



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 32 136 T2 2005.12.15**

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 0 946 260 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 697 32 136.3

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US97/19555

(96) Europäisches Aktenzeichen: 97 912 975.6

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 98/017375

(86) PCT-Anmeldetag: 20.10.1997

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 30.04.1998

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 06.10.1999

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 29.12.2004

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 15.12.2005

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **B01D 53/62**  
B01J 20/04

(30) Unionspriorität:

735847 23.10.1996 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE, FR, GB, IT, SE**

(73) Patentinhaber:

**Gore Enterprise Holdings, Inc., Newark, Del., US**

(72) Erfinder:

**McKENNA, B., Douglas, Dover, US**

(74) Vertreter:

**Klunker, Schmitt-Nilson, Hirsch, 80797 München**

(54) Bezeichnung: **GASADSORPTIONSYSTEM FÜR EIN GERÄT ZUM WIEDEREINATMEN VON AUSGEATMETER LUFT**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Adsorber-System zum Entfernen von Kohlendioxid aus ausgeatmeter Luft in einer Ausrüstung zum Kreislauf-tauchen (Rebreathing), die zum selbständigen Unterwassertauchen und dergleichen verwendet wird.

**[0002]** In seiner einfachsten Form ist ein Kreislauf-tauchgerät (Rebreather) ein Gerät, das eine Person in die Lage versetzt, einen Teil oder die gesamte der von ihm oder ihr ausgeatmeten Luft zurückzuhalten und wieder zu verwenden. Selbst bei körperlicher Anstrengung verwendet eine Person nur einen Bruchteil des eingearmeten Sauerstoffes. Ein Kreislauf-tauchgerät führt ungenutzten Sauerstoff in das System zurück und füllt den Sauerstoff nach, der durch den Träger verbraucht wird. Dies ermöglicht, dass ein sehr kleiner Sauerstofftank sehr viel länger reicht, als es bei Verwendung eines traditionellen SCUBA-Geräts (Self Contained Underwater Breathing Apparatus; Druckluftgerät) möglich ist. Die drei Hauptkomponenten typischer Kreislauf-tauchgerät-Systeme sind eine Gaszufuhr/Sauerstoffsteuerung, eine Gegenlunge und ein Kohlendioxid-Entfernsystem.

**[0003]** Ein Kreislauf-tauchgerät hat ein Kohlendioxid-Entfernsystem, das CO<sub>2</sub>-Drücke auf einem sicheren Niveau hält. Dies ist relativ einfach durchzuführen und wird durch Hindurchleiten ausgeatmeter Gase durch einen Behälter erreicht, der mit einem chemischen Adsorber gefüllt ist, wie z. B. Natronkalk. Verschiedene Hersteller stellen diese Adsorber her und verwenden ihre eigenen speziellen Gemische. Z. B. besteht SODASORB®, das von W. R. Grace & Co. hergestellt wird, aus einem Gemisch aus Natriumhydroxid, Calciumhydroxid und Kaliumhydroxid. Andere Adsorber, wie z. B. Lithiumhydroxid, können verwendet werden, um eine verbesserte Kaltwasserleistung bereitzustellen.

**[0004]** Adsorber liegen typischerweise in der Form von kleinen Körnern mit einem Durchmesser von 0,04–0,25 Zoll (1,0–6,5 mm) vor, die in einem Behälter angeordnet sind, durch den ausgeatmete Gase hindurchgeleitet werden. Kleinere Körner ermöglichen eine größere Oberfläche pro Gewichtseinheit, aber weil die Person durch diesen Behälter ohne allzu großen Widerstand „hindurchatmen“ muss, werden größere Adsorberpartikel eingesetzt, um einen Gasfluss um diese Körner herum und durch den Behälter hindurch mit einem relativ geringen Druckabfall zu ermöglichen. Somit ist eine der Einschränkungen von gegenwärtigen Adsorberbehältern die relativ große Adsorberpartikelgröße, die notwendig ist, um geringe Druckabfälle und demzufolge ein Erleichtern des Atmens zu ermöglichen.

**[0005]** Das gegenwärtige Verfahren zum Auffüllen von CO<sub>2</sub>-Behältern besteht aus Gießen der Körner in

den Behälter und dann Abklopfen des Behälters, damit sich die Körner setzen, wodurch genug Raum für eine Schaumauskleidung gelassen wird, die normalerweise später komprimiert wird, um Körnerwanderung zu verhindern. Falls zuviel Abklopfen oder Kompression angewandt wird, zerfallen die Körner oder werden „zerstäubt“, wenn sie aneinander schleifen. Falls sich die Körner nicht ausreichend gesetzt haben, können sich die Körner während eines Tauchvorgangs verschieben und ausgeatmete Gase können sich durch Bereiche des Behälterbetts „bahnen“, die weniger Körner haben. In Abhängigkeit von der Ladetechnik für Körner können somit von Person zu Person verschiedene Betriebseffizienten erreicht werden, wobei reduzierte Effizienzen aufgrund von „Bahnung“ oder Zerstäuben auftreten können. Wie nachfolgend erklärt wird, können zusätzlich sehr gefährliche Bedingungen auftreten, falls ein Beladen nicht ordnungsgemäß durchgeführt wird. Selbst ohne diese Probleme müssen gekörnte Adsorber am Einsatzort geladen werden und sind schwierig und zeitaufwendig in den Behälter zu füllen, insbesondere an Deck eines Bootes in unruhigem Wasser.

**[0006]** Eines der frühen Probleme, die bei Adsorberbehältern auftraten, war, dass ein Einatmen von kleinen Partikeln dieser Adsorber die Lunge und den Rachen des Benutzers schädigte. Somit können heutige Adsorberkörner nicht-absorbierende Komponenten haben, die ausgebildet sind, die Bröckeligkeit und ein Zerfallen zu minimieren. Dieses Problem kann durch die Verwendung hydrophober Einlass- und Auslassfiltern an den Behältern gelöst werden, die alle über die Luft übertragbaren Partikel herausfiltern. Der Nachteil bei der Verwendung dieser Filter ist jedoch der erhöhte Atmungswiderstand. Durch Erhöhen des Filteroberflächenbereichs kann der Druckabfall minimiert werden, aber nur auf Kosten eines größeren, platzverbrauchenden Filters, wie z. B. eines geriffelten Filterelements. Somit ist eine weitere Einschränkung von existierenden Behältern der Kompromiss zwischen Sicherheit, Atmungswiderstand und Größe.

**[0007]** Ein weiteres, ernsteres Problem bei Kreislauf-tauchgerät-Systemen ist das des Flutens des Kreislauf-tauchgeräts mit Wasser durch Entfernen des Mundstücks oder durch Fehler anderer Systeme. Falls dies geschieht, kann Wasser in das Adsorber-system gelangen, Adsorberpartikel aufnehmen und in den Mund des Benutzers fließen. Tatsächlich ist es nicht einmal notwendig, dass ein Systemfehler auftritt, um dieses gefährliche Ereignis herbeizuführen. In dem System ist bei normaler Benutzung viel Kondenswasser vorhanden. Dieses Wasser kann sich mit Adsorbern mischen und die Mischung kann ihren Weg um die Atmungsschleife herum und in den Mund des Benutzers finden. Dieses Ereignis wird in der Industrie als „ätzender Cocktail“ bezeichnet und ist insbesondere gefährlich, wenn Lithium-basierte Adsorbermaterialien verwendet werden. Die Verwendung

von Überprüfungsventilen und Wasserfallen kann das Risiko des ätzenden Cocktails minimieren. Obwohl sie sicherer sind, haben diese verbesserten Systeme jedoch den Nachteil, dass es schwieriger ist, durch sie hindurch zu atmen und dass sie sperriger sind. Hydrophobe Einlass- und Auslassfilter könnten auch verhindern, dass dieses ätzende Material aus dem Adsorbersystem austritt, jedoch wieder auf Kosten eines höheren Atmungswiderstandes oder eines sperrigeren Systems. Zusätzlich hat ein hydrophober Einlassfilter, der verhindert, dass Wasser in das System eintritt, auch den Nachteil von sich sammelnden Wasser, das verhindert, dass Luft in das System fließt. Somit ist ein Betriebsproblem dieser Lösung des ätzenden Cocktails, dass sobald man sich auf den Filter verlässt, dass Wassereintritt in das System verhindert wird, verhindert man ebenso einen Lufteintritt in das System und das System wird nutzlos gemacht und der Tauchvorgang muss abgebrochen werden.

**[0008]** U.S. Patent 5,165,394 von Hochberg offenbart ein CO<sub>2</sub>-Absorptionsmittel, bei dem einem Adsorber Fasermaterial gründlich beigemischt wird und in eine Folie umgebildet wird. Die Folie wird auf einer CO<sub>2</sub>-durchlässigen Stoffsicht angebracht, um die Gesamtfestigkeit zu verbessern. Die offenbarte Technik erlaubt es, CO<sub>2</sub>-Absorptionsfolien zu produzieren, die sich im Vergleich mit gekörnten Adsorbersystemen weniger wahrscheinlich zerfallen. Der Nachteil dieser Technik ist, dass zusätzliches Stützmaterial, wie z. B. gewebte Stoffe oder Fliesstoffe, zur strukturellen Integrität verwendet werden muss. Ein weiterer wichtiger Nachteil bei dieser Technik ist, dass sie keinen Adsorber erzeugt, der geeignet ist, flüssigem Wasser direkt ausgesetzt zu werden.

**[0009]** WO 96/15027 betrifft einen Gasadsorptions-Kreislaufauchgerät-Behälter, der wenigstens eine Folie umfasst, die innen Adsorbermaterial ausbildet und ein Abschnitt der Folie durch ein Trennmittel beabstandet ist.

**[0010]** Es ist dementsprechend eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Kreislaufauch-CO<sub>2</sub>-Adsorbersystem bereitzustellen, das ein geringes oder kein Risiko aufweist, Adsorber zu inhalieren.

**[0011]** Es ist ebenso eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein System bereitzustellen, das geflutet werden kann, ohne dass die Adsorber Wasser ausgesetzt werden, während weiterhin der Fluss von Atmungsgasen ermöglicht wird.

**[0012]** Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein CO<sub>2</sub>-Adsorbersystem bereitzustellen, das alle die vorgenannten Vorteile ohne einen Nachteil des erhöhten Druckabfalls bietet.

**[0013]** Es ist auch eine Aufgabe der vorliegenden

Erfindung, ein Kreislaufauchgerät-Adsorbersystem bereitzustellen, das einfacher zu beladen ist und weniger kompliziert ist als gegenwärtige gekörnte Systeme.

**[0014]** Es ist auch eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Dauer zu maximieren, mit der das System Kohlendioxid absorbiert.

**[0015]** Diese und andere Aufgaben der vorliegenden Erfindung werden durch Studieren der folgenden Beschreibung deutlich werden.

**[0016]** Die vorliegende Erfindung ist eine luftdurchlässige und flüssiges Wasser abweisende Folie zur Verwendung in einem Gas absorbierenden Kreislaufauchgerät-System nach Anspruch 1, das außerordentlich wasserbeständig ist, während es ausgebildet wurde, um eine effiziente Adsorption von CO<sub>2</sub> bei minimalem Druckabfall für Gase bereitzustellen, die durch das System hindurch geleitet werden. Die vorliegende Erfindung verwendet eine gasdurchlässige, hydrophobe (flüssiges Wasser abstoßende), wasser-dampfdurchlässige Folie mit einem Adsorbermaterial darin, das eine ausgezeichnete Adsorptionsfähigkeit bereitstellt, zusammen mit einem Einschließen des Adsorbermaterials innerhalb der Folie. Die wasser-abweisende Beschaffenheit der Folie verhindert, dass Wasser in dem Fall, dass das System mit Wasser geflutet wird, das Adsorbermaterial innerhalb der Folie erreicht und kontaktiert.

**[0017]** In einer bevorzugten Ausführungsform wird der Adsorber durch Mischen von Adsorberpulver mit Öl und einem Polyethylen bei einer erhöhten Temperatur erzeugt, und dann eine mikroporöse Struktur mittels einer thermisch induzierten Phasentrennung des Polymers erzeugt. Das Weichmacheröl wird dann extrahiert, wobei das Adsorberpulver durch das Polymer zusammengehalten zurückgelassen wird. Hydrophobe Membranen, wie z. B. gerecktes poröses PTFE können auf die Oberfläche dieses Adsorbers aufgeklebt werden. Diese Konfigurationen beinhalten alle das Adsorbermaterial wirkungsvoll innerhalb des Systems, wenn es sowohl Gas als auch Wasser ausgesetzt ist, und sie erlauben eine effiziente Adsorption bei einem geringen Druckabfall.

**[0018]** In einer seiner einfachsten Formen umfasst das CO<sub>2</sub>-Entfernungssystem der vorliegenden Erfindung ein System, das viele individuelle Schichten umfasst, in denen der gewählte chemische Adsorber in einer wasserdichten, gasdurchlässigen Membran eingeschlossen ist, die einen hohen Grad einer Schwebstoff-Filtereffizienz besitzt. Ausgeatmete Luft fließt in das System und vorbei an (im Gegensatz zu hindurch) dieser Membran.

**[0019]** Dies Konstruktion bietet viele klare Vorteile gegenüber bisherigen CO<sub>2</sub>-Entfernungssystemen.

Erstens gibt es durch ein Einschließen des chemischen Adsorbers in ein Membran, die einen hohen Grad an Schwebstoff-Effizienz hat, eine geringe oder keine Möglichkeit, dass beliebige Partikel von dem Benutzer eingeaatmet werden. Zweitens kann ausgeatmetes  $\text{CO}_2$  leicht durch den gewählten chemischen Adsorber hindurchströmen und von ihm adsorbiert werden, weil die Membran gasdurchlässig ist. Drittens ist der Druckabfall in dem System sehr gering, wobei der Benutzer mit einem System ausgestattet wird, durch das leicht hindurchgeatmet werden kann, weil ausgeatmete Gase an diesen Membranen vorbei und nicht durch sie hindurch fließen. Viertens ist der Prozess des Auffüllens des Behälters viel einfacher, sicherer und bequemer, wenn der Adsorber in einem Einsatz enthalten ist, der als ein Teil in einen Behälter geladen wird. Fünftens blockiert Wasser in dem Behälter nicht den Fluss von Atmungsgasen, weil Wasser in der Lage ist, an dem Adsorber vorbei zu fließen. Schließlich und am wichtigsten ist flüssiges Wasser nicht in der Lage, in die Membran einzudringen und sich mit dem chemischen Adsorber zu mischen, wobei ein potentieller "ätzender Cocktail" verhindert wird, weil die Membran hydrophob ist.

**[0020]** [Fig. 1](#) ist eine Rasterelektronenmikrographie (SEM), eines 5000-fach vergrößerten Querschnitts einer Adsorberfolie der vorliegenden Erfindung, bei der das Adsorberpulver durch thermisch induzierte Phasentrennung von Polyethylen als mikroporöse Folie ausgebildet ist.

**[0021]** [Fig. 2](#) ist eine Dreiviertel-Draufsicht einer Adsorberfolie zur Verwendung in der vorliegenden Erfindung, bei der Trennrippen auf einer Seite der Folie aus dem Adsorber selbst ausgebildet sind.

**[0022]** [Fig. 3](#) ist eine Querschnittsansicht der Adsorberfolie, die in [Fig. 2](#) gezeigt ist.

**[0023]** [Fig. 4](#) ist eine Dreiviertel-Draufsicht einer weiteren Ausführungsform einer Adsorberfolie zur Verwendung in der vorliegenden Erfindung, in der Trennrippen in einer gewinkelten Weise auf beiden Seiten der Adsorberfolie ausgebildet sind.

**[0024]** [Fig. 5](#) ist eine Dreiviertel-Draufsicht noch einer weiteren Ausführungsform einer Adsorberfolie zur Verwendung in der vorliegenden Erfindung, in der Trennrippen in einer gewinkelten Weise auf beiden Seiten der Adsorberfolie ausgebildet sind.

**[0025]** [Fig. 6](#) ist eine Detailansicht der Adsorberfolie, die in [Fig. 5](#) illustriert ist.

**[0026]** [Fig. 7](#) ist eine Querschnittsansicht einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die einen Adsorberfilter-Einsatz verwendet, der innerhalb eines Behälters angeordnet ist.

**[0027]** [Fig. 8](#) ist ein Diagramm eines unbemannten Atmungssimulators zur Verwendung beim Testen der Vorrichtung der vorliegenden Erfindung.

**[0028]** [Fig. 9](#) ist ein Graph, der die Zeitdauer (in Sekunden) einer effektiven Leistung von verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung bei gegebenen Variationen der Foliendicke und Abschirmungsdicke aufzeichnet.

**[0029]** [Fig. 10](#) ist eine Querschnittsansicht einer zweilagigen Adsorberfolie einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung und zeigt den Adsorber der [Fig. 1](#), dem eine gereckte PTFE-Membrane auf eine Seite aufgeklebt ist und der mit dem PTFE nach Außen gerichtet kombiniert ist.

**[0030]** Die vorliegende Erfindung stellt ein Gas adsorbierendes Kreislaufauchgerät-System bereit, das eingerichtet ist, eine effiziente Adsorption, einen gleichmäßigen Verbrauch von Adsorptionsmaterial, ein Einschließen des Adsorbermaterials, selbst wenn es flüssigem Wasser direkt ausgesetzt ist, und einen minimalen Druckabfall für Gase bereitstellt, die hindurch strömen, selbst wenn Wasser vorhanden ist, insbesondere bei einer SCUBA-Tauchausstattung. Zusätzlich erfüllt die vorliegende Erfindung alle diese Merkmale während sie einfacher und simpler zu beladen und zu entladen ist, als bestehende Kreislaufauchgeräte.

**[0031]** Weil der Mechanismus zum Entfernen von  $\text{CO}_2$  aus einem Gas von dem bestimmten gewählten Material abhängig ist, ist die Verwendung des Worts "Adsorption" in dieser Beschreibung so zu verstehen, dass Adsorption, Absorption, Chemisorption, etc. eingeschlossen sind.

**[0032]** Das besondere Adsorbermaterial oder -partikel, das in der Folie der Erfindung verwendet wird, hängt von dem bestimmten Gas ab, das adsorbiert wird. Um  $\text{CO}_2$ -Gas zu adsorbieren kann das Adsorbermaterial Calciumhydroxid, Natriumhydroxid, Kaliumhydroxid, Lithiumhydroxid ( $\text{LiOH}$ ) und Gemische daraus oder andere Metallhydroxide der Gruppe IA und IIA sowie Polymer-Adsorptionsmaterialien umfassen. Mit dem Begriff "Partikel", so wie er hier verwendet wird, ist beabsichtigt, alle individuellen Partikel von beliebigem Seitenverhältnis und Fasern und Pulver zu umfassen.

**[0033]** [Fig. 1](#) ist eine Rasterelektronenmikrographie einer Ausführungsform einer Folie **30** der vorliegenden Erfindung. Diese Struktur wird mittels einer thermisch induzierten Fasentrennung produziert, wie z. B. in der folgenden Weise.

**[0034]** Ein Wasser abweisendes Polymer, wie z. B. ein Polyethylen von ultra hohem Molekulargewicht, wird mit einem Gas adsorbierenden Material kombi-

niert, wie z. B. Calciumhydroxid-Pulver. Diese Kombination kann erreicht werden durch Kombinieren der beiden Materialien in einem Extruder. Durch ein Hindurchleiten dieser Mischung durch den Extruder und Mischen mit einem Gleitstoff, wie z. B. Mineralöl, löst sich das Polymer in dem Gleitstoff auf und wird mit dem Adsorber und dem Gleitstoff gleichmäßig gemischt. Diese Mischung kann dann zu einer Verbundfolie oder einer andere Form extrudiert werden.

**[0035]** Die Verbundfolie kann kalandriert werden, um die Folie, falls gewünscht, weiter zu glätten. Der Gleitstoff kann dann unter Verwendung eines Lösungsmittels wie z. B. Hexan aus der resultierenden Folie extrahiert werden. Dieses Lösungsmittel kann dann entfernt werden, z. B. durch eine trocknen Stickstoffreinigung.

**[0036]** Die Verbundfolie kann dann über eine separate Abschirmung gerollt werden, um eine spiralförmig gewickelte Rolle aus Gas adsorbierendem Material zu bilden. Eine Schrumpffolie, wie z. B. eine Röhre oder eine Folie aus hitzekontrahierendem Polymermaterial, kann über der Rolle angeordnet und erhitzt werden, um auf die Adsorberrolle hinunterzuschrumpfen. Diese Rolle aus Adsorbermaterial kann dann als ein Einsatz dienen, um in einen Kreislauf- tauchgerät-Behälter eingesetzt zu werden.

**[0037]** Die resultierende Struktur ist hoch mikroporös, wobei sie die Diffusion von  $\text{CO}_2$  oder anderen Gase erlaubt und somit in der Lage ist, mit sehr hohen Adsorberpulverladungen pro Einheitsvolumen hergestellt zu werden. Falls ein sehr starkes Polymer, wie z. B. Polyethylen mit ultra hohem Molekulargewicht, verwendet wird, wird zusätzlich eine sehr kleine Polymer-Menge benötigt, um die Folie strukturell stabil zu machen, was noch höhere Adsorberladungen pro Einheitsvolumen erlaubt. Während typische Pulverladungen für diese Art des Herstellungsprozesses nach einer Weichmacherölextraktion im Bereich von 50–60% Füllstoffpulver liegen, wurde für diese Anwendung herausgefunden, dass Beladungen von über 60% möglich sind. Tatsächlich werden Adsorberladungen von 90 Gew.-% leicht erreicht und es ist möglich, Ladungen von mehr als 97% zu erreichen. Zusätzlich ist es möglich, dieses Material in jeder gewünschten Form zu formen und somit kann das Trennmittel durch Formen von Trennrippen auf der Oberfläche der Folie erreicht werden.

**[0038]** Verschiedene Ausführungsformen dieser geformten Struktur sind in den [Fig. 2](#) bis [Fig. 6](#) illustriert. Durch Ausformen des Trennelements 33 (oder der "Rippe") direkt aus Adsorbermaterial wird nicht nur der Adsorbereinsatz leichter herstellbar, sondern es kann aufgrund seiner selbsttrennenden Eigenschaften der Gesamtanteil des Adsorbers in dem Filter um 10 bis 30% erhöht werden.

**[0039]** Ein Ausformen der Trennelemente 33 hilft auch beim Steuern des Verhältnisses von Höhe zu Breite der Rippe selbst. Weil der Anteil des Adsorbermaterials, das in den ausgeformten Trennrippen enthalten ist, wesentlich zu der Gesamtkapazität des Adsorbersystems beiträgt, ist es wünschenswert, auch die Rate zu optimieren, mit der ein Adsorber in der Rippe aufgebraucht wird. Falls die Umweltbedingungen, in denen der Behälter betrieben wird, thermisch eingeschränkt sind, wäre es wünschenswert, ein geringeres Verhältnis von Oberflächenbereich zu Volumen zu haben, und als solches wäre ein Verhältnis von Breite zu Höhe der Rippe von größer als 2 zu 1 (2 : 1) wünschenswert. Falls die Umweltbedingungen eines Betriebs das Adsorbersystem veranlassen, diffusionsbeschränkt zu sein, kann die Rippenbreite mit ungefähr der gleichen Dicke der Adsorberfolie selbst vorgesehen sein. Es ist abhängig von Testbedingungen auch möglich, den Adsorber zu verwenden, der in dem Rippenbereich enthalten ist, um die Form der Kurve der  $\text{CO}_2$ -Auslasskonzentration gegen die Zeit zu verändern.

**[0040]** Ein weiteres Merkmal, das mit diesem Prozess erreichbar ist, ist eine Steuerung der Hydrophobizität. Das meiste des ätzenden Potentials, das vorhandene gekörnte Standardadsorber bieten, besteht aufgrund eines Pulverisierens des Adsorbers. Ein kleineres aber wesentliches Problem sind wasserlösliche Komponenten des Adsorbers, wie z. B. Natriumhydroxid. Um dieses Material vor einem Auflösen zu bewahren, muss das Adsorbermaterial zusätzlich zum Zurückhalten von Schwebstoffen hydrophob sein. Es wurde durch Experimente entdeckt, dass mit einem Polymergehalt zwischen 0,6 und 1,5 Gew.-% vor einer Weichmacherölextraktion das Ziel erreicht wird, ein Pulverisieren zu vermeiden und sich sogar eine dünne "Haut" auf der Oberfläche bildet, die einen leicht höheren Polymergehalt hat. Diese "Haut" verhält sich ausgezeichnet beim Verhindern eines Pulverisierens oder Abblätterns eines jeden Adsorbers. Auf der Polymerebene ist die Oberfläche der Folie jedoch nicht hydrophob.

**[0041]** Um die Oberfläche hydrophob zu machen, muss der Polymergehalt auf über 1,5% angehoben werden. Über 4% beginnt dieser Hautbildungs-Effekt (Skinning) die Diffusion des  $\text{CO}_2$  in die poröse Struktur zu hemmen, selbst wenn die Oberfläche relativ hydrophob ist. Als solches wird ein Polymergehalt zwischen 1,5% und 4% als ideal angesehen, für den Zweck, den Adsorber sowohl hydrophob als auch gaspermeabel zu machen.

**[0042]** Alle Ausführungsformen der Adsorberfolien 30, die eine hydrophobe Oberfläche haben, werden in ihrer Fähigkeit,  $\text{CO}_2$  zu absorbieren als beschränkt eingeschätzt. Standard  $\text{CO}_2$ -Adsorber, die für Kreislauf- tauch-Anwendungen verwendet werden, müssen in dem Adsorber Wasser vorliegen haben. Die Reak-

tion von CO<sub>2</sub> und Wasser zum Erzeugen von Kohlensäure tritt mit einer viel schnelleren Rate auf, als die direkte Reaktion von CO<sub>2</sub> mit den Adsorbern selbst. Zusätzlich tritt die Reaktionsrate von Kohlensäure und den Adsorbern auch mit einer schnelleren Rate auf und somit kann in den meisten kommerziell erhältlichen CO<sub>2</sub>-Adsorbern zum Kreislaufauchen etwa zwischen 13% und 19% Wasser gefunden werden. Ein potentielles Problem bei einer Verwendung eines hydrophoben Schutzelements wie es in der vorliegenden Erfindung eingesetzt wird, ist, wie 13% bis 19% Wasser in die Struktur eingebracht werden können, die speziell ausgebildet wurde, um zu verhindern, dass Wasser eintritt. Mit einer hydrophoben Oberfläche sammelt sich das Wasser wenn es dem Adsorber hinzugefügt wird, nur auf der Oberfläche anstatt in den Adsorber einzusickern, so wie es gekörnte Standardadsorber tun. Dieses Problem wird durch Verwendung eines Gemisches aus Wasser und Alkohol bei der Vorbereitung der Membran gelöst. Das Alkohol-Wasser-Gemisch wird den Adsorber leicht benetzen und wird somit den erwünschten Feuchtigkeitsgehalt bereitstellen. Diese Prozedur wird in dem folgenden Beispielabschnitt dieser Beschreibung detailliert beschrieben.

**[0043]** [Fig. 10](#) ist ein Querschnitt einer bevorzugten Ausführungsform der Adsorberfolie 30 der vorliegenden Erfindung. Der Adsorber wird in der gleichen Weise erzeugt, wie im Zusammenhang mit der Ausführungsform der [Fig. 1](#) beschrieben, außer, dass eine gereckte PTFE-Membran 42 auf eine Seite des Adsorbers aufgeklebt wird. Zwei Schichten von diesem Material werden kombiniert, um eine Adsorberfolie 30 zu bilden, wobei die gereckte PTFE-Membran 42 nach Außen gerichtet ist. Material, dass in dieser Weise erzeugt wird, hat die beste Hydrophobie-Charakteristik, und da es in zwei Ebenen erzeugt wird, ist der Adsorber in der Lage, durch Besprühen der nicht-PTFE-Seite mit Wasser befeuchtet zu werden, ohne die Verwendung von zusätzlichen Lösungsmitteln wie oben beschrieben. Eine Beseitigung des Lösungsmittels in dem Wasser sowohl vereinfacht als auch reduziert die Kosten des Befeuchtungsprozesses.

**[0044]** Das Kreislaufauchgerät-System der vorliegenden Erfindung bietet viele klare Vorteile gegenüber bekannten Adsorber-Systemen. Die vorliegende Erfindung stellt eine Adsorberfolie bereit, die ein ausgezeichnetes Einschließen des Adsorbers innerhalb der Folie bietet, selbst wenn sie Wasser ausgesetzt ist. Die Ausrichtung der adsorbierenden Folie, so dass Gas zusätzlich zu einer Gasdiffusionsplatte parallel zu der Folienoberfläche fließt, bietet eine effiziente Adsorption, während ein minimaler Druckabfall erzeugt wird, durch den Gase geleitet werden. Diese Vorteile der Sicherheit, Effizienz und eines reduzierten Atmungswiderstandes der vorliegenden Erfindung werden alle ohne irgendeinen Nachteil bei

Größe oder Sperrigkeit des Systems erreicht und erlauben auch den kontinuierlichen Fluss von Atmungsgasen, selbst wenn Wasser anwesend ist. Die Elemente der vorliegenden Erfindung stellen in Kombination einen Kreislaufauchgerät-Filter bereit, der für den Taucher tatsächlich einfacher zu beladen und zu entladen ist.

**[0045]** Aus diesen Gründen ist das Adsorber-System der vorliegenden Erfindung ein großer Fortschritt auf dem Gebiet der Kreislaufauchgeräte zur Verwendung in einer Freitauchausstattung (Self Contained Underwater Breathing Apparatus). Zusätzlich zum möglichen Einsatz durch Militärpersonal wird das Kreislaufauchgerät der vorliegenden Erfindung als sicher und effizient genug erachtet, um seine Verwendung im Breitensporttauchen zu erlauben.

**[0046]** Ohne zu beabsichtigen, den Umfang der vorliegenden Erfindung einzuschränken, kann die vorliegende Erfindung durch Studieren der folgenden Beispiele besser verstanden werden:

#### Beispiel 1

**[0047]** Ein wasserbeständiges Kohlendioxid-Adsorbermaterial wird in dem Beispiel durch thermisch induzierte Phasentrennung von Polyethylen mit ultra hohem Molekulargewicht erzeugt. Die verwendete Ausrüstung ist ein Zsk28-Doppelschneckenextruder, der von Werner und Pfleiderer hergestellt wurde, zusammen mit einem 8 Zoll (203 mm) Flex-Lip-Folienwerkzeug (flex lip sheeting die). Kalziumhydroxidpulver mit einer mittleren Partikelgröße von 6 m wird unter Verwendung eines genauen Pulverzuführers bei einer Rate von 2 Unzen (56,7 g) pro Minute dosiert in den Hals des Extruders gegeben. Entsprechend wird mit einem zweiten kleineren Pulverzuführer auch Polyethylen mit einem Molekulargewicht von 3 Millionen in den Extruderhals gefüllt, aber nur mit einer Rate von 0,04 Unzen (1,13 g) pro Minute, was äquivalent mit 1% Polyethylen ist. Die Pulver werden durch den Extruder weitertransportiert und mit einem Mineralöl gemischt, das mit einer Antriebspumpe an dem ersten Extruderzylinder mit einer Rate von 2 Unzen (56,7 g) pro Minute eingespritzt wird. Mit einer Extrudertemperatur-Einstellung von 175°C löst sich das Polyethylen in dem Weichmacheröl auf und wird mit dem Calciumhydroxid und dem Öl gleichmäßig gemischt. Die Mischung wird dann durch das 8 Zoll (203 mm) Folienwerkzeug bei einer Dicke von 1,27 mm (0,05 Zoll) extrudiert und danach durch zwei (2) Kalandrierrollen mit einer Spalteinstellung von 1,27 mm (0,05 Zoll) geführt und dann über gekühlte Rollen geführt, um das Abkühlen auf Umgebungstemperaturen abzuschließen. Das Weichmacheröl wird dann aus der resultierenden Folie unter Verwendung von Hexan als ein Lösungsmittel extrahiert. Die Rolle des Materials wird dann in einen Behälter mit einer Trockenstickstoff-Füllung gegeben, um das Hexan zu

verdampfen.

**[0048]** Die resultierende Rolle hat ein hinteres Ende, das dann auf eine Dicke von nur 0,02 Zoll (0,5 mm) leicht abgeschält wird. Das Material wird dann auf eine Breite von 6 Zoll geschlitzt und mit einer 0,03 Zoll (0,75 mm) dicken Trennabschirmung, die von „Nahle Plastics“ hergestellt wird, auf einen Kern mit 0,5 Zoll (12,7 mm) Außendurchmesser aufgerollt. Das hintere Ende wird abgeschält, um ein Kanalisieren von Gasen dort zu minimieren wo das hintere Ende an dem Kern angebracht ist.

**[0049]** Eine volle Umdrehung des Adsorbers wird auf den Kern aufgerollt, bevor die Trennabschirmung gestartet wird, so dass der Adsorber immer auf beiden Seiten der Trennabschirmung ist. Der Adsorber und die Abschirmung werden zu einem Durchmesser von 4,5 Zoll (114 mm) aufgerollt. Die Abschirmung wird abgeschnitten und der Adsorber macht eine zusätzliche Umdrehung, so dass die Abschirmung immer Adsorber auf beiden Seiten hat. Der Adsorber wird abgeschnitten und dann auf 0,02 Zoll (0,5 mm) Dicke an dem Ende abgeschält, um ein Kanalisieren in die Nähe dieser Schneidkante zu minimieren.

**[0050]** Ein dickes Schrumpfrohr (heavy gage shrink tube) von 5 Zoll (127 mm) Durchmesser wird über der Rolle angeordnet und in einem Ofen erhitzt, um auf die Adsorberrolle zu schrumpfen. Die Enden werden dann abgeschnitten, um 1/8 Zoll (3,2 mm) von dem Ende der Adsorberrolle hervorzustehen.

**[0051]** Dieser Einsatz wird dann in einen Kreislauf-tauchgerät-Behälter eingesetzt, und eine Silikongummiabdichtung kontaktiert den äußeren Durchmesser des Schrumpfrohrs und verhindert, dass Gas den CO<sub>2</sub>-Adsorber-Einsatz wie in [Fig. 3](#) gezeigt umgeht.

**[0052]** Der Einsatz wird dann mit dem Kreislauf-tauchgerät verbunden. Um das Gerät des Beispiels 1 zu testen, wird das Kreislauf-tauchgerät an einen unbemannten Atmungssimulator angeschlossen, der das System mit CO<sub>2</sub> testen kann, wobei verschiedene metabolische Arbeitsraten simuliert werden. Die gesamte Simulationsausrüstung ist in [Fig. 8](#) gezeigt und wird nachfolgend beschrieben. Die Testvorrichtung umfasst eine mechanische Atmungsmaschine, die Atemvolumen und die Frequenz simuliert, die ein menschliches Subjekt erzeugen würde, sowie zum Simulieren der Temperatur, relativen Feuchtigkeit und Kohlendioxidgehaltsanteils der ausgeatmeten Luft. Das Kreislauf-tauchgerät wird in einem großen temperaturgesteuerten Wasserbehälter angeordnet und wird mit dem Atmungssimulator durch das Mundstück verbunden. Gas wird durch das Kreislauf-tauchgerät geführt, während CO<sub>2</sub>-Sensoren den Kohlendioxidgehalt des Gasstroms messen. Nach einer Zeitperiode wird CO<sub>2</sub> beginnen, durch den Adsorberbehälter hindurchzutreten, wenn der Adsorber aufgebraucht ist.

Wenn die Abwärtskonzentration 1% CO<sub>2</sub> erreicht, ist der Test erfüllt und die Zeit zum Erreichen dieser 1%-igen CO<sub>2</sub>-Konzentration wird aufgezeichnet. Die Dauer kann dann durch das Gewicht des Behälters dividiert werden als ein Maß für die Effizienz, mit der der Adsorber eingesetzt wurde.

## Beispiel 2

**[0053]** [Fig. 9](#) illustriert die Ergebnisse von verschiedenen Konfigurationen der vorliegenden Erfindung beim Test in der Vorrichtung die in Beispiel 1 beschrieben wird. Die getesteten Anordnungen waren die folgenden:

- A. Dünne Folie/dünne Abschirmung: umfasst eine 0,03 Zoll (0,75 mm) dicke Adsorberfolie und eine 0,03 Zoll (0,75 mm) dicke Trennabschirmung;
- B. Dünne Folie/dicke Abschirmung: umfasst eine 0,03 Zoll (0,75 mm) dicke Adsorberfolie und eine 0,05 Zoll (1,27 mm) dicke Trennabschirmung;
- C. Dicke Folie/dünne Abschirmung: umfasst eine 0,05 Zoll (1,27 mm) dicke Adsorberfolie und eine 0,03 Zoll (0,75 mm) dicke Trennabschirmung;
- D. Dicke Folie/dicke Abschirmung: umfasst eine 0,05 Zoll (1,27 mm) dicke Adsorberfolie und eine 0,05 Zoll (1,27 mm) dicke Trennabschirmung.

**[0054]** Dieses Abschirmungsexperiment wurde entworfen, um ein grundsätzliches Verständnis zu entwickeln, wie sich die vier verschiedenen Kombinationen von Folien- und Abschirmungsdicken bei einer Wassertemperatur von 55°F (12,8°C), einem Druck von  $1,01 \times 10^5$  Pa (1 Atm) und einer Gasflussrate von 40 L/min verhalten. Durch das Durchführen des Experiments in dieser Weise wurde der Fokus auf Folien- und Abschirmungseffekte gelegt. Jede der Folien- und Abschirmungskombinationen wurde dreimal benutzt, um die Variabilität der Leistung des Behälters zu quantifizieren sowie die Datenpunkte zu verifizieren. Die Durchführungsreihenfolge für die 12 Behälter war randomisiert. Die Gesamtzahl der durchgeführten experimentellen Durchgänge war 18, wobei jeder Behälter im Durchschnitt 3200 Datenpunkten beitrug.

**[0055]** Beim Studieren der Daten in [Fig. 9](#) kann man sehen, dass das System der vorliegenden Erfindung für eine Zeitspanne zwischen 32 und 42 Minuten tatsächlich CO<sub>2</sub> aus dem Gasstrom ohne CO<sub>2</sub>-Durchbruch entfernt. Als solches ergibt sich, dass es kein Problem zu sein scheint, eine verglichen mit gekörnten Systemen reduzierte Oberfläche zu haben. Wenn man die "dicke Folie/dicke Abschirmung"-Dauer mit der "dünne Folie/dünne Abschirmung" vergleicht, kann man sehen, dass "dicke Folie/dicke Abschirmung" die dünne Kombination übertrifft. Es soll angemerkt werden, dass die dicke Kombination das gleiche Gewicht des Adsorbers wie die dünne Kombination hat, aber nur die Hälfte der Oberfläche und die dünne Kombination trotzdem übertrifft. Es wird theo-

retisiert, dass die dickere Adsorberfolie in der Lage ist, eine höhere Temperatur aufrecht zu erhalten als die dünne Folie, und als solches in der Lage ist, ein Material mit der doppelten Massen-Oberfläche zu übertreffen. Dies steht im Gegensatz zu dem herkömmlichen Verständnis, dass gekörnte Adsorber-Systeme bei höheren Drücken oder Tiefen im Massen-Diffusionsfluss beschränkt sind. Systeme, die im Massen-Diffusionsfluss beschränkt sind, haben die Gesamtstrandbedingung des CO<sub>2</sub>, nicht in der Lage zu sein, aus dem Gasstrom heraus zu der Oberfläche des Adsorbers zu diffundieren. Statt dessen legen die vorliegenden Ergebnisse nahe, dass gekörnte Systeme tatsächlich thermisch eingeschränkt sind und reduzierte Effizienzen bei größeren Drücken zeigen, aufgrund des erhöhten Hitzetransfers, der durch das dichtere Gas bewirkt wird und nicht aufgrund langsamerer Diffusion in dem dichteren Gas. Als solches weisen uns die Testergebnisse nicht nur in die richtige Richtung, die vorliegende Erfindung zu verbessern, sondern können auch eine lange gültige Sicht widerlegen, dass gekörnte Systeme bei größeren Tiefen diffusionsbeschränkt sind.

### Beispiel 3

**[0056]** Die gleiche Ausrüstung und Konstruktion wie in Beispiel 1 wird abgesehen von drei Veränderungen verwendet. Die erste Veränderung benötigt ein Anheben des Polyethylengehalts von 1% auf 1,5%, durch Anheben der Füllrate von 0,04 Unzen (1,13 g) pro Minute auf 0,06 Unzen (1,7 g) pro Minute. Die zweite Veränderung betrifft eine der beiden Kalandrierrollen, in die das Extrudat nach einem Austreten aus dem Extrusionswerkzeug eingeführt wird. Eine der glatten Kalandrierrollen wird gegen eine Rolle ausgetauscht die Rillen hat, die von einem Ende der Rolle zu dem anderen und senkrecht zu der Extrusionsrichtung eingearbeitet sind. Es gibt 144 Rillen, 0,03 Zoll (0,75 mm) tief und 0,058 Zoll (1,5 mm) breit, alle 2,5 Grad um die Rolle mit 8 Zoll (203 mm) Durchmesser. Die Seiten der Rillen haben auch eine 10 Grad Verjüngung (draft), um ein leichtes Lösen zu ermöglichen. Das Extrudat wird zwischen den beiden Rollen mit einer Spalteinstellung von 0,04 Zoll nachgeführt und das heiße Material fließt in die Rillen und wird zu der gleichen Form der mit Rillen ausgestatteten Rolle geformt. Das Weichmacheröl wird dann extrahiert unter Verwendung von Hexan als Lösungsmittel und von Trockenstickstoff, um das Hexan zu entfernen.

**[0057]** In diesem Beispiel wird keine trennende Abschirmung benötigt, da das Material nun aufgrund der eingeförmten Trennrippen, die 0,03 Zoll (75 mm) hoch sind, selbsttrennend ist. Das Material wird zu einem Durchmesser von 4,5 Zoll aufgerollt. Abschließend wird anstatt eines Verwendens einer Schrumpfröhre ein Stück eines Bandes um den Umfang der Rolle an beiden Enden gewickelt, um die Rolle zusammenzuhalten. Ein 0,125 Zoll (3,17 mm) dickes

Stück eines offenen Zellschaums wird unter dem Band und über dem hinteren Ende der Rolle angeordnet. Dies verhindert ein Kanalisieren von Gasen in diesem Bereich. So wie in [Fig. 7](#) gezeigt ist, wird die Rolle oder der Einsatz 50 dann in den Behälter 51 eingeschoben, und eine Silikongummiabdichtung 54 dichtet es gegen einen gewickelten Bereich 56 der Rolle 50 ab. Eine Passage 58 durch das Zentrum des Kerns ist mit einem O-Ring 60 abgedichtet, der in das Ende des Kerns eingesetzt wird. Eine Gasdiffusionsplatte 62 ist von dem Einsatz 50 aufwärts bereitgestellt.

**[0058]** Die Rolle, die in diesem Beispiel erzeugt wird, beseitigt den Bedarf nach einer trennenden Abschirmung und erhöht auch die Kapazität, CO<sub>2</sub> zu absorbieren. Zusätzlich ist die Verwendung von Kunststoffband weniger kostspielig und einfacher herzustellen.

**[0059]** Aufgrund des erhöhten Polyethylengehalts ist dieses Material nun hydrophob und verhindert, dass Schwebstoffe sowie lösliche Ätzmittel in die Atmungsschleife des Kreislaufauchgeräts gelangen. Jedoch wird aufgrund ihrer Hydrophobizität ein einfaches Aufsprühen von flüssigem Wasser auf die Oberfläche der Folie nicht bewirken, dass das Wasser in den Adsorber adsorbiert wird. Statt dessen wird eine Lösung von 5% Isopropylalkohol und Wasser verwendet. Die Alkohol- und Wasserlösung benetzt den Adsorber und tränkt ihn ein. 15 Gew.-% an Alkohol/Wasser ist der abschließende Gehalt des Adsorbers.

**[0060]** Ein weiteres Lösungsmittel, das in der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann, ist Aceton. Aceton hat einen geringeren Siedepunkt als Alkohol und verdampft leichter, wobei nur Wasser in dem Adsorber verbleibt. Somit können Materialien mit höheren Kontaktwinkeln (höherem Polymergehalt) erzeugt werden, die höhere Lösungsmittelkonzentrationen erfordern würden, um den Adsorber zu benetzen, während sie weiterhin in der Lage sind durch Trocknen nachträglich entfernt zu werden, ohne das Wasser zu entfernen.

### Beispiel 4

**[0061]** Eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet die gleiche Technik und Ausrüstung wie in Beispiel 1 beschrieben mit verschiedenen Veränderungen. Erstens wird der Adsorber mit einer Dicke von 0,05 Zoll (0,635 mm) anstatt von 0,05 (1,27 mm) angefertigt. Eine gereckte PTFE-Membran wird dann auf eine Seite des Adsorbers laminiert. Der Adsorber wird dann mit Wasser auf der Nicht-Membran-Seite besprührt, um den erwünschten Feuchtigkeitsgehalt zu erreichen.

**[0062]** Zwei Rollen aus Material, das in dieser Wei-

se erzeugt wurde, werden dann zusammen aufgerollt, wobei die Adsorberseiten einander zugewandt sind und die Membranseiten nach Außen gewandt sind. Diese Technik ermöglicht, dass der Adsorber ohne die Verwendung eines Lösungsmittels befeuchtet wird. Die beiden Schichten werden kombiniert, um den gleichen 0,05 Zoll (1,27 mm) dicken Adsorber wie in Beispiel 2 zu bilden, und sie werden mit einer trennenden Abschirmung aufgerollt, um den Adsorber-Einsatz zu bilden. Die Enden des Adsorber-Einsatzes, die nicht durch die gestreckten PTFE-Membranen geschützt werden, werden dann mit einem Epoxid beschichtet, das das Ätzmittel abdichtet. Somit sind alle Seiten der Adsorberfolie gegen Einwirkung von Flüssigkeit abgedichtet.

**[0063]** Ein Einsatz, der in dieser Weise erzeugt wird, hat die dauerhafteste Wasserfestigkeits-Charakteristik, während er den Vorteil des Beseitigen eines Lösungsmittels in dem Befeuchtungsprozess hat, was die Herstellungskosten reduziert.

### Patentansprüche

1. Eine luftdurchlässige und flüssiges Wasser abweisende Folie (30) zur Verwendung in einem Gas adsorbierenden Rebreather-System, umfassend Polyethylen und einen Kohlenstoffdioxid-Adsorber, welcher in der Folie versiegelt ist; wobei die Folie einer Luftströmung ermöglicht, mit dem Adsorber durch die Folie zu interagieren; und wobei die Folie, wenn sie Wasser ausgesetzt ist, ein Austreten des Kohlenstoffdioxid-Adsorbermaterials aus der Folie verhindert.

2. Eine luftdurchlässige und flüssiges Wasser abweisende Folie nach Anspruch 1, welche aus Polyethylen mit ultra hohem Molekulargewicht und einem Kohlenstoffdioxid-Adsorber besteht, in welchem ein Polyethylen-Gehalt von bis zu 10 Gewichts-% vorhanden ist.

3. Eine luftdurchlässige und flüssiges Wasser abweisende Folie nach Anspruch 1, in welcher der Polyethylen-Gehalt zwischen 0,6 und 4 Gewichts-% beträgt.

4. Eine luftdurchlässige und flüssiges Wasser abweisende Folie nach Anspruch 1, in welcher der Polyethylen-Gehalt zwischen 1,5 und 4 Gewichts-% beträgt.

5. Eine luftdurchlässige und flüssiges Wasser abweisende Folie nach einem der vorhergehenden Ansprüche, in welcher integrale Lamellen (33) vorhanden sind, die an der Folie auf mindestens einer Seite der Folie ausgebildet sind.

6. Eine luftdurchlässige und flüssiges Wasser abweisende Folie nach einem der vorhergehenden An-

sprüche, wobei der Kohlenstoffdioxid-Adsorber in der Folie eingebettet ist.

7. Eine luftdurchlässige und flüssiges Wasser abweisende Folie nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Kohlenstoffdioxid-Adsorbermaterial aus Calciumhydroxid, Natriumhydroxid, Kaliumhydroxid, Lithiumhydroxid (LiOH) und Mischungen davon ausgewählt ist.

8. Eine luftdurchlässige und flüssiges Wasser abweisende Folie nach Anspruch 6, wobei das Adsorbermaterial Calciumhydroxid umfasst.

9. Eine luftdurchlässige und flüssiges Wasser abweisende Folie nach Anspruch 6, wobei das Kohlenstoffdioxid-Adsorbermaterial Lithiumhydroxid umfasst.

10. Eine luftdurchlässige und flüssiges Wasser abweisende Folie nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Adsorbermaterial mindestens ein Metallhydroxid mit Metall aus der Gruppe IA oder IIA umfasst.

11. Ein Gas adsorbierendes Rebreather-System, umfassend eine luftdurchlässige und flüssiges Wasser abweisende Folie nach einem der Ansprüche 1 bis 10.

12. Ein Gas adsorbierendes Rebreather-System nach Anspruch 11, wobei die Folie als ein Einsatz in mehreren Schichten angeordnet ist, die Lamellen (33) Luftströmungsabstände aufrechterhalten, welche zwischen den Schichten bereitgestellt sind, und der Einsatz zur Installation in einem Rebreather-Behälter angepasst ist, um Luftströmung durch die Luftströmungsabstände hindurch im Wesentlichen parallel zu den Folienschichten zu führen, wodurch das Kohlenstoffdioxid-Adsorbermaterial mit der Luft interagiert.

13. Ein Gas adsorbierendes Rebreather-System nach Anspruch 12, in welchem das System des weiteren eine Diffusionsplatte (62) umfasst, die wirkt, um Gase umzuverteilen, die durch den Einsatz strömen.

14. Ein Gas adsorbierendes Rebreather-System nach Anspruch 11, wobei die Folie in mehreren Schichten angeordnet ist, und mindestens ein Trennelement zwischen den Schichten bereitgestellt ist.

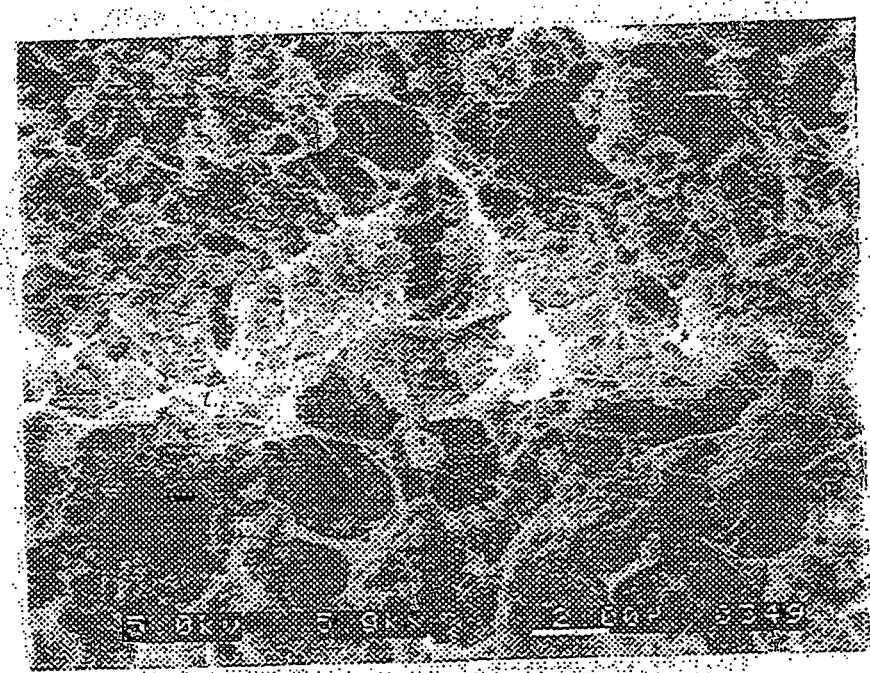
15. Ein Gas adsorbierendes Rebreather-System nach Anspruch 14, wobei das Trennelement ein Breite-zu-Höhe-Verhältnis größer als 2 : 1 besitzt.

16. Ein Gas adsorbierendes Rebreather-System nach Anspruch 14, wobei im Trennelement ein Adsorber vorgesehen ist.

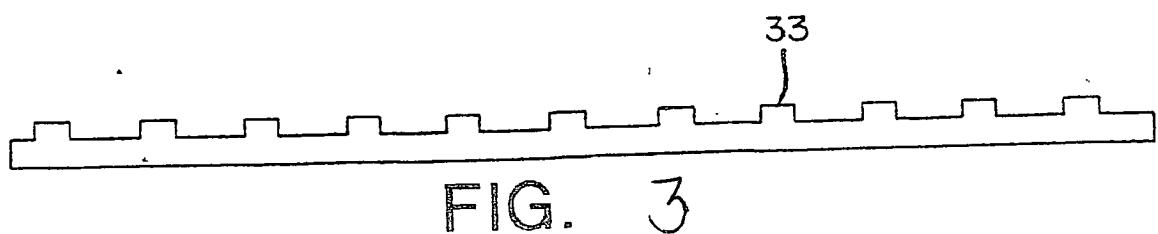
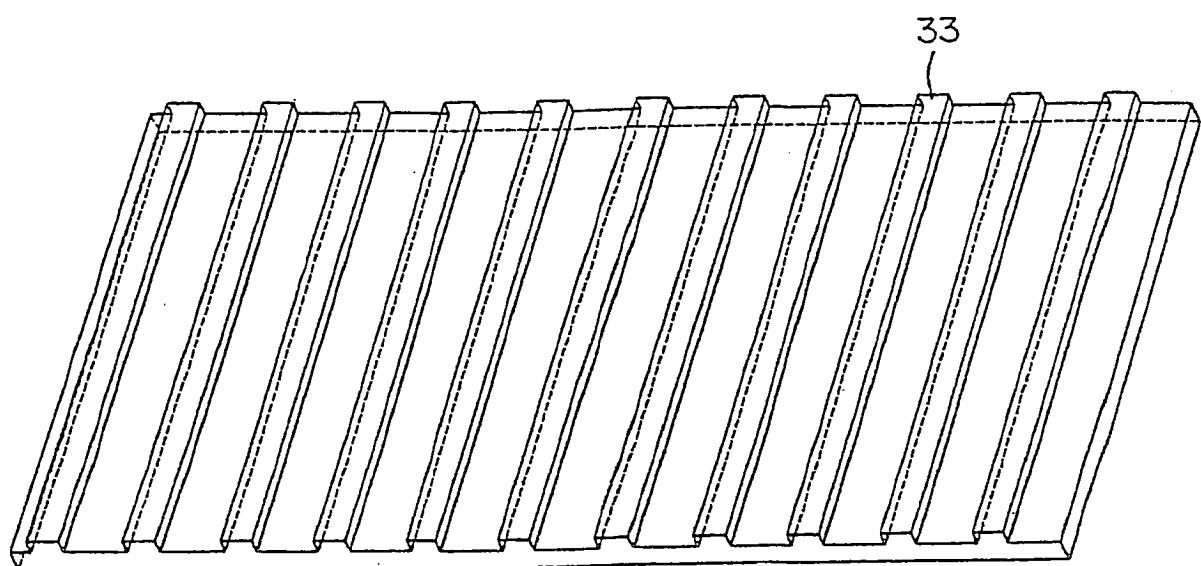
17. Ein Gas adsorbierendes Rebreather-System nach Anspruch 12, wobei das Kohlenstoffdioxid-Adsorbermaterial und die Folie gerollt sind, so dass sie einen Einsatz bilden.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

**Anhängende Zeichnungen**



**FIG. 1**



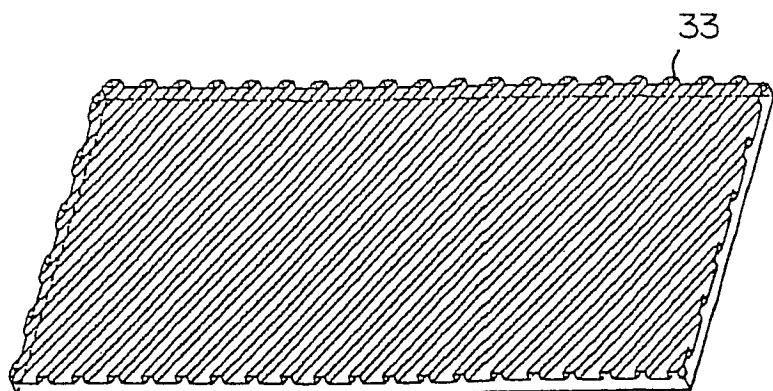


FIG. 4

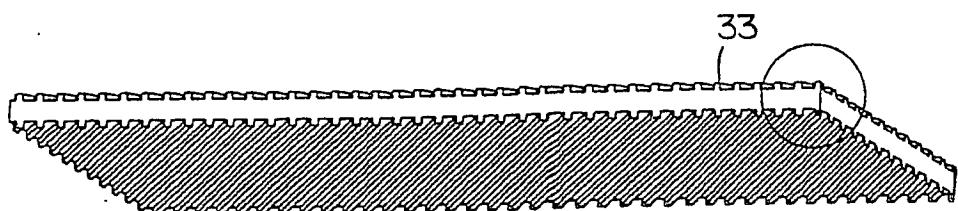


FIG. 5

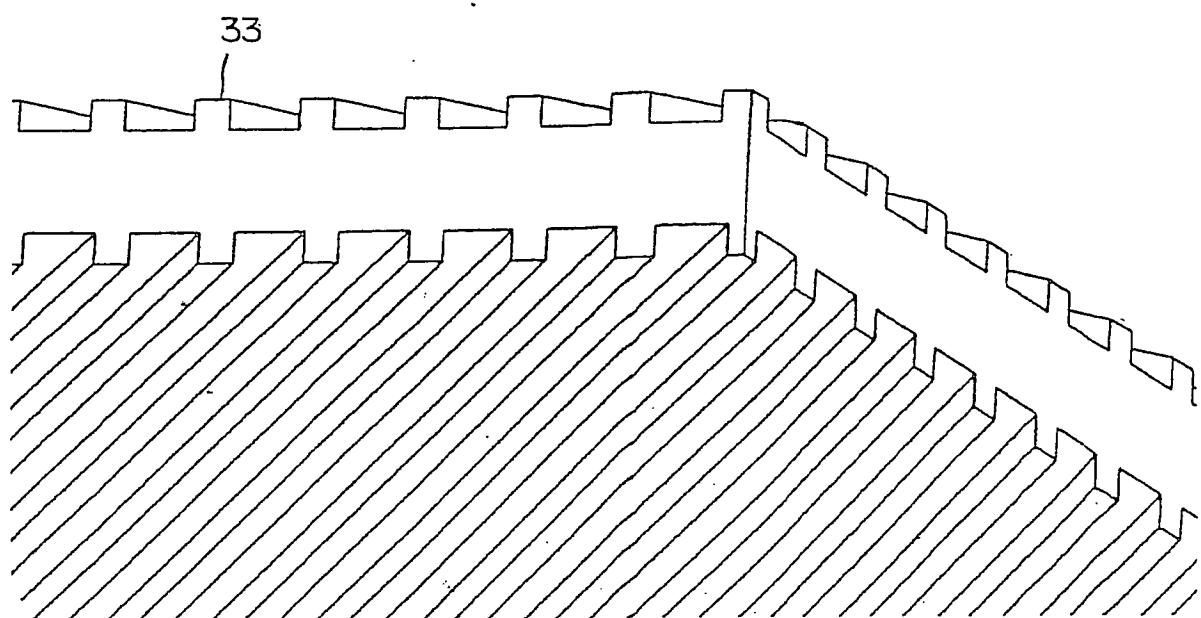


FIG. 6

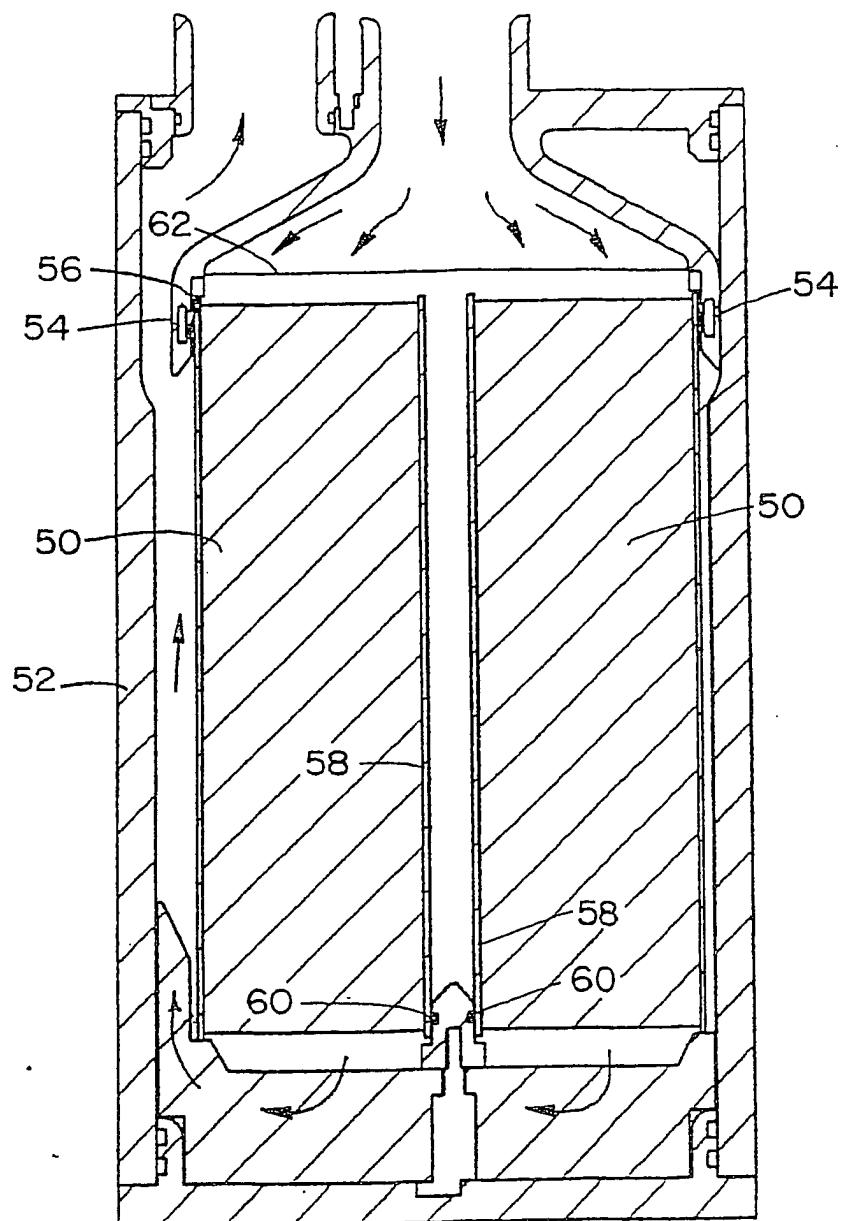


FIG. 7

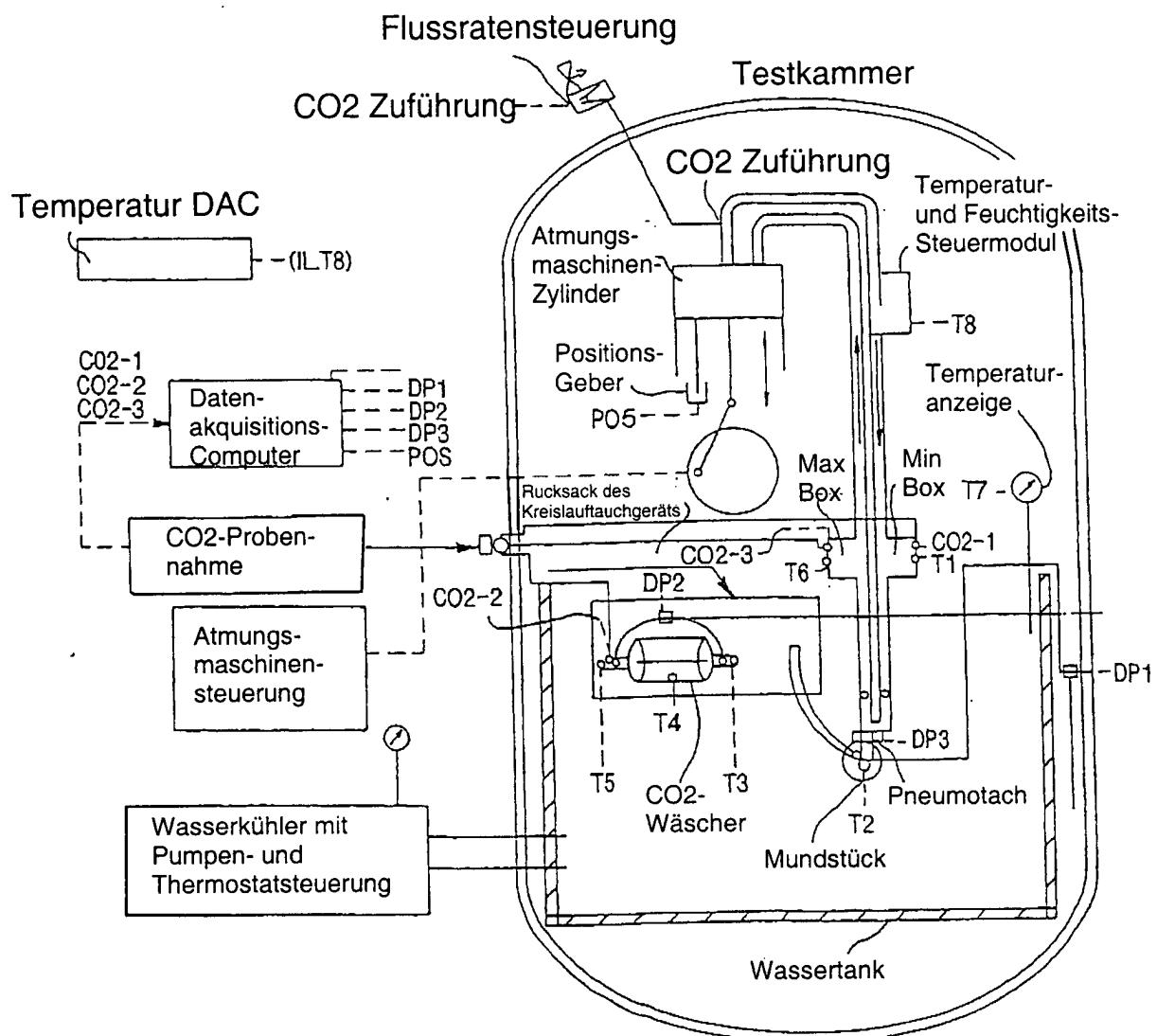


FIG. 8

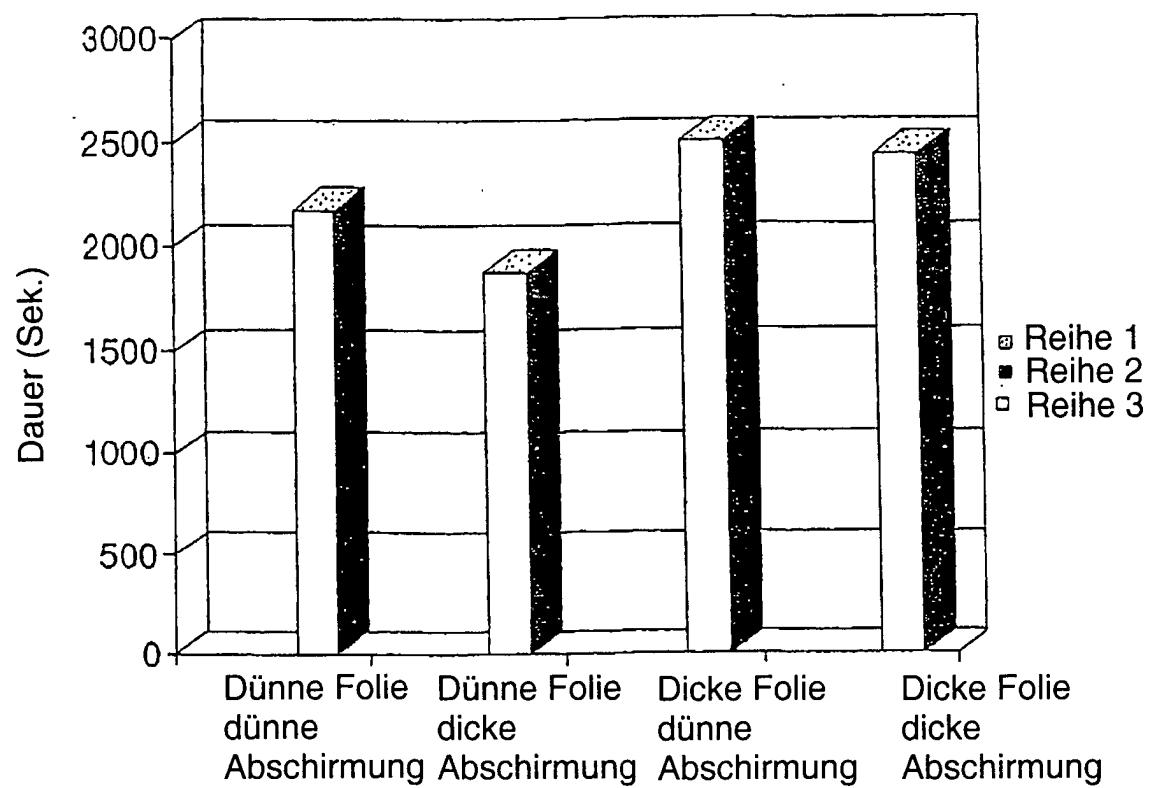


FIG. 9



FIG. 10