

Funktionsprinzip der Sauerstoffsonde

Allgemeines zu Sauerstoffsonden

Sauerstoffsonden finden überwiegend in der Regelung von Verbrennungsprozessen bzw. Atmosphären Verwendung. Am bekanntesten ist die λ -Reglung im Ottomotor, bei der die Zumischung von Luft in den Verbrennungsprozess gesteuert wird. Ähnlich wird auch die Messung der Verbrennungsgüte durch Sauerstoffsonden im Rauchgasfluss von Kraftwerken gesteuert. Im Bereich der Wärmebehandlungen werden Sauerstoffsonden im Bereich der Aufkohlung eingesetzt, bei denen man über den Sauerstoffgehalt Rückschlüsse auf den Grad der Aufkohlung (C-Pegel) ziehen kann.

Funktionsprinzip der Sauerstoffsonde

All Sauerstoffsonden funktionieren nach dem gleichen physikalischen Prinzip nach Nernst und haben prinzipiell einen ähnlichen Systemaufbau.

Allgemeine Nernst-Gleichung

Das physikalische Prinzip ist Ende des 19. Jahrhunderts von Walther Nernst beschrieben worden und folgt der Gleichung:

$$E = E_0 + \frac{R \cdot T}{z_e \cdot F} \cdot \ln\left(\frac{c_1}{c_2}\right)$$

Hierbei sind:

- E – Elektrodenpotential
- E_0 – Standardelektrodenpotential
- R – allgemeine Gaskonstante
- T – Temperatur der Zelle in °K
- F – Faraday-Konstante
- C_1, C_2 – Konzentrationen der Fluide
- z_e – Anzahl der beteiligten Elektronen

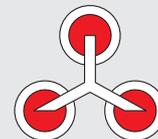
Diese Gleichung beschreibt im Allgemeinen eine galvanische Zelle. Sie zeichnet sich durch zwei Fluide aus, welche ein Konzentrationsgefälle aufweisen und durch eine Membrane geteilt sind. Durch das Konzentrationsgefälle entsteht eine Spannung. Jede Batterie funktioniert nach diesem Prinzip.

Genereller Aufbau einer Sauerstoffsonde

Die bisher beschriebenen Sauerstoffsonden bestehen aus einem Festkörperelektrolyten (FKE), der die beiden Atmosphären (die Mess- bzw. Gasseite und die Referenzseite) trennt. An dem Elektrolyten sind Elektroden, entsprechend Gaselektrode und Referenzelektrode genannt, kontaktiert.

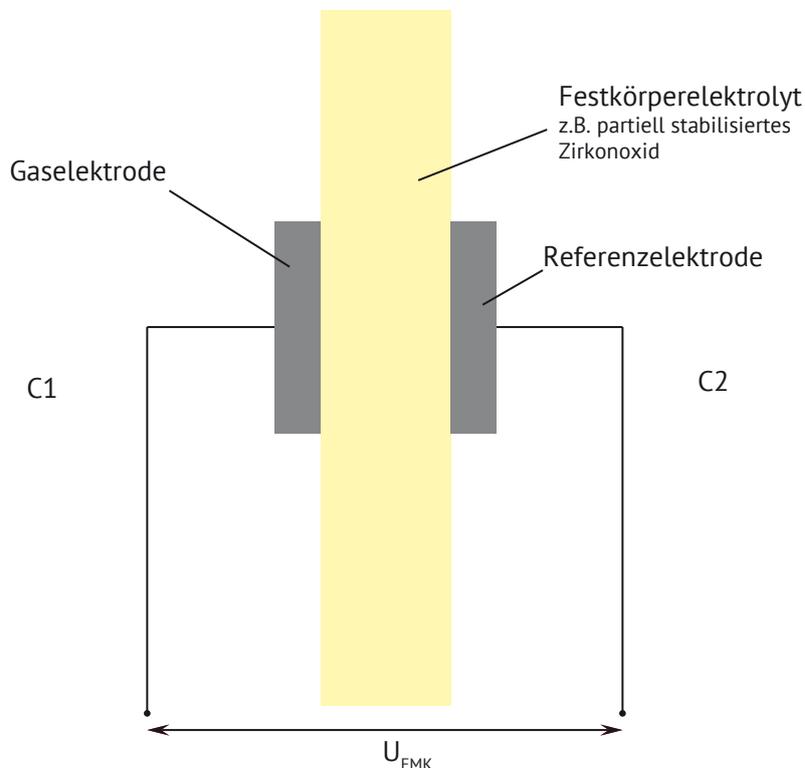
Der FKE dient als Ionenbrücke und besteht meistens aus teilstabilisiertem Zirkondioxid (PSZ) oder aus vollstabilisiertem Zirkondioxid (FSZ). Die Stabilisierung wird durch die Dotierung von Selten-Erden-Metalloxiden wie Yttrium oder Gallium erreicht.

Damit der FKE für die Ionen leitfähig wird, muss dieser eine bestimmte Temperatur besitzen, welche in der Regel > 500°C betragen muss. Für Systeme, welche in kälteren Umgebungen arbeiten, wie beispielsweise bei dem



Abgassystem des Otto-Motors oder bei Bypass-Entnahmestellen, muss der FKE beheizt werden. Im Bereich der direkten Messung, z.B. bei Aufkohlungsanlagen, herrschen Temperaturen $> 800^{\circ}\text{C}$, so dass auf die zusätzliche Heizung verzichtet werden kann.

Schematischer Aufbau der Sauerstoffsonde



Im Fall der Sauerstoffsonde entsteht bei der Messung in reduzierenden Atmosphären ein Spannungsgefälle von der Referenzluftseite zur Gasseite, wobei die Sauerstoff-Ionen über die Fehlstellen im FSZ – Gitter durch den Elektrolyten wandern und so den Stromkreis schließen.

Nun kann über die Elektroden eine Spannung abgegriffen werden, welche nach der Nernstschen Gleichung das momentane Sauerstoff – Konzentrationsgefälle angibt.

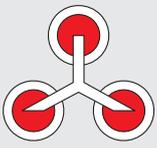
thermo-control Sauerstoffsonden

Die Sauerstoffsonden der thermo-control Körtvélyessy GmbH werden überwiegend in Aufkohlungsanlagen zur Regelung des so genannten C-Pegels verwendet. Da in diesen Prozessen eine hohe thermische und chemische Belastung vorhanden ist, wurden einige Konstruktionsmerkmale verwendet, welche das Verhalten der Sauerstoffsonde optimieren.

Keramische Schutzrohre

Der äußerliche Unterschied zu den marktüblichen Ausführungen ist die Verwendung von keramischen Schutzrohren, statt metallischen Rohren aus Inconel® oder anderen warmfesten Stählen.

Im Gegensatz zu den metallischen Ausführungen verformen sich keramische Schutzrohre nicht. Durch die gedämpfte Einfassung des Keramikrohres ist dieses auch gegen starke Vibrationen, z.B. durch einen fehlerhaften Ventilator mit Unwucht oder einer Gasabschreckung, nahezu immun.



thermo-control Sauerstoffsonden

Eingebautes Typ S Thermoelement

Als Standard besitzen alle thermo-control Körtvélyessy GmbH Sauerstoffsonden ein eingebautes Typ S Thermoelement. Dieses Thermoelement besitzt die Merkmale, die alle thermo-control Körtvélyessy GmbH Thermoelemente besitzen: Hochgenaue und driftfreie Temperaturmessung über viele Jahre hinweg. Dadurch wird immer die tatsächliche Temperatur der Messzelle erfasst und der Spannungswert der Sauerstoffsonde entsprechend fehlerfrei berechnet.

Oft wird in Anlagen die Temperatur von den vorhandenen Typ K - Thermoelementen zur Berechnung verwendet. Da jedoch die Temperatur linear in die Nernstsche Gleichung eingeht, können sich hier schnell Fehler einstellen. Zudem driften Typ K Thermoelemente ab 900°C, so dass neben den lokalen Temperaturunterschieden (im Idealfall $\pm 5^\circ\text{C}$) auch zusätzliche Abweichungen in Betracht gezogen werden müssen.

Elektroden und Leitungen aus Platin

Diese zunächst teuer erscheinende Lösung hat viele Vorteile gegenüber den im Markt üblichen Ausführungen.

Alle thermo-control Körtvélyessy GmbH Sauerstoffsonden haben Elektroden aus Platin. Der Abgriff der Sondenspannung von den Elektroden erfolgt ebenfalls über Platindrähte.

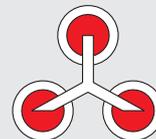
Zwischen den beiden Platindrähten entsteht keine Thermospannung, da sie aus gleichem Material bestehen. Dadurch bleibt die Spannung der Sauerstoffsonde über viele Jahre hinweg stabil und ohne Störgrößen.

Zusätzlich entsteht eine starke Verbindung zwischen dem Platin und dem Zirkondioxidrohr, welches sich ähnlich zum Sintern verhält. Diese Verbindung wird bereits bei der Herstellung der Sonden erreicht, da diese bei hohen Temperaturen unter Druck zusammengefügt werden.



Damit ist stets eine stabile Kontaktierung der Elektroden gewährleistet, welche auch bei starken Erschütterungen nicht unterbrochen wird.

Ein weiterer Vorteil gegenüber den Elektroden aus Edelstählen ist, dass das Platin im Gegensatz zu den Edelstählen keine Oxidschicht aufbaut, welche als Isolator die Sonde beeinflusst.



Keine zusätzliche Referenzluftversorgung notwendig

Bedingt durch die Wanderung der Sauerstoff-Ionen von der Referenzluftseite zur Gasseite hin kommt es zu einer langsamen Verarmung des Sauerstoffgehaltes und damit einer Senkung der Konzentration. Zusätzlich kommt es bei FSZ - Rohren, welche durch Extrusion hergestellt worden sind, auf Grund der Verschleißung zu einer definitiven Leckrate. Diese Leckrate verursacht eine vielfach größere Verarmungsrate als die der Ionenwanderung.

Daher werden bei thermo-control Körtvélyessy GmbH sämtliche FSZ - Rohre auf deren Leckrate hin geprüft und entsprechend selektiert. Dies gewährt einen sehr niedrigen „Verbrauch“ von Referenzluft.

Werden die Sauerstoffsonden zusätzlich unter einem Winkel eingebaut, so dass die Spitze unterhalb des Anschlusskopfes liegt, entsteht ein weiterer Effekt. Die im Anschlusskopf vorhandene kühlere Luft fließt nach unten in die Spitze des FSZ – Rohres und verdrängt die wärmere bzw leichtere Luft. Dies wird durch die natürliche Konvektion der wärmeren Luft unterstützt. Es entsteht so eine stete Strömung, welche für konstant frische Referenzluft an der Referenzelektrode sorgt.

Damit benötigen thermo-control Körtvélyessy GmbH Sauerstoffsonden in der Regel keine externe Referenzluftversorgung.