

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

7. Analysenmessverfahren

Die Analysetechnik nimmt einen großen Stellenwert in der industriellen Messtechnik ein. Die Bereiche in denen die verschiedensten Analysenmessungen für feste, flüssige oder gasförmige Stoffe eingesetzt werden, gliedern sich wie folgt:

- Qualitätssicherung
- Anlagensicherheit (z.B. Explosionsschutz)
- Prozessoptimierung
- Umweltschutz (BimSchG)

Die konventionelle Analytik erfolgt sehr oft noch manuell. An sogenannten Probeentnahmestellen entnimmt ein Chemielaborant, oder ein Produktionsmitarbeiter eine Probe, die dann im Labor untersucht und ausgewertet wird.

Ziel der sogenannten Onlineanalytik ist es, diese manuellen, diskontinuierlichen Prozesse, automatisiert und permanent ablaufen zu lassen. So können in kürzester Zeit die benötigten Messergebnisse geliefert werden.

7.1 Feuchtemessung

Feuchte Luft ist Luft, die Wasserdampf enthält. Wasserdampf sind einzelne Wassermoleküle im Vakuum. Wasserdampf und Luft stören sich nicht, das heißt jedes Gas benimmt sich so, als ob das andere nicht da ist. Die Gasgleichung mit $P \cdot V = m \cdot R \cdot T$ ist für jedes einzelne Gas anzuwenden, wobei für den Gesamtdruck gilt $P_G = P_w + P_L$. Der Wasserdampfdruck hat eine Obergrenze, das ist der Sättigungsdampfdruck P_{ws} . Der Sättigungsdampfdruck ist stark von der Temperatur und vom Luftdruck abhängig.

T in °C	- 60	- 30	0	30	60	90
P _{ws} in mbar	0.008	0.37	6,1	42,4	199,2	701

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Angaben über den Feuchtigkeitsgrad der Luft sind sehr verschieden. Man findet:

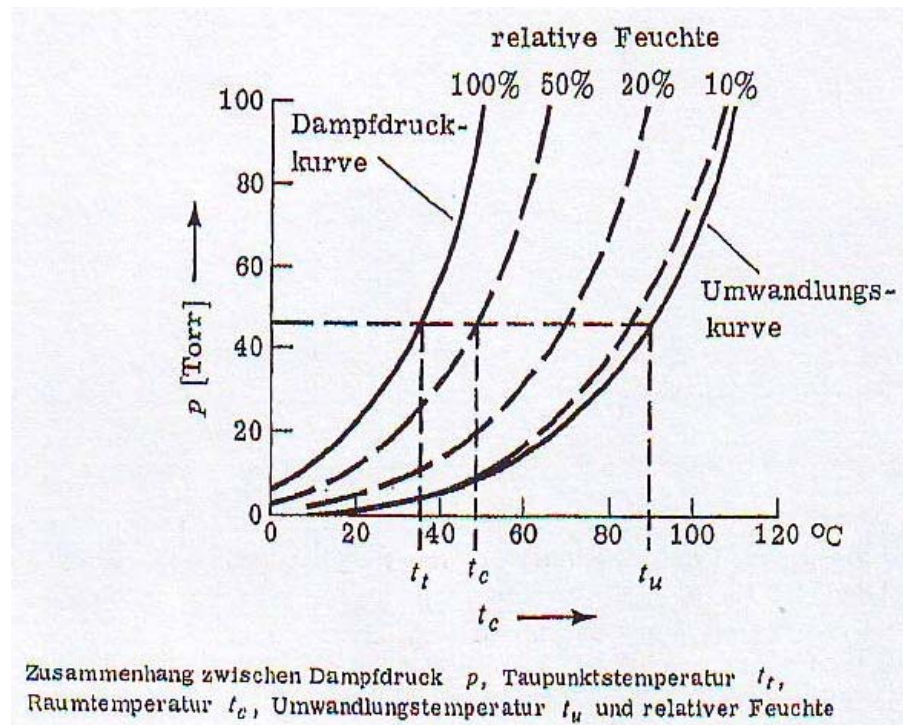
- Wasserdampfdruck in mbar

$$\text{Feuchtigkeitsgrad } X = \frac{x_g(\text{Wasser})}{1 \text{ kg (Luft)}} = \frac{\text{Masse Wasser}}{\text{Masse Luft}}$$

$$\text{Absolute Feuchte } f = \frac{\text{Masse Wasser (Gramm)}}{\text{M}^3 \text{ Wasser / Luft-Gemisch}} = \frac{\text{Masse des Wasserdampfes}}{\text{Volumeneinheit}}$$

$$\text{Relative Feuchte in } f\% = \frac{\text{Absolute Feuchte}}{\text{Max. mögliche Feuchte}} \cdot 100\%$$

- Taupunkt in °C = Diejenige Temperatur, bei der die vorhandene Luft gerade gesättigt ist.



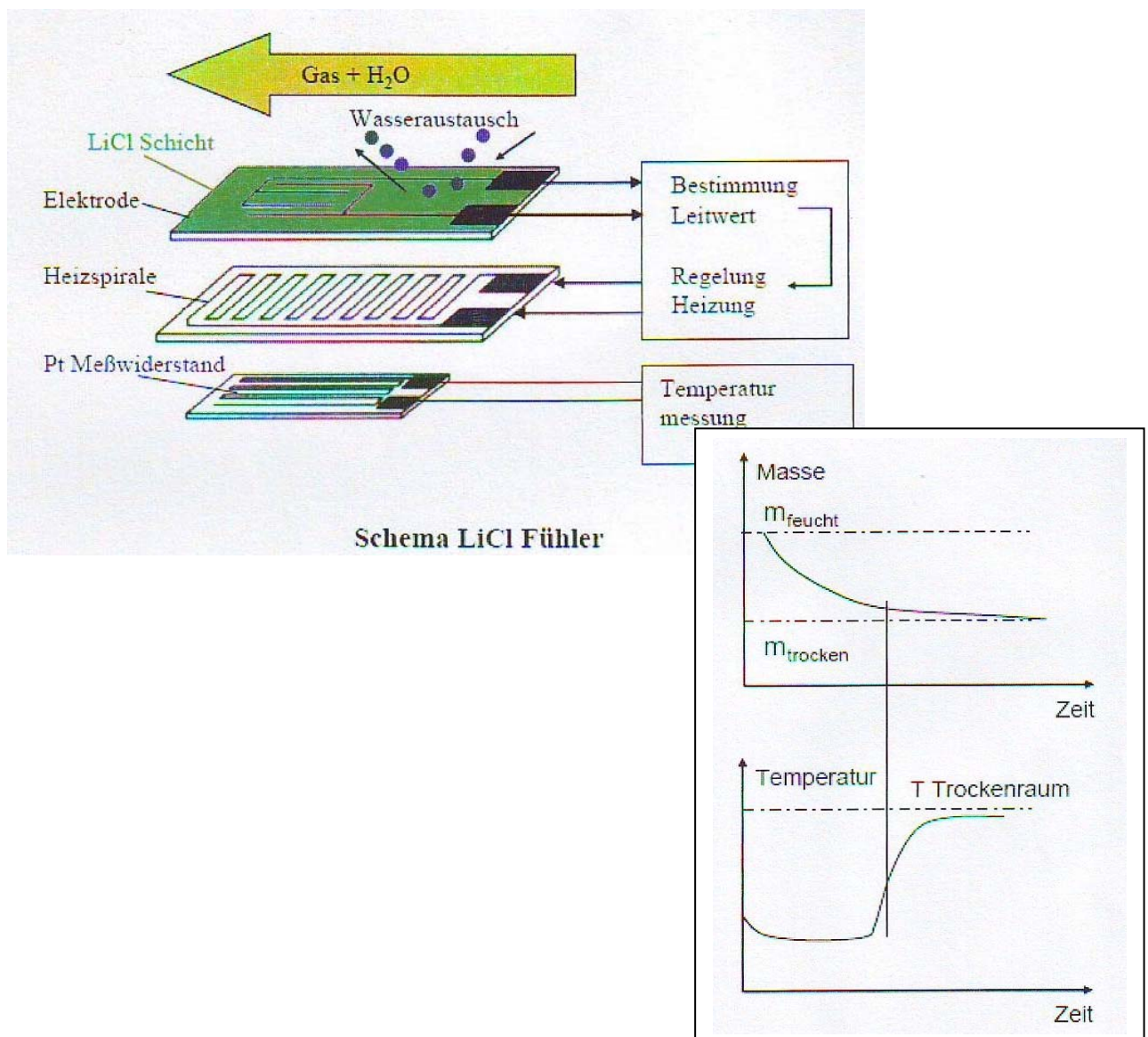
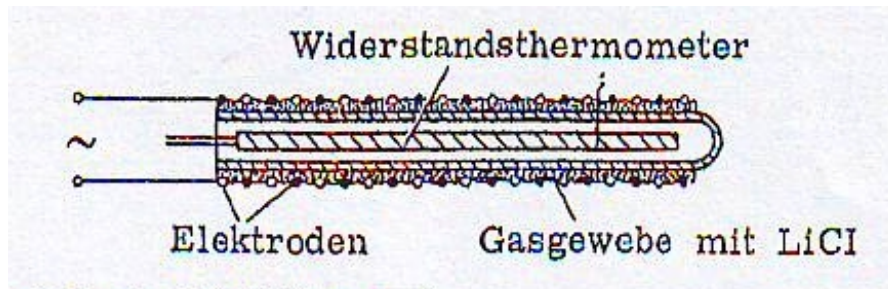
Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

7.1.1 Feuchtemessverfahren

Meßprinzip	Funktionsweise
Coulometrisch (P_2O_5 - Sensor)	vollständige Absorption von Wasser durch chemische Bindung an Phosphorpentoxid ($P_2O_5 + H_2O \rightarrow 2 HPO_3$); Zersetzung der Metaphosphorsäure durch Gleichstrom. ($2 HPO_3 \rightarrow H_2 + \frac{1}{2} O_2 + P_2O_5$); Messung des Stromes, der proportional zum absorbierten Wasser ist.
Gravimetrisch (kein Sensor)	Ein bekanntes Volumen feuchter Luft wird einem Trockenmittel zugeführt; Messung der absoluten Feuchte durch Wiegen des Trockenmittels vor und nach der Absorption
Hygroskopisch (Haar-, Feder-, Bi-Streifenhygrometer)	Messung der Längen- Volumenänderung eines Materials bei Feuchteaufnahme
Kapazitiv (Dünnschichtsensor)	Messung der Veränderung der Dielektrizitätskonstanten eines Materials bei Wasserabsorption
LiCl - Temperatur (LiCl - Sensor)	Messung der Temperatur, die ein Dampfdruckgleichgewicht über einer wässrigen LiCl- Lösung erzeugt
Piezoelektrisch (Quarzhygrometer)	Messung der Resonanzfrequenzverschiebung eines piezoelektrischen Oszillators mit hygroskopischer Beschichtung bei Wasseraufnahme
Psychrometrisch (Assmann-Psychrometer)	Messung der Kühlgrenztemperatur beim Anblasen eines thermisch isolierten Wasserreservoirs
Resistiv (Kein Beispiel)	Messung der Veränderung der Leitfähigkeit eines Materials bei Wasseranlagerung
Spektroskopisch (IR - Hygrometer)	Absorptionsmessung von IR-Strahlung (Vibrations- und Rotationsanregung des H_2O - Moleküls) und Mikrowellenstrahlung (Polarisation des H_2O - Moleküls)
Taupunkt (Tauspiegel - Hygrometer)	Messung der Temperatur, bei der eine gekühlte Oberfläche im Dampfdruckgleichgewicht mit ihrer Umgebung ist

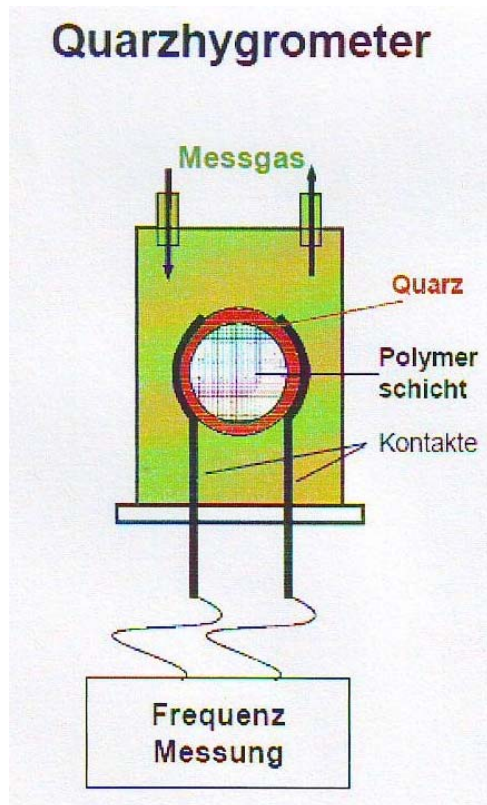
Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

7.1.2 LiCl-Feuchtefühler

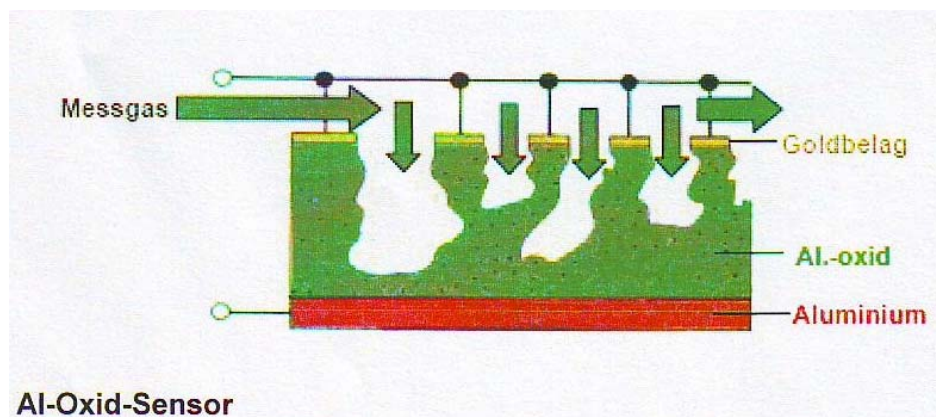


Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

7.1.3 Quarzhygrometer



7.1.4 Kapazitiver Feuchtefühler



Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

7.2 pH-Wertmessung

Ob etwas mehr oder weniger sauer schmeckt oder sogar seifig, die Zunge kann's feststellen. Mit der pH-Messung möchte man die Anzahl von Ionen in wässrigen Lösungen messen, um Aussagen über deren Konzentration zu bekommen. Genau genommen interessieren dabei die Wasserstoffionen, denn sie sind ein Maßstab dafür, ob eine Lösung sauer oder alkalisch ist. Diesen Umstand bringt auch das Wort "pH" zum Ausdruck. Es ist die Abkürzung des lateinischen "potentia hydrogenii", was soviel heißt wie "Stärke des Wasserstoffs".



pH-Wert, Ionenkonzentration im Wasser

Reaktion	pH-Wert	Konzentration H ⁺ Ionen (mol/l)	Konzentration OH ⁻ Ionen (mol/l)
sauer	0	1	10 ⁻¹⁴
sauer	1	10 ⁻¹	10 ⁻¹³
sauer	2	10 ⁻²	10 ⁻¹²
sauer	3	10 ⁻³	10 ⁻¹¹
sauer	4	10 ⁻⁴	10 ⁻¹⁰
sauer	5	10 ⁻⁵	10 ⁻⁹
sauer	6	10 ⁻⁶	10 ⁻⁸
neutral	7	10 ⁻⁷	10 ⁻⁷
alkalisch	8	10 ⁻⁸	10 ⁻⁶
alkalisch	9	10 ⁻⁹	10 ⁻⁵
alkalisch	10	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁴
alkalisch	11	10 ⁻¹¹	10 ⁻³
alkalisch	12	10 ⁻¹²	10 ⁻²
alkalisch	13	10 ⁻¹³	10 ⁻¹
alkalisch	14	10 ⁻¹⁴	1

Tabelle zeigt den Zusammenhang zwischen pH-Wert und Wasserstoff-Ionenkonzentration. (Die beiden ersten und letzten Zeilen sind nur der besseren Ablesung wegen in weißen Lettern ausgeführt)

Der pH-Wert wird per Definition als der negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration bezeichnet.

$$\text{pH} = -\log C_{\text{H}^+} \quad (\text{Gl.2})$$

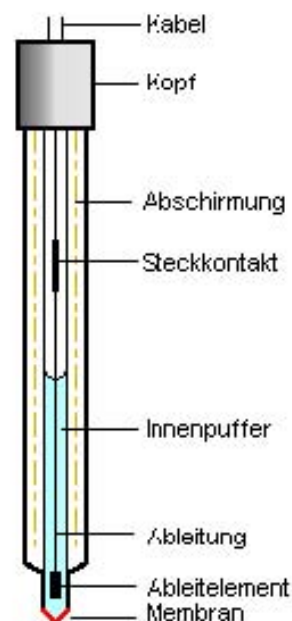
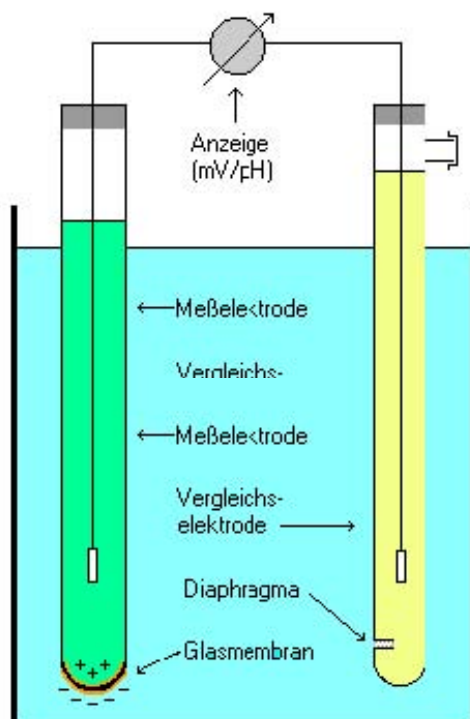
Beispiel: H⁺ Ionenkonzentration = 10⁻⁷ Dek. Logarithmus von 10⁻⁷ ist gleich -7. Der negative Logarithmus von -7 ist dann 7.

Man sieht sowohl aus Gleichung (Gl.2) als auch aus Tabelle 1, ändert sich der pH-Wert nur um einen Punkt ändert, so ändert sich die Konzentration der H⁺ Ionen um den Faktor 10.

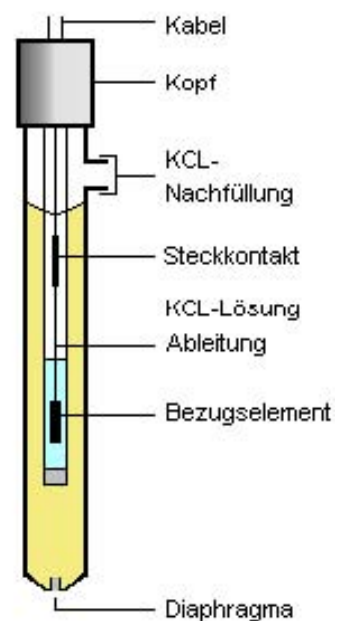
Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Die Elektrode als Spannungsquelle

Eine pH-Messung ist im Prinzip nichts anderes als eine Spannungsmessung. Eine Elektrode ist im herkömmlichen Sinne allerdings keine Batterie, wenngleich sie auch eine Spannung liefert. Diese entsteht erst in dem Augenblick, in dem die Elektrode in eine Flüssigkeit eintaucht. Die Spannung, die eine Elektrode maximal abgibt, liegt bei ungefähr $\pm 400\text{mV}$, was konventionell messbar wäre. Die Einschränkung liegt aber darin, dass der Innenwiderstand der Spannungsquelle extrem hoch ist und es deshalb einer aufwendigen elektronischen Mess- und Verstärkertechnik bedarf, um das Spannungssignal überhaupt anzeigen zu können. Würde man mit einem normalen Spannungsmessgerät messen, bräche die Spannung sofort zusammen ohne angezeigt zu werden. Der elektrische Anschluss der Elektroden erfolgt über ein 1-adriges Kabel, die netzförmige Abschirmung um die eine Ader liegt auf Masse Potential und dient nur zum Schutz gegen elektrische Störfelder.



Messelektrode

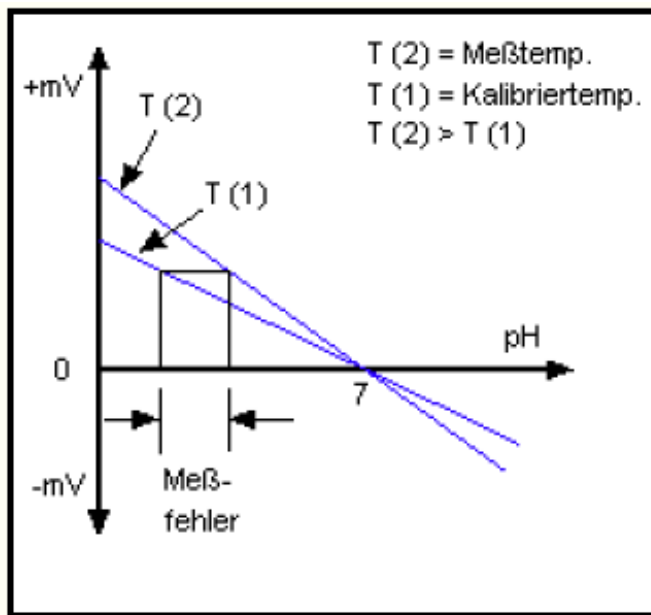


Vergleichselektrode

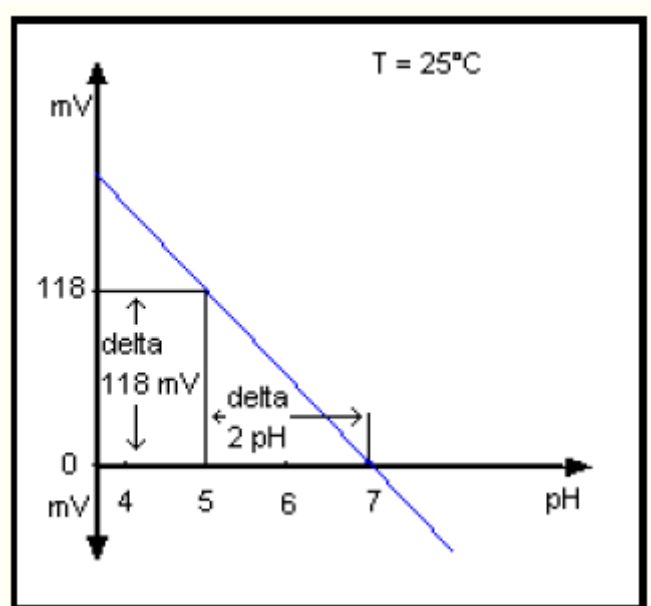
Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Temperatureinfluss

Der pH-Wert ist abhängig von der Temperatur des Messgutes. Mit steigender Temperatur erhöht sich auch die Steilheit der Messelektrode. Deshalb gehört zu jeder pH-Messung auch eine Temperaturmessung. Wenn die Kalibrierung und die spätere Messung bei annähernd gleicher Temperatur erfolgt (z.B. Raumtemperatur), kann auf eine Temperaturkompensation verzichtet werden. Schwankt hingegen die Temperatur des Messgutes, muss eine automatische Kompensation mittels Temperaturfühler vorgenommen werden. Entweder macht dies der Messverstärker bei angeschlossenem Temperaturfühler automatisch oder aber man muss am Messverstärker manuell die Messguttemperatur einstellen. Man kann davon ausgehen, dass eine Messguttemperaturabweichung von etwa 10°C gegenüber der Pufferlösung bei der Kalibrierung schon einen Messfehler von etwa 0,15 pH ausmacht.



Temperatureinfluss



Steilheit

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Pufferlösung

Pufferlösungen dienen zur Kalibrierung von pH-Messketten. Die gebräuchlichsten Werte liegen bei $\text{pH} = 4$, $\text{pH} = 7$ und $\text{pH} = 9$. Pufferlösungen zeichnen sich dadurch aus, dass ihr eingestellter pH-Wert relativ unempfindlich ist gegenüber Verunreinigungen von Säuren und Laugen.

Trotzdem ist der Umgang mit Pufferlösungen sehr sorgfältig durchzuführen. Vorratsflaschen sind immer geschlossen aufzubewahren, der Kontakt mit CO_2 aus der Luft kann, besonders bei Lösungen mit hohen pH-Werten, zu Verfälschungen des Puffers führen. Pufferlösungen werden mit einer Genauigkeit von $\pm 0,02 \text{ pH}$ bei 25°C angegeben

Temperatur ($^\circ\text{C}$)	pH
5	7,08
15	7,04
20	7,02
25	7,00
30	6,99
40	6,98

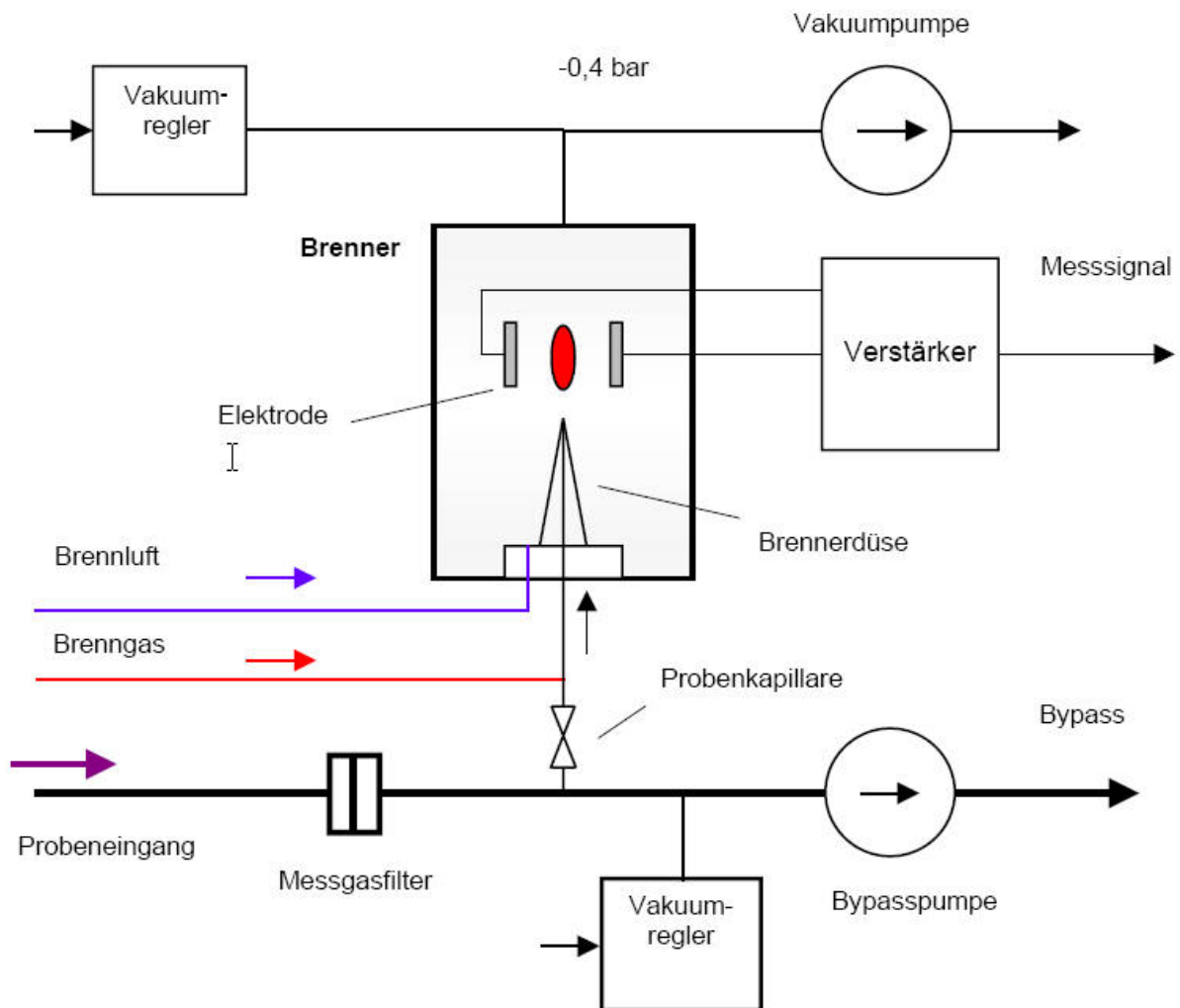
Tabelle 1: Temperatureinfluß auf die Genauigkeit einer Pufferlösung

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

7.3 Flammenionisationsdetektor

Durch das Anlegen eines elektrischen Feldes an eine Wasserstoffflamme, entsteht ein sehr geringer Ionenstrom. Wenn dieser Flamme ein kohlenwasserstoffhaltiges Messgas zugeführt wird, so steigt der Ionenstrom proportional dem Kohlenstoffgehalt an. Als Brenngas wird je nach Anwendung Wasserstoff H_2 oder ein H_2/He -Gemisch verwendet.

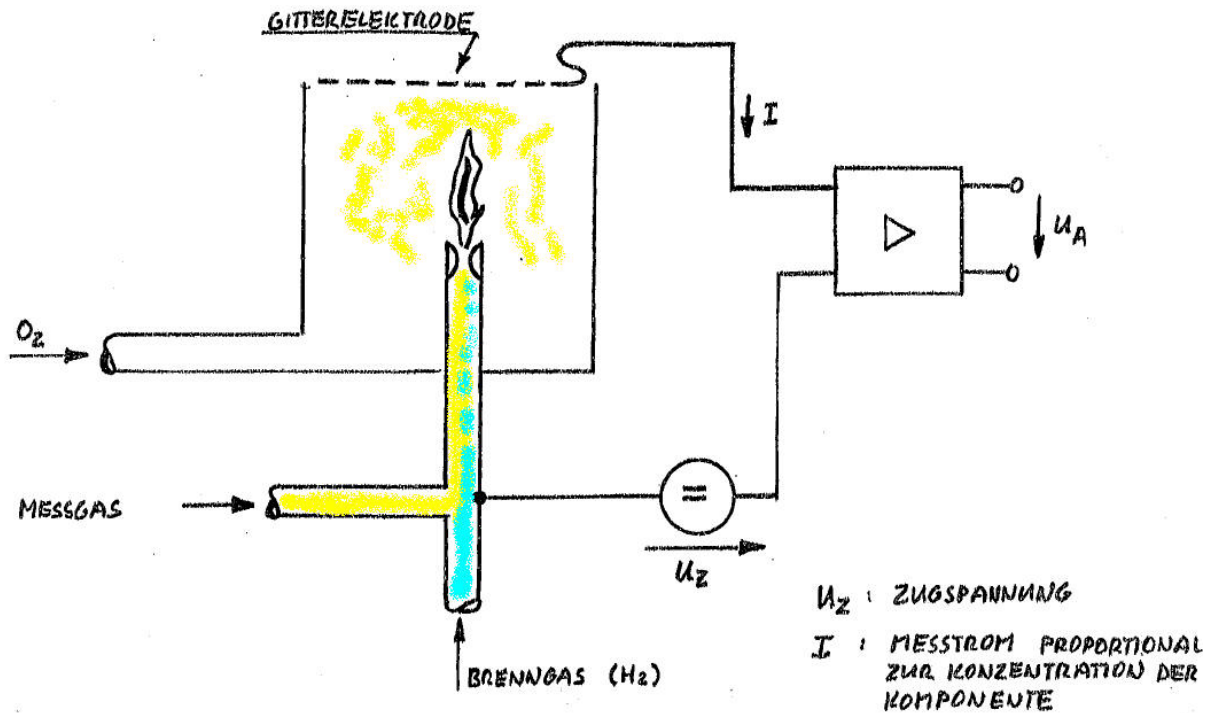
Die Kalibrierung des FID erfolgt standardmäßig auf ppm C_3H_8 (Propan) oder auf mgC/m^3 , andere Kalibrierungen sind möglich.



Prinzipdarstellung Flammenionisationsdetektor (Vakuum-FID)

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Der Flammenionisationsdetektor misst die Summe der organisch gebundenen Kohlenstoffatome in den Kohlenwasserstoffen.



Organische Substanzen werden in einer Wasserstoffflamme verbrannt, wodurch sich die Grundionisation der Verbrennungsgase erhöht.

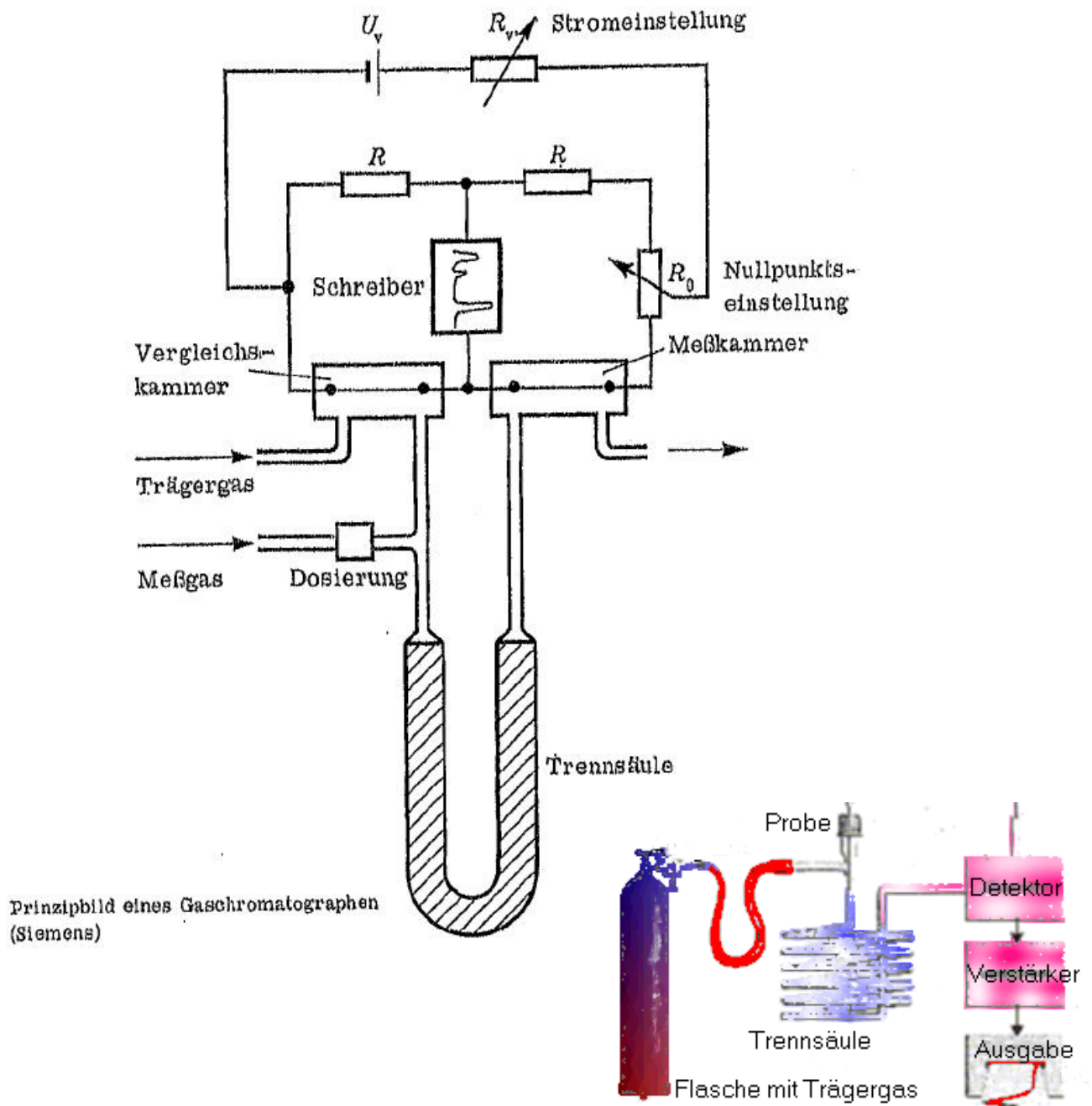
Man benötigt Messverstärker die über einen großen Bereich linear arbeiten. Verstärkungen von $v = 10^7$ müssen realisiert werden um Nachweisgrenzen von 2×10^{-12} g/s erzielen zu können.



Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

7.4 Gaschromatograph

Der typische Gaschromatograph besteht im wesentlichen aus dem Detektor (z.B. einem FID) und der sogenannten Trennsäule. Die Trennsäule hat eine wesentliche Aufgabe.



Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Die Trennsäule sorgt dafür, dass die Substanzen eines organischen Gasgemisches, zeitlich gestaffelt den Detektor erreichen. Nur so kann die benötigte Selektivität erzielt werden, da das Ziel die Feststellung der einzelnen Konzentrationen sind.



Gaschromatograph mit Tischaufbaugehäuse

Gaschromatograph für den stationären Betrieb

Jedes Chromatographieverfahren zeichnet sich durch eine mobile und eine stationäre Phase aus. Unterschiedlich gebaute Moleküle haben auch unterschiedliche Wechselwirkungen zu einem Lösungsmittel, beziehungsweise beim Gaschromatographen (GC) zu einem Trägergas, also der mobilen Phase. Meist kann einfach Stickstoff als Trägergas verwendet werden.

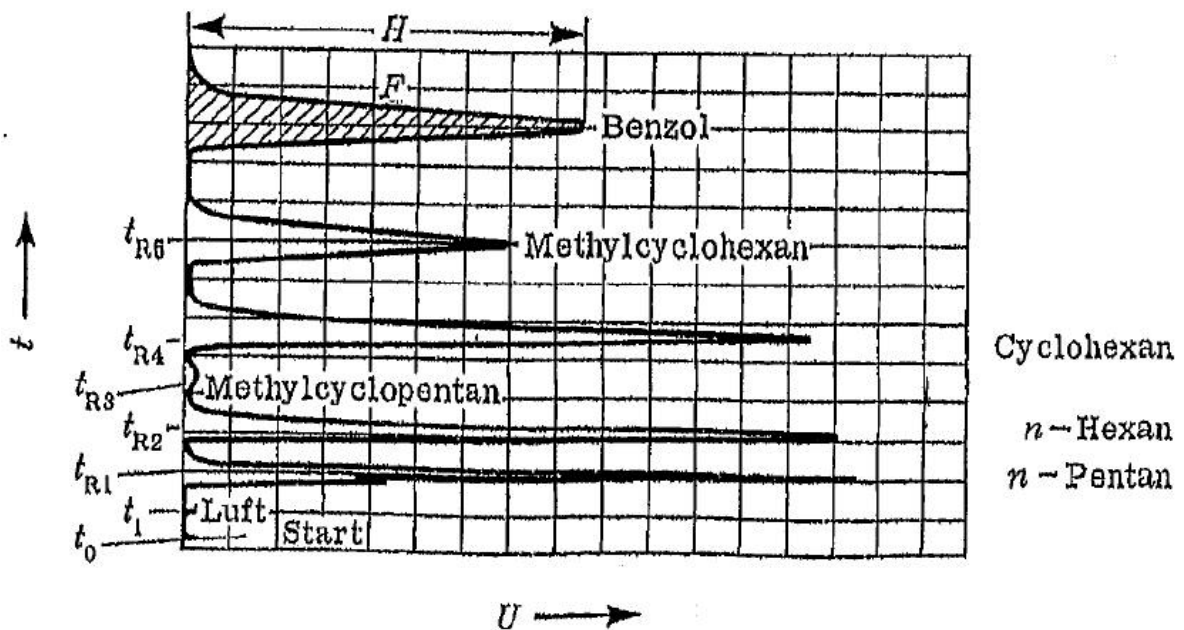
Jeder Stoff hat folglich auch eine charakteristische Wanderungsgeschwindigkeit durch die stationäre Phase in der Trennsäule. Das hat die Trennung der einzelnen Stoffkomponenten einer Untersuchungssubstanz zur Folge.

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Ein Detektor registriert die Komponenten, welche die Trennsäule bereits durchlaufen haben, indem beispielsweise die unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit eines austretenden Gases als elektrisches Signal umgesetzt und auf einen Schreiber übertragen werden kann.

Die Spitzen, die der Schreiber aufzeichnet, werden als Peaks bezeichnet. Alle Peaks eines Graphen stehen für bestimmte Substanzen, die sich bekannten Stoffen zuordnen lassen. Die Höhe der Peaks sind proportional zu der Stoffmenge der einzelnen Komponenten. Der Sinn des GC-Verfahrens liegt darin, dass beim Einstellen bestimmter Parameter die Möglichkeit besteht, Stoffe genau zu identifizieren. Insbesondere in der organischen Chemie ist dies von Vorteil, da ja die Verbindungen nicht mit den üblichen quantitativen und qualitativen Analysen, wie sie von der anorganischen Chemie her bekannt sind, exakt nachgewiesen werden können. Es reichen ferner geringste Stoffvolumina von 0,1 bis 0,01 ml aus.

Auch flüssige Stoffgemische lassen sich trennen und identifizieren, sofern die einzelnen Komponenten unzersetzt verdampfbar sind, weil die meisten der GC beheizbar sind.



Chromatogramm (Beispiel) (Siemens)

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

7.5 Gaswarngeräte

Gaswarngeräte werden unterschieden in tragbare und stationäre Geräte. Das Haupteinsatzgebiet für tragbare Geräte ist die mobile Messung vor Ort. Bei stationären Geräten/ Installationen handelt es sich um Messungen die nicht ortsveränderlich sind und zur permanenten Überwachung von Betriebsbereichen gedacht sind.

Tragbare Gaswarngeräte

Tragbare Gaswarnsensoren werden in der Regel zum Personenschutz verwendet. Betritt oder befährt man Behälter, Schächte, Brunnenstuben oder sonstige Räume in denen Gase vorhanden sein können, so muss man vorher die Gasfreiheit feststellen. Nicht nur die gesundheitlichen Folgen durch das einatmen von Giftgasen, sondern auch eine möglich Explosionsgefahr sollen erkannt und durch anschließende technische Maßnahmen (Belüften) verhindert werden.

Eins solches Gerät der Firma Dräger ist das Dräger X-am® 7000

Multitalent: Dräger X-am 7000 ist die innovative Lösung für die gleichzeitige und kontinuierliche Messung von bis zu fünf Gasen. Eine Kombination aus über 25 Sensoren ermöglicht die flexible Anpassung an individuelle Messaufgaben. Das Dräger X-am 7000 kann mit drei elektrochemischen und zwei Infrarot, katalytischen Sensoren oder Photoionisationsdetektoren bestückt werden. In allen industriellen Anwendungen ist es der ideale Begleiter für professionelle Freigabemessungen und die zuverlässige Überwachung der Umgebungsluft auf toxische sowie brennbare Gase und Dämpfe.

Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011



Eine eingebaute Hochleistungspumpe saugt das Messgas durch einen Schlauch von bis zu 45 m Länge an. Die Pumpe wird kontinuierlich elektronisch überwacht. Bei zu geringer Pumpenleistung wird ein Durchflussalarm ausgelöst.

Liste der möglichen Sensoren

Sensoren für Dräger X-am 7000	
IR Ex	0 bis 100 %UEG 0 bis 100 Vol.-% CH ₄
IR CO ₂	0 bis 5 Vol.-%
IR CO ₂ HC	0 bis 100 Vol.-%
Kat-Ex Sensor	0 bis 100 %UEG
Kat-Ex Sensor HC	0 bis 100 %UEG 0 bis 100 Vol.-% CH ₄
PID-Sensor	0 bis 2000 ppm
DrägerSensoren XS R	
CO	0 bis 2000 ppm
H ₂ S	0 bis 100 ppm
O ₂	0 bis 25 Vol.-%
DrägerSensoren XS EC	
CO	0 bis 2000 ppm
H ₂ S 100	0 bis 100 ppm
H ₂ S HC	0 bis 1000 ppm
O ₂ LS	0 bis 25 Vol.-%
O ₂ 100	0 bis 100 Vol.-%
NO	0 bis 200 ppm
SO ₂	0 bis 100 ppm
NO ₂	0 bis 50 ppm
COCl ₂	0 bis 3 ppm
NH ₃	0 bis 200 ppm

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Stationäre Gaswarngeräte

Stationäre Gaswarngeräte sind Festinstallationen. Ihre Aufgabe ist es kontinuierlich auf toxische oder explosionsgefährliche Umgebungsbedingungen hinzuweisen und zu alarmieren. So werden sie sehr häufig zur Überwachung von Arbeitsstätten eingesetzt die regelmäßig von Personen frequentiert werden um durch Undichtigkeiten von Rohrleitungen oder Behältern frei werdendes toxisches Gas rechtzeitig zu erkennen. Alternativ werden Gaswarngeräte fest installiert mit der Zielsetzung, rechtzeitig zu erkennen ob freigesetztes Gas und eine bestimmte Luftsauerstoffkonzentration zu einer explosionsgefährlichen Atmosphäre führen können.



Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Sensortypen für Gaswarngeräte

Auszüge aus einer Abhandlung der Fa. Dräger, Lübeck

Einem fehlerfrei funktionierenden Sensor vertrauen man die Unversehrtheit und Sicherheit von Mitarbeitern, Anlagen und Gebäude an. Gase in elektrischen Einheiten messen. Der Sensor ist das wichtigste Bauteil in einem Gasmessgerät. Er wandelt die sogenannte Messgröße, z.B. eine Gaskonzentration, in ein elektrisches Signal um. Je nach Sensortyp laufen dazu chemische oder physikalische Prozesse ab. Um eine aussagekräftige Messanzeige zu erhalten, müssen viele Randbedingungen mit berücksichtigt werden.



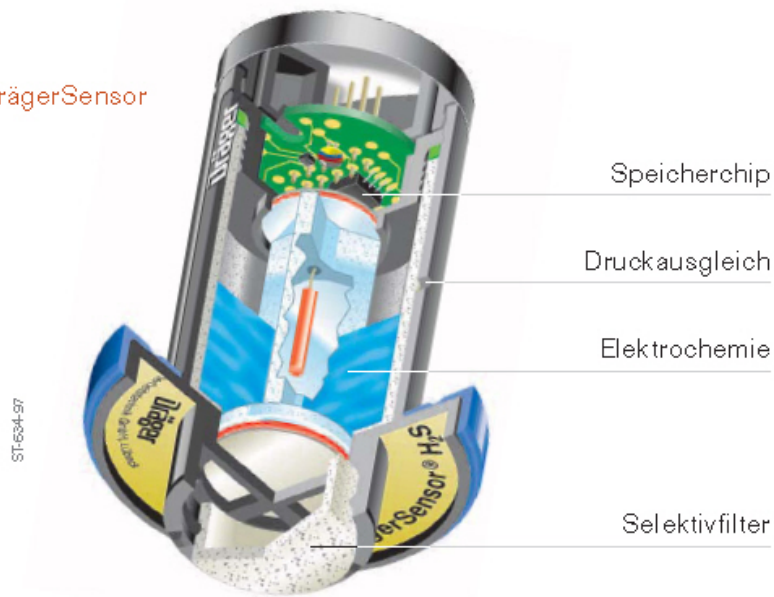
Die Reaktionszeiten müssen kurz, die Störanfälligkeit gering und die Zuverlässigkeit hoch sein. Je besser Sensor, Gasmessgerät und Auswerteeinheit technologisch und baulich aufeinander abgestimmt sind, desto verlässlicher sind die Messergebnisse. In der industriellen Gasmesstechnik werden auf Grund ihrer herausragenden Eigenschaften besonders drei Sensortechnologien angewendet: die **elektrochemische**, die **katalytische** und die **Infrarot-Messung**.

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Das elektrochemische Sensorprinzip

Schnittbild

Elektrochemischer DrägerSensor



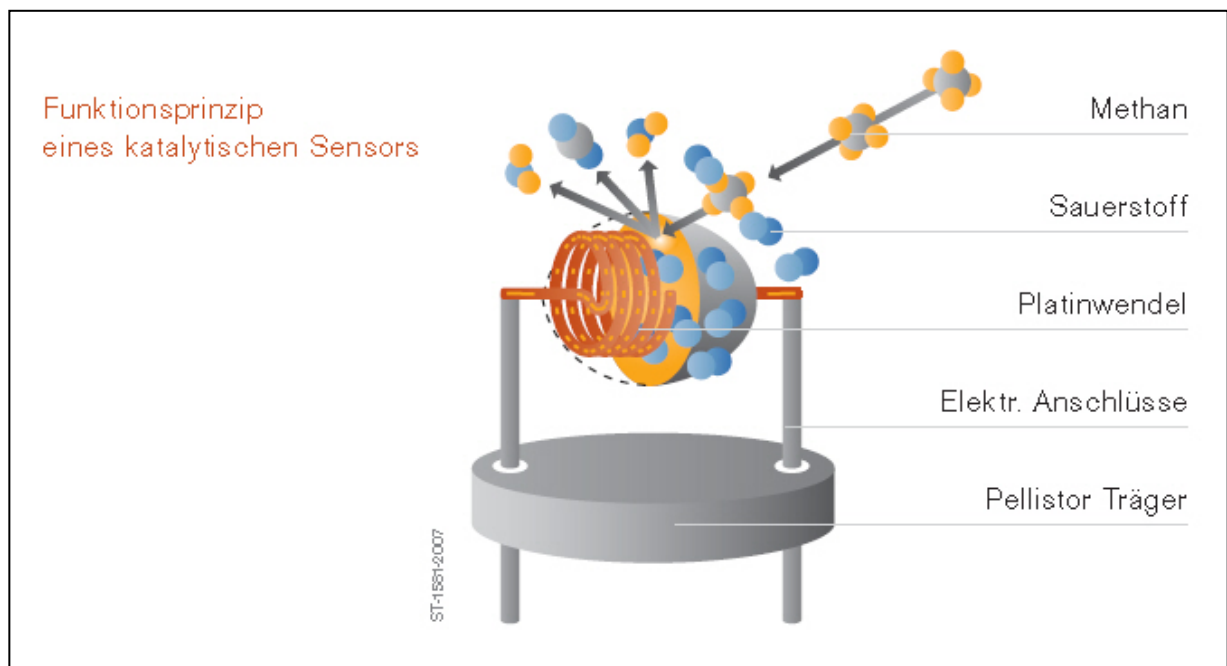
Elektrochemische Sensoren funktionieren ähnlich wie Batterien. Bei Anwesenheit des Zielgases wird chemisch zwischen zwei Elektroden eine kleine elektrische Leistung erzeugt und im Gasmesskopf zur Anzeige gebracht. Die Signalgröße ist proportional zur Konzentration.

Eine grundlegende Forderung ist, für alle üblichen Umgebungsbedingungen eine stabile Empfindlichkeit und eine gute Selektivität zu erreichen. Dabei müssen die Sensoren rund um die Uhr und das ganze Jahr über zuverlässig die hohen Belastungen einer industriellen Umgebung aushalten.

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Ein patentiertes poröses Gehäuse aus Teflon umschließt den Sensor und erlaubt der eingeschlossenen Luft bei Druckänderungen einen Ausgleich mit der Umgebung, ohne dass die Chemie austreten kann. Bei Temperaturwechsel, Luftdruckschwankung und luftfeuchtebedingter Wasseraufnahme wird mechanischer Stress vollständig eliminiert. Das Ergebnis ist eine gleichbleibende Empfindlichkeit und eine herausragende Lebensdauer von mehreren Jahren.

Das katalytische Sensorprinzip



Wie misst man brennbare Gase? Ganz einfach – man verbrennt sie. Aber natürlich nicht mit offener Flamme, denn sie sollen schon detektiert werden, bevor sie ein brennbares Gemisch mit Luft bilden.

Chemiker sprechen daher von Oxidation, und dazu braucht man Luft (Sauerstoff), Brennstoff und eine Substanz, die die Reaktion zwischen beiden erst ermöglicht, nämlich einen heißen Reaktionsvermittler, den man Katalysator nennt und der auf einem hitzebeständigen Keramikkörper aufgebracht ist.

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

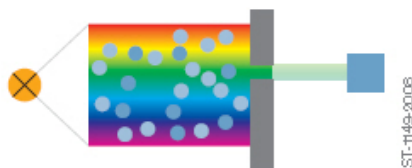
Die minimale Temperaturerhöhung, die bei einer solchen Oxidation stattfindet, weil jede Oxidation bekanntermaßen mit Reaktionswärme verbunden ist und diese ein Maß für die Anzahl der stattfindenden Reaktionen ist, wird messtechnisch ausgewertet. Und mit einigen raffinierten Tricks gelingt es tatsächlich, so einem Katalysator ein Messsignal zu entlocken, über das sich der Anteil von brennbarem Gas in der Umgebungsluft ermitteln lässt.

Das Infrarot-Sensorprinzip

Funktionsprinzip Infrarot-Absorption (Messküvette)

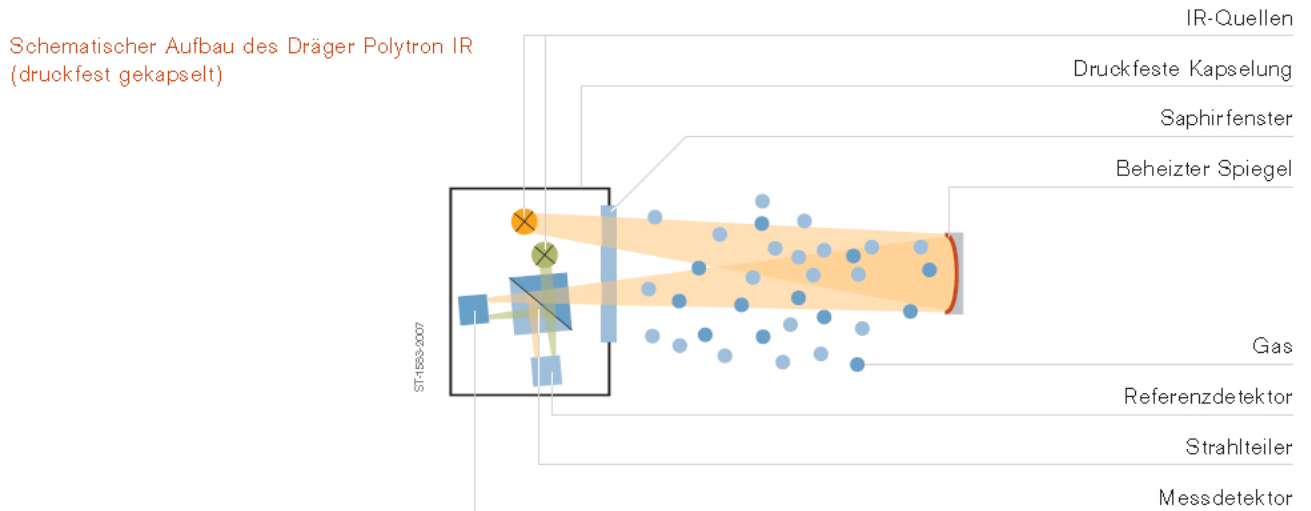


Nur der grüne Anteil des eingestrahnten Lichts wird herausgefiltert und dessen Intensität gemessen.



Absorbiert ein Gas den grünen Anteil des eingestrahnten Lichts, so ist dessen Intensität messbar reduziert.

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011



Immer dann, wenn Substanzen sowohl Kohlenstoffatome (C) als auch Wasserstoffatome (H) enthalten (sog. Kohlenwasserstoffe), können ihre C-H-Bindungen einen Teil infraroter Lichtstrahlung kurzzeitig aufnehmen (absorbieren). Die ausgesandte Lichtintensität wird dadurch leicht geschwächt.

Lichtempfindliche Pyrodetektoren sind in der Lage, eine derartige Lichtschwächung zu registrieren und eine nachgeschaltete Elektronik kann daraus ein Signal berechnen, welches eine vorhandene Gaskonzentration sicher bestimmt.

Die durch Infrarot-Absorption messbaren Konzentrationen liegen – substanzspezifisch unterschiedlich – bei wenigen hundert ppm (parts per million) bis hinauf zu 100 Vol.-%.

Häufig werden auf diese Weise brennbare Gase und Dämpfe in ihrem 0 bis 100 % UEG-Bereich gemessen. Aber auch bereits kleine Leckagen (beispielsweise in Kältemittel-Kreisläufen) können so frühzeitig erkannt und schwerwiegendere Schäden vermieden werden.

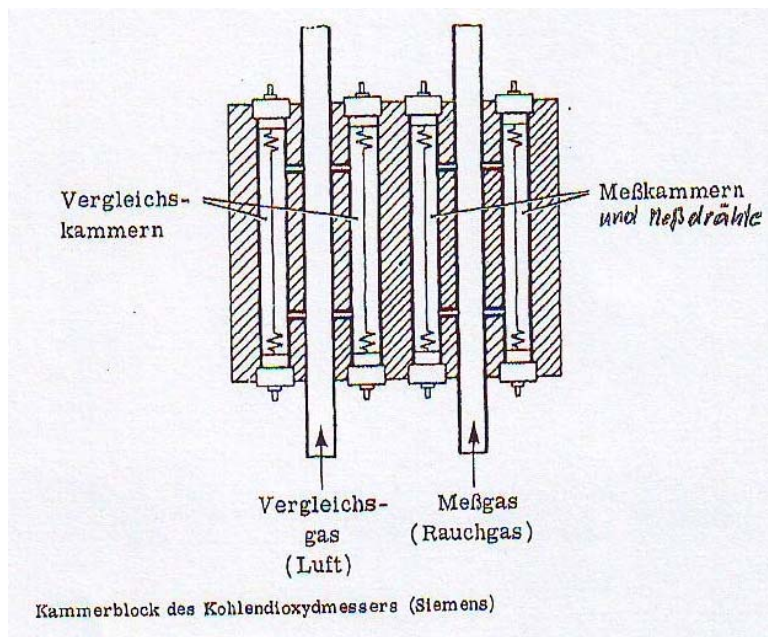
Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Fehlersicherer Betrieb Sämtliche für die Erfüllung der Messfunktion relevante Komponenten – Lichtquellen, Detektoren, Signalverstärker, Prozessoren, Speicherbausteine, Heizelemente etc. – sind vor äußeren Einflüssen geschützt. Bei den meisten IR-Gasmessgeräten riegelt hierzu ein druckfest gekapseltes massives Edelstahlgehäuse sein Innenleben hermetisch gegenüber Verschmutzung, Feuchte, korrosiven Gasen und anderen messschädlichen Faktoren ab.

Die ständige Funktionsbereitschaft der Komponenten wird permanent intern überwacht, und jeder Ausfall einer Komponente löst umgehend eine alarmierende Störung aus. Das ist fehlersicher – „fail-safe“!

Zertifizierungen nach SIL (Safety Integrity Level) sind für viele Träger IR-Transmitter erreicht und von den unabhängigen Prüfinstituten exida und TÜV bescheinigt. Sie bestätigen die hervor ragende Eignung dieser Sensortechnologie bei anspruchsvollen Anforderungen an die funktionale Sicherheit. Unsere Kunden können sich auf zuverlässige Messbereitschaft verlassen.

7.6 Kohlendioxid-Messgerät



Die Analyse beruht auf dem Effekt, dass ein elektrisch geheizter Draht um so höhere Temperaturen annimmt, je geringer die Wärmeleitfähigkeit des ihn umgebenden Gases ist.

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

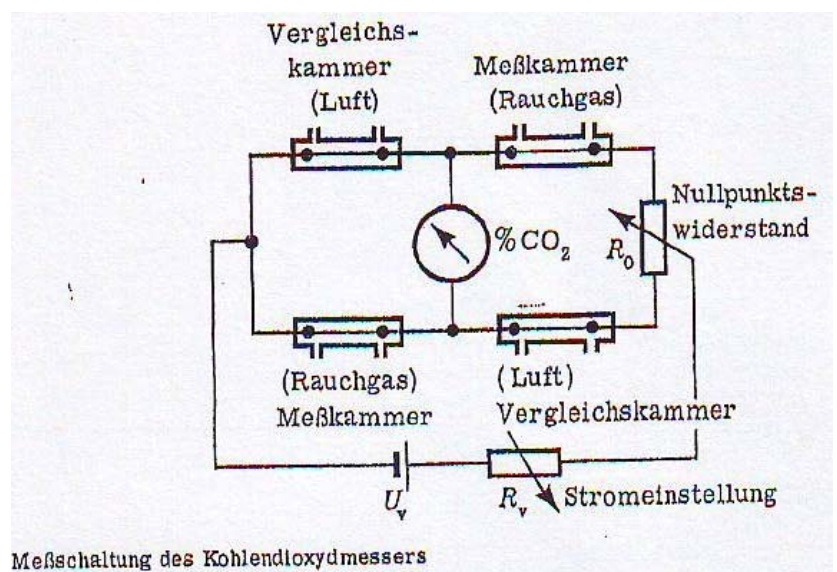
Als Messschaltung wird eine Wheatstonesche Brücke benutzt, deren Brückenwiderstände als Platindrähte ausgebildet sind. Je zwei dieser geheizten Messdrähte befinden sich in Kammern, die mit dem Messgas (Rauchgas) bzw. mit dem Vergleichsgas (Luft) gefüllt sind.

Die Versorgungsspannung der Brücke wird so gewählt, dass die Platindrähte auf eine Temperatur von etwa 100 °C gebracht werden. Der Widerstandswert der Platindrähte liegt bei etwa 12Ω.

Die Hitzdrähte der Messkammern werden vom Messgas (Rauchgas) gekühlt, die der Vergleichskammern vom Vergleichsgas (Luft). Kohlendioxyd hat eine geringere Wärmeleitfähigkeit als Luft, deshalb wird bei den mit Luft gefüllten Kammern die Wärme besser an die Wandungen abgeleitet als bei den Kammern mit Rauchgas, das einen hohen CO₂-Gehalt aufweist.

Die Hitzdrähte im Rauchgas nehmen deshalb eine höhere Temperatur und damit einen höheren Widerstand an, als die Drähte in den Luftkammern. Die im Ausschlagverfahren betriebene Brücke liefert eine Diagonalspannung, die ein Maß für den CO₂-Gehalt des Rauchgases ist.

Gebräuchliche Kohlendioxydmesser werden für einen Messbereich von 0 bis 20 Vol% ausgeführt. 20 % CO₂ entsprechen einer Temperaturerhöhung um 6 K und einer Zunahme des Widerstandes um etwa 0,2Ω. Der erreichbare Fehler liegt unter 0,5 % CO₂ entsprechend einer Temperaturänderung von ungefähr 0,15 K bzw. einer Widerstandsänderung um 5mΩ.



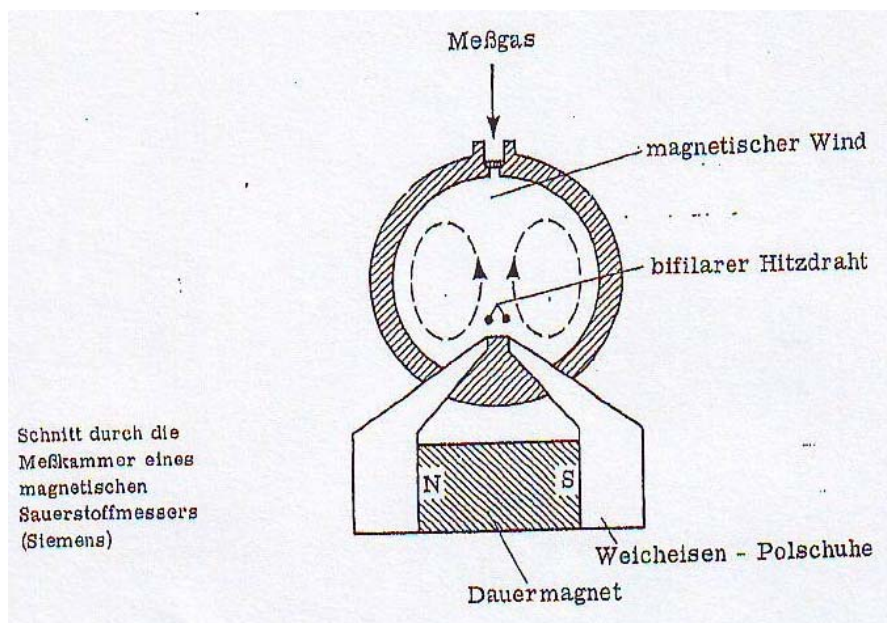
Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

7.7 Sauerstoffmessverfahren

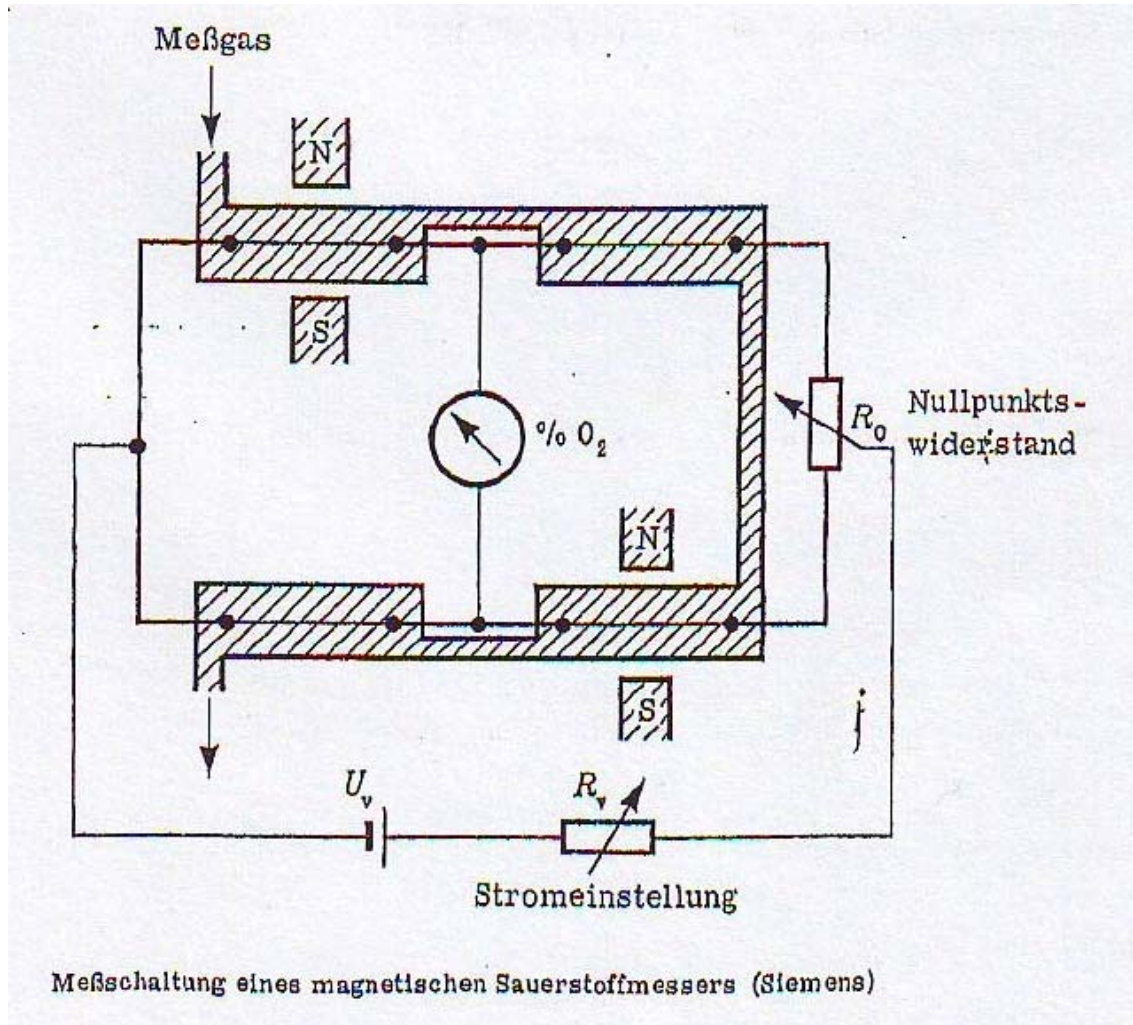
Auch beim magnetischen Sauerstoffmesser wird eine Hitzdrahtbrücke als Fühler benutzt, der Messeffekt beruht jedoch auf dem Paramagnetismus des Sauerstoffs. Unter den technisch wichtigen Gasen ist allein Sauerstoff stark paramagnetisch, seine Magnetisierbarkeit nimmt jedoch mit zunehmender Temperatur ab.

Der magnetische Sauerstoffmesser besteht aus vier, miteinander verbundenen Messkammern, von denen zwei mit einem Permanentmagneten ausgestattet sind,

Jede Kammer enthält einen bifilaren, gespannten Hitzdraht aus Platin, der elektrisch auf etwa 300° C aufgeheizt wird. Ist das Messgas nichtmagnetisch, so stellt sich unter dem Einfluss der Hitzdrähte in jeder Messkammer eine Konvektionsströmung ein, die in allen Kammern gleich groß ist und deshalb die Platindrähte in gleicher Weise abkühlt. Enthält aber das Messgas Sauerstoff, so wird die Konvektionsströmung den Kammern mit Permanentmagneten beschleunigt und die beiden Hitzdrähte werden stärker abgekühlt.



Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011



Bei einem Sauerstoffgehalt von 5 % ergibt sich ein Temperaturunterschied von etwa 2 K.

Dieses Messverfahren ist gegen Fremdgase hervorragend selektiv, da ja nur Sauerstoff hohen Paramagnetismus besitzt. Die übrigen Einflussgrößen wie Druck, Temperatur, Versorgungsspannung werden durch schaltungstechnische Maßnahmen kompensiert,

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

7.8 Gasanalyse durch Infrarotabsorption

Infrarot-Gasanalysatoren dienen zur Messung von Gaskomponenten, die ein bestimmtes Absorptionsspektrum im Infraroten haben, das sich von denen der übrigen Gaskomponenten unterscheidet. Das Verfahren beruht also darauf, das jedes Gas einen charakteristischen Wellenlängenbereich absorbiert.

Gase die so bestimmt werden können sind z.B.:

- Kohlenmonoxid
- Kohlendioxid
- Methan
- Azetylen etc.

Die von einem Infrarotstrahler gelieferte Strahlung wird über zwei Umlenkspiegel durch die Analysenküvette auf die Messkammer und die Vergleichskammer gelenkt. Die Vergleichskammer ist mit einem nichtabsorbierenden Gas gefüllt, die Messkammer, nur mit der Gaskomponente die im komplexen Gasgemisch bestimmt werden soll.

Befindet sich in der Analysenküvette kein Anteil des zu analysierenden Gases, so stellt sich zwischen der Vergleichskammer und der Messkammer eine Temperaturdifferenz ein, da das Gas in der Messkammer, durch Absorption stärker erwärmt wird als das Gas in der Vergleichskammer. Die Temperaturdifferenz wird mit je zwei Widerstandsthermometern in einer Brückenschaltung bestimmt.

Leitet man in die Analysenküvette das zu messende Gas ein, so wird die Temperaturdifferenz kleiner, weil in beiden Strahlengängen das absorbierende Messgas nur einen Teil des Gesamtspektrums des Strahlers zu den Temperaturfühlern gelangen lässt.

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Enthält das zu messende Gas keinen Anteil der zu analysierenden Gaskomponente, so bleibt die Temperaturdifferenz zwischen Messkammer und Vergleichskammer unverändert erhalten.

Beträgt der Anteil der zu analysierenden Gaskomponente 100 % des Gases in der Analysenküvette, so werden beide Strahlen angenähert gleich stark absorbiert und die Temperaturdifferenz von Mess- und Vergleichskammer wird zu Null.

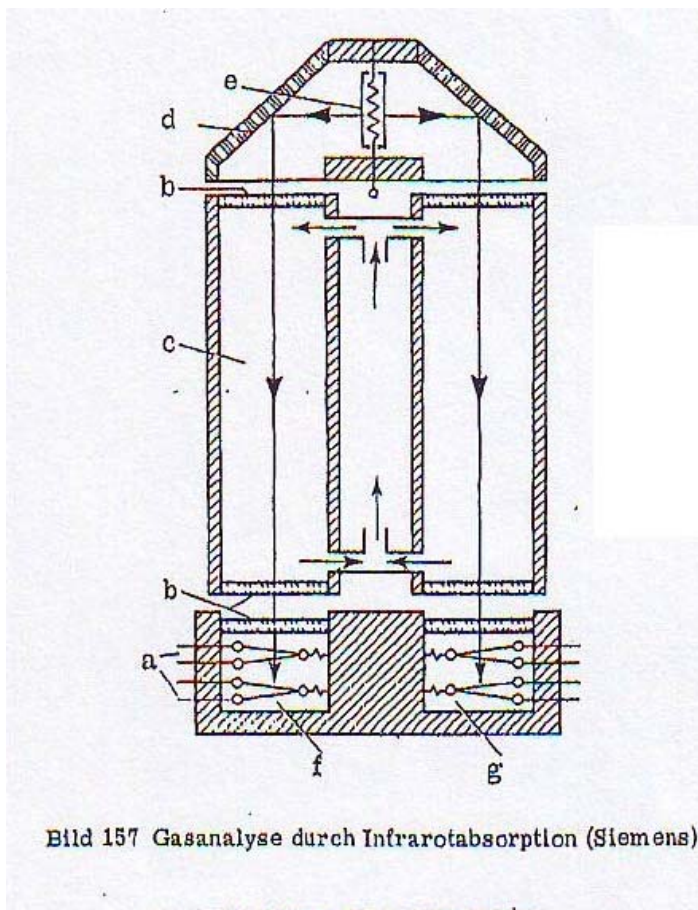


Bild 157 Gasanalyse durch Infrarotabsorption (Siemens)

- a Widerstandsthermometer
- b Infrarotdurchlässige Fenster
- c Analysenküvette
- d Umlenkspiegel
- e Infrarotstrahler
- f Meßkammer
- g Vergleichskammer

Einer kleinen Temperaturdifferenz entspricht ein hoher Anteil, einer großen Differenz ein kleiner Anteil der Gaskomponente im zu analysierenden Gas.

Wenn das Analysengas Komponenten enthält, die fast gleiche Wellenlängenbereiche der infraroten Strahlung absorbieren, wie die zu messende Komponente, so werden in den Strahlengang Filterkammern eingebracht, die mit der Störkomponente gefüllt sind.

Dieses Verfahren der Gasanalyse eignet sich vorzüglich für die Analyse von Kohlenmonoxyd, Kohlendioxid, Methan, Äthylen und vielen anderen mehratomigen Gasen.