

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50787/2022
(22) Anmeldetag: 12.10.2022
(43) Veröffentlicht am: 15.09.2023

(51) Int. Cl.: **H01M 8/04089** (2016.01)
F04F 5/16 (2006.01)
F04F 5/44 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 102015216457 A1
US 2014212776 A1
WO 8907204 A1

(71) Patentanmelder:
Singer Gerald
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
Singer Gerald
8020 Graz (AT)

(74) Vertreter:
Schwarz & Partner Patentanwälte GmbH
1010 Wien (AT)

(54) **Ejektor zur Zuführung von Wasserstoff an zumindest eine Brennstoffzelle**

(57) Die Erfindung betrifft einen Ejektor (30) zur Zuführung von Wasserstoff an zumindest eine Brennstoffzelle oder einen Brennstoffzellenstapel (7), wobei der Ejektor (30) einen Primäreingang (32), einen Sekundäreingang (33), einen Ejektorausgang (34) und eine Mischkammer (35) aufweist, wobei der Primäreingang (32) und der Sekundäreingang (33) auf einer ersten Seite der Mischkammer (35) und der Ejektorausgang (34) auf der anderen Seite der Mischkammer (35) angeordnet sind, wobei der Ejektor (30) ein erstes bewegliches, unverformbares Kammerelement (40) umfasst, welches mittels einer Linearbewegung und/oder einer Rotationsbewegung von einem ersten Zustand, an dem die Mischkammer (35) eine erste Querschnittsfläche aufweist, in einen zweiten Zustand bringbar ist, in dem die Mischkammer (35) eine zweite Querschnittsfläche aufweist.

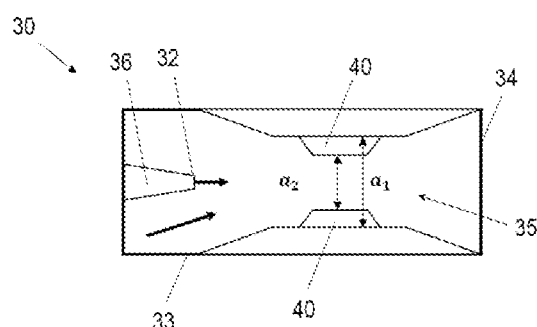


Fig. 4

Zusammenfassung:

Die Erfindung betrifft einen Ejektor (30) zur Zuführung von Wasserstoff an zumindest eine Brennstoffzelle oder einen Brennstoffzellenstapel (7), wobei der Ejektor (30) einen Primäreingang (32), einen Sekundäreingang (33), einen Ejektorausgang (34) und eine Mischkammer (35) aufweist, wobei der Primäreingang (32) und der Sekundäreingang (33) auf einer ersten Seite der Mischkammer (35) und der Ejektorausgang (34) auf der anderen Seite der Mischkammer (35) angeordnet sind, wobei der Ejektor (30) ein erstes bewegliches, unverformbares Kammerelement (40) umfasst, welches mittels einer Linearbewegung und/oder einer Rotationbewegung von einem ersten Zustand, an dem die Mischkammer (35) eine erste Querschnittsfläche aufweist, in einen zweiten Zustand bringbar ist, in dem die Mischkammer (35) eine zweite Querschnittsfläche aufweist.

(Figur 4)

Ejektor zur Zuführung von Wasserstoff an zumindest eine Brennstoffzelle

Die Erfindung betrifft einen Ejektor zur Zuführung von Wasserstoff an zumindest eine Brennstoffzelle oder einen Brennstoffzellenstapel, wobei der Ejektor einen Primäreingang, einen Sekundäreingang, einen Ejektorausgang und eine Mischkammer aufweist, wobei der Primäreingang und der Sekundäreingang auf einer ersten Seite der Mischkammer und der Ejektorausgang auf der anderen Seite der Mischkammer angeordnet sind.

Um die weltweiten Treibhausgasemissionen und die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu verringern, ist eine globale Energiewende hin zu erneuerbaren Energien notwendig. Wasserstoff ist ein vielversprechender Energieträger für den Betrieb von PEM-Brennstoffzellen in stationären und mobilen Anwendungen. In der Regel wird dem Brennstoffzellenstapel eine überstöchiometrische Menge Wasserstoff zugeführt, um sicherzustellen, dass der Brennstoffzelle jederzeit genügend Wasserstoff für die elektrochemische Reaktion zur Verfügung steht. Daher muss der überschüssige Wasserstoff durch eine Rezirkulationseinrichtung in die Versorgungsleitung zurückgeführt werden, um die Wasserstoffausnutzung und daher die Energieausnutzung zu erhöhen. Der Wasserstoffgasstrom am Auslass der Brennstoffzelle hat jedoch ein niedrigeres Druckniveau als am Einlass der Brennstoffzelle, so dass eine Druckerhöhung für die Rezirkulation notwendig ist. Die Rezirkulation kann mit einem sogenannten Ejektor erfolgen.

Derartige Ejektoren weisen einen als Düse ausgebildeten Primäreingang auf, aus welchem Wasserstoff am Ejektoreingang in eine Mischkammer ausgegeben wird. Am anderen Ende der Mischkammer tritt der Wasserstoff am Ejektorausgang aus und wird dort der Brennstoffzelle bzw. dem Brennstoffzellenstapel zugeführt. Um die genannte Rezirkulation zu erzielen, ist ein Sekundärpfad von der Brennstoffzelle bzw. vom Brennstoffzellenstapel zum Ejektoreingang geführt, wo der überschüssige Wasserstoff an einem Sekundäreingang in die Mischkammer ausgegeben wird.

Die Mischkammer dient somit zum Mischen des vom Primäreingang und Sekundärausgang ausgegebenen Wasserstoffs. Der Innendurchmesser der Mischkammer bestimmt hierbei das Ansaugverhältnis zwischen Primäreingang und Sekundäreingang. Im Allgemeinen könnte mit einem großen Innendurchmesser zwar ein höheres Ansaugverhältnis erzielt werden, jedoch ermöglicht ein größerer Innendurchmesser nur eine relativ geringe Druckdifferenz zwischen dem Massenstrom am Primäreingang und dem Massenstrom am Sekundäreingang. In der Praxis weisen die Mischkammern der bekannten Ejektoren daher einen

Innendurchmesser auf, der eine Kompromisslösung zwischen erzielbarem Ansaugverhältnis und Druckdifferenz ist.

Aus dem Stand der Technik ist die US9601788B2 bekannt, die einen Ejektor mit einer Mischkammer zeigt, die einen variablen Querschnitt aufweist. Hierbei wird eine Membran in der Mischkammer vorgesehen, die durch eine externe Fluidzufuhr vergrößerbar ist. Eine derartige Lösung ist jedoch nur durch aufwändige Mittel steuerbar und kann nur schwer gewartet werden. Ähnliche Lösungen werden in den Schriften DE 102019217720 A1, DE 102019208521 A1, DE102015216457 A1 und US2020067112 offenbart. Die CN213905417 U zeigt weiters einen Ejektor mit Diffuser in der Mischkammer.

Es ist die Aufgabe der Erfindung, einen Ejektor bereitzustellen, der eine verbesserte Einstellung des Ansaugverhältnisses bzw. der Druckdifferenz ermöglicht.

Dieses Ziel wird erreicht durch einen Ejektor zur Zuführung von Wasserstoff an zumindest einer Brennstoffzelle, wobei der Ejektor einen Primäreingang, einen Sekundäreingang, einen Ejektorausgang und eine Mischkammer aufweist, wobei der Primäreingang und der Sekundäreingang auf einer ersten Seite der Mischkammer und der Ejektorausgang auf der anderen Seite der Mischkammer angeordnet sind, wobei der Ejektor ein erstes bewegliches, unverformbares Kammerelement umfasst, welches mittels einer Linearbewegung und/oder einer Rotationbewegung von einem ersten Zustand, an dem die Mischkammer eine erste Querschnittsfläche aufweist, in zumindest einen zweiten Zustand bringbar ist, in dem die Mischkammer eine zweite Querschnittsfläche aufweist.

Das bewegliche Kammerelement ermöglicht, dass die Querschnittsfläche der Mischkammer selektiv eingestellt werden kann. Wenn eine niedrige Druckerhöhung ausreichend ist, kann das Kammerelement in einen ersten Zustand gebracht werden, in dem die Querschnittsfläche groß ist, um ein besonders gutes Ansaugverhältnis zu erzielen. Wenn andererseits eine große Druckerhöhung benötigt wird, kann das Kammerelement in einen ersten Zustand gebracht werden, in dem die Querschnittsfläche klein ist, bezogen auf die erstgenannte Querschnittsfläche. Es versteht sich, dass es in den meisten Ausführungsformen auch möglich ist, die Querschnittsfläche auf einen Wert einzustellen, der zwischen der genannten ersten Querschnittsfläche und der genannten zweiten Querschnittsfläche liegt, d.h. die Kammerelemente können gegebenenfalls auch in mehr als zwei Zustände versetzt werden. Insbesondere ist je nach Ausführungsform eine stetige Einstellung der Kammerelemente möglich, sodass alle möglichen Querschnittsflächen zwischen der ersten Querschnittsfläche und der zweiten Querschnittsfläche wählbar sind. In anderen Worten sind Einstellungen

zwischen dem ersten und zweiten Zustand sind möglich, um den betriebsbedingten bestmöglichen Querschnitt einzustellen. Bevorzugt wird der Querschnitt daher derart gewählt, um die Ansaugrate in Abhängigkeit des Betriebszustandes zu maximieren.

Dadurch, dass das Kammerelement unverformbar ist und mittels einer Linearbewegung und/oder einer Rotationsbewegung versetzt wird, ergibt sich eine besonders einfache Ansteuerung und Mechanik des Ejektors. Insbesondere kann auf komplexe Membranmechanismen verzichtet werden, die mittels eines druckbeaufschlagten Fluids in eine gewünschte Stellung gebracht werden. Gegenüber derartigen Lösungen weist der erfindungsgemäße Ejektor insbesondere auch eine vereinfachte Wartbarkeit auf.

Weiters wird mit dem erfindungsgemäßen Ejektor ermöglicht, dass die Kammerelemente derart ausgebildet sein können, dass die Mischkammer in einem oder mehreren Zuständen des bzw. der Kammerelemente einen kreisrunden Querschnitt und/oder einen konstanten Querschnitt über eine vorbestimmte Länge aufweist, was mit Membranlösungen nicht möglich ist. Der kreisrunde Querschnitt bzw. der konstante Querschnitt über eine vorbestimmte Länge ermöglicht ein besonders gutes Strömungsverhalten des Ejektors in der Mischkammer.

In einer ersten bevorzugten Ausführungsform umfasst der Ejektor zwei Seitenwände und ein weiteres Kammerelement, wobei die Mischkammer zwischen den zwei Seitenwänden, dem ersten Kammerelement und dem zweiten Kammerelement eingeschlossen ist (der Ausdruck „eingeschlossen“ bezieht sich hierin auf die Kontur der Mischkammer gesehen in einer Schnittebene normal zur Strömungsrichtung in der Mischkammer). Diese Ausführungsform ermöglicht eine besonders einfache Einstellung der Kammerelemente in der Mischkammer, da die Kammerelemente keine gegenseitige Kontaktierung benötigen und einfach zwischen den Seitenwänden verschoben oder verschwenkt werden können. Hierfür ist das erste Kammerelement mittels einer Linearbewegung in Richtung eines zweiten Kammerelements verschieblich oder das erste Kammerelement ist mittels einer asymmetrischen Rotationsbewegung in Richtung eines zweiten Kammerelements schwenkbar. Das zweite Kammerelement kann gegengleich verschiebbar oder verschwenkbar ausgebildet sein.

In einer zweiten bevorzugten Ausführungsform ist das erste Kammerelement im Wesentlichen zylindrisch und durch eine Rotationsbewegung um dessen Zylinderachse rotierbar, wobei das erste Kammerelement eine zumindest teilweise um den Zylinderumfang verlaufende Rille mit um den Zylinderumfang variabler (d.h. verändernder) Tiefe umfasst, wobei die Rille die Mischkammer einseitig begrenzt. Dieses erste Kammerelement grenzt in

der Mischkammer üblicherweise an ein weiteres rotierbares Kammerelement mit einer gegengleichen Rille oder an eine unbewegliche Seitenwand an, sodass die Mischkammer üblicherweise nur vom ersten Kammerelement und vom zweiten Kammerelement oder von der Seitenwand eingeschlossen ist. Die jeweilige Tiefe der Rille in der Mischkammer bzw. am Kontaktpunkt zum anderen Kammerelement oder zur Seitenwand bestimmt hierbei den Querschnitt der Mischkammer. Diese Ausführung ist mit den beiden Rotationsscheiben und einer Kupplung besonders einfach symmetrisch zu verstellen im Vergleich zur vorgenannten Ausführungsform.

Um in allen Zuständen einen möglichst einheitlichen Querschnitt der Mischkammer zu erzielen, wird bevorzugt, wenn der Ejektor ein zweites Kammerelement umfasst, welches gleich wie das erste Kammerelement ausgebildet ist, wobei die Mischkammer zwischen den beiden Kammerelementen eingeschlossen und beidseitig von den Rillen begrenzt ist. Die Rillen weisen hierbei bevorzugt in radialer Richtung eine halbkreisförmige Kontur auf, sodass der Querschnitt der Mischkammer kreisrund ist. Bei gleichzeitiger gegengleicher Drehung der beiden Kammerelemente wird der Querschnitt somit stetig größer oder kleiner, wobei die kreisförmige Kontur erhalten bleibt.

Um in der vorgenannten Variante nur einen Antrieb zu benötigen und eine gleichzeitige Rotation der beiden Kammerelemente zu erzielen, können die beiden Kammerelemente mittels einer Kupplung verbunden sein, um eine Rotationsbewegung eines der Kammerelemente in eine gegengleiche Rotationsbewegung des anderen Kammerelements zu übersetzen.

In einer dritten bevorzugten Ausführungsform umfasst das erste Kammerelement eine erste Seite mit einer ersten Rille mit einer ersten konstanten Rillentiefe und eine zweite Seite mit einer zweiten Rille mit einer konstanten zweiten Rillentiefe, wobei die Mischkammer im ersten Zustand des Kammerelements von der ersten Rille begrenzt ist und im zweiten Zustand des Kammerelements von der zweiten Rille begrenzt ist. Je nach gewünschtem Querschnitt der Mischkammer kann somit die erste Seite oder die zweite Seite zur Begrenzung der Mischkammer herangezogen werden. In dieser Ausführungsform wird das Kammerelement üblicherweise mit einer kombinierten Linear- und Rotationsbewegung vom ersten Zustand in den zweiten Zustand versetzt.

In der letztgenannten Ausführungsform umfasst der Ejektor bevorzugt weiters ein zweites Kammerelement, welches gleich wie das erste Kammerelement ausgebildet ist, wobei die Mischkammer zwischen den beiden Kammerelementen eingeschlossen und beidseitig von

den ersten Rillen der beiden Kammerelemente oder von den zweiten Rillen der beiden Kammerelemente begrenzt ist. Hierdurch kann insbesondere in beiden Zuständen ermöglicht werden, dass die Mischkammer einen kreisrunden Querschnitt in der Mischkammer aufweist.

In einer besonders bevorzugten Variante weist das erste Kammerelement vier Seiten mit jeweils einer Rille mit konstanter Rillentiefe auf, wobei die Rillentiefen auf den vier Seiten jeweils unterschiedlich sind. Die Querschnittsfläche der Mischkammer kann somit feiner eingestellt werden, wodurch der Ejektor gezielter an die jeweiligen Bedingungen angepasst werden kann.

Vorteilhafte und nicht einschränkende Ausführungsformen der in den Ansprüchen beanspruchten Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert.

Figur 1 zeigt ein Ejektorsystem gemäß dem Stand der Technik.

Figur 2 zeigt einen Ejektor gemäß dem Stand der Technik, der bei dem Ejektorsystem von Figur 1 zum Einsatz kommt.

Figur 3 zeigt ein Diagramm, in dem die Charakteristiken von verschiedenen Ejektoren dargestellt sind.

Figur 4 zeigt einen erfindungsgemäßen Ejektor in einer schematischen Ansicht.

Die Figuren 5 und 6 zeigen eine Vorderansicht und eine Seitenansicht einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ejektors.

Die Figuren 7 und 8 zeigen Varianten der Ausführungsform der Figuren 5 und 6.

Die Figuren 9 und 10 zeigen eine Vorderansicht und eine Seitenansicht einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ejektors.

Die Figuren 11 und 12 zeigen eine Vorderansicht und eine Seitenansicht einer dritten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ejektors.

Die Figur 13 zeigt einen möglichen Antrieb der Kammerelemente der Ausführungsform der Figuren 11 und 12.

Die allgemein bekannte Funktionsweise eines Ejektorsystemes wird nun im Folgenden anhand der Figuren 1 bis 3 beschrieben, wobei die Prinzipien dieses Systems auch für die unten erläuterte Erfindung anwendbar sind.

Figur 1 zeigt das Ejektorsystem 1, bei dem einem Ejektor 2 Wasserstoff (H_2) von einer H_2 -Versorgung über einen Primärpfad 3 mit einem Primärmassenstrom $\dot{m}_{\text{Prim}}$ über einen als Düse 11 ausgebildeten Primäreingang 4 zugeführt wird. Der Ejektor 2 gibt den Wasserstoff

an einem Ejektorausgang 5 über eine Verbindungsleitung 6 mit einem Eintrittsmassenstrom $\dot{m}_{\text{H}_2 \text{ Ein}}$ an einen Brennstoffzellenstapel 7 aus. Im Allgemeinen kann der Brennstoffzellenstapel 7 auch als Brennstoffzelle bezeichnet werden. Weiters ist ein Sekundärpfad 8 mit dem Brennstoffzellenstapel 7 und dem Ejektor 2 verbunden, um dem Ejektor 2 Wasserstoff mit einem Sekundärmassenstrom $\dot{m}_{\text{Sek}}$ an einem Sekundäreingang 9 zuzuführen. Zum Mischen des Wasserstoffs aus dem Primäreingang 4 und dem Sekundäreingang 9 weist der Ejektor 2 eine Mischkammer 10 auf, wobei der Primäreingang 4 und der Sekundäreingang 9 auf einer Seite der Mischkammer 10 vorliegen und der Ejektorausgang 5 auf der anderen Seite der Mischkammer 10.

Die Summe aus $\dot{m}_{\text{Prim}}$ und $\dot{m}_{\text{Sek}}$ ist der in den Brennstoffzellenstapel 7 eintretende Massenstrom $\dot{m}_{\text{H}_2 \text{ Ein}}$. Der verbrauchte Wasserstoff des Brennstoffzellenstapels ist $\dot{m}_{\text{H}_2 \text{ Reaktion}}$, der ein Teil von $\dot{m}_{\text{H}_2 \text{ Ein}}$ ist. Das Verhältnis von $\dot{m}_{\text{H}_2 \text{ Ein}}$ zu $\dot{m}_{\text{H}_2 \text{ Reaktion}}$ ist das stöchiometrische Verhältnis λ und muss unter allen Betriebsbedingungen größer als 1 sein. Der Brennstoffzellenstapel 7 wird mit einem Überschuss an Wasserstoff versorgt. Das Versorgungsverhältnis auch „stöchiometrisches Verhältnis“ wird mit λ bezeichnet.

$$\lambda = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2 \text{ Ein}}}{\dot{m}_{\text{H}_2 \text{ Reaktion}}} \geq 1$$

Üblicherweise wird Wasserstoff bei einem Druck von 1,1 bis 3 bar, einer Temperatur von -40 bis 85 °C und einem stöchiometrischen Verhältnis λ größer 1,2 in den Einlass des Brennstoffzellenstapels 7 eingespeist, in Abhängigkeit der Last im Betrieb des Brennstoffzellenstapels 7. Wenn das stöchiometrische Verhältnis zu niedrig ist, kann es zu einer Wasserstoffunterversorgung des Brennstoffzellenstapels 7 kommen, was zu einer Degradation der Brennstoffzellen führt. Für stationäre Betriebszustände und durch keine Verunreinigung (keine Stickstoff-, Wasser- oder Edelgas-Diffusion von der Kathode zur Anode) im Sekundärpfad kann die oben genannte Formel auf folgende vereinfacht werden.

$$\lambda = 1 + \frac{\dot{m}_{\text{Sec}}}{\dot{m}_{\text{Prim}}}$$

Und weiters mit dem Ansaugverhältnis ω :

$$\omega = \frac{\dot{m}_{\text{Sec}}}{\dot{m}_{\text{Prim}}}$$

Umso höher das Ansaugverhältnis ω , umso höher das stöchiometrischen Verhältnis λ , desto besser ist die Versorgung des Brennstoffzellenstapels. Daher ist das generelle Ziel, dass ein möglichst hohes Ansaugverhältnis ω im Ejektor 2 hergestellt wird.

Figur 2 zeigt den Ejektor 2 gemäß dem Stand der Technik im Detail. Dieser Ejektor 2 hat eine Mischkammer 10 mit einem unveränderlichen Innendurchmesser von d_{Misch} .

Zur Einbringung von Wasserstoff in den Ejektor 2 weist dieser eine Düse 11 mit einem Düseneingang 12 und einer Düsenkehle 13 auf. Am Düseneingang 12 liegt ein Druck zwischen 3 und 30 bar vor. Der Ejektor 2 nutzt die Druckenergie des Wasserstoffs am Düseneingang 12 welcher sich in kinetische Energie (Geschwindigkeitsenergie) in der Düsenkehle 13 umwandelt. Wenn das Druckverhältnis zwischen Düsenkehle 13 und in der Mischkammer 10 ausreichend hoch ist, dann stellt sich ein kritisches Strömungsverhältnis in der Düsenkehle 13 ein und es wird in der Düsenkehle 13 Schallgeschwindigkeit erreicht. Dieser Hochgeschwindigkeits-Wasserstoff expandiert in die Mischkammer 10 und erzeugt einen Niederdruckbereich. Der Sekundärmassenstrom $\dot{m}_{\text{Sek}}$ wird durch den Unterdruck und dem Impulsaustausch mit dem Primärmassenstrom und $\dot{m}_{\text{Prim}}$ angesaugt bzw. beschleunigt.

Wie bereits oben erläutert wird das Verhältnis von Sekundärmassenstrom $\dot{m}_{\text{Sek}}$ zu Primärmassenstrom $\dot{m}_{\text{Prim}}$ als Ansaugverhältnis ω bezeichnet und ist ein Leistungsindikator für den Ejektor 2. Wasserstoff hat die Gaseigenschaften, dass Schallgeschwindigkeit (in Abhängigkeit von Druck und Temperatur) in einem Bereich von ca. 1200 m/s liegt. Diese hohe Schallgeschwindigkeit führt dazu, dass auch der vorhandene Impuls hoch ist und dadurch auch die Ansaugleistung höher ist als im Vergleich zu anderen Gasejektoen. Grundsätzlich gilt, je höher der Sekundärmassenstrom $\dot{m}_{\text{Sek}}$ bei gleichem Primärmassenstrom $\dot{m}_{\text{Prim}}$ ist, desto besser ist die Ansaugleistung.

Da der Brennstoffzellenstapel 7 einen Druckverlust erzeugt, liegt am Ejektorausgang 5 ein höherer Druck p_{Ausgang} im Vergleich zum Druck p_{Sek} am Sekundäreingang 9 an:

$$p_{\text{Ausgang}} > p_{\text{Sek}}$$

Die Differenz von dem Druck p_{Ausgang} am Ejektorausgang 5 abzüglich dem Druck p_{Sek} am Sekundäreingang 9 ist die notwendige Druckerhöhung Δp :

$$\Delta p = p_{\text{Ausgang}} - p_{\text{Sek}}$$

Das heißt, dass der Ejektor 2 eine gewisse Druckerhöhung schaffen muss, um den Brennstoffzellenstapel 7 ausreichend mit Wasserstoff versorgen zu können. Da ein Brennstoffzellenstapel 7 weite Betriebsbedingungen (von z.B. von 5% bis 100% Last) haben kann, ist auch der Betrieb im Ejektor 2 stark unterschiedlich.

Wenn nun ein Ejektor 2 mit einem vorbestimmten Innendurchmesser der Mischkammer 10 eingesetzt wird, wird dieser eine fest vorgegebene Charakteristik aufweisen, welche das Ansaugverhältnis ω in eine vorbestimmte Beziehung zur Druckerhöhung Δp setzt. Figur 4

zeigt in diesem Zusammenhang ein Diagramm, wobei das Ansaugverhältnis ω auf der y-Achse und die Druckerhöhung Δp auf der x-Achse aufgetragen ist. Die durchgezogene, mit dem Bezugszeichen 14 versehene Linie zeigt die Charakteristik eines ersten Ejektors 2 mit einer Mischkammer 10 mit einer ersten Querschnittsfläche q_1 . Die strichlierte, mit dem Bezugszeichen 15 versehene Linie zeigt die Charakteristik eines zweiten Ejektors 2 mit einer Mischkammer 10 mit einer zweiten Querschnittsfläche q_2 , wobei $q_1 > q_2$.

Im Allgemeinen kann aus Figur 4 abgelesen werden, dass die Druckerhöhung Δp des Ejektors 2 umso größer ist, je niedriger das Ansaugverhältnis ω ist. Für große Druckerhöhungen Δp ist ein geringer Innendurchmesser der Mischkammer 10 vorteilhaft. Im Gegensatz dazu ist für geringe Druckerhöhungen Δp ein großer Innendurchmesser der Mischkammer 10 vorteilhaft. Die Mischkammer Geometrie soll daher so verändert werden, dass die Ansaugrate in Abhängigkeit des Brennstoffzellen Leistungszustandes maximiert wird.

In den Figuren 4 bis 13 ist ein erfindungsgemäßer Ejektor 30 beschrieben, der sowohl bei geringen Druckerhöhungen Δp als auch bei hohen Druckerhöhungen Δp ein vorteilhaftes Ansaugverhältnis ω erzielt. Zu diesem Zweck kann die Querschnittsfläche der Mischkammer 10 veränderbar ausgestaltet werden, wobei diese in einem ersten Betriebsmodus beispielsweise eine erste Querschnittsfläche aufweist und in einem zweiten Betriebsmodus eine zweite Querschnittsfläche. Dadurch kann eine vorteilhafte Charakteristik des Ejektors 30 erzielt werden, die in Figur 4 durch die punktierte, mit dem Bezugszeichen 31 versehene Linie dargestellt ist.

Ein erfindungsgemäßer Ejektor 30 mit diesen Eigenschaften ist in Figur 4 dargestellt. Dieser Ejektor 30 kann statt dem Ejektor 2 in das Ejektorsystem 1 von Figur 1 eingesetzt werden, sodass alle oben erläuterten Varianten des Ejektorsystems 1 auch für den Ejektor 30 anwendbar sind. Analog zum Ejektor 2 aus Figur 2 weist auch dieser Ejektor 30 einen Primäreingang 32, einen Sekundäreingang 33, einen Ejektorausgang 34 und eine Mischkammer 35 auf, wobei der Primäreingang 32 und der Sekundäreingang 33 auf einer ersten Seite der Mischkammer 35 und der Ejektorausgang 34 auf der anderen Seite der Mischkammer 35 angeordnet sind. Um Wasserstoff über den Primäreingang 32 in die Mischkammer 35, weist der Ejektor 30 eine Düse 36 auf, welche gleich wie die Düse 11 aus Figur 2 aufgebaut sein kann.

Um zu erzielen, dass die Mischkammer 35 eine veränderliche Querschnittsfläche aufweist, umfasst der Ejektor 2 zumindest ein erstes Kammerelement 40, das mittels einer

Linearbewegung, bevorzugt in eine Richtung normal zur Strömungsrichtung in der Mischkammer 35, und/oder einer Rotationbewegung von einem ersten Zustand, an dem die Mischkammer 35 eine erste Querschnittsfläche aufweist, in einen zweiten Zustand bringbar ist, in dem die Mischkammer 35 eine zweite Querschnittsfläche aufweist. Es versteht sich, dass die erste und zweite Querschnittsfläche unterschiedlich groß sind. In der dargestellten Ausführungsform von Figur 4 weist der Ejektor 30 zwei bewegliche Kammerelemente 40 auf, die zueinander oder voneinander verschieblich ausgebildet sind, wobei in anderen Ausführungsformen auch vorgesehen werden kann, dass nur ein Kammerelement 40 oder auch drei oder mehr Kammerelemente 40 mittels einer Linearbewegung und/oder einer Rotationbewegung beweglich ausgestaltet sind.

Unter Kammerelementen 40 werden hierin Bauteile verstanden, welche die Mischkammer 35 einseitig begrenzen, d.h. eine Wand der Mischkammer 35 bilden. Die Kammerelemente 40 sind als im Wesentlichen unverformbare Bauteile ausgeführt, z.B. als Metallbauteile oder Hartplastikbauteile, und sind daher insbesondere keine Membrane. Der Ausdruck „unverformbar“ wird hierin als unverformbar in Bezug auf die im Ejektor 2 auftretenden Kräfte verstanden.

Die Figuren 5 und 6 zeigen eine erste Ausführungsform, gemäß welcher ein erfindungsgemäßer Ejektor 30 mit veränderlichem Querschnitt ausgeführt werden kann. Die Mischkammer 35 wird hierbei von zwei beweglichen Kammerelementen 40 und zwei Seitenwänden 41 begrenzt. Die beiden Kammerelemente 40 sind durch einen nicht weiter dargestellten Linearantrieb beweglich ausgeführt, sodass diese jeweils einen ersten Zustand einnehmen können, in dem die Kammerelemente 40 in einem Abstand a_1 voneinander beabstandet sind, und einen zweiten Zustand einnehmen können, in dem die Kammerelemente 40 in einem Abstand a_2 voneinander beabstandet sind. Die Kammerelemente 40 sind z.B. auf Führungen 42 verschieblich gelagert. Die Linearbewegung verläuft im Wesentlichen normal zur Strömungsrichtung des Wasserstoffs in der Mischkammer 35. In Abhängigkeit des Antriebs sind frei variable Abstände zwischen a_1 und a_2 möglich.

Die unbeweglichen Seitenwände 41 weisen einen gegenseitigen Abstand t voneinander auf, sodass die Querschnittsfläche der Mischkammer 35 im ersten Betriebsmodus $a_1 \cdot t$ beträgt und im zweiten Betriebsmodus $a_2 \cdot t$.

Aus Figur 5 ist weiters ersichtlich, dass die Mischkammer 35 über eine Länge L1 in Strömungsrichtung einen im Wesentlichen konstanten Querschnitt aufweist. Dies ist für ein gutes Strömungsverhalten in der Mischkammer 35 besonders vorteilhaft.

In den Figuren 7 und 8 ist dargestellt, dass die Kammerelemente 40 nicht durch einen Linearantrieb bewegt werden müssen, sondern auch durch eine Rotationsbewegung in den jeweils gewünschten Zustand verbringbar sind. Gemäß Figur 7 kann die Rotationachse A auf der dem Ejektorausgang 34 zugewandten Seite des Kammerelements 40 vorliegen. Es wird daher von einer asymmetrischen Rotation gesprochen. Wird das Kammerelement 40 um diese Achse A rotiert, d.h. verschwenkt, bewegt sich das dem Ejektorausgang 34 abgewandte Ende in die Mischkammer 35 hinein und verengt diese dadurch. Die kleinste Querschnittsfläche der Mischkammer 35 kann somit veränderlich ausgestaltet werden, um die vorteilhafte Charakteristik der Linie 31 in Figur 3 zu erzielen. Weiters ist aus Figur 7 ersichtlich, dass das Kammerelement 40 zwei Abschnitte 43, 44 aufweist, die derart ausgestaltet sind, dass die Mischkammer 35 im ersten Zustand des Kammerelements 40 über eine Länge L2 in Strömungsrichtung einen im Wesentlichen konstanten Querschnitt aufweist und auch im zweiten Zustand des Kammerelements 40 über eine Länge L3 in Strömungsrichtung einen im Wesentlichen konstanten Querschnitt aufweist, sodass auch in dieser Ausführungsform ein gutes Strömungsverhalten in beiden Zuständen des Kammerelements 40 gegeben ist. Es könnten auch mehr als zwei dieser Abschnitte vorhanden sein, um gute Strömungsverhalten über mehr als zwei Rotationsstellungen des Kammerelements 40 zu erhalten.

In Figur 8 ist dargestellt, dass die Rotationsachse A auch auf jenem Ende vorgesehen sein kann, welches dem Ejektorausgang 34 abgewandt ist. Alle hinsichtlich Figur 7 erläuterten Ausführungsvarianten sind auch hier analog einsetzbar.

Die Figuren 9 und 10 zeigen eine Ausführungsform, bei der die Kammerelemente 40 im Wesentlichen zylindrisch ausgebildet sind. Weiters weisen die Kammerelemente 40 eine um den Zylinderumfang verlaufende Rille 45 auf, welche um den Zylinderumfang mit einer verändernden, bevorzugt stetig verändernden Tiefe ausgeführt ist, was in Figur 9 durch die Ovalität der Rille 45 dargestellt ist. Die Rille 45 wird z.B. durch ein Gußverfahren unmittelbar bei der Herstellung des Kammerelements 45 hergestellt oder kann nach der Herstellung des Kammerelements 45 in dieses eingebracht werden.

Die beiden Kammerelemente 40 kontaktieren sich in der Mischkammer 35, sodass der Querschnitt der Mischkammer 35 durch die Tiefe der Rille 45 an der Stelle der

Kontaktierung gegeben ist. Durch Rotieren der beiden Kammerelemente 40 um deren Zylinderachsen – oder durch Rotieren nur eines der Kammerelemente 40 um dessen Zylinderachse – kann der Querschnitt der Mischkammer 45 verändert werden. Um beide Kammerelemente 40 gegengleich zu rotieren, können diese mittels einer Kupplung 46 verbunden werden. Wenn nun eines der Kammerelemente 40 rotiert wird, z.B. mittels des dargestellten Antriebs 47, werden beide Kammerelemente 40 gleichzeitig rotiert. Das bzw. die Kammerelemente 40 können hierfür mit einer umlaufenden Zahnradkontur ausgeformt sein. Es versteht sich, dass die Kammerelemente 40 jedoch auch mit Getrieben verbunden sein können, wie dies in Figur 13 für die untenstehende Ausführungsform beschrieben ist.

Die Rille 45 weist in radialen Schnitten des Kammerelements 40 bevorzugt eine halbkreisrunde Form auf, wie aus Figur 10 ersichtlich ist, sodass die Mischkammer 35 am Kontaktpunkt der beiden Kammerelemente 40 einen kreisrunden Querschnitt aufweist. Wenn sich die beiden Kammerelemente 40 gegengleich drehen und baugleich ausgeführt sind, kann erzielt werden, dass die Mischkammer 35 in jeder Stellung der Kammerelemente 40 einen kreisrunden Querschnitt aufweist. Wenn eines der beiden Kammerelemente 40 statisch, d.h. unbeweglich, ausgeformt ist, ist dies in der Regel nicht erzielbar. Ein kreisrunder Querschnitt der Mischkammer bevorzugt wiederum das Strömungsverhalten in der Mischkammer 35. Es sei jedoch hervorgehoben, dass der Querschnitt der Mischkammer 35 im Gegensatz zu den Ausführungsformen der Figuren 5 bis 8 nicht über eine gewisse Länge L1, L2, L3 vorliegt, sondern nur punktuell an der Kontaktstelle der Kammerelemente 40.

Es kann weiters vorgesehen werden, dass die Rille 45 nur über einen Teil des Zylinderumfangs vorgesehen ist, z.B. nur über die Hälfte des Zylinderumfangs. Dies ist möglich, da eine Ausführung wie in Figur 9 dargestellt eine Symmetrie aufweist, die in der Praxis jedoch nicht effektiv ausgenutzt werden kann. Aus Fertigungsgründen kann jedoch bevorzugt werden, wenn die Rille 45 über den gesamten Zylinderumfang verläuft.

Die in den Figuren 11 bis 13 dargestellte Ausführungsform ermöglicht einen kreisrunden Querschnitt der Mischkammer 35 über eine vorbestimmte Länge L4 und kombiniert daher die Vorteile der vorgenannten Ausführungsformen. Um dies zu erzielen, umfassen die beiden Kammerelemente 40 jeweils eine erste Seite 48 mit einer ersten Rille 49 mit einer ersten konstanten Rillentiefe und eine zweite Seite 50 mit einer zweiten Rille 51 mit einer konstanten zweiten Rillentiefe. Um zu erzielen, dass die Mischkammer 45 einen ersten Querschnitt aufweist, kontaktieren sich die beiden ersten Seiten 48, sodass die Mischkammer 45 beidseitig von den ersten Rillen 49 begrenzt ist. Um zu erzielen, dass die Mischkammer

45 einen zweiten Querschnitt aufweist, kontaktieren sich die beiden zweiten Seiten 50, sodass die Mischkammer 45 beidseitig von den zweiten Rillen 51 begrenzt ist.

Um die Kammerelemente 40 vom ersten in den zweiten Zustand zu bringen, wird bevorzugt zumindest eines der Kammerelemente 40 mit einer kombinierten Rotations- und Linearbewegung versetzt. Dies ist dadurch begründet, da zumindest eins der Kammerelemente 40 vor der Drehung zuerst angehoben werden muss, um eine Kollision mit dem anderen Kammerelement 40 zu verhindern. Um dies zu ermöglichen, kann beispielsweise ein doppel-elliptisches Getriebe 52 wie in Figur 13 dargestellt eingesetzt werden. Das untere der dargestellten Getriebe 53 ist kreisförmig ausgeführt, sodass das korrespondierende Kammerelement 40 mittels des Antriebs 47 um seine Drehachse rotiert. Das obere der Kammerelemente 40 wird durch dessen doppel-elliptisches Getriebe 52 jedoch gleichzeitig angehoben, rotiert und während der Rotation wieder abgesenkt, wonach sich wiederum zwei der Seiten 48, 50 berühren können.

Es versteht sich, dass die Kammerelemente 40 auch mehr als zwei Seiten 48, 50 mit Rillen 49, 51 mit jeweils unterschiedlicher konstanter Rillentiefe umfassen können. Beispielsweise umfassen die Kammerelemente 40 in Figur 11 jeweils vier Seiten mit Rillen unterschiedlicher Rillentiefe. Die Kammerelemente 40 sind hierbei im Wesentlichen quadratisch ausgebildet. Die Kammerelemente 40 könnten jedoch auch quadratisch ausgeführt sein und weniger als vier Seiten mit Rillen umfassen. Die Kammerelemente könnten weiters dreieckig, fünfeckig, sechseckig etc. ausgeführt werden und dadurch auch drei, fünf oder mehr Seiten mit Rillen unterschiedlicher Rillentiefe aufweisen.

Wie in den vorgenannten Ausführungsformen ist es auch bei der Ausführungsform der Figuren 11 bis 13 möglich, dass nur eines der Kammerelemente 40 rotiert. Die Rille dieses Kammerelements begrenzt die Mischkammer somit zumindest einseitig. Der Rille gegenüberliegend kann eine weitere Rille eines statischen Kammerelements oder auch eine ebene Wand vorgesehen werden, wobei es hier nicht immer möglich sein wird, einen kreisrunden Querschnitt der Mischkammer zu erzielen.

Die kleinstmögliche Querschnittsfläche, die mit dem erfindungsgemäßen Ejektor 2 einstellbar ist, kann z.B. im Wesentlichen 7 mm^2 oder zumindest 7 mm^2 betragen (z.B. kann die Mischkammer 35 eine kreisrunde erste Querschnittsfläche mit einem Durchmesser von 3 mm aufweisen). Die größtmögliche Querschnittsfläche, die mit dem erfindungsgemäßen Ejektor 2 einstellbar ist, kann z.B. im Wesentlichen 177 mm^2 oder bis zu 177 mm^2 betragen (z.B. kann die Mischkammer 35 einen kreisrunden Querschnitt mit einem Durchmesser von

15 mm aufweisen). In anderen Worten könnte die erste Querschnittsfläche 7 mm^2 betragen und die zweite Querschnittsfläche könnte 177 mm^2 betragen. Im Allgemeinen könnten die minimale (erste) Querschnittsfläche und die maximale (zweite) Querschnittsfläche zwischen 7 mm^2 und 177 mm^2 betragen, wobei je nach Anwendungsfall auch größere oder kleinere Querschnittsflächen einstellbar sein könnten. Es versteht sich, dass je nach Ausführungsform auch alle Querschnittsflächen zwischen den genannten 7 mm^2 und 177 mm^2 mit dem erfindungsgemäßen Ejektor 2 einstellbar sein können, z.B. mit den Ausführungsformen der Figuren 5 bis 10.

Ansprüche:

1. Ejektor (30) zur Zuführung von Wasserstoff an zumindest eine Brennstoffzelle oder einen Brennstoffzellenstapel (7), wobei der Ejektor (30) einen Primäreingang (32), einen Sekundäreingang (33), einen Ejektorausgang (34) und eine Mischkammer (35) aufweist, wobei der Primäreingang (32) und der Sekundäreingang (33) auf einer ersten Seite der Mischkammer (35) und der Ejektorausgang (34) auf der anderen Seite der Mischkammer (35) angeordnet sind,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Ejektor (30) ein erstes bewegliches, unverformbares Kammerelement (40) umfasst, welches mittels einer Linearbewegung und/oder einer Rotationbewegung von einem ersten Zustand, an dem die Mischkammer (35) eine erste Querschnittsfläche aufweist, in zumindest einen zweiten Zustand bringbar ist, in dem die Mischkammer (35) eine zweite Querschnittsfläche aufweist.

2. Ejektor (30) nach Anspruch 1, wobei der Ejektor (30) zwei Seitenwände (41) und ein zweites, bevorzugt bewegliches, Kammerelement (40) umfasst, und wobei die Mischkammer (35) zwischen den zwei Seitenwänden (41), dem ersten Kammerelement (40) und einem zweiten Kammerelement (40) eingeschlossen ist.

3. Ejektor (30) nach Anspruch 2, wobei das erste Kammerelement (40) mittels einer Linearbewegung in Richtung des zweiten Kammerelements (40) verschieblich ist.

4. Ejektor (30) nach Anspruch 2, wobei das erste Kammerelement (40) mittels einer asymmetrischen Rotationsbewegung in Richtung des zweiten Kammerelements (40) schwenkbar ist.

5. Ejektor (30) nach Anspruch 1, wobei das erste Kammerelement (40) im Wesentlichen zylindrisch ist und durch eine Rotationsbewegung um dessen Zylinderachse (Z) rotierbar ist, wobei das erste Kammerelement (40) eine zumindest teilweise um den Zylinderumfang verlaufende Rille (45) mit um den Zylinderumfang variabler Tiefe umfasst, wobei die Rille (45) die Mischkammer (35) einseitig begrenzt.

6. Ejektor (30) nach Anspruch 5, ferner umfassend ein zweites Kammerelement (40), welches gleich wie das erste Kammerelement (40) ausgebildet ist, wobei die Mischkammer (35) zwischen den beiden Kammerelementen (40) eingeschlossen und beidseitig von den Rillen (35) begrenzt ist.

7. Ejektor (30) nach Anspruch 6, wobei die beiden Kammerelemente (40) mittels einer Kupplung (46) verbunden sind, sodass eine Rotationsbewegung eines der Kammerelemente (40) zu einer gegengleichen Rotationsbewegung des anderen Kammerelements (40) übersetzt wird.
8. Ejektor (30) nach Anspruch 1, wobei das erste Kammerelement (40) eine erste Seite (48) mit einer ersten Rille (49) mit einer ersten konstanten Rillentiefe und eine zweite Seite (50) mit einer zweiten Rille (51) mit einer konstanten zweiten Rillentiefe umfasst, wobei die Mischkammer (35) im ersten Zustand von der ersten Rille (49) begrenzt ist und im zweiten Zustand von der zweiten Rille (51) begrenzt ist.
9. Ejektor (30) nach Anspruch 8, umfassend ein zweites Kammerelement (40), welches gleich wie das erste Kammerelement (40) ausgebildet ist, wobei die Mischkammer (35) zwischen den beiden Kammerelementen (40) eingeschlossen und im ersten Zustand beidseitig von den ersten Rillen (49) der beiden Kammerelemente (40) und im zweiten Zustand beidseitig von den zweiten Rillen (51) der beiden Kammerelemente (40) begrenzt ist.
10. Ejektor (30) nach Anspruch 8 oder 9, wobei das erste Kammerelement (40) vier Seiten mit jeweils einer Rille mit konstanter Rillentiefe aufweist, wobei die Rillentiefen auf den vier Seiten jeweils unterschiedlich sind.

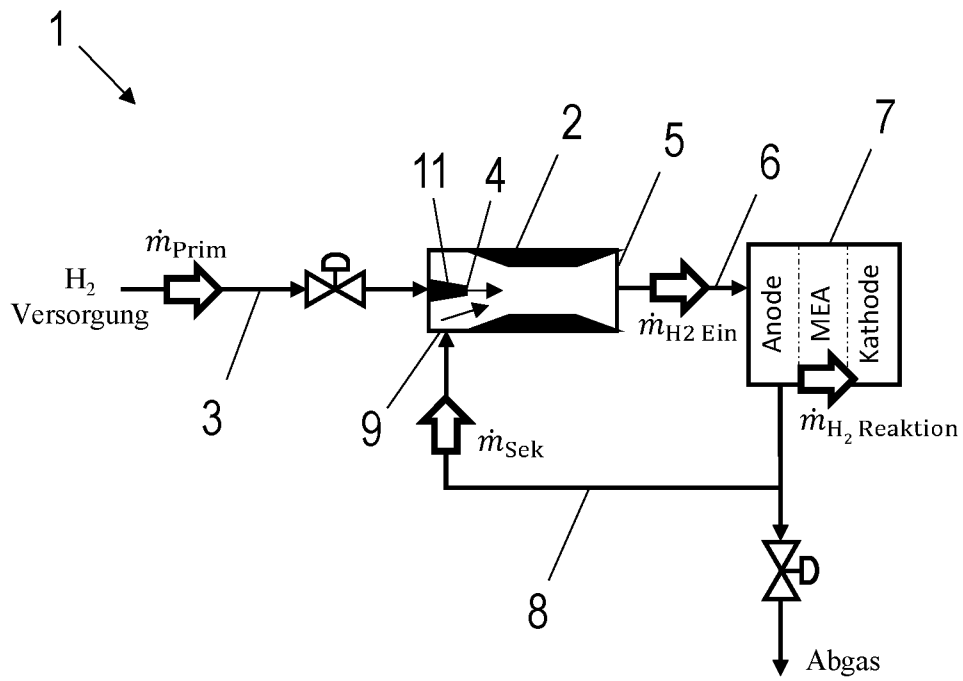


Fig. 1

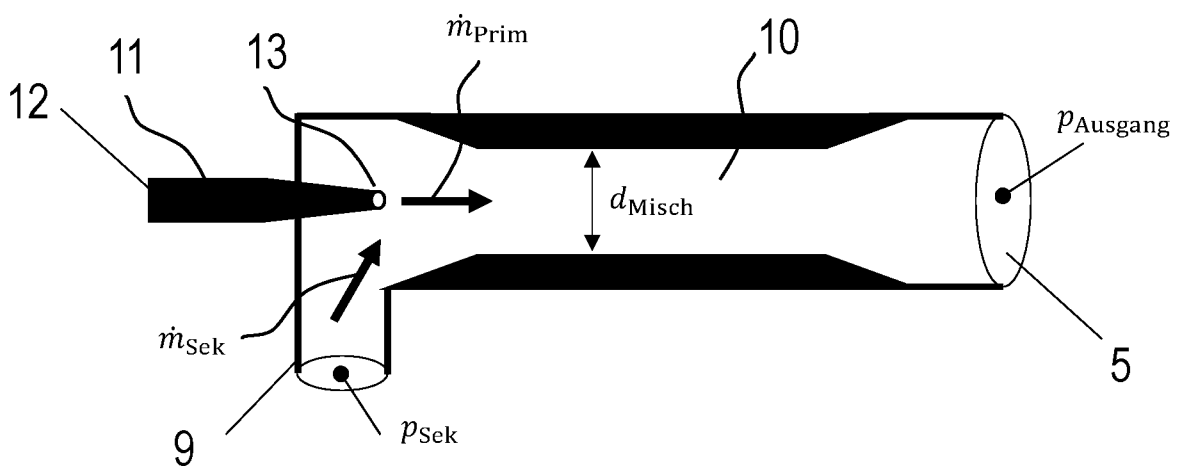


Fig. 2

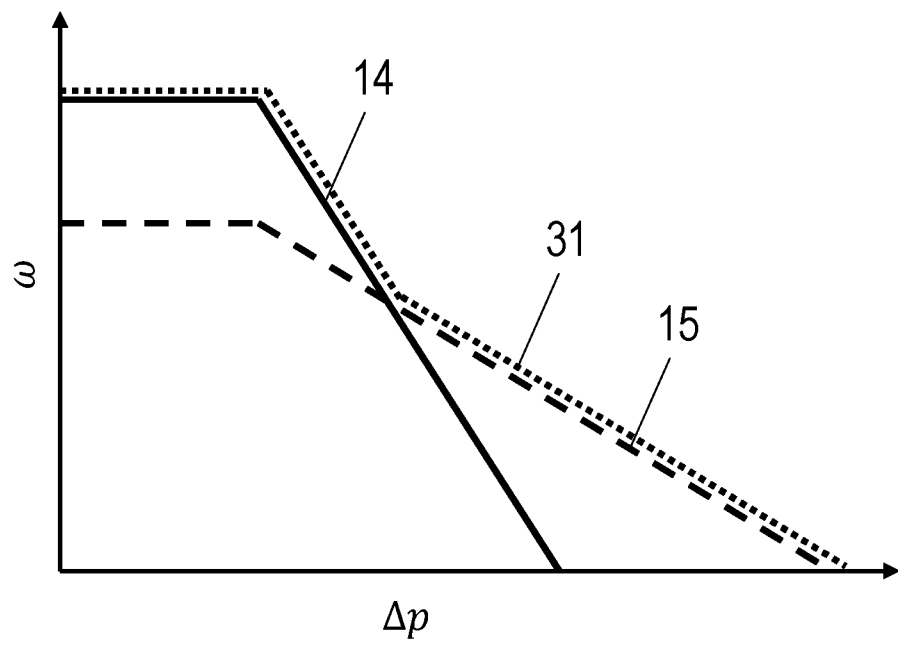


Fig. 3

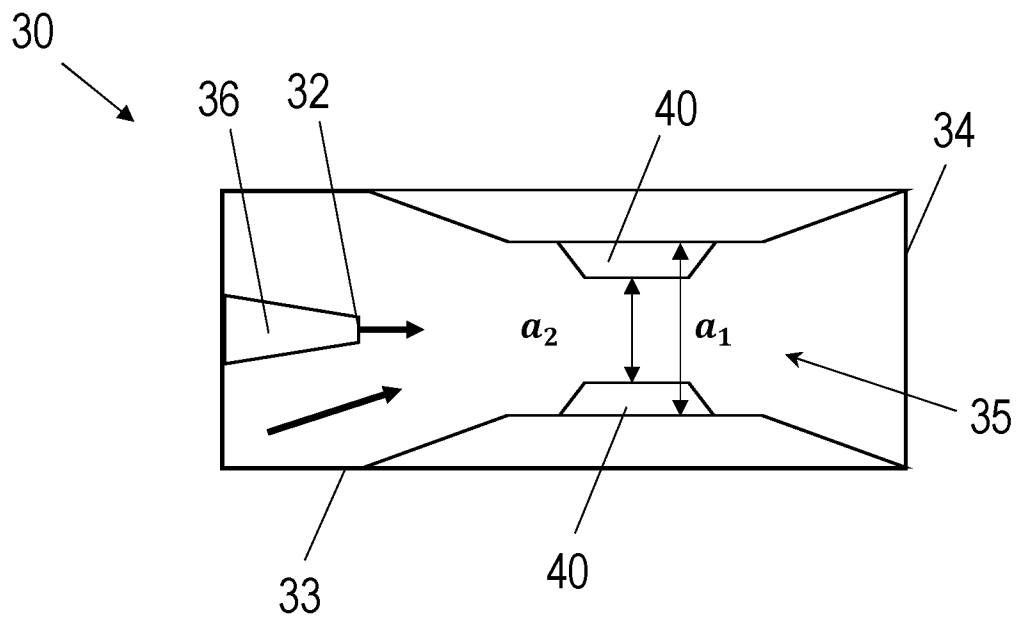


Fig. 4

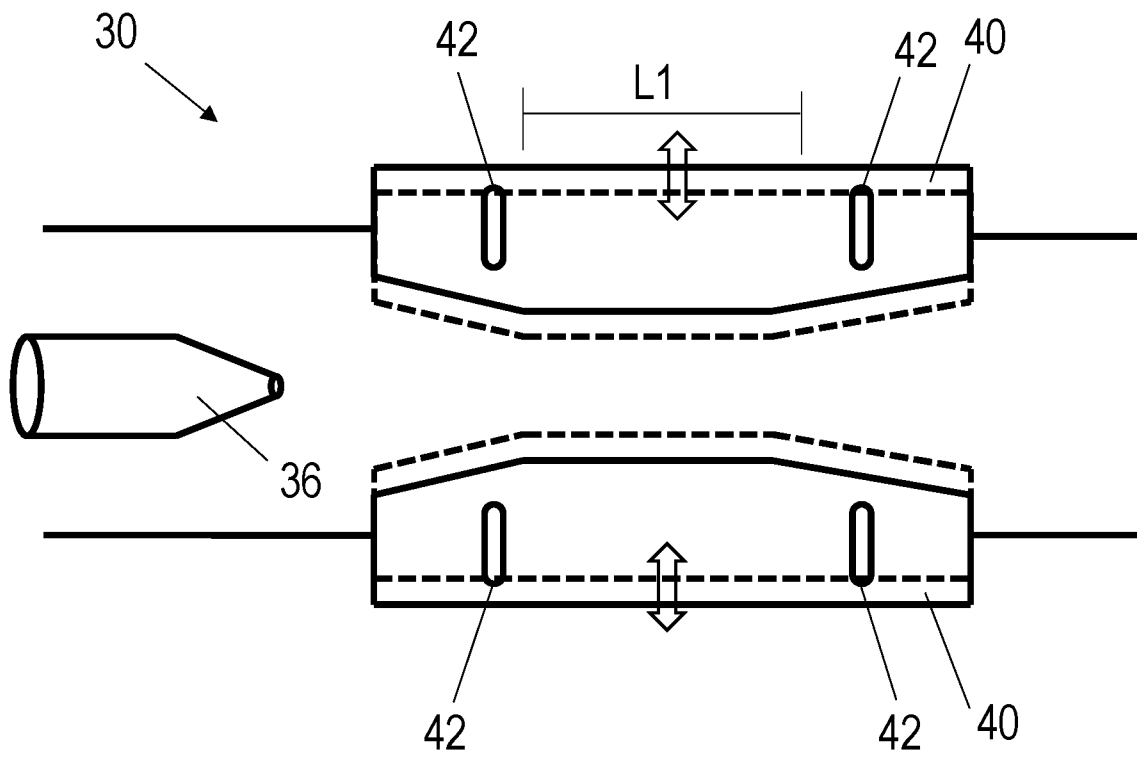


Fig. 5

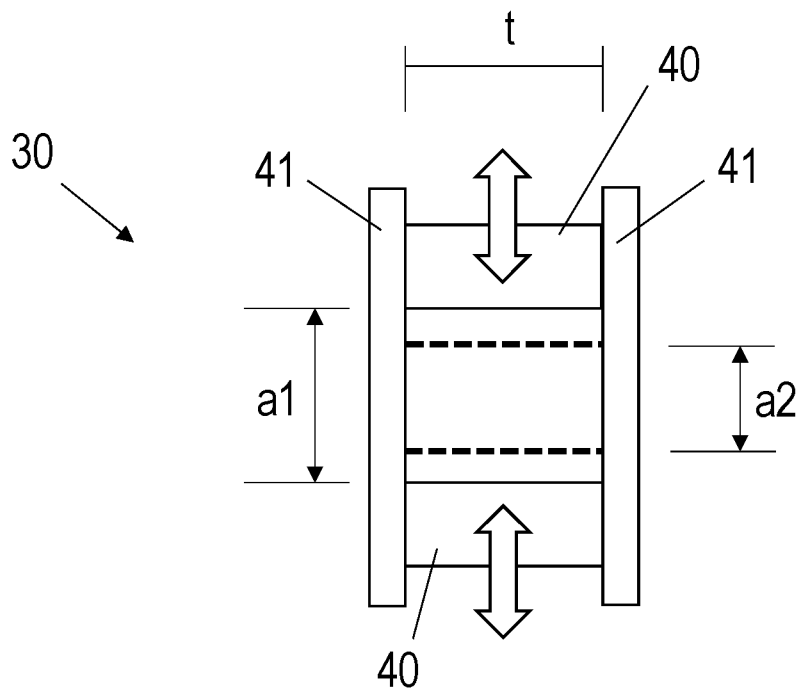


Fig. 6

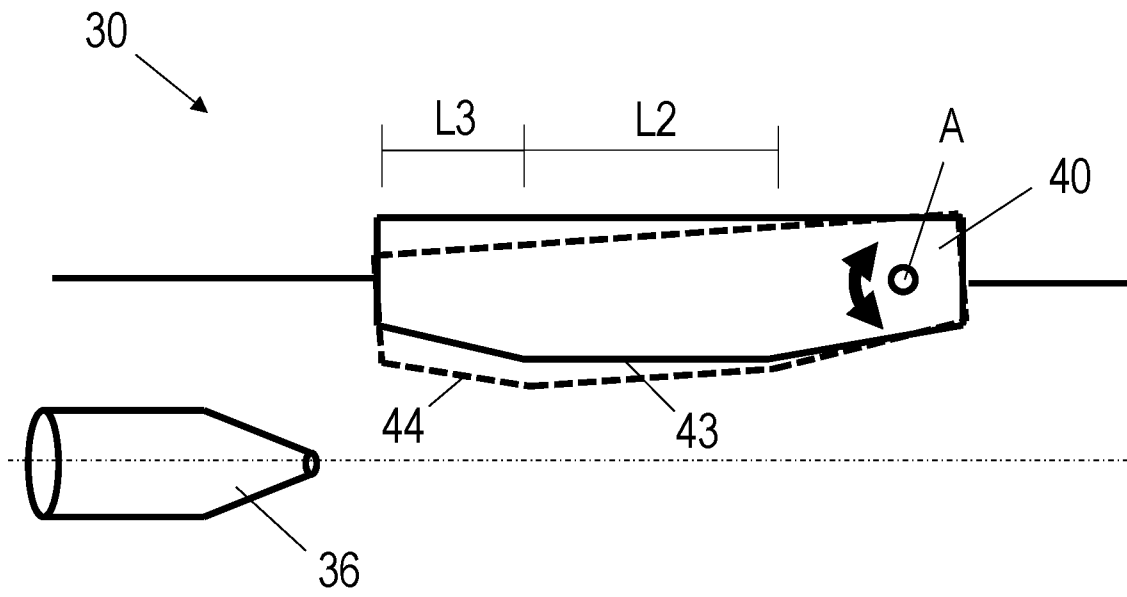


Fig. 7

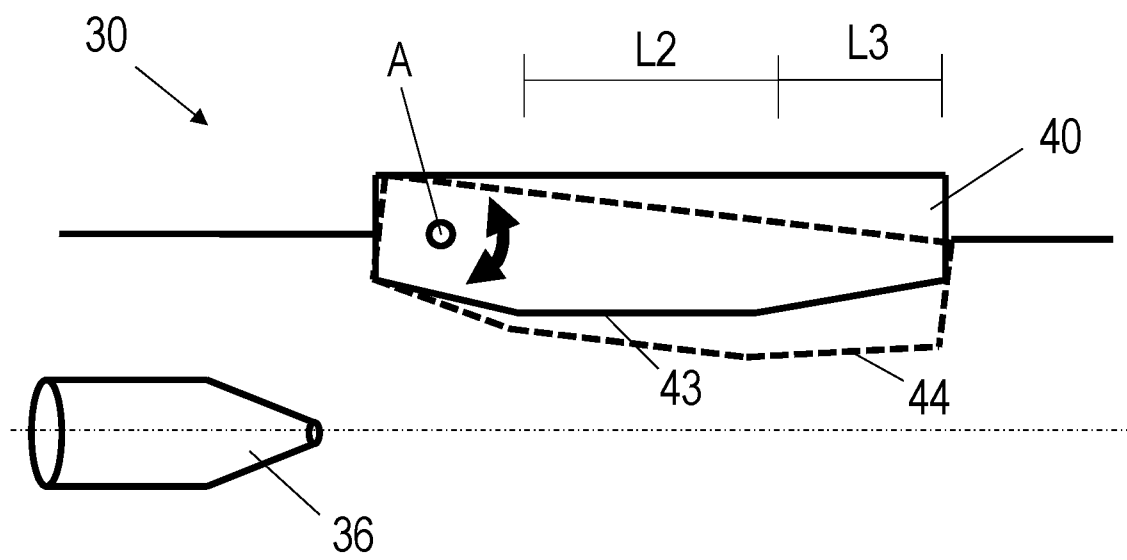


Fig. 8

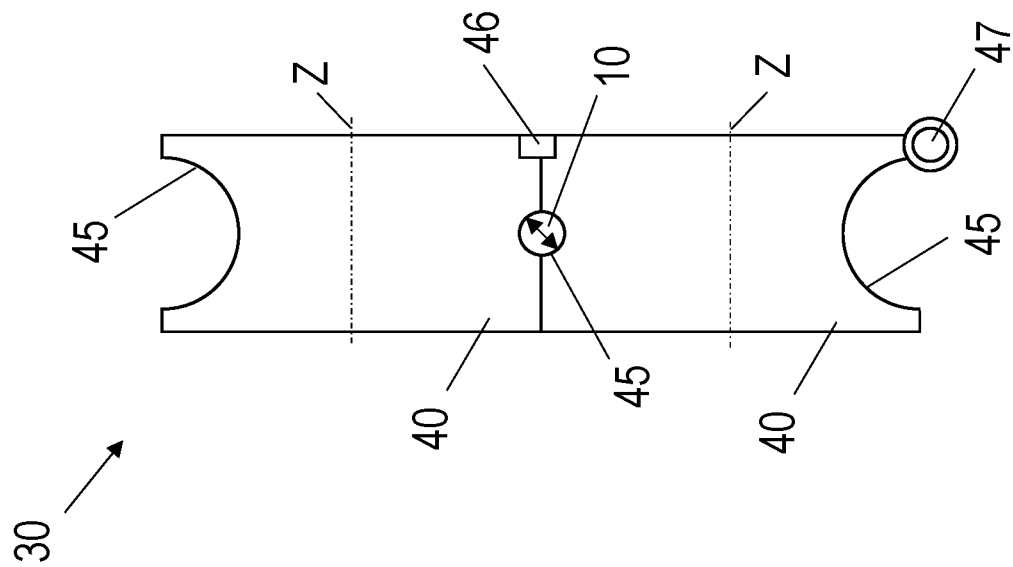


Fig. 9

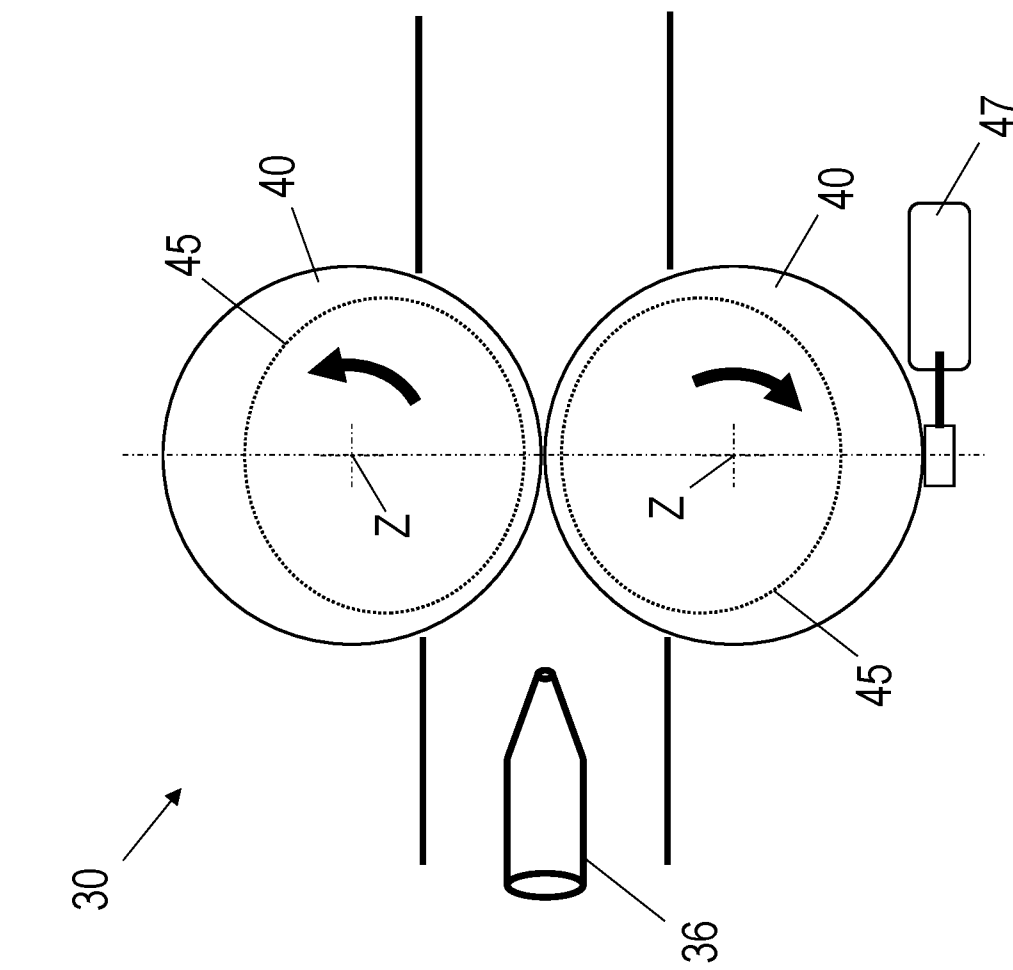


Fig. 10

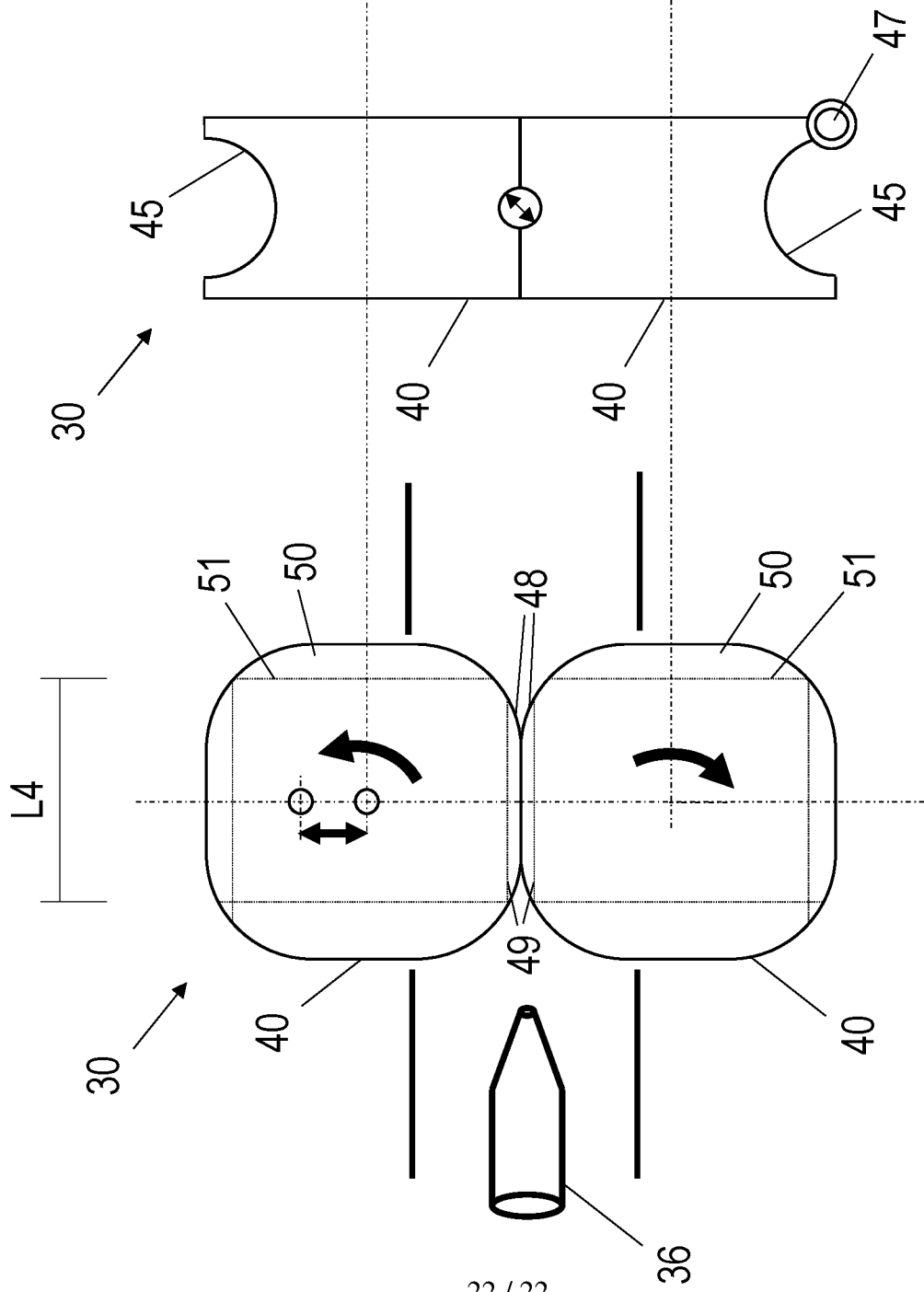


Fig. 11

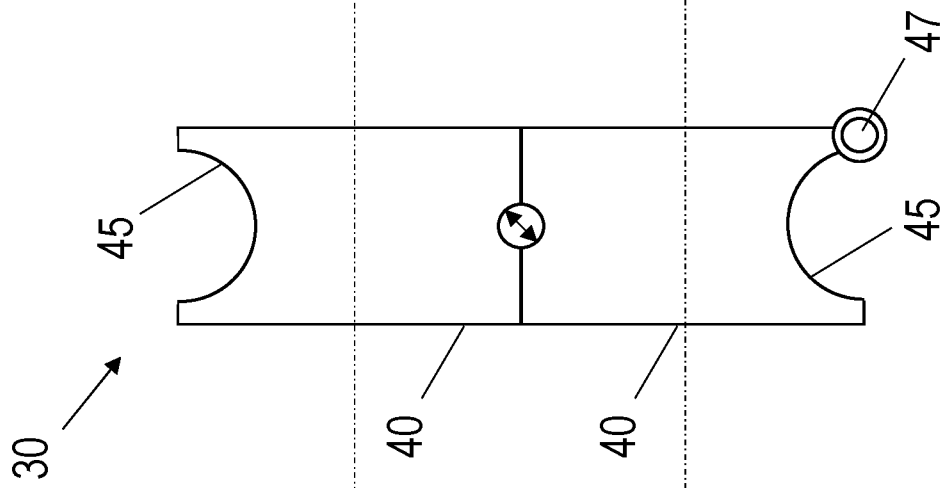


Fig. 12

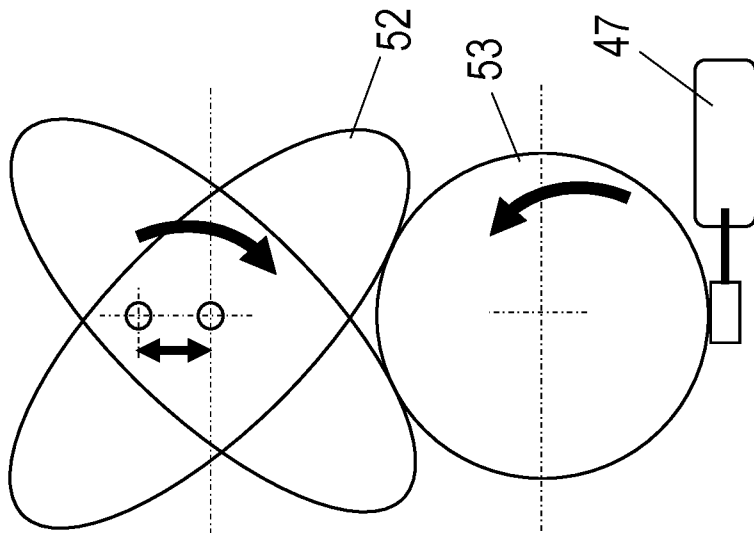


Fig. 13