



Veröffentlicht:

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Schwingungen, die mit zum Flächenschwerpunkt oder annähernd zum Flächenschwerpunkt einer Querschnittsfläche wenigstens einer vom Resonator umfassten Öffnung gerichteten Schwingungen überlagert sind, ausgestaltet. Dabei umfasst der Resonator eine natürliche Zahl parallel angeordneter Elemente von wenigstens $\lambda/2$ oder einem natürlichen Vielfachen davon, wobei mindestens eines der $\lambda/2$ -Elemente mindestens eine Öffnung aufweist, welche geeignet ist, die transformierten Schwingungen an ein innerhalb der Öffnung befindliches Fluid zu übertragen.

Resonator zur Verteilung und teilweisen Transformation longitudinaler Schwingungen und Verfahren zur Behandlung wenigstens eines Fluides mittels eines erfindungsgemäßen Resonators

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Resonator zur Verteilung und teilweisen Transformation longitudinaler Schwingungen und ein Verfahren zur Behandlung wenigstens eines Fluides mittels eines erfindungsgemäßen Resonators.

Die Erfindung ist somit auf eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Transformation von Niederfrequenz-Leistungs-Ultraschall-Schwingungen (NFLUS-Schwingungen) unter Verwendung einer neuartigen Schwingungsgeometrie gerichtet. Diese Geometrie erlaubt eine Transformation und Verteilung von Longitudinalschwingungen in einem Resonator in longitudinale Schwingungen, welche mit weiteren Schwingungen überlagert sind.

Niederfrequenz-Leistungs-Ultraschall (NFLUS) ist Ultraschall mit einer Arbeitsfrequenz von 15 bis 100 kHz, vorzugsweise 15 bis 60 kHz, z.B. 30 kHz und einer Schallleistung über 5 W, vorzugsweise 10 W bis 1.000 W, z.B. 200 W. Zur Erzeugung des Ultraschalls werden beispielsweise piezoelektrische oder magnetostriktive Systeme verwendet. Es sind lineare Schallwandler und flächige oder gewölbte Plattenschwinger, Biegeschwinger oder Rohrresonatoren bekannt. Niederfrequenz-Leistungs-Ultraschall findet eine große Anwendung in der Behandlung von Flüssigkeiten, wie z.B. Nahrungsmitteln, Kosmetika, Farben und Nanomaterialien. Dafür wird Ultraschall über einen Resonator mit Amplituden von 1 bis 350 μm , vorzugsweise 5 bis 50 μm , z.B. 15 μm direkt oder indirekt in Flüssigkeiten übertragen. λ ist dabei die Wellenlänge welche sich aus der NFLUS-Frequenz und der Schallausbreitungsgeschwindigkeit im Resonator ergibt.

Ein Resonator kann aus einem oder mehreren $\lambda/2$ -Elementen bestehen.

Neben der Behandlung von Proben in offenen Systemen, z.B. im Becherglas erfordern viele Anwendungen das Einbringen von NFLUS in Reaktorgefäße. Entsprechend der Anwendung kann dieses Reaktorgefäß unter einem geringeren oder einem höheren Druck als dem Umgebungsdruck stehen. Ein geringerer Druck (Unterdruck) liegt zwischen Vakuum (0 bar absolut) und Umgebungsdruck (z.B. 1 bar absolut), z.B. bei 0,5 bar vor. Ein höherer Druck (Überdruck) liegt vor, wenn der Druck über dem Umgebungsdruck liegt. Einige Systeme verwenden einen Gefäßinnendruck zwischen 1,5 bar absolut bis 1000 bar absolut, z.B. 3 bar absolut.

Um NFLUS in ein solches Gefäß einzubringen, kann entweder die Gefäßwand durch ein außen angebrachtes NFLUS-System in Schwingungen versetzt werden, oder ein NFLUS-Schallwandler vollständig im unter Druck stehenden Gefäßinnenraum eingebaut werden. Alternativ kann sich der Schallwandler, z.B. ein piezoelektrischer linearer Schallwandler außerhalb des Gefäßes befinden und die Schwingungen über ein oder mehrere Resonatoren in den Gefäßinnenraum geführt werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Resonator und ein Verfahren zur Behandlung wenigstens eines Fluides anzugeben, mit denen Fluide in einfacher und effizienter Weise mit Schwingungen behandelt werden können.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe gelöst durch den Resonator gemäß Anspruch 1 sowie durch das Verfahren zur Behandlung wenigstens eines Fluides gemäß Anspruch 20. Zweckmäßige Ausgestaltungen des Resonators sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 19.

Es wird ein Resonator zur Verfügung gestellt, der zur Verteilung und teilweisen Transformation longitudinaler Schwingungen in longitudinale Schwingungen, die mit zum Flächenschwerpunkt oder annähernd zum Flächenschwerpunkt einer Querschnittsfläche wenigstens einer vom Resonator umfassten Öffnung gerichteten Schwingungen überlagert sind, geeignet ist. Der Resonator umfasst eine natürliche Zahl parallel angeordneter Elemente von wenigstens $\lambda/2$ oder einem natürlichem Vielfachen davon, wobei mindestens eines der $\lambda/2$ -Elemente mindestens eine Öffnung aufweist, welche geeignet ist, die transformierten Schwingungen an ein innerhalb der Öffnung befindliches Fluid zu übertragen.

λ ist dabei die Wellenlänge.

Im Folgenden wird zur Vereinfachung der Kenntnisnahme der Erfindung ein Element von wenigstens $\lambda/2$ oder einem natürlichem Vielfachen davon als $\lambda/2$ -Element bezeichnet.

Das heißt, dass der Resonator n parallel angeordnete $\lambda/2$ -Elemente umfassen kann, wobei statt der parallelen Anordnung von jeweils nur einem $\lambda/2$ -Element auch eine ganz-zahlige Vielfache m an $\lambda/2$ -Elementen parallel angeordnet sein kann, wie z.B. bei $m=2$, wobei n Elemente mit einer Länge von $2 * \lambda/2$ parallel angeordnet sind.

Mit dem annähernden Verlauf zum Flächenschwerpunkt ist vorzugsweise gemeint, dass eine Abweichung von bis zu 30° , vorzugsweise bis zu 15° und insbesondere bis zu 10° zum

direkten Verlauf der Schwingung zum Flächenschwerpunkt zulässig ist.

Bei einer Bohrung als Öffnung ist demzufolge die transformierte Schwingung radial oder zumindest annähernd radial zum Zentrum der Bohrung gerichtet.

Vorzugsweise ist die transformierte Schwingung genau zum Flächenschwerpunkt der Öffnung bzw. genau radial zum Zentrum der Bohrung gerichtet.

Die Öffnung kann als eine Durchgangsbohrung oder ein Schlitz und demzufolge den Resonator durchdringend angeordnet sein, oder die Öffnung ist lediglich eine Aussparung bzw. eine Konkavität im Resonator, wie z. B. eine Sacklochbohrung oder eine rinnenförmige Vertiefung.

Der Resonator kann insgesamt $2n$ $\Lambda/2$ -Elemente (oder ein ganzzahlig Vielfaches davon) oder auch $2n+1$ $\Lambda/2$ -Elementen (oder ein ganzzahlig Vielfaches davon) umfassen.

Dabei ist n ein Element der natürlichen Zahlen.

Vorzugsweise sollte jedes $\Lambda/2$ -Element mindestens zwei Öffnungen aufweisen.

Die $\Lambda/2$ -Elemente können durch Schlitze entlang eines Teils ihrer Längenausdehnung voneinander getrennt sein.

In einer vorteilhaften Variante weist der Resonator wenigstens ein $\Lambda/2$ -Element auf, welches zur Reduktion oder Erhöhung der Amplitude der an den übrigen $\Lambda/2$ -Elementen anliegenden Schwingungen geeignet ist.

Der Querschnitt wenigstens einer Öffnung kann ein Polygon sein.

In bevorzugter Ausgestaltung des Resonators ist vorgesehen, dass die zum Flächenschwerpunkt oder annähernd zum Flächenschwerpunkt einer Querschnittsfläche wenigstens einer Öffnung gerichtete Schwingung an der Innenseite der Öffnung mindestens zwei Schwingungsknoten aufweist.

Weitherin kann der Resonator an einer Stirnseite mindestens eine Öffnung aufweisen, welche geeignet ist, mindestens eine der Resonanzfrequenzen des Resonators zu beeinflussen.

Die Stirnseite ist dabei eine im Wesentlichen oder genau senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der longitudinalen Schwingungen verlaufende Seitenfläche des Resonators.

Der Resonator ist vorzugsweise aus einer Stahllegierung, einer Aluminiumlegierung, einer Titanlegierung, aus Keramik oder aus einem Glas gefertigt.

Der Resonator sollte für die Verteilung und teilweisen Transformation von Ultraschall mit einer Frequenz zwischen 15 kHz und 40 kHz, insbesondere mit einer Frequenz zwischen 16 kHz und 22 kHz ausgelegt sein.

Er sollte außerdem für die Verteilung und teilweisen Transformation von Ultraschall mit einer Leistung zwischen 10 W und 20000 W, insbesondere mit einer Leistung zwischen 50 W und 1000 W ausgelegt sein.

Vorzugsweise beträgt die maximale Diagonale der zur Übertragung der Schwingungen auf das Fluid angeordneten Öffnung zwischen 1 mm und 100 mm.

Die maximale Amplitude der Schwingungen in longitudinaler Richtung sollte kleiner als 30 μm (peak-peak) und größer als 1 μm (peak-peak), vorzugsweise größer als 5 μm (peak-peak) sein.

Der Resonator ist insbesondere dann vorteilhaft ausgestaltet, wenn er in wenigstens einer Öffnung ein Gefäß umfasst, wobei die Öffnung das Gefäß im Wesentlichen formschlüssig hält.

Vorzugsweise hält die Öffnung das Gefäß vollständig formschlüssig.

Alternativ kann mindestens eine Öffnungsinnenfläche zumindest teilweise formschlüssig an einer Gefäßwand anliegen.

Es wird außerdem erfindungsgemäß ein Verfahren zur Behandlung wenigstens eines Fluides mittels eines erfindungsgemäßen Resonators zur Verfügung gestellt, bei dem longitudinale Schwingungen verteilt und teilweise in zum Flächenschwerpunkt oder annähernd zum Flächenschwerpunkt einer Querschnittsfläche wenigstens einer vom Resonator umfassten Öffnung gerichteten Schwingungen transformiert werden, die mit longitudinalen Schwingungen überlagert werden, wobei die transformierten Schwingungen an ein innerhalb der Öffnung befindliches Fluid zu übertragen werden, und wobei das Volumen des Fluides in der

Öffnung durch ein Gefäß begrenzt wird, oder das Volumen des Fluides in der Öffnung durch die Wandung der Öffnung begrenzt wird.

Vorzugsweise werden auch die von den annähernd zum Flächenschwerpunkt einer Querschnittsfläche wenigstens einer vom Resonator umfassten Öffnung gerichteten Schwingungen überlagerten longitudinalen Schwingungen auf das Fluid übertragen.

Die Schwingungen werden auf eine oder mehrere Öffnungen bzw. dort angeordnete Gefäße verteilt und auf das dort befindliche Fluid übertragen.

Das Fluid kann ein Gas als auch eine Flüssigkeit oder ein 2-Phasen-Gemisch daraus sein.

Ein aus mehreren $\lambda/2$ -Elementen bestehender Resonator kann aus einem Materialstück entsprechender Länge gefertigt werden oder aus mehreren Elementen der Länge $m \cdot \lambda/2$ ($n \in \mathbb{N}$), z.B. durch Verschrauben, Verschweißen, Verkleben oder Verpressen zusammengesetzt werden. $\lambda/2$ -Elemente können verschiedene Materialquerschnittsgeometrien, z.B. kreisförmige, ovale oder rechteckige Querschnitte aufweisen. Die Querschnittsgeometrie und -fläche kann entlang der Längsachse eines $\lambda/2$ -Elements variieren. $\lambda/2$ -Elemente können unter anderem aus metallischen oder keramischen Materialien oder aus Glas, insbesondere aus Titan, Titanlegierungen, Stahl oder Stahllegierungen, Aluminium oder Aluminiumlegierungen, z.B. aus Titan grade 5 gefertigt sein.

Um NFLUS von außen in ein Gefäß einzubringen, können Schwingungen über die Gefäßwand auf den Gefäßinhalt übertragen werden. Die Schwingungsübertragung auf die Gefäßwand kann allseitig und umschließend über die gesamte Gefäßwand oder lediglich über einen Teil der Gefäßwand erfolgen. Dieser Teil kann z.B. den Querschnitt des Gefäßes umschließen. Die Schwingungen können in verschiedenem Winkel z.B. nahezu oder vollständig senkrecht vom Resonator auf die Gefäßwand wirken. Im Falle eines runden oder elliptischen Querschnitts können die Schwingungen radial auf den Gefäßquerschnitt wirken. Im Falle vieleckiger, polygoner Querschnitte, können die Schwingungen radial auf einen Punkt innerhalb des Gefäßquerschnitts, vorzugsweise auf den Flächenschwerpunkt der Querschnittsfläche des Gefäßes, gerichtet sein.

Damit der Resonator ein Gefäß umschließen kann, muss dieser einen dem Gefäßquerschnitt angepassten Öffnungsquerschnitt aufweisen, welcher mindestens einen Berührungspunkt, vorzugsweise mindestens zwei Berührungspunkte mit dem Gefäßquerschnitt hat. Mindes-

tens einer dieser Berührungspunkte sollte sich vorzugsweise außerhalb eines Schwingungsminimums des Resonators befinden.

Durch die erfindungsgemäße Gestaltung des Resonators, welcher vorzugsweise mehrere miteinander an den Maxima der Longitudinalschwingungen verbundene $\lambda/2$ -Elementen umfasst und in den $\lambda/2$ -Elementen Öffnungen aufweist, ist es möglich, auf ein oder mehrere dieser $\lambda/2$ -Elemente einwirkende Longitudinalschwingungen in zum Flächenschwerpunkt oder annähernd zum Flächenschwerpunkt einer Querschnittsfläche wenigstens einer vom Resonator umfassten Öffnung gerichtete Schwingungen zu transformieren, die mit longitudinalen Schwingungen überlagert werden.

Kennzeichnend für die erfindungsgemäße Gestaltung des Resonators sind die in mindestens einem, vorzugsweise alle der $\lambda/2$ -Elemente eingebrachte Öffnungen, z.B. Bohrungen, Fräsungen oder Schlitze oder einseitig oder mehrseitig eingebrachte Vertiefungen. Dabei können in einem oder mehreren $\lambda/2$ -Elementen eine oder mehrere Öffnungen oder Vertiefungen eingebracht sein.

Die Resonanzfrequenzen des Resonators und die Amplitudenverteilung entlang der Öffnungsquerschnittslinien sind unter anderem von der Außengeometrie und der Öffnungsquerschnittsgeometrie abhängig. Durch das erfindungsgemäße Einbringen der Öffnungen oder Vertiefungen in den Resonator werden die Resonanzfrequenzen des Resonators und die Amplitudenverteilung entlang der Öffnungsquerschnittslinie zusätzlich beeinflusst.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand der in den beiliegenden Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert.

Es zeigt:

Figur 1: einen erfindungsgemäßen Resonator im Betriebszustand mit Verdeutlichung der Amplitudenverteilung,

Figur 2: ein Amplituden-Änderungsdiagramm der Schwingungen,

Figur 3: einen erfindungsgemäßen Resonator in einer ersten Ausführungsvariante,

Figur 4: einen erfindungsgemäßen Resonator in einer zweiten Ausführungsvariante,

Figur 5: einen erfindungsgemäßen Resonator einer dritten Ausführungsvariante,

Figur 6: eine Darstellung des Resonators aus Figur 5 in einem ersten Schwingungszustand,

Figur 7: eine Darstellung des Resonators aus Figur 5 in einem zweiten Schwingungszustand.

Der erfindungsgemäße Resonator 10, wie er in Figur 1 dargestellt ist, umfasst n $\lambda/2$ -Elemente, wobei bei dem in Figur 1 dargestellten Resonator 10 $n = 5$ ist. Die einzelnen $\lambda/2$ -Elemente 11 sind durch Schlitze 15 voneinander getrennt. Auf der Seite des

Schaftes 16 sowie auf der Stirnseite 13 sind sie jedoch miteinander verbunden. In jedem Lambda/2-Element 11 ist wenigstens eine Öffnung 12 vorgesehen, wobei in der in Figur 1 dargestellten Ausführungsvariante zwei Öffnungen 12 angeordnet sind. In diesen Öffnungen 12 befindet sich das zu behandelnde Fluid 21 in hier nicht näher dargestellten Gefäßen oder auch ohne Gefäß, wobei dann das Fluid 21 in der Öffnung 12 aufgenommen ist. Die Öffnungen 12 können das jeweilige Lambda/2-Element 11 durchdringen oder auch als Ausnehmung in dem jeweiligen Lambda/2-Element 11 vorhanden sein.

Der in Figur 1 dargestellte Resonator ist nicht maßstäblich im schwingenden Zustand gezeigt. Die dargestellten Öffnungen 12 sind im Ruhezustand, also im unbelasteten Zustand des Resonators 10, wesentlich kompakter ausgeführt, wie es zum Beispiel aus den Figuren 3 bis 5 ersichtlich ist.

Der Resonator 10 ist nicht auf die in den Figuren 1, 3 und 4 dargestellten Ausführungsformen mit lediglich Lambda/2-Elementen 11 mit je zwei Öffnungen 12 eingeschränkt, sondern es können auch m Lambda/2-Elemente jeweils parallel angeordnet sein, wie es zum Beispiel in Figur 5 dargestellt ist, wobei $m=2$ ist. Das heißt, dass m die ganzzahlige Anzahl von Lambda/2 des jeweiligen Elementes in Ausbreitungsrichtung der Longitudinalschwingungen darstellt.

Vorzugsweise sind in jedem Lambda/2-Element 11 zwei Öffnungen 12 angeordnet.

Aus der in Figur 1 ersichtlichen Schattierung sowie der entsprechenden Schattierung in der rechts neben dem Resonator 10 dargestellten Skala, die die Amplitudenverteilung URES in mm darstellt, ist ersichtlich, in welchen Bereichen der Lambda/2-Elemente 11 extreme Amplituden auftreten.

Figur 2 zeigt ein Diagramm, welches die Verteilung der Amplitude A entlang der Ausdehnung s von zwei Lambda/2-Elementen 11 darstellt. Ersichtlich ist, dass Extremwerte in den Endbereichen der jeweiligen Lambda/2-Elemente 11 auftreten.

In den Figuren 3 und 4 sind zwei unterschiedliche Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen Resonators 10 dargestellt. Der in Figur 3 dargestellte Resonator 10 umfasst im Schaft 16 zusätzlich ein Resonanzbeeinflussungselement 14 in Form einer weiteren Öffnung, sowie sich quer über die parallel angeordneten Lambda/2-Elemente 11 erstreckend eine rillenförmige Vertiefung als weiteres Resonanzbeeinflussungselement 14. Diese

Resonanzbeeinflussungselemente 14 dienen zur Einstellung des Resonanzverhaltens des Resonators 10.

Der in Figur 4 dargestellte Resonator 10 weist zur Beeinflussung des Resonanzverhaltens an einer Seitenfläche eines Lambda/2-Elementes 11 ein weiteres Resonanzbeeinflussungselement 14 in Form einer Öffnung sowie an der Stirnseite 13 jedem Lambda/2-Element 11 zugeordnet ein Resonanzbeeinflussungselement 14 in Form einer Bohrung auf.

Wie aus Figur 5 ersichtlich ist, kann der erfindungsgemäße Resonator auch ohne Schaft 16 ausgeführt sein. Ersichtlich ist weiterhin, dass die parallel angeordneten und durch Schlitze 15 voneinander getrennte Elemente eine Länge von $2 \cdot \text{Lambda}/2$ aufweisen, wobei in den einzelnen Lambda/2-Elementen 11 jeweils 2 Öffnungen 12 angeordnet sind. Die Schlitze 15 zwischen den Lambda/2-Elementen 11 erstrecken sich vorzugsweise in den Bereichen der Längenausdehnung 20, in denen parallel die Öffnungen 12 angeordnet sind.

Ein ähnlicher erfindungsgemäßer Resonator, wie in Figur 5 dargestellt, ist in den Figuren 6 und 7 in Betriebssituationen gezeigt, wobei jedoch der in den Figuren 6 und 7 dargestellte Resonator 10 lediglich Lambda/2-Elemente aufweist, die parallel angeordnet sind und jeweils zwei Öffnungen 12 aufweisen.

In Figur 6 ist ein aufgrund seines Resonanzverhaltens in Längenausdehnung 20 gestreckter Resonator 10 ersichtlich, was insbesondere aus der Verformung der Öffnungen 12 in eine in Längenausdehnung 20 sich erstreckende elliptische Form ersichtlich ist. Die Konturen der Öffnungen 12, wie sie im nicht-schwingenden Zustand vorhanden sind, sind mit den gestrichelten Linien angedeutet. Auch hier stellen die gezeigten Schattierungen dar, in welchen Bereichen des Resonators 10 Minima und Maxima der Amplitudenverteilung auftreten.

In Figur 7 ist der in Figur 6 dargestellte Resonator in einem weiteren Schwingungszustand ersichtlich, wobei hier der Resonator 10 in einem in Längenausdehnung 20 gestauchten Zustand vorliegt, wie es aus der senkrecht zur Längenausdehnung 20 verlaufenden elliptischen Form der Öffnungen 12 ersichtlich ist.

Wie insbesondere aus den Figuren 6 und 7 erkannt werden kann, werden longitudinal in den Resonator 10 eingeleitete Schwingungen in Schwingungen transformiert, die radial vom

Rand der Öffnungen 12 auf deren Zentrum wirken. Dadurch lassen sich Fluide 21 in den Öffnungen 12 derartigen Schwingungen aussetzen.

Patentansprüche

1. Resonator zur Verteilung und teilweisen Transformation longitudinaler Schwingungen in longitudinale Schwingungen, die mit zum Flächenschwerpunkt oder annähernd zum Flächenschwerpunkt einer Querschnittsfläche wenigstens einer vom Resonator umfassten Öffnung gerichteten Schwingungen überlagert sind, wobei der Resonator eine natürliche Zahl parallel angeordneter Elemente von wenigstens $\lambda/2$ oder einem natürlichem Vielfachen davon umfasst und mindestens eines der $\lambda/2$ -Elemente mindestens eine Öffnung aufweist, welche geeignet ist, die transformierten Schwingungen an ein innerhalb der Öffnung befindliches Fluid zu übertragen.
2. Resonator nach Anspruch 1, wobei der Resonator insgesamt $2n$ $\lambda/2$ -Elemente umfasst.
3. Resonator nach Anspruch 1, wobei der Resonator insgesamt $2n+1$ $\lambda/2$ -Elemente umfasst.
4. Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei jedes $\lambda/2$ -Element mindestens zwei Öffnungen aufweist.
5. Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die $\lambda/2$ -Elemente durch Schlitze entlang eines Teils ihrer Längenausdehnung voneinander getrennt sind.
6. Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Resonator wenigstens ein $\lambda/2$ -Element aufweist, welches zur Reduktion oder Erhöhung der Amplitude der an den übrigen $\lambda/2$ -Elementen anliegenden Schwingungen geeignet ist.
7. Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Querschnitt wenigstens einer Öffnung ein Polygon ist.
8. Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der derart ausgestaltet ist, dass die zum Flächenschwerpunkt oder annähernd zum Flächenschwerpunkt einer Querschnittsfläche wenigstens einer Öffnung gerichtete Schwingung an der Innenseite der Öffnung mindestens zwei Schwingungsknoten aufweist.

9. Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der an einer Stirnseite mindestens eine Öffnung aufweist, welche geeignet ist, mindestens eine der Resonanzfrequenzen des Resonators zu beeinflussen.
10. Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Resonator aus einer Stahllegierung, einer Aluminiumlegierung, einer Titanlegierung, aus Keramik oder aus einem Glas gefertigt ist.
11. Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der für die Verteilung und teilweisen Transformation von Ultraschall mit einer Frequenz zwischen 15 kHz und 40 kHz ausgelegt ist.
12. Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der für die Verteilung und teilweisen Transformation von Ultraschall mit einer Frequenz zwischen 16 kHz und 22 kHz ausgelegt ist.
13. Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der für die Verteilung und teilweisen Transformation von Ultraschall mit einer Leistung zwischen 10 W und 20000 W ausgelegt ist.
14. Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der für die Verteilung und teilweisen Transformation von Ultraschall mit einer Leistung zwischen 50 W und 1000 W ausgelegt ist.
15. Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die maximale Diagonale der zur Übertragung der Schwingungen auf das Fluid angeordneten Öffnung zwischen 1 mm und 100 mm beträgt.
16. Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der derart ausgelegt ist, dass die maximale Amplitude der Schwingungen in longitudinaler Richtung kleiner als 30µm (peak-peak) ist.

17. Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der derart ausgelegt ist, dass die maximale Amplitude der Schwingungen in longitudinaler Richtung größer als 1 μm (peak-peak) ist.
18. Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der derart ausgelegt ist, dass die maximale Amplitude der Schwingungen in longitudinaler Richtung größer als 5 μm (peak-peak) ist.
19. Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der in wenigstens einer Öffnung ein Gefäß umfasst, wobei die Öffnung das Gefäß im Wesentlichen form-schlüssig hält.
20. Verfahren zur Behandlung wenigstens eines Fluides mittels eines Resonators gemäß einem der Ansprüche 1 bis 19, bei dem longitudinale Schwingungen verteilt und teilweise in zum Flächenschwerpunkt oder annähernd zum Flächenschwerpunkt einer Querschnittsfläche wenigstens einer vom Resonator umfassten Öffnung gerichteten Schwingungen transformiert werden, die mit longitudinalen Schwingungen überlagert werden,
wobei die transformierten Schwingungen an ein innerhalb der Öffnung befindliches Fluid zu übertragen werden, und wobei
 - i) das Volumen des Fluides in der Öffnung durch ein Gefäß begrenzt wird, oder
 - ii) das Volumen des Fluides in der Öffnung durch die Wandung der Öffnung begrenzt wird.

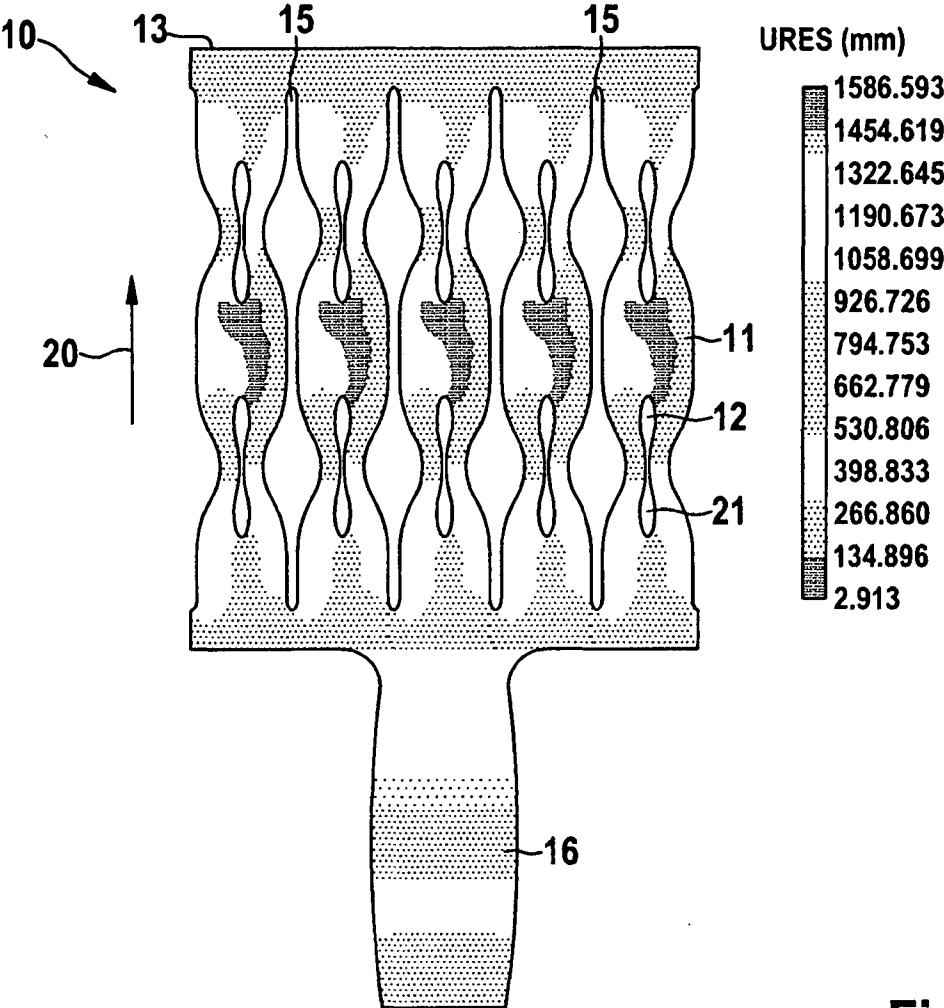


Fig. 1

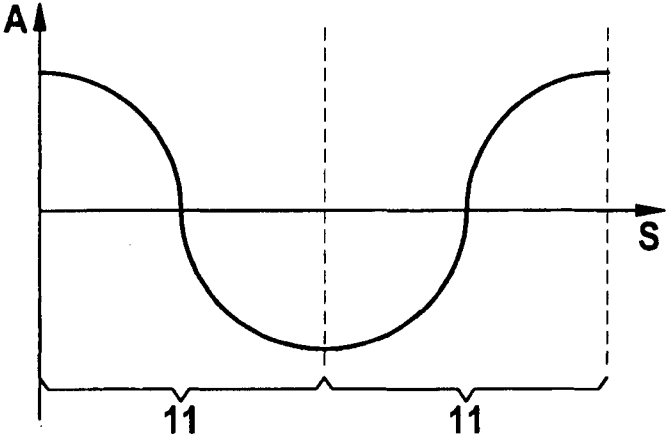
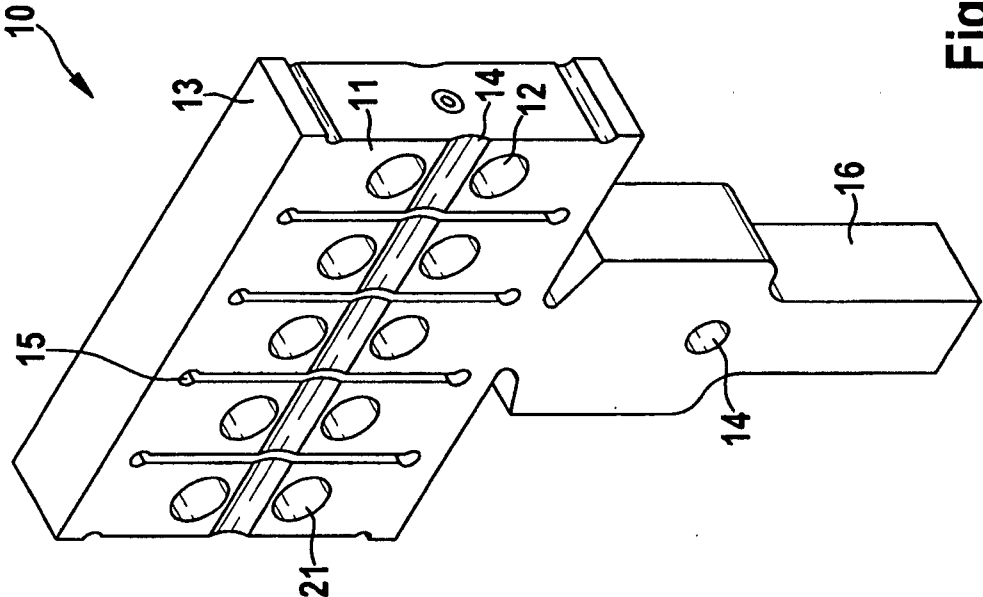
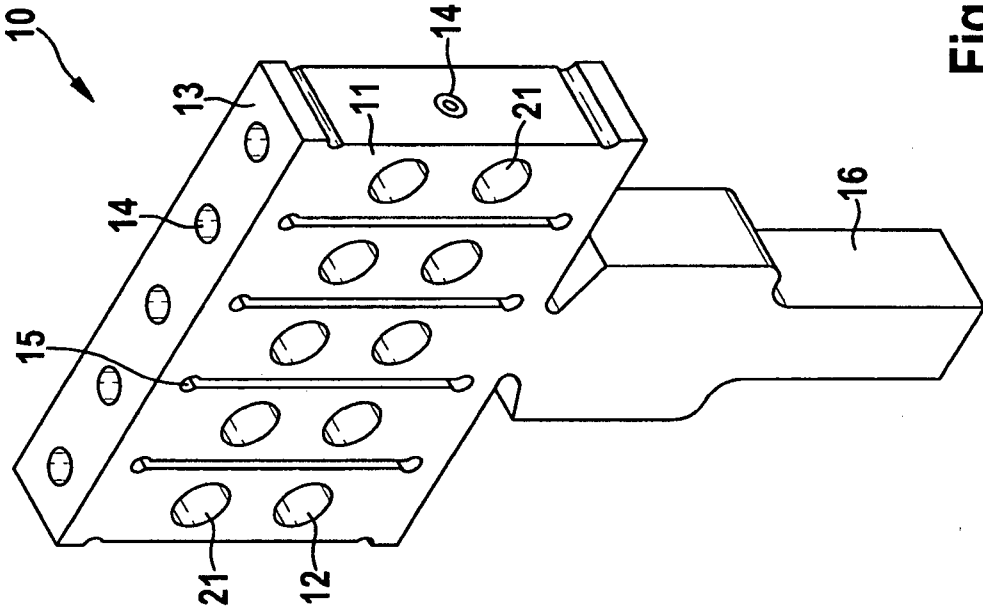
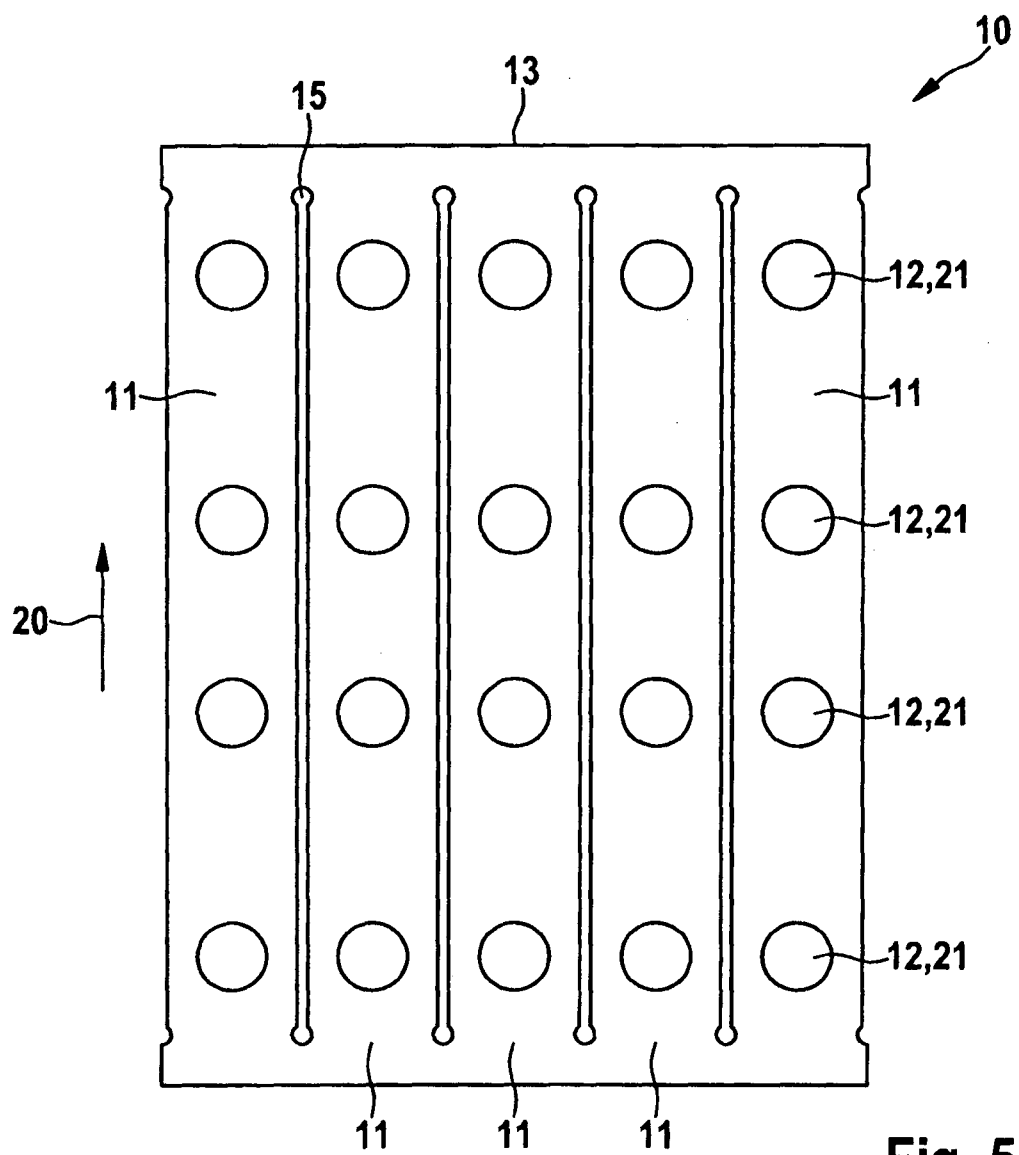


Fig. 2



**Fig. 5**

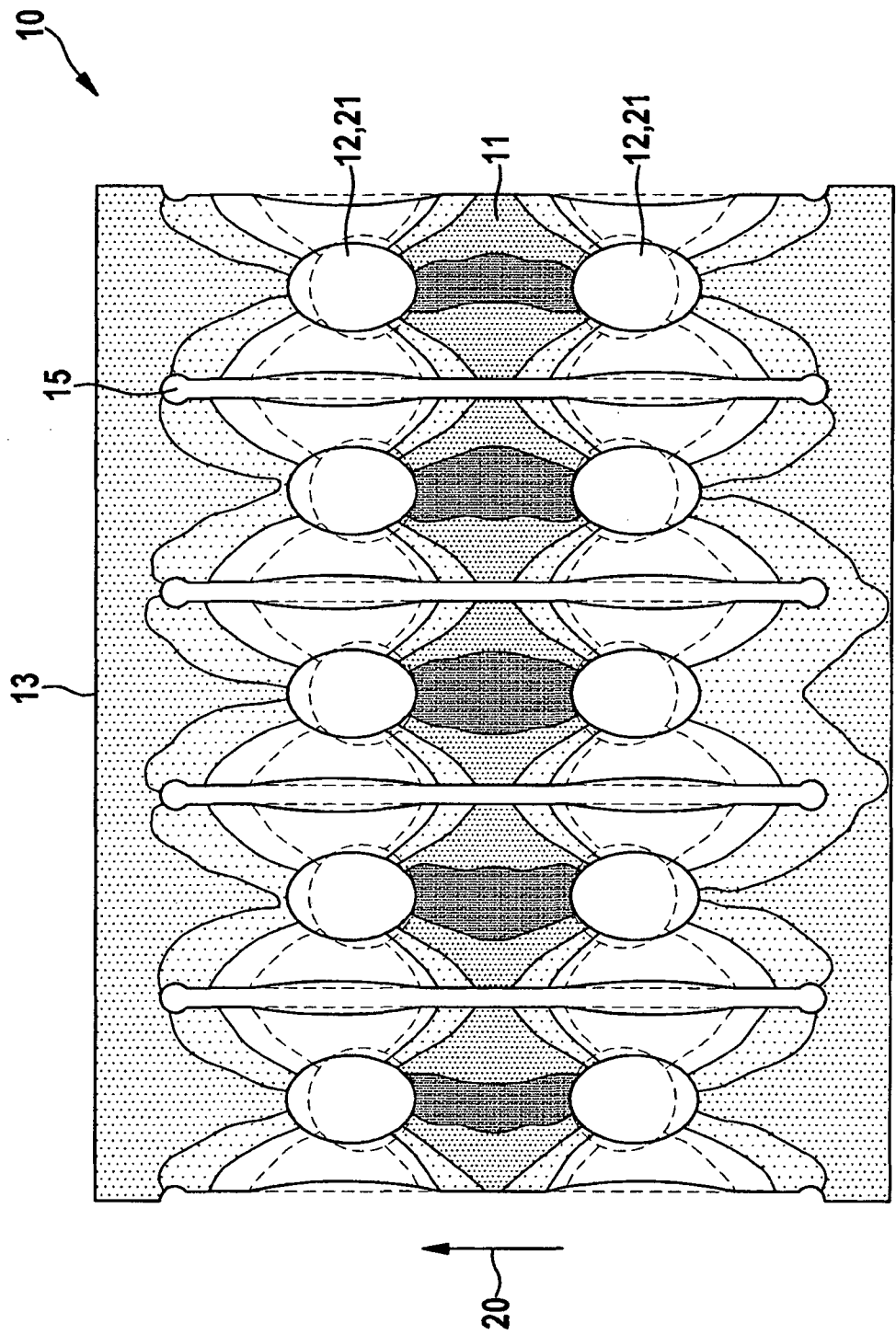


Fig. 6

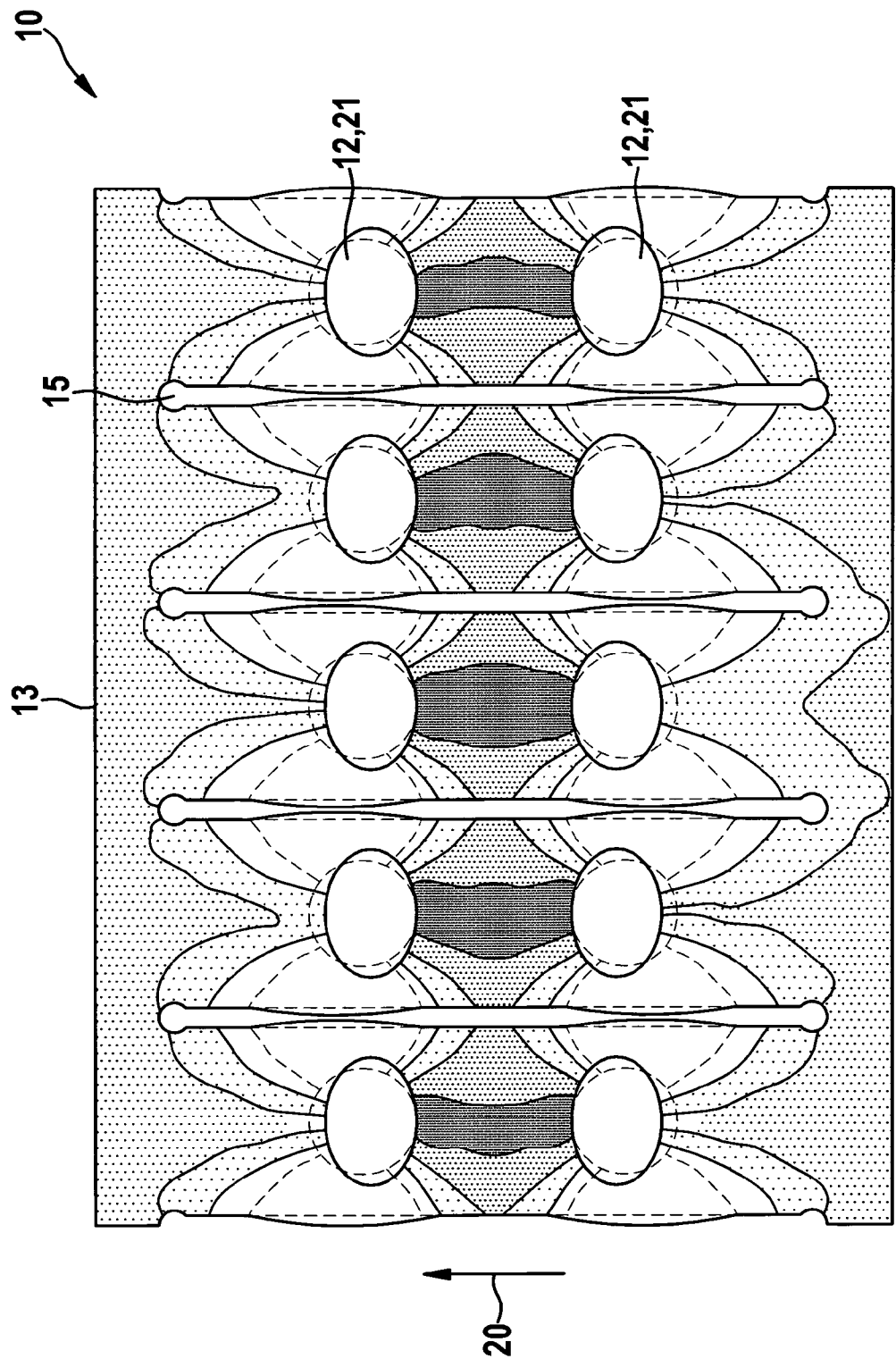


Fig. 7