

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 292/2010
(22) Anmeldetag: 25.02.2010
(45) Veröffentlicht am: 15.01.2012

(51) Int. Cl. : **B63C 11/24** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 2003/188744A1
US 2003/074154A1 US 5746806A
US 5071453A GB 2404593A
WO 2005/107390A2
WO 2004/112905A1
WO 2008/080948A2
DE 102007039124A1
JP 2005-350282

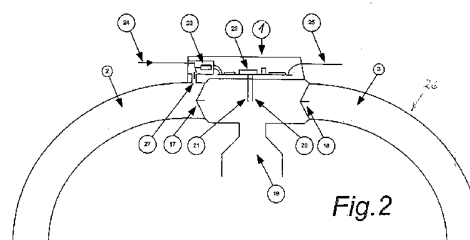
"Solid State Electrolyte Sensors for the Determination of Oxygen, Carbon Dioxide, and Total Flow Rates Associated to Respiration in Human Subjects", edited by S. Fasoulas; Executive Summary to the ESTEC Contract No. 15450/01/NL/JS, CCN 1,2,3; Report No. ILR-RSN P 06-07, 13th October 2006

(73) Patentinhaber:
SIEBER ARNE DIPL.ING. DR.
A-5700 ZELL AM SEE (AT)
STOIANOVA-SIEBER MILENA DR.
A-5700 ZELL AM SEE (AT)

(72) Erfinder:
SIEBER ARNE DIPL.ING. DR.
ZELL AM SEE (AT)
STOIANOVA-SIEBER MILENA DR.
ZELL AM SEE (AT)

(54) **KREISLAUFTAUCHGERÄT MIT EINEM MUNDSTÜCK**

(57) Die Erfindung betrifft ein Kreislauftauchgerät mit einem Mundstück (1), welches über einen Einatemschlauch (3) und einen Ausatemschlauch (2) an einem Atemgaskreislauf (26) angeschlossen ist, wobei im Atemgaskreislauf (26) zumindest ein Gassensor zur Messung des Partialdruckes einer Atemgaskomponente angeordnet ist. Um Fehlerquellen bei der Messung des Partialdruckes der Atemgaskomponente möglichst zu vermeiden, ist vorgesehen, dass der Gassensor als Festkörperelektrolytsensor ausgebildet ist, wobei zumindest ein Festkörperelektrolytsensor im Mundstück (1) angeordnet ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Kreislauftauchergerät mit einem Mundstück, welches über einen Einatemschlauch und einen Ausatemschlauch an einem Atemgaskreislauf angeschlossen ist, wobei im Atemgaskreislauf zumindest ein Gassensor zur Messung des Partialdruckes einer Atemgaskomponente angeordnet ist.

[0002] Man unterscheidet zwischen offenen Tauchergeräten, halbgeschlossenen und geschlossenen Kreislauftauchergeräten.

[0003] Offene Tauchergeräte weisen eine Atemgasvorratsflasche, welche mit Pressluft oder einem anderen Atemgasgemisch gefüllt ist, sowie einen ein- oder zweistufigen Druckminderer auf, welcher den Druck des Gases in der Flasche auf Umgebungsdruck reduziert. Die ausgeatmete Luft wird ins umgebene Wasser abgegeben, wobei jedoch nur ein kleiner Teil des Sauerstoffes im Atemgas auch wirklich verbraucht wird. So werden an der Wasseroberfläche ca. 3 % des eingeatmeten Gases verbraucht, während in einer Tiefe von beispielsweise 20 Meter durch den um zwei bar erhöhten Umgebungsdruck nur noch ein Drittel dieses Wertes, also 1 % des Sauerstoffes des eingeatmeten Gases verbraucht wird. Somit muss für einen Tauchgang auf zwanzig Meter Tiefe hundert mal so viel Atemgas mitgeführt werden, wie tatsächlich verbraucht wird.

[0004] Um die systembedingte, den Atemgasverbrauch betreffende, geringe Effizienz von offenen Tauchergeräten zu umgehen, werden halb geschlossene und geschlossene Kreislaufgeräte eingesetzt. Bei diesen Geräten wird in einem Kreislauf geatmet. Die ausgeatmete Luft wird bei Kreislauftauchergeräten mittels eines CO₂-Absorbers von Kohlendioxid gereinigt und wieder mit Sauerstoff angereichert. Weiters zeichnen sich solche Geräte durch eine ein- oder zweiteilige Gegenlunge aus, welche das ausgeatmete Gasvolumen aufnehmen kann. Mit Kreislaufgeräten kann die dem Gasverbrauch betreffende Effizienz auf bis zu 100 % Prozent erhöht werden.

[0005] Während bei offenen Tauchergeräten im Normalfall immer ein Gas mit atembaren Sauerstoffgehalt geatmet wird, wird bei halb geschlossenen Kreislauftauchergeräten der Sauerstoffpartialdruck (pO₂) im Kreislauf von der zugeführten Gasmenge und dem Metabolismus des Tauchers bestimmt. In elektronisch gesteuerten geschlossenen Geräten wird der Sauerstoffpartialdruck mittels eines Regelkreises auf einem bestimmten Niveau gehalten. Elektronisch gesteuerte geschlossene Kreislauftauchergeräte sind beispielsweise aus den Veröffentlichungen GB 2 404 593 A, US 2003/188744 A1 und WO 2005/107390 A2 bekannt. Bei manuell gesteuerten geschlossenen Kreislaufgeräten wird die Sauerstoffzufuhr vom Taucher manuell eingestellt und somit der Sauerstoffpartialdruck manuell geregelt. Bei einem elektronisch gesteuerten geschlossenen Kreislaufgerät wird Sauerstoff üblicherweise mit einem elektromagnetischen Steuerventil zudosiert. Dieses Magnetventil ist üblicherweise im Gehäuse des Kohlendioxidfilters untergebracht. Der eigentliche Regelkreis ist dabei in einem oder - aus Redundanzgründen - in mehreren Mikrocontrollern implementiert. Der Sauerstoffpartialdruck des Atemgases muss innerhalb bestimmter Grenzen liegen, um atembar zu sein. Allgemein werden 0,16 bar als untere Grenze und 1,6 bar als obere Grenze angesehen. Ein Sauerstoffpartialdruck unter- oder oberhalb dieser Grenzen wird als lebensbedrohend eingestuft. Daraus wird ersichtlich, dass für Kreislaufgeräte eine ständige Überwachung des Sauerstoffpartialdruckes notwendig ist. Geschlossene Geräte benötigen pO₂-Sensoren zur manuellen und/oder elektronisch gesteuerten Regelung des Sauerstoffpartialdruckes im Atemgaskreislauf. Als pO₂-Sensoren werden üblicherweise elektrochemische Flüssigelektrolytsensoren eingesetzt, welche vor dem Tauchgang an der Oberfläche mit Luft oder 100% O₂ kalibriert werden müssen.

[0006] Ein korrekt funktionierender pO₂-Sensor für den Einsatz in Kreislauftauchergeräten weist ein Ausgangssignal (Strom oder Spannung) auf, welches linear nur von dem Sauerstoffpartialdruck vor der Membran des Sensors abhängt.

[0007] Als Flüssigelektrolytsensoren ausgebildete pO₂-Sensoren sind aber sehr fehleranfällig. Typische Fehler, die auftreten können, sind:

- [0008] • Nichtlinearität;
- [0009] • Stromlimitierung: in diesem Fall wird der pO_2 -Sensor ab einem bestimmten Sauerstoffpartialdruck nichtlinear da der Ausgangsstrom des Sensors (oder Ausgangsspannung) fehlerbedingt nicht über einen bestimmten Level ansteigen kann. Dies resultiert in zu niedrigen Sensorsignalen bei hohem Sauerstoffpartialdruck;
- [0010] • Fehlerhafte Signale von einem oder mehreren Sensoren bzw. der Sensorsignalverarbeitung;
- [0011] • Fehlerhafte Kalibrierung;
- [0012] Der Fehleranfälligkeit der pO_2 -Sensoren versucht man mit dem redundanten Einsatz von pO_2 -Sensoren zu entgegnen. So werden in geschlossenen Kreislaufgeräten üblicherweise 3 Sauerstoffsensoren eingesetzt. Falls ein Sensor ausfällt und sich daher sein Ausgangssignal von dem der anderen beiden unterscheidet, wird dieser durch einen Vergleich aller drei Sensorsignale mit einem „Votingalgorithmus“ erkannt, und dieser Sensor nicht mehr zur Regelung des pO_2 herangezogen (siehe GB 2 404 593 A oder WO 2004/112905 A1).
- [0013] Ein fehlerhafter Sensor kann so ermittelt werden. Diese Methode versagt aber bei folgenden Fehlern:
 - [0014] • Ausfall von 2 Sensoren, die jedoch ein gleiches Ausgangssignal haben;
 - [0015] • gleiche Nichtlinearität von mindestens 2 Sensoren (≥ 2 Sensoren aus der gleichen Produktionscharge, gleiches Alter, gleiche Bedingungen...);
 - [0016] • gleiche Stromlimitierung von mindestens 2 Sensoren.
- [0017] Eine Alternative wird in WO 2008/080948 A2 beschrieben. Eine Kalibrierungs/Validierungsvorrichtung erlaubt die Bestromung eines Sauerstoffsensors mit einem Gas mit bekannter Zusammensetzung. Somit kann ein Sensor sehr einfach auf korrekte Funktion überprüft werden.
- [0018] Neben der Fehleranfälligkeit haben O_2 -Flüssigelektrolytsensoren noch weitere Nachteile:
 - [0019] • Kurze Lebensdauer von maximal ca. 1.5 Jahren;
 - [0020] • Können fehlerhafte Signale bei hoher Luftfeuchtigkeit liefern (Kondensation auf der Sensormembran);
 - [0021] • Elektrolyt kann aus dem Sensorgehäuse lecken;
 - [0022] • Lange Ansprechzeiten (t_{90}) von typisch 6 s;
 - [0023] • Relativ große Abmessungen;
 - [0024] • Die relativ lange Ansprechzeit macht eine Regelung des Sauerstoffpartialdruckes relativ schwierig. In einem geschlossenen Kreislaufgerät wird üblicherweise der Sauerstoffpartialdruck mit Sauerstoffpartialdrucksensoren gemessen und sodann mit Hilfe eines Regelkreises (meistens mit einem MikroController) ein elektromagnetisches Steuerventil angesteuert, mit welchem Sauerstoff aus einer Vorratsflasche dem Kreislauf zugeführt wird. Im schlimmsten Fall kann dies kurzzeitig zu hohen Sauerstoffpartialdruckspitzen im Kreislauf führen, die als lebensbedrohend angesehen werden müssen, jedoch mit den herkömmlichen Sensoren aufgrund deren langer Ansprechzeit nicht erkannt werden, da die lange Ansprechzeit eine Mittelung des Signals bewirkt.
- [0025] Ein Kohlendioxidabsorber (chemischer Filter, Atemkalk, Kohlendioxidfilter, Scrubber) absorbiert in einem Kreislaufgerät das ausgeatmete Kohlendioxid. Eine einwandfreie Funktion des Kohlendioxidabsorbers ist lebensnotwendig, da mit einem Anstieg des Kohlendioxidgehaltes in Kreislauf eine Kohlendioxidvergiftung droht, was wiederum als lebensbedrohlich einstufen ist. Folgende Fehler können auftreten:
 - [0026] • Atemkalk ist defekt

- [0027] • Maximale Absorptionskapazität ist erreicht, es kann kein weiteres Kohlendioxid aufgenommen werden;
- [0028] • Der Absorber ist zu kalt und die chemische Reaktion findet nur ungenügend statt;
- [0029] • Wasser ist im Kreislauf eingedrungen und dadurch wurde der Atemkalk unbrauchbar;
- [0030] • Richtungsventile im Mundstück sind defekt - es kommt zu Pendelatmung und der Kohlendioxidfilter wird nicht durchströmt, somit kann kein Kohlendioxid absorbiert werden.

[0031] Viele Projekte haben sich mit der Entwicklung eines CO₂ Sensors für Kreislauf-Tauchgeräte beschäftigt, um eine Fehlfunktion des Kohlendioxidfilters und/oder einen Anstieg von CO₂ im Kreislauf zu detektieren. Optische CO₂-Sensoren basieren meistens auf der Absorption von infrarotem Licht. Aufgrund der hohen Luftfeuchtigkeit (kondensierend) in einem Kreislauf-Tauchgerät ist diese Methode jedoch nicht sehr zuverlässig. Es ist bekannt, zur Erhöhung der Zuverlässigkeit vor der Messzelle des Infrarot CO₂-Sensors eine Feuchtesperre oder hydrophobe Membran anzuordnen. Eine andere Möglichkeit die Zuverlässigkeit von solchen CO₂-Sensoren zu erhöhen, ist die Sensoren/das Sensorelement auf eine Temperatur größer der Gastemperatur im Kreislaufgerät zu erhöhen, um eine Kondensation auszuschließen. Weiters kann zur Überprüfung der Funktion des Kohlendioxidabsorbers die Temperatur des Kohlendioxidfilters gemessen werden (US 2003/074154 A1).

[0032] Die DE 10 2007 039 124 A1 beschreibt eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung einer Trainings- und/oder Rehabilitationseinheit. Diese Vorrichtung enthält neben einer Trainings- und Rehabilitationseinheit, einem Mikro-Controller und einer Brems- oder Widerstandsanordnung eine Sensor-Einheit mit einem beheizbaren elektrochemischen Festelektrolyt-Sensor zur Sauerstoffkonzentrationsbestimmung und einem weiteren beheizbaren elektrochemischen Festelektrolyt-Sensor für die Kohlendioxid-Konzentrationsbestimmung.

[0033] Im Artikel "Solid State Electrolyte Sensors for the Determination of Oxygen, Carbon Dioxide, and Total Flow Rates Associated to Respiration in Human Subjects", edited by S. Fasoulas; Executive Summary to the ESTEC Contract No. 15450/01/NL/JS, CCN 1,2,3; Report No. ILR-RSN P 06-07, 13th October 2006 (zu finden online unter http://www.ibtk.de/project/rss/PRO3-FR-Exec-Sum_17102006.pdf) wird die Verwendung von Festkörperelektrolyten zur Bestimmung von O₂- und CO₂-Konzentrationen, sowie zu weiteren Anwendungen diskutiert und vorgestellt. Unter anderem ist aus dieser Veröffentlichung eine Anordnung mit in ein Rohrstück eingebauten O₂- und CO₂-Sensoren bekannt, wobei das Rohrstück über einen Filter mit einer Atemmaske verbunden ist. Somit wird durch das selbe Rohrstück ein und ausgeatmet (Fig. 35). Die Sensorelektronik ist in einem separaten Gehäuse untergebracht.

[0034] Ein Kreislauf-Tauchgerät verfügt normalerweise über einen Einatem- und einen Ausatemschlauch. Dazwischen ist das Mundstück angebracht, in welchem zwei Richtungsventile angeordnet sind. Hauptaugenmerk bei der Konstruktion von Kreislauf-Tauchgeräten ist unter anderem eine Konstruktion eines Mundstückes, bei dem der sogenannte Totraum, worunter man den Raum zwischen den Richtungsventilen und dem Bissstück versteht, minimiert ist. Dies ist wichtig, da ansonsten das Risiko gegeben ist, dass der CO₂ Gehalt im Totraum ansteigt. Dies ist vor allem dann ein Problem, wenn der Taucher sehr flach atmet. Eine Integration von einem Rohrstück, wie im genannten Artikel beschrieben, ist bei einem Tauchgerät nachteilig bzw. ein zusätzlicher Risikofaktor, denn dadurch würde der Totraum vergrößert, vor allem wenn man berücksichtigt, dass bei Kreislauf-Tauchgeräten die Querschnitte der Gaszu- und Ableitungen ca. 6-15 cm² betragen sollen, um auch in größeren Tiefen eine minimale Atemarbeit (WOB = "work of breathing") zu ermöglichen.

[0035] Die JP 2005 350 282 A, die US 5 746 806 A, sowie auch die US 5 071 453 A offenbaren im Wesentlichen Sauerstoffkonzentratoren, die unter anderem auch einen Zirkonia-Festkörperelektrolytsensor einsetzen.

[0036] Es ist die Aufgabe der Erfindung, die genannten Fehlerquellen bei der Partialdruckmessung von Gasbestandteilen im Atemgas zu vermeiden.

[0037] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass der Gassensor als Festkörperelektrolytsensor ausgebildet ist, wobei zumindest ein Festkörperelektrolytsensor im Mundstück angeordnet ist. Der Festkörperelektrolytsensor kann dabei als O₂- und/oder als CO₂-Gassensor ausgebildet sein.

[0038] Festkörperelektrolytsensoren basieren auf speziellen Materialien, die für Gasionen leitfähig sind. Im Normalfall werden diese Materialien jedoch nur unter erhöhten Temperaturen leitfähig (typisch 500 - 700°C). Typische Materialien sind unter anderem Zirconia und Ceria für Sauerstoff und Nasicon für CO₂.

[0039] Potentiometrische Festkörperelektrolytsensoren für Sauerstoff sind schon lange bekannt, und finden unter anderem Anwendung in Motorsteuerungen (Lambda Sensor) oder in industriellen Verbrennungssteuerungen.

[0040] Herkömmliche Sensoren wie sie z.B. in einem Auto eingesetzt werden, haben aber den Nachteil, dass sie relativ groß sind, daher eine hohe elektrische Heizleistung (>10Watt) benötigen und eine Referenzmesskammer mit einem Referenzgas nötig ist (potentiometrische Sensoren, Nernst Potential). Diese Nachteile erlaubten bis heute keine Verwendung dieser Sensoren in Kreislauffauchgeräten.

[0041] Miniaturisierte Gassensoren werden unter anderem für In-Situ - und Bypass- Messungen von O_x, CO_x, H₂, C_xH_y, NO_x in der Medizin- und Umwelttechnik, z.B. bei der Leistungsdiagnostik von Astronauten oder zur Restgasanalyse im Weltraum eingesetzt, (siehe http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_maschinenwesen/ilr/rsn).

[0042] Miniatur-Festkörperelektrolytsensoren in Dickschichttechnik haben den Vorteil einer langer Lebensdauer und einer sehr schnellen Ansprechzeit. Die eigentlichen Sensorelemente sind in der Größe 2.5x2.5x2mm³ verfügbar und lassen sich einfach in ein Kreislauffauchgerät integrieren. Durch die kleine Bauweise sind lediglich geringe Heizleistungen (1-2 Watt) erforderlich, was mit herkömmlichen Batterien oder Akkus einen Betrieb von mehreren Stunden ermöglicht.

[0043] Die hohe Betriebstemperatur verhindert kondensationsbedingte Störungen. Die schnelle Ansprechzeit erlaubt eine präzise Regelung des Sauerstoffpartialdruckes. Die hohe Ansprechgeschwindigkeit von unter 100 ms ermöglicht es sogar die Herzfrequenz mitzubestimmen, da das pO₂ / pCO₂ Signal der ausgeatmeten Luft mit der Herzfrequenz moduliert ist.

[0044] Die kleinen Abmessungen erlauben eine Integration der Gassensoren direkt im Mundstück. Somit lassen sich der Sauerstoffpartialdruck von eingeatmetem und ausgeatmetem Gas getrennt erfassen. Durch günstige Platzierung im Gasstrom kann mit diesen Festkörperelektrolytsensoren auch die Masse des Gases gemessen und somit auf das Minutenvolumen des Tauchers und die Atemfrequenz rückgeschlossen werden. Die hohe zeitliche Auflösung der Sensoren erlaubt eine hochpräzise Bestimmung auch von kleinen und kurzfristigen Sauerstoffpartialdruckveränderungen.

[0045] Durch die Erfassung von Minutenvolumen und Atemfrequenz kann die Belastung des Tauchers erfasst werden und dies wiederum kann als Einflussfaktor für die Dekompressionsberechnung verwendet werden.

[0046] Planare Miniatur-Festkörperelektrolytsensoren für die Partialdruckmessung von CO₂ und O₂ weisen somit folgende Eigenschaften auf:

[0047] • Sehr schnelle Ansprechzeit < 100 ms;

[0048] • Betriebstemperatur 650°C (O₂) und 550°C (CO₂). Durch die hohe Betriebstemperatur können Probleme mit hoher/kondensierender Luftfeuchtigkeit ausgeschlossen werden;

[0049] • O₂-Sensor: unbegrenzte Lebensdauer;

- [0050] • CO₂-Sensor: ~2000 Betriebsstunden;
- [0051] • Der O₂-Sensor ist ein amperometrischer Sensor - somit ist keine Referenzmesskammer nötig;
- [0052] • Im CO₂-Sensor ist eine Festelektrolytreferenz integriert, so benötigt auch dieser keine Referenzkammer;
- [0053] • Niedrige Betriebskosten;
- [0054] • Sensoren sind sehr klein (eigentliches Sensorelement ~ 4mm²);
- [0055] • Die hohe Ansprechgeschwindigkeit erlaubt sogar die Herzfrequenz mitzubestimmen, da das pO₂ / pCO₂ Signal der ausgeatmeten Luft mit der Herzfrequenz moduliert ist.
- [0056] Durch Anwendung von einem O₂- und einem CO₂- Festkörperelektrolytsensor in einem Kreislaufftauchgerät ergeben sich folgende Vorteile:
- [0057] • Hohe Betriebssicherheit, da die Sensoren sehr robust und fehlerresistent sind;
- [0058] • Da die Sensoren sehr klein sind, lassen sie sich auch direkt in dem Mundstück von einem Kreislaufgerät integrieren;
- [0059] • Da die Sensoren eine sehr kurze Ansprechzeit haben (< 100ms) lassen sich
 - [0060] o der Sauerstoffpartialdruck im System besser und genauer steuern;
 - [0061] o Unterschiede in der Gaszusammensetzung von eingeatmetem und ausgeatmetem Gas messen (bei Integration im Mundstück);
 - [0062] o Dies erlaubt Rückschlüsse auf den Sauerstoffmetabolismus des Tauchers.
- [0063] • Da die Sensoren auf hoher Temperatur gehalten werden, können diese als Gas-Massenflussmesser eingesetzt werden. Durch geeignete Platzierung der Sensoren im Gasfluss, kann der Gasstrom gemessen werden (Ein- und Ausatemvolumen, Minutenvolumen), dies erlaubt:
 - [0064] o Rückschluss auf Aktivität des Tauchers (Stress, hohe körperliche Belastung,...);
 - [0065] o Feststellung, ob der Taucher überhaupt atmet, und wie schnell -was wiederum als Eingangsparemeter für die Steuerung verwendet werden kann.
- [0066] • Mit einem CO₂-Sensor kann folgendes überprüft werden
 - [0067] o Korrekte Funktion des CO₂-Filters;
 - [0068] o Korrekte Funktion der Richtungsventile im Kreislaufgerät (falls die Richtungsventile beschädigt sind, kann dies schnell zu einem lokalen CO₂ Anstieg führen (CO₂-buildup);
 - [0069] o Rückschluss auf den Metabolismus des Tauchers (hohe körperliche Belastungen, Stress,...);
 - [0070] o Überprüfung des Sauerstoffsensors: im Normalfall sollte die Differenz des Sauerstoffpartialdrucks des ein- und des ausgeatmeten Gases in etwa der Differenz des Kohlendioxidpartialdruckes entsprechen.
- [0071] Die Vielzahl von Vorteilen erlaubt also
 - [0072] o eine optimierte Regelung der Sauerstoffzuführung;
 - [0073] o eine Erfassung von physiologischen Daten (Metabolismus, Atemzugsvolumen, Minutenvolumen, Atemfrequenz, O₂-Gehalt in Ein- und Ausatemgas, CO₂ im Ausatemgas) - dies kann
 - [0074] • zur Überprüfung der Sauerstoffregelung genutzt werden;
 - [0075] • Einfluss finden in der Dekompressionsberechnung (wichtiger Punkt);

[0076] o erhöhte Sicherheit des Systems durch unterschiedliche Sensorsysteme (O_2 -, CO_2 - und Massenflusssensor)

[0077] Zur Steuerung und zum Auslesen der Sensoren sind elektronische Schaltungen notwendig. Diese bestehen normalerweise aus einem Mikrocontroller, der die Heizungsregelung übernimmt und einer Anlogschaltung, welche typisch aus Verstärkung und analogen Filtern besteht. Mit heutiger Technik können solche Schaltung stark miniaturisiert werden, sodass die komplette Elektronik weniger als $1-2\text{ cm}^3$ Platz benötigt. Solch eine kleine Schaltung kann problemlos direkt neben den Sensoren im Mundstück untergebracht werden.

[0078] Unter Verwendung von miniaturisierten Magnetventilen lässt sich auch das Steuerventil für die Sauerstoffeinspeisung in den Atemkreislauf direkt in das Mundstück integrieren.

[0079] Zusammen mit einer miniaturisierten elektronischen Steuereinheit kann somit der komplette Regelkreis des Kreislaufauchaugerätes im Mundstück integriert werden.

[0080] Durch Integration der kompletten Steuerelektronik und des Steuerventils im Mundstück ergeben sich zahlreiche Vorteile:

[0081] o keine langen Kabel und dadurch verursachte Signalverfälschungen, da Sensoren, Magnetventil, Elektronik und Stromversorgung (Batterie) direkt nebeneinander integriert sind;

[0082] o kostengünstige Bauweise;

[0083] o das Mundstück beinhaltet die gesamte Elektronik. Kreislaufgeräte ohne elektronischer Steuerung können einfach aufgerüstet werden, indem das ursprüngliche Mundstück mit dem vollintegrierten Mundstück ersetzt wird

[0084] Die Erfindung wird im folgenden an Hand der Figuren näher erläutert.

[0085] Es zeigen

[0086] Fig. 1 ein bekanntes Kreislaufauchaugerät und

[0087] Fig. 2 einen Teil ein erfindungsgemäßes Kreislaufgerätes.

[0088] Fig. 1 zeigt ein geschlossenes Kreislaufauchaugerät gemäß dem Stand der Technik. Der Taucher atmet durch das mit dem Mundstück 1 verbundene Bissstück 19 über den Ausatemschlauch 2 in die Ausatemgegenlung 4 aus. Im CO_2 -Filter 7 („Scrubber“) wird Kohlendioxid aus der Ausatemluft chemisch absorbiert. Das Atemgas gelangt dann weiter in die Einatemgegenlung 5. Über das Bissstück 19 des Mundstücks 1 und den Einatemschlauch 3 wird das Atemgas wieder eingeatmet. Um den verbrauchten Sauerstoff zu ersetzen, wird aus einer Sauerstoff-Vorratsflasche 11 über ein elektromagnetisches Steuerventil 9, welches üblicherweise im Gehäuse des CO_2 -Filters 7 untergebracht ist, frisches O_2 -Gas dem Atemgaskreislauf zugeführt. Ein Druckminderer 12 reduziert dabei den Flaschendruck auf einen Druck von typischerweise 7-10 bar. Die Vorratsflasche 11 enthält reinen Sauerstoff O_2 . Neben dem elektromagnetischen Steuerventil 9 weist der Regelkreis noch einen Mikrocontroller 10 und über ein bis vier Sauerstoffsensoren 8 auf, über welche der Sauerstoffpartialdruck pO_2 im Atemgaskreislauf gemessen wird. Tauchgangsrelevante Daten werden auf einem Display 15 dargestellt. Fällt der Sauerstoffpartialdruck unter einem gewissen Wert, so wird über das elektromagnetische Steuerventil 9 reiner Sauerstoff O_2 dem Atemgaskreislauf zudosiert. Beim Abtauchen wird das Atemgas im Atemgaskreislauf komprimiert. Um den druckbedingten Volumenverlust auszugleichen, wird über ein manuelles Ventil 16 oder ein automatisches Ventil Diluentgas aus einer Vorratsflasche 13 dem Atemgaskreislauf 26 zugeführt. Über die beiden Druckminderer 12, 14 wird der Flaschendruck auf typischerweise 8-10 bar über Umgebungsdruck reduziert. Überschüssiges Gas kann durch ein Überdruckventil 6 entweichen.

[0089] Fig. 2 zeigt eine einfache Ausführung der Erfindung. Das integrierte Mundstück 1 ist über einen Einatemschlauch 3 und einen Ausatemschlauch 2 am Atemgaskreislauf 26 angeschlossen. Die beiden Richtungsventile - Einatemventil 18 und Ausatemventil 17 - geben die Gasflussrichtung vor. Mit 19 ist das eigentliche Gummi-Bissstück bezeichnet, welches der

Taucher mit den Zähnen hält. Der O₂-Sensor 20 und der CO₂-Sensor 21 sind als Festelektrolytensensoren ausgebildet und im Hohlraum des Mundstücks 1 zwischen den Richtungsventilen 17, 18 angebracht. Mittels eines durch ein Miniaturmagnetventil gebildeten Steuerventils 23, welches das Steuerventil 9 aus Fig. 1 ersetzt, kann aus einer in Fig. 2 nicht ersichtlichen Sauerstoffvorratsflasche und einer Sauerstoffversorgungsleitung 24 Sauerstoff über eine Öffnung 27 dem Atemgaskreislauf 26 zugeführt werden. Die Einspeisung in den Atemgaskreislauf 26 erfolgt nach dem Ausatemventil 17, um eine gute Durchmischung zu garantieren und gleichzeitig kurzzeitige Spitzenanstiege des Sauerstoffpartialdruckes im Einatemgas zu vermeiden. Die Steuerung des Steuerventils 23 erfolgt über eine elektronische Steuereinheit 22. Über ein wasserdichtes Kabel 25 kann eine Anzeigeeinheit und eine externe Batterieversorgung angeschlossen werden. Die elektronische Steuereinheit 22 und das Steuerventil 23 sind wasser- und druckdicht im Mundstück 1 integriert.

[0090] Im Rahmen der Erfindung können weitere Optionen vorgesehen sein. So kann ein Scheiben- oder walzenartiger Verschluss für das Bissstück in das Mundstück 1 integriert sein, für den Fall, dass vom Taucher falls das Bissstück 19 aus dem Mund genommen wird. Weiters ist es denkbar, eine Umschaltwalze in das Mundstück 1 zu integrieren, welche ein Umschalten von geschlossenem Kreislauf auf offenen Kreislauf ermöglicht. Dabei ist zweckmäßigerweise eine sogenannte zweite Stufe (Niederdruckstufe) eines offenen Tauchsystems in das Mundstück 1 integriert. Die zweite Stufe kann im geschlossenen Modus zusätzlich als Auto-Diluent Steuerventil fungieren.

Patentansprüche

1. Kreislauftauchergerät mit einem Mundstück (1), welches über einen Einatemschlauch (3) und einen Ausatemschlauch (2) an einem Atemgaskreislauf (26) angeschlossen ist, wobei im Atemgaskreislauf (26) zumindest ein Gassensor zur Messung des Partialdruckes einer Atemgaskomponente angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gassensor als Festkörperelektrolytsensor ausgebildet ist, wobei zumindest ein Festkörperelektrolytsensor im Mundstück (1) angeordnet ist.
2. Kreislauftauchergerät nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Festkörperelektrolytsensor als O₂-Sensor (20) ausgebildet ist.
3. Kreislauftauchergerät nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Festkörperelektrolytsensor als CO₂-Sensor (21) ausgebildet ist.
4. Kreislauftauchergerät nach einem der Ansprüche 1 bis 3, mit zumindest einer in den Atemgaskreislauf (26) über ein elektrisches Steuerventil (23) mündenden Sauerstoffversorgungsleitung (24), **dadurch gekennzeichnet**, dass das vorzugsweise als Minimagnetventil ausgebildete elektrische Steuerventil (23) im Mundstück (1) angeordnet ist.
5. Kreislauftauchergerät nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sauerstoffversorgungsleitung (24) im Bereich des Mundstück (1) in den Atemgaskreislauf (26), vorzugsweise in den Ausatemschlauch (2) stromabwärts eines Ausatemventils (17), einmündet.
6. Kreislauftauchergerät nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine mit dem Gassensor und/oder mit dem elektrischen Steuerventil (23) verbundene elektronische Steuereinheit (22) in das Mundstück (1) integriert ist.
7. Kreislauftauchergerät nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektronische Steuereinheit (22) mit einer externen Anzeigeeinheit und/oder einer externen Energiequelle verbunden ist.
8. Kreislauftauchergerät nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Batterie zur Stromversorgung der elektronischen Steuereinheit (22) im Mundstück (1) angeordnet ist.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen.

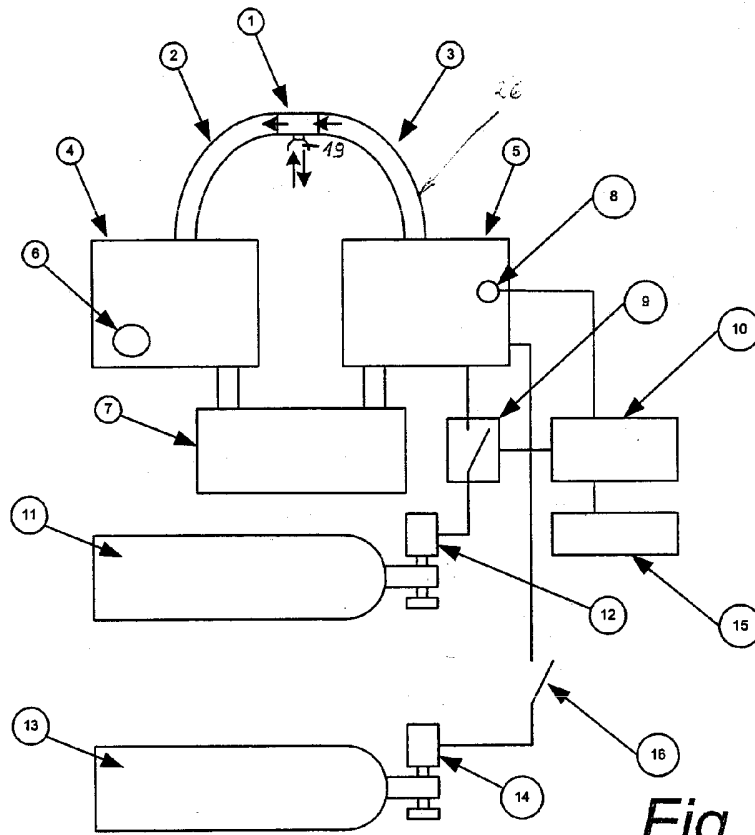


Fig. 1

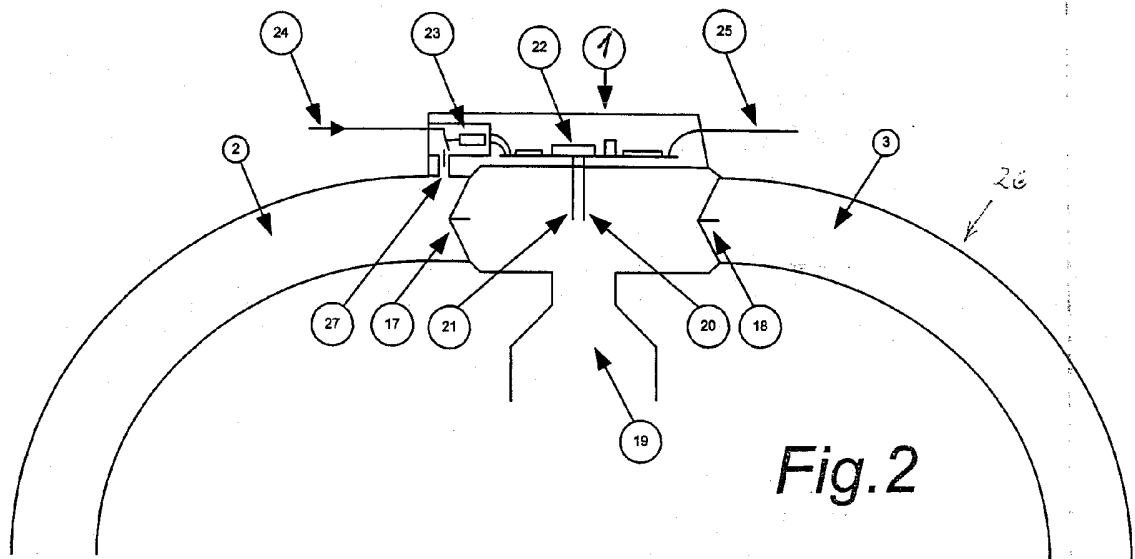


Fig. 2