



(11) **EP 2 125 174 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
26.01.2011 Patentblatt 2011/04

(51) Int Cl.:
B01F 3/04 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **07857148.6**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2007/011456

(22) Anmeldetag: **28.12.2007**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2008/080618 (10.07.2008 Gazette 2008/28)

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR BEHANDLUNG EINER FLÜSSIGKEIT**

METHOD AND DEVICE FOR TREATING A LIQUID

PROCÉDÉ ET DISPOSITIF DE TRAITEMENT D'UN LIQUIDE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI SK TR

(74) Vertreter: **Kitzhofer, Thomas**
Prinz & Partner
Rundfunkplatz 2
80335 München (DE)

(30) Priorität: **28.12.2006 DE 102006061906**
21.03.2007 DE 102007013533

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 680 779 CH-A- 283 308
FR-A- 2 679 790 JP-A- 57 171 414
US-A- 4 952 417

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.12.2009 Patentblatt 2009/49

• **DATABASE WPI Week 198707 Thomson**
Scientific, London, GB; AN 1987-048907
XP002475680 -& SU 1 240 439 A (FEDOTKIN I M)
30. Juni 1986 (1986-06-30)

(73) Patentinhaber: **Ultrasonic Systems Gmbh**
86672 Thierhaupten (DE)

(72) Erfinder: **PÖSCHL, Günter**
86609 Donauwörth (DE)

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 125 174 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Behandlung einer Flüssigkeit. Insbesondere betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Einbringen von Gas in eine Flüssigkeit.

[0002] Das Beladen einer Flüssigkeit mit Gas ist für vielfältige Zwecke vorteilhaft. Es ermöglicht beispielsweise chemische Reaktionen zwischen dem Gas und der Flüssigkeit oder zwischen dem Gas und in der Flüssigkeit enthaltenen Stoffen. Ein möglicher Einsatzzweck findet sich in der Behandlung von Wasser, sowohl von Trinkwasser als auch von Abwässern, wo durch das Einleiten entsprechend reaktiver Gase die Keimbelastung reduziert werden kann.

[0003] Es besteht ein technisches Problem darin, den Anteil der wirksam in die Flüssigkeit eingebrachten Gasmenge zu erhöhen. Je höher dieser Anteil ist, in desto größerem Maße kann eine chemische Reaktion zwischen Gas und Flüssigkeit erfolgen. Daher wird seit langem diskutiert, die Verteilung des eingeleiteten Gases in der Flüssigkeit durch Ultraschall zu unterstützen.

[0004] Ein spezielles rotierendes Kavitationselement ist in der SU 1240439 A1 gezeigt, die den nächstkommen Stand der Technik bildet. Der dort verwendete Impeller ist mit Kanälen versehen, die an ihrem impellerseitigen Ende durch Membranen verschlossen sind. Eine entfernt vom Impeller angeordnete Druckquelle erzeugt Druckunterschiede in dem in den Kanälen vorhandenen Medium, welche periodisch die Position der Membran bezüglich der Impeller-Oberfläche verändern und so das Auftreten von Kavitation begünstigen.

[0005] Aufgabe der Erfindung ist es, ein effektives Verfahren zum Einbringen von Gasen in eine Flüssigkeit bereitzustellen.

[0006] Hierzu weist ein Verfahren zur Behandlung einer Flüssigkeit die folgenden Schritte auf:

- Einleiten der zu behandelnden Flüssigkeit in einen Raum,
- Einwirken eines mechanischen Kavitationselements auf die Flüssigkeit unter Zuführen von Gas in den Bereich der Oberfläche des Kavitationselements und Einbringen des Gases in die Flüssigkeit durch Bewegen des Kavitationselements, und
- Einleiten von Schallwellen unmittelbar in die Flüssigkeit durch wenigstens einen akustischen Leistungswandler.

[0007] Das Einbringen von Gas in die Flüssigkeit erfolgt dabei sozusagen zweistufig. Durch das Kavitationselement wird zunächst eine Vermischung des Gases mit der Flüssigkeit erreicht, bei der die mittlere Blasengröße noch relativ hoch ist. Da das Gas insbesondere mittels einer Gaszuführleitung unmittelbar an der Oberfläche des Kavitationselements eingeleitet wird, ist sichergestellt, dass das Gas durch den Kavitationsprozess praktisch vollständig in die Flüssigkeit gelangt. Die Schallwel-

len, die vom akustischen Leistungswandler in die Flüssigkeit eingeleitet werden, bewirken als "zweite Stufe" eine Verkleinerung der Gasblasen, so dass die mittlere Blasengröße in der gesamten Flüssigkeit deutlich reduziert wird. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Bewegung des Kavitationselements und die Beschallung des Raumes und somit auch die Prozesse des Gaseintrags und der Zerkleinerung der Blasen gleichzeitig erfolgen. Auf diese Weise wird eine sonochemische Lösung des Gases in der Flüssigkeit erreicht, wobei ein hoher und insbesondere überwiegender Anteil des Gases in molekular dispersiv gelöster Form vorliegt. Das Gas kann als Reinstoff oder Stoffgemisch vorliegen.

[0008] Mit diesem Verfahren kann z.B. eine mittlere Blasengröße von weniger als 50 µm erreicht sowie ein hoher Anteil an Blasen im Nanometer- bis Angströmbereich erzeugt werden.

[0009] Durch das erfindungsgemäße Verfahren ist es möglich, einen deutlich höheren Anteil an Gas in die Flüssigkeit einzubringen als mit herkömmlichen bekannten Verfahren.

[0010] Vorzugsweise wird beim Einleiten der Flüssigkeit der Raum vollständig mit Flüssigkeit gefüllt, so dass sich die Schallwellen im gesamten Raum ausbreiten und von allen Richtungen in die Flüssigkeit zurückreflektiert werden können. Die eingeleitete Gasmenge ist vorteilhaft so gewählt und die Einleitung des Gases erfolgt vorteilhaft so, dass kein Gasvolumen über der Flüssigkeit entsteht.

[0011] Der akustische Leistungswandler ist vorzugsweise ein piezoelektrisches Element, das beispielsweise scheibenförmig gestaltet sein kann.

[0012] Es ist möglich, nur einen, zwei oder eine Vielzahl von akustischen Leistungswandlern im Raum anzuordnen. Jeder der akustischen Leistungswandler hat direkten Kontakt zur Flüssigkeit, so dass die Schallwellen direkt in die Flüssigkeit abgestrahlt werden. Direkter Kontakt heißt in diesem Zusammenhang, dass keine leitenden Festkörper vom Leistungswandler die Schwingungen in die Flüssigkeit einleitet, wie dies z.B. eine Sonotrode macht. Vielmehr steht die Flüssigkeit direkt am Leistungswandler, also der Ultraschallquelle selbst an.

[0013] Vorteilhaft gibt der akustische Leistungswandler Schallwellen unterschiedlicher Frequenzen ab. Sind mehrere Leistungswandler vorgesehen, erzeugen diese jeweils Schallwellen im gleichen oder in unterschiedlichen Frequenzbereichen. Es hat sich herausgestellt, dass es von Vorteil ist, wenn ein solches "Frequenzgemisch" auf die Flüssigkeit einwirkt, um viel Gas zu lösen.

[0014] Vorzugsweise liegt die Frequenz der Schallwellen im Ultraschallbereich, insbesondere zwischen 400 und 1500 kHz. Besonders bevorzugt werden Frequenzen zwischen 600 und 1200 kHz eingesetzt.

[0015] In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird der akustische Leistungswandler gepulst betrieben. Diese Pulsdauer ist dabei so gewählt, dass ein möglichst effektives Zerkleinern der Gasblasen und Lösen des Gases in der Flüssigkeit erfolgt. Sind mehrere

akustische Leistungswandler vorgesehen, können alle oder nur einige davon im Pulsbetrieb, mit gleichen oder unterschiedlichen Pulsdauern und Pulsfrequenzen betrieben werden.

[0016] Es ist möglich, im Raum Reflektoren für Schallwellen anzuordnen, die die Schallwellen in die Flüssigkeit zurückreflektieren.

[0017] Die Bewegung des mechanischen Kavitationselements ist vorteilhaft eine Rotationsbewegung, da sich so auf einfache Weise eine gute Kavitationswirkung erzielen lässt. Als mechanisches Kavitationselement wird bevorzugt ein Strömungskörper eingesetzt, der so geformt ist, dass er entlang seiner Oberfläche Zonen mit möglichst hoher Strömungsgeschwindigkeit erzeugt, um eine möglichst hohe Kavitationswirkung und damit eine gute Vermischung des Gases mit der Flüssigkeit zu erzielen.

[0018] Das mechanische Kavitationselement ist beispielsweise scheibenförmig oder diskusförmig ausgebildet. Dabei kann eine Scheibe verwendet werden, die mit speziellen Strukturen wie etwa ellipsoidförmigen Taschen versehen ist, in deren Bereich sich sehr hohe Strömungsgeschwindigkeiten ausbilden.

[0019] Das Zuführen von Gas erfolgt vorzugsweise im Bereich der höchsten Strömungsgeschwindigkeit an der Oberfläche des Kavitationselements, da sich gezeigt hat, dass sich so eine besonders gute Durchmischung erzielen lässt. Dies kann im Bereich der erwähnten Strukturen oder auch im Bereich des Randes der Scheibe erfolgen.

[0020] In einer vorteilhaften Ausführungsform strömt die Flüssigkeit durch den Raum hindurch. Das Verfahren wird also nicht auf ein stehendes Flüssigkeitsvolumen, sondern auf im Durchflussprinzip durch die entsprechende Vorrichtung strömende Flüssigkeit angewandt.

[0021] Der Begriff "Raum" ist dabei breit zu verstehen. Er beschreibt im wesentlichen das zusammenhängende Volumen um das Kavitationselement bis hin zu dem Volumen um die akustischen Leistungswandler. Diese Volumina können in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander liegen oder mit einem gewissen Abstand zueinander, der natürlich durch das Ausgasen des durch das Kavitationselement in die Flüssigkeit eingebrachten Gases mitbestimmt ist. Der Raum kann von einer einzigen größeren Kammer gebildet sein, in der sowohl das Kavitationselement als auch der oder die akustische(n) Leistungswandler angeordnet sind oder auch von mehreren Kammern, die aber durch Rohrleitungen zusammenhängend miteinander verbunden sind, wobei das Kavitationselement und der akustische Leistungswandler jeweils in einer eigenen Kammer angeordnet sind. Wichtig ist jedoch, dass der Ultraschall bis zum Kavitationselement wirkt. Es ist jedoch immer vorteilhaft, wenn der gesamte Raum, der das Kavitationselement und den oder die akustischen Leistungswandler umfasst, möglichst gleichmäßig von den Schallwellen des/der akustischen Leistungswandler(s) durchzogen wird.

[0022] Vorzugsweise ist das Kavitationselement stromaufwärts des akustischen Leistungswandlers an-

geordnet, so dass die vom Kavitationselement in die Flüssigkeit eingebrachten, relativ großen Blasen anschließend von den Schallwellen des oder der akustischen Leistungswandler erfasst und dadurch "zerkleinert" werden und das Gas gelöst wird.

[0023] Es ist möglich, die Flüssigkeit vor der Behandlung mit dem Kavitationselement und den Schallwellen zu entgasen. Dies hat den Vorteil, dass die Löslichkeit des einzubringenden Gases erhöht wird, indem andere Gase vorher aus der Flüssigkeit entfernt werden.

[0024] Zur Entgasung kann beispielsweise wenigstens ein akustischer Leistungswandler stromaufwärts des Kavitationselements angeordnet sein. Dieser akustische Leistungswandler ist vorteilhaft zusätzlich zu dem stromabwärts des Kavitationselements angeordneten Leistungswandler vorgesehen. Es hat sich gezeigt, dass eine Entgasung mittels akustischer Leistungswandler sehr effektiv ist. Auf diese Weise ist die Flüssigkeit, die zum Kavitationselement gelangt, weitgehend gasfrei und lässt sich daher zu einem höheren Maß erneut mit Gas beladen.

[0025] Es hat sich ferner herausgestellt, dass für die Flüssigkeit der zeitliche Abstand zwischen dem Passieren des Kavitationselements und dem Passieren des akustischen Leistungswandlers bis zu 10 Sekunden betragen kann, ohne dass ein Verlust in der Effektivität der Gasbeladung eintritt.

[0026] Das Gas kann in flüssiger Form in das System eingespeist werden, was Zufuhr und Lagerhaltung erleichtert. Wird beispielsweise flüssiger Sauerstoff verwendet, ergibt sich außerdem eine vorteilhafte Kühlwirkung auf das Kavitationselement und die umgebende Flüssigkeit, was die Löslichkeit des Gases in der Flüssigkeit erhöht, da die Temperatur der Flüssigkeit gezielt erniedrigt werden kann.

[0027] Das erfindungsgemäße Verfahren lässt sich sehr gut zur Behandlung von Wasser, insbesondere von Trink- oder Abwasser einsetzen.

[0028] Hierzu ist insbesondere vorgesehen, dass das Gas wenigstens ein Gas mit oxidativen Eigenschaften, etwa Ozon, enthält.

[0029] Zur Erzeugung des Ozons ist es möglich, das Gas vor der Zuführung zum Kavitationselement mit UV-Licht zu behandeln. Wird als Gas Sauerstoff oder Luft verwendet, bewirkt die UV-Bestrahlung eine Umwandlung von Sauerstoff in Ozon. Dies hat den Vorteil, dass das stark reaktive Ozon erst unmittelbar vor seinem Kontakt mit der Flüssigkeit erzeugt wird. Die UV-Behandlung kann beispielsweise unmittelbar vor dem Austritt des Gases am Kavitationselement erfolgen oder auch an anderer Stelle im Gaszuführsystem. Es kann dazu eine UV-Lampe verwendet werden. Auch die Bestrahlung mit Röntgen- oder Gammastrahlung ist denkbar.

[0030] Das erfindungsgemäße Verfahren ist beispielsweise zum Entkeimen der Flüssigkeit oder allgemein zum Zerstören von Bakterien, von Viren, von Pilzsporen, von Toxinen oder endokrinen Stoffen oder zum Denaturieren von Proteinen einsetzbar. Darüber hinaus lässt es

sich allgemein zur Begasung von Flüssigkeiten, nicht nur von Wasser oder Abwasser, mit jedem geeigneten Gas verwenden.

[0031] Die Erfindung betrifft außerdem eine Vorrichtung, insbesondere zur Durchführung eines der beschriebenen Verfahren, mit einem Raum, einem im Raum angeordneten mechanischen Kavitationselement, einer Gaszuführeinrichtung, deren Auslaß in unmittelbarer Nähe zur Oberfläche des Kavitationselements mündet und einem im Raum angeordneten akustischen Leistungswandler, der so angeordnet ist, dass er Schallwellen direkt in den Raum abstrahlt. Zur Behandlung der Flüssigkeit wird der Raum mit der Flüssigkeit gefüllt, vorzugsweise vollständig, so dass die Bewegung des mechanischen Kavitationselements Kavitation in der Flüssigkeit hervorruft und der (oder die) akustische(n) Leistungswandler in direktem Kontakt mit der Flüssigkeit sind und Schallwellen direkt in die Flüssigkeit einkoppeln.

[0032] Zur Erhöhung der Kavitationswirkung hat der Raum vorzugsweise im Bereich des Kavitationselements einen nicht rotationssymmetrischen Querschnitt. Der Querschnitt kann beispielsweise polygonförmig sein.

[0033] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels, mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen. In diesen zeigen:

- Figur 1 eine Teilschnittansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens;
- Figur 2 eine teilgeschnittene Draufsicht auf die Vorrichtung in Figur 1;
- Figuren 3 und 4 Ansichten eines mechanischen Kavitationselement zur Verwendung in der erfindungsgemäßen Vorrichtung und zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;
- die Figuren 5 und 6 Ansichten eines akustischen Leistungswandlers zur Verwendung in der erfindungsgemäßen Vorrichtung und in dem erfindungsgemäßen Verfahren; und
- Figuren 7 und 8 ein piezoelektrisches Element zur Verwendung in einem akustischen Leistungswandler nach den Figuren 5 und 6.

[0034] Figur 1 zeigt eine Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens zur Behandlung von Flüssigkeiten durch Beladen der Flüssigkeit mit Gas.

[0035] Ein Raum 12 zur Aufnahme der Flüssigkeit weist einen Zulauf 14 und einen Ablauf 16 auf. Der Raum 12 ist in diesem Beispiel als eine einzige Kammer ausgebildet.

[0036] Das Verfahren wird im Durchflussprinzip betrieben, d.h., die Flüssigkeit strömt mit gleichmäßiger Strömungsgeschwindigkeit durch den Zulauf 14 in den Raum

12 ein und aus dem Ablauf 16 aus dem Raum 12 heraus. Zulauf 14 und Ablauf 16 sind an gegenüberliegenden Seiten des Raums 12 in axialer Richtung A versetzt zueinander angeordnet. Im Betrieb ist die Vorrichtung 10 so ausgerichtet, dass der Zulauf 14 am unteren Ende des Raumes 12 liegt.

[0037] Im Betrieb der Vorrichtung 10 ist der gesamte Raum 12 vollständig mit Flüssigkeit gefüllt.

[0038] In der Nähe des Zulaufs 14 befindet sich ein mechanisches Kavitationselement 17, hier in Form einer als Strömungskörper geformten, horizontal und drehbar gelagerten diskusförmigen Scheibe mit entgegengesetzten konvexen Seiten, die an einem scharfen Umfangsrand aufeinandertreffen. Das Kavitationselement 17 ist über eine Hohlwelle 18 mit einem stufenlos regelbaren Motor 20 verbunden, der die Drehgeschwindigkeit des Kavitationselements 17 bestimmt. Das Kavitationselement 17 ist vollständig in die Flüssigkeit eingetaucht und wird so schnell bewegt, dass in der Flüssigkeit Kavitation auftritt.

[0039] Im Inneren der Hohlwelle 18 ist eine Gaszuführleitung 21 ausgebildet (siehe Figuren 1 und 3), die Teil einer Gaszuführeinrichtung ist, durch die Gas zum Einbringen in die Flüssigkeit an die Oberfläche des Kavitationselements 17 geführt wird. Hierzu ist die Gaszuführleitung 21 mit einem Kanal 22 verbunden, der außerhalb des Raumes 12 mündet und der an eine Gasversorgung (nicht gezeigt) angeschlossen werden kann.

[0040] Das Gas kann in flüssiger Form zugeführt werden, wobei je nach Temperatur des flüssigen Gases es vorteilhaft ist, wenn das Gas bei Eintritt in den Kanal 22 bereits gasförmig ist. Bei der Verwendung von gekühltem flüssigem Gas wie etwa flüssigem Sauerstoff bietet sich der Vorteil, dass die Gaszuführeinrichtung gleichzeitig zur Kühlung der gesamten Vorrichtung 10 und damit auch zur Kühlung der Flüssigkeit im Raum 12 beiträgt.

[0041] Die Figuren 3 und 4 zeigen eine mögliche Ausbildung eines Kavitationselements 17. Das Kavitationselement 17 hat die Form einer als Strömungskörper ausgebildeten Scheibe, wobei die Stirnseite 40 stärker konvex gekrümmt ist als die Rückseite 42. In der Stirnseite 40 des Kavitationselements 17 sind zwei ellipsoidförmige Taschen 44 vorgesehen. Mehrere umfangsmäßig leicht zueinander versetzte Taschen 46 sind in der Rückseite 42 ausgebildet, wobei die Tiefe der Taschen 44, 46 so gewählt ist, dass im Bereich der Taschen 44 Durchbrüche zwischen der Stirnseite 40 und der Rückseite 42 des Kavitationselements 17 gebildet sind. In Figur 4 sind zwei dieser Durchbrüche mit dem Bezugszeichen 48 bezeichnet. Aufgrund dieser Gestaltung bilden sich sehr hohe Strömungsgeschwindigkeiten nicht nur im Bereich des Umfangsrandes des Kavitationselements 17, sondern auch im Bereich der Taschen 44, 46 aus, wodurch gerade an diesen Stellen eine sehr hohe Kavitationswirkung resultiert.

[0042] Die Gaszuführleitung 21 mündet unmittelbar an der Oberfläche des Kavitationselements 17, wie dies in den Figuren 3 und 4 zu erkennen ist.

[0043] Das zuzuführende Gas strömt durch den Kanal 22 ein, der über eine Querbohrung 25 mit der Hohlwelle 18 verbunden ist. Der Teil der Gaszuführeinrichtung, der zwischen dem Motor 20 und dem Kavitationselement 17 angeordnet ist, ist hier in einem Gehäuse 23 angeordnet, das die Hohlwelle 18 umgibt und das Kavitationselement 17 mit dem Motor 20 verbindet. Die Gaszuführleitung 21 endet im Inneren des Kavitationselements 17 in einem Auslaß, der in Form von mehreren, schräg zur Mittelachse M ausgerichteten Mündungskanälen 50 ausgebildet ist, die jeweils bis zur Oberfläche des Kavitationselements 17 reichen und im konkreten Beispiel die Oberfläche an der Innenseite der Taschen 46 erreichen. Das durch die Gaszuführeinrichtung herbeigeleitete Gas tritt somit direkt an der Oberfläche des Kavitationselements 17 aus und wird im Bereich der höchsten Kavitationswirkung in die Flüssigkeit eingebracht. Der Austrittswinkel α der Mündungskanäle 50 (zur Vertikalen gemessen) beträgt hier etwa 50°, lässt sich aber natürlich dem jeweiligen Einsatzzweck anpassen.

[0044] Die Gaszuführung in unmittelbarer Nähe der Oberfläche des Kavitationselements kann auch an anderer Stelle, nicht nur durch das Kavitationselement hindurch erfolgen.

[0045] Der Querschnitt des Raums 12 (siehe Figur 1) im Bereich des Kavitationselements 17 ist abweichend von der Kreisform gewählt und ist nicht rotationssymmetrisch. Er ist beispielsweise polygonförmig, etwa dreieckig, viereckig oder fünfeckig. Dies dient der Erhöhung der Kavitationswirkung, indem es die Ausbildung einer rotierenden Strömung um das Kavitationselement 17 verhindert.

[0046] Der Raum 12 ist von einer Wandung 24 umschlossen, die die Flüssigkeit im Raum 12 hält. Zum Raum 12 zählen dabei neben der Kammer, in der das Kavitationselement 17 angeordnet ist, auch die anschließenden Rohrleitungen.

[0047] Der Raum 12 umfasst dabei auch zwei kurze, um 90° abgewinkelte Verbindungsstutzen 30, 32, an die jeweils ein akustischer Leistungswandler 26, 28 angeschlossen ist und die die akustischen Leistungswandler 26, 28 mit der Kammer verbinden, die das Kavitationselement 17 enthält. Beide akustischen Leistungswandler 26, 28 sind hier als Ultraschallgeber ausgebildet und arbeiten in einem Frequenzbereich von 400 bis 1500 kHz, bevorzugt in einem Frequenzbereich von 600 bis 1200 kHz. Der Stutzen 30 mündet dabei auf der Höhe des Zulaufs 14, in Umfangsrichtung der Kammer um 90° versetzt von diesem, während der Stutzen 32 auf Höhe des Ablaufs 16 mündet, ebenfalls um 90° versetzt von diesem. Die beiden akustischen Leistungswandler 26, 28 sind axial voneinander beabstandet, so dass keine direkte Einkopplung von Schallwellen des einen Leistungswandlers in den anderen Leistungswandler erfolgen kann. Die akustischen Leistungswandler koppeln Ultraschallenergie als Elementarwelle direkt in die Flüssigkeit und auch in das Kavitationselement 17 ein, und zwar auf beiden Seiten jedes scheibenförmigen Leistungswand-

lers 26, 28.

[0048] Jeder der akustischen Leistungswandler 26, 28 strahlt gleichzeitig ein Spektrum verschiedener Frequenzen ab.

[0049] Wenigstens der akustische Leistungswandler 28, optional auch der akustische Leistungswandler 26 werden nicht im Dauerbetrieb, sondern gepulst betrieben, wobei Pulsfrequenz und Pulsdauer auf die jeweilige Geometrie des Raums 12, das verwendete Gas und die verwendete Flüssigkeit abgestimmt werden.

[0050] Die Figuren 5 bis 8 zeigen eine mögliche Ausbildung eines akustischen Leistungswandlers, wie er für die akustischen Leistungswandler 26, 28 eingesetzt werden kann.

[0051] Ein scheibenförmiger Aktuator 60, der hier aus einem piezoelektrischen Material besteht, ist in einem Gehäuse 62 angeordnet, das vorzugsweise aus elektrisch nicht leitender Keramik oder Kunststoff hergestellt ist. Beide Stirnseiten 64 sind mit einer elektrisch leitenden Kontaktschicht, hier einer Silberschicht 66, beschichtet. Beide Stirnseiten 64 sind außerdem bis auf einen kreisförmigen Bereich nahe des Randes mit einer chemisch inerten Schutzschicht 68, insbesondere Gas, überzogen, die den gesamten Bereich des Aktuators 60 bedeckt, der in Kontakt mit der Flüssigkeit kommt. Die elektrisch leitende Schicht 66 dient zur Kontaktierung und zur Anregung des piezoelektrischen Materials und ist auf bekannte Weise mit einem regelbaren Spannungserzeuger verbunden.

[0052] Der Aktuator 60 ist so im Gehäuse 62 eingesetzt, dass der Übergang zwischen der Schutzschicht 68 und der elektrisch leitenden Schicht 66 durch elastische Dichtungen 70 abgedichtet ist.

[0053] Die Flüssigkeit kann in das Gehäuse 52 einströmen, so dass sie in direktem Kontakt mit dem Aktuator 60 steht. Damit kann der akustische Leistungswandler die Schallwellen direkt in die Flüssigkeit einkoppeln.

[0054] Zur Beladung der Flüssigkeit mit Gas wird das Kavitationselement 17 in so schnelle Rotation versetzt, dass es in der Flüssigkeit zur Kavitation kommt. Durch die Gaszuführeinrichtung wird Gas an die Oberfläche des Kavitationselements 17 geleitet. Aufgrund der Kavitationswirkung wird das eingeleitete Gas praktisch vollständig in die Flüssigkeit eingebracht. Die eingeleitete Gasmenge kann beispielsweise 285 g/h für Sauerstoff in Brunnenwasser mit einer Temperatur von 15°C betragen. Die mittlere Blasengröße ist hierbei noch relativ groß. Da der gesamte Raum von den Schallwellen der akustischen Leistungswandler 26, 28 erfüllt ist, werden die durch das Kavitationselement 17 erzeugten Blasen sofort durch die Schallenergie weiterbearbeitet und dabei zerkleinert, wobei eine mittlere Blasengröße im Nanometerbereich resultiert und ein großer Anteil von Blasen im Angströmbereich erzeugt wird. Dies führt dazu, dass ein großer Anteil des eingeleiteten Gases sozusagen molekular dispers in der Flüssigkeit gelöst wird. Daher verbleibt das gesamte eingebrachte Gas über einen relativ langen Zeitraum in der Flüssigkeit. Durch diese

sonochemische Behandlung wird ein höherer Anteil des Gases in der Flüssigkeit gelöst als durch herkömmliche Verfahren. Der erfindungsgemäße zweistufige Prozess beruht auf dem Einbringen des Gases durch das Kavitationselement 17 und der daran anschließenden Behandlung der bereits in der Flüssigkeit vorhandenen Gasblasen durch von den akustischen Leistungswandlern 26, 28 abgegebene Schallwellen.

[0055] Da das Verfahren im Durchflussprinzip abläuft, wäre es auch möglich, das Kavitationselement 17 und einen oder beide akustischen Leistungswandler 26, 28 in verschiedenen, nur durch Rohrleitungen miteinander verbundenen Kammern anzuordnen. Dabei hat sich gezeigt, dass die Entfernung so groß gewählt werden kann, dass zwischen dem Passieren des Kavitationselements 17 und des akustischen Leistungswandlers 26, 28 bis zu 10s vergehen können, in denen die Flüssigkeit von der einen Kammer in die andere Kammer strömt. Hierbei ist zu beachten, dass die Geometrie des Raumes 12 so gewählt wird, dass der gesamte Raum ständig von den Schallwellen der akustischen Leistungswandler 26, 28 beschallt wird. Es ist möglich, geeignete Reflektoren im Raum 12 anzuordnen.

[0056] Die Geometrie des Raums 12 und die Anordnung der akustischen Leistungswandler 26, 28 ist so gewählt, dass sich möglichst wenig stehende Wellen im Raum 12 ausbilden.

[0057] Bei der gezeigten Anordnung kann der strömungsmäßig gesehen erste akustische Leistungswandler 26 auch zum Entgasen der Flüssigkeit eingesetzt werden, bevor diese erneut mit Gas beladen wird. Die einströmende Flüssigkeit wird direkt den Schallwellen des akustischen Leistungswandlers 26 ausgesetzt, was dazu führt, dass bereits in der Flüssigkeit gelöstes Gas aus der Flüssigkeit ausgetrieben wird. Dann erst gelangt die Flüssigkeit in den Bereich des Kavitationselements 17, wo sie erneut mit dem eigens zugeführten Gas beladen wird.

[0058] Wenn Abwasser aus Kläranlagen in Oberflächengewässer eingeleitet wird, ist es nach dem Stand der Technik ausreichend geklärt, es enthält aber dennoch eine Vielzahl an Nährstoffen, Bakterien und Keimen, die gesundheitsschädlich sind und das Baden in Flüssen und Seen zu einem Gesundheitsrisiko werden lassen. EU-Verordnungen schreiben deshalb selbst beim Einleiten ins Meer an Badestränden eine Keimreduzierung vor.

[0059] Ein Anwendungszweck der Vorrichtung 10 und des damit betriebenen Verfahrens ist die Reinigung von Wasser, insbesondere von Abwasser. Die Vorrichtung 10 kann beispielsweise in Kläranlagen zur Behandlung des Abwassers eingesetzt werden.

[0060] Bei dieser Anwendung ist das zugeführte Gas vorzugsweise ozonhaltig, wobei reiner Sauerstoff oder auch Luft als Ausgangsgas verwendet werden kann.

[0061] Zur Erzeugung des Ozons ist im Bereich der Gaszuführeinrichtung eine Bestrahlung mit UV-Licht vorgesehen. Diese kann durch eine UV-Lampe erfolgen, die

beispielsweise im Bereich des Kanals 22 oder sogar der Hohlwelle 18 angeordnet ist. Statt der UV-Lampe kann auch eine Bestrahlung mit Röntgenstrahlen oder Gammastrahlen erfolgen. In jedem Fall hat die Zufuhr energiereicher Strahlung zur Folge, dass ein Teil des Sauerstoffs in Ozon umgewandelt wird. Da die Erzeugung des Ozons in unmittelbarer Nähe zum Austritt des Gases erfolgt, besteht nicht das Problem, dass das Ozon zwischen der Erzeugung und der Einleitung in die Flüssigkeit wieder zerfällt. Es ist jedoch auch möglich, das Ozon mit einem herkömmlichen Ozongenerator zu erzeugen und anschließend dem Abwasser zuzuführen.

[0062] Das Gas kann in flüssiger Form, z.B. in Form von flüssigem Sauerstoff in das System eingespeist werden, wobei es bei Eintritt in den Kanal 22 vorzugsweise bereits gasförmig vorliegt.

[0063] Das vorzugsweise molekular dispers in der Flüssigkeit gelöste Ozon, zusammen mit der Behandlung durch die Ultraschallwellen, führt zur sicheren Entkeimung der Flüssigkeit. Neben Bakterien werden auch Viren, Pilzsporen sowie Proteine, Toxine oder, besonders interessant, endokrine Stoffe sicher zerstört. Bei den Proteinen erfolgt die Zerstörung hauptsächlich auf bekanntem Weg durch eine Denaturierung, also eine Reaktion des Ozons mit bestimmten chemischen Gruppen des Proteinmoleküls.

[0064] Durch das erfindungsgemäße Verfahren bleibt das Gas länger in Lösung als bei herkömmlichen Verfahren, da eine sehr kleine Blasengröße erreicht wird. Blasen mit einem Durchmesser von einigen Ångström oder wenigen Nanometern verhalten sich nicht mehr wie größere Gasblasen, die direkt zur Oberfläche aufsteigen, sondern verhalten sich teilweise sogar schwerer als Wasser und sinken zu Boden. Außerdem sind sie in der Flüssigkeit deutlich langlebiger als größere Gasblasen. Im Gegensatz zu den größeren Gasblasen ist bei den Blasen im Ångström- bis Nanometerbereich der Innendruck in den Blasen etwa annähernd gleich dem Umgebungsdruck in der Flüssigkeit. Sie verbinden sich auch deutlich weniger untereinander zu größeren Blasen, so dass die Komponente an kleinsten Bläschen sehr lange in der Flüssigkeit enthalten bleibt.

[0065] Hierdurch bietet sich dem Ozon zum einen eine lange Zeit, in der es mit den Stoffen im Wasser reagieren kann, und zum anderen entsteht auch eine große Reaktionsoberfläche durch die feine Verteilung der Gasblasen in der Flüssigkeit. Diese Faktoren tragen zur deutlich verbesserten Wirksamkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens gegenüber bekannten Verfahren bei.

[0066] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lässt sich eine Dispersion mit kleinsten Bläschen im Ångström- bis Nanometerbereich erzeugen, wobei auch die chemische Lösung des Gases in der Flüssigkeit deutlich erhöht wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Behandlung einer Flüssigkeit, mit den folgenden Schritten:

- Einleiten der zu behandelnden Flüssigkeit in einen Raum (12),
 - Einwirken eines mechanischen Kavitationselements (17) auf die Flüssigkeit unter Zuführen von Gas in den Bereich der Oberfläche des Kavitationselements (17) und Einbringen des Gases in die Flüssigkeit durch Bewegen des Kavitationselements (17), und
 - Einleiten von Schallwellen unmittelbar in die Flüssigkeit durch wenigstens einen akustischen Leistungswandler (26, 28).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Einleiten der Flüssigkeit der Raum (12) vollständig mit Flüssigkeit gefüllt wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der akustische Leistungswandler (26, 28) ein piezoelektrisches Element ist.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der akustische Leistungswandler (26, 28) Schallwellen unterschiedlicher Frequenzen abgibt, insbesondere Schallwellen zwischen 400 und 1500 kHz.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der akustische Leistungswandler (26, 28) gepulst betrieben wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mechanische Kavitationselement (17) rotiert.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mechanische Kavitationselement (17) scheibenförmig ausgebildet ist.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Zuführen von Gas im Bereich der höchsten Strömungsgeschwindigkeit an der Oberfläche des Kavitationselements (17) erfolgt.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Flüssigkeit durch den Raum (12) hindurchströmt und das Kavitationselement (17) vorzugsweise stromaufwärts des akustischen Leistungswandlers (28) angeordnet ist.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Flüssigkeit vor der Behandlung mit dem Kavitationselement (17) und den Schallwellen entgast wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens ein akustischer Leistungswandler (26) stromaufwärts des Kavitationselements (17) angeordnet ist.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es zur Behandlung von Wasser, insbesondere Trink- oder Abwasser eingesetzt wird.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es zur Entkeimen der Flüssigkeit oder zum Zerstören von Bakterien, Viren, Proteinen, Pilzsporen, Toxinen oder endokrinen Stoffen eingesetzt wird.

14. Vorrichtung, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit einem Raum (12), einem im Raum (12) angeordneten mechanischen Kavitationselement (17), **gekennzeichnet durch** eine Gaszuführeinrichtung, deren Auslaß in unmittelbarer Nähe zur Oberfläche des Kavitationselements (17) mündet und einen im Raum (12) angeordneten akustischen Leistungswandler (26, 28), der so angeordnet ist, dass er Schallwellen direkt in den Raum (12) abstrahlt.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Raum (12) im Bereich des Kavitationselements (17) einen nicht rotationssymmetrischen Querschnitt hat

Claims

1. A method of treating a liquid, comprising the following steps:

- introducing the liquid to be treated into a space (12);
 - allowing a mechanical cavitation element (17) to act upon the liquid while supplying gas into the region of the surface of the cavitation element (17) and introducing the gas into the liquid by moving the cavitation element (17); and
 - introducing sound waves directly into the liquid by at least one acoustic power transducer (26, 28).

2. The method according to claim 1, **characterized in**

that when introducing the liquid, the space (12) is completely filled with liquid.

3. The method according to either of the preceding claims, **characterized in that** the acoustic power transducer (26, 28) is a piezoelectric element. 5
4. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the acoustic power transducer (26, 28) gives off sound waves of different frequencies, in particular sound waves between 400 and 1500 kHz. 10
5. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the acoustic power transducer (26, 28) is operated in a pulsed fashion. 15
6. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the mechanical cavitation element (17) rotates. 20
7. The method according to claim 6, **characterized in that** the mechanical cavitation element (17) is of a disk-shaped design. 25
8. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the supplying of gas is effected in the region of the highest flow velocity at the surface of the cavitation element (17). 30
9. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the liquid flows through the space (12) and **in that** the cavitation element (17) is preferably arranged upstream of the acoustic power transducer (28). 35
10. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the liquid is degassed prior to the treatment with the cavitation element (17) and the sound waves. 40
11. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that** at least one acoustic power transducer (26) is arranged upstream of the cavitation element (17). 45
12. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that** it is employed for the treatment of water, in particular drinking water or wastewater. 50
13. The method according to any of the preceding claims, **characterized in that** it is employed for degerminating the liquid or for destroying bacteria, viruses, proteins, fungal spores, toxins, or endocrine disrupting substances. 55
14. A device, in particular for carrying out a method ac-

cording to any of the preceding claims, comprising a space (12);
a mechanical cavitation element (17) arranged in the space (12),
characterized by
a gas supply means having an outlet which opens in the immediate vicinity of the surface of the cavitation element (17); and
an acoustic power transducer (26, 28) disposed in the space (12) and arranged to emit sound waves directly into the space (12).

15. The device according to claim 14, **characterized in that** the space (12) has a non-rotationally symmetrical cross-section in the region of the cavitation element (17).

Revendications

1. Procédé de traitement d'un liquide, comportant les étapes suivantes :
- introduire du liquide à traiter dans un espace (12),
- faire agir un élément de cavitation (17) mécanique sur le liquide en amenant du gaz dans la zone de la surface de l'élément de cavitation (17) et introduire le gaz dans le liquide en remuant l'élément de cavitation (17), et
- introduire des ondes acoustiques directement dans le liquide par au moins un convertisseur de puissance acoustique (26, 28).
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** lors de l'introduction du liquide, l'espace (12) est entièrement rempli de liquide.
3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le convertisseur de puissance acoustique (26, 28) est un élément piézoélectrique.
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le convertisseur de puissance acoustique (26, 28) émet des ondes acoustiques de différente fréquence, en particulier des ondes acoustiques entre 400 et 1500 kHz.
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le convertisseur de puissance acoustique (26, 28) fonctionne en régime pulsé.
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'élément de cavitation (17) mécanique tourne.

7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** l'élément de cavitation (17) mécanique est réalisé en forme de disque.

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'amenée de gaz est effectuée dans la zone de la plus grande vitesse d'écoulement à la surface de l'élément de cavitation (17).
5
10

9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le liquide s'écoule à travers l'espace (12) et l'élément de cavitation (17) est agencé de préférence en amont du convertisseur de puissance acoustique (28).
15

10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le liquide est dégazé avant le traitement avec l'élément de cavitation (17) et les ondes acoustiques.
20

11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**au moins un convertisseur de puissance acoustique (26) est agencé en amont de l'élément de cavitation (17).
25

12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**il est mis en oeuvre pour le traitement d'eau, en particulier d'eau potable ou d'eau usée.
30

13. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**il est mis en oeuvre pour dégermer le liquide ou pour détruire des bactéries, des virus, des protéines, des spores fongueux, des toxines ou des substances endocrines.
35

14. Dispositif, en particulier pour mettre en oeuvre un procédé selon l'une des revendications précédentes,
40
comportant un espace (12),
un élément de cavitation (17) mécanique agencé dans l'espace (12)
caractérisé par
un dispositif d'amenée de gaz dont la sortie débouche à proximité directe de la surface de l'élément de cavitation (17), et
45
un convertisseur de puissance acoustique (26, 28) agencé dans l'espace (12), lequel est agencé de telle sorte qu'il émet des ondes acoustiques directement dans l'espace (12).
50

15. Dispositif selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** dans la zone de l'élément de cavitation (17), l'espace (12) a une section transversale qui n'est pas à symétrie de révolution.
55

Fig. 2

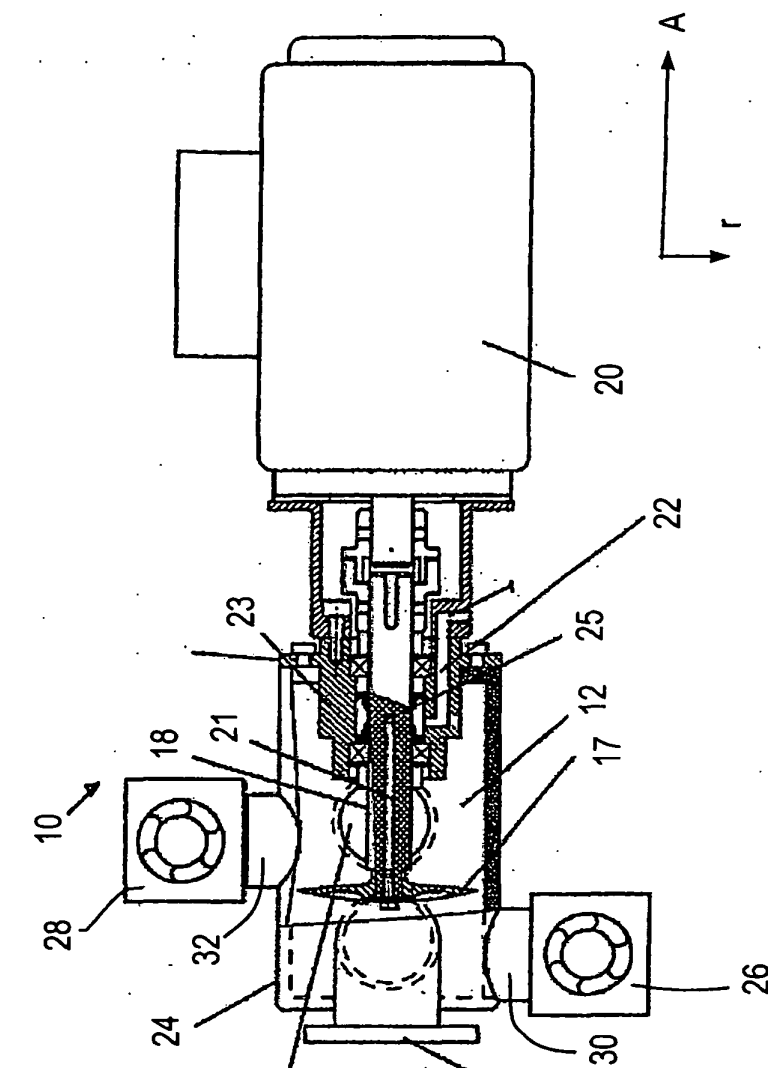
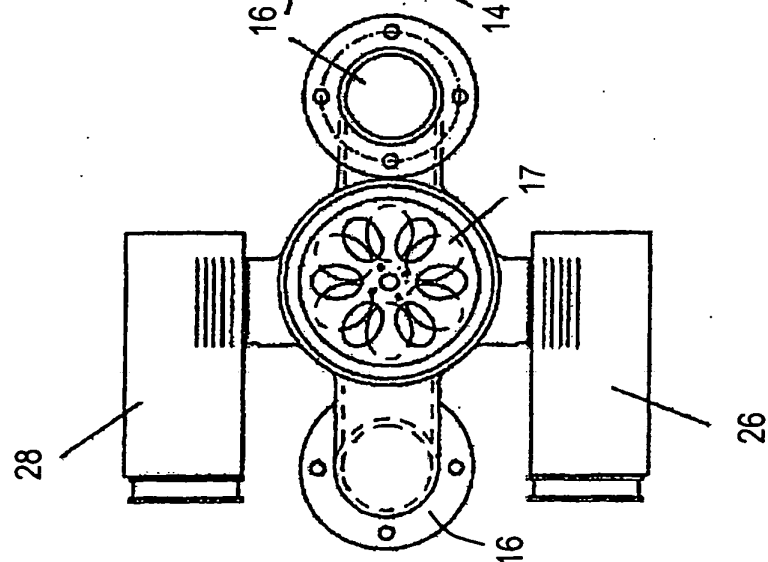


Fig. 1

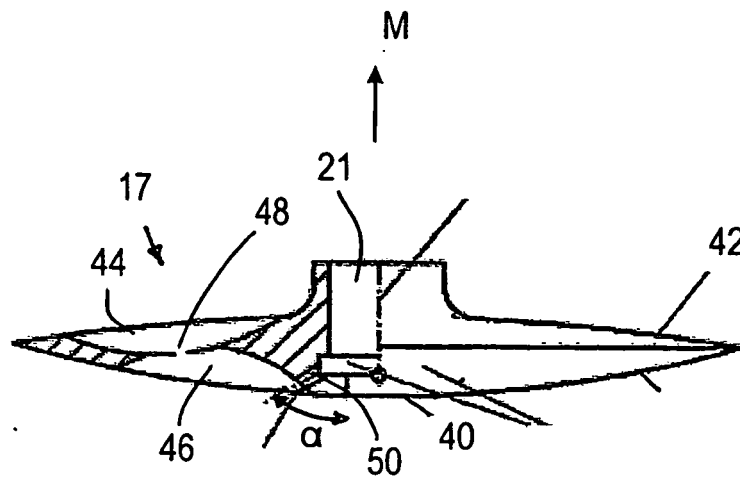


Fig. 3

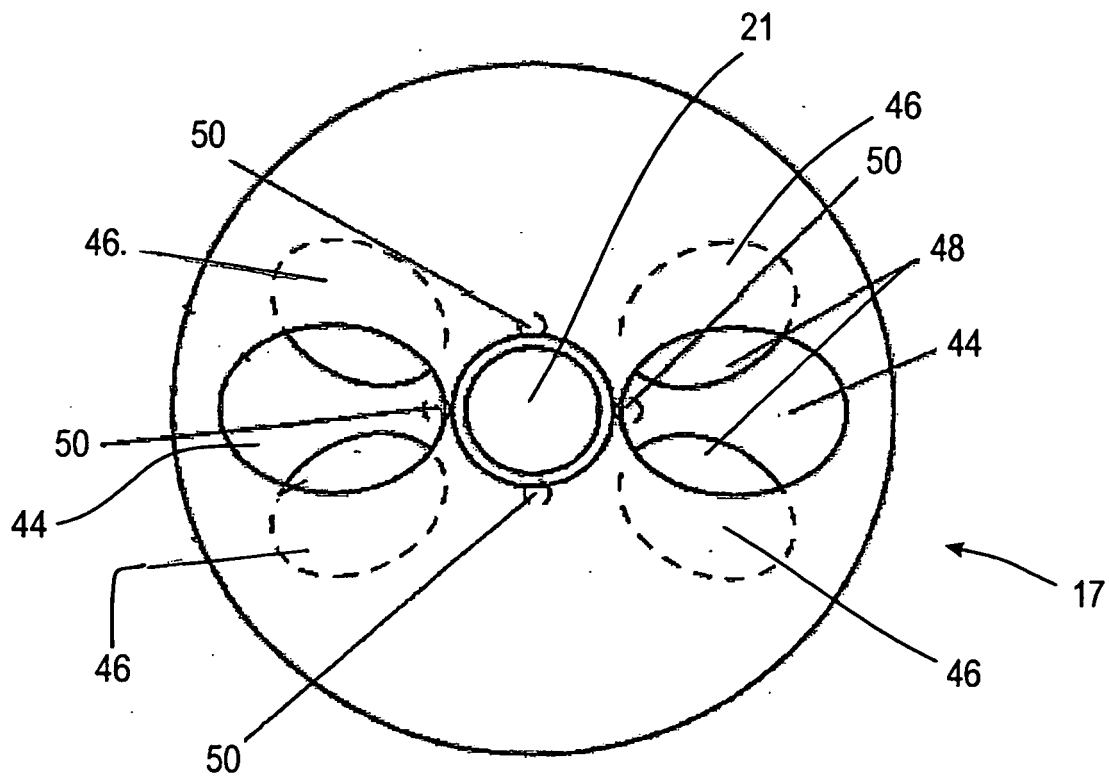


Fig. 4

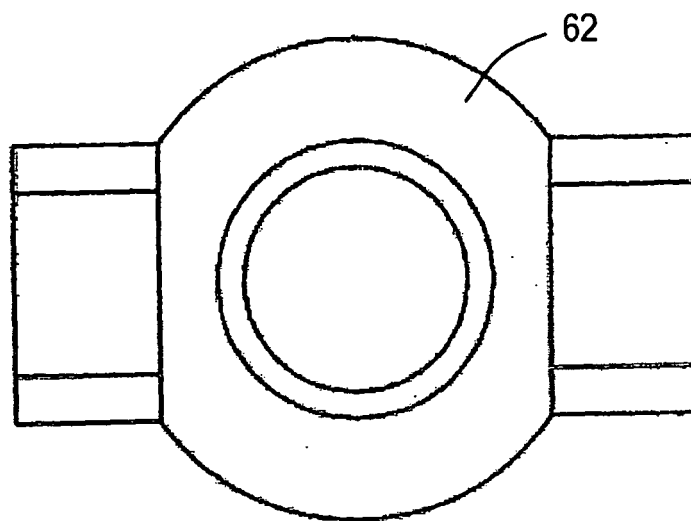


Fig. 5

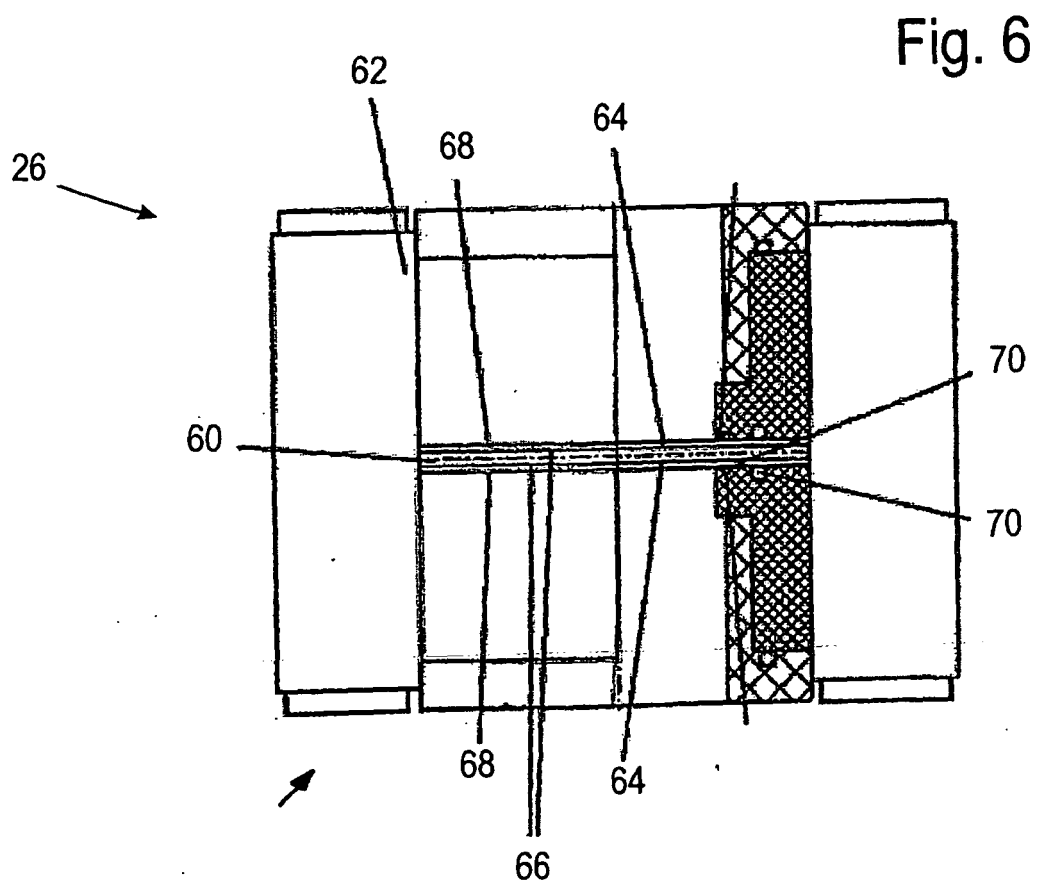


Fig. 6

Fig. 7

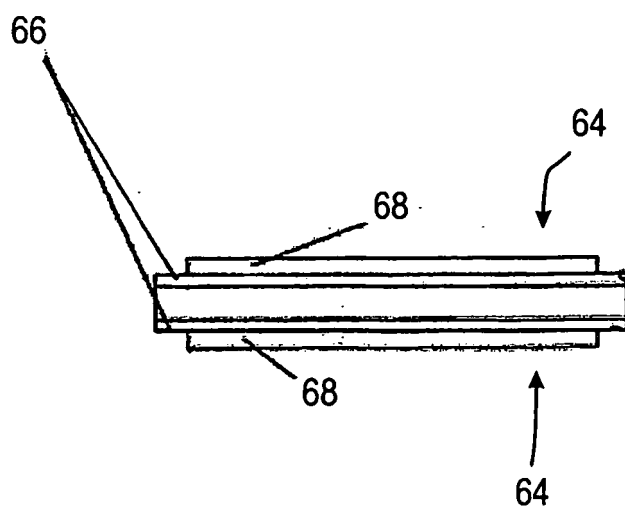
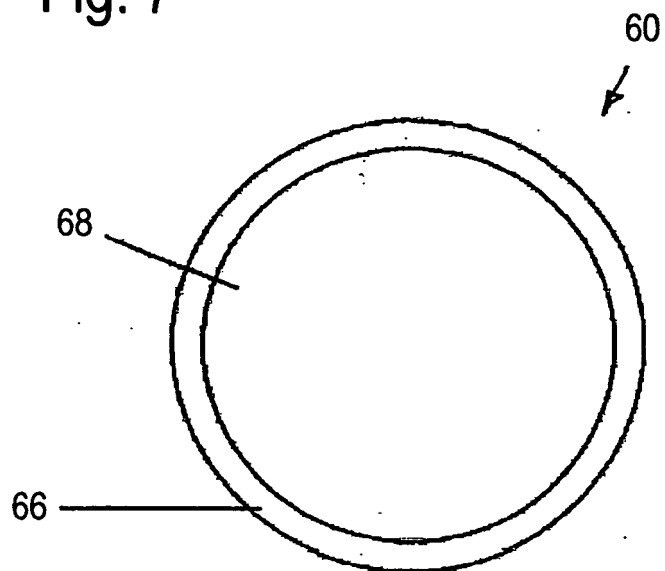


Fig. 8

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- SU 1240439 A1 [0004]