

# Sauerstoffmessung für Taucher

## Teil 1 – Grundlagen und einfaches Messgerät zur Bestimmung des O<sub>2</sub>-Anteils von Nitrox

### 1.0 Einleitung

Das Tauchen mit Nitrox und Rebreathern erfreut sich einer immer größeren Beliebtheit und technisch Interessierte stellen sich natürlich die Frage „wie funktioniert das mit der Messung des Sauerstoffanteiles genau ?“. Dieser Aufsatz (Teil 1) soll die Grundlagen der Sauerstoffmessung mit Sauerstoffsensoren erläutern und zeigt auf, wie mit einfachen Mitteln ein Sauerstoffmessgerät hergestellt werden kann. Teil 2 wird die Funktionsweise eines ppO<sub>2</sub>-Messgerätes für Rebreather erklären.

Vorraussetzung für das Verständnis diesen Aufsatzes ist das Wissen, welches z.B. bei einem CMAS/Barakuda Nitrox \* - Seminar vermittelt wird.

Tauchen, tauchen mit Nitrox und anderen Mischgasen sowie das Tauchen mit Kreislaufgeräten bzw. Rebreathern ist eine mit Gefahren verbundene Sportart und kann bei fehlerhafter Planung und Ausführung zu erheblichen gesundheitlichen Schädigungen bzw. zum Tode führen.

Der Verfasser dieses Aufsatzes schließt jegliche Haftung aus diesem Aufsatz heraus !

### 2.0 Sensor

Es gibt ein Vielzahl von Herstellern von Sauerstoffsensoren, welche teilweise über verschiedene elektrische und mechanische Daten verfügen. Der wohl bekannteste Hersteller von Sensoren ist die Fa. Teledyne Analytical Instruments mit Sitz in den USA. Einen guten Überblick über die Sensoren kann man sich auf der Homepage von Teledyne [www.teledyne-ai.com](http://www.teledyne-ai.com) verschaffen. Die dort gezeigten Sensoren arbeiten nach einem elektrochemischen Prinzip.

Neben diesem elektrochemischen Prinzip der Sauerstoffmessung gibt es noch zahlreiche andere Messprinzipien, wie z.B. das parametrische Prinzip, Gaschromatografie oder Massenspektroskopie. Auf diese Verfahren aus Industrie und Labor möchte ich nicht näher eingehen, da sie aus Kostengründen für den Taucher kaum relevant sind.

Wer sich für genauere Verfahren, welche noch halbwegs erschwinglich sind, möchte ich auf den *Paracube*® „Diffusion Paramagnetic Oxygen Transducer“ aus dem Hause Servomex hinweisen.

Auf die genauen chemischen Vorgänge bzw. Details in einem Sensor möchte ich zunächst nicht näher eingehen.



Bild 01 Sauerstoffsensor



Bild 02 Sauerstoffsensor und Voltmeter

Bild 01 zeigt einen typischen Sauerstoffsensor; dieser gibt, wie auf dem Photo (Bild 02) zu sehen, in Luft zum Beispiel 11,47 mV ab. Diese Spannung beträgt je nach Alterungszustand (und des Luftdruckes und einiger anderer Parameter) des Sensors zwischen 7 und 13 mV. Dieses erklärt zunächst warum ein Sauerstoffmessgerät vor jedem Einsatz kalibriert werden muss.

Würde nun der Sauerstoffgehalt der Luft größer werden, würde die Ausgangsspannung des Sensors proportional steigen. Der Zusammenhang zwischen Sauerstoffgehalt und Ausgangsspannung des Sensors ist linear. Die nachfolgende Tabelle zeigt diesen Zusammenhang graphisch.

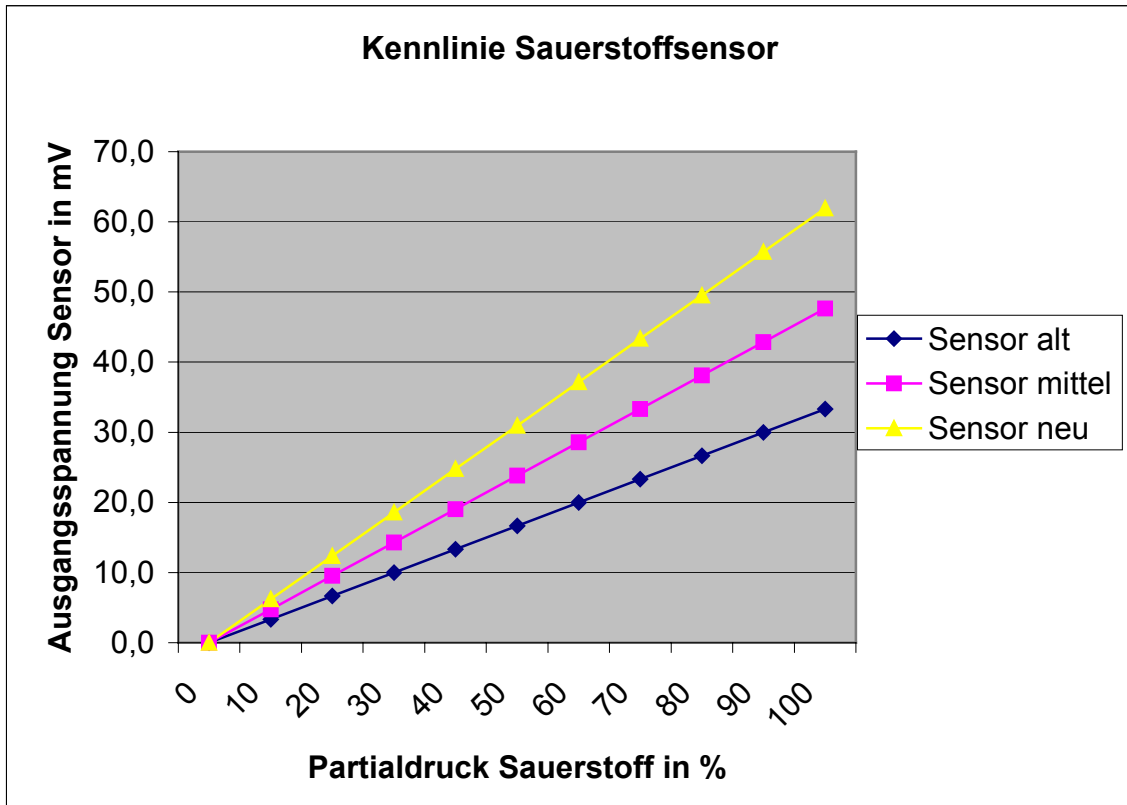


Tabelle 01 - Ausgangskennlinie Sauerstoffsensor

	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	21
alt	0,0	3,3	6,7	10,0	13,3	16,7	20,0	23,3	26,7	30,0	33,3	7,0
mittel	0,0	4,8	9,5	14,3	19,0	23,8	28,6	33,3	38,1	42,9	47,6	10,0
neu	0,0	6,2	12,4	18,6	24,8	31,0	37,1	43,3	49,5	55,7	61,9	13,0

- Sauerstoffgehalt in %
- Zustand des Sensors
- Ausgangsspannung in mV
- Werte in Umgebungsluft

Tabelle 02 - Ausgangskennlinie Sauerstoffsensor

Measurement Range	:	<b>0-100% oxygen</b>
Output in ambient air	:	<b>7-13 mV</b>
Electrical Interface	:	<b>3 pin Molex 3,5 mm Mono Jack</b>
Accuracy and Repeatability	:	<b>&lt; 1 % vol. O<sub>2</sub> when calibrated at 100 % Oxygen</b>
Linearity error	:	<b>&lt; 3 % relative</b>
Response time	:	<b>&lt; 5 seconds to 90 % of final value</b>
Zero Offset Voltage	:	<b>&lt; 40 <math>\mu</math>V in 100 % nitrogen</b>
Cross Interference	:	<b>&lt; 0,1 % oxygen response to :</b> <b>15 % CO<sub>2</sub> balance N<sub>2</sub></b> <b>10 % CO balance N<sub>2</sub></b>
Influence of Humidity	:	<b>- 0,03 % rel. per % RH at 25°C</b>
Influence of Pressure	:	<b>proportional to change in oxygen partial pressure</b>
Temperature Compensation	:	<b>built-in NTC compensation</b>
Operating Temperature	:	<b>0-50°C</b>
Operating Humidity	:	<b>0-99 % RH non-condensing</b>
Long Term Output Drift	:	<b>&lt; 1 % oxygen per month</b> <b>Typically &lt;- 15 % relative over lifetime</b>
Recommended Storage	:	<b>5-15°C</b>
Recommended Load	:	<b><math>\geq</math> 10 k<math>\Omega</math></b>
Warm-Up Time	:	<b>&lt; 30 minutes, after replacement of sensor</b>
Weight	:	<b>approximately 28 grams</b>

Tabelle 03 – typische Kennwerte eines Sauerstoffsensors

Für eigene Versuchszwecke ist es mit einfachen Mitteln möglich sich eine Simulator zur Erzeugung eines entsprechenden Sensorignals zu fertigen. Zur Anwendung kommt hier ein einfacher Spannungsteiler.

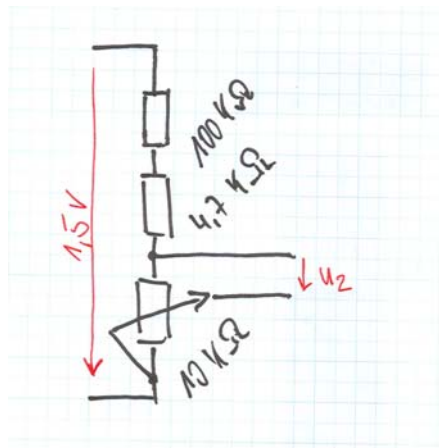
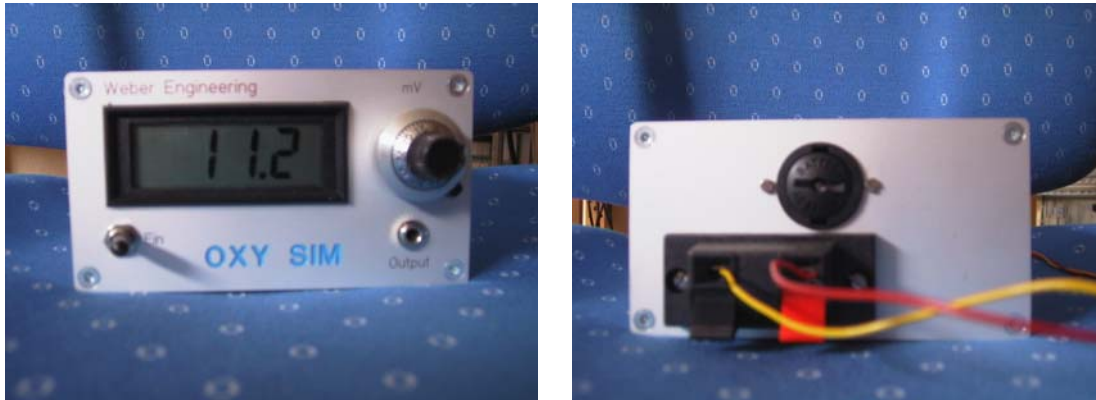


Bild 03 Schaltskizze Simulator



**Bild 04** Ausführung eines Simulators

Mittels dieser Schaltung kann einfach das Verhalten eines Sauerstoffsensors nachgebildet werden. Mittels dreier dieser Geräte können zum Beispiel die Sensoren in einem CCR vom Typ Buddy-Inspiration nachgebildet werden.

### 3.0 Analysegerät für Sauerstoff

Wenn wir die Wirkungsweise des Sensors verstanden, können wir mit einer relativ einfachen Schaltung ein Messgerät für Sauerstoff bauen. Was benötigen wir dafür ?

- eine Verstärkerschaltung
- die Möglichkeit das Gerät zu kalibrieren
- ein Anzeigeelement

#### a. Verstärkerschaltung

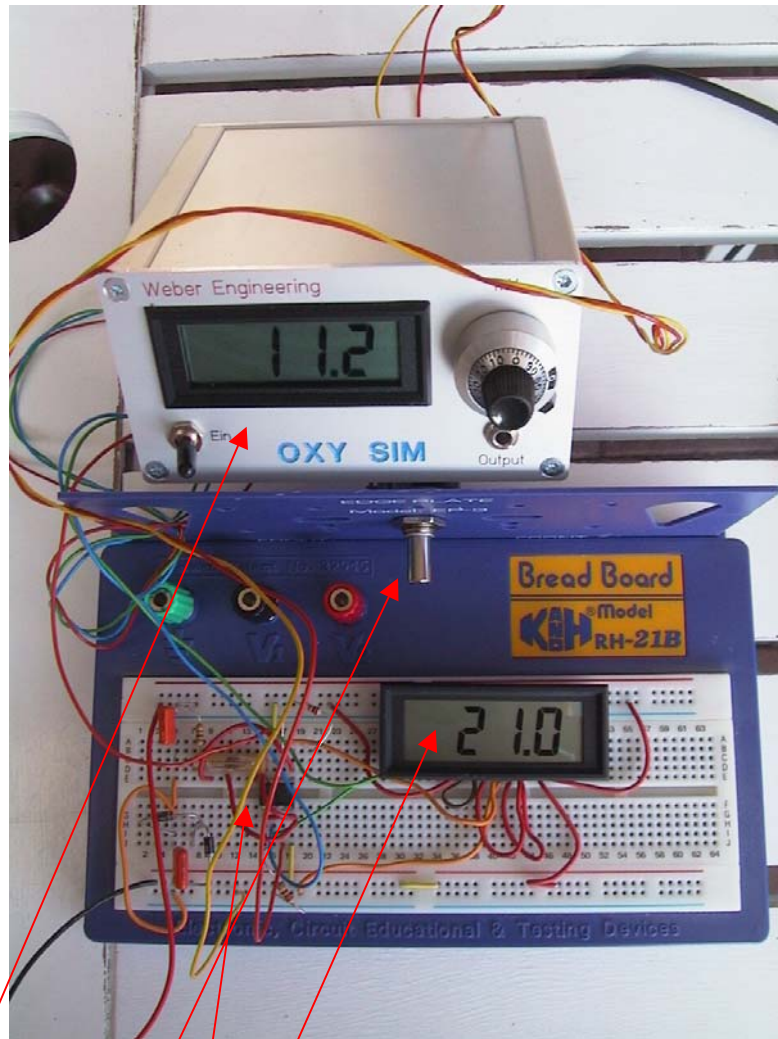
Zunächst müssen wir das Ausgangssignal unseres Sensors verstärken. Dieses geschieht mit einem einfachen Operationsverstärker; für mein Messgerät habe ich den Typ MC33171 aus dem Hause ON Semiconductor© ausgewählt. Der Sensor verfügt über einen weiten Bereich der Spannungsversorgung von 3,0 bis 44 V und benötigt einen geringen Strom von ca. 180  $\mu$ A. Das Datenblatt ist unter <http://onsemi.com> downloadbar.

Als Spannungsversorgung dient ein einfacher 9V-Block; um eine leicht negative Spannung zu erhalten bzw. den Null-Abgleich exakt vornehmen zu können wurde ein Spannungsteiler mittels zweier Dioden vom Typ 1N4001 umgesetzt. Zum Abgleich wird der 100K $\Omega$ -Präzisionspotentiometer mit einer 10-Gang-Wendel eingesetzt.

Optional kann zusätzlich ein weiteres Poti mit 10K $\Omega$  für „Offset Nulling“ verwendet werden.

#### b. die Möglichkeit das Gerät zu kalibrieren

hat man mit dem v.g. 100K $\Omega$ -Potentiometer. Wenn ein Sensor angeschlossen ist und sich in Luft befindet wird dieser einfach gedreht bis 20,9 im Display des Anzeigeelementes erscheint.



**Bild 05 Versuchsaufbau des Sauerstoffmessgerätes**

Sauerstoffsensoren oder Simulator

Potentiometer

Operationsverstärker

Anzeigeelement

c. ein Anzeigeelement

Zur Anwendung kann hier jedes entsprechend geeignete Digitalinstrument aus dem Elektronikfachhandel kommen. Es sollte mit einer Batteriespannung von 9V betrieben werden können und muss über den entsprechenden Eingangsspannungsbereich verfügen.

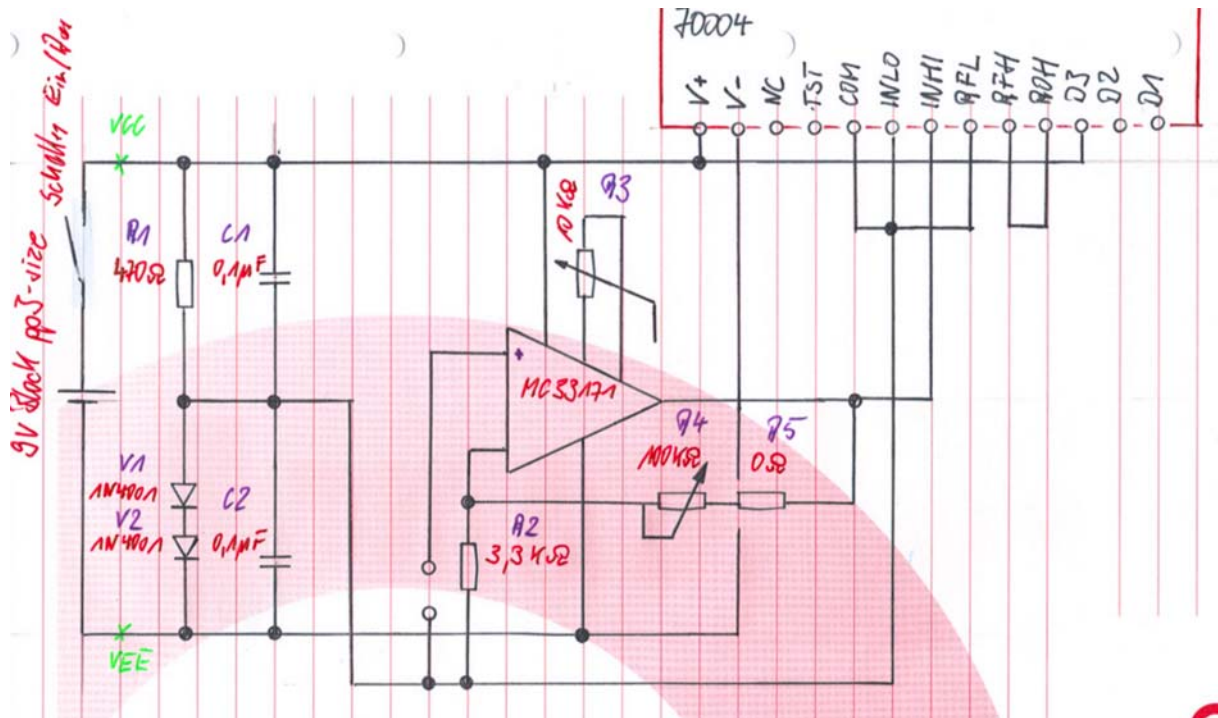


Bild 06 Ausführung der Schaltung



Bild 07 Umsetzung in Gehäuse

### 4.0 Abschlussbetrachtung

Der Eigenbau eines Sauerstoffmessgerätes für den Sporttaucher ist relativ einfach und für einen Elektroniker problemlos umsetzbar. Dennoch sei hier noch einmal gewarnt und der Nachbau sei nur jemand empfohlen der sicher mit Multimeter und Lötcolben umgehen kann und natürlich über die entsprechenden Grundkenntnisse der Elektronik verfügt.

Vergleichsmessungen zu handelsüblichen Sauerstoffmessgeräten haben gezeigt das diese von den Messergebnissen bzw. –genauigkeiten nicht nachstehen.

Für denjenigen, der ein Gemisch mit einem Sauerstoffgehalt von größer als 40 % analysieren will, sei eine Kalibrierung mit reinem Sauerstoff empfohlen. Hierzu kann eine kleine Plastiktüte verwendet werden; in diese wird der Sensor gepackt und man lässt einfach reinen Sauerstoff aus z.B. dem Sauerstoffkoffer dort hineinfließen.

Mittels diesen Wissens ist es relativ einfach ein Messgerät für eine  $ppO_2$ -Messung in einem Atembeutel bzw. für einen Rebreather umzusetzen; es ist lediglich ein A/D-Wandler und ein kleiner  $\mu$ -Controller notwendig. Ich hoffe das ich in Kürze die notwendige Zeit finde dieses Wissen interessierten Tauchern zur Verfügung zu stellen.

Für Hinweise und Anregungen bin ich jederzeit dankbar und unter [HelgeWeber@gmx.de](mailto:HelgeWeber@gmx.de) zu erreichen.

Helge Weber

DLRG – Lehrtaucher  
CMAS – Tauchlehrer 2  
CMAS – advanced-Nitrox-Instructor