

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
1. September 2011 (01.09.2011)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/104327 A1

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**
B63C 11/24 (2006.01) A62B 9/00 (2006.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2011/052790
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
25. Februar 2011 (25.02.2011)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
A 292/2010 25. Februar 2010 (25.02.2010) AT
- (72) **Erfinder; und**
- (71) **Anmelder :** SIEBER, Arne [AT/AT]; Nuskostrasse 8, A-5700 Zell am See (AT). STOLANOVA-SIEBER, Milena [AT/AT]; Nuskostrasse 8, A-5700 Zell am See (AT).
- (74) **Anwalt:** BABELUK, Michael; Mariahilfer Gürtel 39/17, A-1150 Wien (AT).
- (81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,

GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

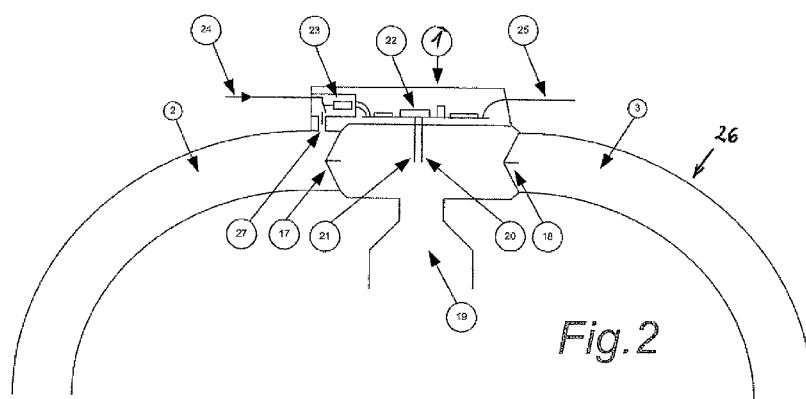
(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

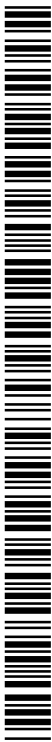
(54) **Title:** DIVING REBREATHING COMPRISING A MOUTHPIECE

(54) **Bezeichnung :** KREISLAUFTAUCHGERÄT MIT EINEM MUNDSTÜCK



(57) **Abstract:** The invention relates to a diving rebreather comprising a mouthpiece (1) which is connected to a respiratory gas circuit (26) via an inhalation tube (3) and an exhalation tube (2), wherein at least one gas sensor for measuring the partial pressure of a respiratory gas component is arranged in the respiratory gas circuit (26). In order to avoid error sources during the measurement of the partial pressure of the respiratory gas component to the greatest extent possible, the gas sensor is designed as a solid electrolyte sensor, wherein at least one solid electrolyte sensor is arranged in the mouthpiece (1).

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Kreislauf-Tauchgerät 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.



WO 2011/104327 A1

Kreislauftauchgerät mit einem Mundstück

Die Erfindung betrifft ein Kreislauftauchgerät 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.

Man unterscheidet zwischen offenen Atemgeräten, halbgeschlossenen und geschlossenen Kreislauftauchgeräten.

Offene Tauchgeräte beispielsweise 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 nur ca. 3% des eingeatmeten Gases tatsächlich 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.

Um die systembedingte, den Atemgasverbrauch betreffende, geringe Effizienz von offenen Tauchgeräten zu umgehen, werden halb geschlossene und geschlossene Kreislaufgeräte eingesetzt. Bei diesen Geräten wird in einem Kreislauf geatmet. Die ausgeatmete Luft wird bei Kreislauftauchgeräten 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 Kreislauftauchgeräten kann die den Gasverbrauch betreffende Effizienz auf bis zu 100% Prozent erhöht werden.

Während bei offenen Tauchgeräten im Normalfall immer ein Gas mit atembaren Sauerstoffgehalt geatmet wird, wird bei halb geschlossenen Kreislauftauchgeräten 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 Kreislauftauchgeräte sind beispielsweise aus den Veröffentlichungen GB 2 404 593 A, US 2003/188744 A1 und WO 2005/107390 A2 bekannt. Bei manuell gesteuerten geschlossenen Kreislauftauchgeräten wird die Sauerstoff-

zufuhr vom Taucher manuell eingestellt und somit der Sauerstoffpartialdruck manuell geregelt. Bei einem elektronisch gesteuerten geschlossenen Kreislauf-Tauchgerät wird Sauerstoff üblicherweise mit einem elektromagnetischen Steuer-ventil zudosiert. Dieses Magnetventil ist üblicherweise im Gehäuse des Kohlen-dioxidfilters 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 Kreislauf-Tauchgeräte eine ständige Überwachung des Sauerstoffpartialdruckes notwendig ist. Geschlossene Geräte benötigen pO_2 -Sensoren zur manuellen und/oder elektronisch gesteuerten Regelung des Sauerstoffpartialdruckes im Atemgaskreislauf. Als pO_2 -Sensoren werden üblicherweise elektrochemische Flüssigelektrolytsensoren eingesetzt, welche vor dem Tauchgang an der Oberfläche mit Luft oder 100% O_2 kalibriert werden müssen.

Ein korrekt funktionierender pO_2 -Sensor für den Einsatz in Kreislauf-Tauchgeräten weist ein Ausgangssignal (Strom oder Spannung) auf, welches linear nur von dem Sauerstoffpartialdruck vor der Membran des Sensors abhängt.

Als Flüssigelektrolytsensoren ausgebildete pO_2 -Sensoren sind aber sehr fehleranfällig. Typische Fehler, die auftreten können, sind:

- Nichtlinearität;
- 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;
- Fehlerhafte Signale von einem oder mehreren Sensoren bzw. der Sensorsignalverarbeitung;
- Fehlerhafte Kalibrierung.

Der Fehleranfälligkeit der pO_2 -Sensoren versucht man mit dem redundanten Einsatz von pO_2 -Sensoren zu entgegnen. So werden in geschlossenen Kreislauf-Tauchgeräten üblicherweise drei 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).

Ein fehlerhafter Sensor kann so ermittelt werden. Diese Methode versagt aber bei folgenden Fehlern:

- Ausfall von zwei Sensoren, die jedoch ein gleiches Ausgangssignal haben;
- gleiche Nichtlinearität von mindestens zwei Sensoren (> = zwei Sensoren aus der gleichen Produktionscharge, gleiches Alter, gleiche Bedingungen, ...);
- gleiche Stromlimitierung von mindestens zwei Sensoren.

Eine Alternative wird in WO 2008/080948 A2 beschrieben. Eine Kalibrierungs/Validierungsvorrichtung erlaubt die Beströmung eines Sauerstoffsensors mit einem Gas mit bekannter Zusammensetzung. Somit kann ein Sensor sehr einfach auf korrekte Funktion überprüft werden.

Neben der Fehleranfälligkeit haben O₂-Flüssigelektrolytsensoren noch weitere Nachteile:

- Kurze Lebensdauer von maximal ca. 1.5 Jahren;
- Können fehlerhafte Signale bei hoher Luftfeuchtigkeit liefern (Kondensation auf der Sensormembran);
- Elektrolyt kann aus dem Sensorgehäuse lecken;
- Lange Ansprechzeiten (t₉₀) von typisch 6 s;
- Relativ große Abmessungen;
- Die relativ lange Ansprechzeit macht eine Regelung des Sauerstoffpartialdruckes relativ schwierig. In einem geschlossenen Kreislauf-Tauchgerät 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.

In einem Kreislauf-Tauchgerät absorbiert ein Kohlendioxidabsorber (chemischer Filter, Atemkalk, Kohlendioxidfilter, Scrubber) das ausgeatmete Kohlendioxid.

Eine einwandfreie Funktion des Kohlendioxidabsorbers ist lebensnotwendig, da mit einem Anstieg des Kohlendioxidgehaltes im Kreislauf eine Kohlendioxidvergiftung droht, was wiederum als lebensbedrohlich einzustufen ist. Folgende Fehler können auftreten:

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

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 (bis zu 100% 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 Kreislauf-Tauchgerät zu erhöhen, um eine Kondensation auszuschließen. Weiters kann zur Überprüfung der Funktion des Kohlendioxidabsorbers die Temperatur des Kohlendioxidfilters gemessen werden (US 2003/074154 A1).

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.

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 Rohstück ein und ausgeatmet (Fig. 35). Die Sensorelektronik ist in einem separaten Gehäuse untergebracht.

Ein Kreislauftauchgerät verfügt normalerweise über einen Einatem- und einen Ausatemschlauch. Dazwischen ist das Mundstück angebracht, in welchem zwei Richtungsventile angeordnet sind. Hauptaugenmerk bei der Konstruktion von Kreislauftauchgeräten 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 Kreislauftauchgeräten 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.

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.

Es ist die Aufgabe der Erfindung, die genannten Fehlerquellen bei der Partialdruckmessung von Gasbestandteilen im Atemgas zu vermeiden. Weiters ist es Aufgabe der Erfindung, das Messsystem so auszugestalten, dass mechanische Fehler wie beispielsweise fehlerhafte Richtungsventile im Mundstück erkannt werden und eine robuste und störungsanfällige Bauweise erreicht wird.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass der Gassensor als Festkörperelektrolytsensor ausgebildet ist, wobei zumindest ein Festkörperelektrolytsensor im Mundstück angeordnet ist. Im Mundstück können zumindest zwei Richtungsventile angeordnet sein, wobei vorzugsweise zumindest ein Gassensor zwischen den beiden Richtungsventilen angeordnet ist. Dabei sollte das Mund-

stück so ausgebildet sein, dass der Totraum zwischen den Richtungsventilen und dem Bissstück minimiert ist und trotzdem große Leitungsquerschnitte eingehalten werden. Die Festkörperelektrolytsensor kann dabei als O₂- und/oder als CO₂-Gassensor ausgebildet sein.

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

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

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 (> 10 Watt) benötigen und eine Referenzmesskammer mit einem Referenzgas nötig ist (potentiometrische Sensoren, Nernst Potential). Diese Nachteile erlaubten bis heute keine Verwendung dieser Sensoren in Kreislauf-Tauchgeräten.

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).

Miniatur-Festkörperelektrolytsensoren in Dickschichttechnik haben den Vorteil einer langer Lebensdauer und einer sehr schnellen Ansprechzeit. Die eigentlichen Sensorelemente sind in der Größe 2.5 x 2.5 x 2 mm³ verfügbar und lassen sich einfach in ein Kreislauf-Tauchgerät 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.

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.

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 der Massenfluss der Atemgase gemessen und somit auf das Minutenvolumen des Tauchers und die Atemfre-

quenz rückgeschlossen werden. Die hohe zeitliche Auflösung der Sensoren erlaubt eine hochpräzise Bestimmung auch von kleinen und kurzfristigen Sauerstoffpartialdruckveränderungen.

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

Planare Miniatur-Festkörperelektrolytsensoren für die Partialdruckmessung von CO_2 und O_2 weisen somit folgende Eigenschaften auf:

- Sehr schnelle Ansprechzeit < 100 ms;
- Betriebstemperatur 650°C (O_2) und 550°C (CO_2). Durch die hohe Betriebstemperatur können Probleme mit hoher/kondensierender Luftfeuchtigkeit ausgeschlossen werden;
- O_2 -Sensor: unbegrenzte Lebensdauer;
- CO_2 -Sensor: ~ 2000 Betriebsstunden;
- Der O_2 -Sensor ist ein amperometrischer Sensor – somit ist keine Referenzmesskammer nötig;
- Im CO_2 -Sensor ist eine Festelektrolytreferenz integriert, so benötigt auch dieser keine Referenzkammer;
- Niedrige Betriebskosten;
- Sensoren sind sehr klein (eigentliches Sensorelement $\sim 4\text{mm}^2$);
- Die hohe Ansprechgeschwindigkeit erlaubt sogar die Herzfrequenz mitzubestimmen, da das pO_2/pCO_2 Signal der ausgeatmeten Luft mit der Herzfrequenz moduliert ist.

Durch Anwendung von einem O_2 - und einem CO_2 - Festkörperelektrolytsensor in einem Kreislauf-Tauchgerät ergeben sich folgende Vorteile:

- Hohe Betriebssicherheit, da die Sensoren sehr robust und fehlerresistent sind;
- Da die Sensoren sehr klein sind, lassen sie sich auch direkt in dem Mundstück von einem Kreislauf-Tauchgerät integrieren;

- Da die Sensoren eine sehr kurze Ansprechzeit haben (< 100 ms) lassen sich
 - der Sauerstoffpartialdruck im System besser und genauer steuern;
 - Unterschiede in der Gaszusammensetzung von eingeatmetem und ausgeatmetem Gas messen (bei Integration im Mundstück);
 - Dies erlaubt Rückschlüsse auf den Sauerstoffmetabolismus des Tauchers.

- 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:
 - Rückschluss auf Aktivität des Tauchers (Stress, hohe körperliche Belastung, ...);
 - Feststellung, ob der Taucher überhaupt atmet, und wie schnell – was wiederum als Eingangsparmeter für die Steuerung verwendet werden kann.

- Mit einem vorzugsweise zwischen den Richtungsventilen platzierten CO₂-Sensor kann folgendes überprüft werden
 - Korrekte Funktion des CO₂-Filters;
 - Korrekte Funktion der Richtungsventile im Kreislauf-Tauchgerät (falls die Richtungsventile beschädigt sind, kann dies schnell zu einem lokalen CO₂ Anstieg führen (CO₂-buildup);
 - Rückschluss auf den Metabolismus des Tauchers (hohe körperliche Belastungen, Stress, ...);
 - Überprüfung des Sauerstoffsensors bzw. des Kohlendioxidsensors: im Normalfall sollte die Differenz des Sauerstoffpartialdrucks des ein- und des ausgeatmeten Gases in etwa der Differenz des Kohlendioxidpartialdruckes entsprechen.

Die Vielzahl von Vorteilen erlaubt also

- eine optimierte Regelung der Sauerstoffzuführung;

- eine Erfassung von physiologischen Daten (Metabolismus, Atemzugsvolumen, Minutenvolumen, Atemfrequenz, O₂-Gehalt in Ein- und Ausatemgas, CO₂ im Ausatemgas) - dies kann
 - zur Überprüfung der Sauerstoffregelung genutzt werden;
 - Einfluss finden in der Dekompressionsberechnung (wichtiger Punkt);
- erhöhte Sicherheit des Systems durch unterschiedliche Sensorsysteme (O₂-, CO₂- und Massenflusssensor)

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 cm³ Platz benötigt.

Teil der Erfindung ist die Integration von Elektronik und Sensorik direkt im Mundstück. Durch lange Sensorkabel (wie beim beschriebenen Artikel von S. Fasoulas vorgesehen) können Messfehler auftreten, wenn elektrische Störfelder vorhanden sind. Unterwasser ist dies normalerweise zwar nicht der Fall, jedoch werden Kreislaufauchaugeräte an der Oberfläche vorbereitet. Elektromagnetische Einstreuungen durch beispielsweise Funk oder einen schlecht entstörten Motor können - vorallem wenn lange Zuleitungen verwendet werden - zu Messfehlern führen. Problematisch ist dies vor allem dann, wenn diese Messfehler während eines Gerätetests oder einer Kalibration auftreten, da in diesem Fall eine fehlerhafte O₂-Regelung die Folge sein kann - ein Umstand, der als lebendbedrohend einzustufen ist. Probleme dieser Art haben in der Vergangenheit schon zu Unfällen mit Kreislaufgeräten geführt. Durch Integration der Elektronik direkt neben der Sensorik im Mundstück können solche Fehlerquellen minimiert werden.

Unter Verwendung von miniaturisierten Magnetventilen lässt sich auch das Steuerventil für die Sauerstoffeinspeisung in den Atemkreislauf direkt in das Mundstück integrieren. Somit kann nochmals die Kompaktheit und Robustheit nochmals erhöht werden, da Fehlerquellen wie beispielsweise Kabel zum Magnetventil, welche durchs Wasser führen, entfallen.

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

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

- keine langen Kabel und dadurch verursachte Signalverfälschungen, da Sensoren, Magnetventil, Elektronik und Stromversorgung (Batterie) direkt nebeneinander integriert sind;
- robustere Bauweise und so erhöhte Sicherheit;
- kostengünstige Bauweise;
- das Mundstück beinhaltet die gesamte Elektronik. Kreislauf-Tauchgeräte ohne elektronischer Steuerung können einfach aufgerüstet werden, indem das ursprüngliche Mundstück mit dem vollintegrierten Mundstück ersetzt wird

Die Festkörperelektrolytsensoren werden, wie bereits beschreiben, elektrisch geheizt. Fall das Mundstück geflutet wird, kann es passieren, dass die Sensoren dem Wasser ausgesetzt werden. Mehrere Maßnahmen sind denkbar, um die Sensoren zu schützen:

- Die Sensoren werden hinter einer hydrophoben Membran angeordnet, welche ein Eindringen von Wasser verhindert.
- Das Mundstück ist mit einer Vorrichtung versehen, mit der - falls das Mundstück unter Wasser aus dem Mund genommen wird - der Raum zwischen den Richtungsventilen gegen das Bissstück abgedichtet wird.
- Die Elektronik überwacht kontinuierlich die Temperatur des Sensors. Falls diese plötzlich abfällt, obwohl der Heizstrom konstant bleibt, ist dies ein Hinweis dafür, dass der Sensor in Kontakt mit Wasser ist. Als Folgemaßnahme wird die Heizleistung minimiert, um eine Überlastung des Heizers zu vermeiden. Insbesondere wird die Spannungsversorgung des Heizers auf kleiner 1 Volt begrenzt, um Elektrolyse zu vermeiden. Falls die Sensortemperatur anschließend wieder größer als 100°C beträgt, kann davon ausgegangen werden, dass das Wasser verdunstet ist und der normale Betrieb kann wieder aufgenommen werden.

Oftmals ist ein Kreislauf-Tauchgerätmundstück an eine Vollgesichtsmaske angeschlossen. Dies wird insbesondere oftmals von Einsatzkräften bevorzugt, da Vollgesichtsmasken zusätzliche Sicherheit bringen. So ist beispielsweise Im Falle einer Ohnmacht eine Gasversorgung weiterhin gesichert. Dies ist bei Tauchern be-

sonders wichtig, denn eine Ohnmacht kann dazu führen, dass das Mundstück aus dem Mund fällt und somit die Gasversorgung unterbrochen wird.

Die Erfindung wird im folgenden an Hand der Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein bekanntes Kreislauf-Tauchgerät; und

Fig. 2 einen Teil eines erfindungsgemäßen Kreislauf-Tauchgerätes.

Fig. 1 zeigt ein geschlossenes Kreislauf-Tauchgerät gemäß dem Stand der Technik. Der Taucher atmet durch das mit dem Mundstück 1 verbundene Bissstück 19 über den Ausatemschlauch 2 in die Ausatemgegenlunge 4 aus. Im CO₂-Filter 7 ("Scrubber") wird Kohlendioxid aus der Ausatemluft chemisch absorbiert. Das Atemgas gelangt dann weiter in die Einatemgegenlunge 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 CO₂-Filters 7 untergebracht ist, frisches O₂-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 O₂. Neben dem elektromagnetischen Steuerventil 9 weist der Regelkreis noch einen Mikrocontroller 10 und über ein bis vier Sauerstoffsensoren 8 auf, über welche der Sauerstoffpartialdruck pO₂ 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 O₂ 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.

Fig. 2 zeigt eine einfache Ausführung der Erfindung. Das im Ausführungsbeispiel als Mundstück ausgebildete 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 Festelektrolytsensoren 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 Sauerstoff-

vorratsflasche 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.

Im Rahmen der Erfindung können weitere Optionen vorgesehen sein. So kann (a) ein scheiben- oder walzenartiger Verschluss für das Bissstück in das Mundstück 1 integriert sein, für den Fall, dass vom Taucher das Bissstück 19 aus dem Mund genommen wird. Weiters ist es denkbar, eine Umschaltwalze in das Mundstück 1 zu integrieren, welche ein Umschalten vom geschlossenen Kreislauf auf offenen Kreislauf ermöglicht(b). Dabei ist zweckmäßigerweise eine sogenannte zweite Stufe (Niederdruckstufe) eines offenen Tauchsyste.ms in das Mundstück 1 integriert. Die zweite Stufe kann im geschlossenen Modus zusätzlich als Auto-Diluent Steuerventil fungieren. In beiden Fällen wird jedoch das Mundstück so ausgestaltet, dass bei verschlossenem Bissstück im Fall (a) oder bei offenem Betrieb im Fall (b) die Sensoren zwischen den Richtungsventilen von Wasser geschützt werden. Im Fall (a) ist dies einfach zu bewerkstelligen, da der scheiben- oder walzenartige Verschluss den Raum zwischen den Richtungsventilen vom Bissstück abdichtet, und so automatisch die Sensoren auch von Wasser geschützt sind.

PATENTANSPRÜCHE

1. 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, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gassensor als Festkörperelektrolytsensor ausgebildet ist, wobei zumindest ein Festkörperelektrolytsensor im Mundstück (1) angeordnet ist.
2. Kreislauftauchgerät nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Mundstück mindestens zwei Richtungsventile (17, 18) aufweist, wobei vorzugsweise zumindest ein Gassensor zwischen den zwei Richtungsventilen (17, 18) angeordnet ist.
3. Kreislauftauchgerät nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Festkörperelektrolytsensor als O₂-Sensor (20) ausgebildet ist.
4. Kreislauftauchgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Festkörperelektrolytsensor als CO₂-Sensor (21) ausgebildet ist.
5. Kreislauftauchgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 4, mit zumindest einer in den Atemgaskreislauf (26) über ein elektrisches Steuerventil (23) mündenden Sauerstoffversorgungsleitung (24), **dadurch gekennzeichnet**, dass das vorzugsweise als Miniaturmagnetventil ausgebildete elektrische Steuerventil (23) im Mundstück (1) angeordnet ist.
6. Kreislauftauchgerät nach Anspruch 5, **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.
7. Kreislauftauchgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine mit dem Gassensor und/oder mit dem elektrischen Steuerventil (23) verbundene elektronische Steuereinheit (22) in das Mundstück (1) integriert ist.
8. Kreislauftauchgerät nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektronische Steuereinheit (22) mit einer externen Anzeigeeinheit und/oder einer externen Energiequelle verbunden ist.

9. Kreislauftauchgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Batterie zur Stromversorgung der elektronischen Steuereinheit (22) im Mundstück (1) angeordnet ist.
10. Kreislauftauchgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Mundstück (1) an eine Vollgesichtsmaske angeschlossen ist.
11. Kreislauftauchgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Festkörperelektrolytsensor mit einer hydrophoben Membran vor Wasser geschützt ist.
12. Kreislauftauchgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Mundstück ein Bissstück aufweist und dass der Gassensor im Mundstück durch eine Vorrichtung, vorzugsweise einem scheiben- oder walzenartigen Verschluss, gegen das Bissstück abdichtbar und vor Wasser schützbar sind.

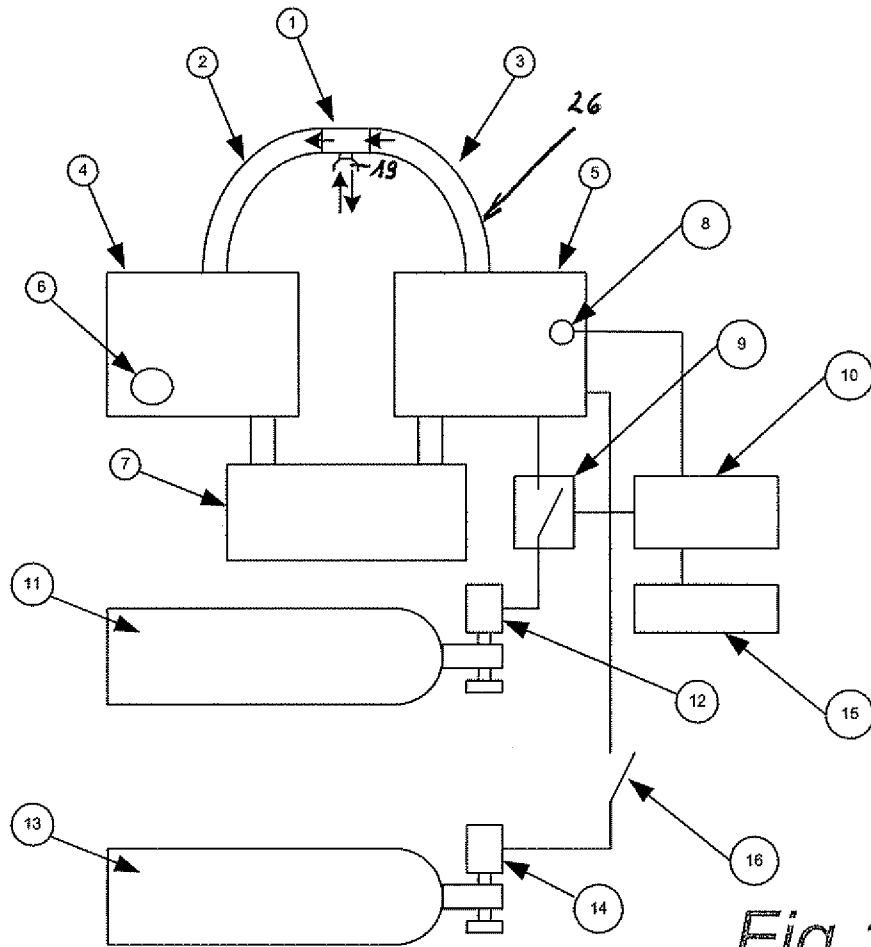


Fig. 1

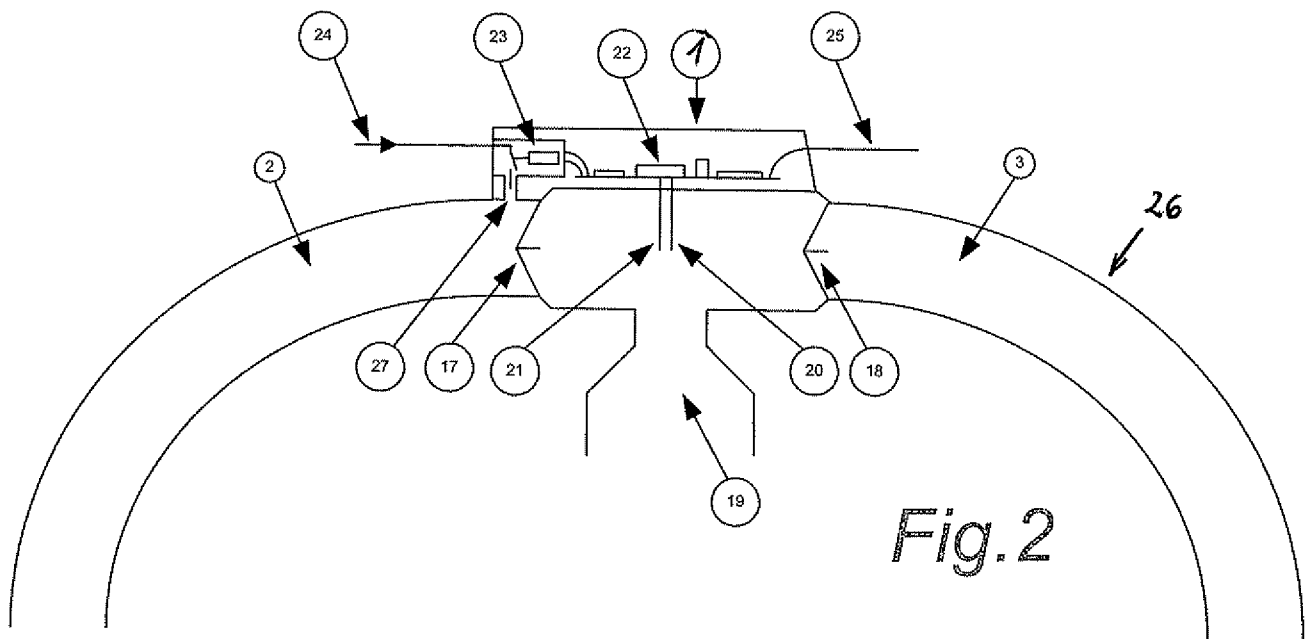


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/052790

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B63C11/24 A62B9/00
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
B63C A62B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2008/080948 A2 (SIEBER ARNE [AT] DP SCANDINAVIA AB [SE]; SIEBER ARNE [AT]) 10 July 2008 (2008-07-10) cited in the application abstract figures	1
A	US 3 556 098 A (KANWISHER JOHN W ET AL) 19 January 1971 (1971-01-19) column 15, line 3 - line 29 figures	1

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 10 June 2011	Date of mailing of the international search report 20/06/2011
---	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Gardel, Antony
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2011/052790

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
WO 2008080948	A2	10-07-2008	AT 9946 U1	15-06-2008
			AT 486005 T	15-11-2010
			EP 2097312 A2	09-09-2009
			US 2010313887 A1	16-12-2010

US 3556098	A	19-01-1971	DE 1960517 A1	23-07-1970
			FR 2027573 A1	02-10-1970
			GB 1276119 A	01-06-1972

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B63C11/24 A62B9/00
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 B63C A62B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 2008/080948 A2 (SIEBER ARNE [AT] DP SCANDINAVIA AB [SE]; SIEBER ARNE [AT]) 10. Juli 2008 (2008-07-10) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung Abbildungen	1
A	US 3 556 098 A (KANWISHER JOHN W ET AL) 19. Januar 1971 (1971-01-19) Spalte 15, Zeile 3 - Zeile 29 Abbildungen	1

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

10. Juni 2011

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

20/06/2011

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Gardel, Antony

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2011/052790

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2008080948 A2	10-07-2008	AT 9946 U1	15-06-2008
		AT 486005 T	15-11-2010
		EP 2097312 A2	09-09-2009
		US 2010313887 A1	16-12-2010

US 3556098 A	19-01-1971	DE 1960517 A1	23-07-1970
		FR 2027573 A1	02-10-1970
		GB 1276119 A	01-06-1972
