

In der Reihe

**Franzis Elektronik-Fachbuch**  
sind erschienen:

Arnoldt, Digitale Schalterfilter  
Gerzelka, Funkverkehrssysteme in Design und Schaltungstechnik  
Kriebel, Energiesparen mit Elektronik  
Nüßmann, Operationsverstärker-Praxis  
Nüßmann, Wie messe ich richtig  
Nutz, Netzteile vom Computer berechnet  
Vogelsang, Wellenausbreitung in der Nachrichtentechnik

Gerhard Wiegleb

# Sensortechnik

Übersicht, Applikation, Anwendungen

Mit 156 Abbildungen und 21 Tabellen

---

**Franzis'**

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

**Wiegleb, Gerhard:**

Sensortechnik: Übersicht, Applikation, Anwendungen / Gerhard Wiegleb. – München: Franzis, 1986.

(Franzis-Elektronik-Fachbuch)

ISBN 3-7723-8111-1

## Vorwort

Die Sensortechnik hat sich in den letzten Jahren zu einem eigenen Teilgebiet der Meß- und Regeltechnik entwickelt, das sich ständig ausweitet und dadurch immer mehr Anwendungen von elektronischen Steuerungen ermöglicht.

Diese Entwicklung wurde insbesondere durch die rasanten Fortschritte der Mikroelektronik bewirkt. Durch die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Mikrocomputern im Haushalt-, Automobil- und Industriebereich werden immer mehr Sensoren benötigt, die sich preisgünstig und in großen Stückzahlen herstellen lassen. Aus dieser Entwicklung heraus ergeben sich interessante und zugleich preiswerte Sensorapplikationen, von denen einige in diesem Buch zusammengestellt sind.

Weiterhin soll dieses Buch dem Anwender helfen und Anregungen geben, eigene Schaltungen zu entwickeln, die sich mit kommerziellen Sensoren realisieren lassen.

Bei der Abhandlung der einzelnen Sensortypen (Temperatur, Druck, Optik usw.) stehen die sensorspezifischen Eigenschaften (Miniaturisierung / neue Technologien) im Vordergrund. Die allgemeinen Grundlagen der elektrischen Meßwertaufnahme werden ebenfalls kurz dargestellt, soweit sie für das Verständnis der Sensoren notwendig sind.

G. Wiegleb

© 1986 Franzis-Verlag GmbH, München

Sämtliche Rechte, besonders das Übersetzungsrecht, an Text und Bildern vorbehalten. Fotomechanische Vervielfältigungen nur mit Genehmigung des Verlages. Jeder Nachdruck, auch auszugsweise, und jede Wiedergabe der Abbildungen, auch in verändertem Zustand, sind verboten.

Satz: Franzis-Technik GmbH, 8000 München  
Druck: Offsetdruck Habitzel & Sohn GmbH, 8060 Dachau  
Printed in Germany. Imprimé en Allemagne

ISBN 3-7723-8111-1

# Inhalt

<b>1 Einleitung</b> .....	11
1.1 Was ist ein Sensor? .....	12
1.2 Mikrocomputer und Sensorik .....	13
1.3 Sensortechnologie – Herstellung .....	13
<b>2 Temperatursensoren</b> .....	15
2.1 Platin- und Nickel-Temperatursensoren .....	15
Meßschaltungen .....	17
2.2 Thermoelemente .....	24
Eispunkt kompensator für Thermoelemente .....	25
2.3 Silizium-Temperatursensoren .....	27
Integrierter Temperatursensor .....	31
Temperatur-Controller .....	34
Temperatur-Frequenzkonverter .....	36
2.4 Heißleiter (NTC) .....	38
2.5 Kaltleiter (PTC) .....	47
Füllstandssensor .....	50
Anwendungen .....	54
2.6 Temperaturdifferenzmessung .....	58
Meßprinzip .....	58
2.7 Kalibrierung .....	58
0°C-Kalibrierung .....	59
100°C-Kalibrierung .....	59
Linearität .....	60

## Wichtiger Hinweis

Die in diesem Buch wiedergegebenen Schaltungen und Verfahren werden ohne Rücksicht auf die Patentlage mitgeteilt. Sie sind ausschließlich für Amateur- und Lehrzwecke bestimmt und dürfen nicht gewerblich genutzt werden<sup>1)</sup>.

Alle Schaltungen und technischen Angaben in diesem Buch wurden vom Autor mit größter Sorgfalt erarbeitet bzw. zusammengestellt und unter Einschaltung wirksamer Kontrollmaßnahmen reproduziert. Trotzdem sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Der Verlag und der Autor sehen sich deshalb gezwungen, darauf hinzuweisen, daß er weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen können. Für die Mitteilung eventueller Fehler sind Autor und Verlag jederzeit dankbar.

<sup>1)</sup> Bei gewerblicher Nutzung ist vorher die Genehmigung des möglichen Lizenzinhabers einzuholen.

<b>8 Optische Sensoren</b> .....	134
Grundprinzip .....	134
Fotodioden .....	135
Fotoleiter .....	141
Thermische Detektoren .....	144
8.1 Positionssensor .....	144
Zweidimensionale Messung .....	149
8.2 CCD-Bildsensoren .....	151
Funktionsweise der CCD-Bildsensoren .....	154
8.3 Rauheits-Sensor .....	160
8.4 Infrarot-Sensoren .....	164
8.5 Faseroptische Sensoren .....	169
Füllstandssensor .....	170
Faseroptischer Temperatursensor .....	171
Strommessung .....	173

<b>3 Drucksensoren</b> .....	62
3.1 Silizium-Drucksensoren .....	62
Temperaturfehlerkompensation .....	65
Ausführungen .....	66
3.2 Elektronisches Barometer .....	72
Kalibrierung .....	74
3.3 Höhenmesser .....	76
Kalibrierung .....	77
<b>4 Durchfluß- und Geschwindigkeitssensoren</b> .....	79
4.1 Thermistoranemometer .....	81
4.2 Durchflußsensor .....	84
4.3 Richtungssensor .....	90

<b>5 Gassensoren</b> .....	93
5.1 Wärmeleitfähigkeitzellen .....	93
5.2 Brennstoffzelle .....	96
5.3 Wärmetönungszelle .....	97
Abgastester (CO) .....	98
5.4 Halbleitersensoren .....	101
TGS-Sensoren .....	104
Erdgas-Sensoren .....	107
Alkohol-Promilletester .....	110
Kalibrierung .....	112
<b>6 Feuchtigkeits-Sensoren</b> .....	114
6.1 Definitionen .....	114
6.2 LiCl-Taupunkthygrometer .....	116
6.3 Kapazitive Feuchtesensoren .....	117
6.4 Meßschaltungen .....	121
6.5 Kalibrierung .....	125
<b>7 Magnetfeld-Sensoren</b> .....	127
7.1 Magneto-resistive-Sensoren .....	127
7.2 Hall-Sensoren .....	130
7.3 Wiegand-Sensoren .....	131
<b>9 Anwendungsgebiete für Sensoren</b> .....	175
9.1 Sensoren in der industriellen Meßtechnik .....	175
9.2 Sensoren in der Robotik .....	178
9.3 Sensoren im Kraftfahrzeug .....	180
9.4 Sensoren in Hausgeräten .....	185
<b>Literatur</b> .....	190
<b>Herstellerverzeichnis von Sensoren</b> .....	193
<b>Sachverzeichnis</b> .....	197

<b>8</b> .....	8
----------------	---



Daraus resultiert dann eine positive Ausgangsspannung. Im umgekehrten Fall, wenn die Strömung in negativer Richtung erfolgt, ist der Thermistor 1 heißer als der Thermistor 2, so daß als Ergebnis eine negative Ausgangsspannung erzeugt wird. In der Kennlinie (Abb. 4.3.3) ist dieses richtungsabhängige Verhalten noch einmal deutlich dargestellt. Oberhalb einer gewissen Strömung ( $Q_{krit.}$ ) nimmt die Ausgangsspannung infolge einer übermäßigen Abkühlung dann wieder langsam ab, ohne allerdings das Vorzeichen zu ändern.

## 5 Gassensoren

Die Detektion von unterschiedlichen Gaszusammensetzungen in der Raumluft oder in Abgasen erfolgt durch sogenannte Gassensoren. Sie liefern in Gegenwart von bestimmten Gasen (z. B.  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $O_2$  oder  $H_2$ ) elektrische Signale, die mehr oder weniger spezifisch auf bestimmte Substanzen reagieren. Ausgenutzt werden dabei unterschiedliche physikalische und chemische Effekte, die noch näher beschrieben werden. Neben diesen einfachen und robusten Gasetektoren gibt es auch noch für hochwertigere Anwendungen optische Fotometer, die selektiver und genauer sind als die Gasetektoren. Sie sind allerdings sehr teuer und kompliziert aufgebaut.

Für einfache Anwendungen, bei denen man mit einer reduzierten Genauigkeit und Selektivität auskommen kann, werden folgende Methoden eingesetzt:

- Wärmeleitfähigkeitszellen ( $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $SF_6$ )
- Wärmetönungszellen ( $CO$ , explosive und brennbare Gase)
- Halbleitersensoren (Alkohole,  $H_2S$ , Kohlenwasserstoffe, giftige Gase)
- Brennstoffzelle (Sauerstoff)

### 5.1 Wärmeleitfähigkeitszellen

Dieser Meßsensor eignet sich zur Detektion von  $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$  und brennbarer sowie explosiver Gase. Das Funktionsprinzip (Abb. 5.1.1) ist folgendes:

Die zu untersuchende Gasprobe diffundiert in die Meßkammer, in der ein ca. 40 K über die Umgebungstemperatur aufgeheizter

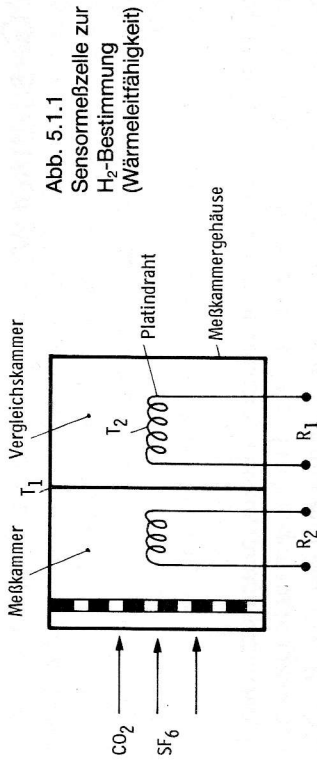


Abb. 5.1.1  
Sensormeßzelle zur  
H<sub>2</sub>-Bestimmung  
(Wärmeleitfähigkeit)

Platin- oder Nickeldraht ist. Ändert sich nun die Zusammensetzung der Gasprobe, so ändert sich auch die Wärmeableitung von dem heißen Draht zur Zellenwand. Bei Kohlendioxyd (CO<sub>2</sub>) tritt dabei eine Erhöhung der Meßdrahttemperatur auf, da die Wärmeleitfähigkeit des CO<sub>2</sub> gering ist. Bei einer Bestromung der Meßzelle mit Wasserstoff (H<sub>2</sub>) kühlt sich der Meßdraht infolge der hohen Wärmeleitfähigkeit des H<sub>2</sub> ab. Diese Abkühlung bzw. Aufheizung des Meßdrahtes führt zu einer Widerstandsänderung, die mit dem Widerstandswert des zweiten, in der Vergleichskammer befindlichen Referenzdrahtes, in einer Wheatston'schen Meßbrücke verglichen wird.

Da die Gaskonzentration indirekt über die Wärmeleitfähigkeit der Gase gemessen wird, erhält man eine unselektive (unspezifische) Anzeige, die nur für binäre Gasgemische geeignet ist. Treten gleichzeitig Gase mit gegenläufigen Wärmeleitfähigkeiten (H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) auf, so ist das Meßverfahren nur dann brauchbar, wenn ein Gas herausgefiltert werden kann.

*Typische Meßbereiche*

Kohlendioxyd	CO <sub>2</sub>	Typ	kleinster MB
Schwefeldioxyd	SO <sub>2</sub>	0...100 %	0...5 %
Wasserstoff	H <sub>2</sub>	0...100 %	0...5 %
			0...1 %

Die Wärmeleitfähigkeit (λ) für unterschiedliche Gase und Temperaturen ist in *Tabelle 5.1.1* aufgeführt. Je größer die Differenz der

**Tabelle 5.1.1**

Substanz	Wärmeleitfähigkeit λ (μW/cm · K) bei		Relative Wärmeleitfähigkeit (%) bezogen auf Luft bei
	0 °C	100 °C	
Luft	241	314	1,000
Aceton	97,8	-	0,406
Acetylen (Äthin)	186	303	0,965
Äthan	183	316	1,006
Äthylen (Äthen)	175	310	0,987
Äthylenoxid	(93)	193	(0,390)
Ammoniak	216	332	0,896
Argon	164,8	301,4	0,684
Benzol	(89)	165	(0,370)
Butadien-(1.3)	(122)	-	(0,510)
Butan	135	245	(0,560)
Chlor	77,8	-	0,323
Distickstoffdioxid	153	236	0,635
Freon 12	82,9	-	0,344
Helium	1430	1740	0,593
Heptan	-	176	-
Hexan	(120)	202	(0,500)
Kohlendioxyd	145	223	0,602
Kohlenoxid	231	304	0,959
Krypton	87,8	116	0,364
Methan	303	442	1,257
Methylbromid	61,9	-	0,257
Neon	461	571	1,913
Pentan	(130)	228	(0,540)
Propan	151	272	0,627
Propylen (Propen)	140	-	0,581
Sauerstoff	245	318	1,017
Schwefeldioxyd	86,2	138	0,358
Stickstoff	240	308	0,996
Wasser	-	246	-
Wasserstoff	1710	2110	7,100

Wärmeleitfähigkeiten zweier Gase ist, um so genauer kann man sie analysieren. In der zweiten Spalte ist die relative Wärmeleitfähigkeit, bezogen auf Luft ( $N_2/O_2$ ), in Prozent angegeben. Die größte Differenz zu Luft ergibt sich dabei für Helium und Wasserstoff, die mit dem Wärmeleitfähigkeitsverfahren sehr gut analysiert werden können.

### 5.2 Brennstoffzelle

Zur Detektion von Luftsauerstoff (ca. 20 Vol. %) wird im allgemeinen ein Sensor mit einer Brennstoffzelle benutzt. Er besteht aus einem großflächigen, elektronenleitenden Material, das zwischen dem Elektrolyten und der atmosphärischen Luft liegt. In Gegenwart von Sauerstoff findet eine Reaktion mit der aktiven Oberfläche dieses Materials statt. Die dadurch freierwerdende Energie führt zu einem meßbaren elektrischen Signal, das ausgewertet werden kann. Eine schematische Darstellung dieser Meßzelle ist in *Abb. 5.2.1* zu sehen. Durch die chemische Wechselwirkung (Reaktion) des Sauerstoffs in der Meßzelle entsteht zwischen der Kathode und der Anode eine Meßspannung, die proportional zum Sauerstoffgehalt in der Atmosphäre ansteigt. Diese Reaktion ist sehr schnell, so daß

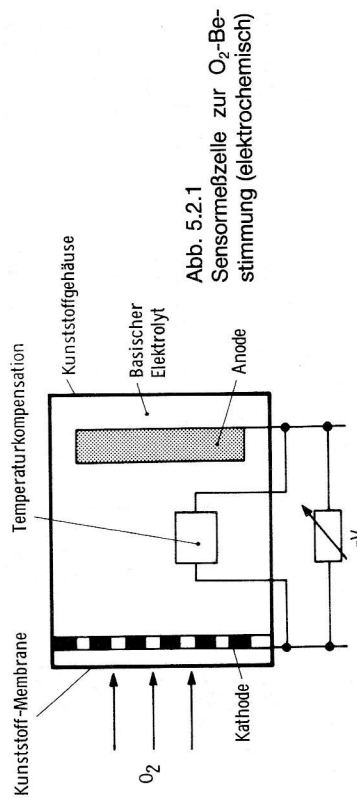


Abb. 5.2.1  
Sensormezelle zur  $O_2$ -Bestimmung (elektrochemisch)

man sofort den momentanen Sauerstoffgehalt erhält. Durch eine Temperaturkompensation, die innerhalb der Meßzelle durchgeführt wird, ist das Ausgangssignal temperaturstabilisiert. Typische Meßbereiche sind 0...21 %  $O_2$  zur Messung des Sauerstoffgehaltes in der Raumluft.

### 5.3 Wärmetönungszelle

Die Wärmetönungszelle ist eine häufig benutzte Möglichkeit zur Messung von brennbaren Gasen, insbesondere von Kohlenmonoxid  $CO$  in der Umgebungsluft und in Autoabgasen.

Eine Wärmetönungszelle enthält zwei Meßwendel aus Platin, die mit zwei Festwiderständen zu einer Meßbrücke zusammengeschaltet sind. Durch einen relativ hohen Brückenstrom  $I_B$  werden die Platinwendel auf ca. 500 °C aufgeheizt. Ist eine dieser Meßwendel nun mit einem aktiven Katalysator beschichtet und die andere Meßwendel mit einem passiven Katalysator, so reagiert das in der Atmosphäre befindliche Kohlenmonoxid  $CO$  mit dem Luftsauerstoff an dem aktiven Katalysator zu Kohlendioxid  $CO_2$ . Die durch diese Reaktion freierwerdende Energie führt zu einer Erhöhung des Widerstandwertes der aktiven Meßwendel und damit zu einer meßbaren Brückenverstellung. Mit einem solchen Sensor lassen sich auch sehr geringe  $CO$ -Konzentrationen von 1 ppm\* nachweisen. Der kleinstmögliche Meßbereich liegt bei 200 ppm  $CO$  in Raumluft. Neben  $CO$  sind im Prinzip alle brennbaren Gase mit dieser Sensorzelle nachweisbar. Durch geeignete Auswahl des Katalysators und der Drahttemperatur lassen sich gewisse Selektivierungen erreichen.

\* ppm = parts per million, Teile pro Millionen

Die Anwendungsgebiete dieses Sensortypes liegen in der Überwachung von

- Garagen und Parkhäusern
- Straßentunnel
- Motor- und Kfz-Prüfständen
- Schutz-, Arbeits- und Lagerräumen
- Schutzräumen des Zivilschutzes und
- Kokereien.

**Abgastester**

Die Abgaskontrolle von Kohlenmonoxid (CO) wird bei der TÜV-Prüfung aus Gründen des Umweltschutzes regelmäßig durchgeführt. Der zulässige Höchstwert liegt um 4 % bei Autoabgasen. Kohlenmonoxid entsteht im allgemeinen durch zu wenig Sauerstoff während der Verbrennung von Benzin im Motor. Bei einem Überschuß von Sauerstoff wird fast ausschließlich Kohlendioxyd CO<sub>2</sub> erzeugt, das im Gegensatz zum Kohlenmonoxid ungiftig ist. Ist bei der Verbrennung im Motor zu wenig Sauerstoff vorhanden, so spricht der Fachmann von einer *fetten* Vergasereinstellung. Bei einem Sauerstoffüberschuß erhält man dann entsprechend eine *magere* Vergasereinstellung. Für einen guten Wirkungsgrad ist der CO-Wert so niedrig wie möglich zu halten, was man durch eine *magere* Einstellung erreichen kann.

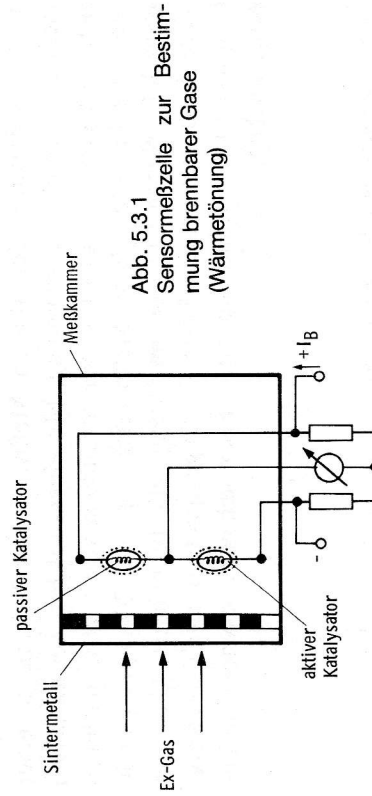


Abb. 5.3.1  
Sensormeißzelle zur Bestimmung brennbarer Gase (Wärmetönung)

Allerdings entstehen unter diesen Bedingungen auch noch sogenannte unverbrannte Kohlenwasserstoffe (kurz HC genannt), die ebenfalls gesundheitsschädlich sind. Die optimale Vergasereinstellung wird bei einem Kohlenmonoxydanteil von 1 % CO (Abb. 5.3.2) erreicht. Zur Messung dieses Wertes eignet sich das Wärmetönungsverfahren besonders gut, da es preisgünstig und robust ist.

Die Schaltungsanordnung (Abb. 5.3.3) für den Abgastester ist sehr einfach. Die Meßwendel 1 + 2 sind in einer Meßbrücke angeordnet, die von einem einstellbaren Spannungsregler (z. B. LM317) über eine Autobatterie versorgt wird. Die eingestellte Brückenspannung sollte ca. 3 V betragen. Der Nullpunktgleich wird über das 1-kΩ-Trimpotentiometer, das parallel zur Meßbrücke angeordnet ist, vorgenommen. Die Differenzspannung ΔU<sub>D</sub> wird mit einem Analoganzeiger direkt gemessen. Der Schalter S<sub>1</sub> dient zur Meßbereichsumschaltung von 5 % nach 10 %. Die Meßwerkzeuge werden in den einzelnen Schalterstufen mit dem Trimpotentiometer

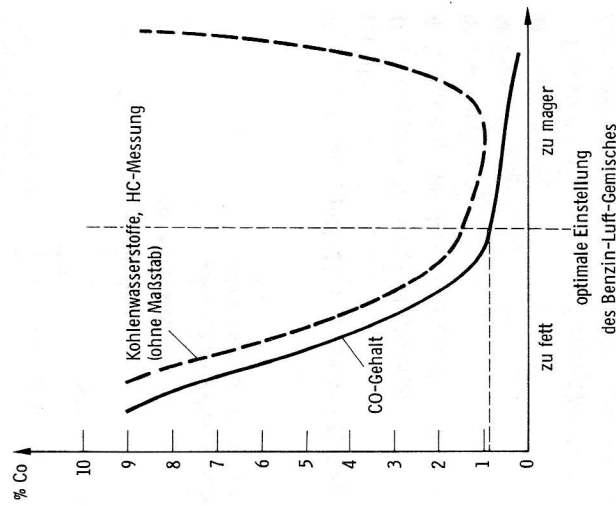


Abb. 5.3.2  
Abhängigkeit des CO-Gehaltes von der Vergasereinstellung

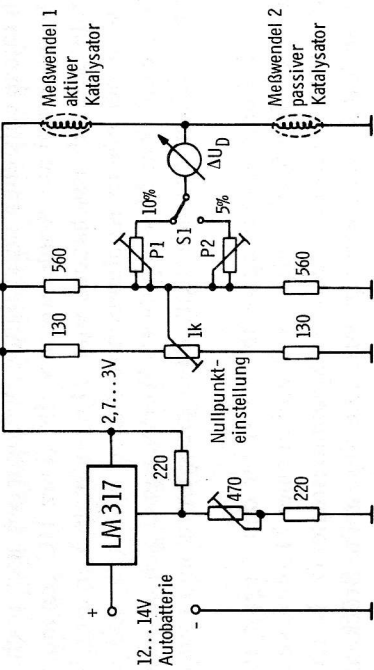


Abb. 5.3.3 Auswertelektronik für den Abgastester

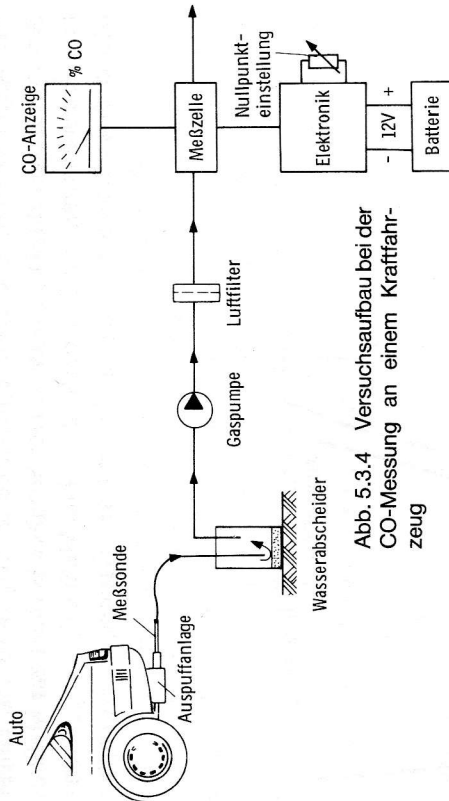


Abb. 5.3.4 Versuchsaufbau bei der CO-Messung an einem Kraftfahrzeug

P<sub>1</sub> bzw. P<sub>2</sub> geregelt. Der gesamte Meßaufbau (Abb. 5.3.4) beinhaltet die

- Entnahme über die Meßsonde
- Trennung des Kondensators im Wasserabscheider
- Gasförderung
- Gasfilterung
- Gasmessung.

Bei der Entnahme wird ein etwa 30 cm langes Metallrohr in den Auspuffstutzen hineingesteckt, um eine Falschlufthausung zu ver-

hindern. Das Meßgas gelangt dann über eine Schlauchleitung in einen Kondensatabscheider, damit kein kondensiertes Wasser in den Sensor gelangt. Die Gasförderung übernimmt eine Membranpumpe, wie sie z. B. bei der Aquariumbelüftung verwendet wird. Danach muß das Meßgas noch von eventuell vorhandenen Staubpartikeln befreit werden. Als Filterelemente läßt sich z. B. ein BenzinfILTER (Leitungsfilter) einsetzen. Erst jetzt gelangt das Meßgas in die Sensorzelle, wo die eigentliche Messung stattfindet. Durch die langen Schlauchwege der Gasaufbereitung dauert es ca. 1/2 Min., bis die Anzeige am Analoginstrument erscheint.

Der komplette Aufbau, wie er beschrieben wurde, ist als Bausatz\* erhältlich.

Vor der ersten Inbetriebnahme muß das Gerät mit einem Eichgas beströmt werden, um die notwendigen Einstellungen mit dem Trimpotentiometer P<sub>1</sub> + P<sub>2</sub> vornehmen zu können. Eine Prüfgasprobe ist in dem Bausatz ebenfalls enthalten.

### 5.4 Halbleitersensoren

Die einfachsten und billigsten Gassensoren nutzen die Widerstandsänderung bestimmter Halbleitermaterialien, die infolge einer Absorption oxydischer Gase eintritt. In Abb. 5.4.1 ist der prinzi-

\* Bräutigam Meßtechnik, Oskar-Thien-Str. 7, 8752 Goldbach

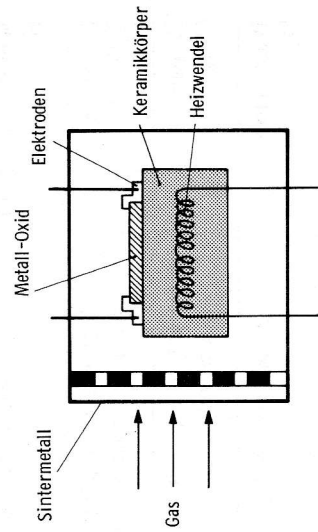


Abb. 5.4.1 Sensormesszelle zur Bestimmung von giftigen (toxischen) Gasen



pielle Aufbau eines solchen Halbleitersensoren dargestellt. Er besteht aus einem keramischen Grundkörper, der je nach Anwendung auf Temperaturen von 100...500 °C aufgeheizt werden kann. Auf diesem Keramikkörper befinden sich zwei Elektroden, zwischen denen ein halbleitendes Metalloxyd aufgebracht ist. Strömt nun ein bestimmtes Gas über diese aktivierte Metalloxydschicht hinweg, so ändert sich der Leitwert dieses Halbleiters. Durch eine Brückenschaltung wird diese Leitwertänderung in eine Spannungsänderung überführt. In der Tabelle 5.4.1 sind einige Sensorelemente zum Nachweis von verschiedenen Gasen aufgeführt. Das wichtigste Sensormaterial ist SnO<sub>2</sub> mit unterschiedlichen Dotierungen (Zusätze). Durch Wahl der Dotierung und der Elementtemperatur lassen sich gewisse Selektivierungen erzielen. In Abb. 5.4.2 ist die Empfindlichkeit ( $\Delta I/I$ ) für 100 ppmCO und 10 000 ppmCH<sub>4</sub> für unterschiedliche Dotierungen und Temperaturen dargestellt. Bei

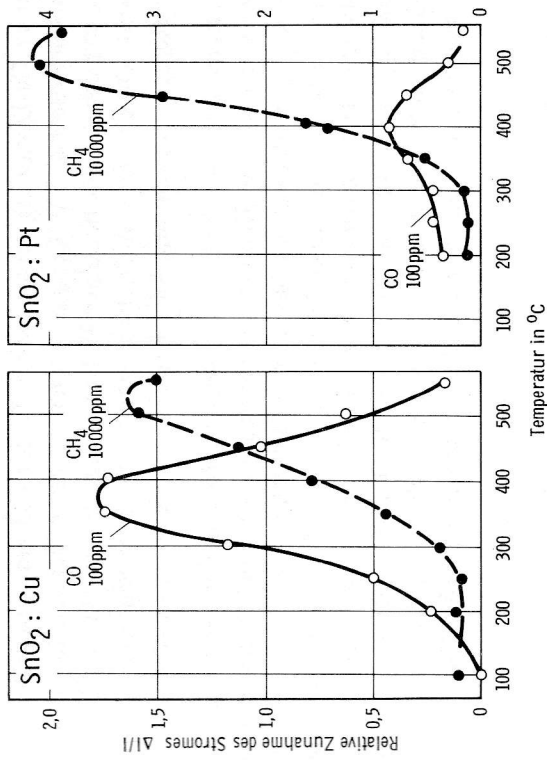


Abb. 5.4.2 Optimierungsmöglichkeiten für einen Zinnoxid-Gassensor mit unterschiedlichen Dotierungen (Ca + Pb)

Tabelle 5.4.1

Nachweis von:	Sensor Elemente
Kohlenmonoxid CO	In O <sub>2</sub> gesputterte SnO <sub>2</sub> -Schichten Betriebstemperatur: 250...500°
Äthanol C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	Pyrolytisch abgeschiedene SnO <sub>2</sub> -Schichten auf Quarzsubstraten: ZnO-Sinterprobe Ag-dotiert
Schwefelwasserstoff H <sub>2</sub> S	SnO <sub>2</sub> -Schicht mit Al-Dotierung
Isobuthan C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Dotierte ZnO-Schicht auf Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Träger und Katalysatorschicht aus P <sub>r</sub> -Verbindung
Propan C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	SnO <sub>2</sub> + 1 % PdCl <sub>2</sub> + Mg (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> dotiert mit Nb (V, Ti, Mo)
Wasserstoff H <sub>2</sub>	Gesputtertes SnO <sub>2</sub> + 1 % Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

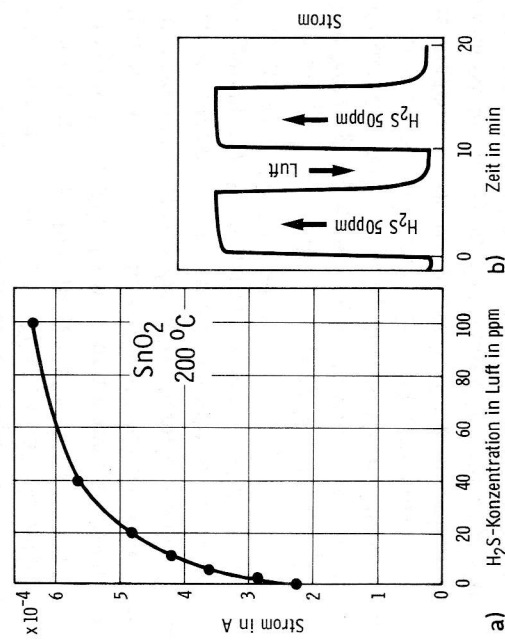


Abb. 5.4.3 Ansprechverhalten eines SnO<sub>2</sub>-Gassensors bei 200 °C

einer Cu-Dotierung erhält man z. B. für CO eine optimale Empfindlichkeit bei 370 °C. Die optimale Empfindlichkeit für Methan (CH<sub>4</sub>) erhält man bei einer Pt-Dotierung, die bei 500 °C aktiviert wird. Durch diese Maßnahme erhält man zwei Sensoren, die für bestimmte Anwendungsfälle *selektive Anzeigen* ermöglichen.

Einen äußerst selektiven Gassensor erhält man für Schwefelwasserstoff H<sub>2</sub>S. Die Kennlinie eines undotierten SnO<sub>2</sub>-Sensors ist in *Abb. 5.4.3a* dargestellt. Sie zeigt im Bereich von 0...20 ppm H<sub>2</sub>S in Luft eine steil ansteigende Charakteristik, die dann allerdings abflacht. Die Aktivierungstemperatur ist bei diesem Sensortyp nur 200 °C, da das H<sub>2</sub>S sehr leicht an dem SnO<sub>2</sub> zerfällt. Durch eine sehr dünne Aktivschicht des SnO<sub>2</sub> von ca. 150 nm erhält man kurze Ansprechzeiten, die im Sekundenbereich liegen (*Abb. 5.4.3b*).

### TGS-Sensoren

Der bedeutendste Hersteller von Halbleitersensoren ist die japanische Firma Figaro Inc. Sie hat ein breites Programm an Gassensoren für die unterschiedlichsten Anwendungen. Die Preise pro Sensorelement liegen bei etwa 20.- DM, so daß sie auch für Hobby-schaltungen interessant sind. In der *Abb. 5.4.4* ist ein TGS-Sensor der Fa. Figaro dargestellt. Er besteht aus einem Keramikröhrchen, das von innen mit einem dünnen Draht beheizt wird. Außen auf dem Röhrchen befindet sich die aktive Schicht mit den Elektroden. Der gesamte Sensor ist mit einem Drahtnetz gegen mechanische Einflüsse geschützt. Das Schaltungssymbol und die Beschaltung des Sensors ist in *Abb. 5.4.5* zu sehen.

Der Sensor wird durch die Spannung  $V_H$  auf  $T > 200\text{ °C}$  aufgeheizt. Die Versorgungsspannung  $V_C$  bewirkt einen Spannungsabfall  $V_{RL}$  über den Lastwiderstand  $R_L$ , der in Abhängigkeit von dem sich ändernden Sensorstrom  $I_S$  steht. Die Empfindlichkeit des TGS815D für verschiedene Gase ist in *Abb. 5.4.6* zu sehen.  $R_0$  ist der Sensorwiderstand in einem 1000 ppm CH<sub>4</sub>/Luft-Gemisch, während  $R$  den Sensorwiderstand bei unterschiedlichen Gaskonzentrationen darstellt. Die Änderung der Ausgangsempfindlichkeit  $R/R_0$  bei

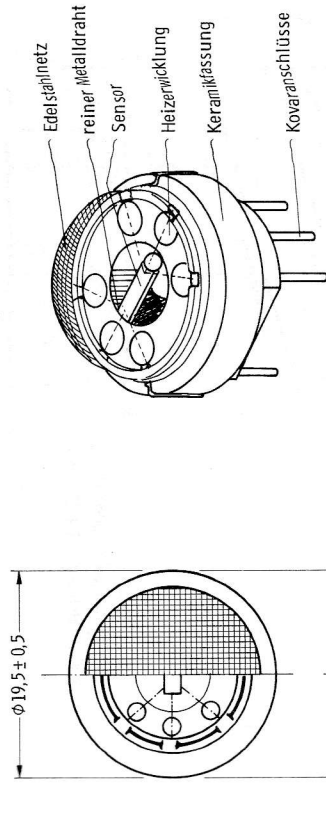


Abb. 5.4.4  
Mechanischer Aufbau eines kommerziellen (TGS) Gassensors

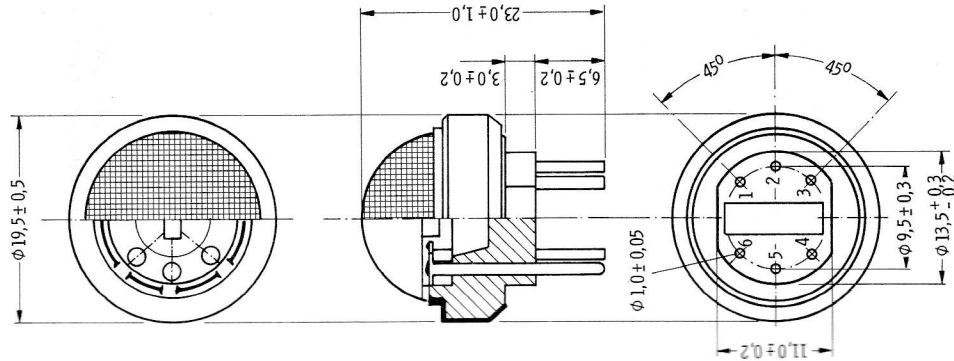


Abb. 5.4.5  
Elektronische Anschlüsse (a) und Grundschialtung (b) für die TGS-Gassensoren

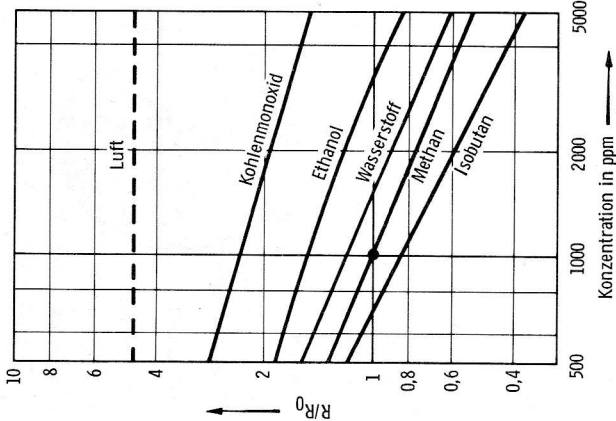


Abb. 5.4.6 Ansprechempfindlichkeit für unterschiedliche Gase

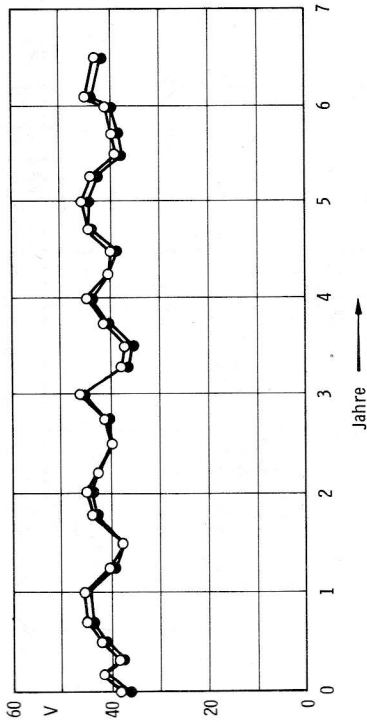


Abb. 5.4.8 Langzeitverhalten der TGS-Gassensoren

Temperaturen bzw. Feuchtigkeitsgehalte. Der Sensor TGS815D ist eine bezüglich der Temperatur- und Feuchtigkeitseinflüsse optimierte Version der Figaro-Detektoren.

Die Langzeitstabilität dieser Sensoren ist über mehrere Jahre fast konstant (Abb. 5.4.8), so daß eine Nachkalibrierung nicht unbedingt erforderlich ist.

Erdgas-Sensor

Haushalte, in denen mit Erdgas geheizt und gekocht wird, unterliegen der Gefahr einer Explosion durch unkontrolliertes Austreten von Gas. Durch einen kontinuierlich arbeitenden Gassensor läßt sich diese Gefahr stark eingrenzen. Entscheidend für eine *Gasexplosion* ist die *Untere Explosive Grenze*, kurz *UEG* genannt, die für Erdgas bzw. für Propan und Butan bei 2...10 % in Luft liegt. In der *Tabelle 5.4.2* sind die Explosionsgrenzen einiger wichtiger Gase aufgeführt. Da die Ansprechempfindlichkeit der TGS-Sensoren unterhalb von 1000 ppm liegt, ist eine sichere Detektion von Leckagen gewährleistet. Der prinzipielle Aufbau einer solchen Schaltung ist in *Abb. 5.4.9* zu sehen. Sie besteht im wesentlichen aus einer Wheatstone-Brücke, die über eine Konstantspannungsquelle (7805) versorgt wird. Als aktives Element ist ein TGS-Sensor vom Typ

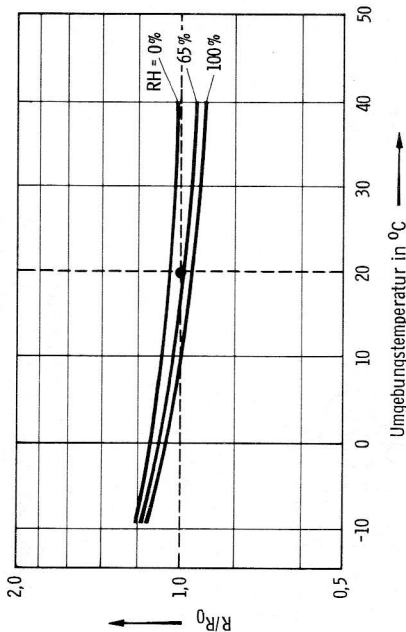


Abb. 5.4.7 Veränderung des Grundwiderstandsverhältnisses  $R/R_0$  bei unterschiedlichen Temperaturen und Feuchtigkeitsgehalten (RH)

unterschiedlichen Temperaturen und relativer Feuchte ist in *Abb. 5.4.7* für den gleichen Sensortyp gezeigt.  $R_0$  ist hierbei der Sensorwiderstand für ein 1000 ppm  $CH_4$ /Luft-Gemisch, mit 65 % relativer Feuchte bei 20 °C.  $R$  bezieht sich dann auf die sich ändernden



**Tabelle 5.4.3**

Technische Daten	Gehäuse	Anwendungsgebiete
Typ TGS 813 V <sub>C</sub> : 24 V max. V <sub>H</sub> : 5,0 V R <sub>L</sub> : 4 kΩ	Nylon 66 max. Temp. 240 °C	Hohe Empfindlichkeit gegenüber Propan-, Butan- und Methangas. Geringe Empfindlichkeit gegenüber Alkohol und Kohlenmonoxid. Geeignet für Gasdetektoren
Typ TGS 812 V <sub>C</sub> : 24 V max. V <sub>H</sub> : 5,0 V R <sub>L</sub> : 4 kΩ	Nylon 66 max. Temp. 240 °C	Hohe Empfindlichkeit gegenüber Gift-Gasen (Kohlenmonoxid, Ammoniak, Schwefeldioxid usw.) und organischen Dämpfen (Alkohol, Benzin usw.). Geringe Empfindlichkeit gegenüber Methan. Geeignet für Rauchmelder u. Alkohol-Detektoren
Typ TGS 109 V <sub>C</sub> : 100 V V <sub>H</sub> : 1,0 V R <sub>L</sub> : 4 kΩ	Polyäthylen-Terephthalat max. Temp. 240 °C	Hohe Empfindlichkeit gegenüber Propan-, Butan- und Methangas. Geringe Empfindlichkeit gegenüber Alkohol. Geeignet für Gas-Detektoren. Das Ausgangssignal erlaubt die Herstellung eines hochwertigen aber billigen Detektors, da der Verstärker entfallen kann
Typ TGS 711 V <sub>C</sub> : 24 V max. V <sub>H</sub> : 5 V R <sub>L</sub> : 4 kΩ		Hohe Empfindlichkeit für geringe Kohlenmonoxid-Konzentrationen. Mögliche Meßbereiche liegen zwischen 50...500 ppmCO
Typ TGS 814D V <sub>C</sub> : 24 V max. V <sub>H</sub> : 5 V R <sub>L</sub> : 4 kΩ		Hohe Empfindlichkeit für geringe Ammoniak-Konzentrationen. Mögliche Meßbereiche liegen zwischen 30...100 ppm. Geringe Empfindlichkeit gegenüber Wasserstoff
Typ TGS 911 V <sub>C</sub> : 24 V max. V <sub>H</sub> : 1,2 V R <sub>L</sub> : 4 kΩ		Geringe Heizspannung für Batteriebetrieb. Hohe Empfindlichkeit für Methan, Propan, Butan usw. Gute Reproduzierbarkeit für genaue Messungen. Einsatz in Meßgeräten auch unter korrosiver Atmosphäre. Abgasmessungen möglich

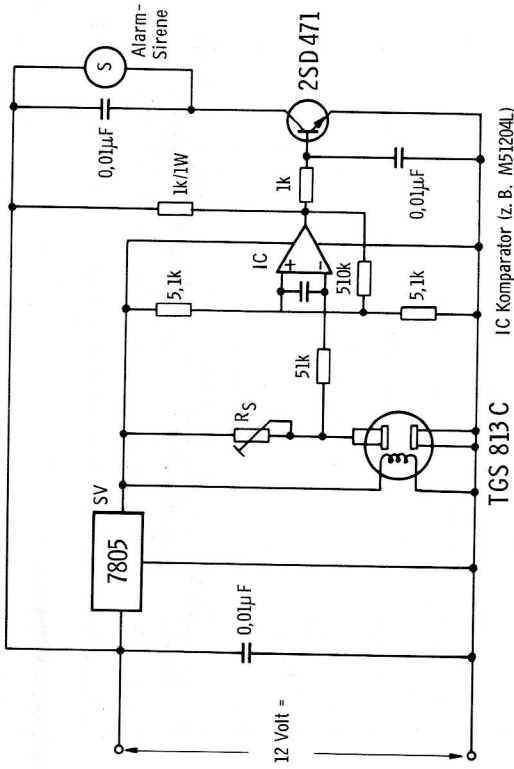


Abb. 5.4.9 Auswerteschaltung für einen Erdgasdetektor (Explosionsschutz)

**Tabelle 5.4.2**

Komponente	Chemische Formel	Dichte	Explosionssgrenze
Methan	CH <sub>4</sub>	0,6	5...15 %
Ethan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1,0	3...12,4 %
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1,6	2,1...9,5 %
Butan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	2,0	1,8...8,4 %
Pentan	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	2,5	1,4...7,8 %
Hexan	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	3,0	1,2...7,4 %
Heptan	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	3,5	1,0...6,7 %
Octan	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	3,9	0,9...6,5 %
Decan	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	4,9	0,7...5,6 %
Benzol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	2,8	1,2...8,0 %
Toluol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	3,1	1,2...7,1 %
Xylol	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	3,7	1,0...7,2 %
Methylenchlorid	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	2,9	13...22 %
Methanol	CH <sub>4</sub> O	1,1	5,5...37 %
Ethanol	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	1,6	3,3...19 %
Propanol	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	2,1	2...14 %
Butanol	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	2,6	1,4...12 %
Methylnaether	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	1,6	3,4...18 %
Aceton	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	2	2,1...13 %
Ethylacetat	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	3	2,1...11,5 %
Kohlenmonoxid	CO	1,0	12,5...74 %
Wasserstoff	H <sub>2</sub>	0,07	4...75 %

813C in der Meßbrücke vorgesehen, der für explosive Gase ausgelegt ist. Das Brückenausgangssignal gelangt dann zu dem Komparator (IC, M 51204L), der bei Überschreitung einer gewissen Ausgangsspannung, die mit dem Trimpotentiometer  $R_s$  einstellbar ist, den Transistor (2SD 471) durchschaltet. Diesen Einschaltvorgang kann man dann zum Ansteuern einer Alarmsirene oder eines Ventilators zur Belüftung des gefährdeten Raumes ausnutzen. In der Tabelle 5.4.3 sind die Anwendungsbereiche der einzelnen TGS-Sensoren dargestellt. Prinzipiell lassen sich alle diese TGS-Sensoren in der Schaltung nach Abb. 5.4.9 für die unterschiedlichen Problemlösungen einsetzen.

### Alkohol-Promilletester

Halbleitersensoren der TGS-Serie lassen sich auch zur Messung von *Alkoholdämpfen* einsetzen, da sie prinzipiell auf alle brennbaren (oxidierbaren) Gase reagieren. Mit einer entsprechenden Meßschaltung läßt sich ein solcher Sensor z. B. auch zur Erfassung des Blutalkoholgehalts verwenden. Das Funktionsprinzip ist recht einfach. Nach dem Alkoholgehalt ist ein bestimmter Anteil des im Blut enthaltenen Alkohols auch in der Atemluft nachweisbar. Je größer der Blutalkoholgehalt ist, um so größer ist auch der Anteil an Alkoholdampf in der Atemluft. Kommt ein TGS-Sensor nun durch Anblasen mit diesem Alkoholdampf in Berührung, so ändert er entsprechend dem Alkoholanteil seinen Widerstandswert.

Diese Widerstandsänderung wird dann in der Meßschaltung ausgewertet. Durch eine geeignete Kalibrierung läßt sich also der Alkoholanteil im Blut und damit die Fahrtüchtigkeit messen. Die Meßschaltung ist in Abb. 5.4.10 dargestellt. Sie besteht im wesentlichen aus einer mit Konstanzspannung (IC1, 7805) versorgten Meßbrücke, die als aktives Element einen TGS-812 Gas-Sensor enthält. Die eigentliche Meßspannung liegt an dem gekennzeichneten Meßpunkt an. Sie ist je nach Alkoholdampfkonzentration zwischen 0,4 V und 5 V. Diese Ausgangsspannung wird den invertierenden

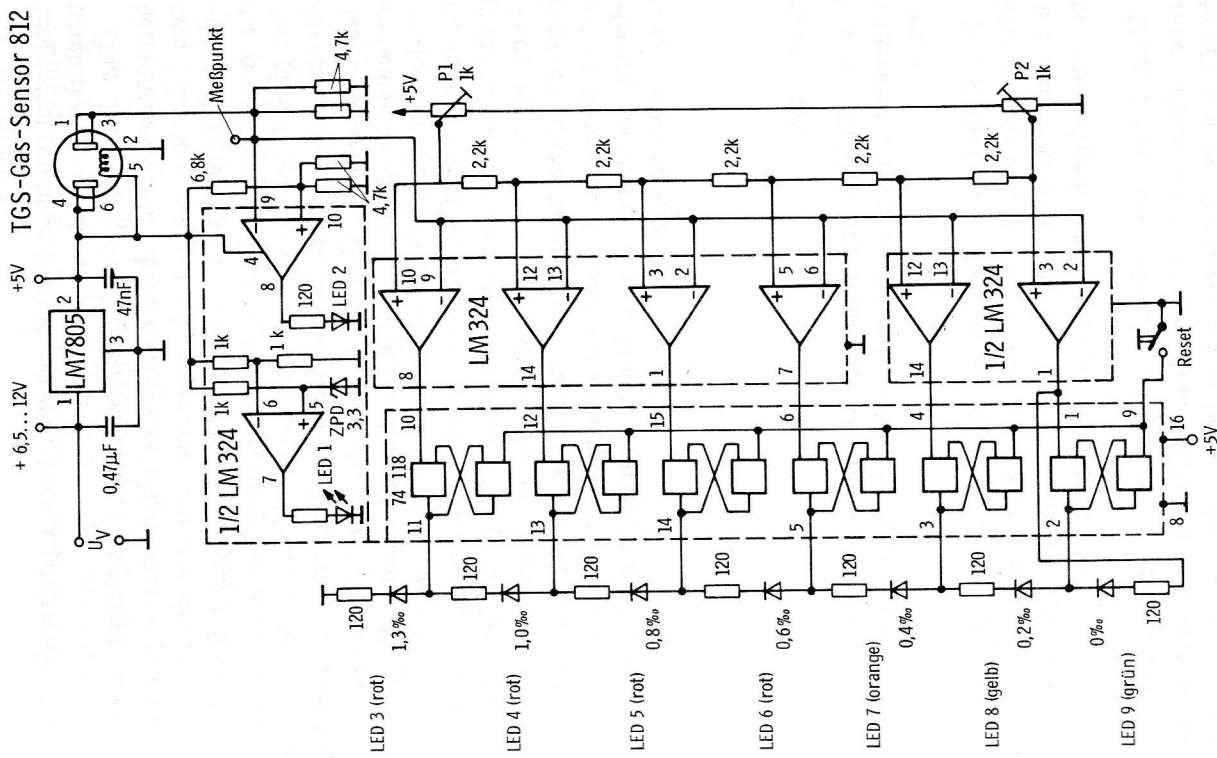


Abb. 5.4.10 Auswerteschaltung für einen Alkohol-Promilletester

Eingängen von sechs Operationsverstärkern zugeführt, die als Komparatoren geschaltet sind.

Über die Widerstände  $R_8 \dots R_{12}$  werden die Vergleichsspannungen heruntergeteilt. Der obere Wert der Vergleichsspannungen wird mit dem Trimpotentiometer  $P_1$  eingestellt, während der untere Wert mit  $P_2$  einjustiert wird. Wenn die LED 1 (*Bereit*) aufleuchtet und die *Reset-Taste* gedrückt ist, sind die RS-Flipflops auf  $L$  gesetzt. In diesem Fall leuchten die LED 2 (0 %) auf. Wird nun der Sensor mit Alkoholdampf angeblasen, so steigt die Spannung an dem Meßpunkt langsam an. Dadurch werden die einzelnen Komparatoren nacheinander aktiviert, so daß die dazugehörigen Flipflops gesetzt werden und die LEDs aufleuchten. Wird der Sensor nun wieder mit Raumluft in Kontakt gebracht, so fällt die Spannung an dem Meßpunkt langsam wieder ab. Die höchste LED (= höchste Promillewert) bleibt jedoch eingeschaltet, da alle bisher durchlaufenen Flipflops gesetzt bleiben. Erst durch Drücken der Reset-Taste wird der ursprüngliche Zustand wieder hergestellt. Vor einer erneuten Messung sollte man ein paar Minuten warten, damit der Sensor sich etwas „erholen“ kann.

### Kalibrierung

Vor der Kalibrierung sollte der Gassensor über mehrere Tage vorgealtert werden, um reproduzierbare Meßergebnisse zu gewährleisten.

Die Kalibrierung wird am besten mit einem hochprozentigen Schnaps von 40 Vol. % vorgenommen. Man füllt dazu acht Gläschen mit 20 Milliliter, die genau abgemessen werden müssen, um die notwendige Kalibriergenauigkeit zu erreichen.

Dann trinkt man eines dieser Gläschen aus und wartet ca. ¼ Stunde, damit der Alkohol ins Blut übergehen kann und sich kein Restalkohol im Mundspeichel mehr befindet. Danach wird der Sensor angeblasen. Die Anzeige sollte in diesem Fall noch 0 ‰

betragen. Falls nicht, muß das Trimpotentiometer  $P_2$  nachjustiert werden. Nach dem zweiten Gläschen muß die Wartezeit von ¼ Stunde ebenfalls eingehalten werden. Die Anzeige muß nun 0,2 ‰ betragen. Diese Prozedur wird jetzt fortgeführt, bis die Elektronik nach dem achten Schnaps 1,0 ‰ anzeigt. Dieser Endwert läßt sich mit dem Trimpotentiometer  $P_1$  einstellen. Die Kalibrierung ist für ein Körpergewicht von 75 kg bei nüchternem Magen ausgelegt. Fettreiche Speisen bzw. höheres Körpergewicht reduzieren die Anzeige entsprechend.

Bitte setzen Sie sich dann nicht mehr ans Steuer oder unterbrechen Sie diesen Vorgang, wenn Sie Alkohol nicht vertragen!