

GASWÄRME

International

Gasanwendung in Industrie und Gewerbe

Schwerpunkt
Messen, Steuern, Automatisieren

smartALERT™ – Ein neuartiges Gaswarnsystem zur Leckageüberwachung in Industrie- und Gewerbeanlagen

**smartALERT™: An innovative gas-warning system for leakage detection in industrial
commerce and plants**

Prof. Dr. Gerhard Wiegler, Institut für Mikrosensorik IfM, Fachhochschule Dortmund, Dortmund

erschienen in

GASWÄRME International 4/2006

Vulkan-Verlag GmbH, Essen

Ansprechpartner: Stephan Schalm, Telefon 0201/82002-12, E-Mail: s.schalm@vulkan-verlag.de

smartALERT™ – Ein neuartiges Gaswarnsystem zur Leckageüberwachung in Industrie- und Gewerbeanlagen

smartALERT™: An innovative gas-warning system for leakage detection in industrial commerce and plants

Die Sicherheit von industriellen Gasinstallationen hat in Deutschland einen sehr hohen Stand, der insbesondere im Ex-Bereich auf europäischer Ebene zum Standard gehört. Durch erweiterte Anwendungsbereiche (BHKW's, Biogasanlagen, Werkstätten für Erdgasfahrzeuge usw.), außerhalb der vorgegebenen Ex-Zonen, ergeben sich aber zusätzliche Anforderungen an geeigneten Sicherheitsvorkehrungen. Eine Möglichkeit besteht nun darin, durch den Einsatz von Gaswarngeräten auch geringste Leckagen von explosiven Gasgemischen sicher zu erkennen, im Gefahrenfall dann entsprechend reagieren zu können. In dem vorliegenden Beitrag wird ein Gassensormesssystem beschrieben, das nach dem Prinzip der Infrarotabsorption arbeitet und höchste Anforderungen hinsichtlich der Zuverlässigkeit und Langzeitstabilität erfüllt. Neben der Einhaltung der EN 50 194 wurde in der Entwicklungsphase Wert darauf gelegt auch zusätzliche Anforderungen der Gaswirtschaft, hinsichtlich einer Manipulationserschwerung, zu berücksichtigen.

Industrial gas installation safety has achieved an extremely high status in Germany, forming an element of the European-level standard, particularly in the explosion-endangered-zone field. Expanded ranges of application (CHP cogeneration plants, biogas plants, workshops for natural-gas-powered vehicles, etc.) beyond the existing explosion-endangered-zone definitions have, however, also resulted in additional demands for appropriate safety precautions. The use of gas alarms now also makes it possible to detect even the slightest leakage of explosible gas mixtures with certainty and to react appropriately in case of danger. This article examines a gas-sensor-based measuring system functioning on the infrared-absorption principle which meets maximum requirements for reliability and long-term stability. In addition to adherence to EN 50 194, particular importance was also attached during the development phase to adherence to additional gas-industry demands including, in particular, anti-manipulation provisions.

Erdgas ist einer der wichtigsten Energieträger unserer Zeit und wird mittlerweile in über 18 Mio. deutschen Haushalten eingesetzt. Weiterhin wird Erdgas im Campingbereich und in Zukunft auch vermehrt als Kraftstoff in Fahrzeugen eingesetzt, da es günstig ist und nahezu schadstofffrei verbrennt. Erdgas ist allerdings bei einer Konzentration von 4,4 % bis 15 % in Luft explosionsfähig. Trotz der hohen Sicherheitstechnik wie z. B. Verbesserung der Installationstechnik oder Odorierung des Gases (Zumischung von Geruchsstoffen), kommt es immer wieder zu folgenschweren Unfällen mit Personen- und Sachschäden.

Um die Sicherheit dieser Anlagen zusätzlich zu erhöhen bietet sich der Einsatz von zuverlässigen Gassensoren an, die die Umgebungsluft hinsichtlich explosiver Gemische (Untere Explosions-Grenze = UEG) analysieren um dann, im Gefahrenfall, die weitere Gaszufuhr ins Gebäude zu unter-

brechen. Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurde an der Fachhochschule Dortmund ein Messsystem entwickelt, das nach dem Verfahren der Infrarotabsorption arbeitet und mit dem diese Gefahrensituationen sicher erkannt werden. Die smartGAS Mikrosensorik GmbH aus Dortmund hat, basierend auf diesen Ergebnissen, ein komplettes Gaswarngerät entwickelt.

Messverfahren

Zur Erkennung von Gasleckagen in Gebäuden, existieren grundsätzlich 3 Verfahren,

die unterschiedliche Eigenschaften haben und deshalb auch hinsichtlich ihrer Einsatzfähigkeit untersucht wurden [1,2].

Während Pellistoren und Halbleitersensoren zum überwiegenden Teil nur für einfache Monitorfunktionen eingesetzt werden, findet die Infrarottechnologie hauptsächlich für anspruchsvollere Aufgaben, wie z. B. in der Petrochemie Anwendung.

Pellistoren

Pellistoren nutzen die Wärmetönung aus, die bei einer Oxidation von brennbarem

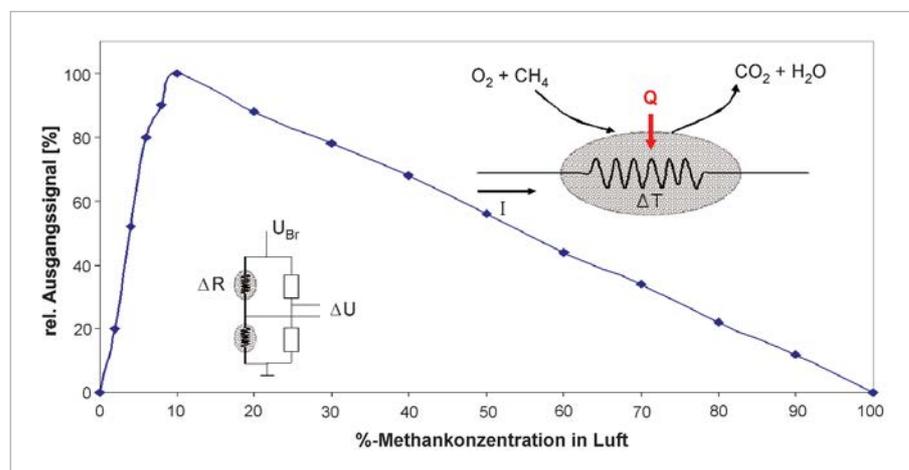


Bild 1: Aufbau, Kennlinie und Wirkungsweise eines Pellistors (Wärmetönungssensor)
Fig. 1: Structure, characteristics curve and manner of function of a pellistor (heat-tone sensor)



Prof. Dr. Gerhard Wiegleb
 Institut für Mikrosensorik IfM,
 Fachhochschule Dortmund,
 Dortmund

Tel. 02 31/19 11 22 75
 E-Mail:
 wiegleb@fh-dortmund.de

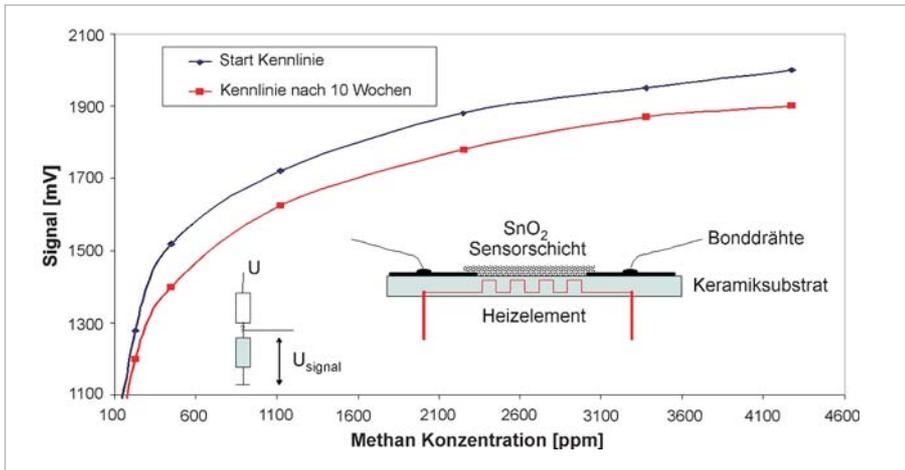


Bild 2: Kennlinie und Kennlinienalterung eines typischen Halbleitersensors auf der Basis von Zinndioxid. Querschnittsdarstellung eines planaren Halbleitersensors mit integrierter Heizung

Fig. 2: Characteristics curve and curve degradation of a typical tin-dioxide-based semiconductor gas sensor. Cross-sectional view of a planar semiconductor gas sensor with integrated heating system

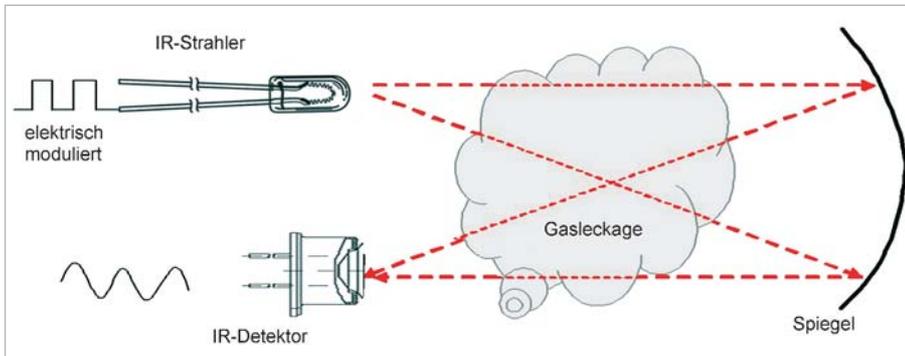


Bild 3: Prinzipieller Aufbau eines Infrarot-Gassensors mit gefaltetem Strahlengang

Fig. 3: Structure in principle of an infrared gas sensor with folded optical path

Gas (z. B. Methan) entsteht. Der Pellistor besteht aus einer Platindrahtwendel, die von einem oxidischem Material umgeben ist. Zusätzlich wird dieses Material mit einem Katalysator (z. B. Palladium) versetzt, um die Reaktionstemperatur herabzusetzen. Die Arbeitstemperatur liegt bei 300–400 °C. Gelangt nun brennbares Gas an die Sensoroberfläche, findet eine exotherme Reaktion statt, bei der das Gas mit dem Umgebungssauerstoff reagiert und Wärme abgibt. Durch diese Wärme erhöht sich die Temperatur (ΔT) des Platindrahtes und führt somit zu einer Widerstandsänderung (ΔR), die dann in einer Messbrücke ausgewertet werden kann. Da für diesen Sensormechanismus ausreichend Sauerstoff vorhanden sein muss, ist die Kennlinie für höhere Gaskonzentrationen, oberhalb der UEG, zweideutig. Weiterhin kann die katalytische Sensoroberfläche durch Katalysatorgifte (Silikondämpfe, Treibgase) deaktiviert werden (**Bild 1**).

Halbleitersensoren

Bestimmte Metalloxide, wie SnO_2 und ZnO , lassen sich ebenfalls für Gassensoren einsetzen. Diese Stoffe verhalten sich wie ein

Halbleiter. Bei höheren Temperaturen werden Elektronen aus dem Valenzband in das Leitungsband überführt und reduzieren somit den elektrischen Widerstand der Metalloxidschicht. Bei Temperaturen oberhalb von 250 °C (Arbeitstemperatur ca. 450 °C) reagiert der Luftsauerstoff dann an der Sensoroberfläche mit den Metalloxiden und bildet so genannte chemisorbierte Bindungen, bei denen dann aus dem Leitungsband Elektronen in diese Bindung überwechseln. Durch diesen Vorgang erhöht sich der elektrische Widerstand. Nach einigen Minuten ist dieser Vorgang nahezu abgeschlossen und der Sensor kann dem Messgas ausgesetzt werden. Auch in diesem Fall findet eine chemische Reaktion statt und der Widerstand sinkt. Aus dieser Widerstandsänderung gewinnt man dann die Information über die vorliegende Gaskonzentration in der Umgebungsluft. Da sämtliche Vorgänge durch die heterogene Katalyse an der Oberfläche beeinflusst werden, spielen auch hier Katalysatorgifte eine große Rolle. Weiterhin muss die Tem-

peratur sehr genau geregelt werden, um stabile Sensoreigenschaften zu erhalten. Aber selbst unter stabilen Randbedingungen verändert sich der Basiswiderstand der Sensorelemente permanent. In **Bild 2** ist eine typische Kennlinie und deren Drift innerhalb einer Zeitspanne von nur 10 Wochen dargestellt [5].

Untersuchungen zum Driftverhalten von Halbleitersensoren über längere Zeiträume sind nicht bekannt. Einige Hersteller empfehlen daher das Sensorelement vorsorglich im jährlichen Rhythmus auszutauschen [7]. Um den Sensor dennoch für messtechnische Zwecke nutzen zu können, müssen zusätzlich aufwendige elektronische Kompensationen durchgeführt werden [3].

Weiterhin werden zusätzliche Filter empfohlen, um die unvermeidbaren Querempfindlichkeiten zu reduzieren [4].

Infrarot-Technologie

Aufgrund der vorher angeführten messtechnischen Problematik werden auch für einfache industrielle Anwendungen in zunehmendem Maße Infrarot-Gassensoren eingesetzt. Die bisherigen Kostenvorteile von Systemen auf der Basis der Wärmetönung (Pellistoren), bzw. der Halbleitersensoren, sind gegenüber der Infrarot-Technologie in jüngster Zeit deutlich geschrumpft. Dies ist ein weiterer Grund für deren Marktdurchdringung.

Infrarot-Gassensoren nutzen die Eigenschaft von Gasmolekülen aus infrarote Strahlung zu absorbieren. Diese Absorption findet in exakt definierten Spektralbereichen statt und hängt im Wesentlichen von der molekularen Struktur der Gase ab. Dadurch ist das Absorptionsspektrum mit einem Fingerabdruck vergleichbar, da es keine zwei Gase gibt, die exakt das gleiche Absorptionsspektrum aufweisen. Durch diese physikalischen Eigenschaften ist die Infrarot-Technologie wesentlich selektiver als alle anderen bekannten Verfahren.

Im **Bild 3** ist der prinzipielle Aufbau des Infrarot-Gassensors zu sehen. Das Licht der Strahlungsquelle wird durch einen gegen-

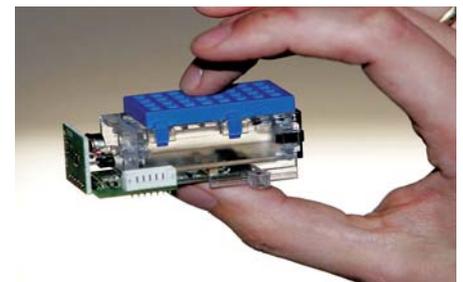


Bild 4: Miniaturisierter Infrarot-Gassensor mit integrierter Auswerteelektronik

Fig. 4: Miniaturized infrared gas sensor with integrated electronic evaluation unit

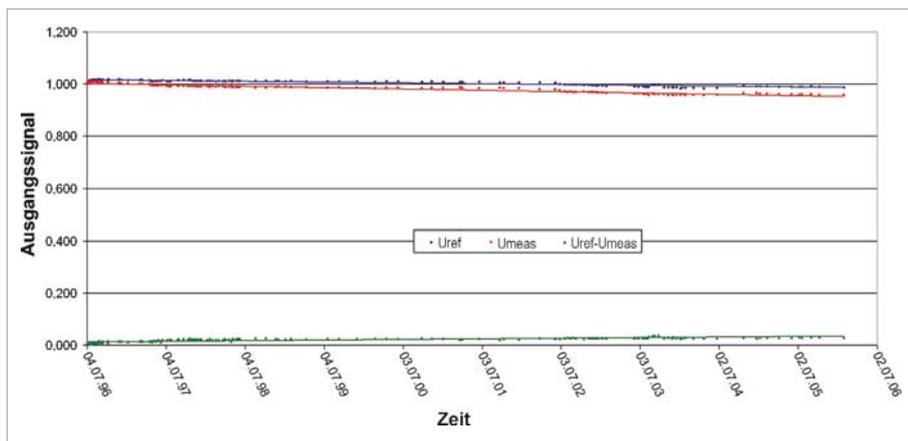


Bild 5: Langzeitverhalten eines Infrarot-Gassensors nach dem 2-Strahlverfahren
Fig. 5: Long-term behaviour of an infrared gas sensor applying the twin-beam principle

Tabelle 1: Kritischer Vergleich der unterschiedlichen Nachweismethoden und deren Anwendungen
Table 1: Critical appraisal of the various detection methods and their applications

	Pellistor	Halbleiter	Infrarot
Selektivität	Alle brennbaren Gase Katalytische Verbrennung (Wärmetönung)	Alle Gase Chemisorption und heterogene Katalyse	„Fingerabdruck“ Dipolmoment 2 atomiger Gase. C-H-Schwingung
Stabilität/Drift	Gute, wenn keine Katalysatorgifte vorliegen	Nullpunkt OK. Empfindlichkeit driftet	Sehr gut durch physikalische Basis. Referenzsignal möglich
Betriebs-temperatur	500–700 °C Oberflächen-temperatur	300–500 °C Oberflächen-temperatur	Raumtemperatur (Strahlungsquelle ist hermetisch gekapselt)
Übersteuern	Zweideutige Kennlinie bei hohen Konzentrationen	Keine hohen %-Bereiche messbar (Sauerstoffbedarf)	Unabhängig vom Konzentrationsbereich (Sättigung)
Kosten	mittel	niedrig	mittel

überliegenden Hohlspiegel umgelenkt und auf den Detektor fokussiert. Der Detektor besteht aus zwei Detektorelementen mit unterschiedlichen spektralen Empfindlichkeiten, die zur Erzeugung einer Mess- und Referenzspannung dienen. Durch diese zusätzliche interne Referenz erlangt man eine extrem hohe Langzeitstabilität. Über einen Zeitraum von bisher 10 Jahren wurden die Sensoreigenschaften untersucht. Die Drift-rate für den Mess- und Referenzkanal ist ähnlich. Die Unterschiede führen dann zu einer Drift, die bei 1 % UEG/Jahr, für einen vollkommen unkompenzierten Gassensor liegen. Wartungsarbeiten sind daher erst frühestens nach 5 Jahren erforderlich (**Bild 4 und 5**).

Vergleich der Messverfahren

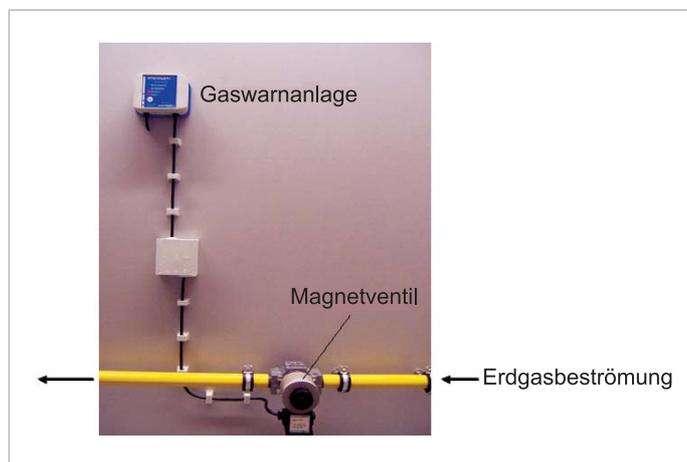
Die verschiedenen Messverfahren, die zur Überwachung von explosiven Gasgemischen prinzipiell zur Verfügung stehen, haben sehr unterschiedliche Eigenschaften. In **Tabelle 1** sind diese Eigenschaften exemplarisch gegenübergestellt worden, um diesen Vergleich transparenter zu machen. Es zeigt sich hier sehr deutlich, dass die In-

frarottechnologie den anderen bekannten Verfahren gegenüber erhebliche Vorteile aufweist, die in dem beschriebenen Sensoraufbau auch nachgewiesen werden konnten.

Zentrale Gasversorgung

In gewerblich genutzten Gebäuden wird Erdgas für unterschiedliche Zwecke einge-

Bild 6: Gaswarnanlage (smartALERT) mit der Möglichkeit einer automatischen Unterbrechung der Gaszufuhr durch ein externes Magnetventil
Fig. 6: Gas alarm unit (smartALERT) with facility for automatic interruption of gas feed via an external solenoid valve



setzt. Neben der Heizungsanlage sind dies je nach Betriebsart auch zusätzliche Infrarot-Heizstrahler oder erdgasbetriebene Öfen. Zur Überwachung dieser Anlagen dient der smartALERT auf der Basis der beschriebenen Infrarot-Technologie. Bei einer Gaskonzentration von > 7 % der UEG wird ein Voralarm ausgelöst, der durch einen Signalton von > 90 dB angezeigt wird [8]. Zusätzlich wird mittels einer ereignisorientierten Sprachausgabe vor der bestehenden Gefahr gewarnt und auf Gegenmaßnahmen hingewiesen. Bei Überschreitung von >14 % wird dann der Hauptalarm aktiviert und bei Bedarf auch die Gaszufuhr mit einem externen Magnetventil unterbrochen. In **Bild 6** ist ein solcher Aufbau dargestellt. Bei der Gasleitung handelt es sich um ein 1“-Rohr mit einem Magnetventil der Firma Dungs Typ MVD 210/6.

Biogasanlagen

Anlagen zur Erzeugung von Biogas unterliegen den Sicherheitsanforderungen der zuständigen Berufsgenossenschaften [6]. Generell werden diese Anlagen in unterschiedliche Ex-Zonen aufgeteilt. Für eine Überwachung innerhalb und außerhalb dieser Zonen bietet sich das Infrarotverfahren ebenfalls an. Neben der Überwachung von Methan, als ein Hauptbestandteil des Biogases, wird auch die Messung von Kohlendioxid immer wichtiger, da Kohlendioxid im Vergleich zu Methan auch toxische Wirkungen auf den Menschen hat. Die Kontrolle von Schwefelwasserstoff im Spurenbereich (ppm-Konzentrationen) erfolgt in der Regel mit speziellen elektrochemischen Sensoren (**Bild 7**).

Glasverarbeitung

In Industriebetrieben zur Verarbeitung von Glas wird zunehmend Erdgas eingesetzt, um das Glas bei hohen Temperaturen bearbeiten zu können. In einem Betrieb zur Verarbeitung von Quarzglas (QCS GmbH in Maintal-Wachenbuchen) wurde ein Gaswarnsystem installiert mit dem Gaslecken erfasst werden und bei einer Gaskonzentration von 0,6 Vol.-% (entspricht 14 %



Bild 7: Gaswarnanlage in einer landwirtschaftlichen Biogasanlage (Landwirtschaftszentrum Haus Düsse der Landwirtschaftskammer NRW) außerhalb der Zone 2

Fig. 7: Gas alarm unit in an agricultural biogas plant (NRW Chamber of Agriculture Haus Düsse Agricultural Center) outside Zone 2

UEG) die Gaszufuhr automatisch unterbricht (**Bild 8**). Da die für die Fertigungseinrichtung erforderliche Gasmenge sehr gering ist, konnte ein Magnetventil kleinerer Bauart (NW 10) eingesetzt werden. Der smartALERT steuert Ventile bis zu einer Leistungsaufnahme von 10 Watt direkt über die interne Geräteelektronik an. Ventile mit einem höheren Leistungsbedarf müssen über ein externes Sicherheitsrelais betrieben werden.

Gaswarngeräte auf der Basis der Infrarottechnik werden in Zukunft in der Gasanwendungstechnik erheblich an Bedeutung gewinnen. Neben erhöhten Anforderungen hinsichtlich der Sicherheitstechnik spielt hier die zuverlässige, technologische Basis eine entscheidende Rolle. Insbesondere der nahezu wartungsfreie Betrieb über mehrere Jahre macht diese Gerätetechnik zu einer idealen Ergänzung bei der Konzipierung von sicherheitstechnischen Einrichtungen in den Betrieben der Gasanwendungstechnik. Das beschriebene Messsystem wird kurzfristig auch in einer vernetzten Version zur Verfügung stehen, um mehrere Sensoren in einer Anlage einsetzen zu können. Dazu müssen dann zusätzliche Messkomponenten wie Acetylen, Wasserstoff, Flüssiggas usw. erfasst werden.

Literatur

- [1] Henze, G.; Köhler, M.; Lay, J.P.: Umweltanalytik mit Mikrosystemen Wiley-VCH Weinheim 1999
- [2] Wiegleb, G.: Industrielle Gassensorik, Expert Verlag Renningen 2001
- [3] Rump, H.: Patentanmeldung DE000019911867 C2 Sensorsystem zur Detektion von Gasen und Dämpfen in Luft
- [4] Rump, H.: Patentanmeldung DE000004412447 A1 Explosionswarner bei explosionsgefährdeten Gasen, insbesondere Methan ...
- [5] Abschlussbericht des BMBF-Projektes KombiSens Nr. 16 SV 491, Dezember 1999

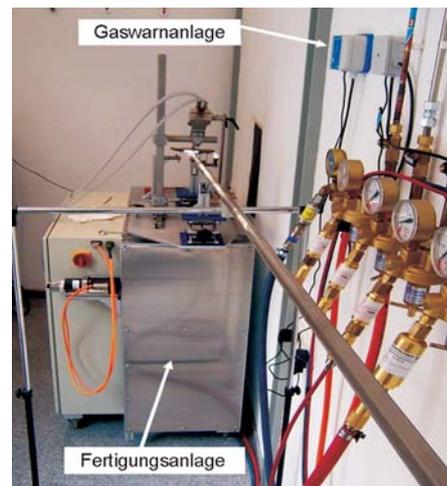


Bild 8: Gaswarnanlage zur Überwachung der Raumluft auf Erdgasleckagen in einem Betrieb zur Verarbeitung von Quarzglas (QCS GmbH in Maintal-Wachenbuchen)

Fig. 8: Gas alarm unit for monitoring of room air for natural gas leakage in a quartz glass processing plant (QCS GmbH, Maintal-Wachenbuchen); perspective

- [6] Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen, Arbeitsunterlage 69 Stand 5.9.2002 Herausgeber: Landwirtschaftliche Berufsgenossenschaft
- [7] Serviceanleitung Gas Watch Dog der Paragon Facilio GmbH
- [8] Datenblatt smartALERT www.smartgas.info ■