



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

Inhaltsverzeichnis:

7. Analysenmessverfahren	3
7.1 Feuchtemessung	3
7.1.1 Feuchtemessverfahren	6
7.1.2 LiCl-Feuchtefühler	7
7.1.3 Quarzhygrometer	8
7.1.4 Kapazitiver Feuchtefühler	9
7.2 pH-Wertmessung	10
7.2.1 pH-Wert, Ionenkonzentration im Wasser	10
7.2.2 Die Elektrode als Spannungsquelle	11
7.2.3 Temperatureinfluss	17
7.2.4 Pufferlösung	18
7.3 Gasanalysemessverfahren	19
7.3.1 Messgasaufbereitung	19
7.3.2 Extraktive Verfahren zur Prozess-Gasanalyse	20
7.3.3 Gasanalyse durch Infrarotabsorption	22
7.3.3.1 Einsatzbereiche	23
7.3.3.2 Messprinzip	25
7.3.3.3 Arbeitsweise	27
7.3.4 Sauerstoffmessverfahren	31
7.3.4.1 Paramagnetisches Wechseldruckverfahren	31
7.3.4.2 Messung des Sauerstoffionengradientes	38
7.3.4.3 In-situ O ₂ -Gasanalysator, kontinuierliche Prozess-Gasanalytik	43
7.3.5 Analyse von Korrosiven Gasgemischen	49
7.3.5.1 Einsatzbereiche	49
7.3.5.2 Arbeitsweise	50
7.3.6 Kohlendioxid-Messgerät	51
7.3.7 Flammenionisationsdetektor (FID)	54
7.3.7.1 Einsatzbereiche	54
7.3.7.2 Arbeitsweise	55
7.3.8 Prozess-Gaschromatographie	59
7.4 Gaswarngeräte	66
7.4.1 Tragbare Gaswarngeräte	66
7.4.2 Stationäre Gaswarngeräte	68



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

7.4.3	Sensortypen für Gaswarngeräte	69
7.4.3.1	Das elektrochemische Sensorprinzip.....	70
7.4.3.2	Das katalytische Sensorprinzip	71
7.4.3.3	Das Infrarot-Sensorprinzip	72
7.5	Viskositätsbestimmung	74
7.5.1	Messmethoden für newtonscher Fluide.....	74
7.5.1.1	Kapillarviskosimeter	75
7.5.1.2	Kugelfallviskosimeter	76
7.5.1.3	Viskositätsmessung mittels Auslaufbecher	77
7.6	Eine kleine Exkursion in die Welt der SAE-Klassen, allgemein.....	78



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

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



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysemesstechnik	18.02.2025

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

- Wasserdampfdruck in mbar

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

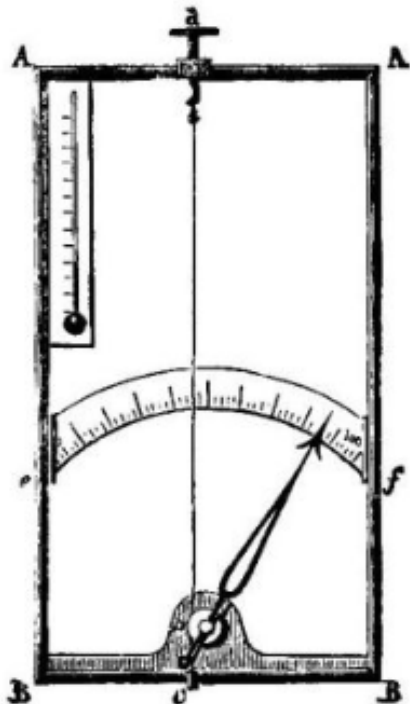
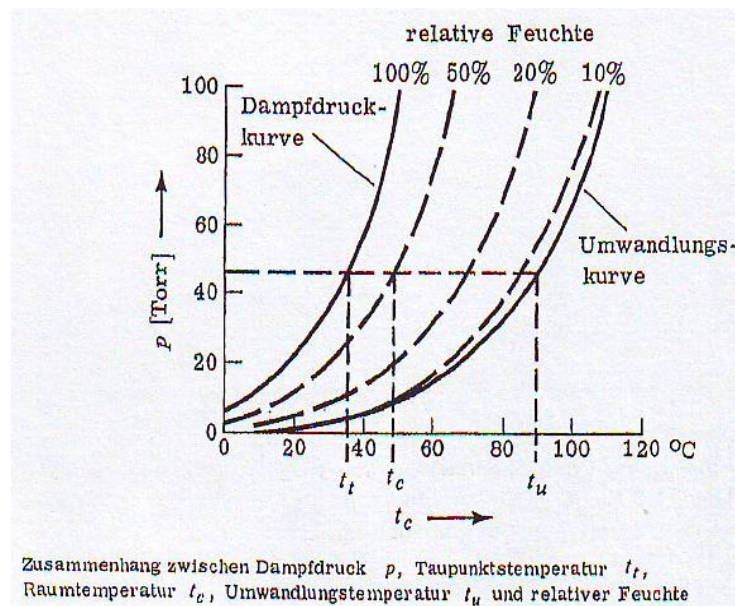
- Absolute Feuchte f = $\frac{\text{Masse Wasser (Gramm)}}{\text{M}^3 \text{ Wasser / Luft-Gemisch}}$ = $\frac{\text{Masse des Wasserdampfes}}{\text{Volumeneinheit}}$

- 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.



Die durchschnittliche Längenausdehnung eines Haares beträgt 2,5%, wenn die Luftfeuchtigkeit sich um 10% ändert. Das heißt: Ein 100mm langes Haar, kann eine maximale Länge von 102,5mm annehmen.

Diese Längenausdehnung erfolgt nicht linear, sondern bei steigender Feuchtigkeit, nimmt die Längenausdehnung ab.

Haar- / Fadenhygrometer



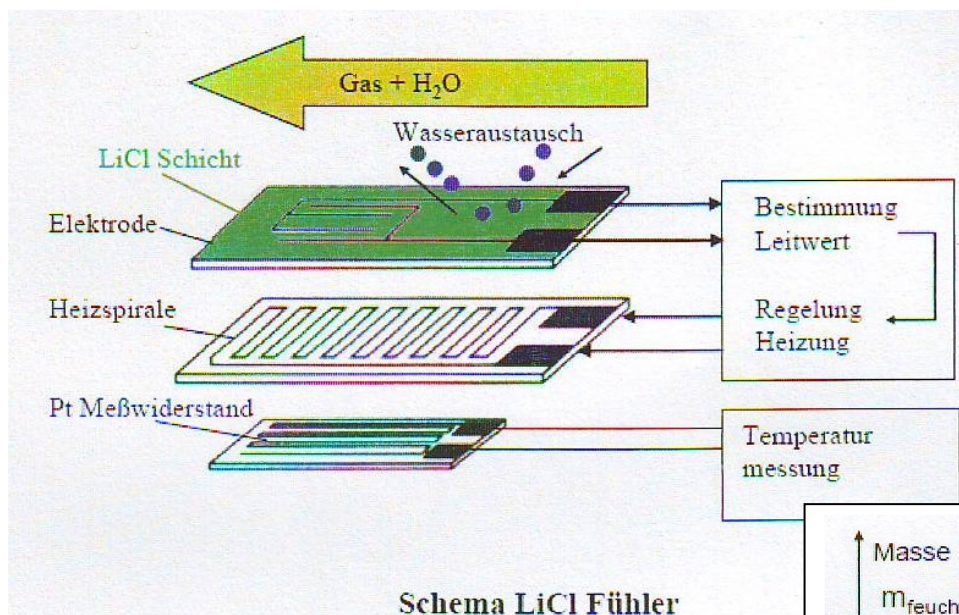
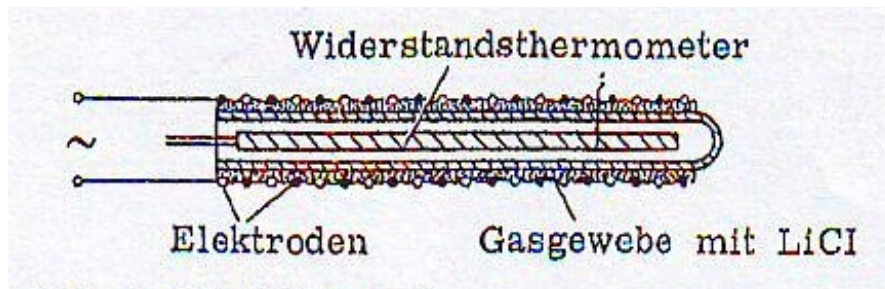
Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

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

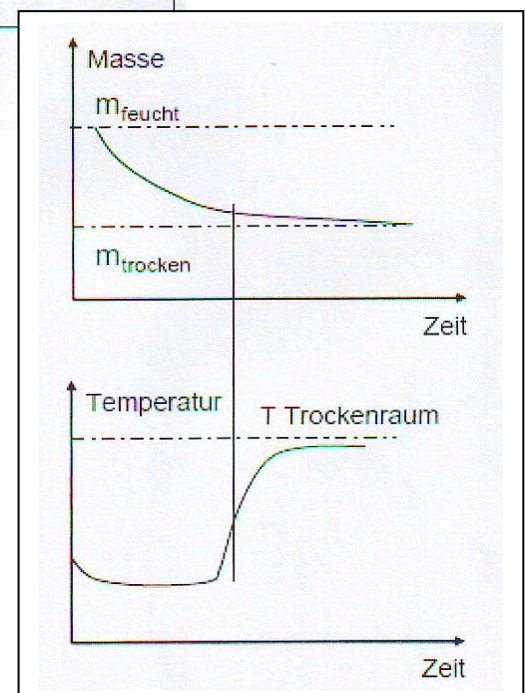
Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

7.1.2 LiCl-Feuchtefühler



Ein Widerstands-Tempersensord wird mit einer Haube aus Glaswolle überzogen, die mit einer Lithiumchlorid-Lösung getränkt wurde. An der Haube sind zwei Elektroden angebracht, an die eine Wechselspannung angelegt wird.

Der resultierende Strom erwärmt die Glaswolle und verdampft das Wasser der Lösung. Dadurch sinkt der Widerstand der Lösung und die entstehende Wärme wird geringer.





Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

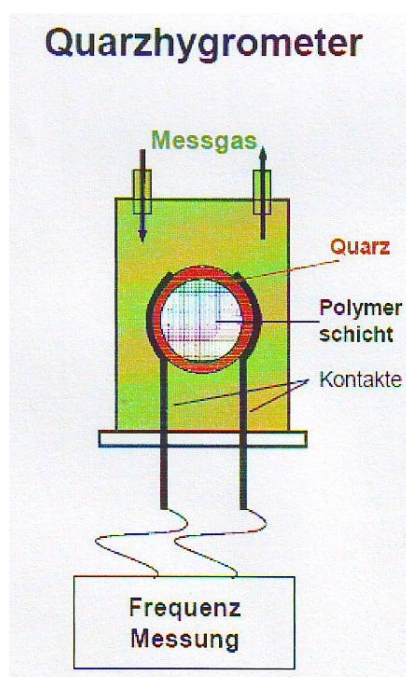
Ein Widerstands-Temperatursensor wird mit einer Haube aus Glaswolle überzogen, die mit einer Lithiumchlorid-Lösung getränkt wurde. An der Haube sind zwei Elektroden angebracht, an die eine Wechselspannung angelegt wird.

Der resultierende Strom erwärmt die Glaswolle und verdampft das Wasser der Lösung. Dadurch sinkt der Widerstand der Lösung und die entstehende Wärme wird geringer. Da Lithiumchlorid hygroskopisch ist, versucht es den Wasserverlust durch Wasseraufnahme aus der Umgebungsluft wieder auszugleichen. Diese beiden Vorgänge – Verdampfung des Wassers und hygroskopische Wasseraufnahme – halten sich bei einer bestimmten Temperatur in Abhängigkeit von der absoluten Feuchte das Gleichgewicht, wodurch durch Messung der Temperatur der Glaswolle die absolute Feuchte bestimmt werden kann.

Die LiCl-Zelle zeichnet sich durch hohe Messgenauigkeit und großen Messbereich aus. Sie ermöglicht außerdem Feuchtemessungen auch in anderen Gasen als Luft. Nachteil der LiCl-Zelle ist, dass sie durchgehend betrieben werden muss (die Heizspannung darf nicht unterbrochen werden), da sonst das LiCl so viel Wasser aufnimmt, dass es aus der Glaswolle abtropft und der Sensor dadurch unbrauchbar wird (in einem solchen Fall kann man diesen durch Auftropfen einer LiCl-Lösung wieder regenerieren).

(Quelle: www.vias.org)

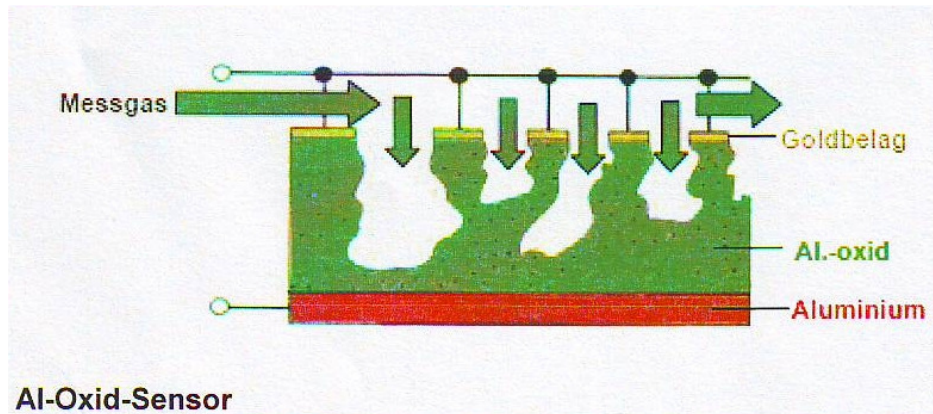
7.1.3 Quarzhygrometer



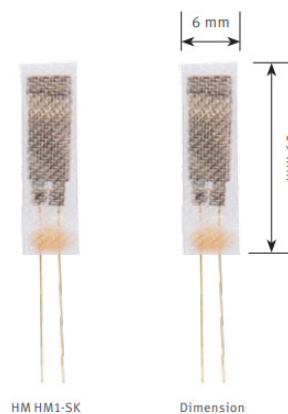


Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

7.1.4 Kapazitiver Feuchtefühler



Außenfeuchtesensor mit Fühlerrohr, 3-Leiter,
Messbereich Feuchte: 0...100 % r. F.,
Messbereich Temperatur: -30...70 °C,
Messprinzip: kapazitiv, Ausgangssignal: 4-20
mA, Analogausgang Bürde: 50...500 Ohm





Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

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 so viel heißt wie "Stärke des Wasserstoffs".



7.2.1 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.

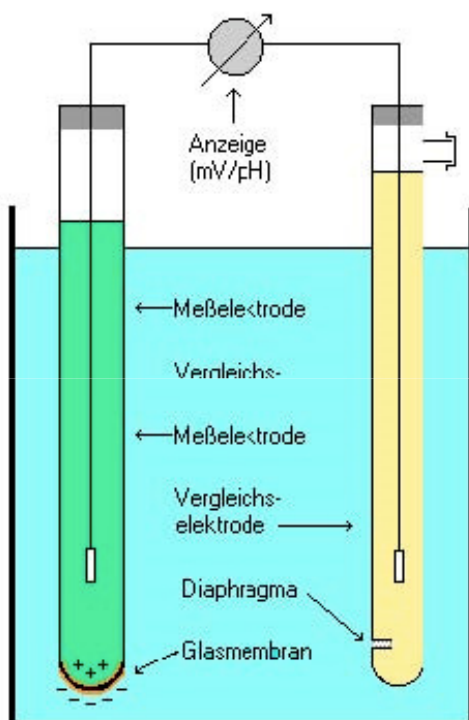


Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

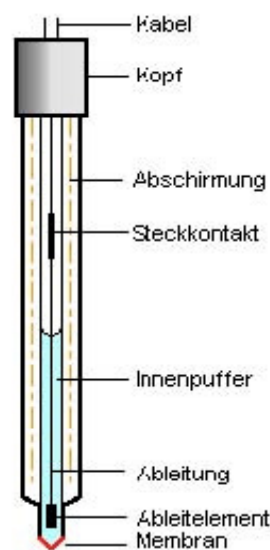
7.2.2 Die Elektrode als Spannungsquelle

Mehr als 30 % aller qualitätsrelevanten Messungen in Prozessen sind pH-Messungen. Daher sind zuverlässige pH-Elektroden und -Messumformer für die Anlagenoptimierung und die Prozesssicherheit extrem wichtig.

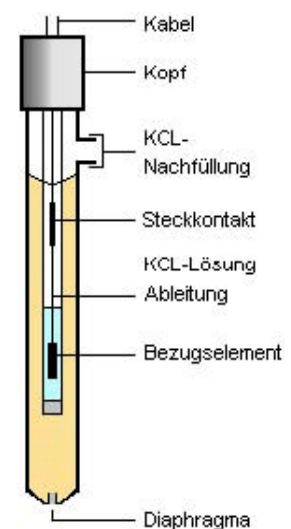
Eine pH-Messung ist im Prinzip nichts anderes als eine Spannungsmessung. Eine Elektrode ist im herkömmlichen Sinne allerdings keine Batterie, wenngleich sie auch eine Spannung liefert. Diese entsteht erst in dem Augenblick, in dem die Elektrode in eine Flüssigkeit eintaucht. Die Spannung, die eine Elektrode 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.



2025-02-18_KH_Sensor_u_Steuerungstechnik_Analyse_7



Messelektrode



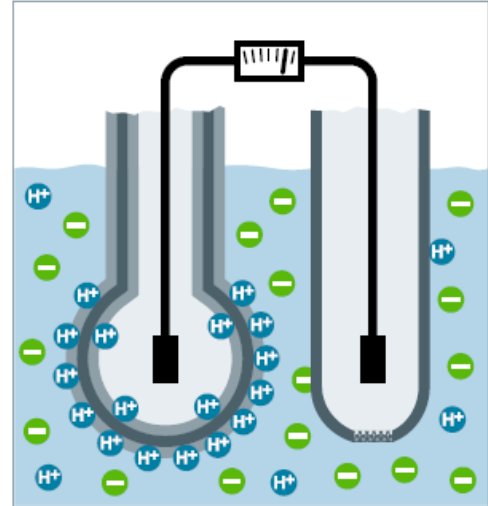
Vergleichselektrode

Dipl.-Ing. Matthias Trier



Endress+Hauser 

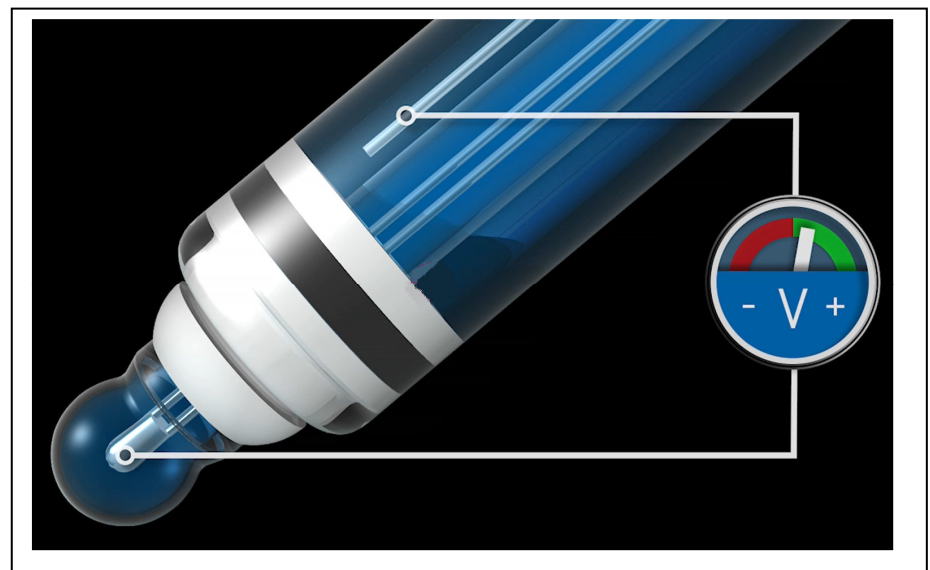
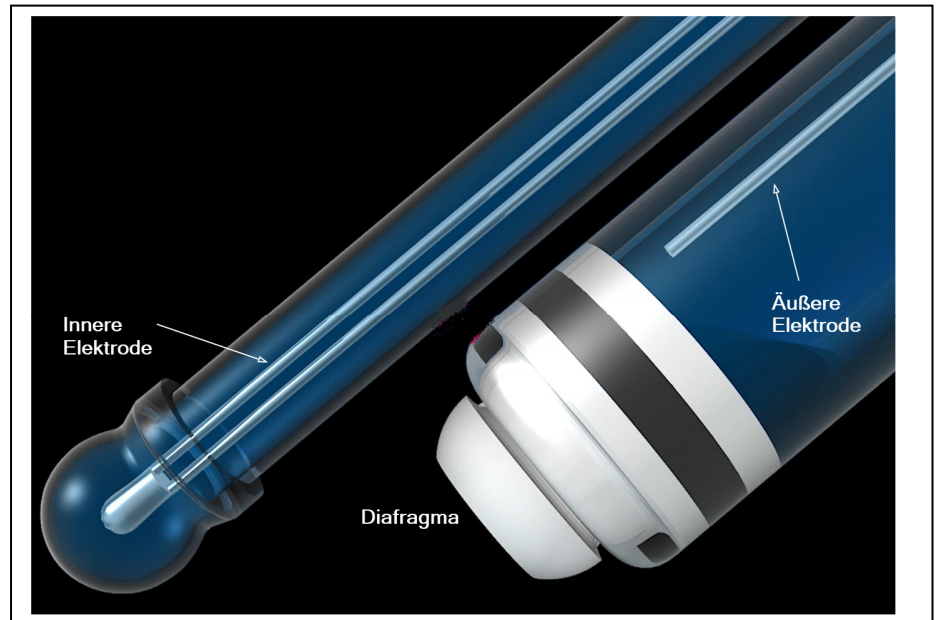
Ein pH-Sensor vollbringt die Meisterleistung der linearen Messung einer Stoffkomponente über einen Konzentrationsbereich von 14 (!) Zehnerpotenzen. pH-Glaselektroden haben sich weltweit als Standard etabliert. Glas hat den Vorteil, chemisch sehr inert und sehr stabil gegen heiße Säuren und Laugen zu sein. Dadurch können pH-Glaselektroden universell in vielen Anwendungen eingesetzt werden.

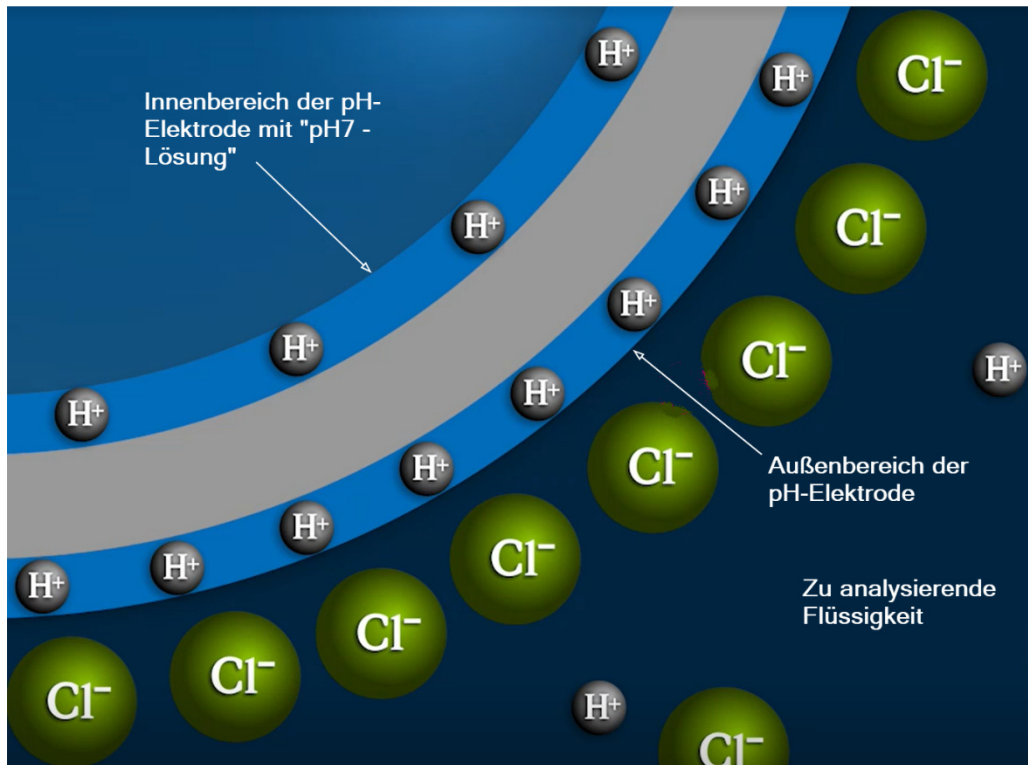


Spannungsentstehung bei der pH-Messung mit Glaselektroden

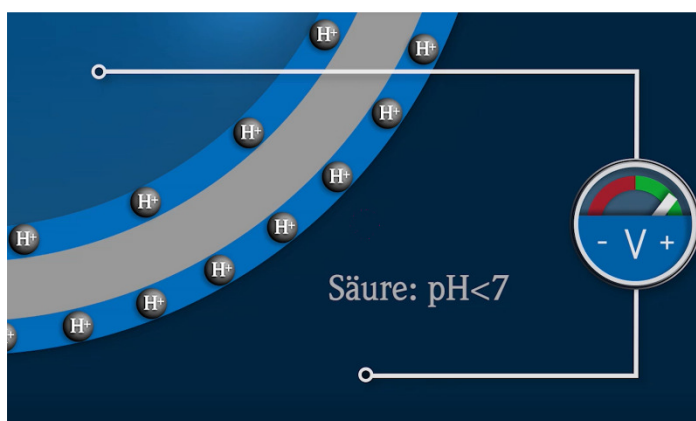


Einstab pH-Elektrode

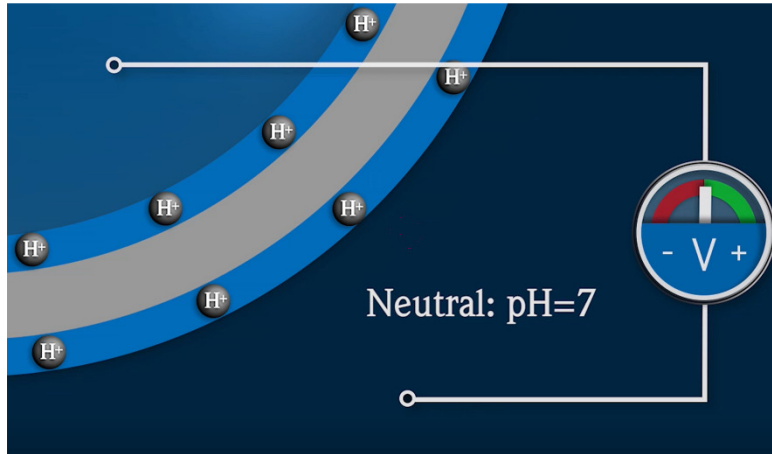




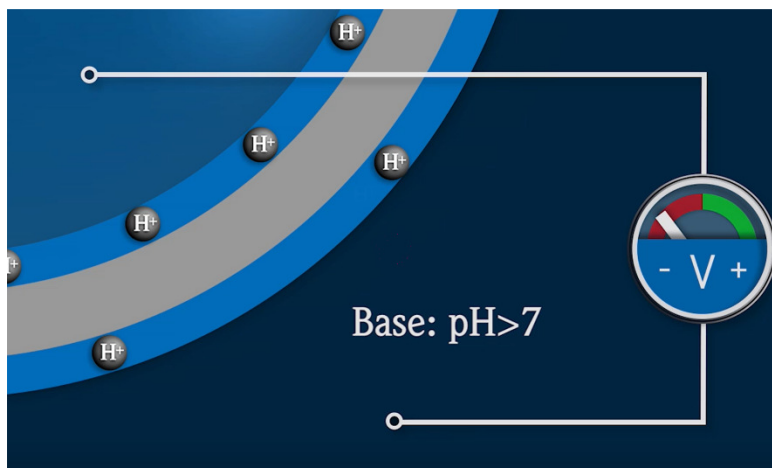
Wasserstoffionenansammlungen bzw. -Verteilung im inneren und äußeren Bereich der pH-Sonde.



Anzahl der Wasserstoffionen der zu analysierenden Lösung (außen) größer als im Inneren der Elektrode (pH-neutrale Pufferlösung).



Anzahl der Wasserstoffionen der zu analysierenden Lösung (außen) gleich groß als im Inneren der Elektrode (pH-neutrale Pufferlösung).



Anzahl der Wasserstoffionen der zu analysierenden Lösung (außen) kleiner als im Inneren der Elektrode (pH-neutrale Pufferlösung).

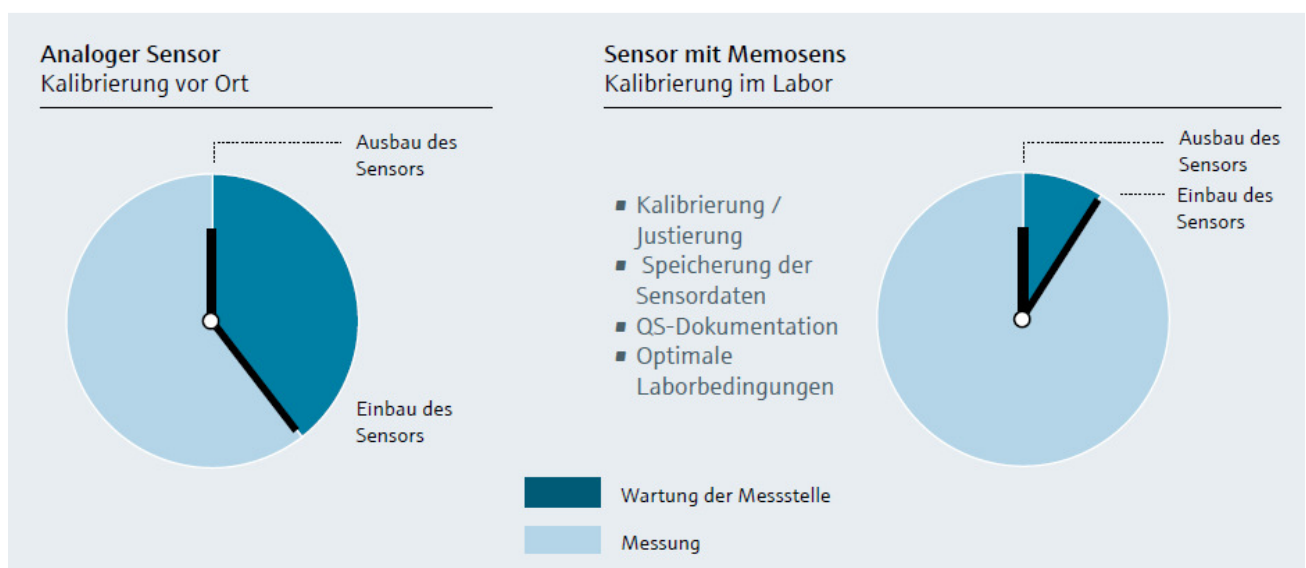
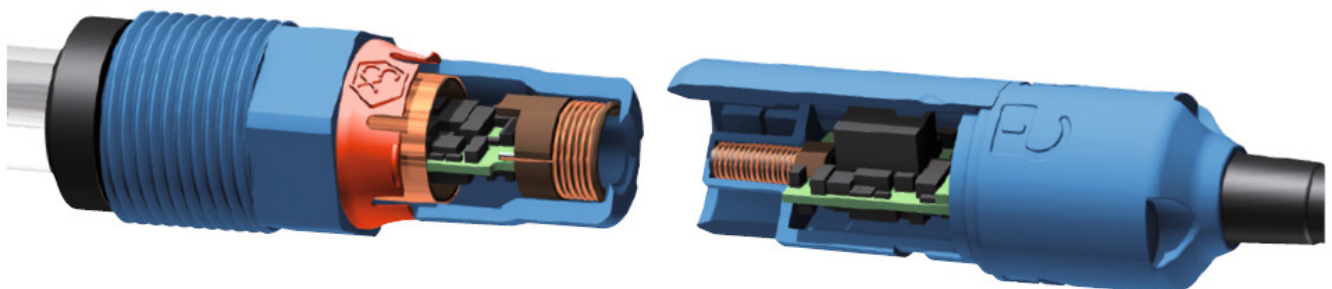


Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysemesstechnik	18.02.2025

Memosens-Technologie von E+H

Die Flüssigkeitsanalyse stellt sehr hohe Anforderungen nicht nur an das sensorische Element, sondern auch an die Übertragung des Messwerts vom Sensor zum Messumformer. Bei der pH-Messung erfordern zusätzlich niedrige Ströme und sehr hohe Innenwiderstände der Sensoren eine hochohmige Anbindung an den Messumformer. Feuchtigkeit in der Verbindung führt zu Veränderung des Messwerts bis hin zum Ausfall der Messung.

Die Memosens-Technologie revolutioniert die Sicherheit der Datenübertragung, indem sie den Messwert im Sensor digitalisiert und ohne kontaktierende und damit feuchtigkeitsempfindliche Steckverbindung zum Messumformer transferiert. Dieser Technologiesprung in eine neue Generation von Sensoren hat zusätzliche Vorteile und eliminiert prinzipielle Einschränkungen der bisherigen Technik.





Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

Messumformer

Liquiline CM42

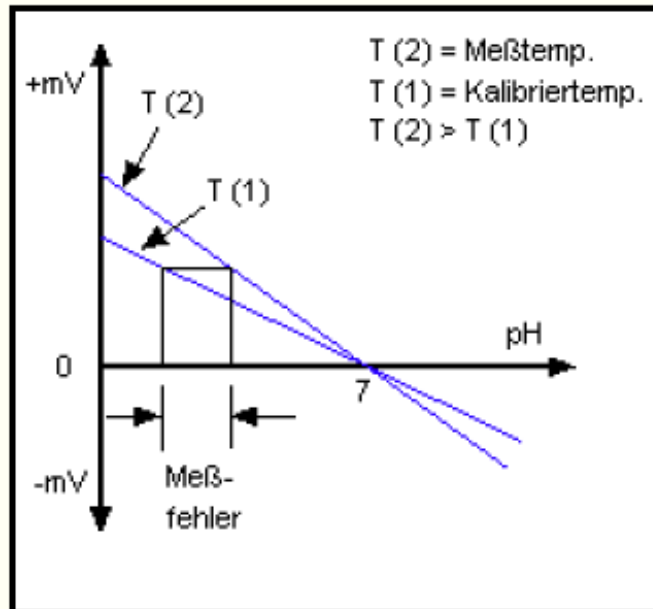
Der leistungsstarke 2-Draht-Messumformer kann im Ex- und Nicht-Ex-Bereich eingesetzt werden.

- Ausführung für pH/Redox, Leitfähigkeit und Gelöstsauerstoff- einfacher Wechsel der Memosens-Sensoren per Plug & Play
- Intuitive Bedienung durch Klartextmeldungen und Online-Hilfe
- Einfache Integration in Leitsysteme dank HART, PROFIBUS PA und FOUNDATION Fieldbus
- Vorausschauende Wartung mit Memosens-Sensoren möglich
- Erhältlich mit Edelstahlgehäuse im hygienischen Design

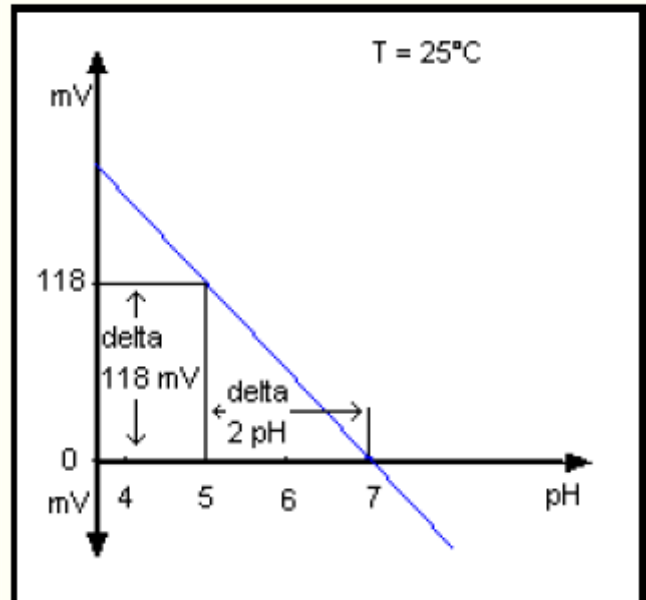


7.2.3 Temperatureinfluss

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

7.2.4 Pufferlösung

Pufferlösungen dienen zur Kalibrierung von pH-Messketten. Die gebräuchlichsten Werte liegen bei pH = 4, pH = 7 und 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 CO₂ aus der Luft kann, besonders bei Lösungen mit hohen pH-Werten, zu Verfälschungen des Puffers führen. Pufferlösungen werden mit einer Genauigkeit von $\pm 0,02$ pH bei 25°C angegeben

Temperatur (°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



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

7.3 Gasanalysemessverfahren

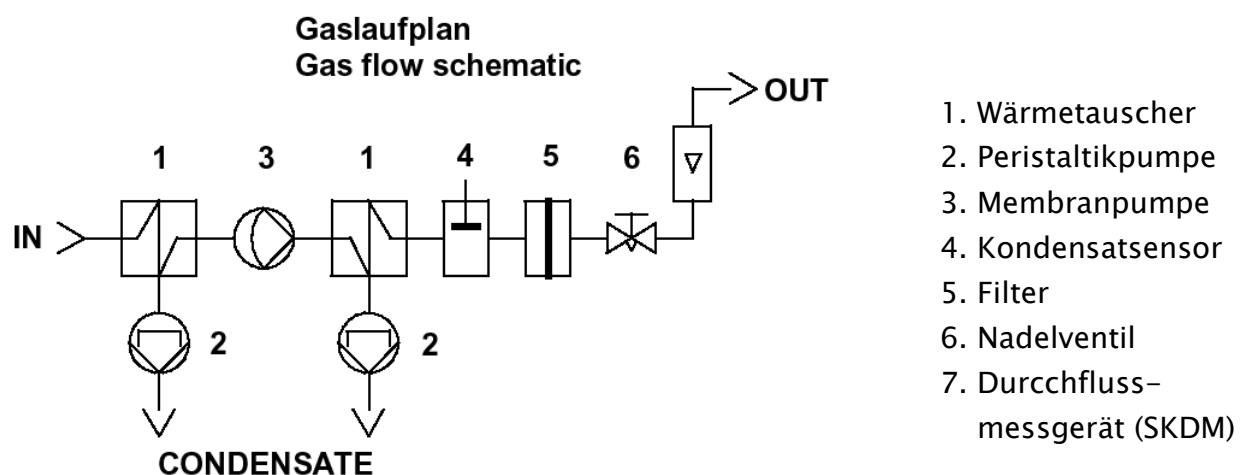
7.3.1 Messgasaufbereitung

Eine Gasanalysenanlage besteht in der Regel aus zwei Gruppen von Geräten:

- Der Gasanalysator misst die Konzentrationen der Messgaskomponenten und wandelt sie in ein elektrisches Signal um.
- Zusatzgeräte entnehmen das Messgas aus dem Prozess, bereiten es auf und fördern es in der Gasanalysenanlage.

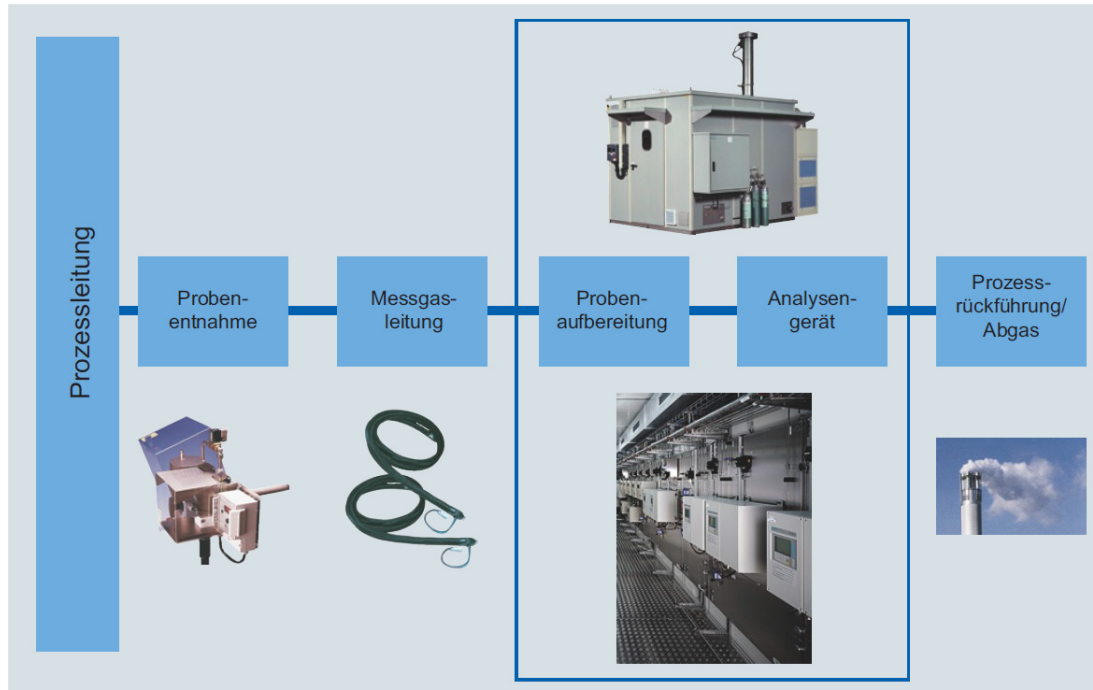
Das dem Prozess entnommene Messgas kann in den meisten Fällen nicht ohne weitere Aufbereitung vom Gasanalysator verarbeitet werden. Zu hoher Staubgehalt, Temperatur und Taupunkt sowie zu hoher oder zu niedriger Druck und nicht zuletzt Störkomponenten im Messgas können die Betriebsfähigkeit des Gasanalysators beeinträchtigen und das Messergebnis verfälschen.

Zusatzgeräte wie die Entnahmesonde, die Messgasleitung, der Messgaskühler sowie Pumpen und Filter stellen sicher, dass unabhängig vom Prozessverlauf und den örtlichen Bedingungen die Messgaseingangsbedingungen der angeschlossenen Gasanalysatoren erfüllt und einwandfreie Messergebnisse erhalten werden.





Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025



Schematische Darstellung des Messaufbaus extraktiver Messverfahren

7.3.2 Extraktive Verfahren zur Prozess-Gasanalyse

Extraktive Prozess-Gasanalysengeräte werden zur kontinuierlichen Ermittlung von Konzentrationswerten eines oder mehrerer Gase in einem Gasgemisch eingesetzt. Die Ermittlung der Konzentration von Gasen in einem Prozess dient der Steuerung und Überwachung von Prozessströmen und spielt somit eine entscheidende Rolle bei der Automatisierung und Optimierung von Prozessen und der Sicherung der Produktqualität.

Darüber hinaus dienen Prozess-Gasanalysengeräte der Kontrolle von Emissionen. Sie leisten damit einen wichtigen Beitrag zum Umweltschutz und werden auch zur Erfüllung gesetzlicher Auflagen eingesetzt.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

Extraktive Messverfahren sind dadurch gekennzeichnet, dass die zu analysierende Probe aus der Prozessleitung entnommen und dem Analysengerät über eine Probenleitung und Probenaufbereitung konditioniert zugeführt wird. In der Probenaufbereitung werden zum Beispiel Druck, Temperatur und Durchfluss eingestellt und das Messgas – wenn nötig – von Staub und Feuchte befreit. Dadurch wird gewährleistet, dass die Messung unter definierten Bedingungen stattfindet. Außerdem wird das Analysengerät so vor schädlichen Einflüssen geschützt.

Beispiel: Extraktive kontinuierliche Prozess-Gasanalytik

SIPROCESS GA700 von der Fa. Siemens



Das Komplettgerät SIPROCESS GA700 ist modular aufgebaut und besteht aus einem Grundgerät und mindestens einem, maximal zwei Modulen. Optional kann es mit bis zu zwei Schnittstellenmodulen bestückt werden.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

Das Grundgerät dient zur

- Übertragung und Auswertung der Messergebnisse
- Anzeige und Übertragung der Geräteparameter
- Bedienung (Parametrierung, Konfiguration)

Das Grundgerät enthält neben den Modulen die Schnittstellen zur Peripherie.

Das Grundgerät ist in drei Ausführungen erhältlich: Zum Einen als 19"-Einschubgerät mit 3 Höheneinheiten, als Gehäuse zur Wandmontage und zum Anderen als Ex-d-Feldgerät. Die in den Grundgeräten vorhandenen Kommunikationsschnittstellen können durch optional verfügbare, weitere Elektronikmodule an die jeweilige Prozessumgebung bzw. das Prozessleitsystem angepasst werden.

Die Module

Abhängig von der Messaufgabe kann der SIPROCESS GA700 durch den Einbau auswählbarer Module individuell an die jeweiligen analytischen bzw. prozesstechnischen Anforderungen angepasst werden.

7.3.3 Gasanalyse durch Infrarotabsorption

Das ULTRAMAT 7 Modul von der Fa. Siemens arbeitet nach dem NDIR-Zweistrahl-Gegentaktverfahren und misst hochselektiv Gase, deren Absorptionsbanden im Infrarot-Wellenlängenbereich von 2 bis 9 μm liegen, wie z. B.

- Kohlenmonoxid (CO),
- Kohlendioxid (CO₂),
- Methan (CH₄),
- Schwefeldioxid (SO₂)
- oder Stickstoffmonoxid (NO)

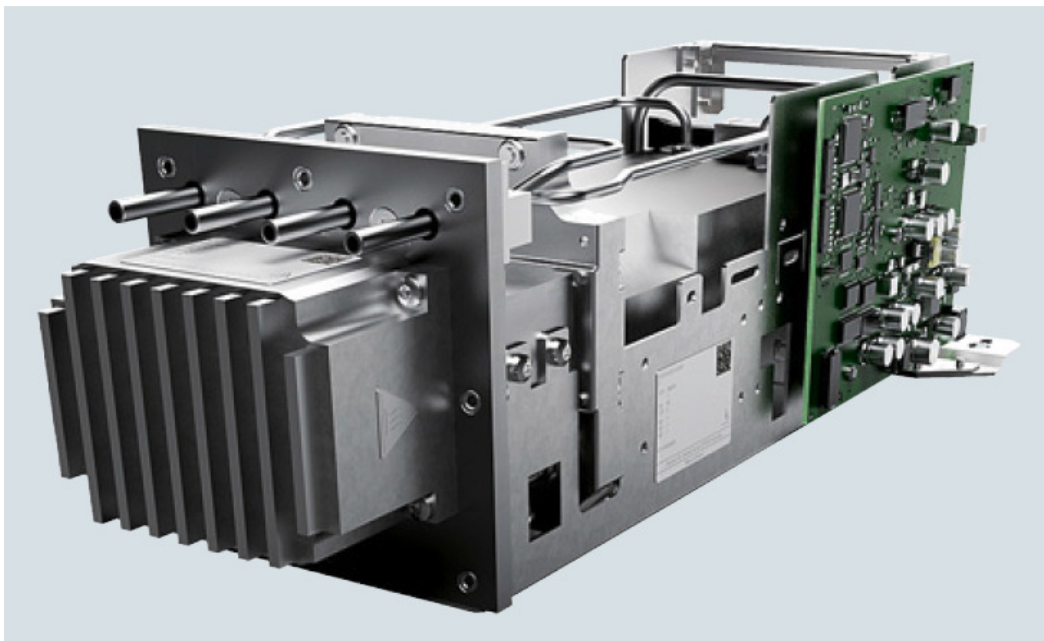
Pro Modul können bis zu zwei Komponenten gemessen werden.

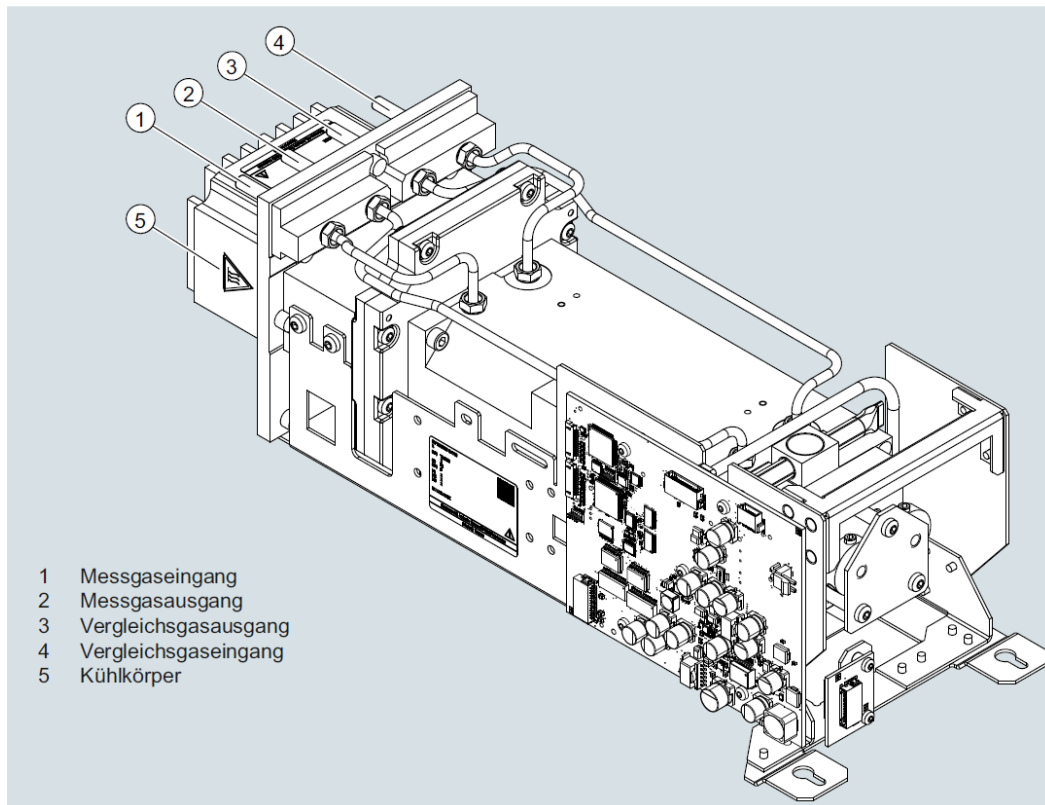


Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysemesstechnik	18.02.2025

7.3.3.1 Einsatzbereiche

- Messung zur Kesselsteuerung von Verbrennungsanlagen
- Prozessgaskonzentrationen in chemischen Anlagen
- Spurenmessungen bei Reinstgasprozessen
- Umweltschutz
- MAK-Wert-Überwachung an Arbeitsplätzen (*MAK = Maximale Arbeitsplatzkonzentration*)
- Qualitätsüberwachung
- Einleiten brennbarer Gase möglich







Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

7.3.3.2 Messprinzip

Die Messungen beruhen auf der molekülspezifischen Absorption von Infrarotstrahlungsbanden (Absorptionsbanden). ULTRAMAT 7 Module z.B. verwenden einen Spektralbereich, der Wellenlängen von 2 bis 9 μm umfasst.

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.

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.

Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

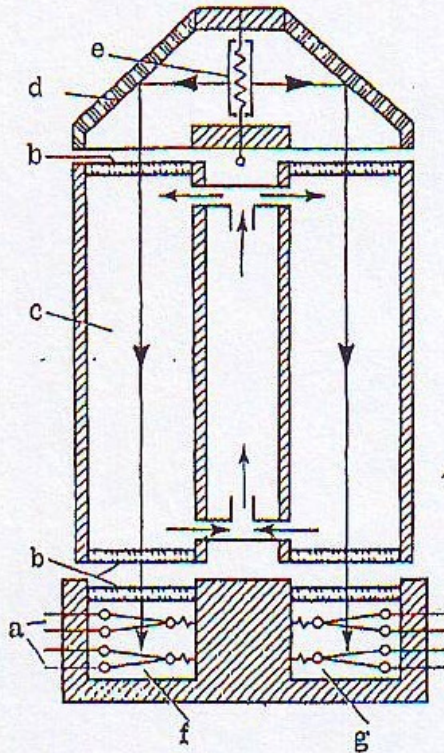


Bild 157 Gasanalyse durch Infrarotabsorption (Siemens)

- a Widerstandsthermometer
- b Infrarotdurchlässige Fenster
- c Analysenzelle
- 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, Acetylen und vielen anderen mehratomigen Gasen.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

7.3.3.3 *Arbeitsweise*

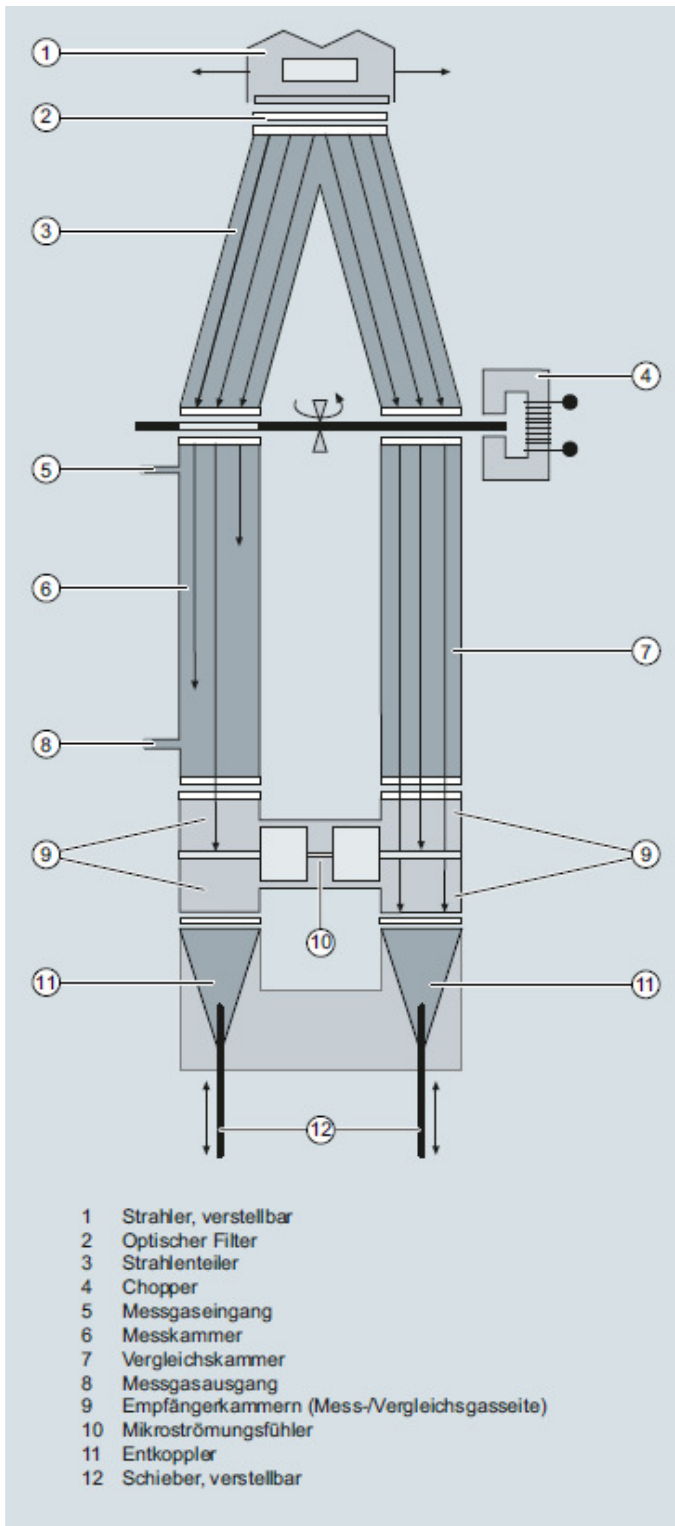
ULTRAMAT 7 Module arbeiten nach dem Infrarot-Gegentaktwechsellichtprinzip und sind mit einem Zweischichtdetektor ausgestattet. Ein etwa 600 °C heißer Strahler erzeugt Infrarotstrahlung, die in den Strahlerteiler emittiert wird. Der Strahlerteiler arbeitet als Filterkammer und teilt den Strahl zu gleichen Teilen zwischen Mess- und Vergleichsgasseite auf.

Der Chopper bewirkt eine periodische Modulation der Infrarotstrahlung und dient somit der Relaxation des Empfängers.

Der Vergleichsstrahl durchläuft die Vergleichskammer und trifft praktisch ungeschwächt auf die Empfänger kammer auf. Die Empfänger kammer ist mit einer genau festgelegten Konzentration der zu messenden Gaskomponente gefüllt. Der Messstrahl durchläuft dagegen die messgasbeströmte Messkammer und trifft unterschiedlich stark abgeschwächt auf die Empfänger kammer auf. Der Grad der Abschwächung hängt von der jeweiligen Messgaskonzentration ab.

Der Empfänger ist als Zweischichtdetektor aufgebaut. Die strahlerseitige Detektorschicht dient hauptsächlich der Absorption der Bandenmitten. Die Bandenflanken werden hingegen von beiden Schichten gleichermaßen absorbiert. Die Detektorschichten beider Empfängerseiten sind pneumatisch über einen Mikroströmungsfühler miteinander verbunden. Dieses Sensorelement wandelt die im Empfänger entstehende Druckdifferenz in ein elektrisches Signal um.

Je nach Applikation wird die Gewichtung zwischen erster und zweiter Empfängerschicht im Werk voreingestellt. Dadurch wird der Einfluss von Störkomponenten minimiert.



Technische Daten

Die Technischen Daten sind angelehnt an die Definitionen der DIN EN 61207-1.

Wenn nicht anders angegeben, beziehen sich die unten aufgeführten Daten auf folgende Messbedingungen:

Umgebungstemperatur	25 °C
Umgebungsdruck	Atmosphärisch (ca. 1 000 hPa)
Messgasdurchfluss	0,6 l/min (bzw. nl/min)
Messgasfeuchte	Taupunkt < -40 °C
Aufbauort	Vibrations- und erschütterungsfrei

Allgemeines

Gewicht	Max. 5,2 kg (Standardvariante)
---------	--------------------------------

Messbereiche

Anzahl der Messbereiche	Max. 4; frei parametrierbar
-------------------------	-----------------------------

In den Messbereichen parametrierbare

• kleinstmögliche Messspanne

CO:	0 ... 10 vpm
CO ₂ :	0 ... 5 vpm
CH ₄ :	0 ... 50 vpm
C ₂ H ₄ :	0 ... 300 vpm
SO ₂ :	0 ... 50 vpm
NO:	0 ... 100 vpm
N ₂ O:	0 ... 50 vpm
NH ₃ :	0 ... 100 vpm
CO/NO:	0 ... 100 vpm
CO ₂ /CO:	0 ... 100 vpm

• größtmögliche Messspanne

CO:	0 ... 100 %
CO ₂ :	0 ... 100 %
CH ₄ :	0 ... 100 %
C ₂ H ₄ :	0 ... 100 %
SO ₂ :	0 ... 100 %
NO:	0 ... 30 000 vpm
N ₂ O:	0 ... 100 %
NH ₃ :	0 ... 100 %
CO/NO:	0 ... 10 000 vpm
CO ₂ /CO:	0 ... 100 %

Gaseingangsbedingungen

Messgasdruck	
• Normaldruck (atmosphärische Druckkompensation)	500 ... 1 500 hPa (absolut)
Druckverlust zwischen Messgasein- und Messgasausgang	< 10 hPa bei 1,5 l/min
Messgasdurchfluss	18 ... 90 l/h (0,3 ... 1,5 l/min)
Messgastemperatur	0 ... 50 °C
Messgasfeuchtigkeit (rel. Feuchte)	< 90 % (Bettung im Gasweg ist zu vermeiden)



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysemesstechnik	18.02.2025

Tragbare Infrarot-Gasanalysatoren (BE-PM-Serie) für CO, CO₂, CH₄ - Konzentrationen der Fa. Bernt



Die PM-Produktserie wurde für Applikationen entwickelt, wo robuste, leicht zu transportierende und batteriebetriebene Gasanalysegeräte für Routinemessungen erforderlich sind. Unter Verwendung von entsprechenden Sonden und Filtern ermöglicht der kostengünstige Gasanalysator Messungen von Brennofenatmosphären, Schornsteinabgasen sowie Abgasen von Verbrennungsmaschinen, kontrollierten Atmosphärenkammern, u.s.w. Die Gasanalysatoren aus der PM-Serie sind dafür ausgelegt, Einzelgase, wie Kohlendioxyd, Kohlenmonoxyd und Methan zu messen. Die Gas- und Elektroanschlüsse befinden sich auf der Geräterückseite. Je nach Bedarf ist es möglich, den Messkreis mit oder ohne Gasprobenpumpe zu betreiben, da die Pumpenanschlüsse herausgeführt sind.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (REII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

Technische Daten:

Meßgas	CO ₂	CH ₄	CO
Meßbereich	0-2000 ppm	0-5 %	0-3 %
	0-3000 ppm	0-10 %	0-10 %
	0-5000 ppm	0-30 %	0-30 %
	0-1 %	0-100 %	0-100 %
	0-3 %		
	0-10 %		
	0-30 %		
	0-100 %		

Andere Meßbereiche auf Anfrage

Meßverfahren:	nicht dispersive IR-Absorption mit Halbleitersensor, Zweistrahl mit Abstand	Gasanschlüsse:	Pumpen- und Zellenanschlüsse auf der Geräterückseite
Meßbare Gase:	CO, CO ₂ , CH ₄	Batterie:	2x12V Bleiakku. Batterieladung ermöglicht 7 Stunden kontinuierlichen Betrieb des Analysators mit Pumpe
Meßbereich:	Einzelmeßbereich (bitte angeben)	Elektrische Anschlüsse:	Ladebuchse, Signalausgang
Genauigkeit:	±2% des vollen Bereichs (f.s.d.)	Optionen:	akustischer/visueller Einzelalarm
Analytische Ansprechzeit:	10 Sekunden auf T ₉₀ (typisch), oder wahlweise 1s, bzw 32s	Frontplattenkontrollen und -anzeigen:	lineare LCD-Meßwertanzeige; Mehrgangpotentiometer für Nullpunkt- und Bereichseinstellung; Durchflußmesser
Nullpunktstabilität:	±2% des Meßbereichs über 12 Monate.	Rückseitige Anschlüsse:	Zellen- und Pumpenanschlüsse, Sicherungen, Anschlußbuchse für Schreiber, Durchflusseinstellpoti für Meßgaspumpe, Anschlußbuchse für ext. Ladegerät, Hauptschalter
Einfluß der Umgebungstemperatur (0-45°C):	±0,03% f.s.d. pro 1°C	Gehäusematerial:	Aluminiumguß, beschichtet
Durchflußrate:	nicht kritisch, typisch 0,5 l/min	Schutzgrad:	IP 61
Durchflußmesser:	einstellbar	Gewicht:	Analysator (mit Batterie): ca. 3,75kg Batterieladegerät: ca. 1,15kg
Meßgaspumpe:	intern eingebaut, regelbar	Maße (LxBxH):	Analysator: 240x 170 x 130 mm
Aufwärmzeit:	1 Minute	Spannungsversorgungen:	24 VDC externe Versorgung 200-250 VAC / 50Hz 100-120 VAC / 50Hz 100-120 VAC / 60Hz
Meßwertanzeige:	digitale Flüssigkristallanzeige (LCD)	Für Ladegerät (bitte angeben!)	
Ausgänge:	4-20mA standard 0-20mA, 0-1V, 0-3V, 0-5V, 0-10V DC opt. Linearer oder nicht linearer Ausgang wahlweise		
Temperaturbereich:	Umgebungstemperatur von 0 bis 45°C		
Temperaturkorrektur:	wahlweise korr. oder nicht korrigiert.		



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysemesstechnik	18.02.2025

7.3.4 Sauerstoffmessverfahren

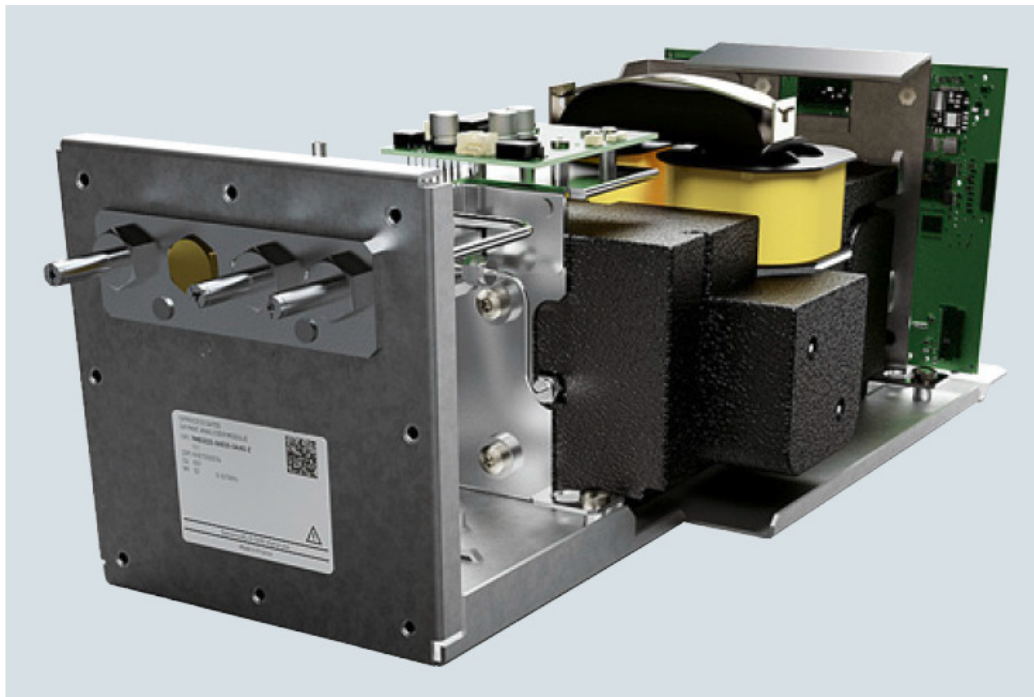
7.3.4.1 Paramagnetisches Wechseldruckverfahren

Zur Messung von Sauerstoff zwischen 0 bis 0,5 % (kleinster Messbereich) und 0 bis 100 % (größter Messbereich) dient das OXYMAT 7 Modul der Fa. Siemens.

Es ist für Einsätze bei Umgebungstemperaturen bis zu 50 °C konzipiert und erlaubt höchste Messgenauigkeit durch Anwendung des paramagnetischen Wechseldruckverfahrens.

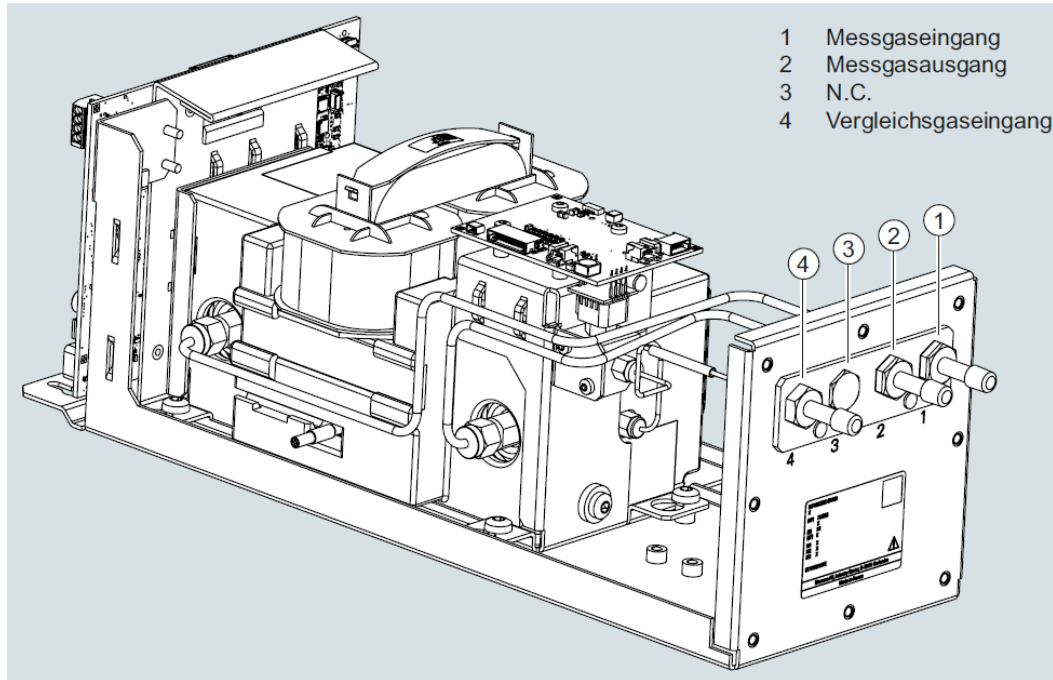
Einsatzbereiche

- Für die Kesselsteuerung von Verbrennungsanlagen
- In chemischen Anlagen
- In Reinstgasen zur Qualitätsüberwachung
- Im Umweltschutz
- Bei der Qualitätsüberwachung
- Reinheitsüberwachung / Luftzerleger
- Ausführungen zur Analyse brennbarer und nichtbrennbarer Gase oder Dämpfe zum Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen





Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025



7.3.4.1.1 Arbeitsweise

Sauerstoff ist stark paramagnetisch. Diese herausragende Eigenschaft des Paramagnetismus wird als physikalischer Messeffekt zur Sauerstoffanalyse verwendet.

Sauerstoffmoleküle bewegen sich in einem inhomogenen Magnetfeld immer in Richtung höherer Feldstärke. Daraus resultiert am Ort der höheren Feldstärke eine höhere Sauerstoffkonzentration (höherer Sauerstoff-Partialdruck). Führt man zwei Gase mit unterschiedlichem Sauerstoffgehalt in einem Magnetfeld zusammen, entsteht zwischen ihnen ein (O₂-Partial-)Druckunterschied.

Da der Messeffekt immer auf der Differenz des Sauerstoffgehalts beider Gase beruht, spricht man von Messgas und Referenzgas/Vergleichsgas.

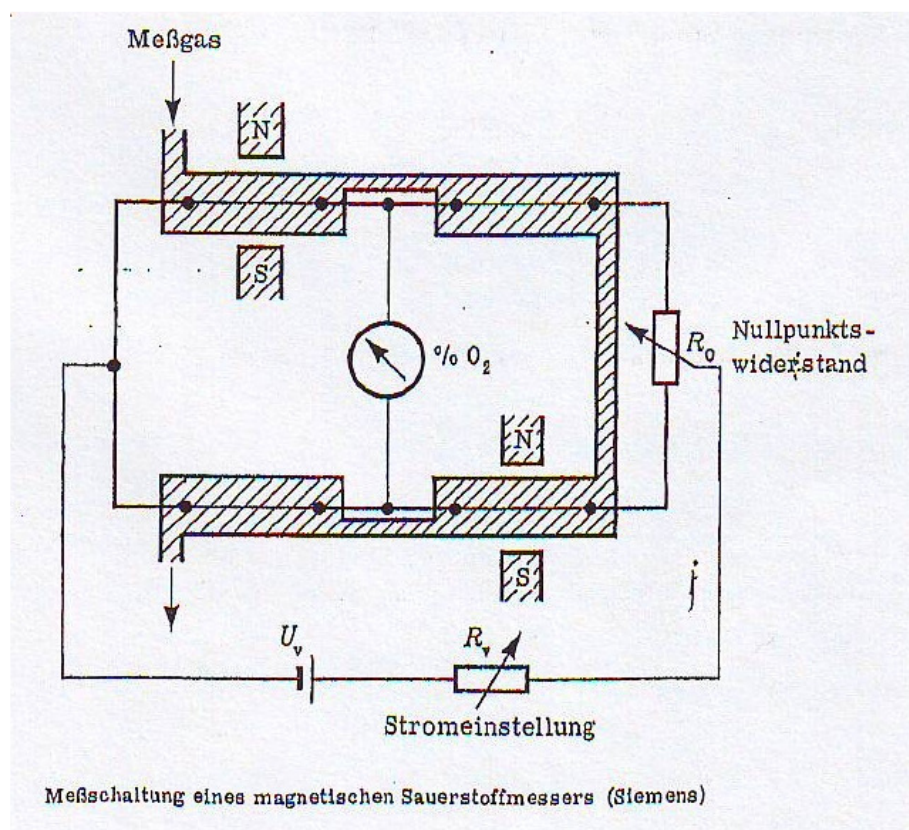
Zur Sauerstoffmessung im OXYMAT 7 strömt das Vergleichsgas (N₂, O₂ oder Luft) durch zwei Kanäle in die Messkammer (6). Einer dieser Teilströme tritt im Bereich des Magnetfelds in die Messkammer ein (7). Ist das Messgas O₂-frei, kann das Vergleichsgas frei abströmen. Enthält das Messgas jedoch O₂, werden die Sauerstoffmoleküle im Bereich des Magnetfelds konzentriert. Dies führt dazu, dass das Vergleichsgas nicht mehr frei abströmen kann. Es entsteht zwischen den beiden Referenzgaseingängen ein im Takt des Magnetfelds pulsierender,



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

von der Sauerstoffkonzentration abhängiger Wecheldruck, welcher eine Wechselströmung im Mikroströmungsfühler (4) verursacht.

Der Mikroströmungsfühler besteht aus zwei auf etwa 120 °C aufgeheizten Nickelgittern, die zusammen mit zwei Ergänzungswiderständen eine Wheatstone-Brücke bilden. Die Wechselströmung führt zu einer Widerstandsänderung der Nickelgitter. Die resultierende Messbrückenverstimmung ist ein Maß für die Sauerstoffkonzentration im Messgas.



Da der Mikroströmungsfühler im Vergleichsgasstrom angeordnet ist, wird die Messung nicht von der Wärmeleitfähigkeit, der spezifischen Wärme oder der inneren Reibung des Messgases beeinflusst. Zudem ist der Mikroströmungsfühler durch diese Anordnung vor Korrosion durch das Messgas geschützt.

Zusätzliche Informationen

Das oszillierende Magnetfeld (8) bewirkt, dass die Grundströmung am Mikroströmungsfühler nicht erfasst wird. Die Messung ist somit unabhängig von der Messkammerlage und der Gebrauchslage des Moduls.



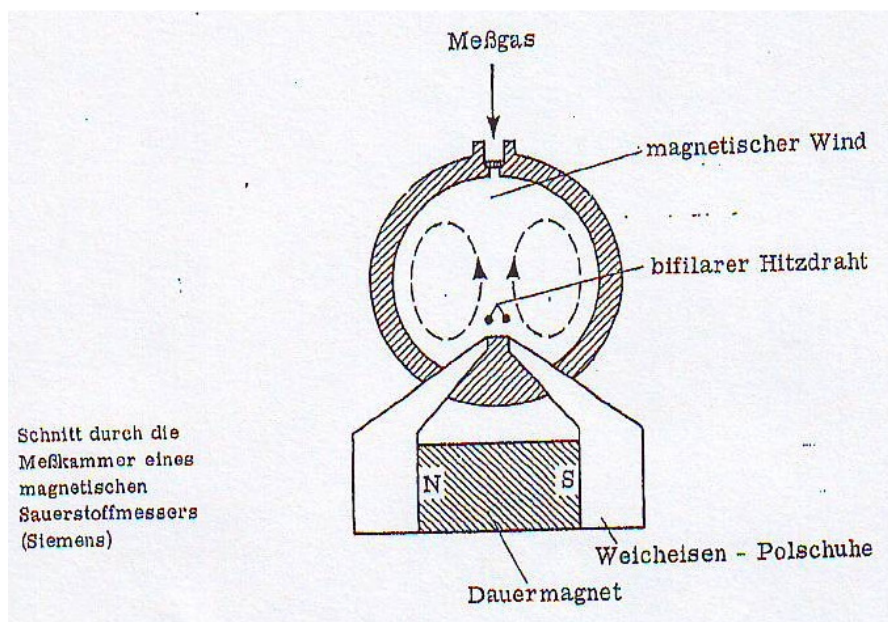
Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

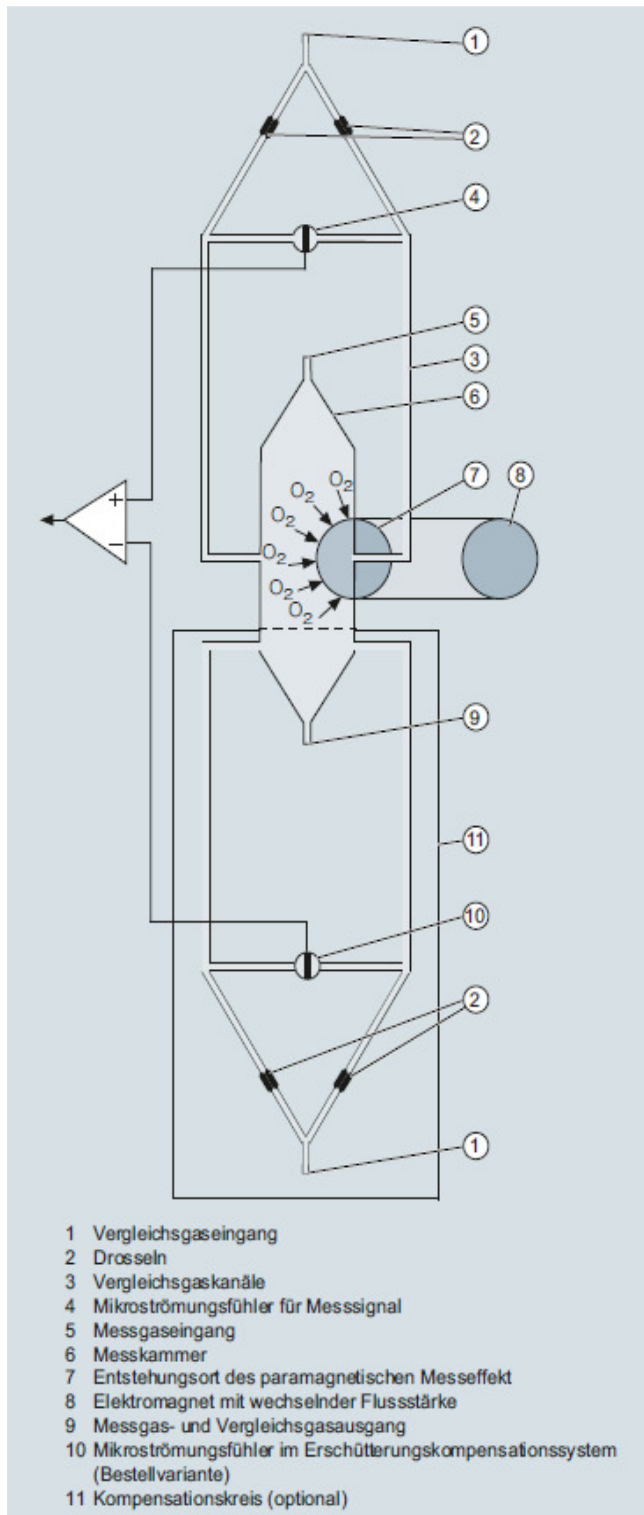
Die direkt beströmte Messkammer hat ein kleines Volumen, der Mikroströmungsfühler ist verzögerungsarm. Dadurch werden extrem kurze Ansprechzeiten realisiert.

Am Aufstellort auftretende Erschütterungen können das Messsignal beeinträchtigen (z. B. starke Ausgangssignalschwankungen). Dieses Verhalten kann durch einen zweiten (optionalen) Mikroströmungsfühler (10), der als Erschütterungsaufnehmer dient, kompensiert werden. Da große Dichteunterschiede zwischen Mess- und Referenzgas den unerwünschten Vibrationseinfluss noch verstärken, wird der Kompensations-Mikroströmungsfühler (10) wie der Mess-Mikroströmungsfühler (4) ebenfalls mit Vergleichsgas beströmt.

Die Messgase müssen den Analysengeräten staubfrei zugeführt werden. Kondensat in den Messkammern ist zu vermeiden. Daher ist in den meisten Anwendungsfällen der Einsatz einer der Messaufgabe angepasste Gasaufbereitung notwendig.

Strömendes Vergleichsgas verhindert, dass der Mikroströmungsfühler beschädigt wird und erhält die Messfähigkeit des Moduls.





Technische Daten

Die Technischen Daten sind angelehnt an die Definitionen der DIN EN 61207-1.

Wenn nicht anders angegeben, beziehen sich die unten aufgeführten Daten auf folgende Messbedingungen:

Umgebungstemperatur	25 °C
Umgebungsdruck	Atmosphärisch (ca. 1 000 hPa)
Messgasdurchfluss	0,6 l/min (bzw. NI/min)
Vergleichsgas	Stickstoff
Aufbauort	Vibrations- und erschütterungsfrei

Allgemeines	
Gewicht	Ca. 5,5 kg (Standardvariante)
Messbereiche	
Anzahl der Messbereiche	Max. 4; frei parametrierbar
In den Messbereichen parametrierbare	
• kleinstmögliche Messspannen	0,5 %, 1 %, 2 % oder 5 % O ₂
• größtmögliche Messspanne	100 % O ₂
Gaseingangsbedingungen	
Messgasdruck	
• verschlauchte Standardgeräte	500 ... 1 500 hPa (abs.)
• verschlauchte Standardgeräte mit ext. VG-Pumpe	Umgebungsdruck ± 50 hPa
• verrohrte Standardgeräte	500 ... 3 000 hPa (abs.); kurzzeitig < 5 000 hPa (abs.)
• Feldmodul	
- bei nicht brennbaren Gasen	500 ... 2 500 hPa (abs.)
- bei brennbaren Gasen bis gelegentlich zündfähigen Gasgemischen	800 ... 1 100 hPa (abs.)
Vergleichsgasdruck	
• Hochdruckanschluss	2 000 hPa über Messgasdruck (innerhalb des zul. Vergleichsgas-Druckbereichs 2500 ... 5000 hPa, abs.)
• Niederdruckanschluss mit externer Vergleichgaspumpe	100 hPa über Messgasdruck
Druckverlust zwischen Messgasein- und Messgasausgang	< 100 hPa bei 1 l/min
Messgasdurchfluss	18 ... 60 l/h (0,3 ... 1 l/min)
Messgastemperatur	0 ... 60 °C
Messgasfeuchtigkeit (rel. Feuchte)	< 90 % (Betauung im Gasweg ist zu vermeiden)
Temperatur Messkammer	
Standardvariante	Ca. 72 °C
Zeitverhalten	
Anwärmzeit bei Raumtemperatur	< 2 h
Ansprechverhalten	
• Anzeigeverzögerung T ₉₀ bei einer elektronischen Dämpfungseinstellung von 0 s und einem Messgasdurchfluss von 1 NI/min	≤ 1,9 s; ≤ 2,4 s (Feldmodul inkl. Flammensperre)
• Totzeit T ₁₀	≤ 1,1 s; < 1,6 s (Feldmodul)



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

Messverhalten

Ausgangssignalschwankung bei statischer Dämpfungskonstante von 0 s und dynamischer Rauschunterdrückung von 5 %/10 s

$\leq \pm 0,5$ % der kleinsten Messspanne (Rauschbandbreite entspricht 1 % = 6σ -Wert bzw. 0,333 % = 2σ -Wert), bei aktivierter Erschütterungskompensation: < 1,5-facher Wert

Nachweisgrenze

≤ 1 % der kleinsten Messspanne lt. Modulschild (bei aktivierter Erschütterungskompensation: < 1,5-facher Wert)

Messwertdrift	
• im Nullpunkt	$\leq \pm 0,5$ % der kleinsten Messspanne/Monat bzw. $\leq \pm 50$ vpm O_2 /Monat; es gilt der jeweils größere Wert
• bei Ausschlagsgas	$\leq \pm 0,5$ % der aktuellen Messspanne/Monat bzw. $\leq \pm 50$ vpm O_2 /Monat; es gilt der jeweils größere Wert
Wiederholpräzision	
• im Nullpunkt	$\leq \pm 0,5$ % der kleinsten Messspanne bzw. $\leq \pm 50$ vpm O_2 ; es gilt der jeweils größere Wert
• bei Ausschlagsgas	$\leq \pm 0,5$ % der aktuellen Messspanne bzw. $\leq \pm 50$ vpm O_2 ; es gilt der jeweils größere Wert
Linearitätsabweichung bei trockener Umgebungsluft ¹⁾	< 0,1 %
Einflussgrößen	
Umgebungstemperatur	
• Abweichung im Nullpunkt	$\leq 0,5$ % der kleinsten Messspanne/10 K bzw. ≤ 50 vpm O_2 /10 K; es gilt der jeweils größere Wert
• Abweichung bei Ausschlagsgas	$\leq 0,5$ % der aktuellen Messspanne/10 K bzw. ≤ 50 vpm O_2 /10 K; es gilt der jeweils größere Wert
Messgasdruck	
• Abweichung im Nullpunkt	$\leq 0,2$ % der kleinsten Messspanne/1 % Druckänderung bzw. ≤ 50 vpm O_2 /1 % Druckänderung; es gilt der jeweils größere Wert
• Abweichung bei Ausschlagsgas	$\leq 0,2$ % der aktuellen Messspanne/1 % Druckänderung bzw. ≤ 50 vpm O_2 /1 % Druckänderung; es gilt der jeweils größere Wert
Messgasdurchfluss	
• Abweichung im Nullpunkt	≤ 1 % der kleinsten Messspanne je 0,1 l/min Durchflussänderung bzw. ≤ 50 vpm O_2 je 0,1 l/min Durchflussänderung innerhalb des zulässigen Durchflussbereichs (0,3 ... 1 l/min); es gilt der jeweils größere Wert
• Abweichung bei Ausschlagsgas	≤ 1 % der aktuellen Messspanne je 0,1 l/min Durchflussänderung bzw. ≤ 50 vpm O_2 je 0,1 l/min Durchflussänderung innerhalb des zulässigen Durchflussbereichs (0,3 ... 1 l/min); es gilt der jeweils größere Wert
Begleitgase	Nullpunktabweichung (Querempfindlichkeit) entsprechend nach Tabelle A.1 aus EN 61207-3
Versorgungsspannung	$\leq 0,1$ % der aktuellen Messspanne (innerhalb des Nenngebrauchsbereichs)
Elektrische Ein- und Ausgänge	
Analog- und Digitalschnittstellen	Siehe Grundgerät
Gasanschlüsse	
Anschlussstutzen	Rohrstutzen mit Außendurchmesser 6 mm
Klimatische Bedingungen	
Lager und Transport	-30 ... 70 °C
Zulässige Umgebungstemperatur ²⁾	0 ... 50 °C
Relative Luftfeuchtigkeit (RH) bei Lagerung, Transport oder Betrieb	< 90 % (Bettauung an den eingebauten Komponenten ist zu vermeiden)

¹⁾ Unbehandelte Umgebungsluft enthält weniger als 20,95 % O_2



Paramagnetischer Analysator im Wandgehäuse

- zur kontinuierlicher Messung von O₂ in Hintergrundgasen
- Wandgehäuse IP65
- 3 anwenderkonfigurierbare Messbereiche:
 - 0 – 95 / 96 / 98 – 100 Vol.% O₂
 - Niedrigste Nachweisgrenze: 500ppm
 - 4–20 mA und 0–1 VDC für Messwert- und Bereichskennung
- integrierte Durchflusskammer
- beheizte Messkammer
- Umgebungsdruckkompensation
- automatische Messbereichsumschaltung
- 2 programmierbare Alarmrelais und Systemfehleralarm
- Messzelle Typ: paramagnetische Hantelzelle
- Messgasanschlüsse: 1 / 4" oder 6mm
- Profibus, DP oder RS232 Schnittstelle
- Optionen: Autokalibrierung, Messbereichserkennung usw.



TELEDYNE ANALYTICAL INSTRUMENTS

A Teledyne Technologies Company

16830 Chestnut Street

City of Industry, California 91748, USA



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

7.3.4.2 Messung des Sauerstoffionengradientes

Das Gasanalysengerät OXYMAT 64 von Siemens wird zur Spurenmessung von Sauerstoff eingesetzt.



7.3.4.2.1 Anwendungsbereich

Herstellung technischer Gase

- Messungen in N₂ und CO₂

Schweißen

- Messungen in Schutzgasen beim Schweißen von hoch legierten Stählen, Titan u. a.

Anlagen für die Luftzerlegung

- Messungen in N₂ und in Edelgasen (z. B. Ne, Ar)

Messungen in CO₂

Lebensmittelherstellung

- Messung in CO₂ (z. B. Brauereien)

Elektronik-Industrie

- Ausführung, Niederdruck mit Pumpe

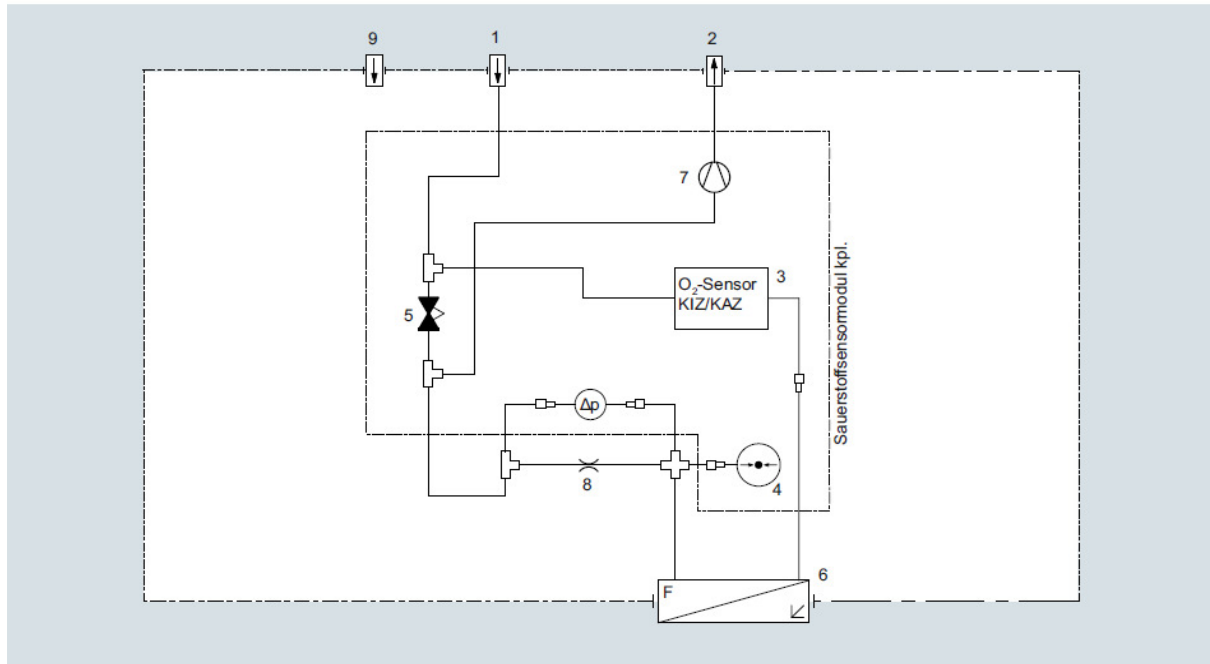
Schweißlötanlagen



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysemesstechnik	18.02.2025

Legende zu dem Gaslauf-Bild

1	Messgaseingang	6	Durchfluss-Messrohr
2	Messgasausgang; Messgas strömt staudruckfrei ab	7	Messgaspumpe
3	O ₂ -Sensor	8	Drossel
4	Drucksensor	9	Spülgasanschluss
5	Nadelventil		



Niederdruckvariante mit eingebauter Messgaspumpe

Die Gerätevariante "OXYMAT 64 Niederdruck mit Pumpe" ist mit einer Messgaspumpe ausgestattet, die automatisch für einen konstanten Messgasdurchfluss von 125 ml/min durch den Sensor sorgt. Durch einen internen Bypass erhöht sich der Gesamtdurchfluss des Messgases durch das Gerät auf ca. 0,4 l/min. Durch diese Maßnahme wird die Ansprechzeit des Gerätes erheblich verbessert.

7.3.4.2.2 Funktionsprinzip

Die Messzelle besteht aus einer zylinderförmig (röhrenförmig) angeordneten ZrO₂-Membran. Das Messgas (niedriger O₂-Gehalt) durchströmt mit konstantem Durchfluss dabei das Innere der auf 650 °C geregelten Membran. Die Außenseite dieses Sensors ist der Umgebungsluft (ca. 21 % O₂) ausgesetzt.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

Beide Seiten der ZrO_2 -Membran sind mit dünnen Platinfilmern beschichtet, die als Elektroden dienen. Dadurch wird eine feste, elektrochemische Zelle gebildet. Abhängig von der Sauerstoffkonzentration an den Elektroden wird eine äquivalente Menge an Sauerstoffatomen ionisiert.

Durch die Konzentrationsunterschiede auf beiden Seiten herrscht ein unterschiedlicher Partialdruck. Da ZrO_2 bei 650°C ionenleitend ist, entsteht eine Ionenwanderung in Richtung des niedrigeren Partialdrucks.

Es stellt sich ein Sauerstoffionengradient über die Dicke der ZrO_2 -Membran ein, der entsprechend Gleichung (1) zu einer elektrischen Potenzialdifferenz zwischen den beiden Platin-Elektroden führt.

Das Einbringen von Kristallgitter-Fehlstellen durch Dotierung des ZrO_2 -Materials mit Y_2O_3 und/oder CaO – ursprünglich zur Verminderung der Rissbildung im Keramikmaterial – erhöht dabei die Diffusionsfähigkeit der O_2 -Ionen im ZrO_2 -Gitter.



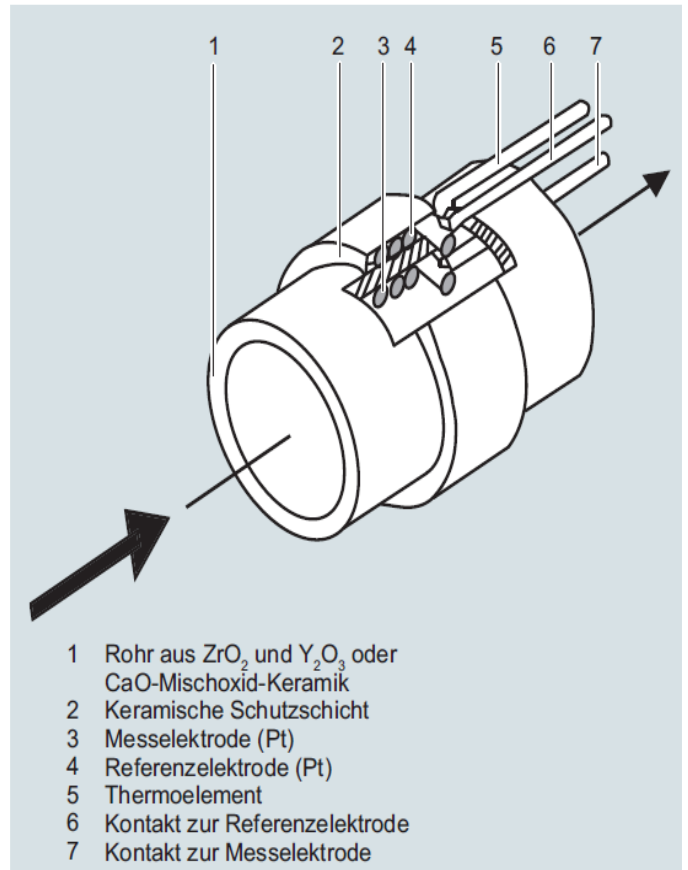
Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

Katalytisch aktiver ZrO₂-Sensor (KAZ)

Das Elektrodenmaterial besteht aus Platin (Pt). Dieser Sensortyp weist daher eine große Querempfindlichkeit in Anwesenheit von brennbaren Begleitgaskomponenten auf.

Katalytisch inaktiver ZrO₂-Sensor (KIZ)

Der katalytisch inaktive Sensor weist den gleichen prinzipiellen Aufbau wie der KAZ auf. Kontakte und Elektrodenoberfläche im Rohrinneen bestehen jedoch aus speziell entwickeltem Material, das eine katalytische Oxidation außer H₂, CO und CH₄ weitgehend verhindert.





Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

Technische Daten

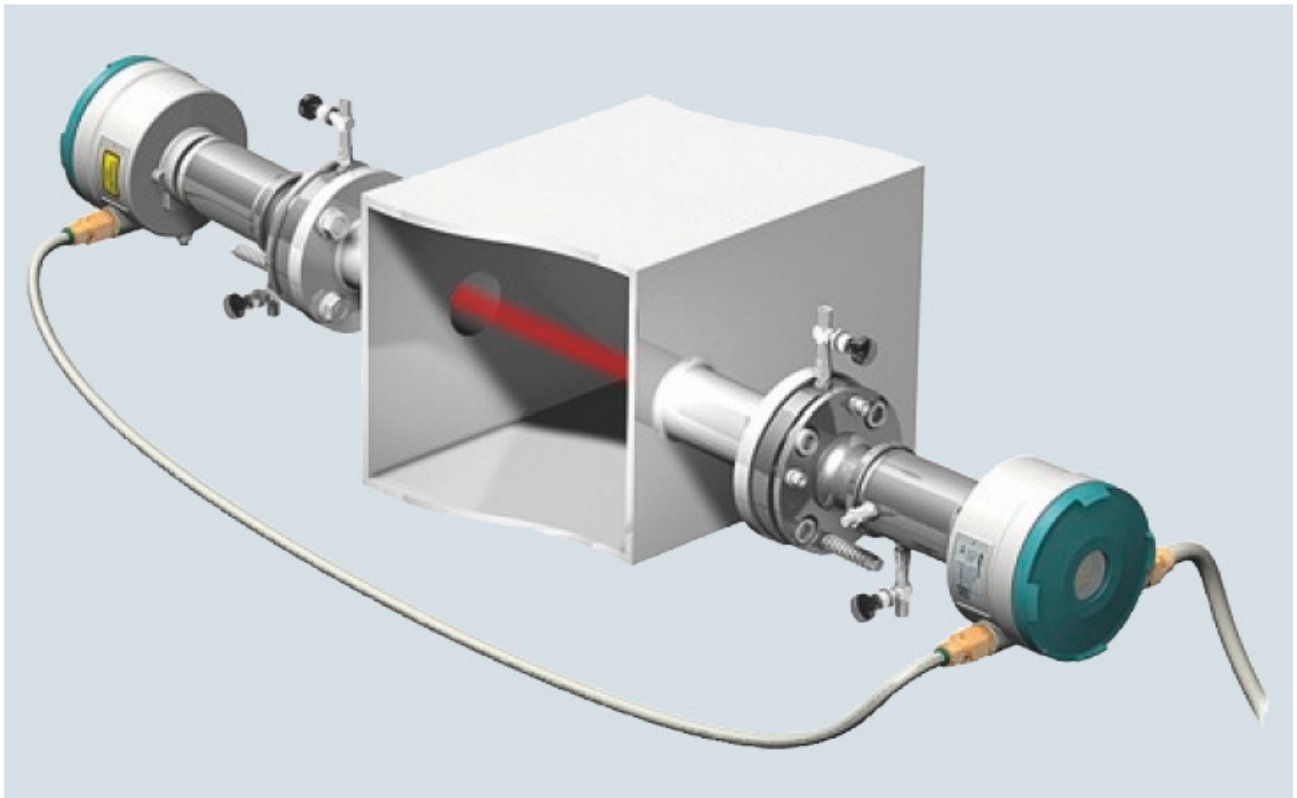
Allgemeines		Messverhalten	
Messbereiche	4, intern und extern umschaltbar; auch autom. Messbereichumschaltung ist möglich	Ausgangssignalschwankung	Bezogen auf Messgasdruck 1 013 hPa absolut, 7,5 l/min Messgasdurchfluss und 25 °C Umgebungstemperatur < 1 % des kleinstmöglichen Messbereichs laut Typschild bei elektronischer Dämpfungskonstante von 1 s
Kleinstmögliche Messspanne (bezogen auf Messgasdruck 1 000 hPa absolut, 0,5 l/min Messgasdurchfluss und 25 °C Umgebungstemperatur)	0 ... 10 vpm O ₂	Nullpunktdrift	< ± 1 % der aktuellen Messspanne/Monat
Größtmögliche Messspanne	0 ... 100 %	Messwertdrift	< ± 1 % der aktuellen Messspanne/Monat
Gebrauchslage	Frontwand senkrecht	Wiederholpräzision	< 3 % der aktuellen Messspanne
Konformität	CE-Kennzeichen nach EN 50081-1, EN 50082-2 und RoHS	Nachweisgrenze	1 % vom aktuellen Messbereich, < 0,1 vpm im Messbereich 0 ... 10 vpm
Aufbau, Gehäuse		Linearitätsabweichung	< 2 % der aktuellen Messspanne
Schutzart	IP20 gemäß EN 60529	Einflussgrößen	
Gewicht	Ca. 11 kg	Umgebungstemperatur	Bezogen auf Messgasdruck 1 013 hPa absolut, 7,5 l/min Messgasdurchfluss und 25 °C Umgebungstemperatur < 2 %/10 K bezogen auf die aktuelle Messspanne
Elektrische Merkmale		Messgasdruck nur möglich, wenn das Messgas in die Umgebungsluft abströmen kann	- Bei abgeschalteter Druckkompensation: < 1 % der aktuellen Messspanne / 1 % Druckänderung - Bei eingeschalteter Druckkompensation: < 0,2 % der aktuellen Messspanne / 1 % Druckänderung
EMV-Störfestigkeit (Elektromagnetische Verträglichkeit)	Gemäß Standardanforderungen der NAMUR NE21 (08/98) und EN 61326	Begleitgase, Nullpunktabweichung	Es dürfen nur Gase mit nicht brennbaren Begleitgaskomponenten eingeleitet werden
Elektrische Sicherheit	Gemäß EN 61010-1, Überspannungskategorie II	- Katalytisch aktiver Sensor (KAZ) - Katalytisch inaktiver Sensor (KIZ)	Begleitgaskonzentration von 10 vpm H ₂ ; CO und CH ₄ weisen einen geringeren Quereinfluss auf; höhere KW's sind vernachlässigbar
Hilfsenergie	AC 100 ... 120 V (Nenngebrauchsbereich 90 ... 132 V), 48 ... 63 Hz oder AC 200 ... 240 V (Nenngebrauchsbereich 180 ... 264 V), 48 ... 63 Hz	Messgasdurchfluss	< 2 % der kleinstmöglichen Messspanne bei einer Durchflussänderung von 10 ml/min
Leistungsaufnahme	Ca. 37 VA	Hilfsenergie	< 0,1 % des aktuellen Messbereichs bei Nennspannung ± 10 %
Sicherungswerte	100 ... 120 V: 1,0T/250 200 ... 240 V: 0,63T/250	Elektrische Ein- und Ausgänge	
Gaseingangsbedingungen		Analogausgang	0/2/4 ... 20 mA, 4 ... 20 mA (NAMUR), potenzialfrei; Bürde max. 750 Ω
Messgasdurchfluss		Relaisausgänge	6, mit Wechselkontakten, frei parametrierbar, z. B. für Messbereichskennung; Belastbarkeit: AC/DC 24 V/1 A, potenzialfrei
- durch den Sensor - Gesamtverbrauch	7,5 l/h 15 ... 30 l/h	Analogeingänge	2, ausgelegt auf 0/2/4 ... 20 mA für Druckaufnehmer extern und Begleitgaseinflusskorrektur (Quergaskorrektur)
Erlaubter Messgasdruck		Digitaleingänge	6, ausgelegt auf 24 V, potenzialfrei, frei parametrierbar, z. B. für Messbereichumschaltung
- ohne internen Druckregler - mit internem Druckregler	2 000 hPa (abs.) 2 000 ... 6 000 hPa (abs.)	Serielle Schnittstelle	RS 485
Messgastemperatur	Min. 0 ... max. 50 °C, jedoch oberhalb des Taupunkts	Optionen	AUTOCAL-Funktion mit je 8 zusätzlichen Digitaleingängen und Relaisausgängen, auch mit PROFIBUS PA oder PROFIBUS DP
Messgasfeuchtigkeit	< 1 % relative Feuchtigkeit		
Zeitverhalten			
Anwärmzeit	Bei Raumtemperatur < 30 min (die technische Spezifikation wird nach 2 Stunden eingehalten)		
Dämpfung (elektrische Zeitkonstante)	0 ... 100 s, parametrierbar		
Totzeit (Hochdruckvariante) (Ausspülzeit des Gasweges im Gerät bei 125 ml/min)	10 ... 30 s		
Totzeit (Niederdruckvariante ohne Pumpe)	< 5 s		
Totzeit (Niederdruckvariante mit Pumpe)	< 10 s		
Zeit für geräteinterne Signalverarbeitung	< 1 s		
Druckkorrekturbereich			
Druckaufnehmer intern	800 ... 1 100 hPa (abs.)		

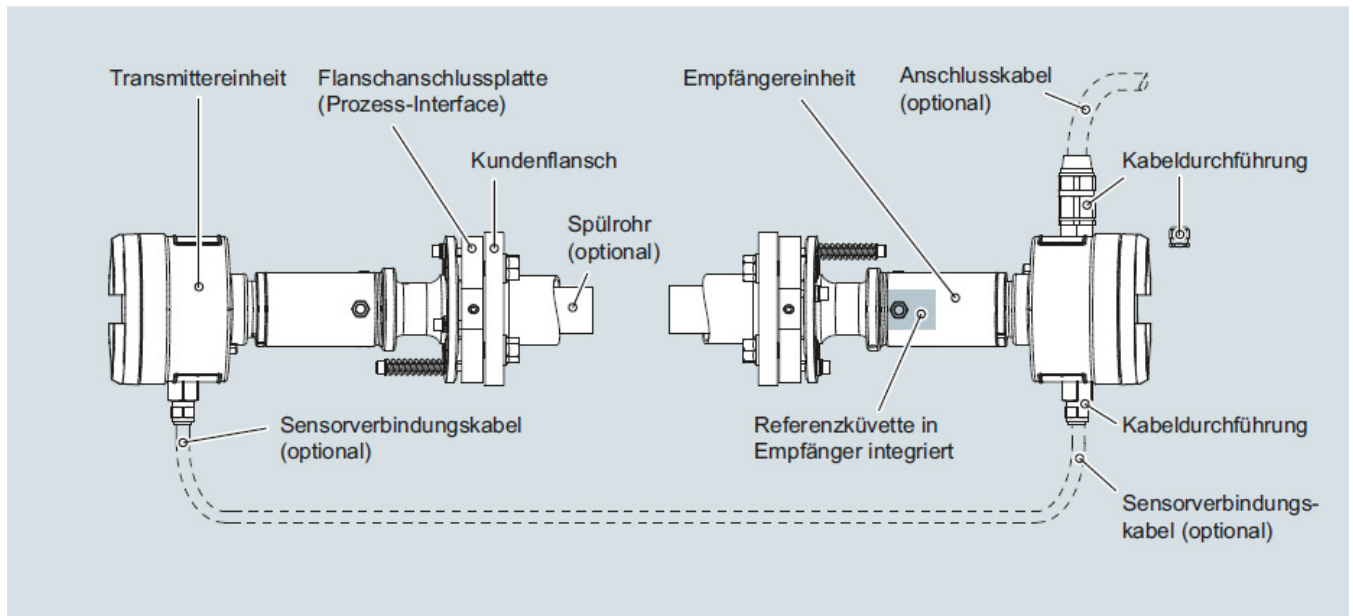


Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

7.3.4.3 *In-situ O₂-Gasanalysator, kontinuierliche Prozess-Gasanalytik*

Bei dem SITRANS SL der Fa. Siemens handelt es sich um ein Diodenlaser-Gasanalysengerät, das nach dem Messprinzip der spezifischen Lichtabsorption verschiedener Gaskomponenten arbeitet. Der SITRANS SL eignet sich hervorragend für die schnelle berührungslose Messung von Gaskonzentrationen in Prozess- oder Rauchgasen. Für jede Messstelle kommt ein Analysengerät zum Einsatz, bestehend aus Transmitter- und Empfängereinheit (Sensoren). Die Hardware zur Weiterverarbeitung des Messsignals zu einem Konzentrationswert sowie die Überwachung, Steuerung und Kommunikation ist in diesen beiden Hauptmodulen integriert. Die Sensoren sind für den Betrieb unter rauen Umgebungsbedingungen ausgelegt.





Aufbau des SITRANS SL-Systems in Nicht-Ex-Ausführung

7.3.4.3.1 Anwendungen

- Steuerung von Verbrennungsprozessen
- Prozessoptimierung
- Anlagensicherheit und Sicherheit am Arbeitsplatz
- Prozessmessungen in Energieanlagen und Verbrennungsanlagen aller Art
- Prozesssteuerung
- Explosionsschutz
- Messungen in korrosiven und toxischen Gasen
- Qualitätskontrolle

Branchen

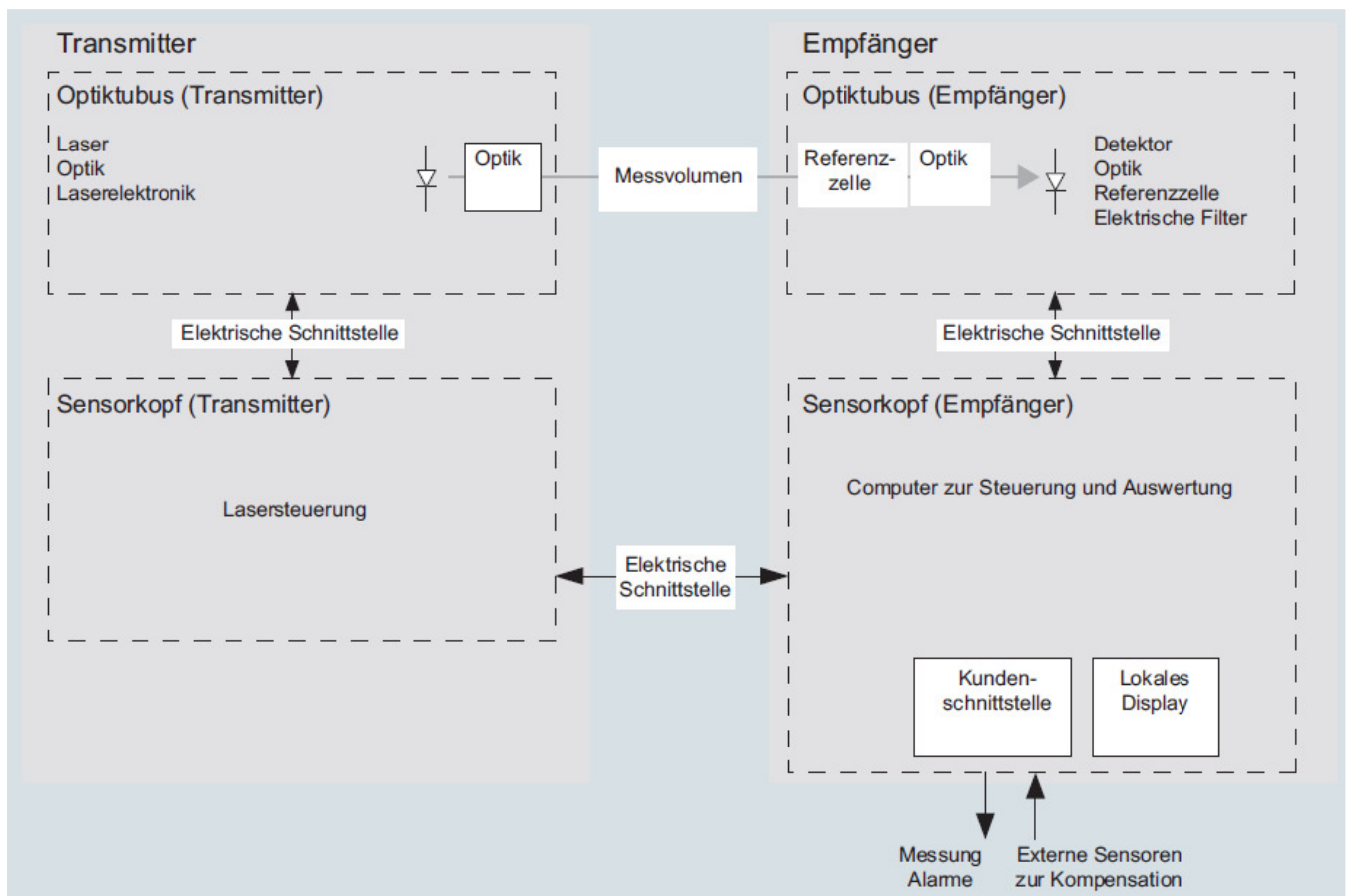
- Chemische und petrochemische Anlagen
- Kraftwerke
- Müllverbrennungsanlagen
- Stahlindustrie



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysemesstechnik	18.02.2025

7.3.4.3.2 Funktionsprinzip

SITRANS SL ist ein Gasanalysengerät, das nach dem Prinzip der hochauflösenden MolekülabSORPTIONSSPEKTROSKOPIE arbeitet. Hierbei erzeugt ein Diodenlaser Laserlicht im Infrarotbereich, das durch das Prozessgas geführt und von einer Empfängereinheit empfangen wird. Die Wellenlänge des Laserlichts ist auf eine spezifische Absorptionslinie des zu messenden Gases abgestimmt. Der Laser tastet diese einzelne Absorptionslinie mit sehr hoher spektraler Auflösung kontinuierlich ab. Für die Auswertung werden die Absorptionsstärke und Linienform herangezogen.

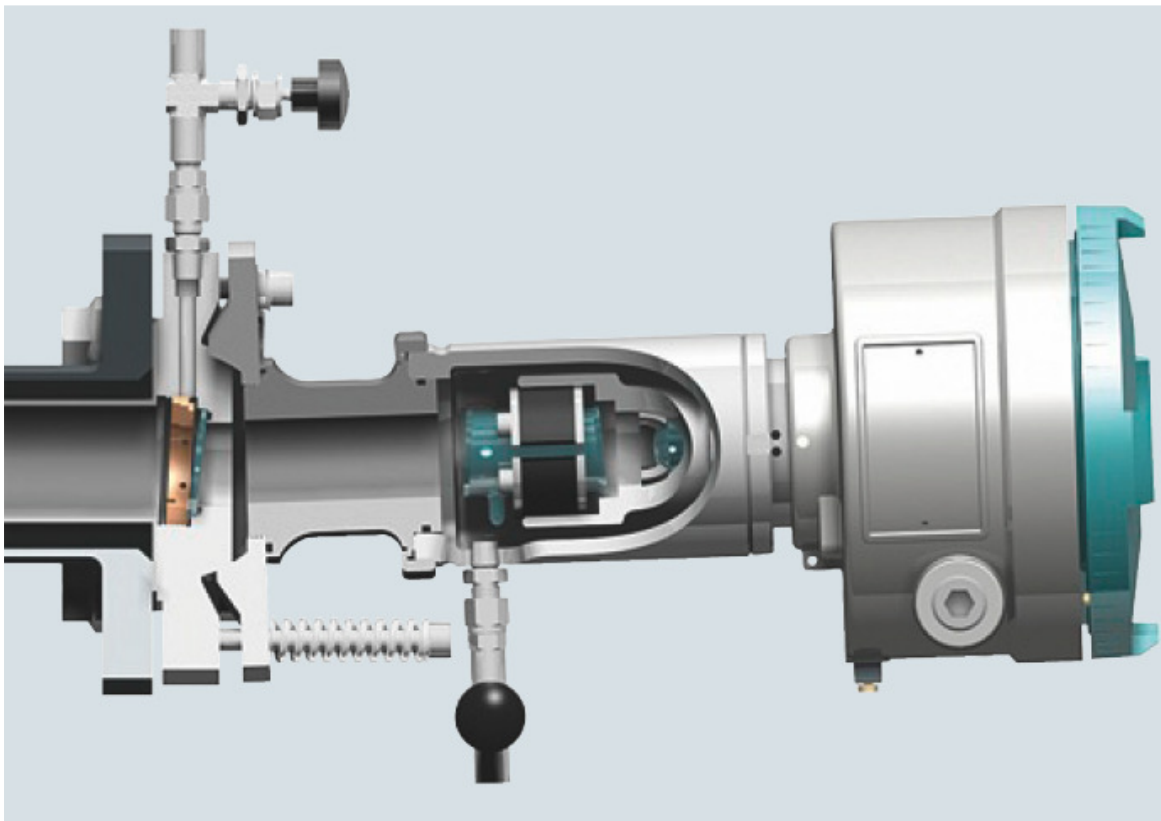




Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

7.3.4.3.3 Aufbau

Das Gasanalysegerät SITRANS SL besteht aus einem Durchlichtsensorpaar, einer Transmitter- und einer Empfängereinheit, beide mit identischen mechanischen Abmessungen. Das gesamte Analysegerät ist in diesen beiden Gehäusen integriert. Die Sendeeinheit enthält die Laserquelle, deren Licht durch den Messweg an den Empfänger übertragen wird. Die Empfängereinheit enthält einen Fotodetektor inklusive Detektorelektronik sowie eine Referenzzelle. Die Empfängereinheit ist über ein Sensorverbindungskabel mit der Transmittereinheit verbunden. Ein weiteres Anschlusskabel am Empfänger dient dem Anschluss der Stromversorgung und Kommunikationsschnittstellen. Das Empfängergehäuse enthält eine Local User Interface (LUI) mit einer LCD-Anzeige, die durch ein Fenster im Gehäusedeckel ablesbar ist. Die lokale Benutzeroberfläche wird per Fernsteuerung bedient.



SITRANS SL, Empfängereinheit



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysemesstechnik	18.02.2025

7.3.4.3.4 Einflüsse auf die Messung

Staubbeladung

Solange der Laserstrahl ein geeignetes Detektorsignal erzeugen kann, hat die Staubbeladung im Prozessgas keinen Einfluss auf das Ergebnis der Analyse. Durch Anwendung einer dynamischen Hintergrund-Kompensation können die Messungen ohne negative Auswirkungen durchgeführt werden. Unter optimalen Bedingungen kann SITRANS SL Staubbeladungen bis zu 20 g/Nm^3 bis zu einer Messweglänge von 8 m handhaben. Der Einfluss einer hohen Staubbeladung ist sehr komplex und richtet sich nach der optischen Weglänge und Partikelgröße. Bei größeren Weglängen erhöht sich die optische Dämpfung exponentiell. Kleinere Partikel haben ebenfalls einen sehr starken Einfluss auf die optische Dämpfung. Bei hoher Staubbeladung, großer Weglänge und kleinen Teilchen sollte der technische Support von Siemens konsultiert werden.

Temperatur

Der Einfluss der Temperatur auf die Absorptionslinie wird durch eine Korrekturdatei kompensiert. Von einem externen Temperatursensor kann ein Temperatursignal an das Gerät übertragen werden. Dieses Signal wird dazu verwendet, den Einfluss der Temperatur auf die Konzentration rechnerisch zu korrigieren. Bei gleichbleibender Prozessgastemperatur kann alternativ eine statische Korrektur vorgenommen werden. Ohne Temperaturkompensation wirkt sich der durch Änderungen der Gastemperatur verursachte relative Fehler erheblich auf die Messung aus (z. B. bei der O₂-Applikation mit bis zu 0,24 %/K). Daher wird in den meisten Fällen ein externes Temperatursignal empfohlen.

Druck

Zusätzlich zum Temperatursignal kann ein externes Drucksignal an das Gerät übertragen werden, um den Einfluss des Drucks einschließlich des Dichteeffektes vollständig rechnerisch auszugleichen. Ohne Kompensation beträgt der durch Prozessgas-Druckänderungen verursachte relative Messfehler ca. 0,1 %/hPa. Daher wird in den meisten Fällen ein externes Drucksignal empfohlen.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

Effektive optische Weglänge

Nach dem Lambert-Beerschen Gesetz ist die Absorption des Laserlichtes abhängig von der effektiven optischen Weglänge im Messgas. Daher kann sich die Präzision der Bestimmung dieser effektiven optischen Weglänge auf die Präzision der Messung insgesamt auswirken.

Da die prozessseitigen Sensoroptiken normalerweise gespült werden müssen, um sie längerfristig sauber zu halten, müssen die Ausdehnung der Mischzone zwischen dem Spülmedium und dem Prozessgas und deren Konzentrationsverteilung berücksichtigt werden. In einer typischen In-situ-Installation mit einer optischen Weglänge von einigen Metern Länge kann der Einfluss des Spülgases auf die effektive Weglänge außer Acht gelassen werden.

Die maximal mögliche Weglänge und Staubbeladung beeinflussen sich gegenseitig: Je höher die Staubbeladung im Prozess ist, um so kürzer ist die maximal mögliche Weglänge.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

7.3.5 Analyse von Korrosiven Gasgemischen

Das Gasanalysengerät CALOMAT 62 von Siemens wird in erster Linie zur quantitativen Bestimmung einer Gaskomponente (z. B. H₂, N₂, Cl₂, HCl, NH₃) in binären oder quasibinären Gasgemischen eingesetzt.

Der CALOMAT 62 ist insbesondere für den Einsatz in korrosiven Gasgemischen konzipiert.



7.3.5.1 Einsatzbereiche

- Chlor-Alkali-Elektrolyse
- Metallurgie (Stahlherstellung und -bearbeitung)
- H₂-Messung im LNG (Liquified Natural Gas)-Prozess
- Ammoniaksynthese
- Kunstdüngerherstellung
- Petrochemie



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

7.3.5.2 Arbeitsweise

Das Messprinzip beruht auf der unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeit von Gasen.

Die Erwärmung eines von Gas umgebenen beheizten Messwiderstands wird von der Wärmeleitfähigkeit des Gases bestimmt. Vier solcher Messwiderstände sind zu einer Brücke geschaltet.

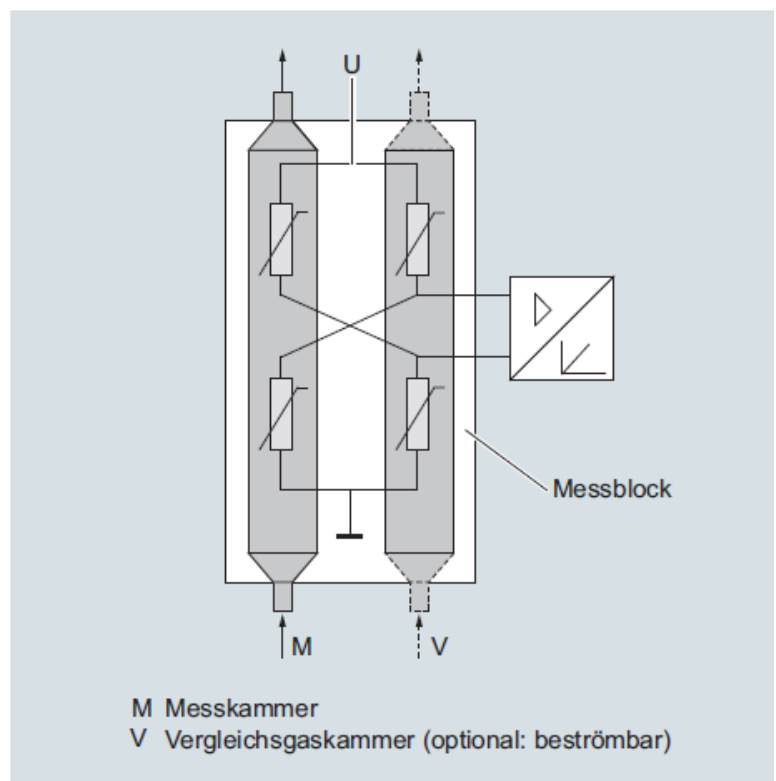
Zwei davon werden mit Messgas umströmt, die beiden anderen sind vom Vergleichsgas umgeben. Eine konstante Gleichspannung erwärmt die Widerstände über die Temperatur des Messblocks.

Bei unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit von Messgas und Vergleichsgas erwärmen sich die Widerstände durch die umgesetzte Heizleistung in ungleichem Maße. Eine Änderung der Zusammensetzung des Messgases bedingt somit auch eine Änderung der Widerstandswerte.

Das elektrische Gleichgewicht der Messbrücke wird gestört, und in der Brückendiagonale entsteht eine Spannung. Diese ist ein Maß für die Konzentration der Messkomponente.

Hinweis

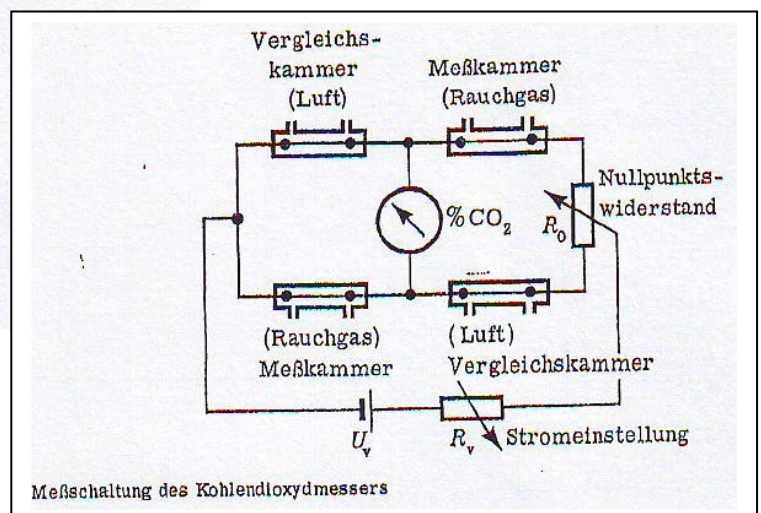
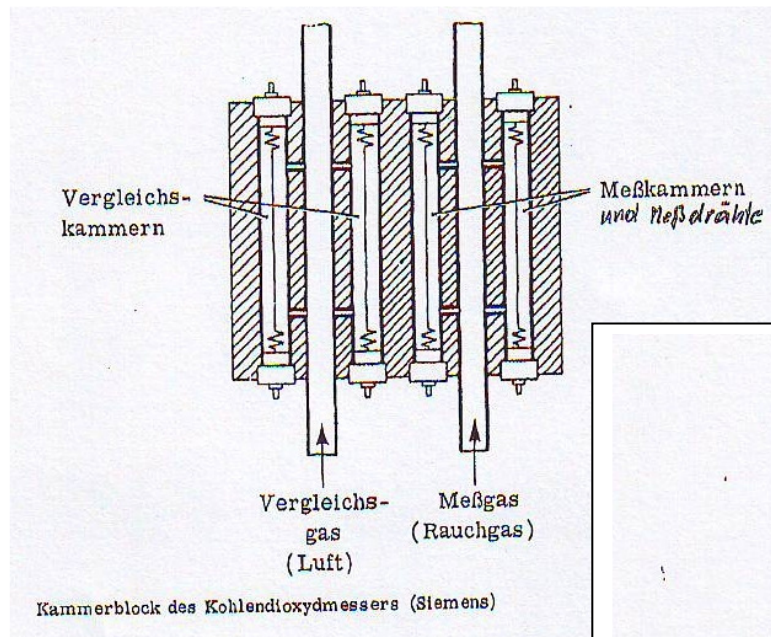
Die Messgase müssen den Analysengeräten öl-, fett- und staubfrei zugeführt werden. Kondensatbildung (Taupunkt Messgas < Umgebungstemperatur) in den Messkammern ist zu vermeiden. Daher ist in den meisten Anwendungsfällen eine den Messaufgaben angepasste Gasaufbereitung bereitzustellen.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

7.3.6 Kohlendioxid-Messgerät

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



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.



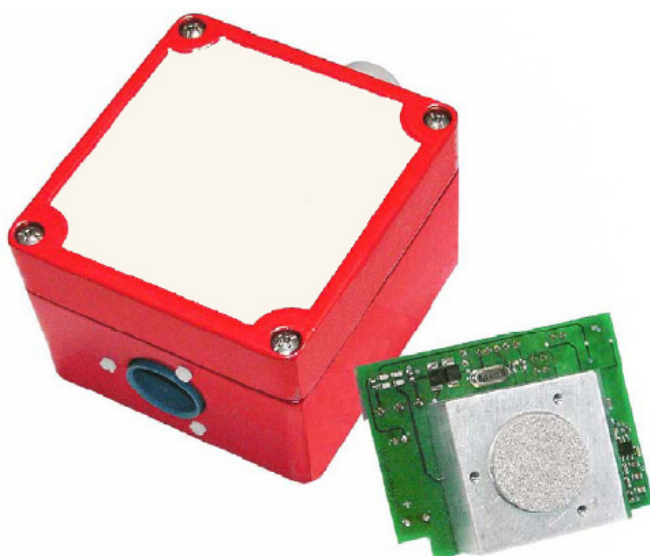
Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

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 CO_2 -Gehalt des Rauchgases ist. Gebräuchliche Kohlendioxidmesser werden für einen Messbereich von 0 bis 20 Vol% ausgeführt. 20 % CO_2 entsprechen einer Temperaturerhöhung um 6 K und einer Zunahme des Widerstandes um etwa $0,2\Omega$. Der erreichbare Fehler liegt unter 0,5 % CO_2 entsprechend einer Temperaturänderung von ungefähr 0,15 K bzw. einer Widerstandsänderung um $5\text{m}\Omega$.

CO_2 Messsystem MF-420IR Industrie der Fa. PCE Instruments

Der Zweistrahl-Infrarotsensor ist auf einem Sensorhalter in einem Aluminiumgehäuse über einer Diffusionsöffnung montiert. Die Kabelein-führung erfolgt gegenüber mittels einer Kabelverschraubung (PG 11).

Das Aluminiumgehäuse enthält zudem den Transmitter mit einem Signalverstärker und einem analogen Ausgang mit 4–20 mA bzw. 0–10 V. Der Transmitter bereitet die Mess-signale auf und überträgt sie.



Transmitter		
Stromversorgung		Schraubklemmen
	Strom	ca. 100 mA
Anschlüsse	Pin 1	0 V
	Pin 2	4-20 mA oder 0-10 V
	Pin 3	24 V DC $\pm$ 5%
Umgebungstemperatur	-10° C bis +50° C	
Luftdruck	900 hPa bis 1100 hPa	
zulässige Feuchte	15-95% relative Feuchte	
Ausgang	4-20 mA	max. Bürde 450 Ω
Gehäuse	Aluminium	rot
Schutzart Gehäuse	IP 40	
Gewicht Gehäuse	ca. 500 g	
Größe Gehäuse	ca. L90 x B85 x H65 mm	
Anschlussleitung	3x1,5² Cu + Funktionserde	abgeschirmtes Kabel
Länge	50 Ω Hin- und Rückleiter	
Sensor		
Gaszutritt	per Diffusion	
Standardmessbereiche	0-3.000 ppm CO₂	d.h. 0-0,3 Vol% CO₂
	0-6.000 ppm CO₂	d.h. 0-0,6 Vol% CO₂
	0-10.000 ppm CO₂	d.h. 0-1 Vol% CO₂
	0-50.000 ppm CO₂	d.h. 0-5 Vol% CO₂
	weitere auf Anfrage	
Aufheizzeit	5 min	
Genauigkeit	$\pm$ 2%	MBE (Messbereichsendwert)
Reproduzierbarkeit	$\pm$ 1%	
Reaktionszeit	ca. 30 s	



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

Kohlendioxid Messgerät IAQ910 / IAQ920 Innenraumluftqualitätsmessgerät für CO2

Die IAQ910 und IAQ920 Kohlendioxid Messgeräte sind Handgeräte zur Messung und Überwachung des Kohlendioxidgehaltes in der Innenraumluft. Die Innenraumluftqualität beeinflusst die Behaglichkeit, Sicherheit und die Gesundheit von Gebäudebewohnern und Arbeitnehmern – und damit auch die Konzentration und Produktivität. HLK-Profis nutzen dieses Gerät für Ermittlungen der Innenraumluftqualität, für die Beurteilung der Wirksamkeit von Lüftungsanlagen in Schulen, Büros, Fabriken oder Krankenhäusern. Das Kohlendioxid Messgerät IAQ920 misst zusätzlich die Temperatur und die Luftfeuchte und das alles mit nur einer Sonde. Mehr als 12.700 mit Messdatum und Uhrzeit versehene Messwerte können in dem Kohlendioxid Messgerät IAQ920 gespeichert werden und auf einen Computer geladen werden. Die Aufrechterhaltung einer angenehmen Umgebung beinhaltet auch Messungen und Korrekturen der Raumtemperatur, Luftfeuchte, Zugerscheinungen sowie der Belüftung. Die Sicherstellung von gesunder und sicherer Umgebung erfordert zunächst das Aufspüren und Kontrollieren unerwünschter Quellen chemischer oder biologischer Verunreinigungen sowie Luftgetragener Partikel. Analysieren Sie die Luftqualität in Ihren Räumen und seien Sie vorbereitet auf die Gesundheitsbedenken von Gebäudebewohnern und Arbeitnehmern. *PCE Instruments.*





Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysemesstechnik	18.02.2025

7.3.7 Flammenionisationsdetektor (FID)

Das Gasanalysengerät FIDAMAT 6 von Siemens ist für die Bestimmung des Gesamtkohlenwasserstoffgehaltes in Luft und hochsiedenden Gasgemischen geeignet.



7.3.7.1 Einsatzbereiche

- Umweltschutz
- Abwasser (in Verbindung mit einer Stripeinrichtung, Nachweis des Kohlenwasserstoffgehalts in Flüssigkeiten)
- AGW-Wert-Überwachung an Arbeitsplätzen
- Qualitätsüberwachung
- Prozessabgasüberwachung
- Reinstgasmessung in Medien wie O₂, CO₂, Edelgasen und kalten Messgasen
- Messung von korrosiven und kondensierenden Gasen
- Prozessoptimierung

Weitere Anwendungen

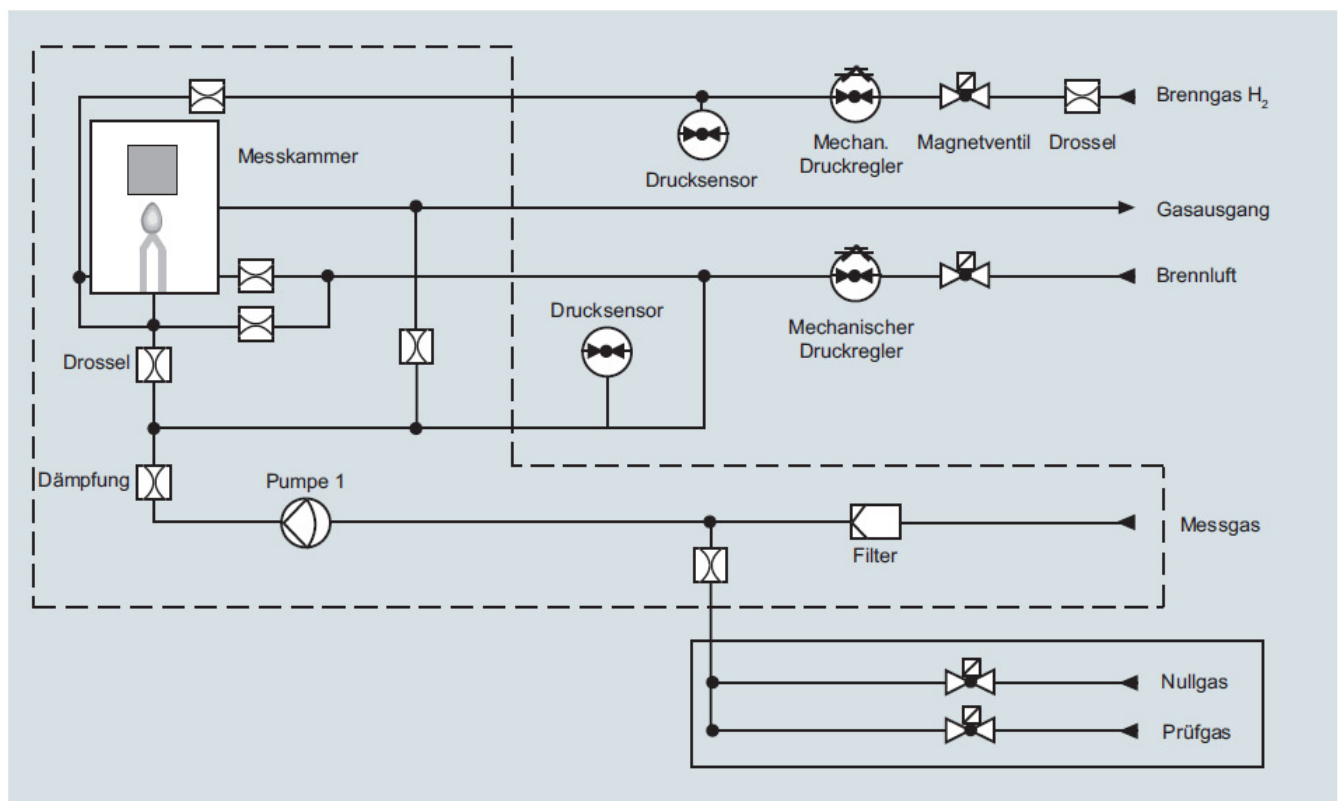
- Chemische Anlagen
- Gashersteller (Reinstgasüberwachung)
- Forschung und Entwicklung
- Zementindustrie (Emissionsmessung)



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysemesstechnik	18.02.2025

- Lackierereien und chemischen Reinigungen
- Raffinerien (Tanklager, Abwasser)
- Trocknungsanlagen
- Lösungsmittelrückgewinnungsanlagen
- Pharmaindustrie
- Automobilindustrie (Motorenentwicklung, Fahrzeugaggregat-Entwicklung und Zertifizierung)

Gaslauf



Gesamtkohlenwasserstoff-Gasanalysegerät FIDAMAT 6, Gaslauf mit Pumpe und mit Anschluss für Brennluft

7.3.7.2 Arbeitsweise

Der FIDAMAT 6 misst stoffklassenspezifisch, nicht komponentenspezifisch. Er misst die Summe aller Kohlenwasserstoffe in einem Messgas, allerdings mit unterschiedlicher Wichtung der Kohlenwasserstoffmoleküle. In erster Näherung ist die Anzeige proportional der Anzahl der C-Atome im jeweiligen Molekül. In der Praxis gibt es jedoch



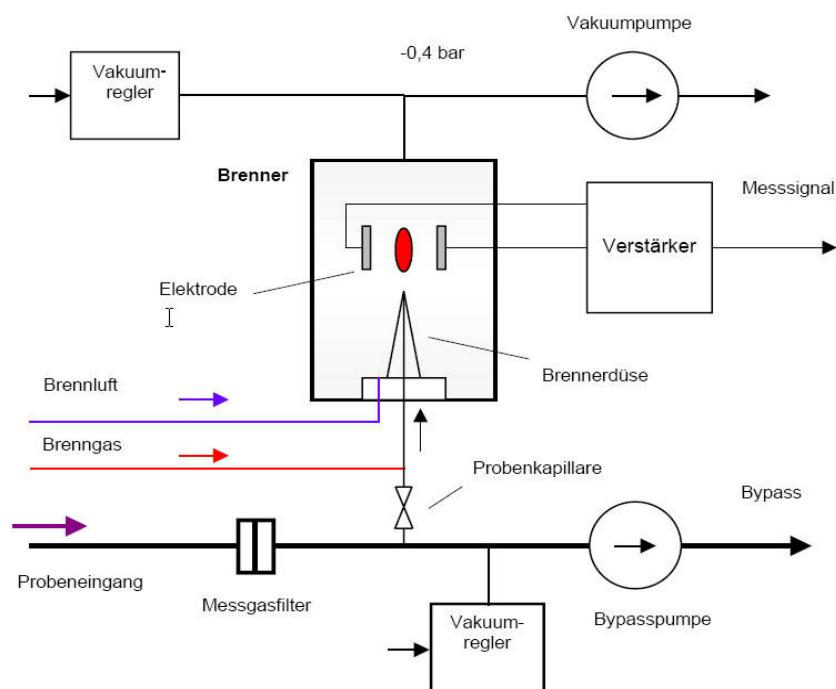
Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

Abweichungen. Die Anzeigeabweichung für das jeweilige Molekül wird durch den Responsfaktor ausgedrückt.

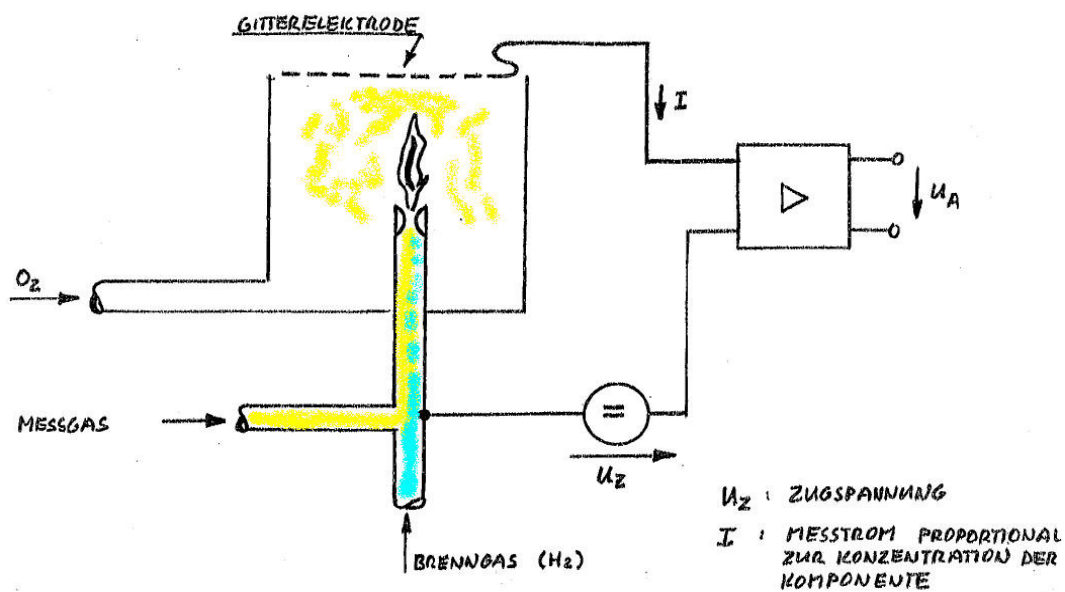
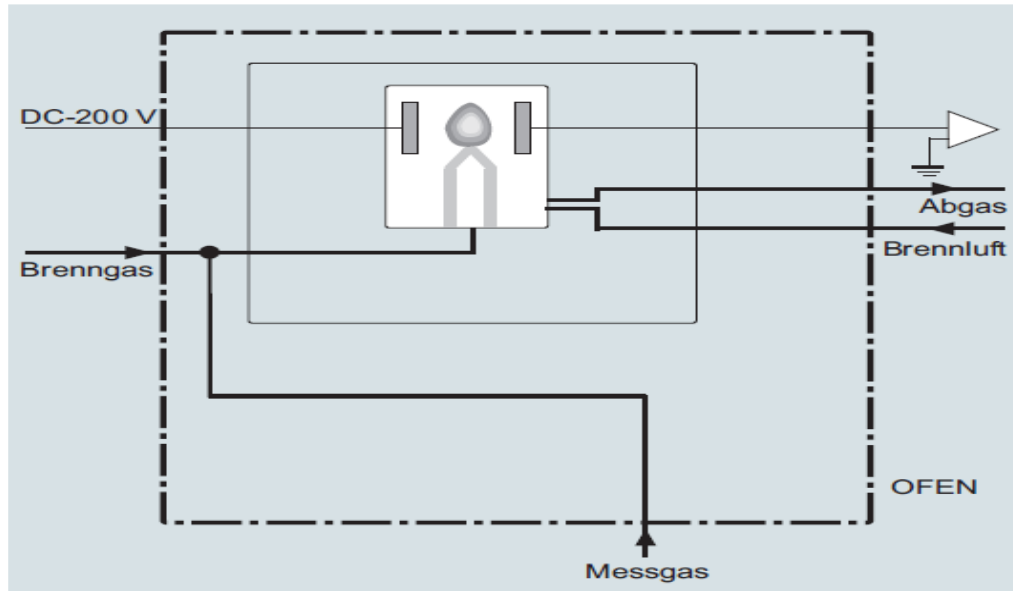
Das Messgas wird dem FIDAMAT 6 unter Überdruck zugeführt oder von der eingebauten Membranpumpe angesaugt (wahlweise über eine beheizte Leitung und ein zusätzliches Filter) und dem Flammenionisationsdetektor über eine verstopfungssichere Fused-Silica-Drossel zugeführt.

Im Detektor werden die im Messgas enthaltenen Kohlenwasserstoffe in einer Knallgasflamme verbrannt. Beim Verbrennen wird der organisch gebundene Kohlenwasserstoffanteil teilweise ionisiert. Die freiwerdenden Ionen werden durch die zwischen zwei Elektroden vorhandene Zugspannung in einen Ionenstrom umgesetzt und mit einem hochempfindlichen Verstärker gemessen. Der gemessene Strom ist der Anzahl der organisch gebundenen C-Atome der Kohlenwasserstoffe im Messgas proportional.

Ein Druckregler hält den Brenngasdruck konstant. Für konstanten Messgasdruck sorgt das aufeinander abgestimmte System aus Pumpe, Kapillaren und Druckregler für Brennluft. Nach Einschalten des Analysators erfolgt nach Erreichen der Sollwerttemperatur die Zündung und bei Ausführungen "mit Pumpe" der Pumpenanlauf automatisch.



Prinzipdarstellung Flammenionisationsdetektor (Vakuum-FID)





Rheinische Hochschule Köln

University of Applied Sciences

Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysemesstechnik	18.02.2025

Technische Daten

Allgemeines		Messverhalten	
Messbereiche	4, intern und extern umschaltbar; manuelle und automatische Messbereichsumschaltung möglich	Ausgangssignalschwankung	Bezogen auf Messgasdruck 1 013 hPa absolut, 0,5 l/min Messgasdurchfluss und 25 °C Umgebungstemperatur < 0,75 % des kleinstmöglichen Messbereichs laut Typschild bei elektronischer Dämpfungskonstante von 1 s (dies entspricht $\pm 0,25$ % bei 2 σ)
Kleinstmögliche Messspanne	0 ... 10 vpm	Nullpunktdrift	< 0,5 %/Monat von der kleinstmöglichen Messspanne laut Typschild
Größtmögliche Messspanne	99,999 vpm ⁻¹	Messwertdrift	< 1 %/Woche des aktuellen Messbereichs
Konzentrationseinheiten	vpm, C ₁ , C ₃ , C ₆ oder mgC/m ³	Wiederholpräzision	< 1 % des aktuellen Messbereichs
Automatische Messbereichsumschaltung	Hysteresis, wählbar	Nachweisgrenze	0,1 vpm (Ausführung für Reinstgasmessung: 50 ppb)
Messwertanzeige	Digitale Konzentrationsanzeige (5 Stellen mit Fließkomma)	Linearitätsabweichung	< 1 % des aktuellen Messbereichs
Auflösung der Digitalanzeige	0,1 % des Messwerts	Einflussgrößen	
Gebrauchslage	Frontwand senkrecht	Bezogen auf Messgasdruck 1 013 hPa absolut, 0,5 l/min Messgasdurchfluss und 25 °C Umgebungstemperatur	
Konformität	CE-Kennzeichen EN 50081-1, EN 50082-2	Umgebungstemperatur	< 1 %/10 K, bezogen auf die kleinstmöglichen Messspanne laut Typschild
Ofentemperatur	Einstellbar 100 ... 200 °C	Umgebungsdruck	< 1 %/50 hPa
Aufbau, Gehäuse		Messgasdruck	< 2 % des aktuellen Messbereichs / 1 % Druckänderung (innerhalb 600 ... 1 100 hPa)
Schutzart	IP20 gemäß EN 60529	Hilfsenergie	< 1 % des aktuellen Messbereichs bei Nennspannung ± 10 %
Gewicht	Ca. 23 kg	Lageeinfluss	< 1 % bei Neigung < 15°
Elektrische Merkmale		Elektrische Ein- und Ausgänge	
Hilfsenergie	AC 100 ... 120 V (Nenngebrauchsreich 90 ... 132 V), 48 ... 63 Hz oder AC 200 ... 240 V (Nenngebrauchsreich 180 ... 264 V), 48 ... 63 Hz	Analogausgang	0/2/4 ... 20 mA, potenzialfrei; Bürde max. 750 Ω
Leistungsaufnahme	• Ca. 150 VA in Betrieb, • Ca. 350 VA in der Anwärmphase	Relaisausgänge	6, mit Wechselkontakten, frei parametrierbar, z. B. für Messbereichskennung; Belastbarkeit: AC/DC 24 V/1 A, potenzialfrei
EMV-Störfestigkeit (Elektromagnetische Verträglichkeit)	Gemäß Standardanforderungen der NAMUR NE21 (08/98)	Analogeingänge	2, ausgelegt auf 0/2/4 bis 20 mA für Druckaufnehmer extern und Begleitgasflusskorrektur (Quergaskorrektur)
Elektrische Sicherheit	Gemäß EN 61010-1, Überspannungskategorie II	Digitaleingänge	6, ausgelegt auf 24 V, potenzialfrei, frei parametrierbar, z. B. für Messbereichsumschaltung
Sicherungswerte	• 100 ... 120 V: 4,0T/250 • 200 ... 240 V: 2,5T/250	Serielle Schnittstelle	RS 485
Gaseingangsbedingungen		Optionen	AUTOCAL-Funktion mit je 8 zusätzlichen Digitaleingängen und Relaisausgängen, auch mit PROFIBUS PA oder PROFIBUS DP
Erlaubter Messgasdruck	< 2 000 hPa abs. 600 ... 1 100 hPa	Klimatische Bedingungen	
• ohne Pumpe		Zul. Umgebungstemperatur	5 ... 45 °C im Betrieb, -30 ... +70 °C bei Lagerung und Transport
• mit eingebauter Pumpe		Zulässige Feuchtigkeit	< 90 % RH (RH: relative Feuchtigkeit.) im Jahresmittel, bei Lagerung und Transport (keine Taupunktunterschreitung)
Messgastemperatur	0 ... 200 °C		
Messgasfeuchtigkeit	< 90 % RH (RH: relative Feuchtigkeit.)		
Zeitverhalten			
Anwärmzeit	Bei Raumtemperatur ca. 2 ... 3 h		
Anzeigeverzögerung (T ₉₀)	2 ... 3 s		
Dämpfung (elektrische Zeitkonstante)	0 ... 100 s, parametrierbar		
Totzeit (Ausspülzeit des Gasweges im Gerät bei 1 l/min)	Mit Filter 2 ... 3 s		
Zeit für geräteinterne Signalverarbeitung	< 1 s		



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysemesstechnik	18.02.2025

7.3.8 Prozess-Gaschromatographie

Die Prozess-Chromatographie ist eine der leistungsfähigsten Mess- und Analysenmethode in der Prozessanalysetechnik. Sie ist ein Verfahren, das diskontinuierlich und extraktiv arbeitet. Dieses Verfahren wird häufig zur Online-Betriebsüberwachung eingesetzt, da die Abläufe leicht automatisierbar sind und eine Vielzahl von Komponenten gleichzeitig gemessen werden kann.

GCs identifizieren Anteile von einem Milliardstel Gramm – das entspricht der Konzentration des Wirkstoffs einer Kopfschmerztablette in einem Schwimmbecken mit 25 Metern Länge.



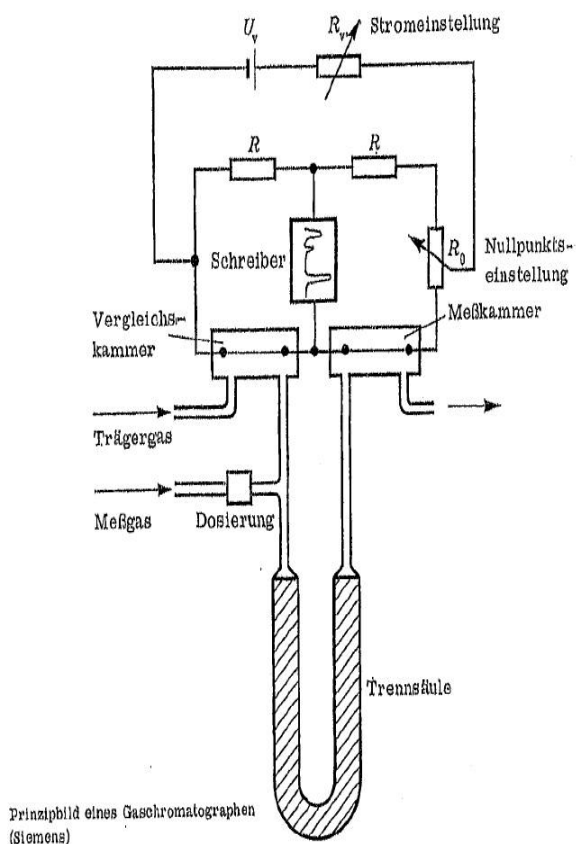
Die Prozess-Gaschromatographie lässt sich zur Trennung und Quantifizierung der Komponenten nahezu aller homogenen gasförmigen oder flüssigen Substanzgemische einsetzen. Die flüssigen Komponenten müssen sich dabei unzersetzt verdampfen lassen. Die einzelnen Komponenten einer punktförmig aufgegebenen Probe durchlaufen das Trennsystem mit unterschiedlicher Geschwindigkeit und werden zeitlich nacheinander an einem Detektor registriert.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025



Gaschromatograph mit Tischaufbaugeschäse



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.

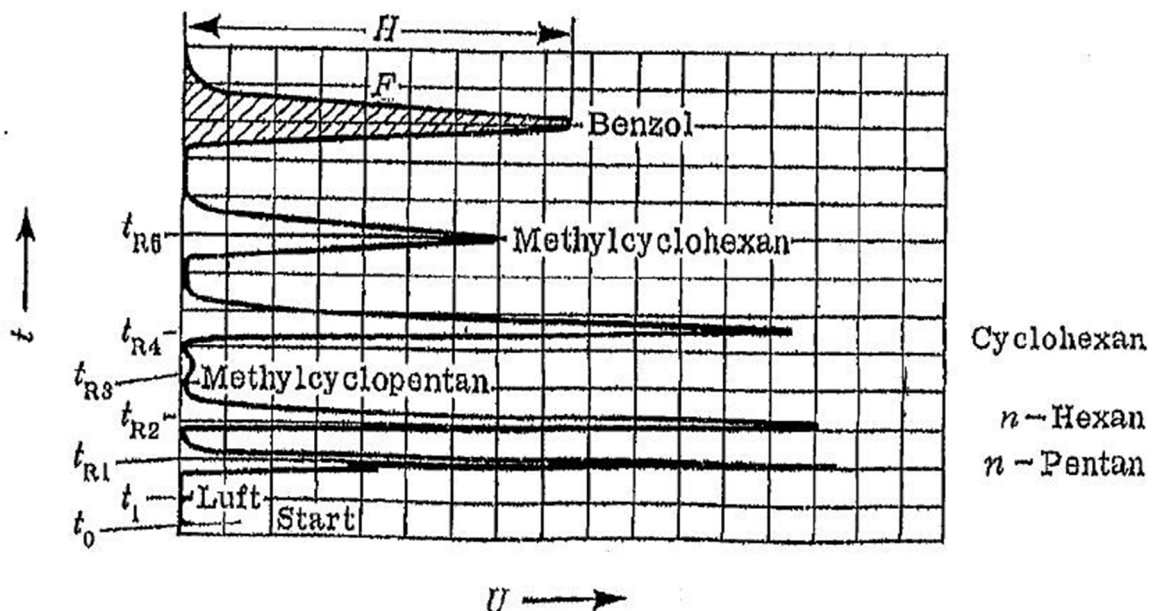
Ein Detektor registriert die Komponenten, welche die Trennsäule bereits durchlaufen haben, indem beispielsweise die unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit eines austretenden Gases als elektrisches Signal umgesetzt und auf eine Anzeige oder einen Schreiber übertragen werden kann.



Das Herzstück, die Trennsäule



Das Herzstück des Gaschromatographen: Die Trennsäule (in der Abbildung sieht man eine mikrogepackte und eine gepackte Trennsäule - von links nach rechts)



Chromatogramm (Beispiel) (Siemens)



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

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.

Die zwischen der Probenaufgabe und der Registrierung einer Substanz am Detektor vergangene Zeit (Retentionszeit) ist abhängig von den Eigenschaften der Substanz und kann auch zur Identifizierung eingesetzt werden. Die Intensität des Detektorsignals ist ein Maß der Volumenkonzentration der Komponente im Gas oder in der Flüssigkeit.

In der Prozesschromatographie werden meist Wärmeleitfähigkeits-Detektoren (WLD) und Flammenionisations-Detektoren (FID) eingesetzt.

Wärmeleitfähigkeitsdetektor (WLD)

Das Messprinzip des WLD nutzt den Unterschied zwischen der Wärmeleitfähigkeit eines reinen Trägergasstroms und der eines Gemisches aus Trägergas und einer von der Säule eluierenden Komponente. Somit können mit einem WLD alle Komponenten detektiert werden, deren Wärmeleitfähigkeit sich von der des reinen Trägergases unterscheidet.

WLDs bestehen immer aus ein bis drei Messzellen und einer oder zwei Referenzzellen, die elektrisch beheizt und in Form einer Wheatstoneschen Brücke geschaltete Drahtwiderstände oder Thermistoren enthalten.

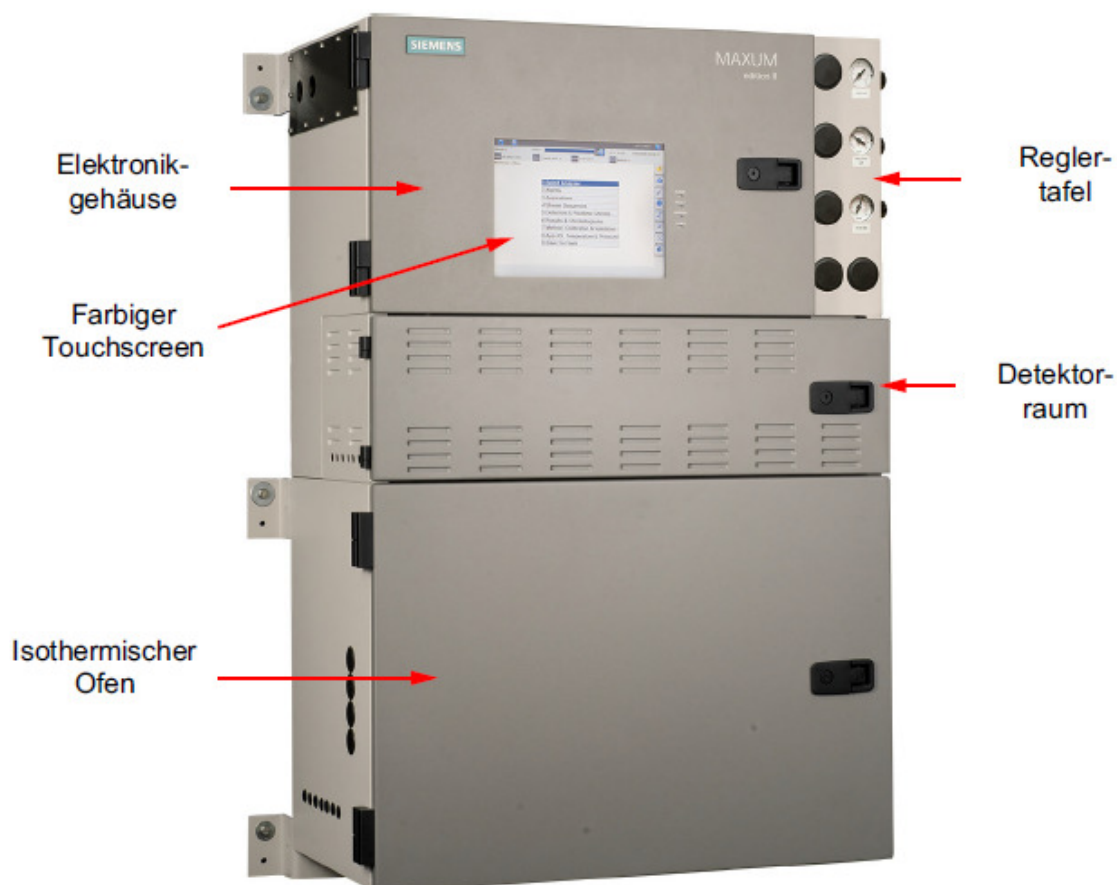


Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

Solange durch Mess- und Referenzzelle reines Trägergas strömt, ist die Wärmemengenübertragung in den Zellen gleich. Dadurch ist auch der Widerstand sehr ähnlich und die Brückenwiderstände abgeglichen. Wenn ein Gemisch aus Trägergas und Probenkomponente durch die Messkammer strömt, ändert sich mit der Wärmeleitfähigkeit des Gasgemisches auch die Wärmemengenübertragung und somit die Temperatur und damit der Widerstand der Heizdrähte bzw. Thermistoren in der Messkammer.

Die daraus resultierende Verstimmung der Brückenschaltung ist direkt proportional zur Momentankonzentration der Probenkomponente im Trägergasstrom.

Flammenionisationsdetektor (FID) siehe Punkt 7.3.7





Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

Technische Daten

MAXUM edition II classic Ofen

Allgemeines

Kleinste Messbereiche (je nach Anwendung)	• Wärmeleitfähigkeit: 0 ... 20 ppm • Flammenionisation: 0 ... 1 ppm
Temperaturbereich im Ofen	Applikationsspezifisch, temperaturklassenabhängig 5 ... 330 °C je nach Ofenausführung und Temperaturklasse
Temperaturregelung	± 0,02 °C

Säulen	Gepackte, mikrogepackte oder Kapillar-Trennsäulen
Regulierung der Gasversorgung	Bis zu 8 elektronische Druckreglerkanäle und bis zu 6 mechanische Druckregler

Elektrische Merkmale

Hilfsenergie	• Einphasen-Wechselstrom, 100 ... 130 V oder 195 ... 260 V (Schaltung wählbar), 47 ... 63 Hz • Einzelner Ofen: Max. 14 A • Doppelofen: 2 Stromkreise, jeweils max. 14 A
--------------	---

Gaseingangsbedingungen

Probenfluss	5 ... 100 ml/min (je nach Anwendung)
Siebgröße des Probenfilters	0,1 ... 5 µm bei gasförmigen Proben je nach Ventiltyp
Minimaler Probendruck	35 kPa, Standard
Maximaler Probendruck	200 kPa Standard, höherer Druck optional
Maximale Proben temperatur	121 °C Standard; höhere Temperatur optional
Materialien, die Kontakt zur Probe haben	Edelstahl und Teflon; andere Materialien optional
Säulen	Gepackte, mikrogepackte oder Kapillar-Trennsäulen
Regulierung der Gasversorgung	Bis zu 8 elektronische Druckreglerkanäle und bis zu 6 mechanische Druckregler

Elektrische Merkmale

Hilfsenergie	• Einphasen-Wechselstrom, 100 ... 130 V oder 195 ... 260 V (Schaltung wählbar), 47 ... 63 Hz • Einzelner Ofen: Max. 14 A • Doppelofen: 2 Stromkreise, jeweils max. 14 A
--------------	---

Gaseingangsbedingungen

Probenfluss	5 ... 100 ml/min (je nach Anwendung)
Siebgröße des Probenfilters	0,1 ... 5 µm bei gasförmigen Proben je nach Ventiltyp
Minimaler Probendruck	35 kPa, Standard
Maximaler Probendruck	200 kPa Standard, höherer Druck optional
Maximale Proben temperatur	121 °C Standard; höhere Temperatur optional
Materialien, die Kontakt zur Probe haben	Edelstahl und Teflon; andere Materialien optional



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysemesstechnik	18.02.2025

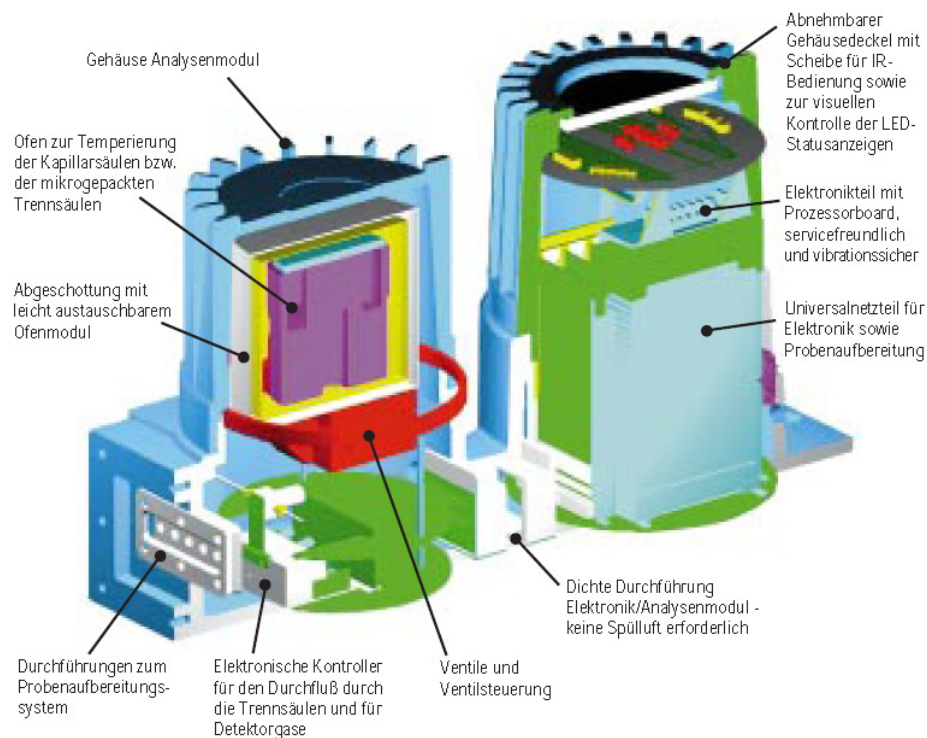
Prozesschromatograph, CGX-Transmitter der Fa. Rosemount



Im GCX Transmitter kommen zwei unterschiedlich funktionierende, miniaturisierte Detektorsysteme zum Einsatz. Eine Mikro-Wärmeleitfähigkeitsmesszelle (**Mikro WLD**) nutzt als Messgröße die Widerstandsänderung eines dünnen beheizten Drahtes. Aufgrund der Abkühlung des Drahtes durch das von der Trennsäule in den Detektor strömende Gas wird dieser Messeffekt erzeugt.

Als weitere Methode steht ein Mikro-Flammenionisationsdetektor zur Verfügung (**Mikro FID**). Bei der Verbrennung organischer Stoffe in einer Wasserstoffflamme entstehen elektrisch geladene Teilchen (Ionen), die sich an einer Elektrode entladen.

Der resultierende Strom wird entsprechend über einen Verstärker ausgewertet.





Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysemesstechnik	18.02.2025

7.4 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.

7.4.1 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 mögliche 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.



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 ₂	0 bis 200 ppm



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysemesstechnik	18.02.2025

7.4.2 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.





Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysemesstechnik	18.02.2025

7.4.3 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.



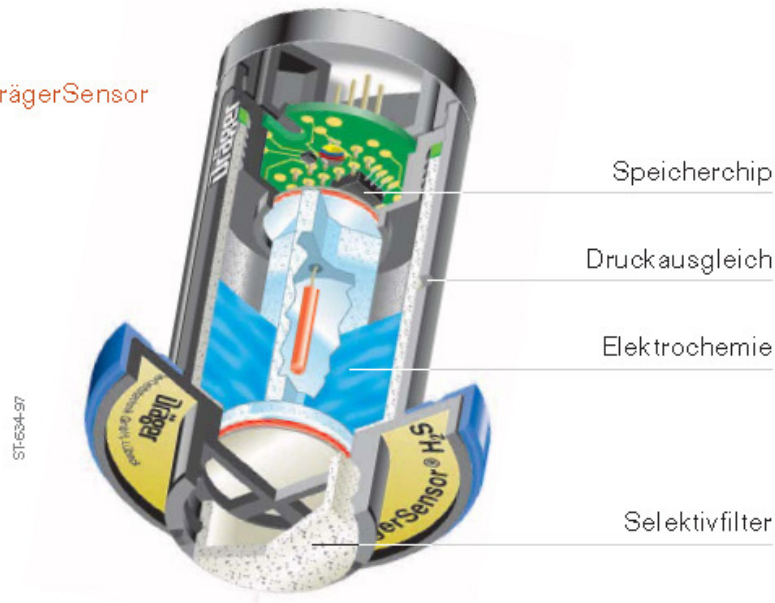
Die Reaktionszeiten müssen kurz, die Störanfälligkeit gering und die Zuverlässigkeit hoch sein. Je besser Sensor, Gasmessgerät und Auswerteeinheit technologisch und baulich aufeinander abgestimmt sind, desto verlässlicher sind die Messergebnisse. In der industriellen Gasmesstechnik werden auf Grund ihrer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



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

7.4.3.1 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.

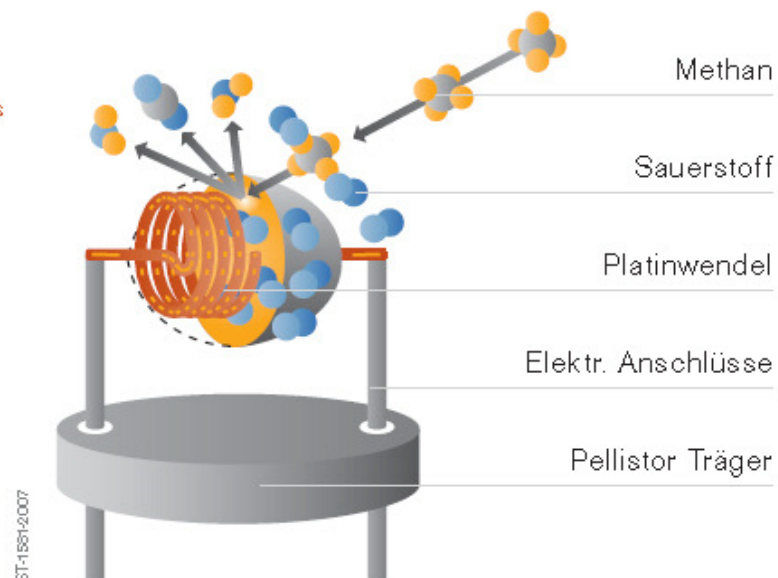


Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysemesstechnik	18.02.2025

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.

7.4.3.2 Das katalytische Sensorprinzip

Funktionsprinzip
eines katalytischen Sensors



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.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

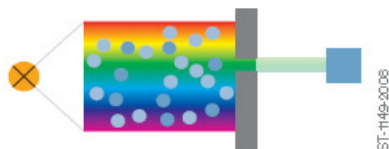
Die minimale Temperaturerhöhung, die bei einer solchen Oxidation stattfindet, weil jede Oxidation bekanntermaßen mit Reaktionswärme verbunden ist und diese ein Maß für die Anzahl der stattfindenden Reaktionen ist, wird messtechnisch ausgewertet. Und mit einigen raffinierten Tricks gelingt es tatsächlich,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

7.4.3.3 Das Infrarot-Sensorprinzip

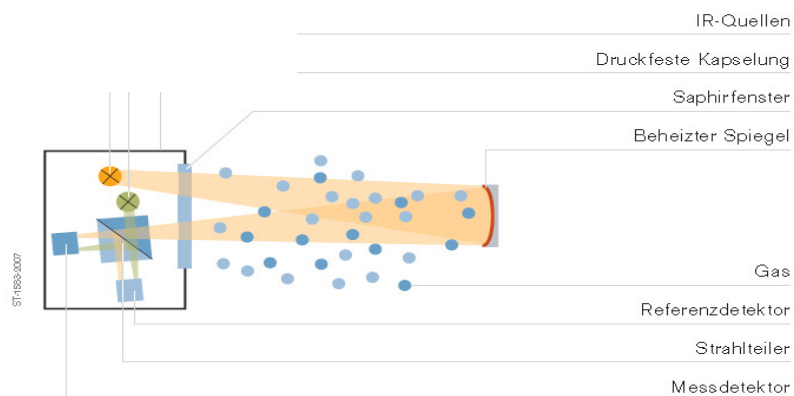
Funktionsprinzip Infrarot-Absorption (Messküvette)



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.





Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

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.

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 hervorragende Eignung dieser Sensortechnologie bei anspruchsvollen Anforderungen an die funktionale Sicherheit. Unsere Kunden können sich auf zuverlässige Messbereitschaft verlassen.



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysemesstechnik	18.02.2025

7.5 Viskositätsbestimmung

Zur Beurteilung des Verhaltens von Flüssigkeiten ist die Kenntnis ihrer Viskosität notwendig. Flüssigkeiten teilt man hinsichtlich ihres rheologischen Verhaltens in newtonsche und nicht-newtonsche Fluide ein. Analog kann man auch die im Folgenden dargestellten Messverfahren zur Viskositätsbestimmung einteilen. Diese Messgeräte werden als Viskosimeter bezeichnet. Dieser Teil des Skriptes konzentriert sich nur auf die Viskosimeter für die Messung von newtonschen Flüssigkeiten.

7.5.1 Messmethoden für newtonscher Fluide

Newtonsche Fluide zeichnen sich dadurch aus, dass sich ihre Viskosität bei wechselnder Scherbeanspruchung nicht ändert, d.h. ihre Viskosität ist mit der Angabe eines einzigen Wertes eindeutig gekennzeichnet. Zur Bestimmung der Viskosität erzeugt man möglichst einfache Strömungen, bei denen die mathematische Beschreibung nach der Viskosität aufgelöst werden kann. Die bekanntesten Verfahren, das Kapillarviskosimeter und das Kugelfallviskosimeter, werden im Folgenden kurz beschrieben.

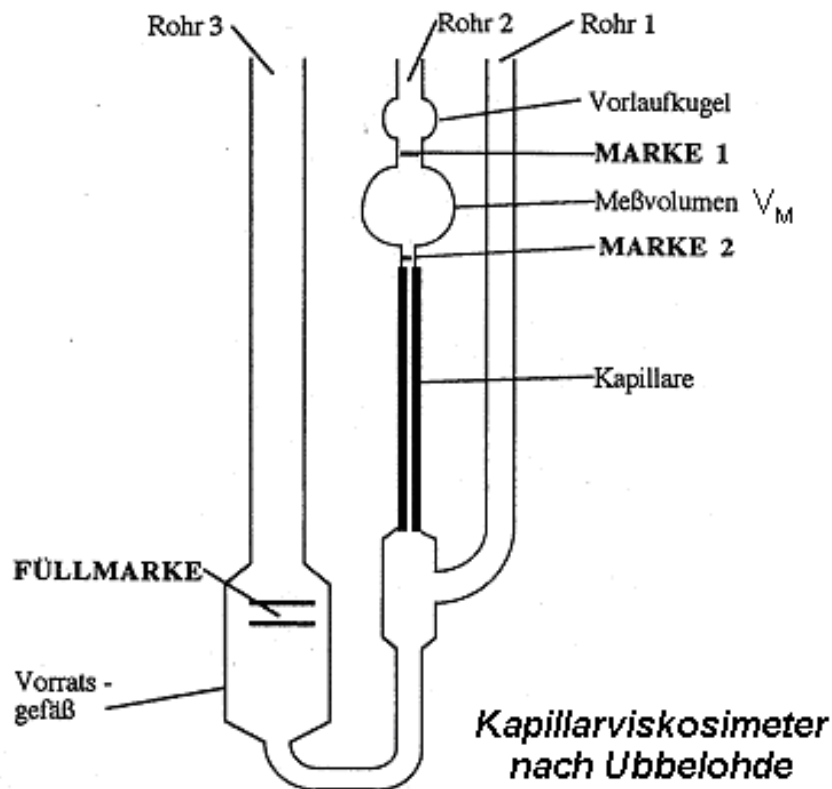


Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysemesstechnik	18.02.2025

7.5.1.1 Kapillarviskosimeter

Beim Kapillarviskosimeter durchströmt eine definierte Flüssigkeitsmenge, begrenzt durch zwei Messmarken, laminar eine Messkapillare infolge der Schwere der Flüssigkeit. Gebräuchlich sind Kapillarviskosimeter nach Ubbelohde, siehe schematische Darstellung der nachfolgenden Abbildung. Die Zeit, welche die Flüssigkeit benötigt, ist hierbei ein Mass für die Viskosität des Fluids und ist entsprechend messtechnisch zu erfassen.

In der Praxis nimmt man die Messung der Ausflusszeit mehrmals vor und setzt die mittlere Zeit in die Rechnung ein. Mit dem Kapillarviskosimeter lassen sich die Viskositäten auf $\pm 2\%$ genau bestimmen. Der Messaufbau ist temperierbar.



*Kapillarviskosimeter
nach Ubbelohde*



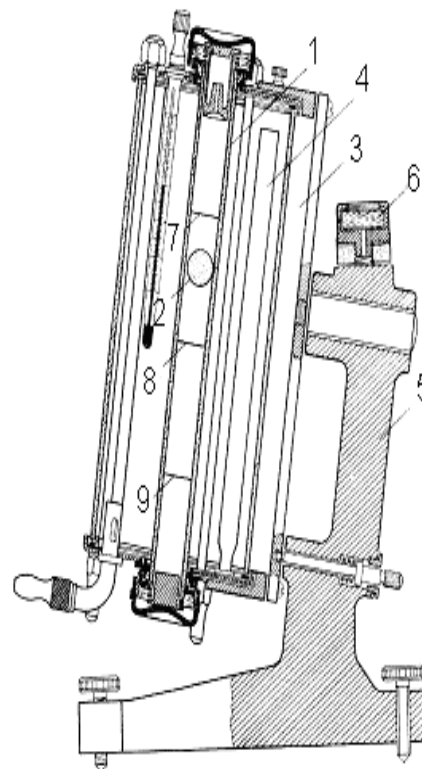
Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

7.5.1.2 Kugelfallviskosimeter

Das Kugelfallviskosimeter, auch Höppler-Viskosimeter genannt, arbeitet nach dem Prinzip des Kugelfalls. Dies erlaubt analog zum Kapillarviskosimeter, die Viskositätsmessung auf eine Zeitmessung zu reduzieren. Relevant ist hierbei die Zeit, welche die Kugel benötigt, eine definierte Strecke im zu vermessenden Fluid zurück zu legen.

Nachfolgende Abbildung zeigt ein Kugelfall-Viskosimeter nach Höppler, das in der DIN 53015 genormt ist und nach dem oben beschriebenen Prinzip arbeitet. Es besteht aus einem zylindrischen Glasrohr, das geneigt an einem Stativ drehbar angebracht ist. Zu diesem Rohr gehört ein Satz verschieden schwerer Kugeln, die für die Messung als Fallkörper dienen. Das Rohr ist von einem Mantel umgeben, der aus einem Thermostaten mit Flüssigkeit durchströmt wird.

Viskositätsmessungen können je nach Fluid in einem Temperaturbereich von -60 bis $+150$ °C durchgeführt werden. Zur Messung wird das zylindrische Glasrohr mit der Versuchsflüssigkeit gefüllt, eine der Kugeln hineingegeben und wieder verschlossen. Zu messen ist die Fallzeit der Kugel zwischen den beiden im Glasrohr eingezätzten Strichmarken.



- 1 Fallrohr
- 2 Fallkugel
- 3 Temperiermantel
- 4 Tauchsieder
- 5 Stativ
- 6 Libelle
- 7,8,9 Meßmarken

Höppler-Viskosimeter



Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

7.5.1.3 Viskositätsmessung mittels Auslaufbecher

Die Viskositätsmessung mit dem Auslaufbecher ist, man sollte es kaum glauben, auch in unserer Zeit der allgemeinen Automatisierung und ISO 9000 Zertifizierungen ein weit verbreitetes Verfahren zur Viskositätsmessung bei Flüssigkeiten, insbesondere von Farben und Lacken. Hier wird nun einmal beleuchtet, welcher Zusammenhang zwischen einer Messung mit dem Auslaufbecher und der rheologischen Untersuchung einer Flüssigkeit besteht. Da die Viskosität außer von der Temperatur auch von den Kräften abhängt, die auf den Stoff wirken, ist natürlich insbesondere die Frage zu beantworten: Welche Viskosität wird eigentlich durch eine Messung der Viskosität in Auslaufsekunden bestimmt?

Um die Viskosität einer Flüssigkeit mit einem Auslaufbecher zu bestimmen, besteht zunächst die Frage: Welcher soll es denn nun sein? In Abb. 1 sind unterschiedliche Auslaufbecher zu sehen. Diese unterscheiden sich in Füllvolumen, Material, Form und vor allem im Durchmesser und Länge der Düse. In DIN 53012 sind die allgemeinen Regeln für die Geometrien festgelegt, doch die Wahl des verwendeten Bechers ist meist bestimmt durch die Tradition im Unternehmen: „Das haben wir schon immer so gemacht!“

Zur Messung der Viskosität wird die Düse zugehalten und der Auslaufbecher randvoll gefüllt. Zeitgleich mit dem Öffnen der Düse wird vom Anwender eine Stoppuhr gestartet und er misst die Zeit bis der Strom der Flüssigkeit das erste Mal abreißt. Bei dieser Messung gibt es also unterschiedliche Fehlerquellen. Diese liegen in der Temperatur der Substanz, in der manuellen Zeitmessung, in der Beeinflussung der Messung durch eine verschmutzte Düse und der Bestimmung des richtigen Abreißzeitpunktes. In diesem Artikel soll jedoch nicht von den möglichen Fehlern gesprochen werden, sondern davon ausgegangen werden, dass alles optimal durchgeführt wird.



Abb. 1 verschiedene Auslaufbecher



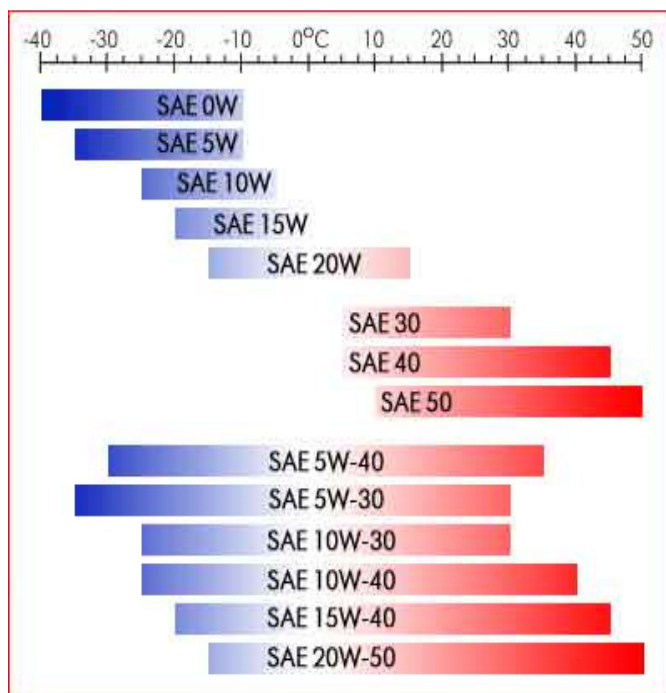


Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysemesstechnik	18.02.2025

Warum ist die Viskositätsmessung mit dem Auslaufbecher so beliebt? Entscheidende Vorteile sind sicherlich, dass das „Messgerät“ extrem preiswert und – scheinbar – einfach zu handhaben ist. Hierzu kommt aber ein weiterer wesentlicher und nicht zu unterschätzender Faktor: Der Laborant sieht beim Befüllen die Flüssigkeit und beurteilt das Fließverhalten, die Oberfläche, die Tropfenbildung usw. Man kann erleben, dass derjenige schon beim Befüllen sagt: Das sind heute 27 s. Er misst dann auch 27 s.

7.6 Eine kleine Exkursion in die Welt der SAE-Klassen, allgemein

Kfz-Motoren- und Getriebeöle werden mit SAE *Society of Automotive Engineers (USA)* – Klassen beschrieben, die auch in die entsprechenden DIN *Deutsches Institut für Normung* – Normen übernommen wurden. Hierin sind festgelegt: Temperaturen für die Viskositätsmessungen, Viskositätsgrenzwerte und Klassenzuordnungen. Öle, für die Viskositätsgrenzwerte im kalten Zustand festgelegt sind, haben zusätzlich den Buchstaben „W“ (Winter).





Ingenieurwesen II	Sensor- und Steuerungstechnik (SST)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Analysenmesstechnik	18.02.2025

Im heißen Zustand wird für Motor- und Getriebeöle die Viskosität einheitlich für alle SAE-Klassen bei 100°C bestimmt. Dies ist jedoch bei Motorölen nicht praxisgerecht; daher wird hier oftmals zusätzlich noch die Hochtemperaturviskosität bei hohem Schergefälle (HTHS (High Temperature High Shear). HTHS-Wert beschreibt die kinetische Viskosität unter hohen Scherbelastungen bei 150°C. = High Temperature High Shear) bestimmt.

SAE-Klassen Motoröle

Genormt sind die Klassen:

0W, 5W, 10W 15W, 20W, 25W-20, 30, 40, 50, 60

SAE-Klassen Getriebeöle

Genormt sind die Klassen:

70W, 75W, 80W, 85W-80, 85, 90, 140, 250

Einbereichs-/Mehrbereichsöl

Erfüllt ein Öl nur die Anforderungen einer SAE-Klasse, so ist es ein Einbereichsöl, z.B. SAE 10W, 30, 50 bei Motorölen oder SAE 80W, 90, 140 bei Getriebeölen.

Werden im kalten Zustand die Anforderungen einer W-Klasse und bei 100°C die einer Klasse ohne „W“ erfüllt, so spricht man von einem Mehrbereichsöl z.B. SAE 0W-30, 10W-40, 15W-40 bei Motorölen oder SAE 75W-90, 80W-90, 85W-140 bei Getriebeölen.