Sichere Sauerstoffmessungen nach dem paramagnetischen Prinzip

Ein solides und hochgenaues Verfahren für anspruchsvolle Anwendungen

Bild 1: Der paramagnetische OXYPA-Sensor. Vorn rechts befinden sich die Gasanschlüsse des Sensors, während hinten rechts der Anschluss zur Regelung und Rückstellung des Ausgangssignals angebracht ist.

Sauerstoffmessungen gehören zu den wichtigsten Regelparametern in zahlreichen kritischen Anwendungen, beispielsweise wenn sichergestellt sein muss, dass bei medizinischen Behandlungen oder bei der Abgasanalyse in Verbrennungsprozessen die richtige Menge an Sauerstoff zugeführt wird. Für die Bestimmung der Sauerstoffkonzentration in einer Gasprobe kommen verschiedene Technologien infrage. Bei vielen von ihnen bestehen jedoch Einschränkungen, wie eine unzureichende Wiederholgenauigkeit oder eine große Drift des Ausgangssignals sowie Querempfindlichkeiten mit anderen Gasen. Die im Zeitverlauf niedrige Drift des Ausgangssignals ist beispielsweise sehr wichtig für aktive Brandschutzsysteme, bei denen der Sauerstoffgehalt im Raum typischerweise auf 12 – 16 % O_2 abgesenkt wird, wenn ein potenzielles Risiko besteht, dass die Kombination aus brennbaren Gasen, Zündquellen und ausreichend hohen Sauerstoffkonzentrationen (das Explosionsdreieck) zu einem Brand führen kann. Durch die Senkung des Sauerstoffgehalts ist die Gefahr eines Brandes (in Serverräumen, Windkraftanlagen, Lagerräumen etc.) zwar niedrig, gleichzeitig arbeiten in diesem Umfeld aber oft Menschen. Deshalb gilt es, das Brandrisiko und die Gefahr einer Beeinträchtigung durch einen niedrigen Sauerstoffgehalt im Arbeitsumfeld gegeneinander abzuwägen. Das empfindliche Gleichgewicht lässt sich am besten mit einem hochgenauen Sauerstoffsensor mit sehr niedriger Signaldrift überwachen.

Der paramagnetische Sauerstoffsensor

In diesem Artikel wird ein solcher Sensor beschrieben: der paramagnetische OXYPA-Sauerstoffsensor. Dieser zeichnet sich durch eine äußerst niedrige Signaldrift, eine sehr gute Signalwiederholbarkeit sowie die Vermeidung von Querbeeinflussungen auf andere Gase aus. Zunächst wird das Prinzip der paramagnetischen Sauerstoffmessung detailliert erklärt. Danach wird das OXYPA-Produkt näher beschrieben.

Messprinzip

Das grundlegende Messprinzip eines paramagnetischen Sauerstoffsensors basiert auf der Tatsache, dass Sauerstoff paramagnetisch ist und über eine im Vergleich mit anderen Gasen sehr hohe magnetische Suszeptibilität verfügt. Andere Gase (N_2, CO_x, C_xH_y, H_2, H_2O) sind eher diamagnetisch als paramagnetisch. Die hohe magnetische Suszeptibilität von Sauerstoff stellt sicher, dass das Ausgangssignal eines paramagnetischen Sauerstoffsensors nicht durch andere in der Nähe befindliche Gase beeinflusst wird. Beispielsweise ist die magnetische Massensuszeptibilität (X_{mass}) von Sauerstoff (positiver X-Wert) mehr als 500-mal höher als jene von Stickstoff (negativer X-Wert = diamagnetisch).

Die magnetische Suszeptibilität

gibt an, ob ein Material von einem Magnetfeld angezogen oder von ihm abgestoßen wird. Paramagnetische Materialien richten sich zum Magnetfeld aus und werden von Bereichen mit höherer Feldstärke angezogen. Diamagnetische Materialien werden von Magnetfeldern abgestoßen und bewegen sich immer in Richtung der niedrigeren Feldstärke. Neben dem anliegenden Magnetfeld bildet auch das Material selbst ein eigenes Magnetfeld.

Angewandte Messprinzipien

Das paramagnetische Prinzip lässt sich auf vielfache Weise zur Sauerstoffdetektion einsetzen. Grundlage ist jedoch immer, dass die Sauerstoffmoleküle zu größeren Magnetfeldern hingezogen werden. Im Markt dominieren hauptsächlich folgende drei Messprinzipien:

1) Messung von Veränderungen des „magnetischen Windes“ mittels Durchflussmessung

Pewatron
www.pewatron.com

2) Messung von Druckveränderungen auf Basis eines variablen (ein-aus) Magnetfelds
3) Last- oder Kraftmessung mithilfe eines diamagnetischen Bezugspunkts

Unabhängig vom Messprinzip sind alle paramagnetischen Sauerstoffsensoren hochkomplizierte elektromechanische Mikrosysteme, deren Produktion und Prüfung umfangreiche Kompetenzen erfordern. Die hohe Leistungsfähigkeit des Endprodukts rechtfertigt jedoch diese hohen Anforderungen. Der paramagnetische OXYPA-Sensor (Bild 1) funktioniert nach dem dritten Messprinzip (Partialdruckmessung mit einer drehbaren Glashantel) und wird im nächsten Abschnitt genauer beschrieben (siehe Messprinzip in Bild 2).

Funktion

Das Innere des OXYPA-Sensors wird auf 55 °C erhitzt, damit Veränderungen der Umgebungstemperatur so wenig Einfluss wie möglich haben. Sauerstoff ist eines der wenigen Gase mit ausgeprägten paramagnetischen Eigenschaften, die wie folgt für die Messung genutzt werden können: Eine kleine, mit Stickstoff gefüllte Glashantel wird in einem nicht homogenen Magnetfeld innerhalb der beheizten Messzelle platziert. Die Ruhelage des Systems wird durch einen Lichtstrahl, einen auf der Hantel befindlichen Spiegel und eine Fotozelle bestimmt. Die Glashantel ist diamagnetisch und neigt dazu, sich vom Magnetfeld wegzudrehen. Die paramagnetischen Sauerstoffmoleküle des Messgases dagegen werden ins Magnetfeld hineingezogen, was die Glashantel entweder verdrängt oder dazu führt, dass sich diese in die andere Richtung dreht.

Die Drehung wird durch ein entgegengesetztes Magnetfeld aufgehoben, das mithilfe einer Spule um die Glashantel erzeugt wird, wobei die notwendige Stromstärke vom Signal der Fotozelle (Auslenkung der Hantel aus der Ruhelage) bestimmt wird. Die Differenz zwischen dem Spulenstrom, wenn reiner Stickstoff durch die Messzelle strömt, und dem Spulenstrom, wenn die Messzelle von Messgas durchströmt wird, ist proportional zur Sauerstoffkonzentration im Messgas.

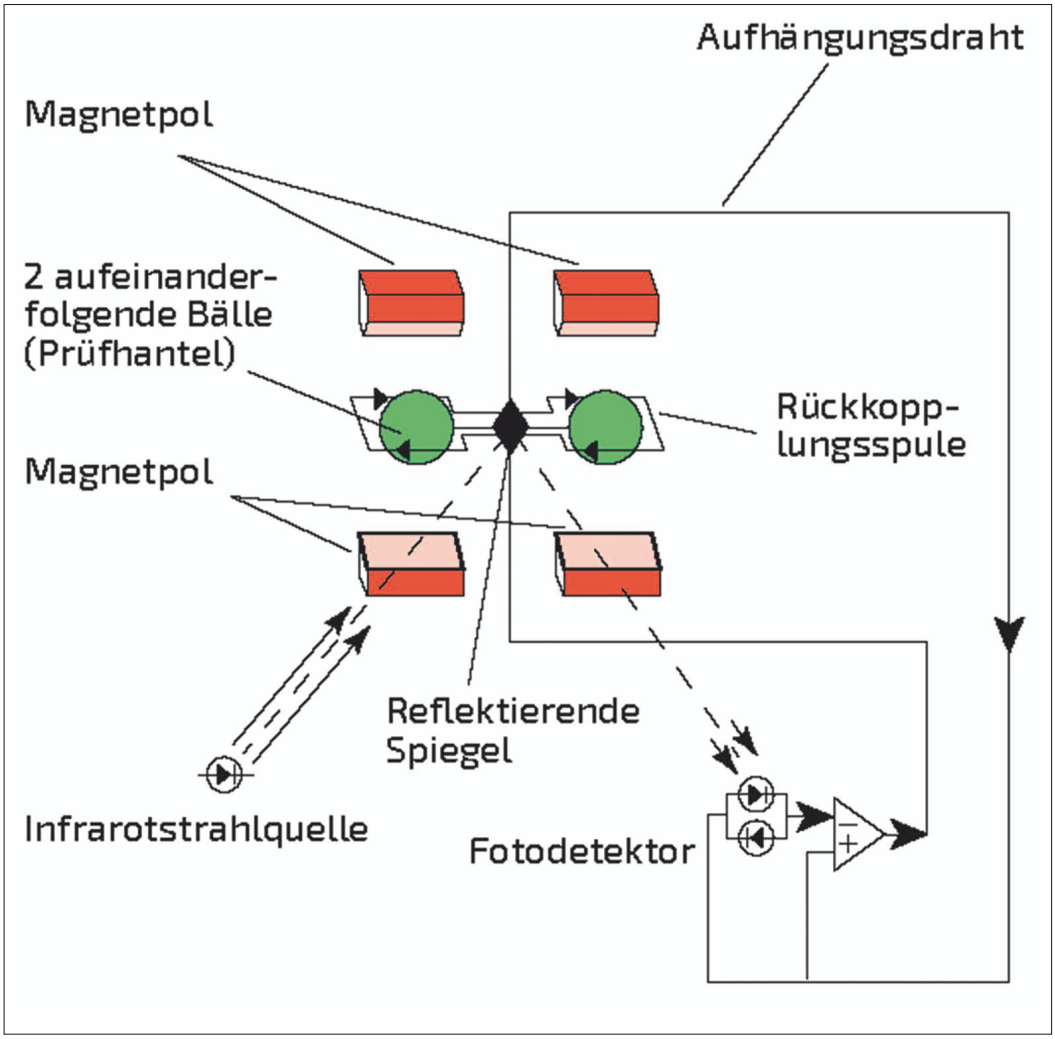

Bild 2: Prinzipskizze der drehbaren Glashantel zur paramagnetischen Sauerstoffmessung

Zuverlässige Daten

Der paramagnetische OXYPA-Sauerstoffsensor gibt äußerst zuverlässige Daten aus und ist gleichzeitig sehr benutzerfreundlich. Der größte Vorteil, den dieser Sensortyp anderen Sauerstoffsensortypen wie Zirkonium- oder benetzten elektrochemischen Sensoren gegenüber aufweist, ist die Möglichkeit, ihn auch bei brennbaren Gasgemischen einzusetzen. Im Allgemeinen sind paramagnetische Sauerstoffsensoren zudem schneller als die anderen Sensortypen und messen neben dem Sauerstoff sogar die Konzentration korrosiver Gase.

Gut getestet

Bevor der paramagnetische OXYPA-Sauerstoffsensor versandt und an die Kunden ausgeliefert werden kann, muss er zahlreiche Kalibrations- und Prüfzyklen durchlaufen. Wichtigster Testparameter ist die Bestätigung der Signalstabilität auf der Grundlage einer sehr geringen Signaldrift. Dabei ist zu bemerken, dass laut Hersteller kein anderer im Markt erhältlicher Sensor über eine derart gute Wiederholgenauigkeit (< ±0,03 % O_2) verfügt. Die Wiederholgenauigkeit bzw. Signalstabilität im Zeitverlauf gilt in vielen Anwendungen wie Abgasanalysen und Gasmischern als wichtige Kenngröße. So ist es in Systemen zur Gasrückführung und Gaseinspritzung, mit denen CO-, NOx- und CO_2-Emissionen aus fossilen Brennstoffen und Gasen reduziert werden sollen, beispielsweise für den gesamten Prozess von Bedeutung, dass der Sauerstoffgehalt genau und zuverlässig und im Messbereich von 1 – 10 % O_2 bestimmt wird. Genauso wichtig ist unter solch rauen Umgebungsbedingungen die Signalstabilität in einem Gasmix mit unterschiedlichen Konzentrationen an Kohlenwasserstoffen, Kohlenstoff- und Stickoxiden.

Gleiches gilt für einen hohen Feuchtigkeitsgehalt. Der paramagnetische Sauerstoffsensor OXYPA eignet sich sehr gut für raue Umgebungsbedingungen. Durch die Wirkung der Physik wird aufgrund der Präsenz anderer Gase eine direkte Signalkorrektur vorgenommen. Die Standard-OXYPA-Sensoren wurden alle in einem Sauerstoff-Stickstoff-Mix kalibriert. Sollten im Gasgemisch noch andere Gase vorhanden sein, lässt sich die Korrektur mit einer ganz einfachen Berechnung bestimmen, für die nur die Gaskonzentration der anderen Bestandteile nötig ist.

In einem typischen Abgas sind Korrekturen für Kohlendioxid und Stickoxide besonders wichtig, da a) bei Kohlendioxid die Abgase im %-Bereich liegen und b) Stickoxide eine positive magnetische Suszeptibilität aufweisen. Ein wei-

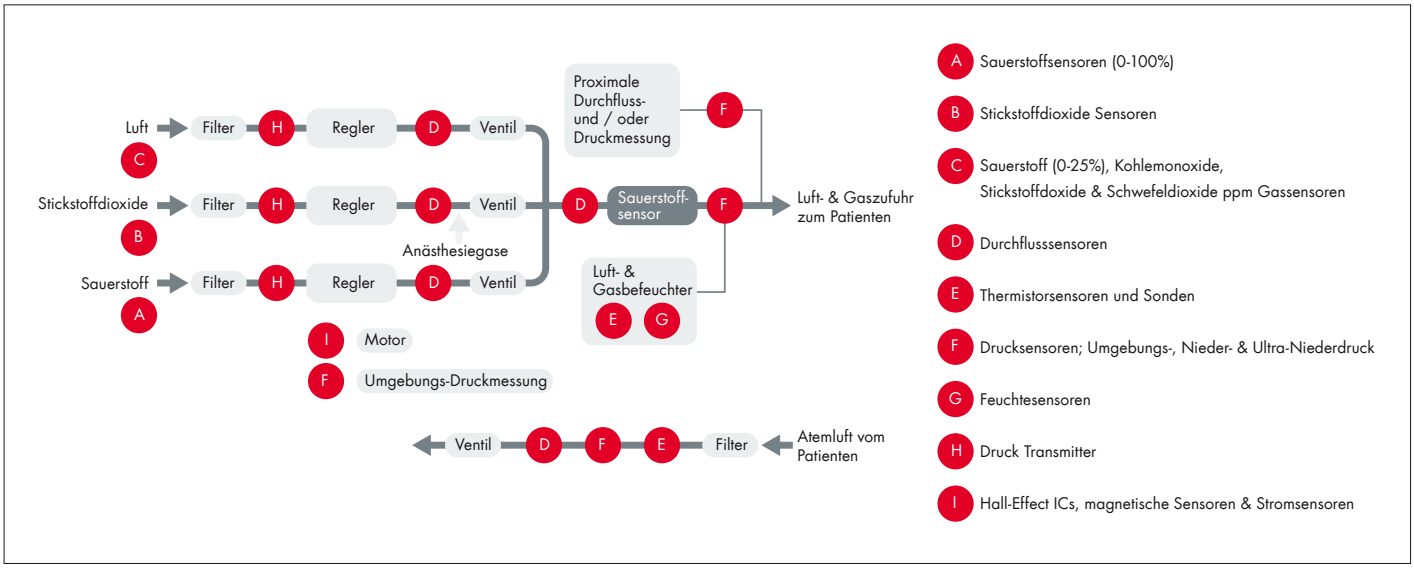

Bild 3: Flussdiagramm für ein medizinisches Anästhesiegerät

teres Anwendungsbeispiel, bei dem Signalstabilität und Funktionstüchtigkeit unter rauen Umgebungsbedingungen gefragt sind, ist der Einsatz in Erd- oder Biogasanwendungen, wo überschüssiger Sauerstoff in der Gasleitung und im Verbrennungsmotor einen unerwünschten Bestandteil des Gasmixes darstellt. Hier ist die Nullpunktstabilität des OXYPA in Kombination mit Korrekturen für unterschiedliche Konzentrationen von Kohlendioxid, Methan, Ethan und Butan von Bedeutung, die sich jeweils auf den Nullwert sowie Werte im Umfeld von 0 % Sauerstoff auswirken.

Der OXYPA ist klein und lässt sich einfach in Schränke, Gehäuse, Analysegeräte und Maschinen installieren, bei denen eine genaue Messung der Sauerstoffkonzentration nötig ist. Der OXYPA lässt sich individuell und in einer großen Bandbreite von Sauerstoffkonzentrationen kalibrieren. Es gibt verschiedene Optionen für das Ausgangssignalformat, die Gasanschlüsse und Durchflussregler. Besonders zu beachten ist, dass jeder paramagnetische OXYPA-Sensor, der das Lager von Pewatron verlässt, gemäß äußerst strengen Vorgaben geprüft und zugelassen wurde. Dies gewährleistet eine zuverlässige und sichere Messung in zahlreichen verschiedenen Anwendungen.

Anwendungsbeispiele

In zwei Anwendungsbereichen der Medizintechnik werden primär paramagnetische Sauerstoffsensoren eingesetzt, um die bestmögliche Leistung und Zuverlässigkeit zu erreichen: Bei der Luftversorgung in der Anästhesie und bei der Sauerstoffbehandlung durch Variation der Fraktion des eingeatmeten Sauerstoffs (FiO_2). Für die Regulierung der FiO_2 ist eine zuverlässige und schnelle Ausgabe über den gesamten Konzentrationsbereich von 21 bis 100 % ein entscheidender Parameter, den es zu beachten gilt. Der OXYPA erfüllt die strengen Anforderungen an medizinische Sauerstoffkonzentratoren und entspricht den medizinischen Standards.

Ein medizinisches Anästhesiegerät

wurde entwickelt, um Medikamente zur Schmerzausschaltung und zur Beseitigung von Problemen unter Vollnarkose zuzuführen. Mit einem kontinuierlichen Durchfluss sorgt das Anästhesiegerät für eine gezielte und konstante Zufuhr von medizinischen Gasen (z. B. Luft, Lachgas und Sauerstoff), die mit einer genauen Konzentration von Anästhesiedampf (z. B. Isofluran) gemischt werden, und gibt dieses Gemisch mit dem gewünschten Druck (Partialdruckgemisch der Gase) an den Patienten ab. Dabei ist der paramagnetische Sauerstoffsensor das Herzstück des Gerätes, denn er gewährleistet, dass die Person in Vollnarkose den lebensnotwendigen Sauerstoff erhält. Zudem stellt die Fähigkeit des OXYPA, schnell auf Änderungen im medizinischen Luft/Sauerstoff-Gemisch zu reagieren – verbunden mit der Tatsache, dass der OXYPA keine oder nur geringe Quereinflüsse auf die in Kombination mit Luft und Sauerstoff verwendeten Gase hat – eine wichtige Voraussetzung dar. Bild 3 zeigt ein charakteristisches Flussdiagramm für ein medizinisches Anästhesiegerät. Der OXYPA ist als Herzstück des Gerätes dargestellt und das Innenleben des Gerätes weist eine Vielzahl kritischer Funktionen auf. Diese kritischen Funktionen verfügen über Sensoren zur Überwachung und Rückmeldung von Änderungen, die eine Aktion erforderlich machen. Für all diese Erfassungs- und Überwachungsfunktionen hält Pewatron entsprechende Lösungen bereit. Es wird darauf hingewiesen, dass der OXYPA auch für die Überprüfung des Sauerstoff- und Lufteinlasses verwendet werden kann, und zwar in Verbindung mit Gassensoren, die den Gehalt von Stickstoffdioxid, Kohlendioxid und Schwefeldioxid messen. ◀