

# ZIROX - Sauerstoffmesstechnik



## Messsystem Sauerstoffsonde SS31H(P) Elektronik E2000HP

## Gerätehandbuch



**Messsystem SS31H(P) - E2000HP  
zur Messung der  
Sauerstoffkonzentration in Rauch- und  
Prozessgasen**

**Gerätehandbuch**

Messbereich: 0,01...20,64 Vol.-%

Stromversorgung: 230 V, 50...60 Hz  
(110 V als Option)

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Allgemeine Hinweise .....</b>	<b>5</b>
1.1	Hinweise zum Gerätehandbuch .....	5
1.2	Urheberrecht.....	5
1.3	Verwendete Symbole.....	6
<b>2</b>	<b>Anwendungsbereich .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Sicherheitshinweise .....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Funktionsbeschreibung .....</b>	<b>9</b>
4.1	Systemaufbau.....	9
4.2	Messprinzip .....	9
4.2.1	Anwendung einer Tauchhülse .....	12
<b>5</b>	<b>Technische Daten .....</b>	<b>13</b>
5.1	Sonden .....	13
5.2	Elektronik E2000HP .....	13
5.2.1	Messdaten.....	13
5.2.2	Mechanische Daten.....	13
5.2.3	Elektrotechnik/Elektronik .....	13
<b>6</b>	<b>Installation und Inbetriebnahme .....</b>	<b>15</b>
6.1	Installation der Elektronik E2000HP .....	15
6.1.1	Allgemeine Beschreibung .....	15
6.1.2	Klemmenbelegung.....	16
6.2	Montage der Sonden .....	17
6.3	Referenzluftversorgung .....	19
6.4	Inbetriebnahme und Programmierung .....	19
6.4.1	Passwortschutz .....	19
6.4.2	Display und Einstellungen .....	19
6.5	Systemkalibrierung .....	22
6.5.1	Nullpunktabgleich .....	22
6.5.2	Prüfgaskalibrierung.....	22
6.5.3	Grenzen der Kalibrierung.....	23
<b>7</b>	<b>Statusmeldungen.....</b>	<b>24</b>
<b>8</b>	<b>Störungsmeldungen und Problembeseitigung.....</b>	<b>25</b>
<b>9</b>	<b>Garantiebedingungen.....</b>	<b>26</b>
<b>10</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>27</b>

---

10.1 Grundlagen der Anwendung potentiometrischer ZrO <sub>2</sub> - Festelektrolytsensoren bei der optimalen Führung von Verbrennungsprozessen 27	
10.2 Konformitätserklärung.....	32

# 1 Allgemeine Hinweise

## 1.1 Hinweise zum Gerätehandbuch

Das vorliegende Gerätehandbuch beschreibt den Aufbau, die Funktionsweise und die Bedienung des Sauerstoffmesssystems SS31H - E2000HP.

Anschrift des Herstellers:

**ZIROX Sensoren & Elektronik GmbH**

**Am Koppelberg 21**

**D-17489 Greifswald**

Tel.: +49 38 34 8309-00

Fax: +49 38 34 8309-29

[info@zirox.de](mailto:info@zirox.de)

[www.zirox.de](http://www.zirox.de)

Der Hersteller übernimmt die Gewähr dafür, dass dieses Gerätehandbuch in Übereinstimmung mit den funktionellen und technischen Parametern des gelieferten Messsystems erarbeitet ist.

Dieses Gerätehandbuch unterliegt nicht dem Änderungsdienst. Werden vom Hersteller am Messsystem Änderungen im Sinne des technischen Fortschritts vorgenommen, so übernimmt der Nutzer eigenverantwortlich die Einordnung der mitgelieferten zusätzlichen bzw. aktualisierten Seiten.

Ein störungsfreier und funktionsgerechter Betrieb des Messsystems kann nur bei Kenntnis dieses Gerätehandbuches gewährleistet werden. Bitte lesen Sie sich deshalb vor Aufstellung und Anschluss des Messsystems alle Abschnitte dieses Gerätehandbuches gründlich durch.

Die in diesem Gerätehandbuch angegebenen Werte im Display sind Beispiele bzw. die vom Hersteller voreingestellten Werte. Die prozessspezifischen Werte müssen vom Nutzer bestimmt werden.

## 1.2 Urheberrecht

Dieses Gerätehandbuch ist urheberrechtlich geschützt.

Es darf weder vollständig noch teilweise ohne schriftliche Genehmigung des Herstellers reproduziert, vervielfältigt, verbreitet oder zu Zwecken des Wettbewerbs unbefugt verwendet oder anderen mitgeteilt werden.

Alle Rechte vorbehalten.

### 1.3 Verwendete Symbole

#### Symbol für unmittelbar drohende Gefahr

Dieses Symbol finden Sie bei allen Hinweisen zur Arbeitssicherheit, wenn eine unmittelbare Gefahr für das Leben und die Gesundheit von Personen besteht.



Werden diese Hinweise nicht beachtet, kann es zu schweren oder lebensgefährlichen Verletzungen mit Todesfolge kommen.

#### Symbol für mittelbar drohende Gefahr

Dieses Symbol weist auf Situationen hin, bei denen mittelbare Gefahren auftreten. Grad und Intensität der Schädigung sind vom Ablauf der ausgelösten Vorgänge und von der Handlungsweise der betreffenden Person abhängig.



Werden diese Hinweise nicht beachtet, kann es zur Beschädigung oder Zerstörung des gesamten Messsystems oder einzelner Komponenten, anderer Sachwerte sowie zu leichten Verletzungen kommen.

#### Symbol für den sachgerechten Umgang

Dieses Symbol steht an den Stellen des Gerätehandbuches, wo auf die Einhaltung von Richtlinien, Vorschriften und einen richtigen Ablauf der Arbeiten hingewiesen wird.

HINWEIS

Werden diese Hinweise nicht beachtet, kann es zur Beschädigung oder Zerstörung des Messsystems bzw. dessen einzelner Komponenten kommen.

## 2 Anwendungsbereich

Das Messsystem dient zur kontinuierlichen Messung der Sauerstoffkonzentration in Ofenatmosphären sowie Rauch- und Prozessgasen.

*Bestimmungsgemäße Verwendung*

Die Anwendung des Messsystems in explosiven Gasgemischen, in solchen mit Halogenen in hoher Konzentration und schwefelhaltigen Gasen (z.B. SO<sub>2</sub>) ist nicht zulässig.



Mit dem Messsystem

*Funktionen*

- wird der Sauerstoffgehalt eines Messgases kontinuierlich gemessen und angezeigt
- werden Abweichungen der Sauerstoffkonzentration im Messgas von den einstellbaren Sollwerten signalisiert
- können Regelungen zur Erzeugung von Gasen mit einer definierten Sauerstoffkonzentration realisiert werden. Das ist bis in den Bereich von reduzierend wirkenden Gasen (z.B. N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>-Gemische) möglich.

Die in den "Technischen Daten" angegebenen Anforderungen und Grenzwerte sind unbedingt einzuhalten.

Jeder darüber hinausgehende Gebrauch gilt als nicht bestimmungsgemäß.

### 3 Sicherheitshinweise

Die folgenden Sicherheitshinweise treffen prinzipielle Aussagen zu möglichen Gefahren beim Betrieb des Sauerstoffmesssystems. Sie müssen deshalb unbedingt beachtet und vom zuständigen Personal strikt eingehalten werden.

- Ein störungsfreier und funktionsgerechter Betrieb des Messsystems kann nur bei Kenntnis dieses Gerätehandbuches gewährleistet werden. Bitte lesen Sie sich deshalb vor Aufstellung und Anschluss des Messsystems alle Abschnitte dieses Gerätehandbuches gründlich durch.
- Das Messsystem darf nur für den bestimmungsgemäßen Gebrauch eingesetzt werden (siehe Kapitel 2).
- Das Messsystem darf nur von eingewiesenem Personal angeschlossen, bedient und gewartet werden.

Die Verwendung des Messsystems in explosionsgefährdeten Räumen und das Messen in explosiven Gasgemischen, in Gasen mit hoher Konzentration von Halogenen und schwefelhaltigen Gasen (z.B. SO<sub>2</sub>) sind nicht zulässig.



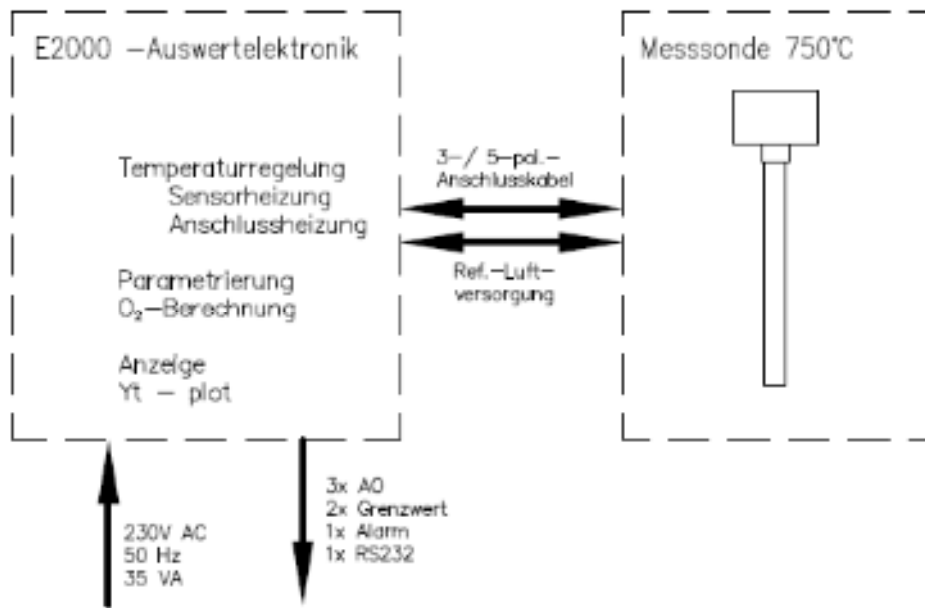
Spezielle Sicherheitshinweise zu möglichen Gefahren bei einer bestimmten Tätigkeit oder Tätigkeitsfolge werden an der jeweils relevanten Textstelle gegeben.



## 4 Funktionsbeschreibung

### 4.1 Systemaufbau

Abbildung 1 gibt eine Übersicht über das Messsystem. Es besteht aus einer beheizten Sauerstoffsonde (SS31H) und einer Steuer- und Auswertelektronik (E2000HP). Die SS31HP besitzt einen Prüfkanal, mit dessen Hilfe eine in-situ-Prüfung und gegebenenfalls – Kalibrierung vorgenommen werden kann.



**Abb. 1:** Prinzipdarstellung des Messsystems (die SS31HP besitzt einen zusätzlichen Kanal für die Prüfgasversorgung)

### 4.2 Messprinzip

Die Bestimmung der Sauerstoffkonzentration in Gasen ist in der Industrie, aber auch in Laboratorien eine häufig erhobene Forderung. Am häufigsten wird in Gasen gemessen, die eine merkliche, von der Temperatur unabhängige Sauerstoffkonzentration aufweisen.

Als Grundlage für die Bestimmung der Sauerstoffkonzentration in Gasen mit dem Messsystem SS28H/E2000HP dient die NERNST-Gleichung.

*NERNST-Gleichung*

$$U = \frac{RT}{4F} \ln \frac{p_{O_2, Luft}}{p_{O_2, Meßgas}} \quad (I)$$

Dabei ist:

- $U$  – Zellspannung in V
- $R$  – Molare Gaskonstante,  $R = 8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
- $T$  – Messtemperatur in K
- $F$  – Faraday-Konstante,  $F = (9,648 \cdot 10^4 \text{ C/mol})$
- $p_{O_2, Luft}$  – Partialdruck des Sauerstoffes an der Bezugsselektrode in trockener Luft in Pa
- $p_{O_2, Messgas}$  – Partialdruck des Sauerstoffes an der Messelektrode im Messgas in Pa.

Das Messsystem enthält einen Sensor, der die Oxidionenleitfähigkeit von Keramik aus Zirkoniumdioxid mit stabilisierenden Zusätzen nutzt. Die Oxidionenleitfähigkeit von Zirkoniumdioxid steigt exponentiell mit der Temperatur an und erreicht oberhalb von 600 °C (wird durch die heiße Ofenatmosphäre sichergestellt) genügend große Werte.

Der keramische Oxidionenleiter wird als gasdichtes Rohr eingesetzt, an dessen Innen- und Außenseite sich jeweils eine Platinelektrode befindet. Die Innenelektrode wird mit Luft als Referenzgas gespült; sie dient als Bezugselektrode mit konstantem, bekanntem Elektrodenpotential. An der Außenelektrode wirkt das zu messende Gas.

Das Keramikrohr befindet sich axialsymmetrisch in einem elektrischen Ofen (im Falle der Hochtemperatursonde wird die Anordnung durch das umgebende heiße Gas geheizt).

Unter der Voraussetzung, dass die Gesamtdrücke der Gase an beiden Elektroden gleich groß sind (in diesem Fall kann man mit Volumenkonzentrationen anstelle der Partialdrücke rechnen), ergibt sich nach Einsetzen der Zahlenwerte für die Konstanten in Gleichung (I) folgende Bestimmungsgleichung für die Sauerstoffkonzentration:

*Bestimmungsgleichung*

$$\varphi_{O_2} = 20,64 \cdot e^{(-46,42 \cdot \frac{U}{T})} \quad (II)$$

Dabei ist:  $\varphi_{O_2}$  – Sauerstoffkonzentration im Messgas in Vol.-%

$U$  – Potentialdifferenz in mV

$T$  – Messtemperatur in K

20,64 – Sauerstoffkonzentration in Luft mit relativer Feuchte von 50% in Vol.-%.

Der Sauerstoff kann im Messgas in freier oder in gebundener Form<sup>1</sup> (s. dazu Anhang 1) vorkommen.

Dabei gelten folgende Abhängigkeiten für die Zellspannung  $U$ :

$U \sim T$  – Sauerstoff in freier Form vorhanden

$U \sim \frac{1}{T}$  – Sauerstoff in gebundener Form vorhanden

Die Bestimmungsgleichung (II) gilt sowohl für Messgase mit freiem Sauerstoff als auch für reduzierende Gasgemische, in denen Sauerstoff nur in gebundener Form vorliegt (z.B. in  $H_2/H_2O$ - oder  $CO/CO_2$ -Gemischen).

---

<sup>1</sup> Wenn nicht genügend „freier Sauerstoff“ neben den brennbaren Gaskomponenten vorhanden ist, stellt sich an der heißen Platinelektrode ein chemisches Gleichgewicht ein. Die Zelle misst dann die Konzentration des „Gleichgewichtssauerstoffs“.

In reduzierenden Gasgemischen ist der Sauerstoffpartialdruck umgekehrt proportional zur Temperatur. Die Umrechnung des Messwertes von der Messtemperatur auf andere Temperaturen ist nur über spezielle thermodynamische Gleichungen möglich. *reduzierende Gasgemische*

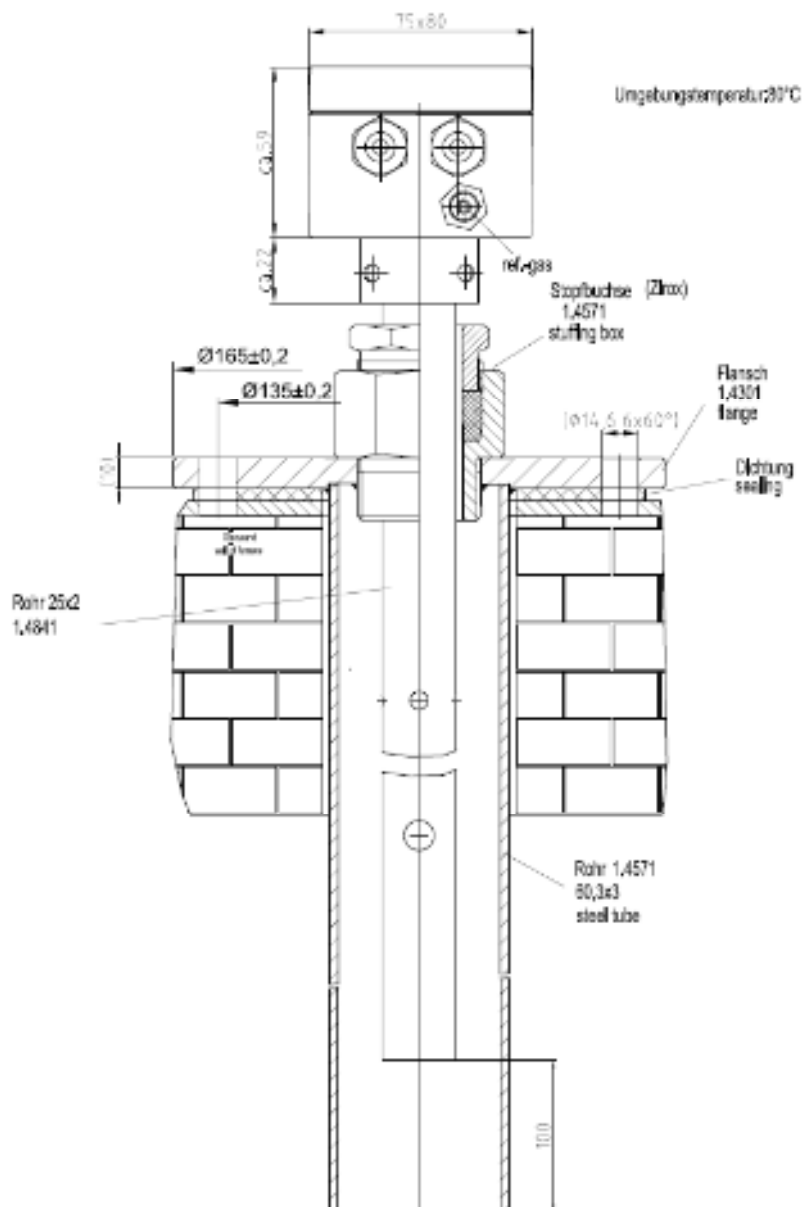
Optional kann bei der gezielten Erzeugung und Kontrolle reduzierender Abgase durch Umsatz von Brennstoff mit Luft bei Kenntnis der Zusammensetzung des Brennstoffes auch der Luftfaktor  $\lambda$  berechnet und angezeigt werden. *Luftfaktor  $\lambda$*

Bei  $\lambda < 1$  ist die Berechnung und Anzeige der CO-, CO<sub>2</sub>-, H<sub>2</sub>- und H<sub>2</sub>O-Konzentrationen möglich. Hierzu sind jedoch Fachberatungen beim Hersteller erforderlich.

#### 4.2.1 Anwendung einer Tauchhülse

In stark staubbelasteten Gasen oder solchen mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten kann es zweckmäßig sein, die Sonde in einem Schutzrohr zu installieren. Die folgende Zeichnung gibt dazu ein Beispiel (das Schutzrohr kann in kälteren Gasen auch metallisch sein):

Eine solche Tauchhülse kann auch hilfreich sein, wenn das Rauchgas extrem hohe Temperaturen aufweist. Dann kann die Sonde in der Tauchhülse ein Stück in die Ausmauerung zurückgezogen und damit die Temperaturbelastung reduziert werden.



**Abb. 2:** Darstellung des Einbaus einer SS31 mit Tauchhülse

## 5 Technische Daten

### 5.1 Sonden

Messgastemperatur .....	0...800 °C (Sonde wird auf 750 °C geheizt)
Sondendurchmesser.....	25 mm
Sondenlänge .....	0,3...1,5 m
Referenzgas-Anschluss.....	4 mm Schlauchnippel
Prüfgasanschluss (Option).....	4 mm Schlauchnippel

### 5.2 Elektronik E2000HP

#### 5.2.1 Messdaten

Messbereich .....	0,01...20,6 Vol.-% (spezielle Ausgangsgrößen auf Anfrage)
Messgenauigkeit bei Normaldruck .....	rel. Messfehler < 5%
Max. zulässiger Druck des Messgases .....	10 kPa Überdruck (über 1 kPa ist eine Fehlerkorrektur erforderlich)

#### 5.2.2 Mechanische Daten

Abmessungen (TxBxH in mm) .....	120x300x300
Masse .....	8,0 kg

#### 5.2.3 Elektrotechnik/Elektronik

##### 5.2.3.1 Allgemeine Daten

Schutzgrad .....	IP 65
Einsatzbedingungen .....	5...40 °C
Lagerbedingungen.....	-20...60 °C
Stromversorgung	
Spannung .....	100-240 V/47...63 Hz SK I
Leistungsaufnahme .....	35 VA
Tastatur und Anzeige	
Tastatur .....	Folientastatur mit 4 „soft key“-Tasten und 2 festen Tasten
Klartextanzeige.....	LCD-Grafik-Display (hinterleuchtet)

**5.2.3.2 Schnittstellen**

Analogausgang..... 2 x 0/4...20 mA, potentialgetrennt

Serielle Schnittstelle RS 232

Übertragungsrate..... max. 19200 Baud, einstellbar  
 Stoppbits ..... 1  
 Datenbits ..... 8  
 Parität..... keine  
 Handshake ..... ohne

*Tabelle 1 Protokoll der seriellen Schnittstelle (CR = carriage return)*

Eingabe	Rückmeldung	Parameter
M2CR	M2x.xxExxCR	Ausgabe-Kanal 1
M1CR	M1x.xxExxCR	Ausgabe-Kanal 2
A1CR	A1xxxCR	Zellspannung, mV
A2CR	A2xxxCR	Messtemperatur, °C

*Tabelle 2: Fehlermeldungen*

Fehlercode	Bedeutung
error0	Übertragungsfehler
error11	Messtemperatur zu gering
error16	Thermoelement defekt
Error 20	Systemfehler

Alarmer ..... zwei Grenzwerte: 2 Relais  
 Gerätefehler: 1 Relais  
 Relaisgrenzwerte: max. 1 A, 125 V AC, 60 V DC, 62 VA, 30 W

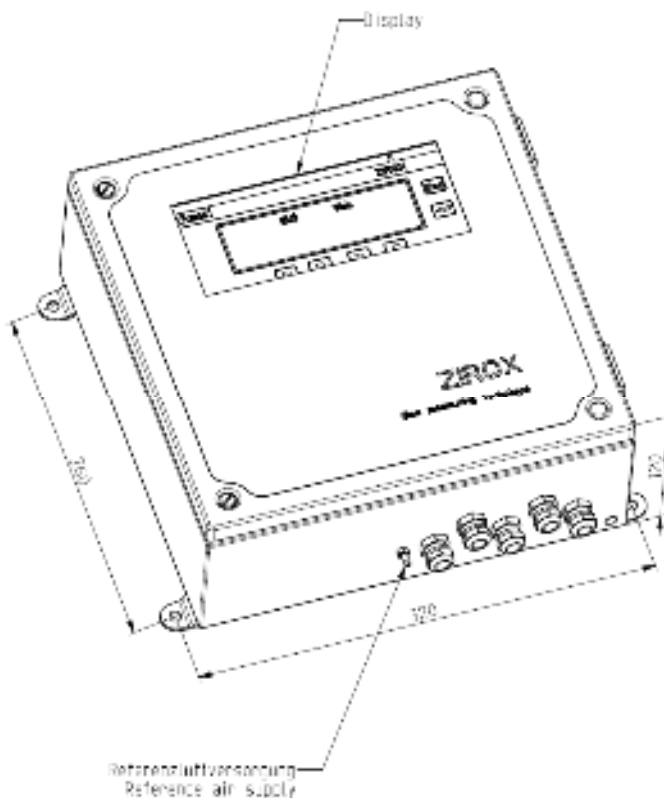
## 6 Installation und Inbetriebnahme

### 6.1 Installation der Elektronik E2000HP

#### 6.1.1 Allgemeine Beschreibung

Die Elektronik erfüllt folgende Aufgaben:

- Versorgung der Sonde mit Referenzluft (in der Regel auf 5 l/h eingestellt)
- Messung und Verarbeitung des Zellspannungs- und Thermoelementsignals der Sonde
- Anzeige der Messwerte (digital oder bei Bedarf als yt-Plot) und der Status- und Fehlersignale
- Anzeige der Programmiermenüs und Bedienung dieser Menüs über eine entsprechende Tastatur
- Zyklische Testung der Messzelle
- Ständige Überwachung des Thermoelementes
- Bereitstellung der elektrischen Ausgangssignale



**Abb. 3:** Maßzeichnung des Elektronik-Gehäuses

## 6.1.2 Klemmenbelegung

### 6.1.2.1 Belegung der Klemmen an der Auswertelektronik

Im Gehäuse der Auswertelektronik sind vier getrennte Klemmblöcke vorhanden:

1. X1 Verbindungen zur Sonde
2. X2 Analoge/digitale Ausgänge
3. X3 Heizungstrafo (werkseitig verdrahtet, Heizspannung lt. Modell bzw. Bestellung (nach vorheriger Beratung durch den Hersteller))
4. X4 Netzanschluss

#### Block X1 (Messzelle)

Klemmen-Nr.	Bezeichnung	Bemerkung
1	AGND	Analogmasse
2	Vz	Zellspannung
3	Vt	Thermospannung
4	Heizung	
5	Heizung	

#### Block X2 (Analog/digital)

Klemmen-Nr.	Bezeichnung	Bemerkung
1	OUT1 +	Analogausgang 1
2	OUT1 -	Analogausgang 1
3	OUT2 +	Analogausgang 2
4	OUT2 -	Analogausgang 2
5	RXD	RS232
6	TXD	RS232
7	GNDS	RS232
8	Vp +	externe Pumpe
9	Vp -	externe Pumpe
10	AL RK (Ruhekontakt)	Störungsrelais
11	AL MK (Mittelkontakt)	
12	AL AK (Arbeitskontakt)	
13	GW1 RK (Ruhekontakt)	Grenzwertrelais 1
14	GW1 MK (Mittelkontakt)	
15	GW1 AK (Arbeitskontakt)	
16	GW2 RK (Ruhekontakt)	Grenzwertrelais 2
17	GW2 MK (Mittelkontakt)	
18	GW2 AK (Arbeitskontakt)	

#### Block X3 (Heizungstrafo)

Klemmen-Nr.	Bezeichnung	Bemerkung
1	24 V AC (36 V AC Option)	Jeweiliger Typ hängt von den Installationsbedingungen des Systems ab (Rücksprache mit dem Hersteller!)
2	24 V AC (36 V AC Option)	
3	L1	
4	N	

#### Block X4 (Netzanschluss)

Klemmen-Nr.	Bezeichnung	Bemerkung
PE	PE	230 V AC, 50...60 Hz <sup>2</sup>
L1	L1	
N	N	

<sup>2</sup> 110 V optional



### 6.1.2.2 Klemmen-Belegung an der Sonde

Im Gehäuse ist ein Klemmenblock vorhanden, der die Verbindung zur Auswerteelektronik herstellt. Für die Verbindung zu den Klemmen 1...3 wird 3 x 0,5 abgeschirmt und für die Verbindung zu den Klemmen 4...5 2 x 1,5 empfohlen.

Klemmen-Nr.	Bezeichnung	Bemerkung
1	Signalmasse	Zur Auswerteelektronik
2	Zellspannung	Zur Auswerteelektronik
3	Thermospannung	Zur Auswerteelektronik
4	Heizung	Zur Auswerteelektronik
5	Heizung	Zur Auswerteelektronik

## 6.2 Montage der Sonden

Für die Montage der Sonden können verschiedene Ausführungen einer Stopfbuchse oder eine Tauchhülse zum Einsatz kommen (Alle Maßzeichnungen s. Abb. 4).

Nach zweckmäßiger Markierung der Einbautiefe kann das Einsetzen der Sonde erfolgen. Die Sonde sollte langsam in das heiße Gas eingeschoben werden (ca. 5 cm/Minute). Dabei sollte die Sonde schon mit Referenzluft versorgt werden. Befindet sich das Sensorelement am Messort, ist die Sonde durch Festziehen der Stopfbuchse zu fixieren. Danach sollte die Heizung der Sonde so schnell wie möglich in Betrieb genommen werden, damit der Sensor nicht versottet.

Bei zu geringer Einbautiefe kann sich das Sensorelement der Sonde in Falschluftröhren befinden, welche in Randbereichen der Anlage auftreten können und dadurch Fehlmessungen liefern. Für eine gute Abdichtung im Bereich der Einbaustelle ist zu sorgen. Bei Unterdruck in der Anlage kann ansonsten Falschluf längs der Sonde eindringen und die Messsignale verfälschen.

Falls die Sonde außerhalb einer Messanlage betrieben wird, ist deren vorderes Ende sehr heiß. Es besteht Brand- und Verbrennungsgefahr!



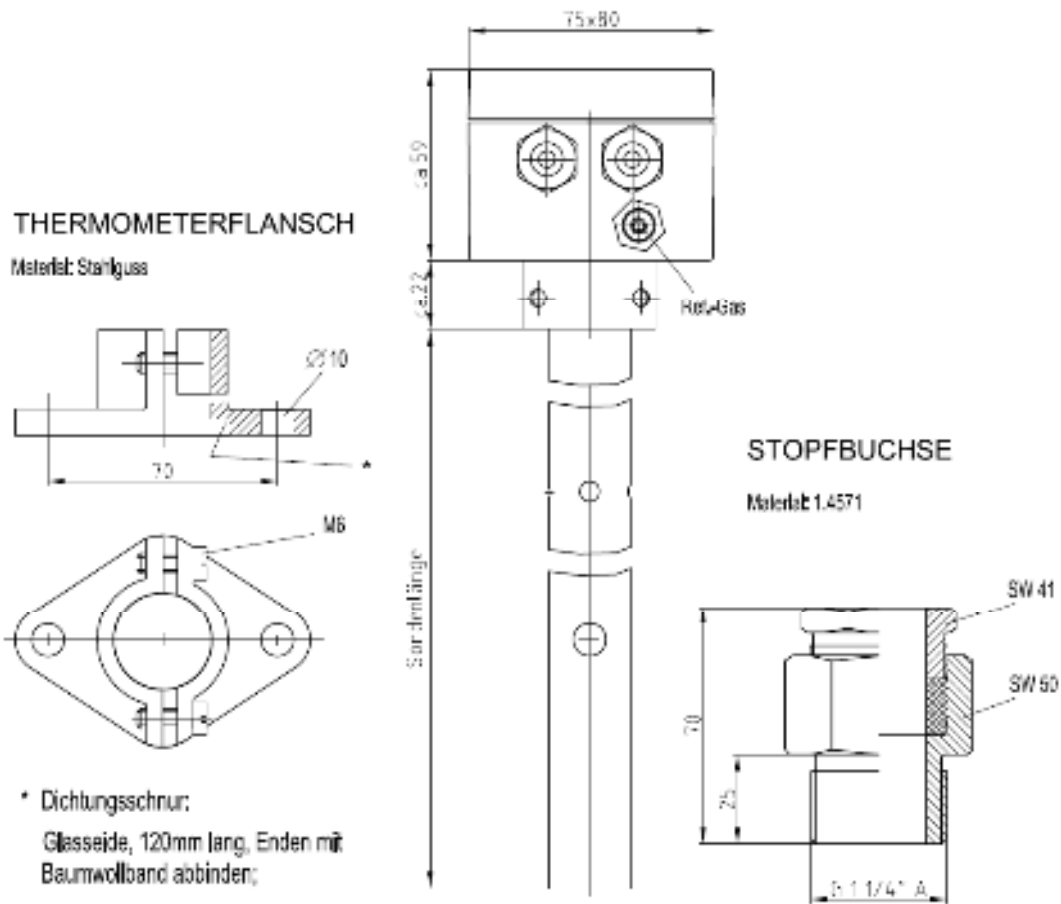




Abb. 4: Maßzeichnung Sonde, Stopfbuchse, Thermometerflansch

### 6.3 Referenzluftversorgung

Die Sonde muss mit Referenzluft versorgt werden. Dazu befinden sich in der Elektronik eine Pumpe und ein elektronischer Durchflussmesser, der die Pumpe auf eine Durchflussmenge von 5 l/h regelt. Mit einem PVC-Schlauch ist von dem Schlauchnippel an der Elektronik eine Verbindung zur Sonde herzustellen.

### 6.4 Inbetriebnahme und Programmierung

Nach der Verdrahtung kann das Gerät mit Netzspannung versorgt werden. Das Display zeigt im Grundmenü die Messwerte, ggf. spezielle Meldungen/Warnungen oder Fehlermeldungen an. Weiterhin werden in der unteren Reihe die aktuellen Belegungen der soft keys angezeigt. Über diese Tasten gelangt man in die unterschiedlichen Service-Menüs, die weiter unten beschrieben werden.

Mit den beiden linken Tasten ist in der Regel im angezeigten Menü eine gewünschte Zeile wählbar. Soll ein Wert verändert werden, kann dieser mit der Taste  aktiviert werden und dann mit den unteren Tasten in gewünschter Weise verändert werden. Danach ist mit der Taste  dieser Wert zu bestätigen.

Mit der Taste ESC kommt man jederzeit wieder in das Menü zur Anzeige der Messwerte zurück.

#### 6.4.1 Passwortschutz

Die programmierten Werte können über ein Passwort geschützt werden. Wird ein neues, aus vier Ziffern bestehendes Passwort eingegeben (voreingestellter Standardwert ist „0000“), dann sind keine Parameter-Änderungen mehr über die Tastatur möglich.

Der Schutz wird erst wirksam, nachdem nach der Eingabe eines neuen Passwortes ein falsches Passwort eingegeben oder die Elektronik aus- und wieder eingeschaltet wird.

#### 6.4.2 Display und Einstellungen

Die Abbildung 5 zeigt das Anzeigedisplay und die Bedientasten. Den 4 Tasten unter dem Display sind unterschiedliche Funktionen zugeordnet. Die aktuellen Funktionen werden jeweils auf dem Display angezeigt.

Der aktuelle Messwert wird sowohl als digitaler Wert als auch als analoger Balken unter dem digitalen Wert angezeigt. Unter dem Balken sind auch die beiden eingestellten Grenzwerte und links und rechts davon der eingestellte Messbereich sichtbar.

Links im Display wird die Funktion der Referenzgaspumpe überwacht, indem der Gasfluss angezeigt wird.

Unterhalb des Balkens für den Messwert kann rechts für spezielle Anwendungen ein zweiter Messwert angezeigt werden. Bei Bedarf ist dort auch die Zellspannung oder die Zelltemperatur programmierbar. Links unter dem Balken werden Status- oder Fehlermeldungen angezeigt. Priorität hat jeweils eine gravierende Fehlermeldung.

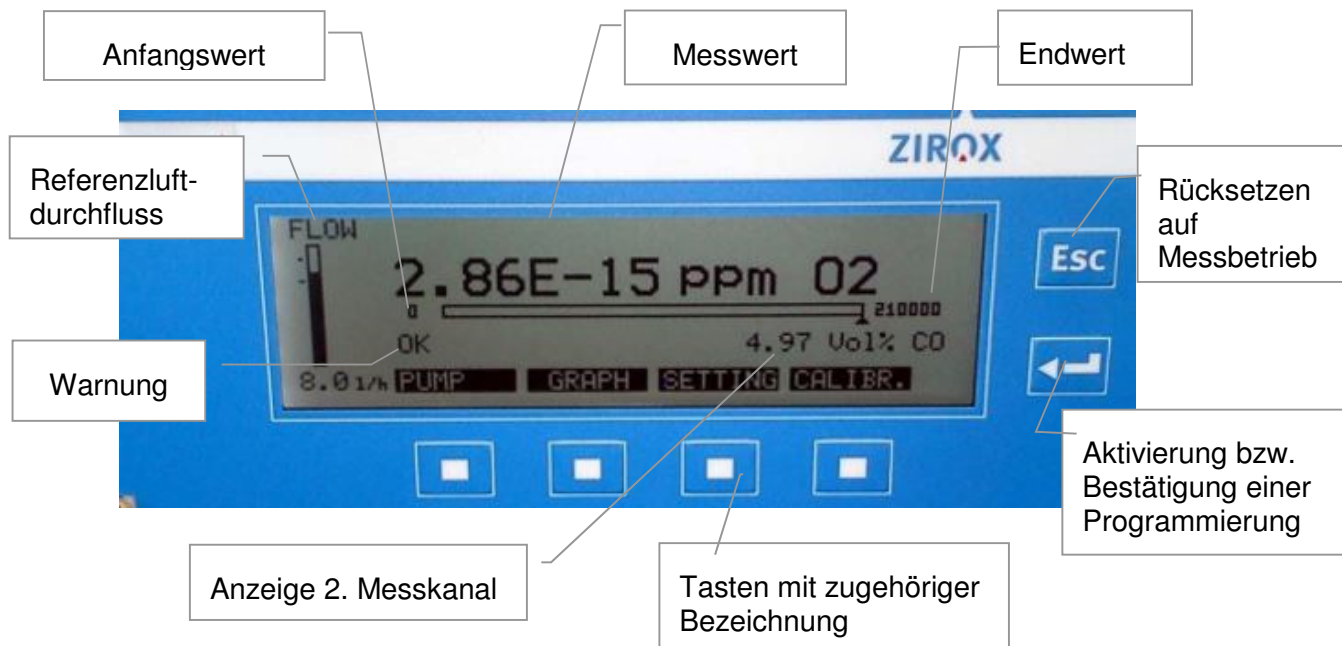




Abb. 5: Darstellung des Displays (E2000HP)

Über die Tasten unter dem Display sind die folgenden Menüs erreichbar (die aktuelle Bedeutung der Tasten wird jeweils auf dem Display angezeigt). Dabei kann immer über die -Taste ein bestimmter Parameter einstellbar gemacht werden, der mit den verschiedenen Tasten verändert werden kann und abschließend wieder mit der -Taste bestätigt wird. Die in der zweiten Spalte dargestellten Beispiele sind im Lieferzustand voreingestellt.

**6.4.2.1 Einstellungen**

Einstellungen		Dieses Menü ist aus dem Anzeigemenü mit der Taste 3 erreichbar	
1 Grundeinstellungen			
2 Grenzwerte			
3 Ausgang 1			
4 Ausgang 2			
	1      2      3      4		

**6.4.2.2 Grundeinstellungen**

Grundeinstellungen		
Passwort:	0000	
Neues Passwort:	0000	Max. 4 numerische Zeichen
Sprache:	DEUTSCH	Alternativ: ENGLISH
Baud Rate RS 232:	9600	Alternativ 4800, 19200
	▼      ▲	SAVE      RETURN

**6.4.2.3 Grenzwerte**

Grenzwerte		
Grenzwert 1:	> 25 Vol.-%	
Grenzwert 2:	> 25 Vol.-%	
Verzögerung	1 s	Mögl. Bereich: 1...30 s
▼ ▲	SAVE RETURN	

**6.4.2.4 Ausgang 1**

Ausgang 1		
Wert:	Vol.-% O2	Alternativ: andere Größen entspr. bestellt. Konfiguration
Bereich:	4 – 20 mA	0 – 20 mA <sup>3</sup>
Nullpunkt:	0 Vol.-%	
Endwert:	21 Vol.-%	
Dämpfung:	1 s	Mögl. Bereich: 1...30 s
▼ ▲	SAVE RETURN	

Analoges gilt für den Ausgang 2!

**6.4.2.5 Kalibrierung (nur für prüfbare Sonde SS31HP, s. Kapitel 6.5)**

Kalibrierung	20,6 Vol.-% O2	Aus dem Anzeigemenü über 4. Taste erreichbar
Nullgas:	20,6 Vol.-% O2	Abgleich des Nullpunktes (Offsetspannungsabgleich)
Nullgaskalibr.:	Ok ( 0.0)	Status und Abgleichwert Siehe Kalibrierstatus S. 20
Prüfgas:	1 Vol.-%	Flaschenwert einstellen
Bereichsgaskalibr.:	Ok (1.00)	Status und Abgleichwert
▼ ▲	START RETURN	

**6.4.2.6 Yt-Grafik**

Yt-Grafik		Aus dem Anzeigemenü über 2. Taste erreichbar
Kurve:	Vol.-% O2	Alternativ: Messwert des zweiten Analogausganges
Yachse-min:	0 ppm	
Yachse-max:	21 Vol.-%	
Xachse-max:	3 min	Zulässig 3 ... 60 Minuten
▼ ▲	SAVE RETURN	

Die Messwerte werden nach Erreichen der Endzeit jeweils um ¼ der Werte nach links verschoben. Die angezeigten Werte sind nicht in einem Speicher verfügbar.

<sup>3</sup> Abweichend davon sind auch ein oder beide Ausgänge als Spannungsausgänge lieferbar; dann ist zwischen 0-5 V und 0-10 V zu wählen

### 6.4.2.7 Pumpensteuerung

Normale Belegung der Tasten	Pumpe	XY-PLOT	Einstellungen	Kalibrierung.
Tastenbelegung nach Drücken der Taste „Pumpe“	Pumpe:	ON	OFF	RETURN

## 6.5 Systemkalibrierung

Besonders vor Messungen mit hoher Genauigkeitsforderung sollte eine Kalibrierung vorgenommen werden.

Die Kalibrierung erfolgt in zwei Schritten: Nullpunktkalibrierung und Prüfgaskalibrierung (nur SS31HP). Wichtig ist, dass vor der Kalibrierung das System mindestens zwei Stunden warm gelaufen ist.

Außerdem ist vor der Kalibrierung sicher zu stellen, dass die an das Messsystem angeschlossenen Regelungen (z.B. Verbrennungsprozess) so gesichert werden, dass Havarien ausgeschlossen werden. **Das Messsystem gibt während des Kalibrierprozesses als Ausgangssignal den eingefrorenen letzten Messwert aus.**

### 6.5.1 Nullpunktabgleich

Der Nullpunktabgleich dient zum Ausgleich der Offsetspannung des ZrO<sub>2</sub>-Sensors. Der Offset ist zum einen konstruktiv bedingt (bei nicht idealer Lage von Elektrode im Heizfeld) und kann ebenso bei der Alterung des Sensors auftreten. Vor dem Abgleich wird der Sensor mit Umgebungsluft gespült. Der Gasfluss ist mittels interner oder externer Pumpe auf den Wert eingestellt, mit dem auch das Messgas gemessen wird. Mit dem Nullpunktabgleich wird zudem der Arbeitspunkt an Umgebungsluft mit 20,64 Vol.-% O<sub>2</sub> kalibriert.

Zur Durchführung wird an den Prüfgasanschluss der Sonde eine Luftversorgung angeschlossen (Umgebungsluft, die mit Hilfe einer Gaspumpe gefördert wird) und auf 5...10 l/h eingestellt. Nach einer Ausgleichszeit von 3-5 Minuten (auf dem Display wird rechts oben während des gesamten Kalibrierprozesses der aktuelle Messwert angezeigt, womit der Ausgleichsvorgang der Prüfgaseinspeisung beurteilbar ist) kann die Nullpunktkorrektur mit der Start-Taste aktiviert werden. Nach dem Ende des Vorganges kann entweder über die Taste „Return“ das Programm verlassen werden, wobei die Alternative Speicherung angeboten wird, oder es erfolgt anschließend die Prüfgas-Kalibrierung. Wichtig ist, dass nach dem Ende des Prozess der Prüfgaseingang an der Sonde wieder verschlossen wird, da sonst die eindringende Falschluff das Messergebnis stört.

### 6.5.2 Prüfgaskalibrierung

Hierzu wird die SS31HP am Prüfgasanschluss mit einem zertifizierten Prüfgas versorgt (Durchflussmenge 5...10 l/h) Die Konzentration des Prüfgases sollte nach Möglichkeit in dem Bereich liegen, in dem später gemessen werden soll. Empfohlen wird ein Prüfgas < 2 Vol.-% O<sub>2</sub>. (Differenzen zwischen Messgas und Prüfgas > 15 Vol.-% sind zu vermeiden, da diese zu Fehlern führen können). Nach einer Ausgleichszeit von 3-5 Minuten (erkennbar an dem sich nicht mehr verändernden aktuellen Messwert, der

rechts oben im Display angezeigt wird) kann der Vorgang mit der Start-Taste aktiviert werden.

Die Stabilität des Messwerts ( $O_2$ ) wird während der Kalibrierung überprüft. Der Kalibrierprozess beginnt erst, wenn das durch das Prüfgas erzeugte Signal stabil ist. Deshalb kann der Kalibriervorgang unterschiedlich lange dauern (die Schwankungsbreite muss innerhalb von 4 s kleiner als 1% sein). Ist die Stabilität nicht gegeben, wird die Kalibrierung nach 60 s abgebrochen.

Der Kalibrierprozess kann dann über die Taste „Return“ verlassen werden, wobei die alternative Speicherung angeboten wird.

Wichtig ist, dass nach dem Ende des Prozess der Prüfgaseingang an der Sonde wieder verschlossen wird.

### 6.5.3 Grenzen der Kalibrierung

In allen Fällen wird die Abweichung des Messwertes vom eingegebenen Sollwert der Prüfgase bewertet. Bei der Nullpunktkorrektur sind  $\pm 20$  mV (Zellspannung) erlaubt, bei der Endwertkalibrierung  $\pm 20$  % vom Messwert. Werden diese Grenzwerte überschritten, wird der Kalibrierprozess abgebrochen.

Für die Korrektur gilt folgende Gleichung:  $V_{\text{zellkorr}} = (V_z + A) \cdot B$  mit den Größen

$V_z$  = gemessene Zellspannung,  
 $A$  = Zellspannung im Nullpunkt und  
 $B$  = Faktor zur Endwertkorrektur.

Nullgas ist immer Umgebungsluft, je nach bestellter Geräteversion wird 20,6 bzw. 20,9 Vol.-% angezeigt <sup>4</sup>

Mögliche Meldungen des Kalibrierstatus:

OK (1.5)	letzte Kalibrierung OK (alter Abgleichwert)
WARTEN ! 5	Kalibrierung läuft
ABBRUCH	Abbruch durch Tastendruck
FEHLER STABIL.	Stabilität in 60s nicht erreicht
FEHLER BEREICH	Bereichsüberschreitung
FEHLER SENSOR	Gerätefehler

<sup>4</sup> Trockene Luft hat eine Sauerstoffkonzentration von 20,96 Vol.-% und Luft mit 50 % Feuchte hat 20,64 Vol.-% - verschiedene Hersteller haben jeweils einen dieser zwei Werte eingeführt, ZIROX kann sich hier den Kundenwünschen anpassen.

## 7 Statusmeldungen

Auf dem Display ist ein Bereich für die Anzeige bestimmter Zustände vorgesehen. Im Folgenden sind die möglichen Anzeigen dargestellt:

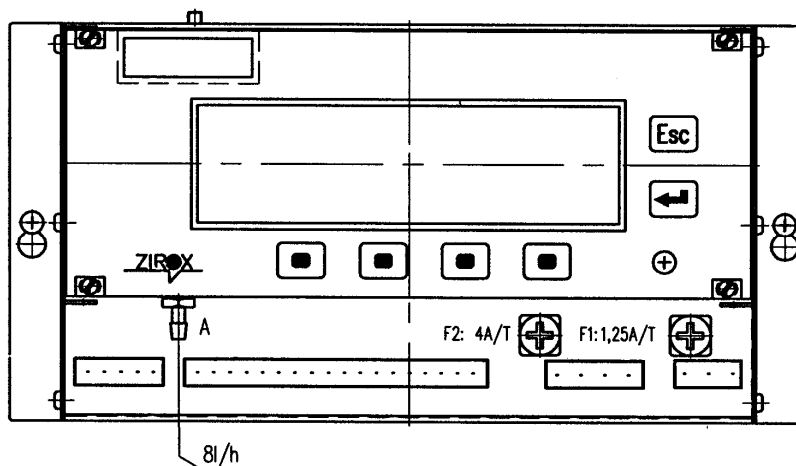
Nr.	Anzeige auf dem Display	Bemerkung
1	OK	
2	GRENZWERT 1	
3	GRENZWERT 2	
4	GRENZWERT 1/2	
5	BEREICH <<<	
6	BEREICH >>>	
7	FLOW <<<	< 5 l/h
8	FLOW >>>	>10 l/h
9		
10		
11		
12		
13		
14	WARMLAUF	Systemstart, <15 min
15	ZELLTEMP.ZU KLEIN	< 600°
16	THERMOELEMENTBRUCH	
17		
18		
19		
20	SYSTEMFEHLER	

- Status >15 - Schwerer Fehler, Alarmrelais aktiv und Stromsignal null
- Status 13...15 - leichter Fehler, Alarmrelais aktiv, Stromsignal null, wenn der Ausgang auf O<sub>2</sub>, Lambda, CO<sub>2</sub> oder CO eingestellt ist
- Status 5...12 - Warnungen, nur Alarmrelais aktiv



## 8 Störungsmeldungen und Problembeseitigung

Störung	Ursache	Beseitigung
Display leuchtet nicht	Stromversorgung ausgefallen	Stromversorgung überprüfen Korrekten Sitz der Netzanschlussleitung prüfen
	Gerätesicherung ausgelöst	Gerätesicherung F 1 (1,25 A T) wechseln
Störungsmeldung „Flow zu gering“	Gaszuführung des Referenzgases zur Sonde verstopft oder zu lang für den gewählten Querschnitt	Leitung prüfen, Verstopfungen beseitigen
	Pumpe defekt	Pumpe auswechseln
Relativ hoher Messwert nahe 20 Vol.-%, obwohl ein niedrigerer Wert für die Sauerstoffkonzentration erwartet wird	Sonde wird nicht mit Referenzluft versorgt	Referenzluftführung kontrollieren
Messwert ist wesentlich geringer als erwartet	Im Messgas liegen bei hohen Temperaturen mit Sauerstoff reagierende Bestandteile vor (z.B. Kohlenwasserstoffe)	Einsatz der Sonde nicht möglich, Service bei Hersteller anrufen
Warnung: Warmlauf	Werkseitig eingestellte Systemstartphase	15 Minuten warten
Meldung Zelltemperatur zu klein	Ofenatmosphäre unter 600 °C	Service konsultieren bzgl. Einsatz der Sonde
Warnung: Thermoelementbruch	Zuleitung zur Sonde bzw. Klemmen lose oder Thermoelement defekt	Kabel kontrollieren oder Service konsultieren
Warnung: Systemfehler	Allgemeiner Gerätefehler	Service konsultieren
Warnung: Bereich <<< oder Bereich >>>	Über- bzw. Unterschreitung des eingestellten Bereiches	Fehler wirkt sich in den Analogausgängen aus, Bereich ändern



**Abb. 6:** Anordnung der Sicherungen

## 9 Garantiebedingungen

Die ZIROX Sensoren & Elektronik GmbH garantiert, dass die von ihr hergestellten und verkauften Produkte zum Zeitpunkt der Auslieferung keine Fertigungs- und Materialmängel aufweisen. Falls sich jedoch innerhalb von 12 Monaten (Messzelle) oder 24 Monaten (Elektronik) nach Auslieferung ein Mangel zeigt, wird ZIROX nach unverzüglicher schriftlicher Benachrichtigung durch den Käufer diesen Mangel nach Wahl von ZIROX durch Reparatur oder Ersatz des mangelhaften Teils beheben. Ein Anspruch des Käufers auf andere Rechtsbehelfe aus dieser Garantie besteht nicht.

**Für die ZIROX-Sonden gelten folgende Garantieleistungszeiträume:**

*Einsatztemperatur bis 1200 °C: 12 Monate nach Lieferung*

*Einsatztemperatur bis 1300 °C (Hochtemperatursonde): 6 Monate nach Lieferung*

*Einsatztemperatur bis 1400 °C (Hochtemperatursonde): 3 Monate nach Lieferung*

Mängel, die durch natürlichen Verschleiß an von ZIROX gelieferten Produkten auftreten (z.B. Referenzgaspumpe), werden durch die Garantie nicht abgedeckt. Korrosive Gase und Feststoffteilchen können Schäden verursachen und dazu führen, dass eine Reparatur oder ein Austausch als Folge normalen Verschleißes während der Garantiezeit erforderlich wird. Der Kontakt der Produkte mit explosiven Gasgemischen, Halogenen in hoher Konzentration und schwefelhaltigen Gasen (z.B. SO<sub>2</sub>) ist nicht zulässig. Der Kontakt der Produkte mit silizium- oder phosphor-haltigen Verbindungen ist ebenfalls nicht zulässig. Bei Kombination von ZIROX Produkten mit Fremdprodukten, die nicht von ZIROX freigegeben sind, erlischt jeglicher Garantieanspruch.

Gewährleistungs- und Haftungsansprüche bei Personen- und/oder Sachschäden sind ausgeschlossen, wenn sie auf eine oder mehrere der folgenden Ursachen zurückzuführen sind:

- natürliche Abnutzung
- keine bestimmungsgemäße Verwendung des Produktes
- Missachtung der Bestimmungen des Gerätehandbuchs
- unsachgemäße Aufstellung, Inbetriebnahme, Bedienung und Instandhaltung des Produktes
- Betrieb des Produktes bei wirkungslosen Schutzmaßnahmen
- eigenmächtige funktionelle und gerätetechnische Veränderungen am Produkt
- Ausbau von Teilen bzw. der Einbau von Ersatzteilen oder Zusatzgeräten, die nicht vom Hersteller geliefert oder durch ihn genehmigt wurden
- unsachgemäß durchgeführte Reparaturen oder Fehlbedienung
- Fremdkörpereinwirkung
- höhere Gewalt.

**Achtung:** Der Kunde muss bei der Installation darauf achten, dass alle erforderlichen Versorgungsleitungen angeschlossen werden und die Betriebstemperatur des jeweiligen Messsystems erreicht wird. Produkte, die montiert, aber nicht in Betrieb genommen werden, können durch den Prozess oder durch äußere Einwirkung beschädigt werden. Für solche Mängel übernimmt ZIROX keine Haftung.

## 10 Anhang

### 10.1 Grundlagen der Anwendung potentiometrischer ZrO<sub>2</sub>-Festelektrolytsensoren bei der optimalen Führung von Verbrennungsprozessen

Die Optimierung sowie reproduzierbare Führung von Verbrennungsprozessen ist bei vielen technologischen Verfahren (z.B. bei der Herstellung von Glas- oder Keramikfasern, beim Brennen von Porzellan, bei der Gewinnung von Energie oder Rohgas aus festen oder flüssigen Brennstoffen usw.) Voraussetzung für eine gleichbleibend gute Produktqualität und Ressourcennutzung. Qualitätssicherungsnormen, wie z.B. die ISO 9000, schreiben die Erfassung und Dokumentation prozessrelevanter Daten zur Sicherstellung der Produktqualität vor. Als Regelgröße für die Überwachung und Regelung solcher Anlagen benötigt man Messwerte, die in einem weiten Bereich der Gaszusammensetzung möglichst in Echtzeit erfasst werden und vollständig eingestellten Gasgleichgewichte eindeutig zuordenbar sind.

Derartige Messwerte werden heute in der Praxis generell mit potentiometrischen ZrO<sub>2</sub>-Festelektrolytsensoren gewonnen. ZIROX hat kurze und auch sehr lange Sonden mit solchen (unbeheizten oder elektrisch beheizten) Sensoren entwickelt, die in Verbrennungsanlagen verschiedener Art, in technischen Öfen oder Flammen in situ arbeiten und benötigte Signale liefern. Weiterhin produziert ZIROX aber auch Geräte mit elektrisch beheizten Sensoren zur Analyse von extern vorgemischten Brennstoff-Luft-Mischungen oder Abgasen.

Die chemischen, thermodynamischen und elektrochemischen Grundlagen, auf denen die Anwendung potentiometrischer Festelektrolytsensoren (= galvanischer Festelektrolytzellen) bei der Führung von Verbrennungsprozessen beruht, werden im Folgenden dargestellt.

#### **Sauerstoffkonzentration und Luftzahl Lambda**

Die Beschreibung des Umsatzes von gasförmigen, flüssigen oder festen Brennstoffen mit Luft erfolgt am besten mit der Luftzahl Lambda. Diese Größe gibt das Verhältnis der bei der Verbrennung zugeführten Luftmenge zu der für einen stöchiometrischen Umsatz des verwendeten Brennstoffs notwendigen Luftmenge an. Die Luftmenge kann in Volumina, Massen oder Stoffmengen (die nach dem idealen Gasgesetz bekanntlich einander proportional sind) angegeben werden (Einheiten wie m<sup>3</sup>, kg oder mol kürzen sich bei der Verhältnisbildung). Mit den Volumina  $v$  ist

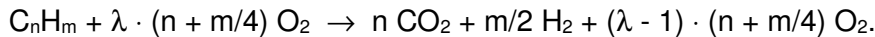
$$\lambda = v(\text{zugeführtes Luftvolumen}) / v(\text{stöchiometrisch notwendiges Luftvolumen}).$$

Bei Zuführung von zu viel Luft (Luftüberschuss) ist  $\lambda > 1$ , bei Zuführung von zu wenig Luft (Luftmangel) ist  $\lambda < 1$ . Im Fall der exakt stöchiometrischen Verbrennung ist  $\lambda = 1$ .

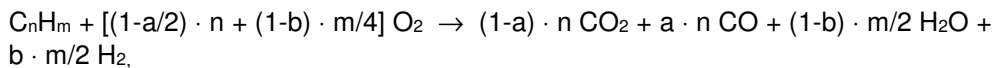
(Nur in der Kfz-Technik gibt es eine abweichende Definition, weil auf Motorprüfständen der verbrauchte Kraftstoff gewogen und das zugeführte Luftvolumen in Masse umgerechnet wird. Bei Division der Luftmasse durch

die Kraftstoffmasse ergibt sich dann z.B. für reines Octan bei genau stöchiometrischem Umsatz der Wert 15,3.)

Für die Verbrennung eines Kohlenwasserstoffs (in Motorkraftstoff, Erdgas, Flüssiggas) mit der Bruttoformel  $C_nH_m$  erhält man bei vollständiger Verbrennung im Sauerstoffüberschuss mit  $\lambda$  die Reaktionsgleichung



Bei Verbrennungen mit zu wenig Luft (Sauerstoffmangel) entsteht aus allen organischen Stoffen bei genügend hoher Temperatur und nötigenfalls mit Katalysatoren zur Herbeiführung von totalem Gasgleichgewicht im Wesentlichen eine Mischung von Stickstoff und Wasserstoff, Wasserdampf, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid, dem sog. Wassergas (es lässt sich aus Kohle und Wasser produzieren). Die Reaktionsgleichung für Umsätze bei Sauerstoffmangel lässt sich nicht nur mit  $\lambda$ ,  $n$  und  $m$  formulieren. Vielmehr gilt



wobei  $a$  und  $b$  durch  $\lambda$  und die Lage des temperaturabhängigen Wassergasgleichgewichts  $CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$  bestimmte Größen sind.

Die Gaspotentiometrie mit Festelektrolytzellen liefert zunächst nur die Sauerstoffkonzentration  $\varphi(O_2)$  in den jeweiligen Messgasen. Gewünscht wird aber häufig die Bestimmung von  $\lambda$ . Für dessen Berechnung lassen sich folgende Gleichungen ableiten:

$$\lambda_m = \frac{1 + \frac{\varphi(O_2)}{1 + 2V}}{1 - \frac{\varphi(O_2)}{\varphi(O_2)_{Luft}}} \quad \lambda_f = 1 - \frac{1}{1 + 2V} \left( \frac{V}{1 + \frac{\varphi(O_2)^{0.5}}{K_C}} + \frac{1}{1 + \frac{\varphi(O_2)^{0.5}}{K_H}} \right)$$

Diese für einzelne Kohlenwasserstoffe bei  $\lambda > 1$  (mager) und bei  $\lambda < 1$  (fett) gültigen Gleichungen enthalten das Kohlenstoff/Wasserstoff-Verhältnis im Kohlenwasserstoff,  $V = 2 n/m$ , und die thermodynamischen Gleichgewichtskonstanten für die Reaktionen



In der Praxis liegen allerdings meist Mischungen verschiedener Kohlenwasserstoffe vor, Brenngase können zusätzlich Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Stickstoff enthalten, weiterhin trägt die verwendete Luft mit ihrer Feuchtigkeit und ihrem Kohlendioxidgehalt zu den Gasgleichgewichten bei. In entsprechend modifizierte Gleichungen müssen mittlere  $V$  eingesetzt werden. Die Verdünnung mit Stickstoff beeinflusst  $\lambda$  ein wenig im mageren Bereich, aber nicht im fetten, weil das Gleichgewicht zwischen den Wassergaskomponenten vom Druck und damit von der Wassergaskonzentration unabhängig ist.

Ein besonderes Problem ist der Wechsel der Art der Gleichung zur Berechnung von  $\lambda$  beim Wechsel zwischen Überschuss und Mangel an Sauerstoff. Die exakte Lösung besteht darin, dass zu jedem Messpunkt die Konzentrationen der Wassergaskomponenten berechnet werden und je

nachdem, ob  $\varphi(\text{CO}) + \varphi(\text{H}_2)$  größer oder kleiner als  $2 \varphi(\text{O}_2)$  ist, die eine oder andere Gleichung angewendet wird (DE 43 23 879). Die dazu entwickelte Software und Elektronik liefert die Ergebnisse praktisch verzögerungsfrei.

### **Gaspotentiometrie mit Festelektrolytsensoren**

Mischoxidkristalle aus  $\text{ZrO}_2$  und  $\text{CaO}$  oder  $\text{Y}_2\text{O}_3$  haben im Oxidionenteilgitter Lücken, über die im heißen Zustand Oxidionen wandern können. Sie sind damit Festelektrolyte (d.h. feste Ionenleiter). An Platinschichten auf keramischen Körpern aus dem (durch die Zusätze gegen Bruch) stabilisierten  $\text{ZrO}_2$  sind Elektrodenreaktionen mit den Oxidionenlücken  $V_{\text{O}}$  möglich:



Sauerstoff oder Wasserdampf aus der Gasphase liefern Sauerstoffatome, die mit Elektronen aus dem Platin in Sauerstofflücken des Festelektrolyten übertreten und Oxidionen bilden. Der Vorgang kommt allerdings schnell zum Stillstand, wenn die Elektrode nicht in einem geschlossenen Stromkreis liegt und weder Elektronen noch Oxidionen fließen können. In diesem Zustand ist die Arbeitsleistung beim Teilchenübergang gleich dem Aufwand, der dabei an elektrischer Arbeit geleistet werden muss. Es besteht dann elektrochemisches Gleichgewicht, ein dynamisches Gleichgewicht, denn die Elektrodenreaktion läuft weiterhin ab, aber in beiden Richtungen gleich schnell. Je größer die sog. Austauschstromdichte ist, umso unempfindlicher ist die Elektrode gegen Störungen.

Im Zustand des elektrochemischen Gleichgewichts hat das Platin entweder Elektronen abgegeben und ist positiv aufgeladen oder hat Elektronen aufgenommen und ist negativ geladen. Ersteres ist unter Sauerstoff, letzteres unter Wasserstoff zu erwarten.

Befinden sich zwei Sauerstoffelektroden unter verschiedener Sauerstoffkonzentration auf gegenüberliegenden Seiten eines gasdicht gesinterten  $\text{ZrO}_2$ -Festelektrolyten, so wird im elektrochemischen Gleichgewicht auf der Seite mit der größeren Sauerstoffkonzentration die Aufladung positiver sein als auf der Seite der kleineren Sauerstoffkonzentration. Zwischen den Elektroden ist dann eine Zellspannung messbar, die umso größer ist, je unterschiedlicher die Sauerstoffkonzentrationen an den beiden Elektroden sind.

Für den quantitativen Zusammenhang zwischen Zellspannung und Teilchenkonzentrationen an den Elektroden hat zuerst NERNST 1889 die nach ihm benannte Gleichung angegeben. In der elektrochemischen Thermodynamik kann man diese Beziehung mit den (aus Energie- und Entropiekomponenten zusammengesetzten) chemischen Potentialen der an der Zellreaktion (= Summe der Elektrodenreaktionen) beteiligten Teilchen ableiten. Für das chemische Potential des Sauerstoffs gilt

$$\mu(\text{O}_2) = \mu(\text{O}_2)^{\circ} + R \cdot T \cdot \ln p(\text{O}_2).$$

Bei einer Festelektrolytzelle mit zwei Sauerstoffelektroden ist die Zellreaktion einfach der Übergang von Sauerstoff höheren auf niedrigeren Druck. Die chemische Arbeit bei Zellreaktionen wird mit der molaren freien Reaktionsenthalpie  $\Delta_{\text{R}}G$  beschrieben, die hier gleich der Differenz der chemischen Potentiale ist:

$$\Delta_R G = (\text{O}_2)' - (\text{O}_2)'' = R T \cdot \ln [p(\text{O}_2)'/p(\text{O}_2)''].$$

In isothermen Zellen fallen die beiderseits gleich großen Standardpotentiale  $\mu(\text{O}_2)$  heraus.  $\Delta_R G$  ist gleich der maximalen Arbeit, die bei unendlich langsamem Ablauf der Zellreaktion, d.h. näherungsweise bei extrem kleinem Stromfluss über den äußeren Stromkreis, gewonnen werden kann und die sich mit der Gleichgewichtszellspannung  $U_{\text{eq}}$ , der molaren Ladung  $F$  (Faraday-Konstante) und der Zahl der bei der Zellreaktion pro Formelumsatz ausgetauschten Elektronen (für  $\text{O}_2$  gleich 4) berechnen lässt :

$$W_{\text{elektr}} = 4 \cdot F \cdot U_{\text{eq}}$$

Damit ergibt sich für die Gleichgewichtszellspannung die NERNSTsche Gleichung

$$U_{\text{eq}} = (R \cdot T / 4 \cdot F) \cdot \ln [p(\text{O}_2)'/p(\text{O}_2)''].$$

In der Gaspotentiometrie wird eine Elektrode mit einem bekannten Gas gespült und mit Messungen von  $U_{\text{eq}}$  und  $T$  das Gas an der Messelektrode analysiert. Nach Umrechnung auf den  $\lg$  ergibt sich dafür mit den Naturkonstanten  $R$  und  $F$  und mit trockener Luft unter Normaldruck an der Bezugslektrode die Zahlenwert-Gleichung

$$U_{\text{eq}}/\text{mV} = 0,049606 \cdot T/K \cdot \lg [0,2093 \cdot 1013,25 \text{ mbar} / p(\text{O}_2)].$$

In der Praxis wird häufig mit der Sauerstoffkonzentration  $\varphi(\text{O}_2)$  in Vol.-% gerechnet. Dazu ist in die Auswertgleichung  $p(\text{O}_2) = \varphi(\text{O}_2) \cdot p / 100$  einzusetzen. Wenn der Totaldruck  $p$  dem Normaldruck 1013,25 mbar annähernd gleich ist, rechnet man mit den Gleichungen

$$U_{\text{eq}}/\text{mV} = 0,049606 \cdot T/K \cdot \lg [20,93 \text{ Vol.-%} / \varphi(\text{O}_2)]$$

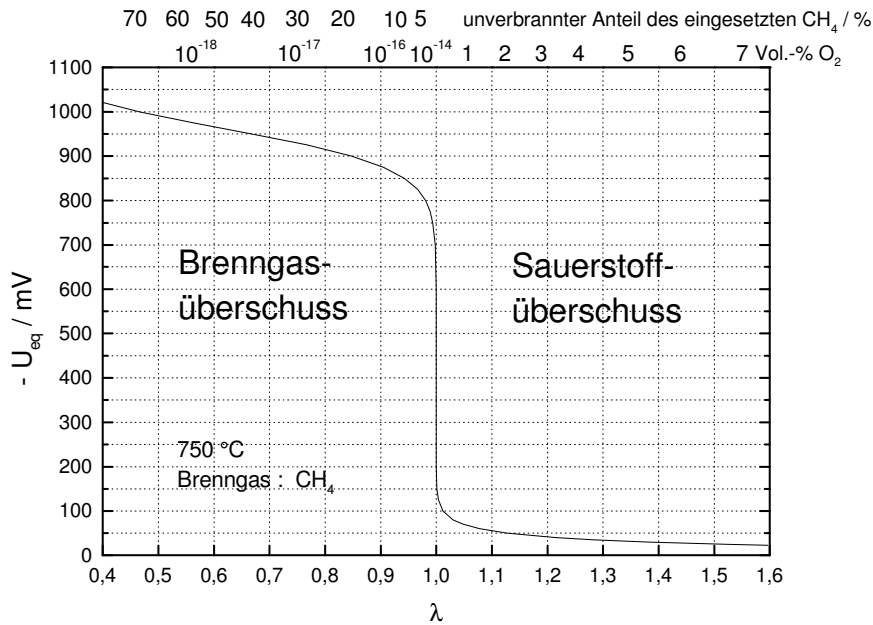
$$\varphi(\text{O}_2)/\text{Vol.-%} = 20,93 \cdot 10^{(U_{\text{eq}}/\text{mV})/(0,049606 \cdot T/K)}$$

Wenn an der Messelektrode ein Gas mit überwiegend reduzierenden Komponenten vorliegt, verschwinden die chemischen Standardpotentiale bei der Ableitung der Zellspannungsgleichung nicht. Man erhält dann eine NERNSTsche Gleichung für Reaktionszellen mit konzentrationsunabhängigen Gliedern, beispielsweise für Zellen mit Wasserstoff, Wasserdampf- und Luft-Elektrode

$$U_{\text{eq}}(\text{H}_2, \text{H}_2\text{O-Luft})/\text{mV} = -1290,6 + \{ 0,3261 + 0,0992 \cdot \lg [\varphi(\text{H}_2\text{O})/\varphi(\text{H}_2)] \} \cdot T/K.$$

Bei verschiedenen technischen Prozessen interessiert der Quotient  $Q = \varphi(\text{H}_2\text{O})/\varphi(\text{H}_2)$ , den man mit dieser Gleichung berechnen kann. Wenn die Messelektrode den negativen Pol der Zelle bildet, gibt man der Zellspannung ein negatives Vorzeichen.

Die Abhängigkeit der Gleichgewichtszellspannung von  $\lambda$ , von der Sauerstoffkonzentration und von einem  $\text{CH}_4$ -Überschuss bei Methanverbrennung zeigt das nachfolgende Diagramm.



Die oben in Gleichungen und im Diagramm dargestellten Zellspannungen gelten jeweils nur für Zellen mit gleicher Temperatur an beiden Elektroden. Die Produkte von ZIROX zeichnen sich dadurch aus, dass darin derartige isotherme Zellen weitestgehend realisiert sind. Die in Kraftfahrzeugen verwendeten Lambda-Sonden sind dagegen nicht isotherm ausgelegt. Sie erfüllen ihren Zweck im Wesentlichen zur Indizierung von  $\lambda = 1$  und sind zu genauen gaspotentiometrischen Bestimmungen weniger geeignet.

## 10.2 Konformitätserklärung

### EG - Konformitätserklärung

Dokument- Nr.: 11 17. Juni 2003

Hersteller: Zirox Sensoren & Elektronik GmbH

Anschrift: Am Koppelberg 21  
D - 17489 Greifswald

Produktbezeichnung: Sauerstoffmessgerät E2000

Die Übereinstimmung des bezeichneten Produktes mit den Vorschriften der Richtlinie des Rates  
**89/336/EWG** (zuletzt geändert: 93/68/EWG)  
wird nachgewiesen durch:

Der Hersteller hat die in der Richtlinie 89/336/EWG genannten harmonisierten Normen angewandt und die Übereinstimmung des Produktes festgestellt.

#### harmonisierte europäische Normen:

Nummer:	Text:	Ausgabedatum:
DIN EN 61000-6-4	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV); Teil 6-4 Störaussendung für Industriebereich	08.2002
DIN EN 61000-6-2	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV); Teil 6-2 Fachgrundnorm: Störfestigkeit für Industriebereich	08.2002
DIN EN 61000-3-2	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV); Teil 3-2 Grenzwerte für Oberschwingungsströme	12.2001
DIN EN 61000-3-3	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV); Teil 3-3 Grenzwerte für Spannungsschwankungen und Flicker	05.2002

Diese Erklärung bescheinigt die Übereinstimmung mit der genannten Richtlinie, beinhaltet jedoch keine Zusicherung von Eigenschaften. Die Sicherheitshinweise der mitgelieferten Produktdokumentation sind zu beachten.

Aussteller: Zirox Sensoren & Elektronik GmbH

Ort, Datum: Greifswald 18.06.03

Rechtsverbindliche  
Unterschrift: 