

Design Considerations for Lead-Free Oxygen Sensing Using the Figaro TGS4260

The Figaro TGS4260 is designed for oxygen monitoring applications where stable measurement behaviour, high repeatability, and dependable long-term performance are prioritised over rapid power-up operation. Its potentiostatic lead-free electrochemical sensing principle, combined with low drift characteristics and strong linearity across the operating range, makes it suitable for both portable and fixed instrumentation used in inerting systems, confined-space monitoring, oxygen deficiency monitoring (ODM), gloveboxes, laboratory safety systems, and industrial process monitoring applications.

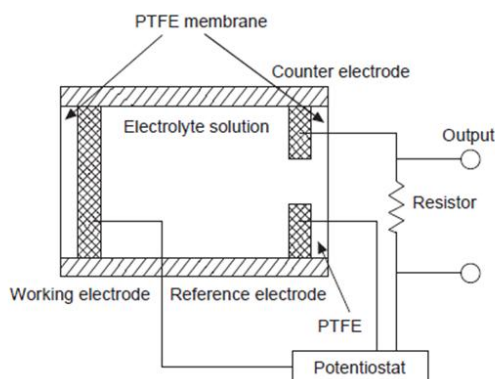
The sensor is particularly well suited to instruments requiring stable calibration behaviour and accurate oxygen measurement with minimal signal conditioning complexity. Unlike many electrochemical oxygen sensors that rely on logarithmic correction or multi-point digital linearisation, the TGS4260 exhibits a highly linear output response across its specified operating range. This allows designers to implement simpler analogue front-end circuitry and more straightforward calibration strategies while reducing firmware complexity and minimising potential inaccuracies introduced by digital compensation.

How the sensor functions

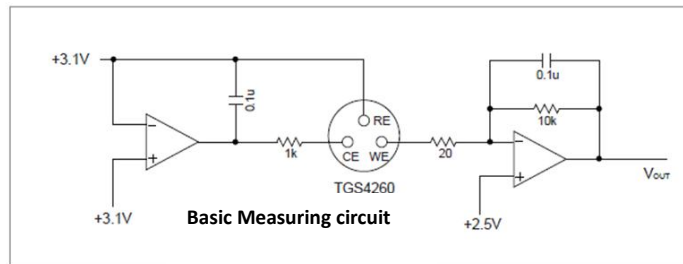
The operating principle of the Figaro TGS4260 is based on a three-electrode potentiostatic electrochemical cell. The sensor comprises a working electrode (WE), counter electrode (CE), and reference electrode (RE), all in contact with a liquid electrolyte and housed within a sealed, gas-permeable structure. Oxygen diffuses through a membrane to the working electrode, where the sensing reaction takes place on a noble metal catalyst surface.

During operation, an external potentiostatic circuit maintains the working electrode at a fixed negative potential relative to the reference electrode. Under these controlled conditions, oxygen is reduced at the working electrode, while a corresponding oxidation

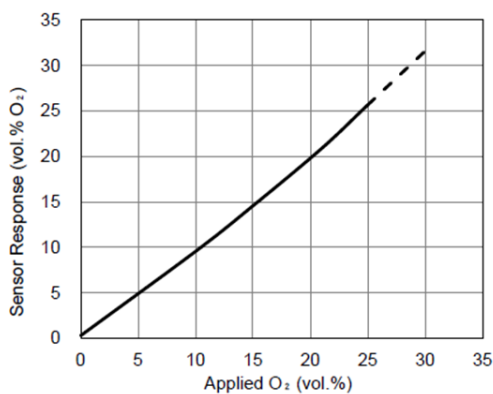
reaction occurs at the counter electrode. These reactions generate an electrochemical current, with ionic conduction occurring through the electrolyte and electron flow through the external circuit.



Because the rate of oxygen reduction is directly proportional to the amount of oxygen reaching the working electrode, the resulting current is proportional to the ambient oxygen concentration. This current is then converted into a voltage signal by the measurement electronics, providing a stable and repeatable output that accurately reflects oxygen levels without the need for complex signal linearisation.



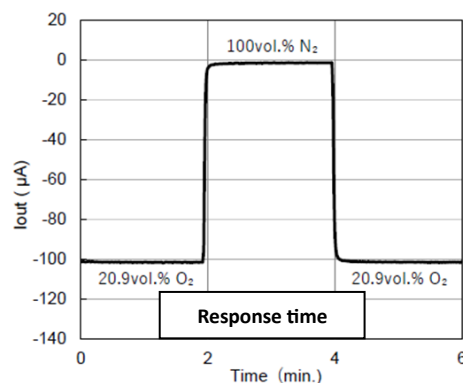
Raw Sensor Characteristics



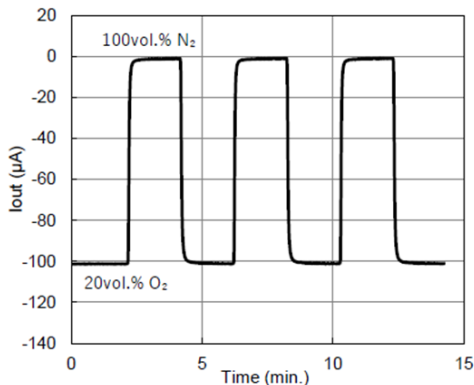
From a system design perspective, one of the most important attributes of the Figaro TGS4260 is its **highly linear output** across the full measurement range under standard test conditions using the recommended measuring circuit the sensor exhibits an almost directly proportional relationship between output current and oxygen concentration from 0 to 25 vol.% O₂. The Sensor Response curve shows only minimal deviation from ideal linearity

throughout the operating range, allowing designers to implement straightforward current-to-concentration conversion without the logarithmic compensation or multi-point linearisation often associated with other electrochemical oxygen sensors. In practical instrument design, this reduces firmware complexity, simplifies calibration routines, and minimises potential inaccuracies introduced by digital compensation.

Dynamic response behaviour is equally important in oxygen safety instrumentation. When transitioning from 100% nitrogen back to ambient air, the sensor reaches approximately 90% of its final output in around 10 seconds. The response is stable and predictable, with little overshoot or oscillation, simplifying alarm threshold implementation and reducing the need for extensive signal filtering.



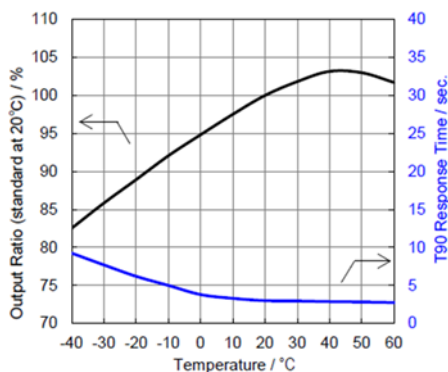
The sensor output approaches near-zero current in nitrogen and reaches approximately -120 μA in ambient air ($\sim 20.9\% \text{O}_2$), providing a useful signal span for stable amplification and high-resolution ADC conversion without excessive gain. Combined with the recommended 20 Ω load resistor, this supports good noise immunity and stable low-level measurement performance.



Repeatability characteristics are particularly strong. During repeated cycling between nitrogen and ambient oxygen, the response shows minimal baseline shift or variation between cycles indicating stable electrode behaviour. For portable and fixed gas detection systems, this supports reduced recalibration frequency and improved confidence in alarm performance.

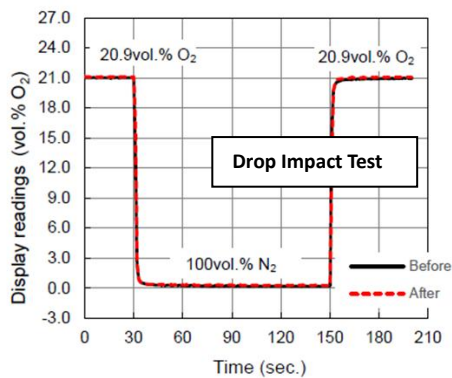
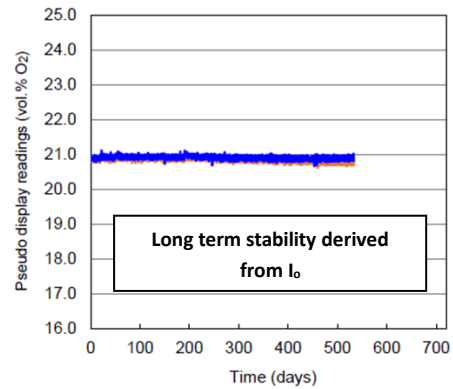
The TGS4260 is well suited to mixed-gas environments due to its **low cross-sensitivity** to common interfering gases. Even exposure to 5,000 ppm hydrogen causes only a modest apparent shift in oxygen reading. This high selectivity helps maintain measurement accuracy while reducing the need for complex software compensation in multi-gas instruments and environments where background gases may fluctuate significantly.

Gas	Concentration	Display readings in vol.% O ₂
Oxygen	20.9%	20.9%
Hydrogen	5,000ppm	20.1-20.2% O ₂
Carbon Monoxide	500ppm	20.8-20.9% O ₂
Carbon Dioxide	10,000ppm	20.8-20.9% O ₂
Hydrogen Sulfide	15ppm	20.8-20.9% O ₂
Sulphur Dioxide	30ppm	20.9%
Nitric Oxide	100ppm	20.7-20.8% O ₂
Nitrogen Dioxide	100ppm	20.9-21.0% O ₂
Ozone	1ppm	20.8-20.9% O ₂
Acetone	1,000ppm	20.8-20.9% O ₂
Ethanol	1,000ppm	20.8-20.9% O ₂



Temperature characteristics further support the sensor's suitability for industrial applications. Output variation with temperature is gradual and predictable, allowing compensation to be implemented using a simple NTC thermistor rather than complex compensation models. The response is rapid, and remains relatively stable at around 3 seconds over a wide temperature range of 0 - 60°C, below which it slows gradually.

Long-term stability is particularly important for OEMs focused on lifecycle cost and maintenance planning. Over a test period of nearly two years, oxygen readings remained close to the nominal 20.9% reference point with minimal drift, supporting extended calibration intervals and reduced maintenance requirements in fixed systems.



Mechanical robustness is another important characteristic. Following repeated 2 m drop tests within a handheld instrument enclosure, no significant change in response behaviour or recovery characteristics was observed. This strong resistance to mechanical shock supports the sensor's suitability for use in demanding field environments..

Taken together, these measured characteristics demonstrate a sensor design optimised for stable, low drift oxygen measurement with minimal signal conditioning complexity. For instrument designers, the combination of linear output, high repeatability, low cross-sensitivity, stable temperature behaviour, and excellent stability over time can significantly simplify both hardware and firmware development while supporting robust long term instrument performance.

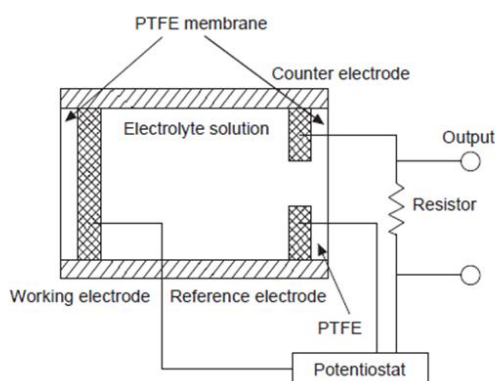
Sauerstoffmessung mit dem bleifreien TGS4260 von Figaro

Der TGS4260 von Figaro ist für Anwendungen zur Sauerstoffüberwachung konzipiert, bei denen ein stabiles Messverhalten, eine hohe Reproduzierbarkeit der Messergebnisse und zuverlässige Langzeitstabilität Vorrang vor einer kurzen Ansprechzeit haben. Sein potentiostatisches, bleifreies elektrochemisches Messprinzip, kombiniert mit geringen Drifteigenschaften und einer hohen Linearität über den gesamten Betriebsbereich, macht ihn geeignet für sowohl tragbare als auch stationäre Messgeräte, die in Inertisierungssystemen, bei der Überwachung beengter Räume, der Sauerstoffmangelüberwachung (ODM), in Gloveboxen, Laborsicherheitssystemen und industriellen Prozessüberwachungsanwendungen eingesetzt werden.

Der Sensor eignet sich besonders gut für Messgeräte, die ein stabiles Kalibrierungsverhalten und eine genaue Sauerstoffmessung bei minimalem Aufwand für die Signalaufbereitung erfordern. Im Gegensatz zu vielen elektrochemischen Sauerstoffsensoren, die auf logarithmische Korrektur oder digitale Mehrpunktlinearisierung angewiesen sind, weist der TGS4260 über seinen gesamten spezifizierten Betriebsbereich eine lineare Ausgangskurve auf. Dies ermöglicht es Entwicklern, einfachere analoge Vorverstärkerschaltungen und unkompliziertere Kalibrierungsstrategien zu implementieren, während gleichzeitig die Komplexität der Firmware reduziert und potenzielle Ungenauigkeiten, die durch digitale Kompensation entstehen, minimiert werden.

Funktionsprinzip des Sensors

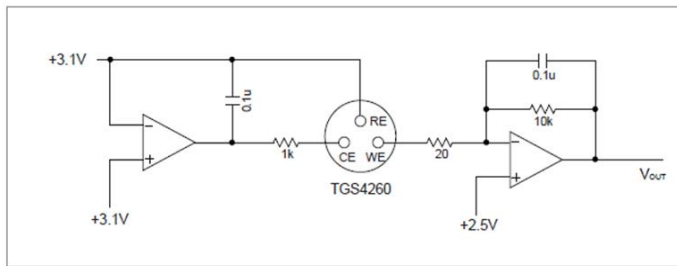
Das Funktionsprinzip des Figaro TGS4260 basiert auf einer potentiostatischen elektrochemischen Zelle mit drei Elektroden. Der Sensor besteht aus einer Arbeitselektrode (WE), einer Gegenelektrode (CE) und einer Referenzelektrode (RE), die alle mit einem flüssigen Elektrolyten in Kontakt stehen und in einer versiegelten, gasdurchlässigen Struktur untergebracht sind. Sauerstoff diffundiert durch eine Membran zur Arbeitselektrode, wo die Messreaktion auf der Oberfläche eines Edelmetallkatalysators stattfindet.



Während des Betriebs hält ein externer potentiostatischer Stromkreis die Arbeitselektrode auf einem festen negativen Potential relativ zur Referenzelektrode. Unter diesen kontrollierten Bedingungen wird Sauerstoff an der Arbeitselektrode reduziert, während an der Gegenelektrode eine entsprechende Oxidationsreaktion stattfindet. Diese Reaktionen erzeugen einen

elektrochemischen Strom, wobei die Ionenleitung durch den Elektrolyten und der Elektronenfluss durch den externen Stromkreis erfolgt.

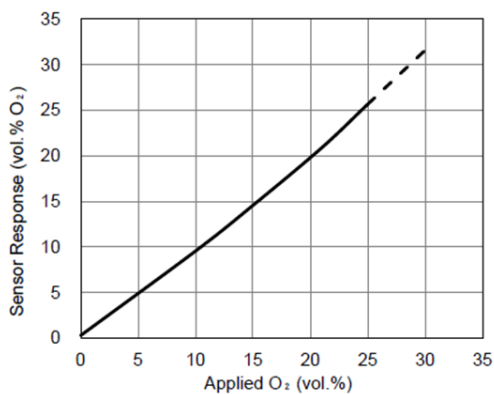
Da die Geschwindigkeit der Sauerstoffreduktion direkt proportional zur Sauerstoffmenge ist, die die Arbeitselektrode erreicht, ist der resultierende Strom proportional zur



Sauerstoffkonzentration in der Umgebung. Dieser Strom wird dann von der Messelektronik in ein Spannungssignal umgewandelt, wodurch ein stabiles und reproduzierbares Ausgangssignal entsteht, das den Sauerstoffgehalt

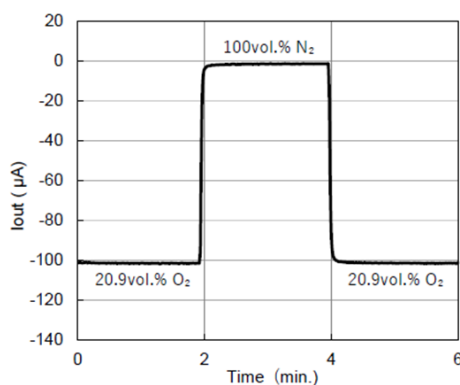
genau wiedergibt, ohne dass eine komplexe Linearisierung des Signals erforderlich ist.

Rohdaten des Sensors



Aus Sicht der Systemauslegung ist eines der wichtigsten Merkmale des Figaro TGS4260 sein **hochgradig linearer Ausgangsstrom** über den gesamten Messbereich hinweg. Unter Standardtestbedingungen und bei Verwendung der empfohlenen Messschaltung weist der Sensor im Bereich von 0 bis 25 Vol.-% O₂ eine nahezu direkt proportionale Beziehung zwischen Ausgangsstrom und Sauerstoffkonzentration auf. Die Sensor-Reaktionskurve weist über den gesamten Betriebsbereich nur minimale

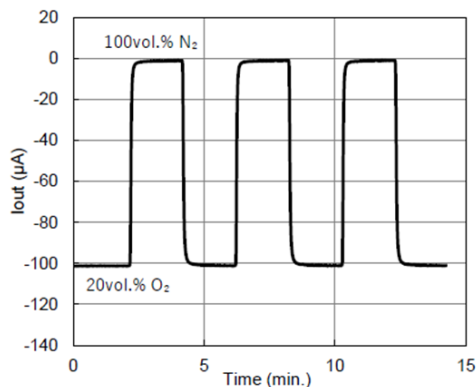
Abweichungen von der idealen Linearität auf, sodass Entwickler eine einfache Strom-Konzentrations-Umwandlung ohne logarithmische Kompensation oder Mehrpunktlinearisierung implementieren können, wie sie bei anderen elektrochemischen Sauerstoffsensoren häufig erforderlich sind. In der praktischen Geräteentwicklung reduziert dies die Komplexität der Firmware, vereinfacht Kalibrierungsroutinen und minimiert potenzielle Ungenauigkeiten, die durch digitale Kompensation entstehen.



Das dynamische Ansprechverhalten ist bei Sauerstoff-Sicherheitsmessgeräten ebenso wichtig. Beim Übergang von 100 % Stickstoff zurück zu Umgebungsluft erreicht der Sensor in etwa 10 Sekunden rund 90 % seines Endausgangswerts. Das Ansprechverhalten ist stabil und vorhersehbar, mit nur geringem Überschwingen oder Schwingen, was die Festlegung von Alarmschwellenwerten vereinfacht und den Bedarf an umfangreicher Signalfilterung verringert.

Der Sensorausgang nähert sich in Stickstoff einem Stromwert nahe Null und erreicht in Umgebungsluft (~20,9 % O₂) etwa -120 µA, was einen nützlichen Signalbereich für eine stabile Verstärkung und eine hochauflösende ADC-Wandlung ohne übermäßige Verstärkung bietet. In Kombination mit dem empfohlenen 20-Ω-Lastwiderstand sorgt dies für eine gute Störfestigkeit und eine stabile Messleistung bei niedrigen Pegeln.

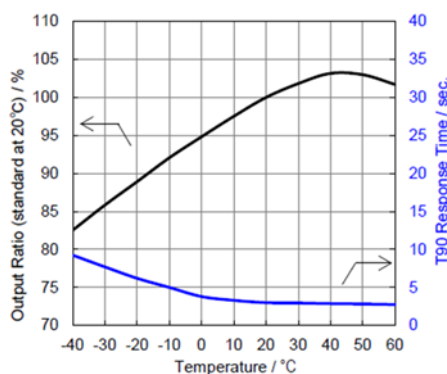
Die Reduzierbarkeit ist hervorzuheben.



Bei wiederholten Zyklen zwischen Stickstoff und Umgebungsluft zeigt die Reaktion nur minimale Verschiebungen der Grundlinie oder Abweichungen zwischen den Zyklen, was auf ein stabiles Elektrodenverhalten hindeutet. Bei tragbaren und ortsfesten Gasmesssystemen trägt dies zu einer geringeren Häufigkeit von Neukalibrierungen und zu einem höheren Vertrauen in die Alarmleistung bei.

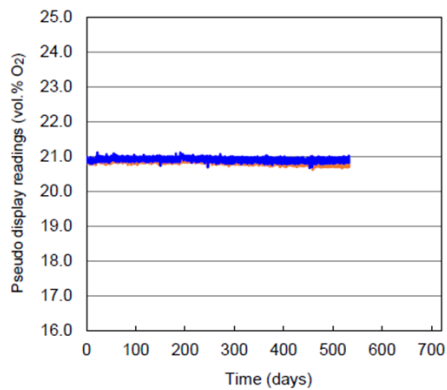
Der TGS4260 eignet sich aufgrund seiner **geringen Querempfindlichkeit** gegenüber gängigen Störgasen besonders gut für Umgebungen mit Gasgemischen. Selbst bei einer Wasserstoffkonzentration von 5.000 ppm kommt es nur zu einer geringen scheinbaren Verschiebung des Sauerstoffmesswerts. Diese hohe Selektivität trägt dazu bei, die Messgenauigkeit aufrechtzuerhalten, und reduziert gleichzeitig den Bedarf an komplexen Softwarekompensationen in Mehrgasmessgeräten und Umgebungen, in denen Hintergrundgase erheblich schwanken können.

Gas	Concentration	Display readings in vol.% O ₂
Oxygen	20.9%	20.9%
Hydrogen	5,000ppm	20.1-20.2% O ₂
Carbon Monoxide	500ppm	20.8-20.9% O ₂
Carbon Dioxide	10,000ppm	20.8-20.9% O ₂
Hydrogen Sulfide	15ppm	20.8-20.9% O ₂
Sulphur Dioxide	30ppm	20.9%
Nitric Oxide	100ppm	20.7-20.8% O ₂
Nitrogen Dioxide	100ppm	20.9-21.0% O ₂
Ozone	1ppm	20.8-20.9% O ₂
Acetone	1,000ppm	20.8-20.9% O ₂
Ethanol	1,000ppm	20.8-20.9% O ₂

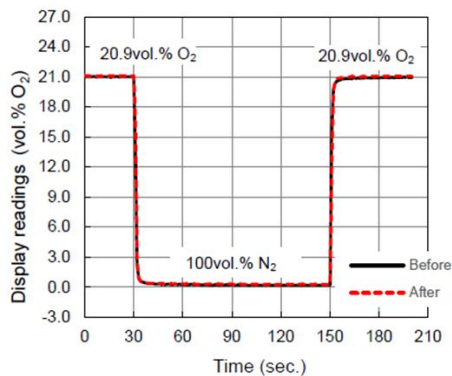


Die Temperatureigenschaften unterstreichen die Eignung des Sensors für industrielle Anwendungen. Die temperaturabhängige Abweichung des Ausgangssignals verläuft allmählich und vorhersehbar, sodass die Kompensation mit einem einfachen NTC-Thermistor anstelle komplexer Kompensationsmodelle erfolgen kann. Die Ansprechzeit ist kurz und bleibt über einen weiten

Temperaturbereich von 0 bis 60 °C bei etwa 3 Sekunden relativ stabil; unterhalb dieser Temperatur verlangsamt sie sich allmählich.



Langfristige Stabilität ist besonders wichtig für Erstausrüster, die sich auf Lebenszykluskosten und Wartungsplanung konzentrieren. Über einen Testzeitraum von fast zwei Jahren blieben die Sauerstoffmesswerte mit minimaler Abweichung nahe am Nennreferenzwert von 20,9 %, was längere Kalibrierungsintervalle und einen geringeren Wartungsaufwand in ortsfesten Systemen ermöglicht.



Die mechanische Robustheit ist ein weiteres wichtiges Merkmal. Nach wiederholten Falltests aus 2 m Höhe in einem handgeführten Messgerät wurde keine nennenswerte Veränderung des Ansprechverhaltens oder der Rückstellcharakteristik festgestellt. Diese hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber mechanischen Stößen unterstreicht die Eignung des Sensors für den Einsatz in anspruchsvollen Feldumgebungen.

Insgesamt zeugen diese Messwerte von einem Sensordesign, das für eine stabile Sauerstoffmessung mit geringer Drift und minimalem Aufwand bei der Signalaufbereitung optimiert ist. Für Geräteentwickler kann die Kombination aus linearem Ausgangssignal, hoher Wiederholgenauigkeit, geringer Querempfindlichkeit, stabilem Temperaturverhalten und ausgezeichneter Langzeitstabilität sowohl die Hardware- als auch die Firmware-Entwicklung erheblich vereinfachen und gleichzeitig eine robuste Langzeitleistung der Geräte gewährleisten.