlich realisierbar.

Einen umfassenderen Schutz vor Explosionen erreicht man deshalb durch Massnahmen, welche die Bildung einer explosiblen Atmosphäre verhindern (primärer Explosionsschutz). Brennbare Gase oder Dämpfe sind im Gemisch mit Luft bekanntlich nur in einem gewissen Konzentrationsbereich explosionsfähig. Die untere Explosionsgrenze (UEG) ist die minimal erforderliche, die obere Explosionsgrenze (OEG) die maximal mögliche Konzentration eines brennbaren gasförmigen Mediums in Luft, bei der das Gemisch gerade noch explodieren kann (Fig. 1).

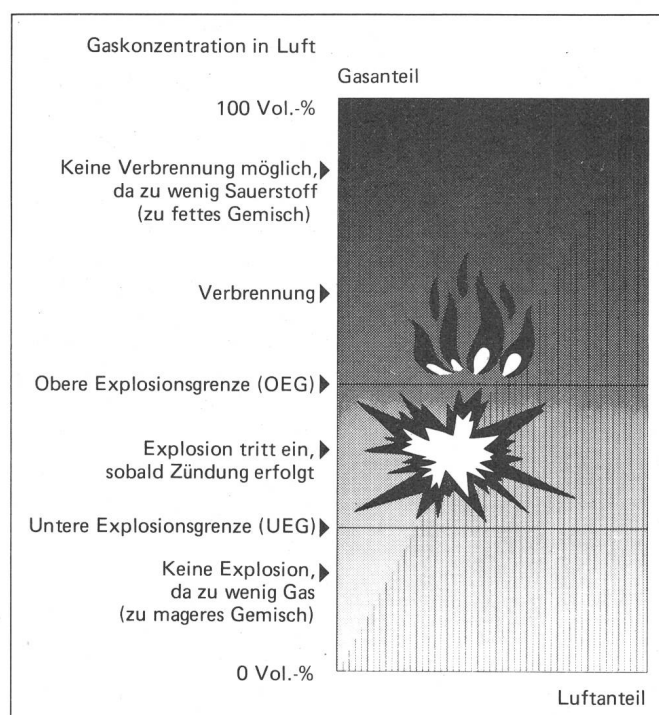


Fig. 1. Unterschiedliche Bereiche von Gemischen brennbarer Gase und Dämpfe mit Luft

Vortrag an der SEV-Tagung «Sensoren – Grundlagen der Automatisierung von morgen» vom 8. März 1983 an der EPFL in Ecublens.

Adresse des Autors

Dr. P. Christen, Cerberus AG, 8708 Männedorf.

Eine der Massnahmen im Rahmen des primären Explosionsschutzes besteht deshalb darin, brennbare Gase oder Dämpfe in Konzentrationen weit unterhalb der UEG festzustellen. Dadurch wird sichergestellt, dass die für das Abwenden der Explosionsgefahr nötigen Gegenmassnahmen, wie z. B. Belüftung von Räumen oder Ausschalten von Zündquellen, frühzeitig genug getroffen werden können. Das sichere Erkennen solcher unerwünschter Gase und Dämpfe garantieren heute vielfach stationäre Gasmeldesysteme mit Gasdetektoren, die latent vorkommende Gemische von Luft mit brennbaren gasförmigen Medien festzustellen vermögen. Typische Aufgaben für solche stationäre Gasmeldesysteme sind der Schutz

- wichtiger Objekte (z. B. Kabelkeller von Fernmeldezentralen) gegen Gaseinbrüche aus dem öffentlichen Gasleitungsnetz,
- von Objekten, in welchen Gas als Energieträger verwendet wird (zum Beispiel gasbetriebene Grossheizungen),
- von Objekten der Gasförderung, -herstellung, -verarbeitung, -lagerung und des Gasvertriebs (z. B. Erdgasförderung, Flüssiggaslager),
- von Objekten, in welchen gasförmige Nebenprodukte entstehen (z. B. Kläranlagen),
- von Objekten, in denen explosible Dampf/Luft-Gemische flüssiger Brennstoffe oder Lösungsmittel entstehen können.

2. Messprinzipien für die Detektion brennbarer Gase und Dämpfe

2.1 Allgemeines

Es werden Messprinzipien bevorzugt, die verschiedenste, auch gleichzeitig auftretende brennbare Gase und Dämpfe im Gemisch mit Luft kontinuierlich und in Konzentrationen festzustellen vermögen, die weit unterhalb der UEG für die jeweiligen brennbaren Stoffe oder Stoffgemische liegen. Zusätzliche wichtige Forderungen sind Eignung für Dauerbetrieb, das heisst genügende Langzeitstabilität und Lebensdauer der entsprechenden Sensoren, reversibles Messsignal, genügende Reproduzierbarkeit und rasches Ansprechverhalten. Die Messprinzipien sollen im übrigen gegen klimatische Einflüsse möglichst immun und hinreichend resistent gegen Stoffe

sein, welche die Empfindlichkeit beeinträchtigen oder zerstören.

Lange Zeit erfüllte einzig das Prinzip der katalytischen Verbrennung, das sog. Wärmetönungsprinzip, diese Forderungen in genügendem Masse. Seit einigen Jahren findet aber auch ein Messprinzip, das von der Leitfähigkeitsänderung bestimmter Halbleitermaterialien Gebrauch macht, zunehmende Verbreitung.

2.2 Das Wärmetönungsprinzip

Brennbare Gase oder Dämpfe oxidieren in Gegenwart von Luft (Sauerstoff) auf einer beheizten, katalytisch wirksamen Oberfläche. Die bei einer solchen Oxidation entstehende Wärmemenge (Wärmetönung) ist ein direktes Mass für die Konzentration der betreffenden Gase bzw. Dämpfe in Luft. Sensoren, die nach diesem Wärmetönungsprinzip arbeiten, besitzen also eine die Oxidation begünstigende Oberfläche, können diese auf eine für genügende Oxidationsrate vorgegebene Temperatur aufheizen und sind fähig, die sich als Temperaturerhöhung der Oberfläche ausdrückende Wärmetönung in ein elektrisches Signal umzuwandeln. Die älteste Form dieser *Wärmetönungs- oder katalytischen Sensoren* sind elektrisch beheizte Platinwendeln, die zugleich als Temperaturmesser (Widerstandsthermometer) dienen. Platin ist für diese Doppelfunktion das geeignetste Material. Sein relativ hoher spezifischer Widerstand erlaubt gute Heizleistung und der hohe Temperaturkoeffizient des Widerstandes zuverlässige Temperaturmessung. Gelangt ein brennbares Gas an die aufgeheizte Platinwendel, oxidiert es und erhöht deren Temperatur. Die sich ergebende Widerstandsänderung der Wendel ist ungefähr proportional zur Gaskonzentration.

Allerdings ist Platin ein schlechter Katalysator für die Oxidation. Damit diese einigermaßen schnell und mit gleichmässiger Geschwindigkeit abläuft, sind Heiztemperaturen zwischen 900 und 1000 °C notwendig. Bei diesen hohen Temperaturen verdampft Platin von der Drahtoberfläche. Dies bewirkt eine allmähliche Reduzierung des Drahtquerschnittes und damit eine Erhöhung des Wendel-Widerstandes. Das resultierende kontinuierliche Abdriften des Sensorsignals bedingt ein häufiges Nachjustieren der Signalauswerteschaltung, was zusammen mit der begrenzten Lebensdauer von einigen 1000 Betriebsstunden dem Einsatz solcher Platindrahtsensoren

vor allem in stationären Überwachungsanlagen Grenzen setzt.

Diese Schwierigkeit wurde Anfang der sechziger Jahre durch die Entwicklung der *Pellistoren* in England weitgehend behoben. Bei diesen stecknadelkopfgrossen Sensoren (pellet = Kügelchen) ist die Katalysatoroberfläche von der Platinwendel räumlich getrennt (Fig. 2). Die Wendel ist in eine elektrisch isolierende Perle aus gesintertem Aluminiumoxid (Tonerde) eingebettet. Palladium und Thorium sind in geeigneter chemischer Verbindung der Tonerde zugesetzt und bilden so namentlich an den Aussenflächen des porösen Elementes eine katalytische Oberfläche, auf der brennbare Gase und Dämpfe bereits bei Temperaturen von 500 bis 600 °C oxidieren. Diese mechanische Anordnung optimiert die erforderliche elektrische Heizleistung auf etwa 0,4 W.

Um Störfaktoren wie schwankende Umgebungstemperaturen, Luftdruck- und Luftfeuchtigkeitsänderungen möglichst auszuschalten, wird als Messkreis bei katalytischen Sensoren eine Wheatstonesche Brückenschal-

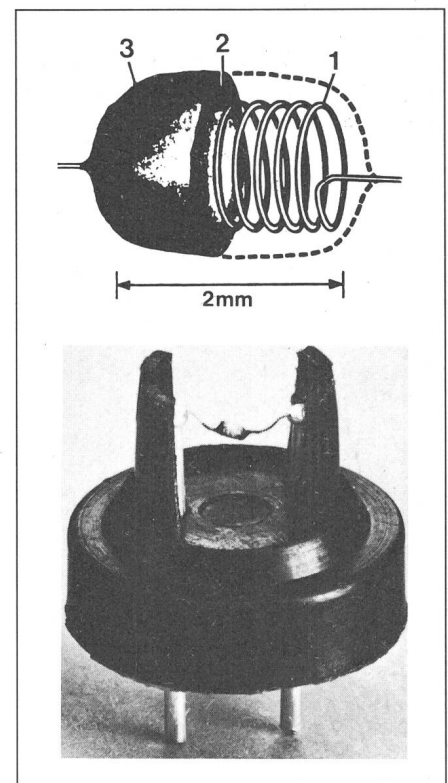


Fig. 2 Pellistor

Oben: Schematischer Aufbau einer Pellistorperle (pellet). 1 Platinwendel, 2 Tonerde-Perle, 3 katalytische Oberfläche (Pd/Th).

Unten: Im geöffneten Pellistorgehäuse ist die etwa 2 mm grosse Detektorperle zwischen den feinen Zuleitungen zu erkennen.

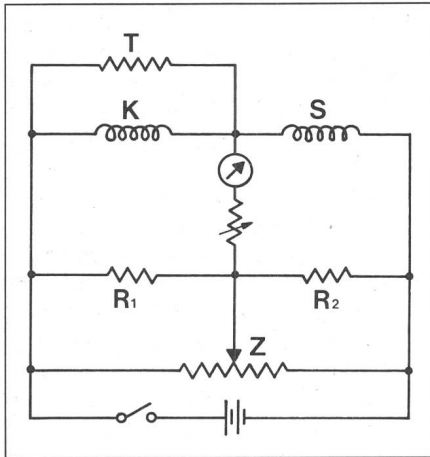


Fig. 3 Pellistor in Brückenschaltung
 S Messsensor
 K Kompensationselement
 T Trimmwiderstand
 R₁, R₂ Brückenwiderstände
 Z Nullabgleich-Potentiometer

tion benötigt (Fig. 3). Ein Brücken-
 zweig enthält dabei den eigentlichen
 Messsensor (S), der andere ein abge-
 stimmtes Kompensationselement (K).
 Bei Pellistoren ist dieses Element
 genau gleich aufgebaut wie der Mess-
 pellistor, enthält jedoch kein Katalysa-
 tormaterial. Die verbleibende schwache
 katalytische Aktivität des Alumi-
 niumoxids ist dabei durch eine geringe
 Verunreinigung (normalerweise Kali-
 um) beseitigt. Ein solcher inaktiver
 Pellistor kann bei genau gleicher Tem-
 peratur wie der Messpellistor betrie-
 ben werden. Geringe Unterschiede im
 thermischen Verhalten lassen sich zu-
 sätzlich mit einem Trimmwiderstand
 vermindern. Brückenspannung und
 Wendelwiderstände werden so ge-
 wählt, dass sie die Oberflächentempe-
 ratur mit konstantem Strom erzeugen.
 Für eine Heizleistung von etwa 0,8 W
 für ein Pellistorpaar betragen sie ty-
 pisch 2 V bzw. 2,5 Ω. Auf diese Weise
 erzeugt jede entstehende Brücken-
 unsymmetrie ein Ausgangssignal, das
 auf konventionellen Milliampèremet-
 ern direkt angezeigt werden kann
 oder einen konventionellen Messver-
 stärker ansteuert. Das Referenzele-
 ment kompensiert auch Schwankun-
 gen der Brückenspannung und redu-
 ziert deren Einflüsse auf den Anzeige-
 nullpunkt. Dieser Nullpunkt liegt bei
 Betrieb in «frischer Luft» vor.

2.3 Prinzip der elektrischen Leitfähigkeitsänderung

Viele halbleitende Metalloxide zei-
 gen im Bereich höherer Temperaturen

eine beträchtliche Veränderung ihrer
 elektrischen Eigenschaften, wenn sie
 einem Gemisch aus Luft und brenn-
 barem Gas ausgesetzt werden. Diese Oxi-
 de haben im Kristallgitter ein Sauer-
 stoffdefizit, d. h. ihre chemische Zu-
 sammensetzung weicht von der idea-
 len Stöchiometrie ab. Im Gegensatz zu
 stöchiometrischen Metalloxiden, die
 bei Raumtemperatur kaum leiten, sind
 solche Verbindungen recht leitfähig.
 Ihr Leitungsmechanismus basiert wie
 bei dotierten n-Halbleitern auf Über-
 schuss-Elektronen; als Donatoren sind
 dabei aber nicht Verunreinigungen wie
 Phosphor, Arsen, Antimon, sondern
 Sauerstoff-Leerstellen für das Mass
 der elektrischen Leitfähigkeit bestim-
 mend.

Kommen brennbare Gase mit der
 aufgeheizten Metalloxid-Oberfläche
 in Berührung, so oxidieren sie. Als
 Folge findet im Nahbereich der Hal-
 leiter-Oberfläche eine Verarmung an
 Sauerstoff statt. Damit steigt die An-
 zahl der Sauerstoff-Leerstellen und da-
 mit auch die Anzahl freier Elektronen
 im Metalloxid. Seine Leitfähigkeit
 steigt. Die genauen Vorgänge, welche
 sich an der Metalloxidoberfläche ab-
 spielen, sind noch weitgehend unge-
 klärt und werden immer noch unter-
 sucht.

Als vielversprechendes Sensormate-
 rial gilt Zinndioxid. In der Praxis ha-
 ben sich Sinterschichten aus feinkri-
 stallinem und mit Palladium dotiertem
 Zinndioxid seit vielen Jahren bewährt.
 Sie zeichnen sich aus durch eine hohe
 Gasempfindlichkeit gegenüber zahl-
 reichen brennbaren Gasen. Ihr rever-
 sibles Verhalten und ihre hohe Lebens-
 dauer lassen auf eine grosse chemische
 Stabilität des Halbleiters schliessen.

Figur 4 zeigt den Aufbau eines
 Halbleiter-Gassensors. Auf der Ober-
 fläche eines keramischen Hohlzylinders
 sind zur Erfassung des Sensorsig-
 nals zwei mäanderförmige Elektroden
 mit Kontaktierungsdrähten ange-
 bracht. Das auf dem Keramikträger
 aufgesinterte Halbleitermaterial be-
 steht im wesentlichen aus mit Palladi-
 um katalytisch aktiviertem Zinndi-
 oxid. Um einerseits die Halbleiter-
 oberfläche möglichst gleichmässig zu
 beheizen (300–400 °C) und damit
 schneller zu stabilisieren und ander-
 seits eine gegenseitige elektrische Be-
 einflussung von Heiz- und Messkreis
 auszuschliessen, erfolgt die Sensorhei-
 zung indirekt mit einer Heizspirale im
 Innern des keramischen Hohlzylinders.
 Es wird eine Heizleistung von
 etwa 0,8 W benötigt.

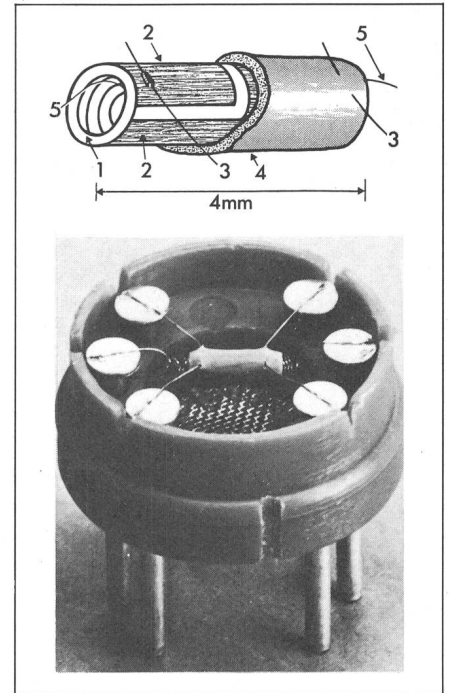
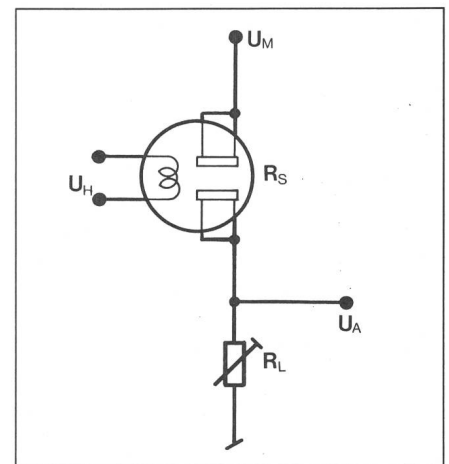


Fig. 4 Halbleiter-Gassensor
 Oben: Schematischer Aufbau
 1 Keramischer Hohlzylinder, 2 Elektroden
 3 Kontaktierungsdrähte, 4 Halbleitermaterial
 5 Heizspirale
 Unten: Halbleiter Gassensor im geöffneten
 Zustand

Das Sensorsignal wird mit Hilfe
 einer einfachen Messanordnung aus-
 gewertet (Fig. 5). Brennbare Gase ver-
 ringern den Widerstand R_S des Hal-
 leitermaterials beträchtlich. Diese
 Widerstandsänderung des Sensors
 wirkt sich als Spannungsänderung U_A
 über dem Lastwiderstand R_L aus und



**Fig. 5 Prinzip-Schaltbild eines Halbleiter-
 Gassensors**
 R_S Widerstand des Halbleitermaterials
 U_A Ausgangsspannung Messkreis
 R_L Lastwiderstand, einstellbar
 U_M Messkreisspannung
 U_H Sensorheizspannung

ist so messbar. Die Messkreisspannung U_M wird aus applikationstechnischen Gründen zwischen 2 und 5 V gewählt. Exemplarstreuungen der Sensorempfindlichkeit werden mit dem einstellbaren Lastwiderstand R_L ausgeglichen. Die Heizspannung U_H wird auf etwa 5 V stabilisiert.

2.4 Applikationstechnische Eigenschaften von Wärmetönungs- bzw. Halbleiter-Gassensoren

Ein sehr wichtiges Kriterium eines Detektors ist seine *Empfindlichkeit*. Beide Messprinzipien sind nicht selektiv, sie reagieren auf alle brennbaren Gase und Dämpfe. Halbleiter-Gassensoren reagieren etwa zehnmal empfindlicher als Pellistoren, zeigen aber auch wesentlich grössere Empfindlichkeitsunterschiede zwischen einzelnen Medien. Ihre Empfindlichkeitscharakteristik ist logarithmisch, diejenige der Pellistoren linear. Die Empfindlichkeit wird bei Pellistoren bereits Minuten nach dem Einschalten erreicht, während dies bei Halbleitern einige Tage dauern kann. Bei hohen Gaskonzentrationen oberhalb der OEG zeigen Halbleiter-Gassensoren ein maximales Messsignal und sichern damit eine eindeutige Anzeige, während für Pellistoren das Messsignal in diesem Bereich mit zunehmender Konzentration wieder gegen null absinkt; deren Anzeige ist also zweideutig.

Kurzfristige *Empfindlichkeitschwankungen* über Tage betragen für beide Messprinzipien bis zu 10%. Langfristig, das heisst innerhalb eines Jahres, erleiden Pellistoren Empfindlichkeitseinbussen bis zu 30% und verlangen deshalb ein regelmässiges Nachjustieren, während bei Halbleiter-Gassensoren normalerweise keine Empfindlichkeitseinbüsse eintritt.

Die *Ansprechgeschwindigkeit* liegt für beide Messprinzipien im Sekundenbereich.

Unter normalen Einsatzbedingungen beträgt die *Lebensdauer* von Halbleiter-Gassensoren etwa fünf Jahre, jene von Pellistoren etwa zwei Jahre.

Klimatische Einflüsse sind beim Pellistor etwa halb so gross wie beim Halbleiter. Dessen starke Abhängigkeit von der absoluten Luftfeuchte kann grösstenteils durch Messung der Umgebungstemperatur kompensiert werden.

Halbleiter-Gassensoren sind bedeutend resistenter gegen *Katalysatorgifte* als Pellistoren. Diese erleiden z. B. durch Silikonverbindungen in gering-

sten Konzentrationen (etwa 1 ppm) irreversible Schäden. Auch halogenierte Kohlenwasserstoffe können je nach Konzentration und Einwirkungszeit temporäre oder irreversible Schäden verursachen. Für Halbleiter-Gassensoren sind keine Stoffe bekannt, die solche Schäden verursachen, sofern die Konzentration einige Volumenprozent nicht überschreitet.

3. Ein neuartiges Gasmeldesystem

Ein neuartiges Gasmeldesystem (Fig. 6) basiert auf dem seit Jahrzehnten bewährten Prinzip der Frühwarn-Brandmeldeanlagen. Als Sensorelemente werden dabei Halbleiter-Gassensoren eingesetzt. Charakteristisch ist, dass sich jedes Sensorelement zusammen mit seiner Auswerte- und Übertragungselektronik als Gasmelder im gefährdeten Bereich befindet. Diese Gasmelder werden nach applikationstechnischen Gesichtspunkten zu Gruppen zusammengefasst und gruppenweise untereinander und mit der zugehörigen Signalzentrale über ein und dasselbe Kabel verbunden. Das System erlaubt auch Gruppen von Brandmeldern an der gleichen Signalzentrale anzuschliessen. Damit weicht es wesentlich von der landläufigen Praxis ab, nach der die in Messköpfen untergebrachten Gassensoren für sich allein im gefährdeten Bereich installiert werden und jeder Messkopf über ein eigenes Kabel mit seiner eigenen

Auswerteschaltung ausserhalb des gefährdeten Bereiches verbunden wird.

Zur Signalisierung des Melderbetriebszustandes besitzen die Gasmelder optische Ansprechindikatoren, die sich bei den Meldern selbst oder in deren Umgebung an einer gut sichtbaren Stelle befinden. Die Signalzentrale umfasst ihrerseits eine Vorwarneinrichtung, eine Alarmeinrichtung und eine Störungsanzeige. Jede dieser Einrichtungen kann eine optische oder akustische Anzeige auslösen, gegebenenfalls auch Steuerfunktionen für die automatische Inangsetzung von Gegenmassnahmen übernehmen, wie Einschalten eines Ventilators, Schliessen eines Ventils usw. Die Leitungen zwischen Signalzentrale und Gasmeldern sind gegen Unterbruch oder Kurzschluss überwacht.

Das Gasmeldesystem erfüllt seine Aufgabe als Frühwarnsystem, indem es sowohl langsam sich aufbauende als auch schnell ein gefährliches Ausmass annehmende Risiken eindeutig und rechtzeitig erkennt und unverzüglich meldet. Dies wird durch das Alarmierungskonzept erreicht, das in zwei Stufen signalisiert.

Übersteigt die Gaskonzentration eine untere Schwelle, wird die Vorwarnung ausgelöst. Steigt die Konzentration an, so wird als zweite Stufe Alarm ausgelöst. Die Signalisierung und die automatische Auslösung von Gegenmassnahmen erfolgen nach vorbestimmtem Programm. Der Gasalarm hat gegenüber der Vorwarnung in allen Belangen Priorität.

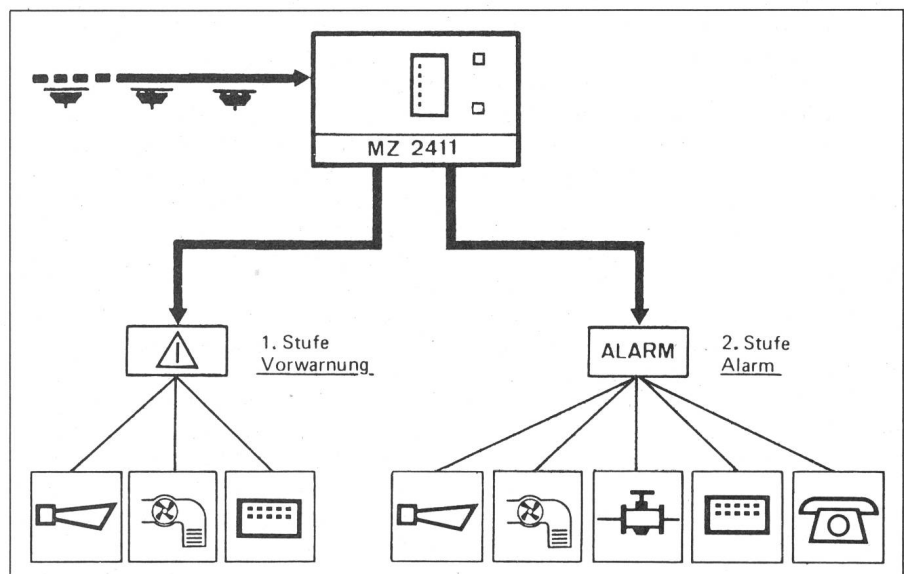


Fig. 6 Prinzipschema eines Cerberus-Gasmeldesystems