

O2-Sensoren

<https://de.wikipedia.org/wiki/Sauerstoffsensor>

Sauerstoffsensor

- [Artikel](#)
- [Diskussion](#)
- [Lesen](#)
- [Bearbeiten](#)
- [Quelltext bearbeiten](#)
- [Versionsgeschichte](#)

Ein **Sauerstoffsensor** ist ein Gerät zur Ermittlung von [Konzentrationen](#) von gasförmigem oder gelöstem [Sauerstoff](#) O₂. Zu den wichtigsten Einsatzbereichen gehören Sauerstoffsensoren für die Bestimmung in [Atemluft](#), aber auch die Kontrolle der Vorgänge in [Kläranlagen](#) oder bei der Kraftstoffverbrennung in Motoren.

Die Bestimmung von Sauerstoffkonzentrationen wird auch [Oximetrie](#) genannt. Ein Sauerstoffsensor ist also ein Gerät zur automatischen und oft auch kontinuierlichen Oximetrie. Im Blut kann Sauerstoff zwar wie in Wasser als gelöstes O₂ auftreten, es wird aber auch an [Hämoglobin](#) gebunden und in dieser gebundenen Form vom Blut transportiert. Bei der [Pulsoximetrie](#) wird der Anteil des Hämoglobins gemessen, der mit O₂ beladen ist, wobei die unterschiedliche Färbung der verschiedenen Hämoglobinformen ausgenutzt wird.

Funktionsprinzipien

Es gibt mehrere Funktionsprinzipien, die für Sauerstoffsensoren verwendet werden. Besonders wichtig sind

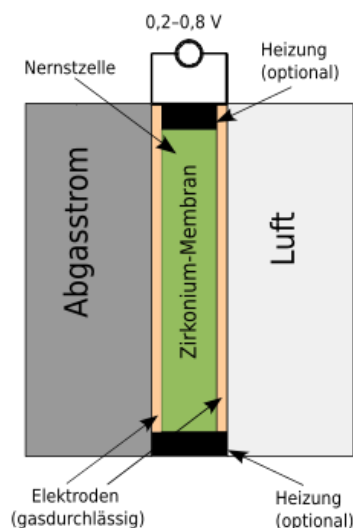
- amperometrische Sensoren, also die Messung einer Stromstärke einer [galvanischen Zelle](#), wobei Sauerstoff an einer [Kathode](#) umgesetzt wird und dadurch zu einem Strom führt.
 - mit festem [Elektrolyten](#), siehe [galvanischer Sauerstoffsensor](#).
 - mit flüssigem Elektrolyten, siehe [Clark-Sensor](#).
- Widerstandssensoren, bei denen sich ein elektrischer Widerstand, zum Beispiel eines [Halbleiteroxides](#), ändert
- [Paramagnetische](#) Sensoren: Sauerstoff ist ein paramagnetisches Gas (siehe [Magnetische Suszeptibilität](#)). Es kann sich in einem Magnetfeld ausrichten und wird dann von einem ausreichend starken Magneten angezogen. Der Effekt ist von der Sauerstoffkonzentration abhängig und verschwindet bei höheren Temperaturen.
- optische Sensoren:
 - Absorptionssensoren, die die Lichtabsorption durch Sauerstoff benutzen, bevorzugt bei 760 nm.

- Optische Sensoren, die die [Fluoreszenz](#) nutzen, die durch Sauerstoff gelöscht werden kann ([Fluoreszenzquencher](#))

Clark-Sensoren

Der [Clark-Sensor](#) wurde vom amerikanischen Biochemiker [Leland C. Clark](#) 1954 entwickelt und gehört damit zu den ältesten Sauerstoffsensoren.^[1] Ursprünglich war er insbesondere dazu gedacht, den Blutsauerstoffgehalt zu messen, doch dieser Art von Sauerstoffsensoren kann zur Bestimmung von Sauerstoff in vielen verschiedenen Lösungen, zum Beispiel Aquarienwasser oder auch Abwasser, genutzt werden. Typisch für diesen Sensortyp ist die [Membran](#), die die Messzelle vom zu untersuchenden Messwasser trennt. Ursprünglich hatte Clark eine [Platinkathode](#) und eine [Silberanode](#) in [chloridhaltiger](#) Lösung verwendet, wobei die Reaktion zu [Silberchlorid](#) führt. Eine wichtige Variante verwendet einen alkalischen Elektrolyten und eine [Bleianode](#) (Gesamtreaktion: $2 \text{ Pb} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ PbO}$).

Nernstsonde/Lambdasonde



Planare Nernstzelle/Lambdasonde, schematisch

Die [Lambdasonde](#) dient zur Bestimmung des Restsauerstoffs in Abgasen (häufig Motorabgasen) so wie zur Kontrolle und Optimierung von Verbrennungsprozessen beziehungsweise deren Wirkungsgrad. Neben den Fahrzeugmotoren sind generell auch andere Verbrennungsprozesse z. B. in [Müllverbrennung](#), [Kohlekraftwerken](#) aber auch Stahlhöfen Einsatzort solcher Sensoren. Viele Lambdasonden sind als Nernstsonden aufgebaut und nutzen als Membran einen festen, keramischen, Sauerstoffionen leitenden Elektrolyten (meist aus [Zirkoniumoxid](#)), wobei an der Membran eine Spannung entsteht, die in Abhängigkeit zum Unterschied des Sauerstoffgehalts der Gase auf beiden Seiten (Abgas/Luft) steht, der gemessen wird.

Paramagnetische Sensoren

Der Sensor basiert auf der paramagnetischen Eigenschaft von Sauerstoff, wodurch sich

Sauerstoff in einem Magnetfeld anziehen bzw. beschleunigen lässt. Bei höheren Temperaturen ($\approx 300\text{ °C}$) verliert Sauerstoff seine paramagnetischen Eigenschaften.

Im Sensor kommt es zu einer sich einstellenden Gaszirkulation, bei der das Gas durch einen Heizdraht (300 °C) aufgeheizt und an den Wänden wieder abgekühlt wird. Bei Anwesenheit von Sauerstoff werden die O_2 -Moleküle durch den Magneten zum Heizdraht hin beschleunigt, wo sie ihre magnetische Eigenschaft verlieren. So entsteht eine zusätzliche Strömung, deren Intensität vom Sauerstoffgehalt abhängt. Die Strömung kühlt den Heizdraht zusätzlich ab, was zu einer Widerstandsänderung führt, die mit Hilfe einer Brückenschaltung erfasst werden kann.

Widerstandssonde

Das Sensorelement einer [Widerstandssonde](#) besteht aus einer halbleitenden [Titandioxidkeramik](#). Die Ladungsträger werden durch Sauerstofffehlstellen, die als [Donatoren](#) wirken, zur Verfügung gestellt. Bei umgebendem Sauerstoff werden die Fehlstellen besetzt und reduzieren die Zahl der freien Ladungsträger. Die Sauerstoffionen tragen hier nicht wesentlich zur Leitfähigkeit bei, jedoch reduziert der Sauerstoff die Zahl der freien Ladungsträger. Bei hoher Sauerstoffkonzentration hat das Sensormaterial einen großen Widerstand. Die [elektrische Leitfähigkeit](#) σ im Arbeitsbereich wird beschrieben durch eine [Arrhenius-Gleichung](#) mit einer [Aktivierungsenergie](#) E_A :

$$\sigma = A \cdot e^{-\frac{E_A}{k \cdot T}} \cdot p(\text{O})^{-1/4}$$

^[2] Während bei amperometrischen Sauerstoffsensoren regelmäßig die Membran, der Elektrolyt und die Elektroden zur Beibehaltung der Funktion ausgetauscht werden müssen, sind die optischen Sensoren besonders wartungsarm.^[3] Außerdem ermöglichen sie eine kontaktfreie Messung durch eine transparente Gefäßwandung hindurch, was Anwendungen, in denen Kontaminationen vermieden werden müssen, erleichtert.

Anwendung

In der Medizin und der klinischen Forschung ist die Bestimmung der Sauerstoffkonzentration im Gewebe wichtig. Die ältesten Sensoren waren [polarographische](#) Nadelsysteme, Eppendorf genannt.^[4] Später wurden andere Sensoren entwickelt, die auf den **Prinzipien [Fluoreszenz-Quenching](#), [Phosphoreszenz-Quenching](#)**, Nah-[Infrarot](#)-Absorption und [Magnetresonanz](#) beruhen.^[5]

Um Sauerstoffmessungen ohne Nadel durchführen zu können, wurden perkutane [Messsysteme](#) (Englisch: Transcutaneous oxygen monitoring, TcOM) entwickelt.^[4] Diese beruhen auf dem Prinzip der Polarographie. Einsatzgebiete sind zum Beispiel periphere Durchblutungsstörungen, bei denen über eine Amputation entschieden werden muss.^[6] Auch bei der Intensivüberwachung Neugeborener, insbesondere nach Frühgeburten, hat die perkutane Sauerstoffmessung eine große Bedeutung.^[7]

Fluoreszenz-Quenching (Desaktivierung)

https://www.coastalwiki.org/wiki/Oxygen_sensors

Nichtstrahlende [Desaktivierungsprozesse](#) können durch Gegenwart bestimmter Stoffe, sogenannter [Quencher](#), gefördert werden. Das Phänomen, dass diese Konkurrenzprozesse die Fluoreszenz vermindern, wird als [Fluoreszenzlöschung](#) (*quenching*) bezeichnet. **Ein wichtiger Quencher, besonders für die Fluoreszenz organischer Fluorophore, ist molekularer Sauerstoff (O_2).** Hierauf beruhen Verfahren zur Bestimmung der [Massenkonzentration](#) von Sauerstoff in der [Sensorik](#) (Sauerstoffsensor), z. B. zur Überwachung der Sauerstoffkonzentration in der [Luft](#). Die Abhängigkeit der Fluoreszenzquantenausbeute von der Konzentration eines Quenchers wird oft durch die [Stern-Volmer-Gleichung](#) gut beschrieben.

In einem alternativen, nichtstrahlenden Prozess kann der angeregte Zustand durch ein sog. [intersystem crossing](#) seine Multiplizität zum in der Regel energetisch tieferliegenden [Tripletzustand](#) (Ausnahme: z. B. molekularer [Sauerstoff](#)) ändern. Von hier aus sind wiederum verschiedene Desaktivierungskanäle offen, wobei der strahlende, d. h. Licht emittierende, als [Phosphoreszenz](#) bezeichnet wird.

Oxygen Sensor: Fluorescence quenching ("Optode")



Fig. 2: Photographs of the Aanderaa optode removed from its housing for cleaning

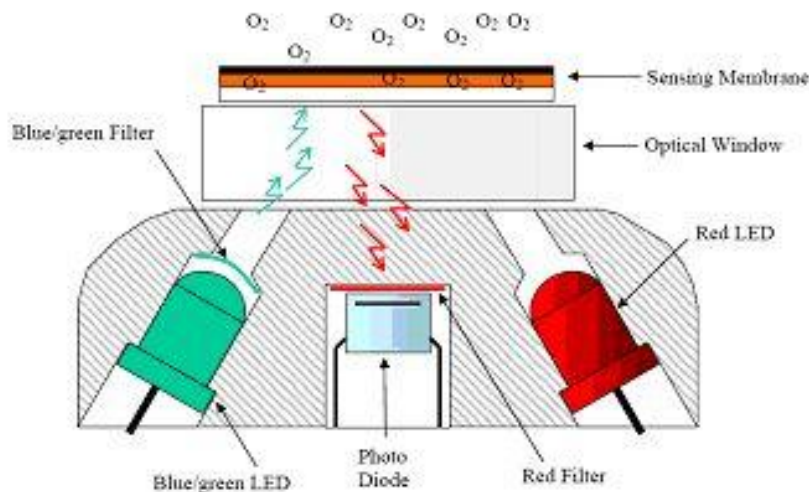


Fig. 3: Diagram of the optical design of the Aanderaa oxygen optode (taken from Tenberg et al., Submitted).

Description of the Sensor

Tenberg et al (submitted) have produced a paper, which describes in detail the development of the idea of the oxygen optode and its application in a number of environments including long-term deployments on mooring. The reference point for all oxygen measurements is the “Winkler Method”. The standard method to determine concentrations of oxygen in water is a two-step wet chemistry precipitation of the dissolved oxygen followed by a titration.

The method was first described by Winkler (1888^[3]) and has since become the standard method. Winkler titration is always performed on collected water samples. The collection and handling of water samples can induce errors and the analytical work is time consuming and demands meticulous care. It is therefore not a suitable method to obtain in-situ data with high spatial and temporal resolution.

Tenberg et al (submitted) have shown that the oxygen optode provides a more suitable method than electrochemical sensors for direct measurement of dissolved oxygen. Optode technology has been known for years but it is relatively new to the aquatic research. The fundamental principle is based on the ability of selected substances to act as dynamic fluorescence quenchers. In the case of oxygen, if a ruthenium complex is illuminated with a blue light it will be excited and emits a red luminescence with an intensity and lifetime that depends on the ambient oxygen concentration. It is important to distinguish between three different principles in detecting the red luminescence: Intensity (how strong the return is), life-time (how quickly the return dies out) and phase shift (in principle also a life time based measurement, see below Measurement Principle). Intensity based measurements are technically easier to do, but they can drift over time. The different signal detection techniques are summarized by Wolfbeis (1991^[4]), Demas et al. (1999^[5]) and Glud et al. (2000^[6]) along with a wide range of applications. The function and use of lifetime-based optodes was described by Holst et al. (1995^[7]) and Klimant et al. (1997^[8]).

Measurement principle

The “Oxygen Optode” from Aanderaa Instruments is based on oxygen luminescence quenching of a platinum porphyrins complex. The lifetime and hence the oxygen measurement is made by a so-called phase shift detection of the returning, oxygen quenched red luminescence.

The basic working principles of dynamic fluorescence quenching, lifetime-based optodes and phase shift detection can be found in e.g. Klimant et al. (1996^[8]); Demas et al. (1999^[5]); Glud et al. (2000^[6]).

The sensor housing is made of Titanium, rated to 6000 dbar pressure, with a diameter of 36 mm and a total length of 86 mm. This housing includes an optical part (Fig. 1 a temperature sensor and the necessary electronics (a microprocessor with digital signal processing capacity) to process signals and output absolute temperature compensated oxygen readings. The sensing foil is composed of the oxygen sensitive fluorescent substance (luminophore) that is embedded in a polymer layer, which is coated onto a thin film of polyester support.

The most commonly used oxygen luminophores have been ruthenium complexes^[8] but for this sensor an oxygen sensitive luminophore based on a platinum porphyrine complex, commercial available from PreSens GmbH (Regensburg, Germany) was used due to its higher dynamics. Two types of foils, with and without, a gas permeable protective black silicon layer is available (Fig. 2). The silicon layer also acted as an optical isolation layer to avoid potential influence from fluorescent material in the surrounding water and/or direct incoming sunlight, when measuring in the photic zone. The disadvantage of this layer is that the sensor response time becomes longer.

Optochemical oxygen sensor

<https://wiki.anton-paar.com/ch-de/optochemischer-sauerstoffsensor/>

The measuring principle of an optochemical oxygen sensor is based on the effect of **dynamic luminescence quenching** by molecular oxygen. This kind of oxygen sensor is frequently used in the pharmaceutical industry, medical research industry, and in the beverage industry. State-of-the-art optochemical oxygen sensors are basically maintenance-free compared to an electrochemical optode (also known as a Clark electrode). Furthermore, the response time is faster and the measurement doesn't consume oxygen (it is a non-consumptive measurement).

How does the optochemical oxygen measurement work?

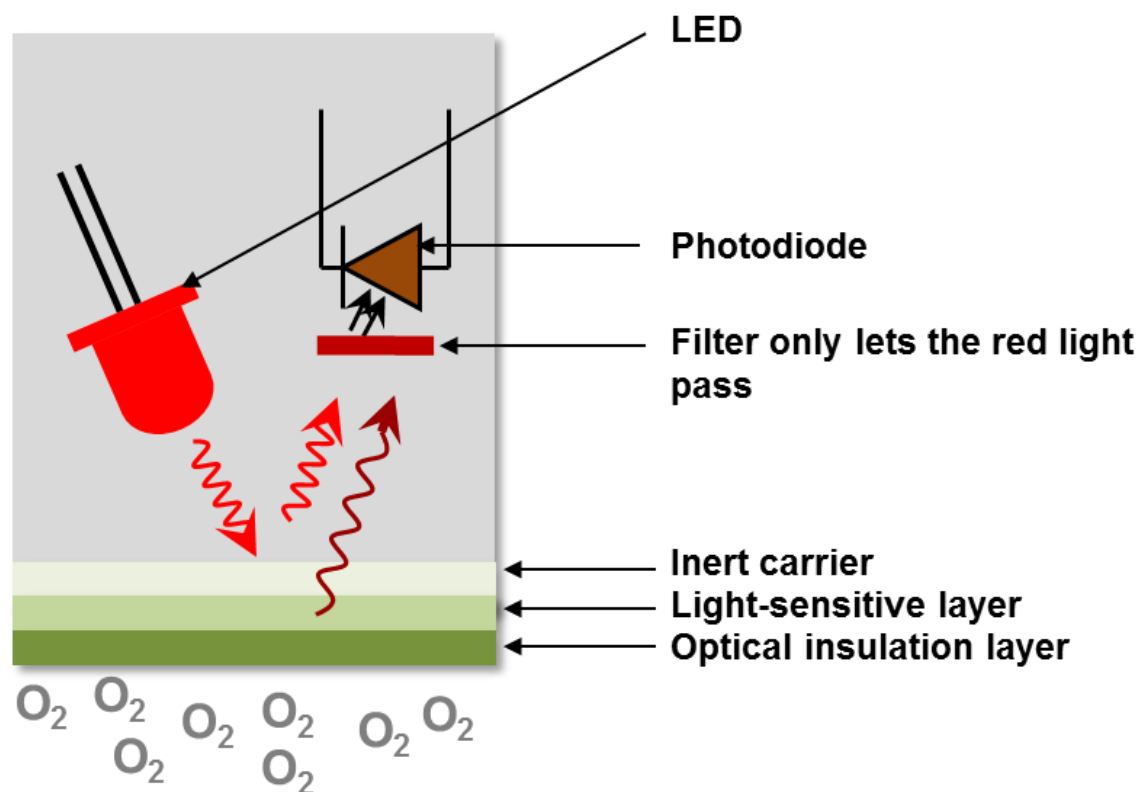


Figure 1: Technical setup of an optochemical oxygen sensor

An LED of suitable wavelength sheds light on the luminescent layer, the dye (luminescent layer) absorbs the emitted light and as a consequence gets transferred to an excited state.

When returning to the ground state, the dye emits light of a different, less energetic wavelength. (The emitted light is called luminescence.) The emitted light is detected by a photodetector and amplified. If an oxygen-free atmosphere, e.g. pure nitrogen, is present, the emitted energy is high. (Figure 2)

The more oxygen is present, the more energy gets transferred from the excited dye to the oxygen molecules. The oxygen, even though it absorbs energy, does not emit light and, thus, once oxygen is present the amount of emitted light by the dye is much smaller.

In short, the more oxygen is present, the less the dye emits. The fact that oxygen takes over energy from the excited dye is called "dynamic luminescence quenching". (Figure 3)

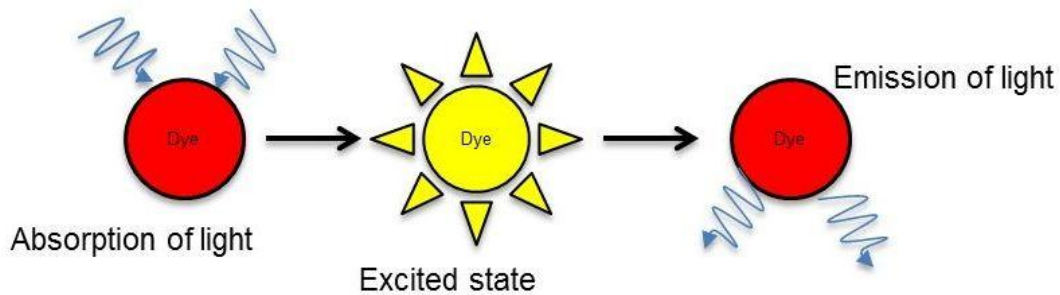
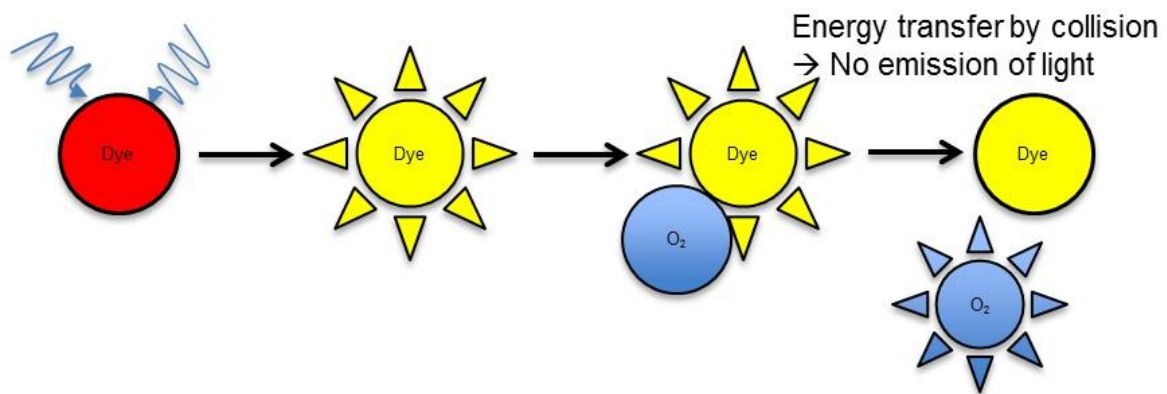


Figure 2: Luminescence process in the absence of oxygen



For the beverage industry the most frequently used units are ppb and ppm.

What is one ppm?

ppm = mg/L = part(s) per million = 10^{-6}

What is one ppb?

ppb = $\mu\text{g/L}$ = part(s) per billion = 10^{-9}

In order to get a better idea of what one ppb actually is, it can be seen as 1 second in almost 32 years!

Benefits

Easy to maintain

Optochemical oxygen measurement requires no electrolyte solutions or exchange of the anode/cathode. Only the O_2 sensor cap has to be replaced. Therefore, an optochemical sensor is easy to maintain and the service expenses are low.

Fast response time

The oxygen doesn't have to diffuse through a membrane – consequently the reaction and response times are much faster.

Independent of sample flow

Due to the independence of the sample flow, reliable oxygen readings can be achieved.

Quellen

1. L. C. Clark, R. Wolf, D. Granger, Z. Taylor: *Continuous recording of blood oxygen tensions by polarography*. In: *Journal of Applied Physiology*. Band 6, Nr. 3, September 1953, [ISSN 0021-8987](#) , S. 189–193, [doi:10.1152/jappl.1953.6.3.189](#), [PMID 13096460](#).
2. M. Holtappels, L. Tiano, T. Kalvelage, G. Lavik, N. P. Revsbech, M. M. Kuypers: *Aquatic Respiration Rate Measurements at Low Oxygen Concentrations*. Band 9, Nr. 2, Februar 2014, [doi:10.1371/journal.pone.0089369](#) , [PMID 24586724](#).
3. J. Friedrich, A. Langin, K. Kümmerer: *Comparison of an Electrochemical and Luminescence-Based Oxygen Measuring System for Use in the Biodegradability Testing According to Closed Bottle Test (OECD 301D)*. In: *Clean Soil Air Water*. Band 41, Nr. 3, März 2013, S. 251–257, [doi:10.1002/clen.201100558](#)
4. Maciej M. Kmiec, Huagang Hou, M. Lakshmi Kuppusamy, Thomas M. Drews, Anjali M. Prabhat: *Transcutaneous oxygen measurement in humans using a paramagnetic skin adhesive film*. In: *Magnetic Resonance in Medicine*. Band 81, Nr. 2, Februar 2019, [ISSN 0740-3194](#) , S. 781–794, [doi:10.1002/mrm.27445](#) , [PMID 30277275](#), [PMC 6289671](#) (freier Volltext).
5. Philip Bickler, John Feiner, Mark Rollins, Lingzhong Meng: *Tissue Oximetry and Clinical Outcomes*. In: *Anesthesia and Analgesia*. Band 124, Nr. 1, Januar 2017, [ISSN 1526-7598](#) , S. 72–82, [doi:10.1213/ANE.0000000000001348](#) , [PMID 27308951](#).
6. Judith Catella, Anne Long, Lucia Mazzolai: *What Is Currently the Role of TcPO₂ in the Choice of the Amputation Level of Lower Limbs? A Comprehensive Review*. In: *Journal of Clinical Medicine*. Band 10, Nr. 7, 1. April 2021, [ISSN 2077-0383](#) , S. 1413, [doi:10.3390/jcm10071413](#) , [PMID 33915838](#), [PMC 8037184](#) (freier Volltext) – ([mdpi.com](#) [abgerufen am 17. November 2021]).
7. Willem van Weteringen, Tanja van Essen, Norani H. Gangaram-Panday, Tom G. Goos, Rogier C.J. de Jonge: *Validation of a New Transcutaneous tcPO₂/tcPCO₂ Sensor with an Optical Oxygen Measurement in Preterm Neonates*. In: *Neonatology*. Band 117, Nr. 5, 2020, [ISSN 1661-7800](#) , S. 628–636, [doi:10.1159/000510659](#)

Optischer Sauerstoffsensor im Vergleich zu konventionellen Sauerstoffsensoren..

<https://www.processsensing.com/de-de/blog/Optische-Sauerstoff-Sensoren-Schl%C3%BCssel-Nutzen-und-Anwendungen.htm>

Als führender Anbieter fortschrittlicher Gassensorik bietet Process Sensing Technologies ein umfassendes Sortiment an Sensorlösungen für die Sauerstoffmessung an.

Ergänzend zu den leistungsstarken Zirkondioxid-Produkten des Unternehmens nutzt die LuminOx-Familie eine proprietäre Festkörpertechnologie, um Sensoren mit der Kosteneffizienz herkömmlicher elektrochemischer Sauerstoffsensoren zu liefern, jedoch mit einer Reihe von wichtigen zusätzlichen Vorteilen.

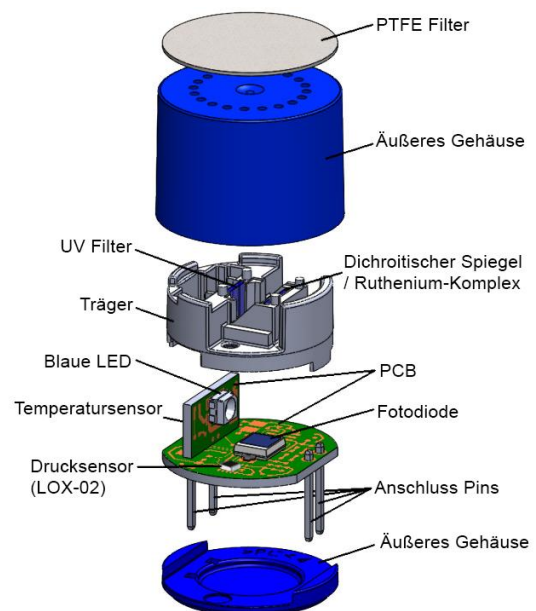
Die optisch basierten, werkskalibrierten LuminOx-Sensoren basieren auf der Lumineszenzlöschung durch Sauerstoff. Gepulstes Licht wird auf einen sauerstoffempfindlichen Fluoreszenzfarbstoff gerichtet und bringt diesen zum Fluoreszieren. Die Geschwindigkeit, mit der diese Fluoreszenz abklingt, ist umgekehrt proportional zur Menge des in der Umgebung vorhandenen Sauerstoffs.

Die Sauerstoffdetektion hat sich bisher auf konventionelle Sauerstoffsensoren wie elektrochemische Messmechanismen verlassen, die auf einen Elektrolyten angewiesen sind, der über einen kurzen Zeitraum verbraucht wird. Typische Rückmeldungen über die Lebensdauer, die Kunden von einem elektrochemischen Sensor erhalten, liegen in der Regel bei etwa 2 Jahren, bevor er ausgetauscht werden muss. Diese Art von Technologie ist eine sich selbst abbauende, galvanische Zelle, die wie eine Metall/Luft-Batterie funktioniert. Sie verbrauchen sich in Gegenwart von Sauerstoff ständig und die Lebensdauer ist im Allgemeinen durch den flüssigen Elektrolyten und die verbrauchbare Bleianode begrenzt.

Ein wesentlicher Vorteil der LuminOx-Sensorfamilie ist, dass die Technologie keine Bleikomponenten enthält und die Einwirkung von Sauerstoff den Fluoreszenzfarbstoff nicht verarmt.

Die LuminOx-Sauerstoffsensoren können über einen viel längeren Zeitraum in Anwendungen eingesetzt werden als konkurrierende Sauerstoffsensoren in dieser Preisklasse. Die angegebene Lebensdauer für diese Sensoren beträgt 5 Jahre.

LuminOx hat eine minimale Querempfindlichkeit mit anderen Gasen, da die Lumineszenzlöschung durch Sauerstoff hochselektiv ist. Elektrochemische Sensoren werden in der Regel mit einer Liste kreuzempfindlicher Gase geliefert.



Elektrochemische Sensoren sind temperaturempfindlich und benötigen daher eine externe Kompensation mittels Hardware- oder Softwareverfahren. LuminOx ist vollständig temperatur- und barometrisch kompensiert. LuminOx misst und kompensiert nicht nur die Temperatur, sondern seine serielle RS232-Kommunikationsschnittstelle ermöglicht es, die Gastemperatur und den Druck zu messen und zusammen mit dem Sauerstoffwert zu übertragen - ein zusätzlicher Bonus.

Die LuminOx-Sauerstoffsensordfamilie wird in verschiedenen Anwendungen eingesetzt, in der Medizin, der Industrie und im Transportwesen. Die Messaufgaben lassen sich in drei Hauptkategorien einteilen. Kontrolle von niedrigem Sauerstoffgehalt, Aufrechterhaltung des Sauerstoffgehalts in der Umgebung und Vorbeugung von Sauerstoffverarmung.

Typische Anwendungen für optische Sauerstoffsensoren sind:

- **Kontrollierte Atmosphäre/Lagerung von verderblichen Waren**
- **Inkubatoren und andere hypoxische Life-Science-Produkte**
- **Biogas-Überwachung**
- **Sauerstoffmangelalarm, Bereichsüberwachung**
- **Höhenübungsräume**
- **Umgebungsluftüberwachung**
- **Getränkestickstoff-Generatoren**
- **Portable/ferngesteuerte Datenerfassung**



LuminOx Optische Sauerstoffsensoren

Im Gegensatz zur elektrochemischen Sauerstoffsensortechnologie ist LuminOx ein fluoreszenzbasierter, kompakter Sauerstoffsensor, der von einem eingebauten Drucksensor, Temperaturkompensation und einem digitalen Ausgang profitiert. Er ist eine kostengünstige Lösung mit geringem Stromverbrauch, langer Lebensdauer, nicht verbrauchend und RoHS-konform mit vernachlässigbarer Querempfindlichkeit.



Eine häufige Anwendung für die optischen Sauerstoffsensoren LuminOx von PST ist der medizinische Markt für die Mikroskopie lebender Zellen in hypoxischen Umgebungen. LuminOx wird erfolgreich in IVF-Inkubatoren eingesetzt, um niedrigere Sauerstoffwerte zu überwachen, was dazu beiträgt, die Anzahl der erfolgreichen Befruchtungen von Embryonen zu erhöhen.

FrISChe und reife verderbliche Lebensmittel während des Transports frisch zu halten, ist eine Herausforderung. Die optischen Sauerstoffsensoren von LuminOx werden derzeit in Lagercontainern eingesetzt, die verderbliche Waren von einem Ende des Globus zum anderen transportieren. Die Sensoren stellen sicher, dass die Sauerstoff- und Temperaturwerte auf einem niedrigen Niveau gehalten werden, um die Reifung der Waren während des Transports zu verhindern. Dieser Prozess erhält die Qualität, das Aussehen und den Geschmack der Früchte, bis sie an ihrem endgültigen Bestimmungsort ankommen.

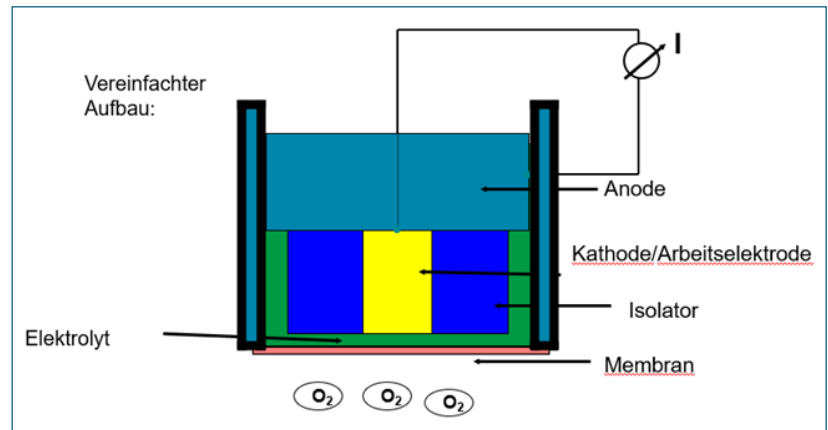
“Die LuminOx-Familie ist deutlich widerstandsfähiger gegenüber Umwelteinflüssen als elektrochemische Sauerstoffsensoren und kann sowohl mit größeren Betriebstemperaturen als auch mit schnellen Druckänderungen umgehen. Dadurch bieten sie dem Markt eine wesentlich stabilere Lösung zur Sauerstoffmessung, die niedrige Kosten, minimalen Stromverbrauch und einfache Installation mit längerer Lebensdauer und voller RoHS-Konformität von Anfang an kombiniert.”

- Paddy Shannon, Der technische Leiter von SST Sensing.

Galvanischer Sauerstoffsensor

https://de.wikipedia.org/wiki/Galvanischer_Sauerstoffsensor

- [Artikel](#)
- [Diskussion](#)
- [Lesen](#)
- [Bearbeiten](#)
- [Quelltext bearbeiten](#)
- [Versionsgeschichte](#)



Quelle: xylemanalytics.com

galvanische Sauerstoffsensoren aus einem [Kreislauf-Tauchgerät](#)

Ein **galvanischer Sauerstoffsensor** ist ein bestimmter Typ einer **Brennstoffzelle**. Es handelt sich dabei um ein elektrisches Gerät, das dazu dient, die Konzentration von **Sauerstoff** beim **Gerätetauchen** und in **medizinischen** Apparaten zu messen.

Wenn das darin enthaltene **Kaliumhydroxid** in Berührung mit Sauerstoff gerät, kommt es zu einer **chemischen Reaktion** in der Brennstoffzelle. Daraus resultiert ein **elektrischer Strom**, der zwischen einer **Blei-Anode** und einer **vergoldeten Kathode** durch einen **Lastwiderstand** fließt. Dieser Strom verhält sich proportional zur vorhandenen Sauerstoffkonzentration.

Man verwendet galvanische Sensoren in Sauerstoffmessgeräten beim **Tauchen**, um vor einem Tauchgang den Sauerstoffgehalt in **Nitrox** oder **Trimix Atemgasgemischen** zu überprüfen. Ebenso nutzt man sie in elektronischen **Kreislauf-Tauchgeräten**, sogenannten **Rebreathern**, um den **Partialdruck** des Sauerstoffs während eines Tauchgangs zu überwachen.

Galvanische Sauerstoffsensoren haben eine begrenzte Lebensdauer, die sich reduziert, wenn sie hohen Sauerstoffkonzentrationen ausgesetzt sind. Bei der Reaktion von Sauerstoff und Blei an der Anode wird Blei verbraucht, was irgendwann zu Messfehlern bei hohen Sauerstoffkonzentrationen führt. Im Normalfall arbeitet eine Zelle, die man beim Tauchen verwendet, über einen Zeitraum von circa 3 Jahren korrekt, wenn man sie in einem luftdicht verschlossenen Beutel aufbewahrt. Der Zeitraum reduziert sich dagegen auf nur 4 Monate, wenn man sie in reinem Sauerstoff lagert.

Nachteile

Die beschriebene Form von Brennstoffzellen ist vergleichbar mit einer [Batterie](#), denn sie hat je nach Einsatzgebiet eine begrenzte Lebensdauer. Die chemische Reaktion lässt die Zelle einen Strom mit einer berechenbaren Spannung erzeugen, die vom jeweils verwendeten Material abhängt. Theoretisch gesehen sollte eine Zelle diese Spannung vom Tag ihrer Herstellung an so lange liefern, bis sie selbst verbraucht ist, es sei denn, man entfernt den Bestandteil Sauerstoff der beabsichtigten Reaktion aus dem Aggregat.

Sauerstoff ist einer der Brennstoffe der Zelle, also wird umso mehr Elektrizität erzeugt, je mehr Sauerstoff verfügbar ist. Die chemischen Eigenschaften aller Materialien bestimmen die Spannung, die Menge des verfügbaren Sauerstoffs dagegen, wie viel elektrischer Strom produziert werden kann. Wenn man einen [Stromkreis](#) mit entsprechendem Verbrauch an eine solche Zelle anschließt, kann man eine bestimmte elektrische Leistung nutzen. Sobald man allerdings den Verbrauch erhöht, lässt die Leistung der Zelle nach.

Fehlfunktionen der Sensoren können für Taucher, insbesondere für Anwender von Rebreathern, lebensgefährlich sein. Die üblichen Ausfallarten galvanischer Sensoren sind:

- überhöhte Messwerte aufgrund von Lecks im Elektrolytbehälter,
- eingeschränkte Stromstärke bei aufgebrauchten Zellen,
- nicht lineare Leistung innerhalb des Messbereichs.

Sämtliche Fehlfunktionen haben ihre Ursache normalerweise in mechanischen Beschädigungen, Verunreinigungen während der Herstellung oder Defekten im Herstellungsprozess.

Überhöhte Messwerte werden ausnahmslos durch Herstellungsfehler oder mechanische Beschädigungen verursacht. In einem Kreislauftauchgerät haben sie eine Überschätzung des Sauerstoffgehalts im Kreislauf zur Folge, wodurch das Gerät zu wenig Sauerstoff ersetzt, was in der Regel zu [Hypoxie](#) führt.

Sensoren mit eingeschränkter Stromstärke erzeugen trotz hoher Sauerstoffwerte einen niedrigeren Messwert. Im Kreislauftauchgerät wird daher aufgrund der Unterschätzung des Sauerstoffgehalts im Kreislauf ständig Sauerstoff hinzugefügt, um einen Wert zu erreichen, den der Sensor bereits nicht mehr darstellen kann. Das Resultat ist in der Regel die als [Paul-Bert-Effekt](#) bekannte Hyperoxie.

Bei [nicht linearer](#) Leistung verhält sich der Sensor im vorgesehenen Messbereich des Sauerstoff-Partialdrucks nicht wie erwartet. Bei einer [Kalibrierung](#) wird der Fehler üblicherweise nicht erkannt, was zu einem fehlerhaften Füllstand des Kreislauftauchgeräts führt. Dies kann möglicherweise eine [Dekompressionskrankheit](#) verursachen.

Unfälle aufgrund von Fehlfunktionen der Sensoren in Kreislauftauchgeräten lassen sich in den meisten Fällen verhindern, indem man die Zellen vor jedem Einsatz ordnungsgemäß überprüft.

Manche Taucher führen Prüfungen im Wasser durch, indem sie den Partialdruck des Sauerstoffs im Kreislauf auf einen Wert über dem von reinem Sauerstoff auf Meereshöhe erhöhen, um festzustellen, ob der Sensor hohe Werte noch verarbeiten kann. Dieser Test ist jedoch nur punktuell und lässt keine sichere Aussage über die mögliche Fehlerhaftigkeit eines Sensors zu.

Die einzige Möglichkeit, einen Sensor ordnungsgemäß zu überprüfen, besteht daher in einer kalibrierten Testkammer, die sowohl einen [statischen Druck](#) ohne Abweichungen aufrechterhalten kann, als auch über die Möglichkeit verfügt, Messwerte aufzuzeichnen und [grafisch auszuwerten](#).

Überprüfung

Eines der ersten kommerziell verfügbaren Geräte zur Überprüfung von galvanischen Sauerstoffsensoren wurde im Jahr 2005 von Narked at 90^[1] auf den Markt gebracht, allerdings ohne großen Erfolg. Ein stark überarbeitetes Modell folgte im Jahr 2007 und gewann den „Gordon Smith Award“ für Innovation während der Fachmesse der Tauchausrüster in Florida.

Inzwischen werden die Geräte weltweit von Organisationen wie NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration),^[2] NURC (NATO Underwater Research Centre)^[3] und DDRC (Diving Diseases Research Centre)^[4] eingesetzt.

Literatur

Sauerstoffmessung für Taucher

- Helge Weber: Fachbuch, empfohlen vom Rebreather Advisory Board e. V. [Books on Demand](#), 2006, [ISBN 978-3-8334-6795-0](#).

Sauerstoffmessung für OC- und Rebreather-Taucher

- Helge Weber: Fachbuch, empfohlen vom Rebreather Advisory Board e. V. [Books on Demand](#), 2009, [ISBN 978-3-8370-3307-6](#).

Weblinks

- [Wissenschaftlich technische Werkstätten](#). (PDF; 1,3 MB) – Hersteller von Sauerstoffsensoren.
- [Analytical Industries](#). – Hersteller von Sauerstoffsensoren für Kreislauftauchgeräte.
- [Teledyne Analytical Instruments](#). – Hersteller von Sauerstoffsensoren für Kreislauftauchgeräte.
- [SECO Controls](#).

([Memento](#) vom 3. Januar 2008 im [Internet Archive](#)) – Indischer Hersteller von auf Zirkoniumdioxid basierenden Sauerstoffsensoren und Überwachungsgeräten.

Einzelnachweise

1. [Narked at 90](#) ([Memento](#) vom 7. April 2008 im [Internet Archive](#))
2. [NOAA \(National Oceanic and Atmospheric Administration\)](#)
3. [NURC \(NATO Underwater Research Centre\)](#) ([Memento](#) vom 13. März 2007 im [Internet Archive](#))
4. [DDRC \(Diving Diseases Research Centre\)](#)

Der Zirkonium-Sensor

Optimale-O₂-Konzentrationen für Multigas-Inkubatoren mit Zirkoniumsensoren

IncuSafe Multigas-Inkubatoren von PHCbi bieten einen erschöpfungs-freien Entwurf für eine genaue O₂-Regelung mit einer schnellen Reaktion auf Türöffnungen. Der wartungsfreie Zirkonium-Festkörpersensor zeichnet sich durch einen hohen Grad an Präzision sowie eine lange Lebensdauer aus, und er benötigt keine Feineinstellung. Nach der genauen Bestimmung des O₂-Niveaus in der Kammer, bläst der Mikroprozessor entweder Stickstoff oder Sauerstoff nach Bedarf ein:



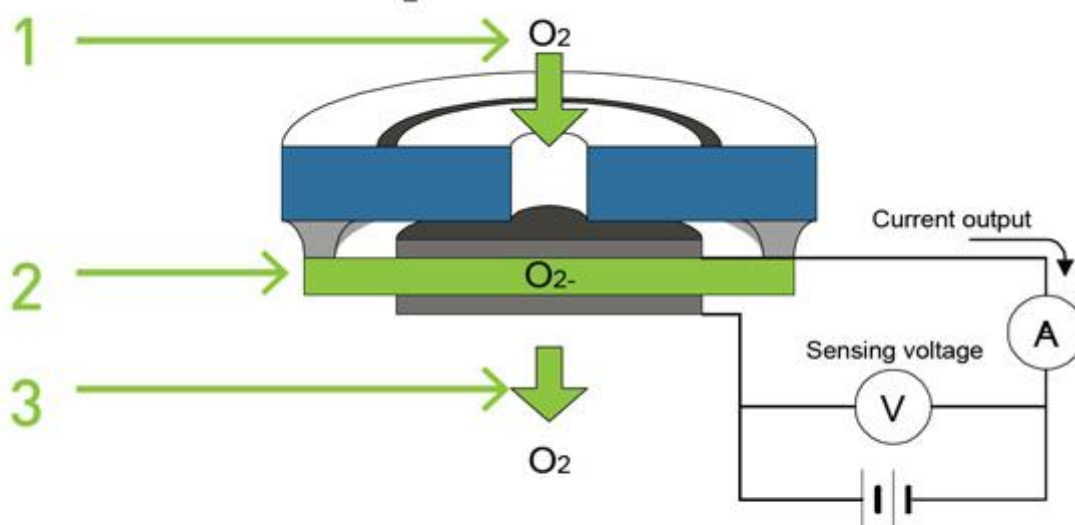
Funktionsweise von Zirkonium im Zirkoniumsensor

Der von PHCbi verwendete O₂-Sensor verwendet Zirkoniumkeramik zur Messung der O₂-Konzentration Ihres Geräts. Der Sensor ist mit nichtbeweglichen Teilen ausgestattet, die eine lange Lebensdauer haben.

Das Zirkoniumelement wird mit Strom auf über 400°C erhitzt. Hierdurch ist das Zirkonium elektrisch leitfähig. Auf diese Art ist das Niederspannungssignal des Sensors in der Lage, Elektroden von einer Seite des Zirkoniumelements zur anderen zu übertragen. So entsteht ein Stromwert, der dann in einen O₂-Prozentwert umgewandelt wird. Ein niedriges Stromsignal entspricht einem niedrigen O₂-Prozentsatz und ein hohes Stromsignal einem hohen O₂-Prozentsatz.

Bei geringem Kontakt mit O₂ ist der Elektrodentransport von einer Seite zur anderen nur geringfügig. Hierdurch entsteht ein niedriges Stromsignal, das in einen Prozentwert umgewandelt wird. Ein niedriger Prozentwert.

Conversion of O₂ Ions to Electrical Current



1. Diffusion of O₂ molecules across Zirconia sensor
2. Cathode produces electrical current as O₂ passes
3. O₂ reacts with Zirconia to produce ions

Wenn die O₂-Konzentrationen hoch sind, ist der Elektrodentransport von der einen Seite zur anderen, der über das Zirkoniumelement verläuft, umfangreicher. Hierdurch entsteht ein höheres Spannungssignal, das dann in einen höheren O₂-Prozentsatz umgewandelt wird.

Das Zirkonium-Keramikelement ist ein solides, zuverlässiges Teil, das sich über viele Jahre als stabil erwiesen hat:

- [Zirkoniumsensor](#)