



Sauerstoff-Fibel

THEORIE DER MESSTECHNIK UND TIPPS FÜR DIE PRAXIS



a xylem brand

Sauerstoff-Fibel



a xylem brand

**Xylem Analytics Germany
Sales GmbH & Co. KG, WTW**

Dr.-Karl-Slevogt-Straße 1
D-82362 Weilheim
Germany

Tel: +49 881 183-0
Fax: +49 881 183-420
E-Mail: Info.WTW@Xyleminc.com
Internet: www.WTW.com



Mehr als 70 Jahre Erfahrung

Gelöster Sauerstoff wird über eine Partialdruckmessung bestimmt, das heißt, der in der Flüssigkeit gelöste Sauerstoff hängt vom Druck des über der Oberfläche befindlichen Gases ab. Bereits 1965 gelang es uns mit unserer Marke WTW einen serienreifen Sensor zur Messung des gelösten Sauerstoffs auf den Markt zu bringen. Seither hat sich die Messtechnik dieses Parameters, der unter anderem für das Leben von Flora und Fauna in Gewässern entscheidend ist, stetig weiterentwickelt. Heute bieten wir zusätzlich optische Sauerstoffsensoren an, die präzise Messungen bei geringstem Wartungsaufwand und höchster Präzision erlauben.

Mit dieser Fibel möchten wir Ihnen die Messtechnik mit praktischen Tipps näher bringen, Anwender unterstützen und Interessierten helfen, Grundlagen zu erschließen.

Gerne und jederzeit stehen wir Ihnen auch persönlich zur Verfügung, rufen Sie uns einfach an.

Ulrich Schwab
(Geschäftsführer Xylem Analytics Germany GmbH)

INHALTSVERZEICHNIS

KAPITEL 1

Grundlagen	6
1.1 Sauerstoffsensoren.....	7

KAPITEL 2

Kalibrierung und Analytische Qualitätssicherung	11
2.1 Kalibrierung	11
2.1.1 Kalibrierung in wasserdampfgesättigter Luft.....	11
2.1.2 Kalibrierung in luftgesättigtem Wasser	13
2.1.3 Der Kalibriervorgang im Messgerät.....	13
2.2 Überprüfung der Sensorfunktion.....	14
2.2.1 Prüfung an wasserdampfgesättigter Luft	15
2.2.2 Prüfung in luftgesättigtem Wasser	15
2.2.3 Prüfung mittels Nulllösung	15

KAPITEL 3

Messung und Analytische Qualitätssicherung	17
3.1 Reinigung des Sensors	17
3.2 Regenerieren des Sensors.....	17
3.3 Einheit und Anzeige des Messergebnisses	19
3.3.1 Anzeige als Konzentrationsmaß	19
3.3.2 Anzeige als Prozentuale Sauerstoffsättigung.....	19
3.4 Potenzielle Fehlerquellen.....	20
3.4.1 Polarisationszeiten (Einlaufzeiten) vor der Messung	20
3.4.2 Driftkontrolle (AUTOREAD).....	20
3.4.3 Anströmung des Sensors.....	20

3.4.4 Salzgehaltskorrektur	22
3.4.5 Einfluss störender Gase	22
3.4.6 Löslichkeitsfunktionen.....	23

KAPITEL 4

Die optische Sauerstoffmessung 24

4.1 Das Prinzip der optischen Messung	24
4.2 Eigenschaften der optischen Sauerstoffsensoren	26
4.3 Kalibrieren optischer Sauerstoffsensoren	27
4.4 Reinigung optischer Sauerstoffsensoren.....	27
4.5 Einfluss störender Gase.....	28

Literaturverzeichnis 29

Weitere Fibeln 30

Über uns 31

Informationen rund um die Uhr	31
-------------------------------------	----

Sauerstoff-Fibel

KAPITEL 1

Grundlagen

Sauerstoff ist nicht nur Bestandteil der Luft, sondern liegt als gelöstes Gas auch in Flüssigkeiten vor. Ein Gleichgewichtszustand ist dann erreicht, wenn der Sauerstoffpartialdruck, also der Anteil am Gesamtdruck, der vom Sauerstoff verursacht wird, in Luft und Flüssigkeit gleich ist. Die Flüssigkeit ist dann sauerstoffgesättigt. Bezüglich der physikalisch-chemischen Richtigkeit sei angefügt, dass es sich beim Partialdruck in der Flüssigkeit eigentlich um die Fugazität handelt. Im relevanten Druckbereich für die Messungen ist ein Gleichsetzen beider

Größen jedoch zulässig, wodurch wir uns in den weitergehenden Betrachtungen auf den Partialdruck beschränken können. In trockener atmosphärischer Luft beträgt der Sauerstoffpartialdruck 20,95 % des Luftdrucks. Über einer Wasseroberfläche reduziert sich dieser Anteil, weil auch Wasserdampf einen Dampfdruck und damit einen Partialdruck besitzt.

Es ergibt sich unter Sättigungsbedingungen:

$$p_{O_2}(T) = 0,2095 \cdot (p_{Luft} - p_W(T))$$

mit $p_{O_2}(T)$ als Sauerstoffpartialdruck, p_{Luft} als Luftdruck und $p_W(T)$ als Wasserdampfdruck. (T) kennzeichnet temperaturabhängige Größen.

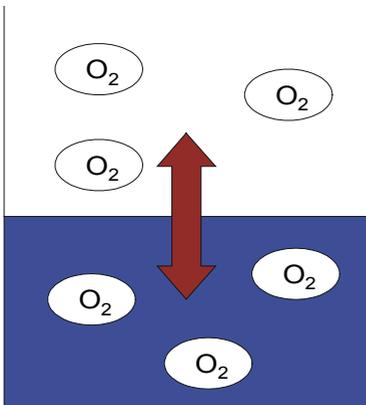


Abb. 1 Prinzip des Partialdrucks

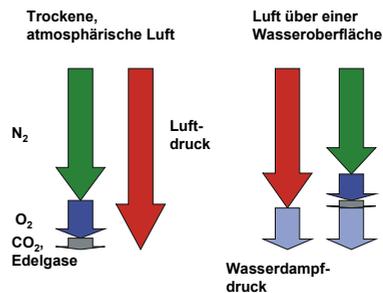


Abb. 2 Zusammensetzung der Luft

In den meisten Fällen sind aber Aussagen zur Sauerstoffkonzentration $\beta_{O_2}(T)$ gewünscht. Diese hängt proportional vom Sauerstoffpartialdruck und natürlich von der Art der Flüssigkeit ab, widergespiegelt durch den Bunsenschen Absorptionskoeffizienten $a_{O_2}(T)$.

$$\beta_{O_2}(T) = \frac{a_{O_2}(T) \cdot p_{O_2}(T) \cdot M_{O_2}}{V_M}$$

mit M_{O_2} als molarer Masse des Sauerstoffs und V_M als Molvolumen. Für die Messung der Sauerstoffkonzentration ist die Kenntnis der Temperatur zwingend erforderlich. Wird das Ergebnis in %-Sättigung gewünscht, benötigt man zusätzlich den aktuellen Luftdruck.

Aus diesen Gleichungen wird deutlich, dass Wasser bei hohem Luftdruck mehr Sauerstoff zu lösen vermag als bei niedrigem Luftdruck.

Mit steigender Temperatur steigt der Wasserdampfdruck, d.h. der Sauerstoffpartialdruck nimmt ab. Zur Verdeutlichung des Einflusses ein Vergleich zwischen 20 °C und 40 °C bei einem Luftdruck von 1013 hPa. Lösen sich bei 20 °C noch 9,09 mg/L Sauerstoff in Wasser, sind es bei 40 °C nur noch 6,41 mg/l.

Die mit der Temperaturänderung verbundene Volumenänderung hängt von der zu untersuchenden Flüssigkeit ab. Für Wasser spielt dieser Effekt eine untergeordnete, vernachlässigbare Rolle.

Anders der Effekt von gelösten Stoffen. Sie können die Löslichkeit von Sauerstoff sowohl erniedrigen als auch erhöhen. Ein Salzgehalt (Natriumchlorid) von einem Prozent führt für Wasser zu einer Sättigungskonzentration von 8,54 mg/L anstatt 9,09 mg/L bei 20 °C.

Organische Stoffe hingegen erhöhen meist die Aufnahmefähigkeit von Sauerstoff in Wasser. Die maximale Sättigungskonzentration steigt mit dem Anteil der organischen Substanz. Reines Ethanol z.B. löst 40 mg/L Sauerstoff.

1.1 Sauerstoffsensoren



Abb. 3 Schnitt durch einen galvanischen Sauerstoffsensor

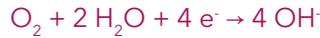
Sauerstoff-Fibel

Grundprinzip der elektrochemischen Bestimmung der Sauerstoffkonzentration sind membranbedeckte elektrochemische Sensoren. [1] Die Hauptbestandteile des Sensors sind die sauerstoffdurchlässige Membran, die Arbeitselektrode, die Gegenelektrode, die Elektrolytlösung und eventuell eine Referenzelektrode.

Zwischen Goldkathode und Anode, welche entweder aus Blei oder Silber besteht, liegt eine Spannung an, die Sauerstoff elektrochemisch reagieren lässt. Der entstandene Stromfluss ist umso höher, je höher die Konzentration an Sauerstoff ist. Messgröße ist der im Sensor fließende Strom, welcher nach erfolgter Kalibrierung in die Konzentration des gelösten Sauerstoffs umgerechnet werden kann. Ist die Anode aus Silber, legt das Messgerät die notwendige Spannung an (amperometrischer Sensor). Ist die Anode aus Blei, handelt es sich um einen selbstpolarisierenden Sensor, d.h. die Spannung wird von den beiden Elektroden im Sensor selbst aufgebaut, analog einer Batterie (galvanischer Sensor). Das Messgerät wertet nur den fließenden Strom aus.

Bei der elektrochemischen Sauerstoffbestimmung laufen folgende Elektrodenreaktionen ab.

An der Kathode wird Sauerstoff reduziert:



Dabei „stellt die Kathode Elektronen zur Verfügung“ und der durch die Membran eindiffundierte Sauerstoff reagiert mit Wasser zu Hydroxidionen.

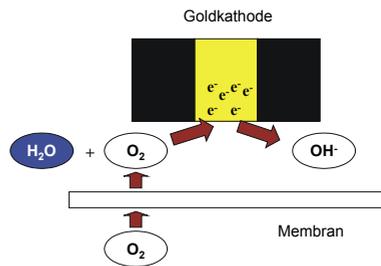


Abb. 4 Prinzip der Elektrodenreaktionen

An der Anode wird das Elektrodenmetall oxidiert, wobei die für die Kathodenreaktion benötigten Elektronen frei werden. Die ablaufenden Reaktionen sind entweder



oder

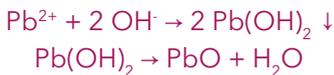


Die Gleichungen der Anodenreaktionen verdeutlichen die Wirkungsweise der Elektrolytlösung. Die Bestandteile der Elektrolytlösung binden die durch die Anodenreaktion entstandenen Metallionen.

Die Elektrolytlösungen müssen zur Art der Elektrode passen. Die galvanischen Sensoren CelloX[®] 325 oder StirrOx[®] G benötigen eine ELY/G Lösung und amperometrische, z.B. TriOxmatic[®] benötigen eine ELY/N Lösung.



beziehungsweise



Für die Silberelektrode stellt sich dies graphisch folgendermaßen dar (Abb. 5):



Abb. 5 Anodenreaktion bei der Silberelektrode

Die entstehenden schwerlöslichen Substanzen verhindern zudem eine Verbleiung oder Versilberung der Goldkathode, die stattfinden würde, wenn die Ionen nicht abgefangen werden.

Amperometrische Sensoren können mit einer zusätzlichen Silber/Silberbromidelektrode als Dreielektrodenzelle geschaltet werden. Sie haben keine Anode im klassischen Sinn mehr. Eine der Silber/Silberbromidelektroden übernimmt die Aufgabe der Gegenelektrode (Stromableitung), die andere die einer unabhängigen Bezugslektrode. Diese ist nicht mehr stromdurchflossen und weist damit eine wesentlich bessere Potentialkonstanz auf als eine konventionelle Elektrode.

Das Potential der Bezugslektrode wird durch die Konzentration der Bromidionen bestimmt und stellt dementsprechend eine ionenselektive Elektrode dar. Dadurch kann die Konzentration der Elektrolytlösung überwacht werden, ein weiterer Aspekt dieses Sensortypus. Für WTW-Sensoren ist dies in der sogenannten AutoReg-Funktion bei den TriOxmatic[®]-Sensoren für die On-Line-Messungen realisiert.

Sauerstoff-Fibel

Unterschiedlich sind auch die Polarisationszeiten der Sensoren, die entsprechend der Bedienungsanleitung eingehalten werden müssen. Die Polarisationszeit ist die Zeit, die vom Anschließen des Sensors bis zum Beginn der Messung abgewartet werden muss. Sie entspricht der Einlaufzeit, die benötigt wird, um stabile Messwerte zu erhalten. Nach einer Neubefüllung und einem Wechsel des Sensorkopfes (siehe Regenerieren von Sensoren) enthalten die neuen Bestandteile noch einen undefinierten Anteil an Sauerstoff, der erst elektrochemisch abreagieren muss. Zudem fließt ein Strom, der durch das Polarisieren der Elektroden entsteht. Dieser Strom ist vergleichbar mit dem Laden eines Kondensators.

Die Polarisationszeit spielt aber nicht nur nach einer Sensorregenerierung eine Rolle.

Wie bereits erläutert ist der galvanische Sensor selbstpolarisierend, d.h. auch nach dem Trennen des Sensors vom Messgerät wird weiterhin polarisiert. Als Folge dessen ist beim erneuten Anschließen keine Wartezeit notwendig. Bei amperometrischen Sensoren muss nach jeder Trennung des Sensors vom Gerät eine gewisse Zeit pola-

risiert werden (siehe Bedienungsanleitung). Diese stete Einsatzbereitschaft ist allerdings mit einem kleinen Nachteil verbunden. Da die Polarisation dauernd stattfindet, verbraucht sich die Elektrolytlösung auch, wenn der Sensor während Liegezeiten nicht an das Messgerät angeschlossen ist. Es kann dementsprechend sein, dass eine Regenerierung notwendig wird, obwohl gar nicht gemessen wurde. Die „Batterie ist somit erschöpft“.

Die Rolle der Messguttemperatur für die Sauerstoffmessung geht aus der Temperaturabhängigkeit der unterschiedlichen Variablen (z.B. Bunsenscher Absorptionskoeffizient) in den eingangs erwähnten Gleichungen bereits hervor.

Zudem ist auch die Sauerstoffpermeabilität (Sauerstoffdurchlässigkeit) der Membran temperaturabhängig. Aus diesem Grund wird neben dem äußeren Temperaturfühler (Messguttemperatur!) ein weiterer benötigt, der sich im Sensorkopf befindet. Mit diesen beiden Temperaturwerten ist es dem Gerät möglich, den Temperatureinfluß auf die Sauerstoffdurchlässigkeit der Membran zu kompensieren (IMT Isotherme Membrantemperaturkompensation).

KAPITEL 2

Kalibrierung und Analytische Qualitätssicherung

2.1 Kalibrierung

Analog der pH-Messung muss auch für die Gelöst-Sauerstoffmessung in gewissen Zeitabständen eine Kalibrierung durchgeführt werden. Grund ist der Verbrauch der Elektrolytlösung im Sensorkopf durch die Messung, wie aus den vorhergehenden Elektrodenreaktionen ersichtlich ist. Die Ionen der Elektrolytlösung binden die entstandenen Metallionen, wodurch sich die Zusammensetzung der Lösung ändert. Das empfohlene Kalibrierintervall ist abhängig vom verwendeten Sauerstoffsensor. Es reicht von zwei Wochen für Taschengeräte bis zu 2-3 Monaten für stationäre WTW-Sauerstoffsensoren.

Jede lineare Kalibrierfunktion wird durch mindestens zwei Punkte festgelegt. Im Falle der Gelöst-Sauerstoffmessung mit WTW-Geräten ist ein Punkt der Geraden der Sensornullpunkt. Am Sensornullpunkt ist bei Abwesenheit von Sauerstoff das Sensor-

signal kleiner als die Auflösung des Sensors.

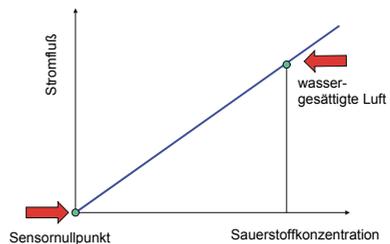


Abb. 6 Darstellung der linearen Kalibrierung durch zwei Punkte

Man bezeichnet dies als Nullstromfreiheit des Sensors. Für den Experimentator erscheint die Kalibrierung mit WTW-Geräten dann quasi als Einpunktkalibrierung.

Der zweite Punkt der Kalibriergeraden kann unterschiedlich festgelegt werden.

Hintergrund ist die Tatsache, dass im Gleichgewichtszustand der Sauerstoffpartialdruck in Flüssigkeit und in Luft gleich ist.

2.1.1 Kalibrierung in wasserdampfgesättigter Luft

Diese Voraussetzung wird über einer großen Wasserfläche, wie

Sauerstoff-Fibel

etwa einem See oder auch dem Belebungsbecken einer Abwasserreinigungsanlage, erfüllt.



Abb. 7 Für Labormessungen bieten wir spezielle Luftkalibriergefäße an.

Der Sauerstoffpartialdruck der Luft berechnet sich aus dem Luftdruck nach der schon bekannten Formel

$$p_{O_2}(T) = 0,2095 \cdot (p_{Luft} - p_w(T))$$

Entsprechend dieser Beziehung muss der aktuelle Luftdruck p_{Luft} am Messort (nicht der auf Meeresniveau korrigierte, wie er aus Wettervorhersagen bekannt ist) gemessen werden. Dies wurde früher vom Benutzer mit einem Barometer durchgeführt oder näherungsweise durch Eingabe der geographischen Höhe gelöst. Moderne WTW-Messgeräte ermitteln den aktuellen Druck automatisch mit einem integrierten Drucksensor.

Der Wasserdampfpartialdruck $p_w(T)$ ist lediglich eine Funktion der Temperatur, wenn die Luftfeuchtigkeit bei 100 % liegt. Um diesen Wert bestimmen zu können, ist der Sensor zusätzlich mit einem Temperaturmessefühler ausgestattet.

Wichtig für den Anwender ist es, sicherzustellen, dass keine Wassertropfen an der Membran vorhanden sind. Dann würde die Kalibrierung nämlich zum Teil in Wasser stattfinden.

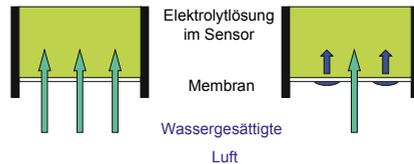


Abb. 8 Effekt von Wassertropfen an der Sensormembran

Vorsicht ist insbesondere dann geboten, wenn der Sensor längere Zeit im Kalibriergefäß aufbewahrt wurde und sich eventuell Kondensationstropfen an der Membran niedergeschlagen haben. Die Membran vor dem Kalibrieren in jedem Fall prüfen und gegebenenfalls mit einem weichen Papiertuch trocknen.

Es genügt, wenn der Schwamm im OxiCal® feucht ist. Er sollte keinesfalls nass sein. Der Anwender sollte den Schwamm lediglich mit dest. Wasser benetzen und anschließend auspressen. Die Feuchtigkeit ist dann noch vollkommen ausreichend.

2.1.2 Kalibrierung in luftgesättigtem Wasser

Das Wasser wird solange belüftet bis der Sauerstoffpartialdruck in Wasser und Luft gleich ist. Dieser Weg birgt aber einige Risiken:

- Der Luftdruck im Belüftungsschlauch ist stets etwas größer als der normale Luftdruck und damit das Wasser nach dem Belüften immer etwas übersättigt.
- Die Temperatur im Wasser sinkt durch das Belüften (Verdunstungskälte).
- Wenn ein Temperaturgleichung abgewartet wird, ist das Wasser etwas übersättigt.
- Der Punkt der vollständigen Sättigung ist schwer abzuschätzen. Es besteht die Gefahr der Untersättigung.
- Sauerstoffzehrende Substanzen führen zur Untersättigung

Die Möglichkeit der Kalibrierung in wasserdampfgesättigter Luft wird von jedem WTW Gerät unterstützt und ist, wie die oben angeführten Punkte zeigen, eindeutig der Kalibrierung in luftgesättigtem Wasser vorzuziehen. Sie ist auch beim Arbeiten nach Norm (ISO 5814) zu verwenden.

Als Ergebnis der Kalibrierung wird die relative, nicht die absolute Steilheit (wie bei pH-Messgeräten) in % angezeigt.

2.1.3 Der Kalibriervorgang im Messgerät

Das Sauerstoffmessgerät nimmt das Elektrodensignal (fließender Strom!) auf und vergleicht es mit dem Sauerstoffpartialdruck, der nach Gleichung (1) für die herrschenden Bedingungen von Luftdruck p_{Luft} und Temperatur (T) erhalten wird. Damit erhält das Messgerät ein Steilheitsmaß, das Messströme in den Sauerstoffpartialdruck $p_{O_2}(T)$ umzurechnen erlaubt. Gleichzeitig wird ein Vergleich zwischen tatsächlichem Messwert und durchschnittlichem Sättigungsstrom des jeweiligen Elektrodentyps nach Neufüllung (Nennstrom) durchgeführt, dessen Ergebnis die relative Steilheit S darstellt.

Durch den Bezug auf den durchschnittlichen Sättigungsstrom sind auch Steilheiten größer als 1,00 möglich. Ein Steilheitswert nach dem Kalibrieren von 0,81 bedeutet, die Steilheit beträgt 81 % des Nennwerts. Sie sagt nichts über die Genauigkeit der Messung aus, sondern ist ein Hinweis zum Abschätzen der restlichen Betriebszeit, also der Zeit bis zum nächsten Wechsel der Elektrolytlösung.

Dies gilt auch für die Bedeutung der Sensorsymbole in der Anzeige der modernen Sauerstoffmessgeräte, die in gleicher Weise die Standzeit des Sensors bewerten.

Die Berechnung der Sauerstoffkonzentration wird richtig mit der intern abgespeicherten absoluten Steilheit in nA/hPa durchgeführt.

2.2 Überprüfung der Sensorfunktion

Bei der pH-Messung sind Kalibrierdaten eine direkte Möglichkeit, die Qualität der Messanordnung von Gerät, Messkette und Standardpufferlösung zu beurteilen. Für die Sauerstoffmessung ist dies wegen der relativen Steilheit nicht möglich. Um dennoch Aussagen zur Sensorfunktion machen zu können, gibt es die optische

Prüfung und drei charakteristische Messpunkte.

Bei der optischen Prüfung betrachtet man die Goldkathode. Ist sie nicht mehr goldfarben, sondern verbleit oder versilbert, liefert der Sensor zu hohe Werte und ist in der Regel nicht mehr nullstromfrei. Man schafft Abhilfe indem der Sauerstoffsensor entsprechend der Bedienungsanleitung regeneriert wird. Die Goldkathode darf nur mit einer speziellen, befeuchteten Schleiffolie unter kreisenden Bewegungen mit wenig Druck poliert werden. Unter allen Umständen ist nur diese Folie zu verwenden, da eine zerkratzte und nicht polierte Elektrodenoberfläche den Sensor schädigt und die Messsicherheit beeinträchtigt.

Achtung: Die Anoden, unabhängig davon, ob sie aus Blei oder Silber sind, dürfen auf keinen Fall poliert werden.

Umfassender als die subjektive, optische Prüfung ist eine Beurteilung an drei speziellen Messpunkten:

1. in wasserdampfgesättigter Luft,
2. in luftgesättigtem Wasser und
3. in sauerstofffreiem Wasser.

2.2.1 Prüfung an wasserdampfgesättigter Luft

Der Sensor sollte in wassergesättigter Luft einen Wert zwischen 100 und 104 % Sauerstoffsättigung liefern. Liegen die Werte darunter ist wahrscheinlich die Membran während der Kalibrierung nass gewesen, eventuell befindet sich zuviel Wasser im Kalibriergefäß. Der Soll-Wert von über 100 % Sättigung resultiert aus den unterschiedlichen Viskositäten von Wasser und Luft sowie der Oberflächenspannung von Wasser. Stark vereinfacht ausgedrückt, ist es den Sauerstoffmolekülen in Luft leichter möglich, die Membran zu durchdringen, als denen in Wasser. Im Messmodus, in welchem die Messung stattfindet, wird jedoch von einer flüssigen Probe ausgegangen, wodurch der Wert über 100 % Sättigung resultiert.

2.2.2 Prüfung in luftgesättigtem Wasser

Nach der Kalibrierung sollte der Wert in luftgesättigtem Wasser zwischen 97 und 102 % Sättigung betragen. Der theoretische Wert liegt bei 100 % und ist schlecht reproduzierbar. Die Ursache der relativ großen Toleranz liegt

nicht beim Sensor, sondern am Sättigungsverfahren. Das ist auch der ursächliche Grund warum wir erfolgreich nach einer Alternative zur früher üblichen Kalibrierung in luftgesättigtem Wasser gesucht haben. Findet man keinen Wert in diesem Toleranzintervall, sollte der Sensor zur Überprüfung ins Werk gesandt werden.

2.2.3 Prüfung mittels Nulllösung

Hierdurch wird die Nullstromfreiheit des Sensors getestet. Ein Sensor darf bei einem Sauerstoffgehalt von 0 mg/L nur eine Anzeige von maximal der Auflösung des Messgeräts (1 Digit) zeigen. Die Überprüfung wird mit Natriumsulfitlösung durchgeführt. Sulfit reagiert mit gelöstem Sauerstoff zu Sulfat, wodurch dem Wasser gelöster Sauerstoff entzogen wird. Die Herstellung ist denkbar einfach. Man nimmt einen Teelöffel Natriumsulfit und löst ihn in 100 ml Leitungswasser. Nach 15 Minuten ruhigem Stehen ist die Lösung sauerstofffrei. Ruhig deshalb, weil sonst wiederum Sauerstoff aus der Umgebung eingerührt würde.

Eine Minute nach dem Eintauchen der Sensoren sollte das Mess-

gerät einen Wert von maximal 2 % und nach 15 Minuten von maximal 0,4 % anzeigen. Wenn nicht, ist der Sensor nicht mehr nullstromfrei und muss entweder gereinigt oder zur Überprüfung ins Werk gesandt werden. Nach der Prüfung den Sensor gründlich mit destilliertem Wasser spülen, um Reste der Natriumsulfitlösung zu entfernen.

Galvanische Sensoren mit Blei-gegenelektroden (CellOx® 325 und StirrOx® G) dürfen maximal 3 Minuten eingetaucht werden. Anschließend ebenfalls mit destilliertem Wasser gründlich spülen. Die Reinigung der Sensoren ist sehr wichtig, um einer Vergiftung und damit einer dauerhaften Schädigung vorzubeugen.

KAPITEL 3

Messung und Analytische Qualitätssicherung

Die Messung der Sauerstoffkonzentration ist nun denkbar einfach. Man taucht den Sensor in die zu untersuchende Flüssigkeit und liest den Messwert ab. Das ist zwar prinzipiell richtig, dennoch sollten ein paar wichtige Punkte beachtet werden.

3.1 Reinigung des Sensors

Der Teil des Sensors, der gegenüber Verschmutzung empfindlich ist, ist die Membran. Verschmutzung äußert sich besonders bei elektrochemischen Sensoren in Minderbefunden bei Messungen oder geringeren Steilheiten beim Kalibrieren, weil nicht mehr die komplette Oberfläche der Membran für die Diffusion des Sauerstoffs zur Verfügung steht. Diese Verschmutzungen durch Justieren zu kompensieren, ist kein Weg, der mit dem AQS-Gedanken in Einklang steht. Besser ist es die Membran zu reinigen. Für Kalk- und Eisenoxidablagerungen verwendet man 5-10 %-ige (Gewichtspro-

zent!) Essig- oder Zitronensäure, für Fette und Öle warme ($<50\text{ °C}$) Haushaltsspülmittellösungen.

Bei allen Reinigungsaktivitäten ist eine starke mechanische Beanspruchung der Membran zu vermeiden, da deren Dicke im μm Bereich liegt und sie leicht zerstört werden kann. Idealerweise verwendet man ein weiches Papiertuch. Auf eine Reinigung im Ultraschallbad sollte verzichtet werden, da die Beschichtung der Anoden abblättern kann.

3.2 Regenerieren des Sensors

Ein Regenerieren des Sensors wird notwendig, wenn die AutoReg-Funktion anspricht oder die Steilheit beim Kalibrieren ($S < 0,6$) stark abgenommen hat.

Die AutoReg-Funktion ist bei den Dreielektrodensensoren von WTW (z.B. TriOxmatic®) implementiert und auch nur hier möglich. Sie zeigt dem Benutzer an, dass ein Regenerieren notwendig ist.

Sauerstoff-Fibel

Grundsätzlich ist ein Regenerieren dann erforderlich, wenn die Elektrolytlösung verbraucht ist, wenn die Goldkathode verbleit oder versilbert ist, wenn die Referenzelektrode vergiftet ist, oder wenn die Membran beschädigt oder verschmutzt ist.

Es beinhaltet den Wechsel der Elektrolytlösung, das Reinigen der Elektroden und einen Wechsel des Membrankopfes.

Wichtig ist, dass man sich exakt an die Bedienungsanleitung hält, um Fehler zu vermeiden. Folgende Punkte sind herauszuheben:

- Der Sensor muss vom Messgerät getrennt werden. Bei einem angeschlossenen Sensor findet beim Eintauchen in die Reinigungslösung keine chemische Reaktion der Lösung mit der oxidierten Referenzelektrodenoberfläche statt, sondern eventuell eine elektrolytische Zersetzung der Reinigungslösung.
- Entsprechend der Bedienungsanleitung die zum Sensor passende Reinigungslösung bzw. Elektrolytlösung verwenden! Eine Lösung für Silberelektroden kann keine Bleielektrode regenerieren.
- Poliert wird lediglich die Goldkathode, die Gegenelektroden werden nur mit einem weichen Tuch abgewischt, um leicht lösbare Salzkrusten zu entfernen. Ein scheckiger Belag nach dem Regenerieren der Blei- oder Silberelektroden stört die Messung nicht.
- Für das Polieren der Goldelektrode nur die angefeuchtete WTW Schleifolie verwenden, da sie eine zum Polieren geeignete Körnung hat und keine Kratzer verursacht.
- Sinnvoll ist auch die Verwendung eines neuen Membrankopfes, da bei Wiederverwendung des gebrauchten und strapazierten Kopfes ein korrektes Anlegen der Membran und des Abstandsgitters an die Goldkathode nicht mehr gewährleistet ist.

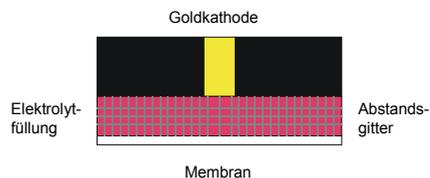


Abb. 9 Schemazeichnung des Membrankopfes

- Dieses Abstandsgitter wird deutlich sichtbar, wenn der Membrankopf gegen das Licht gehalten wird.
- Bei der Regenerierung von Dreielektrodensensoren (z.B. TriOxmatic®) darf der Sensor nur soweit eingetaucht werden, dass die bereits erwähnte dritte Elektrode nicht von der Reinigungslösung benetzt wird (siehe Bedienungsanleitung).
- Die Polarisationszeit nach dem Regenerieren muss eingehalten werden.

3.3 Einheit und Anzeige des Messergebnisses

Das Ergebnis einer Sauerstoffmessung kann in unterschiedlicher Art und Weise dokumentiert werden:

3.3.1 Anzeige als Konzentrationsmaß

Das Gerät benötigt die entsprechenden Daten der Kalibrierkurve und berechnet hieraus unter Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit der einzelnen Parameter die Konzentration in mg/L (die Angabe in ppm ist für Medien mit

einer Dichte von 1 g/mL zahlenmäßig identisch).



Abb. 10 Konzentration

3.3.2 Anzeige als Prozentuale Sauerstoffsättigung

Das Gerät mißt den Sensorstrom und berechnet entsprechend der Kalibrierung den Sauerstoffpartialdruck. Zur Berechnung des Sättigungspartialdrucks wird der aktuelle Luftdruck gemessen. Die Anzeige entspricht dem Quotienten, umgerechnet in Prozent.



Abb. 11 Luftdruck-Quotient in %

Sauerstoff-Fibel

Bei vielen Geräten ist zusätzlich auch die Anzeige des Sauerstoffpartialdruckes in mbar möglich.

3.4 Potenzielle Fehlerquellen

3.4.1 Polarisationszeiten (Einlaufzeiten) vor der Messung

Falls der Sensor vom Messgerät getrennt war, ist beim erneuten Anschließen amperometrischer Sensoren (Gold-Silber-Elektroden-systeme) eine entsprechende Polarisationszeit bis zum Start der Messung nötig. Galvanische Sensoren (Gold-Blei-Elektroden-systeme) sind hiervon nicht betroffen, da diese selbstpolarisierend sind und sofort verwendet werden können. Lediglich nach einem Regenerieren ist vor dem Messen eine gewisse Zeit abzuwarten.

3.4.2 Driftkontrolle (AUTO-READ)

Die Driftkontrolle prüft ähnlich wie bei pH-Messgeräten die Stabilität des Sensorsignals. Dabei wird die zeitliche Änderung der Messwerte untersucht und das Zeitverhalten der Sensoren objektiv bewertet. Liegt die Drift bzw. Änderung unter einem definierten Wert, ist das Signal ausreichend stabil und der

aktuelle Messwert wird als eigentlicher Messwert angesehen.

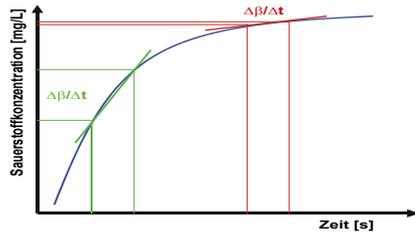


Abb. 12 Sauerstoffkonzentration in Abhängigkeit zur Zeit

Dadurch entfällt ein subjektives Beurteilen der Messwertstabilität und die Reproduzierbarkeit der Messung wird verbessert.

Besonders für die Bestimmung des Biochemischen Sauerstoffbedarfs empfiehlt sich die Verwendung der AUTOREAD Funktion, weil Präzisionsmessungen mit wesentlich höherer Sicherheit durchgeführt werden können.

3.4.3 Anströmung des Sensors

Für eine korrekte Sauerstoffmessung muss die Membran des Sensors stets angeströmt werden. Durch die Diffusion der Sauerstoffmoleküle in den Sensorkopf elektrochemischer Sensoren entsteht eine sauerstoffarme Zone, die eine zu niedrige Sauerstoff-

konzentration vortäuscht. An der Membran muss stets die gleiche Konzentration herrschen wie im Rest der Messprobe.

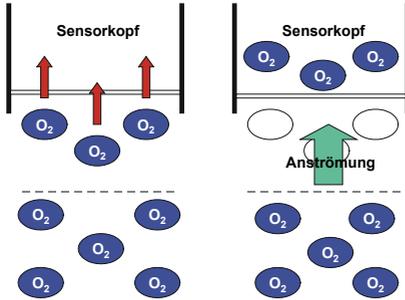


Abb. 13 Diffusionsverhalten mit und ohne Anströmung

Diese Bedingung kann entweder durch Rühren der Messprobe oder Bewegung des Sensors in der Probe erfüllt werden.



Abb. 14 Rühraufsatz für Labor Sauerstoffsensoren

Wir bieten spezielle Rühraufsätze an, die wie kleine Schaufelräd-

chen rotieren und der Membran stets neue Probe zuführen. Der Antrieb erfolgt durch ein elektromagnetisches Wechselfeld, das vom Rühruntersatz erzeugt wird.

Der große Vorteil dieser Vorrichtung ist die Dimension des Rühraufsatzes. Er hat den gleichen Durchmesser wie die Sonde und wird auf den Sensorkopf gesteckt. Dadurch wird ein einfaches Messen in Probenflaschen, wie z.B. den Karlsruher Flaschen der BSB-Messung, ermöglicht.

Der WTW-Sensor StirrOx® G ist speziell für die BSB-Messung ausgelegt. Im Sensorschaft ist ein Propeller installiert, der ähnlich einer Schiffsschraube, für Anströmung an der Membran sorgt. Der Rühreffekt ist hierbei so stark, dass neben der Anströmung der Membran auch für die Homogenisierung der Probe gesorgt wird.

Falls Rührfische und Magnetrührer verwendet werden, muss eine eventuelle Strudelbildung, die auch Thrombenbildung genannt wird, beachtet werden. Der Sauerstoffsensor darf nicht im Strudel positioniert sein, da Luft an der Membran das Messergebnis verfälschen würde. Vermeiden kann man dies

durch Erniedrigung der Rührfrequenz oder Positionierung des Sensors außerhalb der Strudelbildung.

Bei einem Einbau in Rohrleitungen strömt die Probe am Sensorkopf vorbei und sorgt für eine ausreichende Anströmung. WTW bietet stationäre Messsysteme mit speziellen Einbauvorrichtungen für Rohre an.

Alternativ kann der Sensor im Messmedium bewegt werden. Zum Beispiel durch Rühren des Sensors in einem Becherglas oder durch Schwenken in einem See. Für die Messung in großen Tiefen stehen auch Tiefenarmaturen für Messungen bis zu 100 m Wassertiefe zur Verfügung.

Zu beachten ist, dass durch das Rühren keine Verfälschung der Messwerte verursacht wird. Das kann insbesondere dann sein, wenn die untersuchte Messprobe sauerstoffüber- oder untersättigt ist und Sauerstoff ausgetrieben oder eingerührt werden kann. Sauerstoffübersättigung ist z.B. im Sommer bei stehenden Gewässern zu beobachten, wenn durch die Photosynthese der wuchernden Algen Sauerstoff produziert wird. Ein Beispiel für Sauerstoffuntersättigung ist die

BSB-Bestimmung, wo Bakterien die Sauerstoffkonzentration durch ihre Atmung in den Karlsruher Flaschen erniedrigen.

Dementsprechend ist auch das Probenvolumen bedeutsam. Eine Messung in einem See oder einem Belebungsbecken ist aufgrund der riesigen Probenmenge unkritisch. In einem offenen Becherglas dagegen kann die Sauerstoffkonzentration durch Rühren leicht verändert werden.

Bei optischen Sensoren, die prinzipbedingt für ihre Funktion keine Anströmung benötigen, hilft das Rühren trotzdem, um schneller auf den Endwert zu kommen.

3.4.4 Salzgehaltskorrektur

Der temperaturabhängige Bunsensche Absorptionskoeffizient (siehe Gleichung 2) ändert sich, wenn Substanzen in Wasser gelöst werden. Dieser Effekt wird durch die Eingabe der Salinität berücksichtigt. Die Salinität kann mit einem Leitfähigkeitsmessgerät bestimmt werden und entspricht ansatzweise dem Salzgehalt von Meerwasser in g/kg. Man kann diese Funktion auch für andere Wässer verwenden, da die Abweichungen oft gering sind.

3.4.5 Einfluss störender Gase

Die Membran des Sauerstoffsensors ist neben Sauerstoff auch für andere Gase durchlässig.

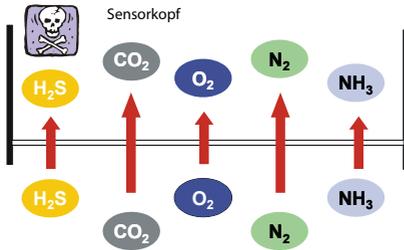


Abb. 15 Durchlässigkeit der Membran für verschiedene Gase

Stickstoff ist reaktionsträge und spielt keine Rolle.

Der hohe pH-Wert der Elektrolytlösung schützt die Messung vor störenden Einflüssen durch Ammoniak.

Problematisch ist hingegen Kohlendioxid. Das Puffervermögen der Elektrolytlösung reicht zwar für kurzzeitige Belastungen aus, bei längerer Belastung jedoch verschiebt Kohlendioxid den pH-Wert in den sauren Bereich und führt zu Überbefunden. Galvanische Sensoren können dabei das Puffervermögen besser regenerieren als amperometrische, da sie durch die Elektrodenreaktionen überschüssi-

ge Hydroxidionen bilden.

Bei hohen Kohlendioxidgehalten (z.B. Bier, Sekt, Limonade) ist die Pufferkapazität der Elektrolytlösung im Sensor nicht ausreichend. Der pH verschiebt sich ins Saure, das Messgerät zeigt Überbefunde an.

Die größte Gefahr für Sauerstoffsensoren geht von Schwefelwasserstoff aus, weil das durch die Neutralisationsreaktion entstehende Sulfidion die Gegenelektroden vergiftet.

Kleine Mengen können von den Sensoren verkraftet werden, jedoch verkürzt eine Dauerbelastung die Sensorstandzeit deutlich. Schwefelwasserstoff ist an seinem Geruch nach faulen Eiern, der schon in kleinsten Konzentrationen wahrgenommen werden kann, ohne messtechnischen Aufwand leicht feststellbar.

3.4.6 Löslichkeitsfunktionen

Möchte man die Konzentration des gelösten Sauerstoffs in nicht-wässrigen Flüssigkeiten bestimmen, muss die entsprechende Löslichkeitsfunktion bekannt sein. Ist die Löslichkeitsfunktion bekannt, sind Sauerstoffmessungen analog der Messung in Wasser durchzuführen.

KAPITEL 4

Die optische Sauerstoffmessung

In den letzten Jahren hat sich für die Gelöst-Sauerstoffmessung eine weitere Technologie etabliert. Der Sauerstoff wird nicht mehr nur elektrochemisch sondern auch optisch gemessen. [2] Selbstverständlich bleiben die Grundlagen der Sauerstoffbestimmung auch hier gültig. Messtechnisch ergeben sich neue Gesichtspunkte, die im Folgenden erläutert werden.

4.1 Das Prinzip der optischen Messung

Ein Sensor für optische Messung wird auch als Optode bezeichnet. Optoden arbeiten an den mit dem Messgut in Berührung kommenden Oberflächen mit speziellen Farbstoffen. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass es in ihnen zu keiner chemischen Reaktion mit Masse- und Energieumsatz kommt (wie zum Beispiel bei der Clarkzelle), sondern nur zu einem Energieumsatz, der über eine Veränderung des von einer im Sensor implementierten Licht-

quelle abgestrahlten und mit einem Detektor wieder empfangenen Lichtes gemessen wird. Diese Art der Reaktion wird als Fluoreszenz bezeichnet. Dabei werden Farbstoffmoleküle durch Licht in einen angeregten Zustand überführt. Beim Zurückfallen in den Grundzustand wird die aufgenommene Energie in Form von Licht mit veränderter (größerer) Wellenlänge abgegeben.

Es gibt Substanzen, die in Abhängigkeit von ihrer Konzentration diesen Mechanismus messbar beeinflussen. Es handelt sich dabei um so genannte Quencher. Übersetzt bedeutet „to quench“ „löschen“. Das heißt, dass diese Stoffe die die Energie des angeregten Zustands übernehmen, so dass der Farbstoff kein Fluoreszenzlicht mehr abgeben kann und damit „gelöscht“ ist. Die Intensität des Fluoreszenzlichtes wird umso geringer, je höher die Konzentration der Quencher-moleküle ist. Dieser Zusammenhang wird

grundlegend in der Stern-Volmer-Gleichung beschrieben:

$$\frac{I_0}{I} = 1 + k_{SV} \cdot c_Q$$

Dabei ist I_0 die Lichtintensität ohne Quencher, I die Intensität bei Anwesenheit des Quenchers in einer entsprechenden Konzentration, k_{SV} die Stern-Volmer Konstante und c_Q die Konzentration des Quenchers. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch, dass sich nicht nur die Intensität sondern auch das zeitliche Abklingen des Fluoreszenzlichtes nach der Anregung entsprechend der Stern-Volmer-Gleichung verhält.

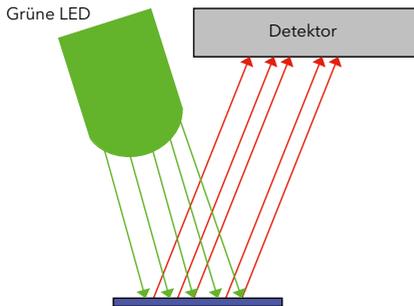


Abb. 16 Lumineszenz: Anregung durch Licht einer kürzeren Wellenlänge (hier grün), Aussendung einer roten, also energieärmeren Fluoreszenzstrahlung.

Was bedeutet das nun für die Gelöst-Sauerstoffmessung? Es gibt Farbstoffe, die sich durch sichtbares Licht anregen lassen und mit einer hohen Selektivität auf Sauerstoff reagieren. Die Sauerstoffmoleküle reagieren hier also wie oben beschrieben als Quencher. Sie löschen bzw. verändern das im Farbstoff entstehende Licht in Abhängigkeit vom herrschenden Sauerstoff-Partialdruck. Mit Hilfe dieser Farbstoffe können geeignete Membranen für die Messung von Sauerstoff in Flüssigkeiten oder Gasen hergestellt werden.

Als Lichtquelle dienen LEDs. Die Anregung der Fluoreszenz erfolgt moduliert. Das vom Farbstoff in der Membran emittierte Licht wird detektiert, in ein elektrisches Signal umgewandelt und in das Sauerstoffsignal umgerechnet.

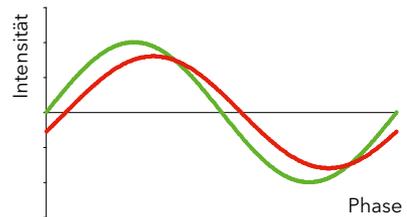


Abb. 17 Vereinfachte Darstellung von modulierter Anregung und emittierter Fluoreszenzstrahlung

Grüner Graph: periodisch eingestrahktes Licht, roter Graph: vom Farbstoff emittiertes Licht mit verschobener Phase, die aus dem veränderten Abklingverhalten resultiert.

4.2 Eigenschaften der optischen Sauerstoffsensoren

Der signifikante Unterschied zu klassischen Sauerstoffsensoren ist, dass optische Sensoren keinen Sauerstoff verbrauchen. Es finden keine elektrochemischen Reaktionen statt. Damit ergibt sich zugleich eine weitere Eigenschaft: Der optische Sensor benötigt keine Anströmung, um „verbrauchen“ Sauerstoff nachgeliefert zu bekommen. Rührsysteme werden zunächst einmal überflüssig. Nebenbei entfallen die Notwendigkeit des Elektrolytwechsels sowie der Reinigung des Elektroden systems. Die Lebensdauer der optischen Sensorkappen mit der farbstoffhaltigen Membrane beträgt in der Regel mindestens ein Jahr.

Da bei elektrochemischen Sensoren ein etwa 10 μm dicker Wasserfilm entsteht, der nicht gerührt werden kann und als

Diffusionsbarriere wirkt, zeigt ein elektrochemischer Sensor nach dem Kalibrieren an Luft ein Signal von etwa 102 % Luftsättigung. Der optische Sensor misst 100 % Luftsättigung, da diese Barriere hier nicht existiert.

Es kann aber durchaus sinnvoll sein, einen optischen Sensor anzuströmen. Es gibt, wie bei allen Systemen mit Grenzflächen, auch beim optischen Sauerstoffsensor Diffusion des gelösten Sauerstoffs im Wasser je nach Konzentration in die Membrane hinein oder aus der Membrane heraus. Dieser Vorgang läuft natürlich umso schneller ab, je besser der Austausch an der Grenzfläche erfolgt. Ein Rühren unterstützt diesen Austausch.

Eine Polarisationszeit gibt es bei optischen Sensoren nicht, da bei ihnen keine Elektroden vorhanden sind, die einen Betriebszustand erreichen müssen.

Optische Sauerstoffsensoren sind Sensoren, die über aktive Bauteile (LEDs, Detektor, Prozessor) verfügen. Damit benötigen sie im Gegensatz zu den elektrochemischen Sensoren relativ viel Strom, der bei portablen Systemen zu

deutlich reduzierter Betriebsdauer führt. Hinzu kommt, dass optische Sensoren auch besondere Auswertegeräte benötigen.

Der Messbereich ist im Vergleich zu den elektrochemischen Sensoren nach oben hin deutlich begrenzt. Die Ursache liegt im Quenchverhalten. Vereinfacht lässt sich sagen, dass kein Sauerstoff – ein starkes Signal, viel Sauerstoff – ein schwaches Signal bedeutet. In der Regel endet der Messbereich bei ca. 200 % Luft-sättigung bzw. 20 mg/l.

4.3 Kalibrieren optischer Sauerstoffsensoren

Ein Vorteil der optischen Sauerstoffsensoren ist das sehr stabile Driftverhalten. Die Veränderungen in der Membran werden hauptsächlich durch das einfallende Licht verursacht. Es resultiert eine Abnahme der Empfindlichkeit ausgelöst durch das sogenannte Bleaching und damit eine entsprechende Abnahme der Intensität und eine Veränderung hinsichtlich der Phasenverschiebung.

Diese Veränderungen sind im Laufe eines Jahres in der Regel deutlich kleiner 5 % des Anfangs-

wertes. Wenn diese Toleranz akzeptiert werden kann, muss der Sensor nicht kalibriert werden.

Wir bringen den Farbstoff auf Wechselkappen auf, die der Anwender einfach auf den Sensor steckt und festschraubt. Diese Wechselkappen enthalten einen Chip, der die im Produktionsprozess ermittelten Kennwerte („Werkskalibrierung“) der individuellen Membran enthält. Diese Daten werden automatisch in den Sensor übertragen und zur korrekten Berechnung der Sauerstoffkonzentration herangezogen.

Selbstverständlich ist auch eine Kalibrierung durch den Benutzer möglich. Sie wird analog zu den elektrochemischen Sensoren in wasserdampfgesättigter Luft im Kalibriergefäß durchgeführt. Wie bereits oben erwähnt, liegt die resultierende Sättigungsanzeige bei 100 %.

4.4 Reinigung optischer Sauerstoffsensoren

Die sensitive Oberfläche eines optischen Sauerstoffsensors wird durch eine lichtundurchlässige Deckschicht geschützt. Diese Deckschicht ist sehr dünn und darf deshalb nicht zerkratzt oder

Sauerstoff-Fibel

beschädigt werden, andernfalls kann es zu Fehlfunktionen kommen. Bezüglich der Reinigung gelten die gleichen Maßnahmen wie bei den konventionellen Sauerstoffmembranen. Bei leicht anhaftenden Verschmutzungen empfiehlt sich die vorsichtige Reinigung mit einem weichen Tuch, weitere Hinweise befinden sich in der Bedienungsanleitung.

4.5 Einfluss störender Gase

Im Gegensatz zu den amperometrischen Sensoren spielen Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff in Bezug auf die Standzeit oder die Beschädigung der Sensoren

keine Rolle. Es muss lediglich beachtet werden, dass zum Beispiel Schwefelwasserstoff wegen seiner molekularen Masse ebenfalls als Quencher fungiert. Ein Beispiel aus der Praxis wäre bei limnologischen Tiefenmessungen der mit zunehmender Tiefe abnehmende Sauerstoffgehalt, der scheinbar eine Steigerung erfährt, wenn der Sensor ins weiche Sediment eintaucht. Grund ist aber der durch Fäulnisprozesse in vielen Gewässern entstehende Schwefelwasserstoff, der hier ein Sauerstoffsignal vortäuscht. Dieses Signal ist reversibel, der Sensor erfährt keine Beschädigung.



Literaturverzeichnis

[1] DIN EN ISO 5814, Wasserbeschaffenheit - Bestimmung des gelösten Sauerstoffs - Elektrochemisches Verfahren, 2013

[2] DIN ISO 17289:2014-12 Wasserbeschaffenheit - Bestimmung des gelösten Sauerstoffs - Optisches Sensorverfahren

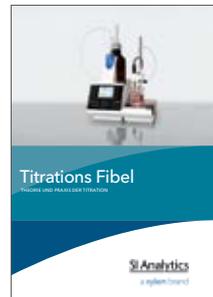
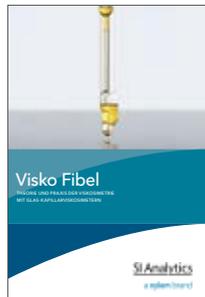
Sauerstoff-Fibel

Weitere Fibern

Bestellen Sie unsere Fibern und Praxistipps!

- pH-Fibel
- Leitfähigkeits-Fibel
- Ionenselektiv-Fibel
(in Vorbereitung)
- Photometrie-Tipps für die Praxis
- Titrations-Fibel
- Viskosimetrie-Fibel
- Refraktometrie-Fibel

WE SUPPLY
KNOW
HOW



Über uns

Informationen rund um die Uhr!



Neuheiten

Klicken Sie sich ein. WTW präsentiert Ihnen Produktneuheiten, Weiterentwicklungen, innovative Mess- und Analysegeräte, hilfreiches Zubehör, nützliche Systemerweiterungen und vieles mehr.

Eine gute Adresse – 24 Stunden lang.

Applikationen

Bei WTW finden Sie die Lösung Ihrer Messaufgaben in Forschung, Analytik und Qualitätskontrolle – und dazu jede Menge Anwendungstips.

Alles nach Maß.

Kontaktadressen

Sie suchen einen Ansprechpartner in Ihrer Nähe? Hier finden Sie unsere nationalen und internationalen Ansprechpartner, Adressen, Vertretungen ...

Einfach reinklicken – und durchblicken.

www.WTW.com



a xylem brand

Xylem | 'ziləm|

- 1) Das Gewebe in Pflanzen, das Wasser von den Wurzeln nach oben befördert;
- 2) ein führendes globales Wassertechnologie-Unternehmen.

Wir sind ein globales Team, das ein gemeinsames Ziel eint: innovative Lösungen zu schaffen, um den Wasserbedarf unserer Welt zu decken. Im Mittelpunkt unserer Arbeit steht die Entwicklung neuer Technologien, die die Art und Weise der Wassernutzung und Wiedernutzung in der Zukunft verbessern. Wir bewegen, behandeln und analysieren Wasser, führen es in die Umwelt zurück und helfen Menschen, Wasser effizient in ihren Haushalten, Gebäuden, Fabriken und landwirtschaftlichen Betrieben zu nutzen. Durch die Aufnahme von Sensus im Oktober 2016 hat Xylem sein Portfolio mit intelligenten Messgeräten, Netzwerktechnologien und fortschrittlichen Dienstleistungen für die Datenanalyse in der Wasser-, Gas- und Elektrizitätsindustrie ergänzt. In mehr als 150 Ländern verfügen wir über feste, langjährige Beziehungen zu Kunden, bei denen wir für unsere leistungsstarke Kombination aus führenden Produktmarken und Anwendungskompetenz, getragen von einer Tradition der Innovation, bekannt sind.

Weitere Informationen darüber, wie Xylem Ihnen helfen kann, finden Sie auf www.xylem.com



Xylem Analytics Germany

Sales GmbH & Co. KG, WTW

Dr.-Karl-Slevogt-Straße 1
D-82362 Weilheim
Germany

Tel: +49 881 183-0
Fax: +49 881 183-420
E-Mail: Info.WTW@Xyleminc.com
Internet: www.WTW.com

Angebote und Bestellungen

Tel: +49 881 183-323
Fax: +49 881 183-333
E-Mail: Auftrag.WTW@Xyleminc.com

Technische Information

Tel: +49 881 183-321
Fax: +49 881 183-425
E-Mail: TechInfo.WTW@Xyleminc.com

Reparatur Service

Tel: +49 881 183-325
Fax: +49 881 183-414
E-Mail: Service.WTW@Xyleminc.com

Alle Namen sind eingetragene Handelsnamen oder Warenzeichen der Xylem Inc. oder eines seiner Tochterunternehmen. Technische Änderungen vorbehalten.