

pO_2 -Meßplatz

Anleitung
zur pO_2 -Messung mit dem Meßverstärker M 80
und der Meßkammer MMK/E-N



VEB METRA MESS- UND FREQUENZTECHNIK RADEBEUL

im VE Kombinat Präcitronic

Wilhelm-Pieck-Straße 58 · Radebeul · 8122

Ruf Dresden 7 50 88 · Postfach 13

Inhaltsverzeichnis

1. Anwendungsbereich
2. Verstärker M 80
3. Mikromeßkammer
4. Kammerblock
5. Elektrodeneinsatz
6. Elektrolyt
7. Formierung
8. Überprüfung des Meßplatzes
9. Fragen des Sauerstoffpartialdruckes
10. Eichung
11. Blutmessung
12. Fremdgase
13. Schlußbemerkungen
14. Tabellen
15. Fehlermöglichkeiten
16. Bestellinformation

1. Anwendungsbereich

Der pO_2 -Meßplatz besteht aus dem Meßverstärker M 80 und der Mikromeßkammer. Er dient zur Messung des Sauerstoffpartialdruckes (pO_2) von kleinsten Flüssigkeitsmengen sowie von Gasproben, soweit sie das Membranmaterial nicht angreifen. Das minimale Volumen an Meßgut von nur 60 μ l macht sie besonders geeignet zur pO_2 -Messung kleiner Blutproben. Die Messungen können als Routinemethode schnell und in großer Zahl durchgeführt werden. Im Durchfluß sind laufende Messungen möglich. Die Handhabung der Mikromeßkammer sowie die Vorbereitung zur Messung sind unkompliziert. Im Vordergrund der Anwendung stehen Messungen in medizinischen Einrichtungen.

Arbeitsmittel:

M80 und MMK/E-N, Finalgon forte, Optal, Aqua. dest., Natriumsulfit (Na_2SO_3) oder pO_2 Zero-Solution, Pinzette steril, Heparinisierte Kapillaren, Zellstofftupfer.

2. Meßverstärker M 80

Wirkungsweise des Verstärkers

Der Meßverstärker ist ein vorwiegend mit integrierten Schaltkreisen aufgebauter Proportional-Spannungsregelverstärker. Ein mit der elektrochemischen Sauerstoffmeßzelle in Reihe liegender Meßwiderstand ist mit dem Ausgang des Meßverstärkers verbunden. Dieser Ausgang liefert die für die Funktion der Meßzelle notwendige, auf 2 ‰ konstante Zellspannung, während der Eingang, direkt an die Meßzelle angeschlossen, die Zellspannung kontrolliert und im Bedarfsfall nachregelt. Bei Vorhandensein von Sauerstoff an der Meßzelle fließt ein Strom durch diese und somit auch durch den Meßwiderstand und verursacht einen dem Sauerstoffpartialdruck proportionalen Spannungsabfall. Da dieser eine Verringerung der Zellspannung bewirkt, wird durch Aufregulung des Meßverstärkers der Spannungsabfall über den Meßwiderstand sofort kompensiert und die geforderte 2 ‰ konstante Betriebsspannung der Meßzelle aufrechterhalten. Diese nachgeregelte Spannung ist dem Sauerstoffpartialdruck direkt proportional und kommt am Meßinstrument zur Anzeige.

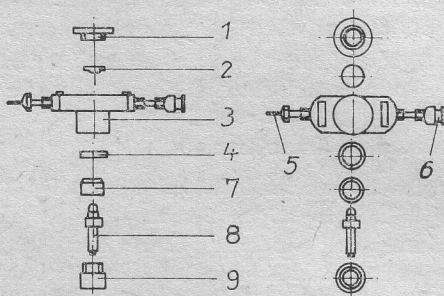
Anordnung der Bedienelemente

Auf der Frontplatte befinden sich der Tastenschalter für Netzbetrieb, die Kontroll-Leuchtdiode, das Meßinstrument, die Kalibrierregler, der Nullpunktregler, der Bereichsschalter, die Buchsen für Formierung, Meßzelle, die Steckdose für den Anschluß der Mikromeßkammer und die Leuchtdioden für den Betrieb sowie das Regelverhalten der Mikromeßkammer. Auf der Rückseite sind Netzsteckdose, zwei Sicherungselemente (63 mA), Registrierausgang und zwei Einstellregler zur Einstellung der Zellspannung und zur Kompensation untergebracht. Nach Abnahme der oberen Gehäuseschale sind alle Bauelemente leicht zugänglich. Das Gerät wird am Wechselstromnetz 220 V betrieben.

Achtung! Vor Öffnen des Gehäuses Netzstecker ziehen!

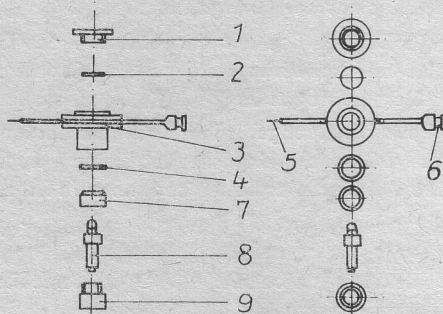
4. Kammerblock, komplett

Kammerblock alt



- 1 Fensterfassung
- 2 Sichtfenster
- 3 Kammerblock
- 4 Zentrierring
- 5 Einsaugstutzen
- 6 Absaugstutzen
- 7 Membranhalter
- 8 Elektrode
- 9 Feststellschraube

Kammerblock neu

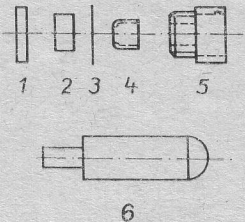


Der Kammerblock wird von einem Sichtfenster (2) luftdicht verschlossen. Die Stutzen 5 und 6 sind zum Ein- bzw. Absaugen des Meßgutes bestimmt. Der Membranhalter 7 (mit gespannter Membran) verschließt den Kammerblock von unten. Der Elektroden-einsatz (8) wird mit der Feststellschraube (9) im Kammerblock fixiert.

Membranspannung

1. Achtung, nur zu verwenden mit Membranfolie 25 μm
2. Zentrierring aus Silikon in den Kammerblock einlegen
3. Membranblättchen (13 mm \varnothing) auf den Membranhalter legen
4. mit Paßring Membran festklemmen
5. Elektrolyt einfüllen
6. Elektrode in die Feststellschraube schieben
7. Membranhalterung auf die Elektrode setzen
8. zusammen in den Kammerblock schrauben

9. dabei nicht zu fest anziehen
10. Bei unbrauchbarer Membran mit dem Auswerfer Membranhalter aus dem Paßring schieben

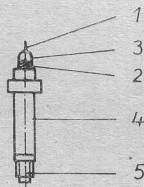


- 1 Zentrierring
- 2 Paßring
- 3 Membran 13 mm \varnothing
- 4 Membranhalter
- 5 Feststellschraube
- 6 Auswerfer

Es dürfen nur kleine Mengen (etwa 1 bis 2 Tropfen) Elektrolyt in den Raum zwischen Katode und Membran eingefüllt werden. Überschüssiger Elektrolyt dringt in die angrenzenden Gewinde, wo er vertrocknet und zu Störungen Anlaß gibt.

5. Elektrodeneinsatz

- 1 Platinkatode
- 2 Silberanode
- 3 Glaskörper
- 4 Formkörper
- 5 Gewindeflansch



Es ist hinreichend bekannt, daß die sorgfältig maschinell abgeschliffene und polierte Glaseinschmelzung der Katode und diese selbst in ihrer Präzision und Geometrie über die wichtigsten Meßeigenschaften der Sonde, Reststrom und Einstellzeit, entscheiden. Der Übergang Platin/Glas muß makellos und ohne die geringsten Krypten und Beschädigungen sein. Deshalb ist es völlig unzulässig, die Katodenfläche mit Schmirgelpapier oder groben Schleifmitteln zu bearbeiten. Auch kräftiges Putzen gegen eine weiche Unterlage (Stoff, Filz) führt zur bevorzugten Aushöhlung des weichen Platinmetalls, während das harte Glas stehen bleibt. Wenn bei Lupenbetrachtung die Katoden/Glasfläche einen verschmutzten oder verkrusteten Eindruck macht, ist ein Abreiben mit Zahnpaste oder Wiener Kalk zulässig. Ausgebrochene oder total verkratzte Elektrodeneinsätze sind unbrauchbar, der genannte Zustand äußert sich in erhöhtem Reststrom und langer Einstellzeit. Beim Reinigen darf der Elektrodeneinsatz nicht mit Wasser behandelt werden (Kurzschlußgefahr). Auch ist eine Behandlung im Trockenschrank oder Steri über 80 °C verderblich. Der in die Meßkammer eingesetzte Elektrodeneinsatz soll mit seiner in Glas eingeschmolzenen Katode die straff gespannte Membran um 0,3 mm vordrücken (Protrusion). Die Mutter des Meßkabels darf nicht zu kräftig angezogen werden, um eine Zerstörung des Glaskörpers zu vermeiden.

Bei jedem Herausnehmen des Elektrodeneinsatzes aus dem Kammerblock ist die Kathode sofort mit Zellstoff zu reinigen, um ein Eintrocknen von Elektrolytresten zu vermeiden. Bei Nichtgebrauch Elektrodeneinsatz aus dem Kammerblock nehmen, vorsichtig und sorgfältig reinigen und trocken im Tablettenröhrchen aufbewahren. Der weitaus größte Teil der uns zur Reparatur eingesandten Einsätze zeigt lediglich Verschmutzungen und der Rest Spuren unsachgemäßer Behandlung. Zur Vermeidung dieser Mängel empfiehlt es sich, die vorstehenden Richtlinien genau zu beachten!

6. Elektrolyt

Rezept 1:

Der verwendete Elektrolyt besteht aus 0,5 M KCl-Lösung, diese enthält 0,37 g KCl auf 10 ml und ist mit 1% Agar verdickt. Die KCl-Konzentration kann in weiten Grenzen abweichen. Der Elektrolyt ist im Wasserbad so lange zu kochen, bis das Agar-Agar vollständig gelöst ist und nach dem Erkalten eine gallertartige und nicht halbflüssige Konsistenz erreicht wird. Es empfiehlt sich, das Agar zuvor quellen zu lassen. Günstiger ist die Verwendung von Agarose. Hierzu werden 100 ml 0,5 N KCl mit 0,5–0,8 g Agarose auf 60 °C erhitzt und bei dieser Temperatur ca. 30 min belassen. Nach dem Abkühlen ist der Elektrolyt verwendungsfähig.

Haltbarkeit: 5 bis 6 Monate

Aufbewahrung im Kühlschrank!

Rezept 2:

Reagenzien: Gelatine (reinst); Glycerin (2. AB d. DDR); Kaliumchlorid p. A.; Kaliumhydroxid p. A.; Thymol (reinst).

Lösung (1): 0,05 g Thymol + 0,6 g Kaliumhydroxid + 50 ml Aqua. dest. unter leichtem Erwärmen lösen (in Polyäthylenflasche 1 Jahr haltbar).

Lösung (2): 0,7 g Gelatine + 0,5 g Kaliumchlorid + 25 ml Aqua. dest. bei 60 °C lösen.

Herstellung:

Zur Lösung 1 werden 50 ml Glycerin und 1 ml von der Lösung 2 unter Rühren zugegeben. pH-Wert mit Unitestpapier (pH 8–8,5).

Lösung in 10-ml-Portionsgefäße verteilen und erkalten lassen.

Der Elektrolyt eignet sich für alle O₂-Elektroden nach Clark und ist unbegrenzt haltbar.

7. Formierung

Durch den normalen Gebrauch der Meßzelle wird die Silberanode laufend in geringem Maße oberflächlich in AgCl umgewandelt und damit formiert. Dadurch erübrigt sich eine zusätzliche Formierung und sollte auf seltene Fälle beschränkt bleiben. Die Wahl der notwendigen Gebrauchsmetalle als Hilfskathode in verdünnter KCl-Lösung kann verschieden sein. Es eignen sich zur Not (wenn keine Platin-Hilfskathode vorrätig ist) ein Graphitstab aus einer Taschenlampenbatterie, ein Stück Silber, Nickel oder Kupferdraht. Für den Anschluß der Hilfskathode sind am pO₂-Meßverstärker M 65 F Telefonbuchsen vorgesehen (Minuspol) mit der Bezeichnung N (Nadelsonde) oder S (Stabsonde). Am Meßverstärker M 80 sind die Buchsen F vorgesehen.

15 Minuten Formierungszeit sind ausreichend. Als Elektrolyt dient verdünnte KCl-Lösung (ca. 0,5 N). Gute festhaftende Schichten werden auch mit 0,1 N HCl als Elektrolyt.

Bei einer notwendig gewordenen Formierung muß der Anodenwendel vorsichtig gereinigt werden, die alten Elektrolytreste entfernen! **Wickelrichtung des Anodendrahtes beachten!** Anodendraht ist am Glaskörper verleimt. Er darf nicht gegen die Wickelrichtung beansprucht werden. Nach der Reinigung muß der Anodendraht silbern aussehen.

Hilfskatode und Elektrodeneinsatz in ein kleines Gefäß (ca. 5 ml KCl-Lösung) eintauchen. Elektrolytlösung soll nur so hoch im Gefäß stehen, daß gerade der Anodenwendel bedeckt ist. Bei größeren Mengen besteht Kurzschlußgefahr.

Es ist streng darauf zu achten, daß die Anode nicht durch eingetrockneten Elektrolyt verklebt ist, was durch weißliches Aussehen erkennbar wird. Dadurch wird die Gebrauchsfähigkeit der Zelle bis zur völligen Unbrauchbarkeit eingeschränkt.

8. Überprüfung des Meßplatzes

Überprüfung des Meßverstärkers (siehe Punkt 2).

Kurzschlußprobe

Das Meßkabel wird an die Eingangsbuchse (\leftarrow) des Meßverstärkers M 80 angeschlossen. Nach Aufdrehen der Eichregler wird der Nullpunkt kontrolliert. Bereichsschalter auf Stellung 2 drehen (beim M 65 F auf Stellung 20). Der Zeigerausschlag auf dem Instrument darf ≤ 3 Teilstriche betragen. Danach den gereinigten und trockenen Elektrodeneinsatz an das Meßkabel anschließen. Zeigerausschlag muß ≤ 5 Teilstriche betragen.

Nach Ansetzen der Injektionsspritze wird langsam Aqua. dest. durch den Ansaugschlauch in die augenförmige Kammer gesaugt und dabei beachtet, daß keine Luftblasen in dieser verbleiben. Anschließend Luft einsaugen und den Vorgang mehrfach wiederholen. Fettspuren, die eine schlechte Benetzung verursachen, können durch Spülen mit einigen Tropfen Alkohol entfernt werden.

Mit der Spritze soll in der Regel nur angesaugt werden. Sie soll im gefüllten Zustand abgenommen und entleert werden. Es kann auch mit einer elektrisch betriebenen Pumpe oder schwach eingestellten anderen Pumpen eingesaugt werden, wobei ein T-Stück eingeschaltet wird, das mit dem Finger verschlossen werden kann.

Die Meßkammer ist in ihrer normalen Ausführung nicht für Messungen unter höherem hydrostatischen Druck (≥ 100 cm WS) vorgesehen wegen der damit verbundenen Gefahr der Ausdehnung und des Berstens der Membran. Besonders bei wechselndem Über- und Unterdruck bewirkt eine gedehnte und schlaffe Membran sehr große Meßfehler.

Konstante Anzeige

Der Zeigerausschlag bei Füllung der Kammer mit reiner Luft soll in 3 Minuten nicht mehr als um 1 % abweichen.

Reststrom

Bei Durchströmung der Kammer mit reinem Stickstoff oder nach Einsaugen einer frisch bereiteten Natriumsulfidlösung (1 kleine Spatelspitze Na_2SO_3 auf ca. 2 ml Wasser) soll

der Strom nach 1 Minute auf weniger als 3 % des Luftwertes absinken. Wird dieser Wert nicht erreicht, ist die Membran ausgedehnt, oder die Elektrode ist defekt. Nach Verwendung von Na_2SO_3 ist sorgfältig zu spülen, da sonst die kleinen Bohrungen im Kammerblock verstopfen oder Sulfitreste Sauerstoff absorbieren.

Einstellzeit t 95

Die Zeit bis zur 95 % Endeinstellung auf einen neuen pO_2 -Wert wird bei der Prüfung des Reststromes beobachtet und soll bei Verwendung einer Polyäthylenmembran (20–25 μm Stärke) unter 30 s liegen.

Der Begriff Endeinstellung bezieht sich auf den Reststrom nach 1 Minute. Kürzere Einstellzeiten, falls nötig, werden mit dünneren Membranen, z. B. Teflon 10 μm erreicht. Diese Prüfung sollte täglich einmal durchgeführt werden.

Messung

Nach der Funktionsprobe des Meßsystems auf Reststrom und Einstellzeit wird mit Luft geeicht und der Zeiger des Instrumentes auf einen um 4,6 % höheren Wert eingestellt. Das ist die ermittelte Differenz zwischen Gas und äquilibrierter Blutprobe.

Beispiel:

Berechneter pO_2 der Luft 20,4 kPa; bei luftgefüllter Kammer wird der Zeiger des Meßinstrumentes auf $20,4 \cdot 1,046 = 21,4$ eingestellt. Zur Messung gelangen pro Patient mindestens zwei Blutproben aus getrennten Kapillarröhrchen. Die Differenz der Meßwerte darf nicht mehr als 0,4 kPa betragen. Von der Probe wird etwas mehr eingesaugt als zur vollständigen Füllung der sichtbaren Meßkammer notwendig ist, die Kapillare abgenommen und die Blutsäule um ca. 2 mm mit der Frequenz 2...4 pro s bewegt.

Das Einsaugen kann auch mit Hilfe einer elektrischen Pumpe und zwischengeschalteten T-Stück geschehen. Der abgelesene Meßwert gilt entsprechend dem verwendeten Faktor für bewegtes Blut. Der pO_2 unbewegter Proben liegt um 0,3 bis 0,5 kPa niedriger und ist zeitabhängig. Es kann auch ein Korrekturfaktor verwendet werden, der für Gaseichung und unbewegtes Blut bei einer bestimmten Meßtechnik ermittelt wurde.

Spülung

Im Routinebetrieb hat es sich als günstig erwiesen, nicht nach jeder Blutmessung eine Spülung mit NaCl-Lösung vorzunehmen, sondern sofort die nächste Blutmessung anzuschließen. Auch bei Aufeinanderfolge von Blutproben mit größeren pO_2 -Differenzen wird keine Meßwertverfälschung bemerkt, wie genaue Vergleichsmessungen zeigten.

9. Fragen des Sauerstoffpartialdruckes

Das Maß des Sauerstoffpartialdruckes pO_2 oder der „Sauerstoffspannung“ hat die Dimension eines Druckes (Torr = mm Hg, kPa) und bedeutet, auf eine Flüssigkeit angewandt, den mit dieser im Gleichgewicht befindlichen partialen Sauerstoffdruck im Gas über der Flüssigkeit. Ein Zusammenhang mit der Konzentration des Sauerstoffs (mg O_2 /l oder ml O_2 /l) besteht über dessen stark temperaturabhängige Löslichkeit, die auch Sättigungskonzentration S_0 in der betreffenden Flüssigkeit genannt wird. Für Wasser ist diese aus Tabellen bekannt. Die Konzentration an Gelöstsauerstoff ist dem pO_2 über der Lösung und der Löslichkeit S_0 proportional:

$$C_{\text{O}_2} = S_0 \cdot \text{pO}_2 / 101,3$$

Temperaturabhängigkeit der Löslichkeit

Wird eine Flüssigkeitsprobe nicht bei gleicher Temperatur äquilibriert und gemessen, so treten große Eichfehler auf.

Beispiel:

Ein bei 25 °C und einem p_{O_2} von 20,0 kPa luftgesättigtes Wasser zeigt, wenn es in die 37 °C warme Meßkammer gebracht wird, einen höheren p_{O_2} , von 24,4 kPa. Die Berechnung unter Annahme gleichbleibender Konzentration ergibt für die Temperatur T_2 , für die eine geringere Löslichkeit S_2 gilt, einen zugehörigen p_{O_2} von

$$(p_{O_2})_2 = (p_{O_2})_1 \cdot S_1 / S_2.$$

Der Diffusionsstrom der Meßzelle ist ebenfalls stark temperaturabhängig. Wird bei tiefer Temperatur geeicht und bei höherer Temperatur gemessen, so liegen die Werte bei Polyäthylenmembranfolien um ca. 5 % pro Grad, bei Teflonfolien um 2 % pro Grad zu hoch. Gase nehmen beim Einsaugen in die Meßkammer sofort deren Temperatur an. Nicht temperierte Flüssigkeiten sollten langsam und nicht fortlaufend eingesaugt werden.

10. Eichung

Allgemeines

Die elektronische Sauerstoffmessung mißt den Partialdruck des gelösten Sauerstoffes. Die alte Druckeinheit Torr ist nach dem neuen SI-System durch Kilo-Pascal kPa ersetzt worden.

$$1 \text{ Torr} = 0,1333 \text{ kPa}$$

Die am Barometer abgelesenen Luftdruckwerte in Torr können durch Multiplikation mit 0,1333 in kPa umgewandelt werden. Manche Barometer haben auch eine Einteilung in mbar. Es gilt

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ Torr} = 1013 \text{ mbar} = 101,3 \text{ kPa}; \text{ daher } 1 \text{ mbar} = 0,1 \text{ kPa}.$$

Die mbar-Werte sind also durch 10 zu dividieren, um kPa zu erhalten (s. Nomogramm und Tabelle).

Eichung mit Gasen

Das einfachste, immer vorhandene Eichgas ist ohne Zweifel frische Luft. Verbraachte Zimmerluft oder Ausatemluft der vor der Meßkammer sitzenden Person führt zu falschen Einstellungen. Da die Kammer normalerweise innen feucht ist, muß bei der Eichung mit Luft bei 37 °C ein Wasserdampfdruck von 47 Torr = 6,3 kPa (Kilo-Pascal) in Abzug gebracht werden. Dieser Wert ist entsprechend Gleichung 1b mit 0,209 zu multiplizieren und ergibt einen Luft- p_{O_2} von 20,4. Die Formel für den Luft- p_{O_2} lautet dann

$$\text{in Torr: } p_{O_2} = (b-47) \cdot 0,209 \quad (1a)$$

$$\text{in kPa: } p_{O_2} = (b-47) \cdot 0,1333 \cdot 0,209 \\ (b-47) \cdot 0,028 \quad (1b),$$

wobei b der absolute Luftdruck in Torr (mm Hg) ist.

Zu dessen Ermittlung gibt es folgende Möglichkeiten:

- absolute Messung des Luftdruckes im Labor durch ein Quecksilberbarometer oder ein auf absolute Messung mit Hilfe der Formel (3) umgezeichnetes Dosenbarometer;

b) absolute Messung des Luftdruckes in Torr an anderem Ort (Druck p_1 , Höhe h_1) und Umrechnung mit Hilfe der barometrischen Höhenformel

$$\log p_2 = \log p_1 - \frac{h_2 - h_1}{18,4 - 0,067} \quad (2)$$

auf die Ortshöhe h_2 bei der mittleren Temperatur der Außenluft in °C – oder einfacher und noch hinreichend genau mit der Näherungsformel

$$p_2 = p_1 - \frac{h_2 - h_1}{10,8} \quad (3)$$

(1 Torr Druckdifferenz pro 10,8 m Höhenunterschied);

c) Umrechnung des zur Zeit herrschenden auf NN (Meeresspiegel) reduzierten Barometerstandes, den z. B. die örtliche Wetterwarte bekanntgibt, auf die Ortshöhe mit der unter b) gegebenen Näherung;

d) Umrechnung in SI-Einheiten entsprechend Gleichung 1b.

Rechenbeispiel zu c):

Es herrscht ein reduzierter Barometerstand von 753 Torr gleichbleibend. Das Meßlabor liegt im 3. Stock eines Gebäudes, dessen Standort die Höhe 212 m über NN hat. Gesamthöhe $212 + 14 = 226$ (m). Luftdruckabnahme durch Höhe $226 : 10,8 = 20,9$ Torr, ergibt einen Luftdruck am Ort von 732 Torr. Umrechnung von Torr in kPa entsprechend $1 \text{ Torr} = 133,3 \text{ Pa} = 0,1333 \text{ kPa}$; $732 \text{ Torr} = 97,6 \text{ kPa}$.

Auf diesen Wert ist der Zeiger bei Eichung mit Luft einzustellen und es können die Meßwerte in kPa abgelesen werden.

Für Blut- pO_2 -Messungen ist es auch üblich, statt der Luft ein Eichgas mit ca. 11...13 % O_2 entsprechend einem pO_2 von ca. 11...13 kPa zu verwenden. Eichwerte und Meßwerte sind dann annähernd von gleicher Größenordnung und gleichem Zeigerausschlag. Die Ausrechnung des Eichgas- pO_2 in kPa erfolgt gemäß

$$pO_2 = (b-47) \cdot 0,133 \cdot 0,01 \cdot n,$$

wenn n der prozentuale Sauerstoffgehalt des Eichgases ist.

Eichung mit Flüssigkeiten

Während bei Messung eines Gases die Meßzelle wegen der ungehinderten Diffusion der Sauerstoffmoleküle einen immer konstanten Strom aufweist, tritt bei flüssigem Meßgut in allen Fällen das Phänomen der Zehrung auf. Es äußert sich im langsamen, fortwährenden Absinken des Stromes und Abhängigkeit von Rührung und Bewegung. Aus diesem Grunde ist schon vor der Eichung mit Flüssigkeiten die Entscheidung über die Methodik der Messung zu treffen. Es kann

a) die Probe zur Vermeidung der Zehrung während der Messung fortlaufend hin und her bewegt werden oder

b) bei ruhiger Flüssigkeit zu immer der gleichen Zeit nach Einsaugen der Probe abgelesen werden.

In der Art der Bewegung des flüssigen Meßgutes haben sich individuelle Varianten seitens der Benutzer herausgebildet, die meistens durch die Technik des Einsaugens bestimmt werden. Es wird nach wie vor empfohlen, das Meßgut mit einer Frequenz von ca. $1...4 \text{ s}^{-1}$ so zu bewegen, daß die im Ansaugschlauch sichtbare Flüssigkeitssäule um 1...3 mm schwingt.

Bei der Eichung mit Flüssigkeiten müssen diese zuvor ausreichend lange äquilibriert werden, um einen definierten pO_2 zu haben. Eine Wasserprobe wird mit Luft oder Gas am einfachsten dadurch gesättigt, daß man ca. 10 min lang intensiv kleine Gasblasen hindurchperlen läßt. Es ist die Flüssigkeit genau auf Meßtemperatur zu halten, da die Löslichkeit von O_2 in Wasser bekanntlich mit steigender Temperatur abnimmt.

Eine ausreichende Äquilibration von Blutproben erfordert mehr Zeit und muß kontrolliert werden. Hier ist bis zur Konstanz der Probenwerte zu tonometrieren. Eine Blutprobe mit Gasgemischen viel über 100 Torr pO_2 aufsättigen zu wollen, ist unsinnig, weil der Sauerstoff dann nur noch ohne weitere Bindungskapazität rein physikalisch in geringer zusätzlicher Menge gelöst und der pO_2 durch den Eigenverbrauch des Blutes rasch absinkt. Mit einer solchen luftäquilibrierten Blutprobe kann nicht geeicht werden.

Durch die vorgeschlagene Äquilibration von Glycerol (Glyzerin 30%ig) anstelle von Blut wird dieser Fehler umgangen. Mit dem Glycerol, das keinen Eigenverbrauch an Sauerstoff hat, wird die Viskosität des Blutes mit ihrem Einfluß auf die Diffusion des Sauerstoffes an die Katode simuliert.

Vergleich Gas- und Flüssigkeitsmessung

Da die Gaseichung leicht und fehlerlos durchführbar, die Eichung mit einer äquilibrierten Blutprobe dagegen umständlicher, geräte- und zeitaufwendiger und mit großen Fehlermöglichkeiten behaftet ist, erscheint die genaue Ermittlung eines Umrechnungsfaktors zwischen beiden Eichwerten wichtig.

In einer größeren Anzahl von genauen Vergleichsmessungen wurden solche Faktoren bestimmt, und das Ergebnis ist in folgender Tabelle angegeben:

Vergleichsmessungen Gas/Blut

Verwendetes Versuchsgas	12,5 % O_2
Meßgut	Venenblut, tonometriert
Zahl der Vergleichsmessungen	50
Verminderung Blut/Gas	4,4 %
Eichfaktor	1,046

Das Ergebnis lautet:

Bei Eichung mit Gasgemischen liegen die entsprechenden Blutmeßwerte um 4,4 % tiefer. Es ist deswegen der LuftpO₂-Wert mit dem Faktor 1,046 multipliziert einzustellen. Dann können Blut- pO_2 -Werte richtig abgelesen werden.

Da das Ergebnis ermutigt, mit Gas zu eichen und einen Korrekturfaktor zu verwenden, erscheinen einige grundlegende Betrachtungen zu dieser Frage angebracht.

Ein Benutzer der Gerätekombination, der zum Zwecke der Eichung täglich Blutproben äquilibriert und diese zur Eichung verwendet, erreicht keine größere Genauigkeit als mit Gaseichung, da er damit nur die beschriebene Vergleichsmessung als Einzelmessung in unzureichender Weise wiederholt. Er läuft vielmehr Gefahr, durch ungenügende Äquilibration und zufällige hohe Abweichung einen großen Eichfehler zu machen. Da jedoch von vielen Anwendern des Gerätes aufgrund zustande gekommener Arbeitsgewohnheiten nicht zu erwarten ist, daß sie eingeschlagene Verfahrensweisen schnell verlassen, wird empfohlen, sich wenigstens durch eigene Kontrollmes-

sungen einen Einblick in Genauigkeit und Reproduzierbarkeit des Verfahrens zu verschaffen. Die genaue Faktorbestimmung Gas/Blutprobe ist besonders bei der Gewinnung von Normwerten wichtig. Es sollte außer den zuverlässig äquilibrierten Blutproben das Versuchsgas mit gemessen und der Faktor zur Kontrolle berechnet werden. Der Gas- oder Luftfeuchtwert ist ein Kriterium für die ordnungsgemäße Funktion der Meßkammer überhaupt, da er von Bewegung, Temperatur, Äquilibration und anderen Störgrößen nicht beeinflußt wird. Seine wiederholte Bestimmung ist mühelos und eine sehr wichtige Kontrolle. Eine auf Verwendung von Luft oder Gasgemisch beruhende Eichung ist in jedem Falle zuverlässiger als eine Eichung mit äquilibriertem Blut.

11. Blutmessungen

1. Ohrläppchen mit Finalgon versehen
2. Nach 10 min erst mit Alkohol, dann mit trockenem Tupfer abwischen
3. Mit Feder Ohrläppchen anritzen
4. Ersten Blutstropfen abwischen
5. Zweimal $\frac{1}{2}$ Kapillare luftblasenfrei mit Blut füllen
6. Mit Spritze kurz Luft ansaugen – Eichwert kontrollieren – ggf. mit Eichregler korrigieren
7. Blut luftblasenfrei in die Meßkammer einsaugen
8. Blut in der Kammer durch leichte Sog- und Druckbewegungen mit der Spritze ständig in Bewegung halten, maximalen Zeigeranschlag in Skalenteilen (110er Skala) ablesen
9. Abgelesene Skalenteile $\times 2 = pO_2$ in Torr
10. Etwa 1 ml Aqua. dest. und danach Luft durch die Kammer saugen – Eichwert stellt sich ein – Korrektur mit Eichregler
11. Nächste Blutprobe in die Kammer bringen.

Ist nach dem üblichen Einreiben des Ohrläppchens mit Finalgon-Salbe nach 10 min noch keine ausreichende Hyperämisierung erreicht, so muß erneut eingerieben und die Zeit auf 20 bis 30 min verlängert werden. Messungen bei unzureichender Hyperämisierung ergeben eine Erniedrigung des pO_2 bis 10 %.

Blutentnahme

Um im menschlichen Organismus eine gleichmäßige Oxygenierung zu gewährleisten, darf die reguläre Atmung des ruhenden Patienten auch nicht durch Sprechen, Lachen oder Husten gestört sein. Glasröhrchen werden heparinisiert, indem eine Lösung der Konzentration 1250 IE pro ml durchgesaugt und die Kapillaren bei 50...70 °C getrocknet werden. Die Lösung wird bereitet, indem man 1 ml von handelsüblicher Heparinlösung, enthaltend 25 000 IE pro 5 ml, im Verhältnis 1 : 20 verdünnt, d. h. 1 ml Lösung auf 20 ml auffüllt.

12. Fremdgase

Die Meßzelle ist sowohl durch die Selektivität der Membranfolie, die bevorzugt Sauerstoff durchläßt, als auch durch die angelegte Zellspannung für Sauerstoff spezifisch empfindlich und wird nicht gestört durch Stickstoff, Kohlendioxyd, Argon und andere Gase in geringen Konzentrationen. Eine Wasserstoffbeladung der Katode, wie sie durch zu hoch angelegte Spannung zustande kommen kann, verändert das Katodenpotential und senkt den Strom, wird aber durch die normale Funktion wieder beseitigt. Durch Schwefelwasserstoff in höheren Konzentrationen kann eine Vergiftung der Platinkatode eintreten. Trotz verringerten Stromes bleibt die Meß- und Eichfähigkeit des Systems erhalten.

13. Schlußbemerkungen

Die angegebenen Einzelheiten über die pO_2 -Meßtechnik sind langjährig aus der Praxis zusammengetragene Erfahrungen.

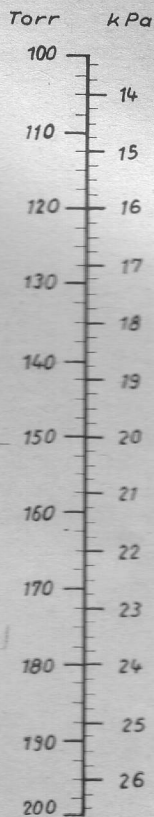
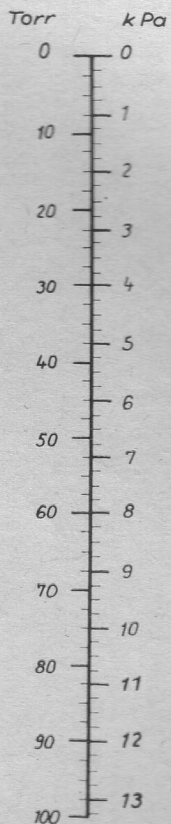
Bei einem experimentell etwas anspruchsvollen Verfahren hängt das Ergebnis auch von der Fertigkeit des einzelnen Bearbeiters ab. Individuelle Varianten der Handhabung müssen immer wieder durch Vergleichsmessungen auf ihre Zulässigkeit und Reproduzierbarkeit hin geprüft werden.

Der Aufwand umständlicher Eichprozeduren steht in keinem Verhältnis zur erreichten Genauigkeit. Kontinuierliches Arbeiten und Pflege der Apparatur eliminiert auch schwer erkennbare Fehlerquellen. Die hier angegebene Arbeitsweise ist eine von möglichen, aber vielerorts und über Jahre bewährt.

Bestellinformation

- Meßverstärker M 80
- Mikromeßkammer E/N
- Elektrodeneinsatz PL 0,1 Ø
- Elektrodeneinsatz PL 0,5 Ø
- Meßkabel
- Membranen Ø 13 mm
- Elektrolyt
- Kammerblock, komplett
- Kammerblock, Einzelteile
- Spritze mit Luer-Lok
- Membranenhalter, komplett
- Membranenhalter, Einzelteile
- BNC-Adapter

14. Tabellen



Umrechnung: $p_{O_2} \text{ (Torr)} \cdot 0,133 = p_{O_2} \text{ (kPa)}$
 $p_{O_2} \text{ (kPa)} \cdot 7,5 = p_{O_2} \text{ (Torr)}$
 $1 \text{ Torr} \cong 0,133 \text{ kPa}$
 $1 \text{ kPa} \cong 7,5 \text{ Torr}$

Tabelle 1

Partialdrucktabelle

Barometer mm Hg	pO ₂ -G mm Hg	pO ₂ -F mm Hg	pO ₂ -B mm Hg	Barometer mm Hg	pO ₂ -G mm Hg	pO ₂ -F mm Hg	pO ₂ -B mm Hg
550	105,1	108,3	109,7	680	132,4	136,4	138,2
555	106,2	109,4	110,9	685	133,4	137,4	139,3
560	107,2	110,4	111,9	690	134,5	138,5	140,4
565	108,3	111,5	113,1	695	135,5	139,6	141,5
570	109,3	112,6	114,1	700	136,5	140,6	142,5
575	110,4	113,7	115,3	705	137,6	141,7	143,7
580	111,4	114,7	116,3	710	138,6	142,8	144,7
585	112,4	115,8	117,3	715	139,7	143,9	145,8
590	113,5	116,9	118,5	720	140,7	144,9	146,9
595	114,5	117,9	119,5	725	141,8	146,1	148,0
600	115,6	119,1	120,7	730	142,8	147,1	149,1
605	116,6	120,1	121,7	735	143,9	148,2	150,2
610	117,7	121,2	122,9	740	144,9	149,2	151,3
615	118,8	122,4	123,9	745	146,0	150,4	152,4
620	119,8	123,4	125,1	750	147,0	151,4	153,5
625	120,9	124,5	126,2	755	148,0	152,4	154,5
630	121,9	125,6	127,3	760	149,1	153,6	155,7
635	123,0	126,7	128,4	765	150,1	154,6	156,7
640	124,0	127,7	129,5	770	151,2	155,7	157,9
645	125,1	128,9	130,6	775	152,2	156,8	158,9
650	126,1	129,9	131,6	780	153,3	157,9	160,0
655	127,1	130,9	132,7	785	154,3	158,9	161,1
660	128,2	132,0	133,8	790	155,4	160,1	162,2
665	129,2	133,1	134,9	795	156,4	161,1	163,3
670	130,3	134,2	136,0	800	157,4	162,1	164,3
675	131,3	135,2	137,1				

Tabelle 2Dampfdruck des Wassers (p_{H_2O}) zwischen 0–40 °C

Temperatur °C	p_w (Torr)
0	4,6
5	6,5
10	9,2
15	12,8
20	17,5
25	23,8
30	31,8
35	42,2
37	47,1
40	55,3

Tabelle 3Löslichkeit von Sauerstoff in Wasser bei Sättigung mit Luft von 760 Torr
Von 1 l Wasser aufgenommen ml*) bzw. mg O_2

Temperatur °C	ml O_2 /l	mg O_2 /l
0	10,2	14,5
5	8,9	12,7
10	7,9	11,2
15	7,0	10,1
20	6,4	9,1
25	5,7	8,2
30	5,2	7,5
35	4,8	6,9
37	4,7	6,7
40	4,5	6,4

*) bei 0 °C und 760 Torr

15. Fehlermöglichkeiten

Problem	Fehlermöglichkeit	Korrektur
Instabile Anzeige	1. Kein Elektrolyt zwischen Membran und Katodenspitze	Membran und Elektrolyt erneuern
	2. Luftblase über der Katode	Elektrolyt auswechseln
	3. Schlechter Sitz des Elektrodeneinsatzes in der Kammer	Elektrode fingerfest anschrauben
Schlechte Ansprechempfindlichkeit	1. Proteinablagerungen auf der Membran	Membran erneuern
	2. Defekt an der Katode	Elektrodeneinsatz erneuern
Elektrodendrift	1. Elektrode nicht im thermischen Gleichgewicht	genügend Aufheizzeit abwarten
	2. Loch in Membran oder Membran zu stark gedehnt	Membran erneuern
	3. Luftblase hinter Membran	Luftblase entfernen
Schlechte Reproduzierbarkeit	1. Loch in Membran oder Membran zu stark gedehnt	Membran erneuern
	2. Elektrodenanschluß feucht oder korrodiert	Kontakte reinigen und trocknen
	3. Falscher O ₂ -Bereich	Richtige Verstärkung einstellen
Zu hoher Reststrom	1. Membran faltig oder schlaff	Membran erneuern
	2. eingetrockneter Elektrolyt auf der Katode	Katode reinigen
	3. Katode und Umrandung defekt	Elektrodeneinsatz erneuern
	4. Kurzschluß im Elektrodeneinsatz	Elektrodeneinsatz erneuern

Eintrag	Eintrag	Eintrag
Membran und Elektrolyt	1. Membran und Elektrolyt	1. Membran und Elektrolyt
Elektrolyt	2. Elektrolyt	2. Elektrolyt
Elektrolyt	3. Elektrolyt	3. Elektrolyt
Elektrolyt	4. Elektrolyt	4. Elektrolyt
Elektrolyt	5. Elektrolyt	5. Elektrolyt
Elektrolyt	6. Elektrolyt	6. Elektrolyt
Elektrolyt	7. Elektrolyt	7. Elektrolyt
Elektrolyt	8. Elektrolyt	8. Elektrolyt
Elektrolyt	9. Elektrolyt	9. Elektrolyt
Elektrolyt	10. Elektrolyt	10. Elektrolyt
Elektrolyt	11. Elektrolyt	11. Elektrolyt
Elektrolyt	12. Elektrolyt	12. Elektrolyt
Elektrolyt	13. Elektrolyt	13. Elektrolyt
Elektrolyt	14. Elektrolyt	14. Elektrolyt
Elektrolyt	15. Elektrolyt	15. Elektrolyt
Elektrolyt	16. Elektrolyt	16. Elektrolyt
Elektrolyt	17. Elektrolyt	17. Elektrolyt
Elektrolyt	18. Elektrolyt	18. Elektrolyt
Elektrolyt	19. Elektrolyt	19. Elektrolyt
Elektrolyt	20. Elektrolyt	20. Elektrolyt
Elektrolyt	21. Elektrolyt	21. Elektrolyt
Elektrolyt	22. Elektrolyt	22. Elektrolyt
Elektrolyt	23. Elektrolyt	23. Elektrolyt
Elektrolyt	24. Elektrolyt	24. Elektrolyt
Elektrolyt	25. Elektrolyt	25. Elektrolyt
Elektrolyt	26. Elektrolyt	26. Elektrolyt
Elektrolyt	27. Elektrolyt	27. Elektrolyt
Elektrolyt	28. Elektrolyt	28. Elektrolyt
Elektrolyt	29. Elektrolyt	29. Elektrolyt
Elektrolyt	30. Elektrolyt	30. Elektrolyt
Elektrolyt	31. Elektrolyt	31. Elektrolyt
Elektrolyt	32. Elektrolyt	32. Elektrolyt
Elektrolyt	33. Elektrolyt	33. Elektrolyt
Elektrolyt	34. Elektrolyt	34. Elektrolyt
Elektrolyt	35. Elektrolyt	35. Elektrolyt
Elektrolyt	36. Elektrolyt	36. Elektrolyt
Elektrolyt	37. Elektrolyt	37. Elektrolyt
Elektrolyt	38. Elektrolyt	38. Elektrolyt
Elektrolyt	39. Elektrolyt	39. Elektrolyt
Elektrolyt	40. Elektrolyt	40. Elektrolyt
Elektrolyt	41. Elektrolyt	41. Elektrolyt
Elektrolyt	42. Elektrolyt	42. Elektrolyt
Elektrolyt	43. Elektrolyt	43. Elektrolyt
Elektrolyt	44. Elektrolyt	44. Elektrolyt
Elektrolyt	45. Elektrolyt	45. Elektrolyt
Elektrolyt	46. Elektrolyt	46. Elektrolyt
Elektrolyt	47. Elektrolyt	47. Elektrolyt
Elektrolyt	48. Elektrolyt	48. Elektrolyt
Elektrolyt	49. Elektrolyt	49. Elektrolyt
Elektrolyt	50. Elektrolyt	50. Elektrolyt