



(19)

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 962 261 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
08.12.1999 Patentblatt 1999/49

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: B06B 3/00

(21) Anmeldenummer: 98108519.4

(22) Anmeldetag: 11.05.1998

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI  
(71) Anmelder: TELSONIC AG  
CH-9552 Bronschhofen (CH)

(72) Erfinder: Solenthaler, Jürg  
9500 Wil (CH)  
(74) Vertreter: Hepp, Dieter et al  
Hepp, Wenger & Ryffel AG,  
Friedtalweg 5  
9500 Wil (CH)

## (54) Vorrichtung zum Behandeln von Fluiden und/oder Feststoffen

(57) Es wird eine Vorrichtung zum Einsatz von torsionalen Schwingern bei der Behandlung von Flüssigkeiten, Flüssigkeitsgemischen und Flüssig-Feststoffgemischen beschrieben.

Durch den Einsatz von torsionalen Schwingungen lassen sich die in der Technik geforderten Eigenschaften bezüglich Leistungseintrag, Amplitude, grossem Fluiddurchsatz und geringen Verlusten besser erreichen, als bei den zur Zeit eingesetzten Systemen.

Zur Lösung des Problems wird ein Verbundschwinger (1) mit einem Torsionswandler (2) verbunden, der eine Torsionssonotrode (3) mit Kavitationsstrukturen wie zum Beispiel Kavitationsflügeln (5) in Resonanz antreibt. Die Torsionssonotrode befindet sich in einem

Behälter (7), welcher durch den Abstand zur Torsionssonotrode und weiteren Kavitationsstrukturen die angestrebten sonochemischen Effekte begünstigt und durch Zu- und Ableitungen (9) im Durchfluss betrieben werden kann. Die Dichtung des Torsionsschwingers (2) gegen das Gefäss (7) erfolgt vorzugsweise in einem Amplitudenknoten.

Die Anwendung der Vorrichtung ist beim Dispergieren, Emulgieren, Homogenisieren, Entgasen, Beschleunigen von chemischen Reaktionen, Zerkleinern von Partikeln und Zellwänden in Fluiden angezeigt.

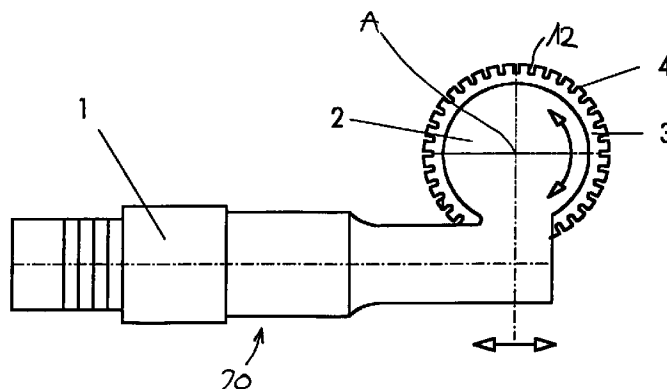


FIG. 1b

EP 0 962 261 A1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Behandeln von Fluiden und/oder Feststoffen gemäss den Merkmalen des Oberbegriffs von Patentanspruch 1.

[0002] Es ist bekannt, dass Ultraschall eine Reihe von mechanischen, chemischen und biologischen Wirkungen auslöst. Der Einsatz von Ultraschall-Desintegratoren für das Dispergieren, Emulgieren, Homogenisieren, Entgasen, Beschleunigen von chemischen Reaktionen, Zerkleinern von Partikeln und Zellwänden ist allgemein bekannt und wird z.B. auch in folgenden Büchern beschrieben: (1) Ultraschalltechnik: Grundlagen und Anwendung /ISBN 3-87664-106-3, (2) Heinrich Kuttruf: Physik und Technik des Ultraschalls /ISBN 3-7776-0427-5, (3) Timothy J. Mason: Practical Sonochemistry /ISBN 0-13-682642-3.

[0003] Die sonochemischen Reaktionen beruhen im allgemeinen auf dem Effekt der Kavitation (2, S. 333). Werden Ultraschallschwingungen mit einer ausreichend grossen Amplitude auf eine Flüssigkeit übertragen, so entstehen durch die wechselnden Kompressions- und Expansionsphasen schwingende Blasen. Dieser Vorgang wird häufig als Kavitation bezeichnet. In den Blasen entstehen kurzfristig hohe Temperaturen und Drücke. Dies wird bei chemischen Umsetzungen des Blaseninhalts wie zum Beispiel bei der homolytischen Spaltung von Wasser oder beim Abbau von Schadstoffen ausgenutzt. Strömungen hoher Geschwindigkeit entstehen bei Blasen, die sich in der Nähe von festen Umrandungen befinden. Dadurch werden hohe Scherkräfte hervorgerufen, welche zum Zerkleinern von Feststoffagglomeraten oder emulgierten Tropfen führen. Turbulente Strömungen in der Umgebung der meist nichtlinear oszillierenden Blasen bewirken ebenfalls hohe Scherkräfte, die zum Beispiel in Kolloidmühlen zur Erzeugung von Emulsionen oder zum Dispergieren von Partikeln verwendet werden. Treten beim Blasenkollaps sehr schnelle Blasenwandgeschwindigkeiten auf, so werden Schockwellen emittiert, welche kleine Partikel stark beschleunigen und eine Zerkleinerung im  $\mu\text{m}$  Bereich hervorrufen können.

[0004] In der Industrie werden hauptsächlich Ultraschallhochleistungsdesintegratoren bzw. Reaktoren verwendet. Durch einen Verbundschwinger (1, S. 83) werden dabei auf Resonanz abgestimmte Sonotroden (1, S. 372) zu Dehnschwingungen angeregt. Dabei strahlen diese Sonotroden die Schwingungen sowohl radial als auch longitudinal ab. Die longitudinale Schwingungsamplitude ist in der Regel etwa dreimal grösser, als die radiale Komponente. Die radial abgestrahlte Energie ist meist nicht als Nutzenergie zu verwenden und begrenzt den Wirkungsgrad der Sonotrode. Die für die Erzeugung der sonochemischen Effekte möglichst hoch zu setzende longitudinale Schwingungsamplitude ist so immer mit entsprechenden radialen Verlusten gepaart.

[0005] Ein weiterer Nachteil der üblichen Schwingerkombination aus einem Verbundschwinger und einer longitudinalen Sonotrode ist die durch den Verbundschwinger begrenzte maximale Leistung. Des weiteren kann die radiale Ausdehnung der Sonotrode nicht beliebig ausgedehnt werden, da sonst der Anteil parasitärer radialer Schwingungen zunimmt. Die zur Verfügung stehende Wirkfläche zum Übertragen der Schwingungen ist deshalb begrenzt. Diese Einschränkungen limitieren den Einsatz von longitudinal schwingenden Sonotroden in der technischen Anwendung ungemein.

[0006] Aus dem Bereich des Ultraschall-Metallschweissens sind Werkzeuge mit torsionaler Anregung oder Torsionssonotroden bekannt. Ein solche Torsionssonotrode wird zum Beispiel im Buch von (4) Wilhelm Leheld: Ultraschall / ISBN 3-8023-0060-2, S. 91, erwähnt.

[0007] Aus JP-8-281227 A (WPINDEX; Nr. 97-015590) ist eine Reinigungsvorrichtung bekannt, in welcher zahnradähnliche Gebilde in eine Hin- und Herbewegung versetzt werden. Die Flügel der Zahnräder übertragen eine Bewegung auf eine Behandlungsflüssigkeit, wodurch ein Kavitationsphänomen erzeugt wird. Mit dieser Vorrichtung wird im Behälter eine tornadoähnliche und deshalb schwierig kontrollierbare Kavitation erzeugt.

[0008] Bei Torsionssonotroden werden Tangentialschwingungen erzeugt, welche nicht in ein sie umgebendes Medium abgestrahlt werden können. Fluide wie Gase und Flüssigkeiten können Torsionsschwingungen so gut wie nicht weiterleiten. Nur longitudinale Schwingungen werden durch Dichteänderungen in solchen Medien weitergeleitet. Torsionsschwinger leiten ihre Energie beim Schweissen nur an Materialien weiter, die entsprechende Tangentialkräfte weitergeben können, wie zum Beispiel Metalle oder andere Feststoffe. Daher werden sie nicht zur Behandlung von fluiden Stoffen oder Stoffgemischen eingesetzt.

[0009] Die dem Stand der Technik entsprechenden Vorrichtungen zur Behandlung von Flüssigkeiten, Flüssigkeitsgemischen oder Flüssig-Feststoffgemischen mit longitudinalen Schwingersystemen, bestehend aus einem Verbundschwinger und einer Sonotrode, können aufgrund der Limitierungen nur bis zu einer Gesamtleistung von zirka 2 kW pro Sonotrode eingesetzt werden. Dabei werden radiale Abstrahlungsverluste in Kauf genommen, um möglichst hohe Amplituden in axialer Richtung zu ermöglichen. Durch die Bauweise der longitudinalen Sonotroden sind die schallabstrahlenden Flächen meist klein, so dass die Menge des zu behandelnden Fluids begrenzt ist. Des weiteren lassen sich diese longitudinalen Schwinger nur innerhalb enger geometrischer Grenzen verwirklichen. Da im Bereich des Hochintensitäts-Ultraschalls in der technischen Anwendung grosse Durchsätze an Fluid gefordert werden, muss ein hoher Gesamtleistungseintrag bei hoher Amplitude durch eine neuartige Form der Ultraschalleinleitung in ein fluides Medium ermöglicht werden.

[0010] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Nachteile des Bekannten zu vermeiden, also insbesondere eine Vorrichtung zum Behandeln von Flüssigkeiten zu schaffen, welche bei möglichst gutem Wirkungsgrad die Übertragung von hohen Leistungen in das zu behandelnde Medium erlaubt. Die Vorrichtung soll in Herstellung und Wartung einfach sein und soll ausserdem das Erzeugen von genau kontrollierbaren Amplituden beim Schwingungseintrag in die Flüssigkeit ermöglichen.

[0011] Erfindungsgemäss werden diese Aufgaben mit einer Vorrichtung mit den Merkmalen des kennzeichnenden Teiles von Anspruch 1 gelöst.

[0012] In diesem Zusammenhang haben sich torsionale Schwingungen als geeignete Mittel zur Erzeugung von hohen Amplituden bei gleichzeitig geringem Verlusten herausgestellt.

[0013] Eine Kombination von torsionalen Schwingungen mit optimiertem Wirkungsgrad und hohen Leistungen mit einer Anwendung in Fluiden wie Flüssigkeiten und Gasen sowie darin verteilten Feststoffen ist bei erfindungsgemässer Anwendung geeignet, die zur Zeit technisch realisierbaren sonochemischen Prozesse nachhaltig zu verbessern und einer industriellen Verwendung zuzuführen. Dabei steht eine hohe Ultraschall-dichte, definiert als Leistungseintrag pro Volumeneinheit, und ein möglichst hoher Durchsatz an zu behandelndem Fluid im Vordergrund.

[0014] Die erfindungsgemässe Vorrichtung zum Behandeln von Fluiden oder Feststoffen besteht im wesentlichen aus wenigstens einem Torsionsschwinger zum Erzeugen einer torsionalen Ultraschall-Schwingung (Frequenz 15-100 kHz) mit einer vorbestimmten Schwingfrequenz und aus einer Sonotrode, welche mit dem Torsionsschwinger verbunden ist, und welche mit diesem in torsionale Schwingungen versetzbar ist. Unter Torsionsschwinger wird hier ein Schwinger verstanden, der in der Lage ist, die longitudinalen Schwingungen eines Ultraschallkonverters (oft als Verbundschwinger bezeichnet) in torsionale Schwingungen umzuwandeln. Vorteilhaft besteht der Torsionsschwinger aus einem Konverter und einem mit diesem verbundenen Torsionswandler. Der Torsionswandler weist eine oder mehrere parallel zur Achse des Konverters stehende Komponente und eine senkrecht dazu stehende, etwa zylindrische Komponente auf. Die Dimension und Form der beiden Komponenten wird so gewählt, dass die Eigenfrequenz des Torsionsschwingers der Anregungsfrequenz des Konverters entspricht. Die Sonotrode ist mit Strukturen zum Übertragen der torsionalen Schwingung in das Fluid versehen. Gemäss den Merkmalen der Erfindung ist die Sonotrode derart ausgebildet, dass ihre Eigenfrequenz der Schwingfrequenz des Torsionsschwingers im wesentlichen entspricht. Dank dieser gezielten Ausbildung der Sonotrode schwingt die ganze Vorrichtung als ein Gesamtes in Resonanz.

[0015] Bei der Untersuchung von glatten Torsions-

schwingern in Flüssigkeiten konnten nur geringe sonochemische Effekte gefunden werden, da die Abstrahlung der von der Sonotrode ausgeführten tangentialen Schwingungen nicht in das umgebende fluide Medium übertragen werden können.

[0016] Erst durch das Anbringen der Strukturen wie Erhöhungen, Löcher, Kerben, welche der tangentialen Amplitude eine longitudinale Komponente hinzufügen, wird die Energie des Torsionsschwingers in ein fluide Medium abgestrahlt. Dies hat den Vorteil, dass nahezu ausschliesslich an Orten, an denen die oben genannten Strukturen an der Seite des Torsionsschwingers angebracht wurden, Energie in das zu bearbeitende Medium weitergegeben wird. Alle anderen Abstrahlungsarten werden vermieden, was einen ausserordentlich guten Wirkungsgrad ergibt.

[0017] Die Sonotrode ist vorteilhaft im wesentlichen axial-symmetrisch ausgebildet und die Länge der Sonotrode beträgt die Hälfte der Wellenlänge der Schwingung des Torsionsschwingers oder ein Vielfaches davon. Mit einer solchen Konstruktion wird die Sonotrode in Resonanz mit dem Torsionsschwinger gebracht.

[0018] Die Strukturen zum Übertragen der torsionalen Schwingung in das die Sonotrode umgebende Medium weisen vorteilhaft über den Umfang der Sonotrode angeordnete Flächen auf, welche bezüglich der Achse der Sonotrode wenigstens teilweise radiale Oberflächenkomponenten aufweisen. Mit radialen Oberflächenkomponenten wird hier verstanden, dass die Strukturen Oberflächen aufweisen, die nicht tangential zu der Sonotrode stehen, sondern jeweils einen Winkel zur Oberfläche zur Sonotrode bilden.

[0019] Vorteilhaft sind die Strukturen entlang einer Umfangslinie auf der Sonotrode angeordnet, entlang welcher die Sonotrode mit maximaler Amplitude schwingt. Die Energie in der Sonotrode kann damit besonders wirkungsvoll und genau lokalisiert in das zu behandelnde Fluid eingegeben werden.

[0020] Vorteilhaft bestehen die Strukturen aus einem sich über den Umfang der Sonotrode erstreckenden zahnkranzartigen Gebilde, welches mit Kavitationsflügeln versehen ist, die sich radial nach aussen erstrecken. Die Oberflächen der Kavitationsflügel erstrecken sich jedoch nicht direkt von der Achse der Sonotrode, sondern erst von der etwa zylindrischen Oberfläche der Sonotrode radial nach aussen.

[0021] Die Ultraschall-Schwingung wird also nur in einem Bereich benachbart zu den Strukturen in das Fluid übertragen, während entlang der glatten Oberfläche der Sonotrode, welche nicht mit Strukturen versehen ist, keine oder geringe Schwingungsübertragung erfolgt.

[0022] Die Strukturen sind ausserdem vorteilhaft auswechselbar ausgebildet. Da die Kavitation fast ausschliesslich durch diese Strukturen erzeugt wird, ist auch der durch die Kavitation erzeugte Materialfrass im Bereich dieser Strukturen besonders gross. Durch die

auswechselbare Ausbildung der Strukturen können diese einfach ersetzt werden, ohne dass ein kompletter Ersatz der Sonotrode erforderlich ist.

[0023] Ausserdem kann auch die Sonotrode selbst lösbar mit dem Schwinger verbunden sein. Dies vereinfacht ebenfalls ein Austauschen der Sonotrode, falls diese beschädigt ist.

[0024] Es werden Torsionsschwinger, die, wie oben geschildert, eine maximale Amplitude und damit eine maximale Leistung innerhalb der physikalischen Möglichkeiten aufweisen, zur Erzeugung torsionaler Schwingungen eingesetzt. Durch die Verwendung eines oder mehrerer Konverter an der oder den Torsionswandlern kann die Gesamtleistung wesentlich erhöht werden. Die in der Technik zur Zeit möglichen Leistungen von 2 kW bei longitudinal schwingenden Sonotroden lassen sich so vervielfachen.

[0025] Ein oder mehrere Konverter übertragen die Schwingungen an die Sonotrode und erzeugen die transversalen Schwingungen. An ausgewählten Orten oder über die gesamte Querseite verteilten Stellen werden Strukturen angebracht, die die Torsionsschwingungen als longitudinale Wellen in das umgebende fluide Medium übertragen. Dadurch lassen sich wesentlich bessere sonochemische Effekte erzielen, als bei den üblichen longitudinalen Sonotroden.

[0026] In axialer Richtung sind Längen von mehreren halben Wellenlängen ( $\lambda/2$ ) ohne Leistungseinbusse möglich. Durch die Abstrahlung der Schallenergie von den Strukturen an den Seitenflächen oder an der Stirnfläche lassen sich Amplituden erzeugen, welche oberhalb der longitudinalen Sonotroden liegen.

[0027] Nach der Erfindung hat es sich als vorteilhaft herausgestellt, Arbeitsfrequenzen zwischen 15 und 100 kHz (Ultraschall) zu verwenden. Dabei ist es möglich, das schwingende System frequenz- und amplitudenmoduliert, oder aber nur frequenzmoduliert oder nur amplitudenmoduliert zu betreiben.

[0028] Die Vorrichtung weist ausserdem vorzugsweise einen Behälter zur Aufnahme des Fluids auf, wobei die Sonotrode innerhalb des Behälters angeordnet ist. Dabei wird zwischen einer Innenwand des Behälters und der Oberfläche der Strukturen ein Spalt gebildet, dessen Breite vorzugsweise derart gewählt wird, dass zwischen den Strukturen und der Innenwand des Behälters im Fluid Scherkräfte hervorgerufen werden.

[0029] Der Behälter kann von den zu behandelnden Medien durchflossen werden oder absatzweise betrieben werden. Durch die hermetische Abdichtung des Behälters kann eine Operation unter Druck möglich sein. Eine Abdichtung des Konverters erlaubt auch den Einsatz in explosionsgefährdeten Umgebungen.

[0030] Die Dichtung bzw. Verbindung zwischen Torsionsschwinger und Gefäss erfolgt dabei vorteilhaft in einem Schwingungsknoten (keine Auslenkung des Torsionsschwingers im Amplitudennullpunkt).

[0031] Unter Schwingungsknoten wird hier eine

Umfangslinie des Torsionsschwingers verstanden, welche nicht schwingt, d.h. welche eine Schwingungsamplitude von etwa 0 aufweist. Damit kann der Torsionsschwinger dicht und fest in einer Abdeckung des Gefässes gehalten werden, ohne dass die Halterung die Schwingbewegung beeinträchtigt. Die Befestigung kann beispielsweise durch Aufschrupfen eines Flansches auf den Torsionswandler erfolgen.

[0032] Zu- und Ableitungen zum Gefäss ermöglichen einen kontinuierlichen Durchfluss der zu behandelnden Medien. Durch den Abstand zwischen Torsionssonotrode und Gefässwand lassen sich in besonders vorteilhafter Weise die Energiedichte und damit die Behandlungsintensität einstellen. Ausserdem können an der Innenseite des Gefässes ebenfalls Kavitationsstrukturen angebracht sein, welche die sonochemischen Effekte verstärken und zur Strömungsführung dienen.

[0033] Vorteilhaft weist die Sonotrode ausserdem eine Querschnittsveränderung auf. Mit einer solchen Querschnittsveränderung ist es möglich, die Amplitude der Schwingung zu verändern.

[0034] Die erfindungsgemässe Konstruktion der Vorrichtung mit einer Sonotrode, die in Resonanz mit einem Torsionsschwinger steht, der die Sonotrode zu einer Torsionsschwingung anregt, führt zu verschiedenen Vorteilen.

[0035] Insbesondere kann der Wirkungsgrad der Vorrichtung massiv erhöht werden, wodurch mit vorgegebenen Generatoren höhere Leistungen in das zu reinigende Medium übertragen werden können. Dank der Schwingungen der Sonotrode in Resonanz ist es ausserdem möglich, genau kontrollierte Amplituden der Schwingung zu erzeugen bzw. die Amplitude und die Energie der übertragenen Schwingungen zu steuern und zu regeln. Die Vorrichtung kann beispielsweise mit konstanter Amplitude (durch Ändern der Leistung des Ultraschallgenerators) oder mit konstanter Leistung in Abhängigkeit von verschiedenen Medien oder Drücken betrieben werden. Die genau bestimmbare maximale Amplitude erlaubt ausserdem den kontrollierten Betrieb der Vorrichtung unterhalb von Maximal-Amplituden, welche zu Beschädigung der Vorrichtung führen könnten.

[0036] Die Erfindung wird im folgenden in Ausführungsbeispielen und anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1a            Seitenansicht einer erfindungsgemässen Vorrichtung,
- Fig. 1b            Draufsicht auf die Vorrichtung aus Fig. 1a,
- Fig. 2a bis 2d    verschiedene Ausführungsformen von Sonotroden und Kavitationsstrukturen,
- Fig. 3            schematische Darstellung des Amplitudenverlaufes benachbart zu den Kavitationsstrukturen,

- Fig. 4 schematische Darstellung der in einem Behälter eingesetzten Vorrichtung mit schematischer Darstellung des torsionalen Amplitudenverlaufs,
- Fig. 5a Seitenansicht einer Anordnung mit mehreren Sonotroden und Torsionswandler, und
- Fig. 5b Draufsicht auf die Anordnung aus Fig. 5a.

[0037] Fig. 1a zeigt eine Vorrichtung 10 zum Behandeln von Fluiden und Feststoffen. Ein Konverter 1, welcher in longitudinaler Richtung schwingt, überträgt die longitudinalen Schwingungen auf einen Torsionswandler 2. Der Konverter 1 und der Torsionswandler 2 bilden einen Torsionsschwinger 20. Der Torsionsschwinger 20, insbesondere der Torsionswandler 2 überträgt die transversalen Schwingungen auf eine Torsionssonotrode 3. Die Torsionssonotrode 3 ist im wesentlichen zylindrisch ausgebildet und weist einen Durchmesser auf, der grösser ist als der Durchmesser einer im wesentlichen zylindrisch ausgebildeten torsional schwingenden Komponente des Torsionswandlers 2. Aufgrund dieser Durchmessererhöhung wird die Amplitude der transversalen Schwingung der Torsionssonotrode 3 erhöht. Der Torsionsschwinger 20 ist geometrisch derart aufgebaut, dass er in Resonanz zu der Anregungsfrequenz des Konverters 1 steht.

[0038] Die Amplitude des Konverters 1 kann ausserdem ebenfalls vergrössert werden durch entsprechende Querschnittveränderung. Erfindungswesentlich ist es, dass die Torsionssonotrode 3 derart ausgebildet ist, dass ihre Eigenfrequenz der Schwingfrequenz des Torsionsschwingers 20 entspricht. Die Verbindung zwischen der longitudinalen Komponente und der torsionalen Komponente des Torsionswandlers 2 erfolgt an einer Stelle, in der die longitudinale Komponente mit maximaler Amplitude schwingt.

[0039] An der Torsionssonotrode 3 sind Kavitationsstrukturen 4 angebracht, welche die Schallenergie in das umgebende fluide Medium weiterleiten. Die Kavitationsstrukturen 4 sind entlang einer Umfangslinie 20 der Torsionssonotrode 3 angebracht, welche mit maximaler Amplitude schwingt.

[0040] Die Länge der Torsionssonotrode 3 entspricht der Hälfte der Wellenlänge  $\lambda$ , mit welcher der Torsionsschwinger 20 schwingt.

[0041] Die Vorrichtung 10, bestehend aus dem Torsionswandler 2 und der Sonotrode 3 ist als ein sich geschlossenes Gebilde zu betrachten, welches mit einer vorbestimmten Anregungsfrequenz des Konverters 1 in Eigenresonanz versetzbar ist. Aufgrund dieser Konstruktion kann die Energie besonders wirkungsvoll ausgenutzt werden.

[0042] In Fig. 1b ist eine Draufsicht auf die Vorrichtung 20 gemäss Fig. 1a gezeigt. Pfeile deuten die longitudinale Bewegung des Torsionswandlers 2 und die torsionale Bewegung des Torsionswandlers 2 an. Der

Torsionswandler 2 und damit auch die Torsionssonotrode 3 schwingen um die Achse A. Kavitationsstrukturen 4 sind entlang des Umfangs der Sonotrode 3 angebracht. Die Kavitationsstrukturen 4 weisen Flächen 12 auf, welche sich von der Oberfläche der Sonotrode 3 radial von der Achse A nach aussen erstrecken.

[0043] Fig. 2a bis 2d zeigen der Erfindung entsprechende Kavitationsstrukturen 4 an einer Torsionssonotrode 3.

[0044] Als besonders vorteilhaft haben sich Kavitationsflügel 5 und Schlitze 6 an den Stirnseiten und Längsseiten der Torsionssonotrode 3 erwiesen. Die Kavitationsstrukturen sind so ausgestaltet, dass sie eine longitudinale Schallabstrahlung in das fluide Medium erlauben.

[0045] Es ist denkbar, mehrere Kavitationsstrukturen anzubringen, welche etwa um die Hälfte der Wellenlänge voneinander beabstandet angeordnet sind (siehe Fig. 2a und 2d). Ausserdem ist es denkbar, die Sonotrode 3 mit einer Querschnittserhöhung 17 zu versehen.

[0046] Die Ausgestaltung der Kavitationsstrukturen 5, 6 ist gemäss den Fig. 2a bis 2d besonders vorteilhaft. Die Erfindung ist jedoch auch mit anderen Strukturen durchführbar. So ist es denkbar, nicht genau radial verlaufende Flächen, sondern leicht schräge Flächen, Lamellen oder stetig ineinander übergehende, abgerundete Vorsprünge einzusetzen.

[0047] In Fig. 3 ist dargestellt, dass die Kavitationsstrukturen an Orten angeordnet sind, in welchen die Sonotrode 3 mit maximaler Amplitude oszilliert. Entlang der Umfangslinie 13 ist die Amplitude wie in Fig. 3 dargestellt maximal. Die Umfangslinie 13 ist in einem Abstand zu Oberkante der Sonotrode 3 angeordnet, welcher der Wellenlänge bzw. einem Mehrfachen davon entspricht. Die Amplitude der Strukturen beträgt vorteilhaft etwa 100  $\mu\text{m}$ .

[0048] An diesen Orten maximaler Amplitude ist die Wirkung sonochemischer Effekte beim Einsatz von beispielsweise Kavitationsflügeln 5 am höchsten.

[0049] Die Kavitationsstrukturen 5 können lösbar mit der Torsionssonotrode 3 verbunden sein. Optional kann auch die Torsionssonotrode 3 mit dem Torsionswandler 2 lösbar verbunden sein.

[0050] In Fig. 4 wird der erfindungsgemässe Einbau eines Konverters 1, eines Torsionswandlers 2 und einer Torsionssonotrode 3 mit Kavitationsflügeln 5 in einem Behälter 7 gezeigt. Der Torsionswandler 2 ist mit einem Flansch 8 verbunden. Die Verbindung und Dichtung erfolgt in einem Schwingungsknoten des Torsionswandlers 2 entlang einer Umfangslinie 14 mit minimaler Amplitude. Zwei Zu- und Ableitungen 9 für die zu behandelnden Medien sind vorgesehen.

[0051] Der Behälter 7 weist eine Innenwand 15 auf. Ein Spalt 16 wird zwischen der Oberfläche der Kavitationsstrukturen 5 und der Innenwand 15 gebildet. Wenn die Breite d des Spaltes 16 ausreichend klein gewählt wird, werden Scherkräfte in der Flüssigkeit zwischen den Kavitationsstrukturen 5 und der Innenwand 15

erzeugt.

[0052] Die Zufuhr- und Abfuhrleitungen 9 erlauben eine besonders effektive Behandlung einer Flüssigkeit. Die Flüssigkeit wird in dem Spalt 16 zwischen der Innenwand 15 und der Oberfläche der Kavitationsstrukturen 5 vorbeigeführt. In diesem Spalt konzentriert sich die gesamte von der Torsionssonotrode 3 in die Flüssigkeit abgegebene Energie. Wenn die Vorrichtung im Durchlauf betrieben wird, verläuft also die Flüssigkeit also zwingend durch den Spalt 16 und wird damit besonders wirkungsvoll behandelt.

[0053] Fig. 5a und 5b zeigen erfindungsgemäße Varianten des Schwingungssystems mit vier Konvertern 1a, 1b, 1c, 1d, einem (Fig. 5b) oder zwei (Fig. 5a) Torsionswandlern 2 und einer oder zwei Torsionssonotroden 3. Diese Anordnung wird zur Erhöhung der gesamten Leistung im System verwendet.

[0054] Die einzelnen Konverter arbeiten im Gegenakt. Wenn der eine Konverter sich gegen die Achse A der Torsionswandler 2 zubewegt, bewegt sich der andere Konverter 1b von der Achse A weg.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung (10) zum Behandeln von Fluiden und Feststoffen,
  - mit wenigstens einem Torsionsschwinger (20), vorzugsweise mit einem longitudinalen Konverter (1) und einem Torsionswandler (2) zum Erzeugen einer torsionalen Ultraschallschwingung mit einer vorbestimmten Schwingungsfrequenz, und mit einer Sonotrode (3), welche mit dem Torsionsschwinger (20) verbunden und in torsionale Schwingungen versetzbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Sonotrode (3) derart ausgebildet ist, dass ihre Eigenfrequenz der Schwingfrequenz etwa des Torsionsschwingers (20) entspricht, und dass die Sonotrode (3) mit Strukturen (4, 5, 6) zum Übertragen der torsionalen Schwingung in das Fluid versehen ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Sonotrode (3) im wesentlichen axial-symmetrisch ausgebildet ist, und dass die Länge (L) der Sonotrode (3) die Hälfte der Wellenlänge ( $\lambda$ ) der Schwingung des Torsionsschwingers (20) oder ein Vielfaches davon beträgt.
3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Strukturen (4, 5, 6) über den Umfang der Sonotrode (3) angeordnete Flächen (12) aufweisen, die bezüglich der Achse (A) der Sonotrode (3) eine radiale Oberflächenkomponente aufweisen.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Strukturen (4, 5, 6) benachbart zu einer mit maximaler Amplitude schwingenden Umfangslinie (13) auf der Sonotrode (3) angebracht sind.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Strukturen (4, 5, 6) aus sich über den Umfang der Sonotrode (3) erstreckenden Kavitationsflügeln (5) bestehen.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Strukturen (4, 5, 6) auswechselbar ausgebildet sind.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, mit einem Behälter (7) zur Aufnahme des Fluids, wobei die Sonotrode (3) innerhalb des Behälters (7) angeordnet ist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Torsionswandler (2) wenigstens teilweise entlang einer, einem torsionalen Nullpunkt entsprechenden Umfangslinie (14), vorzugsweise dicht mit dem Behälter (7) verbunden ist.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Behälter (7) Zufluss- und/oder Abflussleitungen (9) aufweist.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Innenwand (15) des Behälters und der Oberfläche der Strukturen (4, 5, 6) ein Spalt (16) gebildet wird, dessen Breite (d) vorzugsweise derart gewählt ist, dass zwischen den Strukturen (4, 5, 6) und der Innenwand (15) des Behälters (7) im Fluid Scherkräfte erzeugt werden.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Konverter (1a, 1b, 1c, 1d), vorzugsweise zwei oder vier Konverter vorgesehen sind, welche mit einem oder zwei Torsionswandlern (2) verbunden sind.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Sonotrode (3) eine vorzugsweise stufenlose Querschnittsveränderung (17) aufweist, welche zu einer Amplitudenveränderung führt.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Schwinger (1) frequenz- und/oder amplitudenmoduliert regelbar ist.
14. Verwendung einer in Resonanz schwingenden Torsionssonotrode (3) zum Behandeln von Fluiden

und Feststoffen.

5

10

15

20

25

30

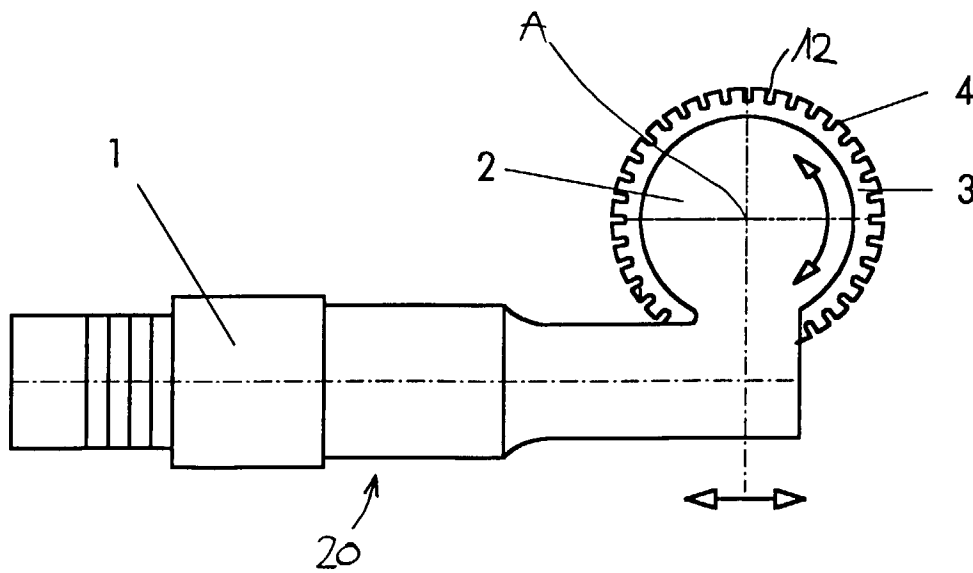
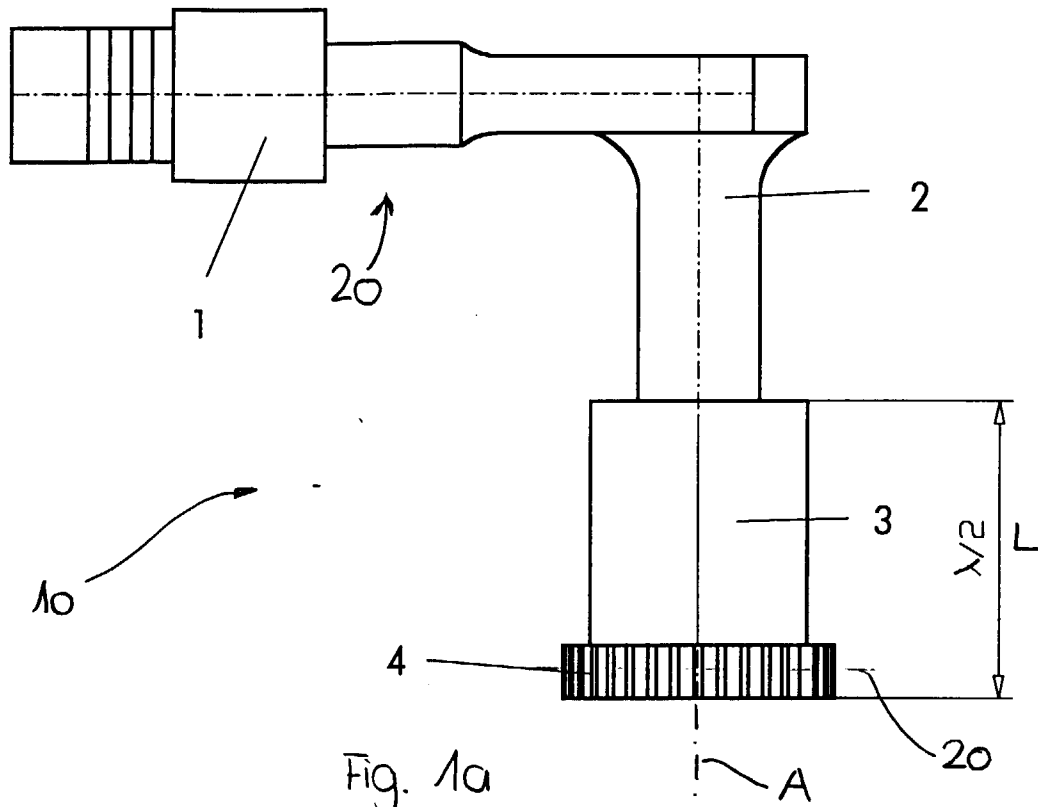
35

40

45

50

55





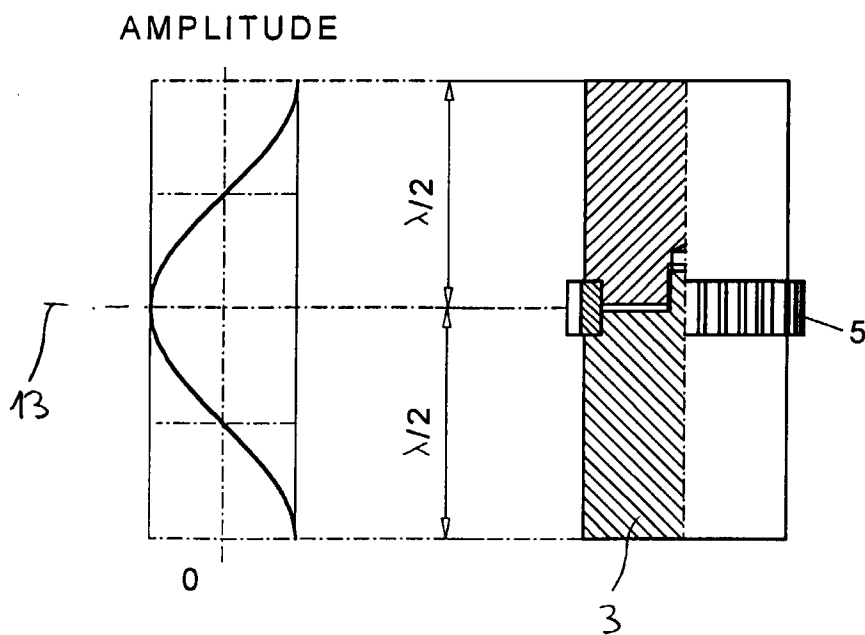
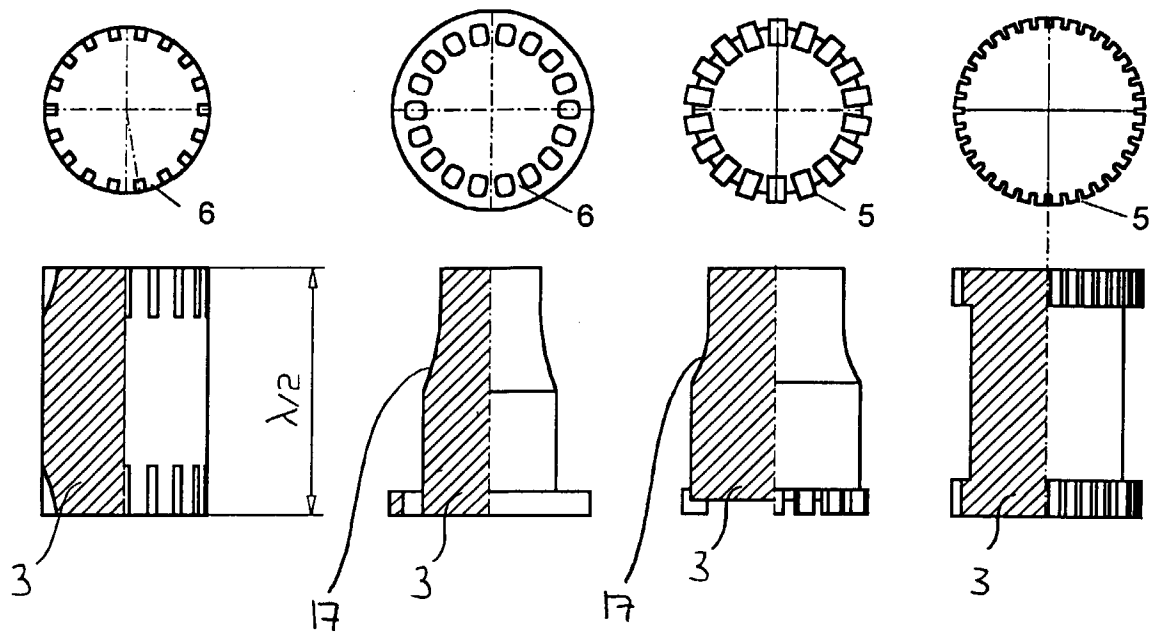


FIG. 3

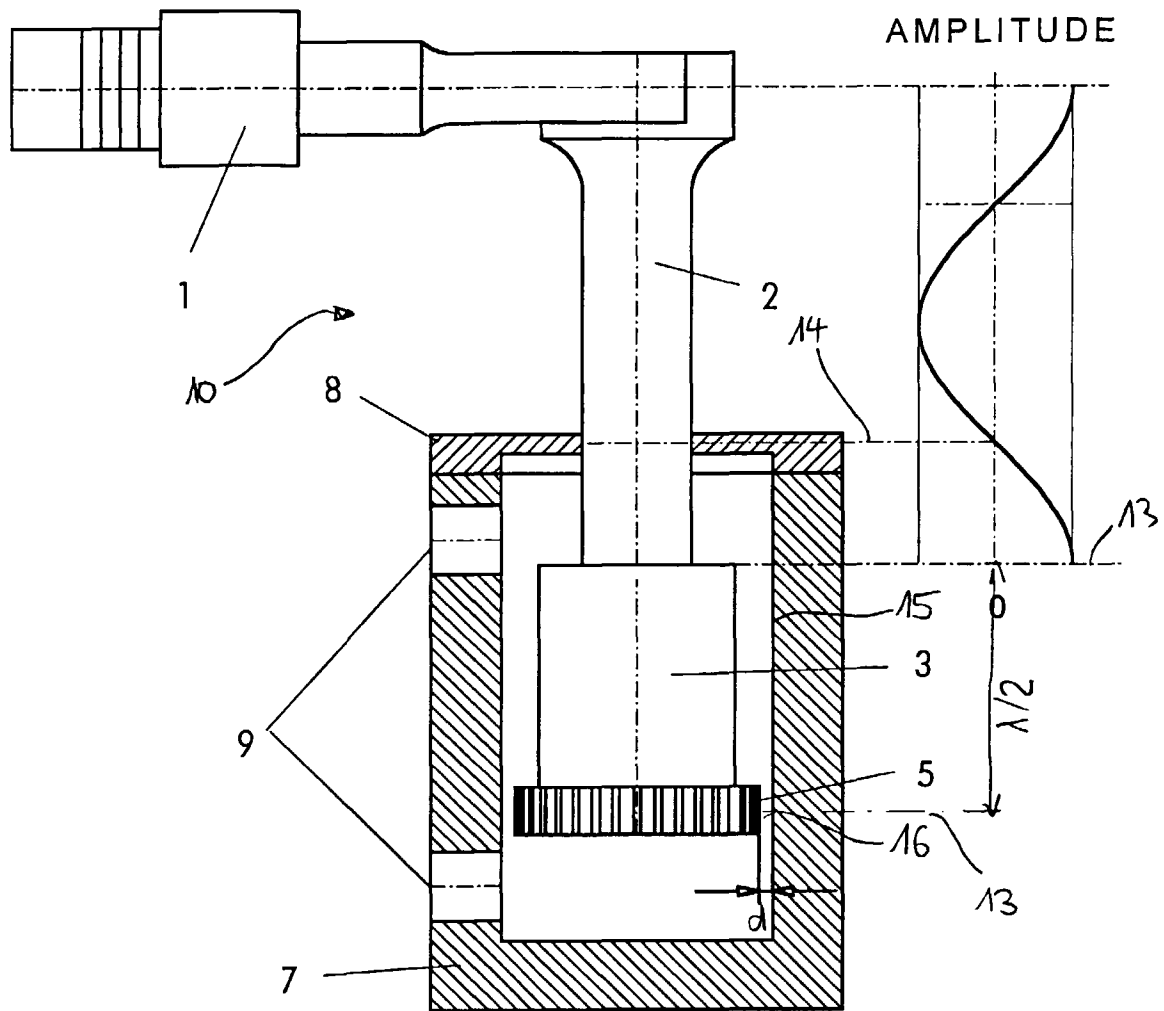


FIG. 4

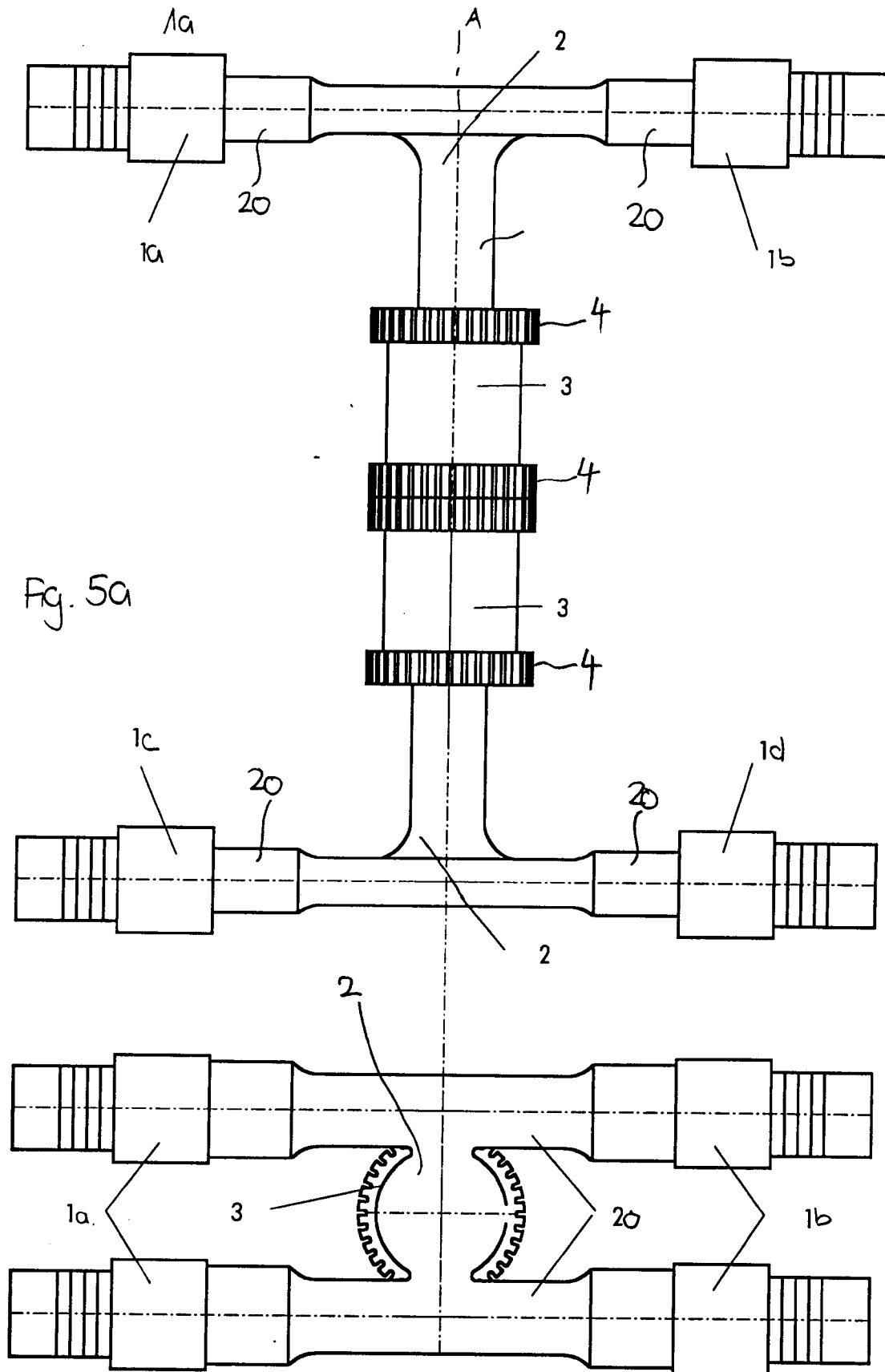


FIG. 5b



Europäisches  
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 98 10 8519

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
A	EP 0 648 531 A (RAWSON FRANCIS F H) 19. April 1995 * Spalte 1, Zeile 41 - Spalte 2, Zeile 13; Abbildungen 1,3 *	1,11,14	B06B3/00
A	US 4 210 837 A (MISIKOV VITALY M ET AL) 1. Juli 1980 * Spalte 3, Zeile 47 - Spalte 4, Zeile 21 *	1,3-5	
A	US 5 662 766 A (ISHIKAWA TAKEHISA ET AL) 2. September 1997 * Zusammenfassung; Abbildung 1 *	1,14	
A	US 3 184 842 A (N. MAROPIS) 25. Mai 1965 * Anspruch 3 *	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
			B06B B01J G10K
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 9. November 1998	Prüfer Swartjes, H
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 98 10 8519

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

09-11-1998

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 0648531	A	19-04-1995	GB	2285142 A	28-06-1995
US 4210837	A	01-07-1980	KEINE		
US 5662766	A	02-09-1997	JP	2557310 B	27-11-1996
			JP	6293074 A	21-10-1994
			CA	2137698 A	27-10-1994
			EP	0664203 A	26-07-1995
			WO	9423935 A	27-10-1994
US 3184842	A	25-05-1965	KEINE		

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82