(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
5. Juni 2008 (05.06.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/065081 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
F01B 11/00 (2006.01) *F01L 11/02* (2006.01)
F02B 71/06 (2006.01) *F01L 23/00* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/062822

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. November 2007 (26.11.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
20 2006 018 097.4
27. November 2006 (27.11.2006) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **JUNG, Nadine** [DE/CH]; Lägernstrasse 9, CH-8303 Bassersdorf (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **JUNG, Bernd** [DE/DE]; Dieselstrasse 22, 61239 Ober-Mörlen (DE).

(74) Anwalt: **STOFFREGEN, Hans-Herbert**; Friedrich-Ebert-Anlage 11b, 63450 Hanau (DE).

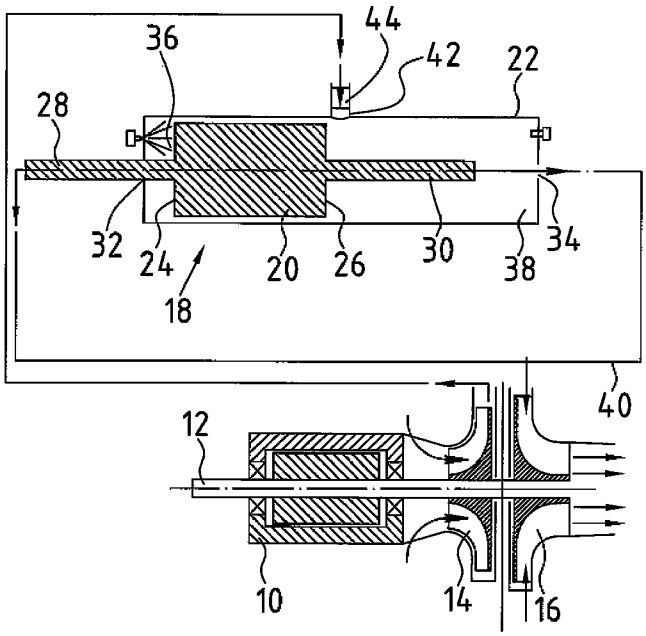
(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: FREE-PISTON ENGINE

(54) Bezeichnung: FREIKOLBENMOTOR



(57) Abstract: The invention relates to a free-piston engine that is connected to a pre-compressor (14) and a turbine (16). The aim of the invention is to provide an engine of the above type that is compact and light-weight, has a low specific fuel consumption, consists of only few components, has a long service life and is substantially oil- and maintenance-free. For this purpose, the free-piston engine (18) has at least one piston (20) that can be reciprocated in a cylinder compartment and divides the same up into two combustion chambers (36, 38), the pre-compressor being operable electrically and/or assisted by exhaust gas.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2008/065081 A2

MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf einen Freikolbenmotor, der druckgasmäßig sowohl mit einem Vorverdichter (14) als auch mit einer Turbine (16) verbunden ist. Ein entsprechender Motor soll kompakt und leicht sein, einen geringen spezifischen Kraftstoffverbrauch zeigen, nur aus wenigen Bauteilen bestehen, eine hohe Lebensdauer garantieren und im Wesentlichen öl- und wartungsfrei sein. Hierzu ist vorgesehen, dass der Freikolbenmotor (18) zumindest einen in einem Zylinderraum hin und her bewegbaren und diesen in zwei Verbrennungskammern (36, 38) unterteilenden Kolben (20) aufweist und dass der Vorverdichter elektrisch und/oder abgasunterstützt betätigbar ist.

Freikolbenmotor

Die Erfindung bezieht sich auf einen Freikolbenmotor, der druckgasmäßig sowohl mit einem Vorverdichter als auch einer Turbine verbunden ist

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen entsprechenden insbesondere als Vielstoffmotor einsetzbaren Freikolbenmotor derart weiterzubilden, dass dieser kompakt und leicht ist, einen geringen spezifischen Kraftstoffverbrauch zeigt, nur aus wenigen Bauteilen besteht, eine hohe Lebensdauer garantiert und im Wesentliche öl- und wartungsfrei ist. Dabei soll ein universeller Einsatz für Land-, Wasser- und Luftfahrzeuge möglich sein. Ebenfalls soll mittels des Motors auch elektrische Energie erzeugt werden können. Andere Aggregate sollen angetrieben werden können, genau wie Fahrzeuge selbst.

Zur Lösung der Erfindung ist im Wesentlichen vorgesehen, dass der Freikolbenmotor zumindest einen in einem Zylinderraum hin und her bewegbaren und diesen in zwei Verbrennungskammern unterteilenden Kolben aufweist und dass der Vorverdichter elektrisch und/oder abgasunterstützt betätigbar ist.

Erfindungsgemäß wird ein Freikolbenmotor, insbesondere ein Vielstoffmotor vorgeschlagen, der zumindest 2 oder 2 x n-Brennräume und demzufolge 1 oder n-Kolben umfasst, die wahlweise hinzu- oder weggeschaltet werden können. Für die Verbrennungskammern bzw. -räume selbst wird dem Grunde nach ein einziger Vorverdichter benötigt, gleichwenn eine Mehrstufigkeit in Betracht gezogen werden kann. Unabhängig hiervon wird der Vorverdichter elektrisch, gasdynamisch oder mechanisch direkt von der Turbine angetrieben. Auch die Möglichkeit einer oder mehrerer Turbinenstufen ist gegeben, die zumindest mit einer Abtriebswelle versehen sein können. Dabei werden

die Turbinenstufen primär von den aus den Brennräumen strömenden Gasen beaufschlagt.

Der erfindungsgemäße Vielstoffmotor kann z. B. als Dieselflugmotor, Turbofantriebwerk, Turboproptriebwerk oder als Hubschrauberhauptantrieb verwendet werden, wobei neben dem Verdichter und der Turbine ein Generator vorgesehen sein kann, der mittig zwischen zwei Lagerstellen verläuft.

Durch chemische Verdichtung, Beimischung von Stoffen zum eigentlichen Brennstoff kann die Leistung z. B. für den Flugzeugstart oder Not-/Fluchtleistung ohne Beschädigung sämtlicher Motorbauteile beträchtlich gesteigert werden.

Der zum Einsatz gelangende Vorverdichter kann je nach Ausführung die Aufgabe eines Anlassers übernehmen. Sofern dem Freikolbenmotor ein Generator zugeordnet ist, kann dieser zum Antrieb von Land- wie Schienenfahrzeugen oder Wasserfahrzeugen so dimensioniert sein, dass mittels des Generators ein Elektroantrieb entsteht, der auch als Hybridantrieb für z. B. Pkws oder Lkws verwendet werden kann. Daneben besteht auch die Möglichkeit, dass mittels eines Getriebes, hydrostatischen oder hydrodynamischen oder mechanischen Wandlergetriebes, der Vielstoffmotor den Direktantrieb übernehmen kann.

Zum Einsatz können beliebige Verdichter kommen. Beispielhaft sind Roots-Gebläse, Flügelzellen- oder Schraubenverdichter zu nennen. Ein die folgende Verdichterfunktion ausführender Verdichter sowie die Turbine bzw. dessen Rad können von einer Welle eines Generators ausgehen. Alternativ oder ergänzend kann ein gesonderter Verdichter vorgesehen sein, der seinerseits insbesondere über einen Elektromotor angetrieben wird.

Nach einer Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass der Kolben von dessen freien Stirnflächen ausgehende Kolbenstangen aufweist, die Öffnungen der Verbrennungskammern, die druckgasmäßig mit dem Verdichter oder der Turbine verbunden sind, freizugeben oder zu verschließen. Somit sind gesonderte Ventile nicht erforderlich.

Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, als Kolben einen innerhalb des Zylinderraums hin und her bewegbaren Zylinder – insbesondere Hohlzylinderkörper – zu verwenden, wobei die Auslassöffnungen z. B. über Magnetventile geöffnet bzw. geschlossen werden.

Der durch den Kolben in die Verbrennungsräume unterteilte Zylinderraum weist zumindest eine Gaseinlassöffnung auf, die über ein Rückschlagventil absperrbar bzw. freigebbar ist, so dass zum einen beim Verdichten Gas nicht entweichen kann, wenn der Ladedruck größer als der Druck im Zylinderraum ist. Unabhängig hiervon strömt stets vorverdichtetes Gas in den Zylinderraum, wenn der Druck in diesem kleiner als der Ladedruck ist. Somit erhält man einen besseren Füllungsgrad.

Ferner besteht die Möglichkeit, dass dem Freikolbenmotor, d. h. dessen Verbrennungskammern- bzw. -räumen, über einen mehrstufigen Vorverdichter Gas zuführbar ist.

Eine ventillose Ausbildung der Verbrennungsräume ergibt sich nicht nur dadurch, dass von dem Kolben Kolbenstangen ausgehen, die die Auslassöffnungen verschließen bzw. öffnen. Vielmehr ist nach einer Weiterbildung der Erfindung vorgesehen, dass der Kolben selbst die Auslassöffnungen in Abhängigkeit von dessen Stellung freigibt bzw. verschließt. Somit sind keine beweglichen Elemente erforderlich, die bei einfachem Aufbau des Motors hohe Schwingfrequenzen ermöglichen.

Um eine unerwünschte Erwärmung des Freikolbenmotors, d.h. dessen Kolben und damit dessen Gehäuse zu vermeiden, ist vorgesehen, dass der Kolben von einer vorzugsweise koaxial zu dessen Längsachse verlaufenden Durchgangsöffnung durchsetzt ist, die in Hohlwellen- bzw. Rohrabschnitte übergehen, die ihrerseits Öffnungen in dem Freikolbenmotorgehäuse durchsetzen und gegenüber diesem abgedichtet ist. Somit besteht die Möglichkeit, dass ein Kühlfluid durch den Kolben strömt und somit die gewünschte Kühlung bewirkt.

Vorzugsweise sind der Verdichter und die Turbine zu beiden Seiten eines Generators auf der Welle angeordnet. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass Verdichter und Turbine auf einer Seite eines Generators auf der Welle vorgesehen sind. Auf der gegenüberliegenden Seite kann ein Drucklufterzeuger wie Turbokompressor angeordnet sein, um sodann erzeugte Druckluft einem Verbraucher zuzuführen. Gleichermaßen können eine Pumpe oder andere Aggregate angetrieben werden.

Zusätzliche elektrische Energie kann dadurch gewonnen werden, dass der Kolben abschnittsweise als Magnet ausgebildet ist oder einen solchen aufweist und dass der Kolben im Bewegungsbereich des Magneten von einer Spule oder mehreren Spulen umgeben ist. Vorzugsweise ist vorgesehen, dass das den Kolben umgebende Gehäuse umfangsseitig entsprechende Spulen aufweist. Durch eine diesbezügliche Anordnung besteht auch die Möglichkeit, den Freikolben zu starten, indem mehrere nebeneinander angeordnete Spulen in notwendiger Taktung mit Strom beaufschlagt werden, so dass dem Kolben eine Hin- und Herbewegung aufgezwängt wird.

Um mechanische Energie zu gewinnen, besteht die Möglichkeit, dass die Generatorwelle über ein Getriebe mit einer weiteren Welle verbunden ist. Somit wirkt die Generatorwelle als Abtriebswelle.

Die Gasauslässe des Freikolbenmotors, und zwar unabhängig von der Anzahl der Kolben, münden in einer gemeinsamen Leitung, die zu der Turbine führt. Dabei kann von der Leitung eine Abzweigung ausgehen, die in einer weiteren Turbine mündet, die von einer Welle ausgeht, auf der z. B. ein Turboverdichter angeordnet ist, der über den Elektromotor betrieben wird.

Nach einem weiteren hervorzuhebenden Vorschlag ist vorgesehen, dass der Freikolbenmotor zwei gegensinnig bewegende Kolben aufweist, die vorzugsweise gasdynamisch miteinander verbunden sind. Letzteres wird dadurch bewirkt, dass zwischen den jeweils innenliegenden und jeweils außenliegenden Verbrennungsräumen ein Druckausgleich ermöglichende Verbindungen verlaufen. Dies ist jedoch kein zwingendes Merkmal.

Die Erfindung schließt auch die Möglichkeit ein, dass von dem Verdichter eine Verbindung zu einem Wärmetauscher sowie einer Luftentspannungseinrichtung führt, die von der Generatorwelle ausgeht. Somit wird Kühlluft zur Verfügung gestellt.

Um bei kompaktem Aufbau hohe Leistungen zu erzielen, schlägt die Erfindung vor, dass der Freikolbenmotor zwei Gruppen von Kolben aufweist, wobei die Kolben einer Gruppe gleichsinnig und die Gruppen gegensinnig zueinander hin und her schwingbar sind. Dabei kann die Bewegung der Gruppen zueinander bzw. der Kolben in der Gruppe z. B. elektronisch regelbar sein. Losgelöst hiervon können die Kolben mechanisch voneinander getrennt, jedoch gasdynamisch miteinander verbunden sein, indem bewegungsabhängig gleichsinnig wirkende Verbrennungsräume über Druckausgleichskanäle verbunden sind.

Insbesondere ist vorgesehen, dass die Kolben einer Gruppe untereinander durch eine Kolbenstange verbunden sind, die gegebenenfalls als Hohlwelle ausgebildet sein kann, um eine Kühlung zu ermöglichen. Gleichzeitig erfolgt eine Massenreduzierung.

Losgelöst hiervon besteht die Möglichkeit, dass der Freikolbenmotor mehrere entlang einer gemeinsamen Zylinderumfangsfläche hin und her bewegbare Kolben umfasst, denen gemeinsam über einen oder mehrere Verdichter Druckluft zugeführt wird. Es handelt sich folglich um eine Ringanordnung, wobei die Gasauslässe der Verbrennungsräume untereinander verbunden sind. Ferner können die Verbrennungsräume benachbarter Kolben miteinander in Verbindung stehen, wobei ein Absperren gegeneinander über Ventile möglich ist. Die Verbindung ermöglicht eine gasdynamische Regelung der Kolbenbewegung. Ungeachtet dessen können jedoch zur Optimierung der Arbeitssymmetrie bzw. der gewünschten Leistung Kolben außer Betrieb genommen werden, wobei sodann die Verbindungen zu den benachbarten Verbrennungsräumen abgesperrt werden. Die gemeinsame Auslassöffnung für die Verbrennungsgase kann als Flammenrohr bezeichnet werden.

Bei Gruppen von Kolben aufweisendem Freikolbenmotor besteht insbesondere die Möglichkeit, den Verbrennungsräumen zuzuführendes Gas durch die Gruppenbewegung vorzuverdichten. Auch kann ein entsprechender Freikolbenmotor als Pumpe verwendet werden. Hierzu ist vorgesehen, dass zwischen den in Gruppen gegeneinander bewegbaren Kolben ein mit Ein- und Auslass versehener von seitlichen Begrenzungswänden begrenzter Raum verläuft, der umfangsseitig vom Motorgehäuse bzw. dessen Zylinder umgeben ist. Jeweils eine Begrenzungswand geht von jeweils einer der Gruppen aus. Der Einlass des Raums kann dabei mit einem Verdichter und der Auslass mit den Verbrennungskammern verbunden sein. Der Raum kann jedoch auch als Pumpenraum benutzt werden, so dass der Einlass mit einer Vorlage eines zu fördernden Mediums in Verbindung steht und der Auslass mit einem Ort, zu dem das Medium gepumpt werden soll.

Um eine hinreichende Kühlung der Kolben zu erzielen, besteht die Möglichkeit, dass der Kolben aus zwei zueinander beabstandeten Zylinderscheiben besteht, deren Zwischenraum mit der als Hohlwelle ausgebildeten Kolbenstange verbunden ist.

Des Weiteren kann von der Kolbenstange, ungeachtet deren Aufbaus, ein Magnet ausgehen, dem eine oder mehrere von dem Freikolbengehäuse ausgehende Spule zugeordnet ist. Hierdurch kann elektrische Energie erzeugt werden. Umgekehrt kann durch getakte Strombeaufschlagung von in Längsrichtung des Zylinders verlaufenden Spulen ein Anlassen bzw. Starten des Motors erfolgen.

Eine bevorzugte Ausbildung des Freikolbenmotors sieht vor, dass der Verbrennungsraum eine einzige wirksame Gasauslassöffnung aufweist, dass der Kolben zwei zueinander beabstandete zumindest bereichsweise umlaufende Nuten aufweist, das von jeder Nut zumindest innerhalb des Kolbens und in Längsrichtung dieses verlaufender, in nutnaheliegender Stirnseite des Kolbens mündender Kanal ausgeht, wobei die Nuten derart positioniert sind, dass jeweils in einer Totpunktlage des Kolbens eine der Nuten mit der Gasauslassöffnung in Verbindung steht.

Losgelöst von Obigem besteht die Möglichkeit, dass in dem Verbrennungsraum bzw. der Verbrennungskammer neben der zu dem Verdichter führenden Verbindung ein Druckluftanschluss mündet. Auch besteht die Möglichkeit, dass eine getaktete Einspritzung in die Verbrennungskammern des Freikolbenmotors durchgeführt wird. Dabei ist auch eine Zweistufenverbrennung möglich, d. h., dass während des Entspannens des Gases ein Teil des Verbrennungsmediums eingespritzt wird.

Der Kolben, das Gehäuse, das Turbinenrad und/oder dessen Schaufeln können aus Keramik bzw. hochwärmefesten leichten Werkstoffen bestehen, so dass eine temperaturstabile, jedoch leichte Einheit zur Verfügung steht.

Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die Verbrennungskammern des Freikolbenmotors mit einem Vorverdichter druckgasmäßig verbunden sind, der von einer Welle eines Generators bzw. Elektromotors ausgeht, und dass auf der Welle ein Turbinenrad einer weiteren Turbine angeordnet ist, die druckgasmäßig mit den Gasauslassöffnungen der Verbrennungskammern verbunden ist. Dabei mündet insbesondere bei abgasunterstützter Vorverdichtung eine Kraftstoffzuführung in einer Leitung, die die Auslassöffnungen der Verbrennungskammern mit der weiteren Turbine verbindet.

Eine weitere eigenerfinderische Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass von jeder Stirnseite des Kolbens des Freikolbenmotors eine Kolbenstange ausgeht, dass von jeder Kolbenstange eine jeweils einen Abschnitt des Zylinders des Freikolbenmotors in einen ersten und einen zweiten Vorverdichtungsraum unterteilende Kolbenscheibe ausgeht, dass in Bezug auf den Kolben des Freikolbenmotors die außenliegenden Vorverdichtungsräume untereinander und die innenliegenden Vorverdichtungsräume ebenfalls untereinander verbunden sind und dass die Vorverdichtungsräume mit den Verbrennungskammern ihrerseits verbunden sind. Dabei ist insbesondere vorgesehen, dass die Verbindung zwischen den Vorverdichtungsräumen und den Verbrennungskammern über einen Druckspeicher erfolgt. Auf diese Weise können die Verbrennungskammern mit im gewünschten Umfang vorverdichtetem Gas bzw. gewünschter Menge an Gas beaufschlagt werden.

Die Erfindung zeichnet sich insbesondere auch dadurch aus, dass der Freikolbenmotor in einem Strahlantrieb mit Strahlaustrittsöffnung angeordnet ist, dass der Freikolbenmotor einen in Längsrichtung des Strahlantriebs hin und her schwingbaren eine erste und eine zweite Verbrennungskammer begrenzenden Kolben umfasst, der eine in axialer Richtung verlaufende Durchgangsöffnung aufweist, dass von strahlaustrittsöffnungsseitig verlaufender Stirnfläche des Kolbens ein in die Durchgangsöffnung übergehender Hohlzylinder ausgeht, der in Abhängigkeit von der Stellung des Kolbens strahlaustrittsöffnungsseitig verlaufenden ersten Verbrennungsraum gegenüber der Strahlaustrittsöffnung freigibt oder absperrt, und dass in der zweiten Verbrennungskammer ein axial verlaufender Zylinderkörper angeordnet ist, der in Abhängigkeit von der Stellung des Kolbens dessen Durchgangsöffnung freigibt oder absperrt.

Dabei besteht die Möglichkeit, dass der Zylinderkörper ein der zweiten Verbrennungskammer vorverdichtete Luft (Staudruck) zuführender Hohlzylinder ist oder die die Verbrennungskammern umgebende Wandung des Freikolbenmotors zumindest abschnittsweise von einem Ringraum umgeben ist, über den vorverdichtete Luft (Staudruck) der ersten und/oder zweiten Verbrennungskammer zuführbar ist.

Des Weiteren sieht die Erfindung vor, dass zwei Freikolbenmotoren mit gegensinnig schwingenden Kolben in einem Strahlantrieb angeordnet sind und dass Gasaustrittsöffnungen der Verbrennungskammern der Freikolbenmotoren in einem Ringraum des Strahlantriebs münden, der in die Strahlaustrittsöffnung übergeht. Dabei ist in dem Ringraum eine Kraftstoffzuführung vorgesehen ist.

Insbesondere zeichnet sich die Erfindung auch dadurch aus, dass zum Antrieb eines Luftfahrzeuges mehrere Freikolbenmotoren auf der Umfangsfläche eines Zylinders angeordnet sind, dass die Umfangsfläche koaxial zu einem Generator oder Verdichter verläuft und dass von der Welle des Generators bzw. des Verdichters ein Turbinenrad ausgeht.

Insbesondere kann zu beiden Seiten des Generators bzw. Verdichters von dessen Welle ein Rad einer Turbine ausgeht.

Geht auf einer Seite des Generators bzw. des Verdichters von dessen Welle ein Gebläserad und von der anderen Seite ein Turbinenrad aus, so ergibt sich ein Turbofanantrieb.

Es besteht auch die Möglichkeit, dass die Welle des Generators bzw. des Verdichters eine Abtriebswelle ist, die über die Stufengetriebe, einen hydrostatischen oder hydrodynamischen Wandler oder einen sonstigen mechanischen Wandler mit einer Antriebswelle in Wirkverbindung steht

Eine weitere Ausgestaltung sieht vor, dass auf der einen Seite des Generators bzw. des Verdichters von dessen Welle ausgehend ein Turbinenrad und auf der anderen Seite ein Verdichter angeordnet sind, der mit einem eine Ringanordnung bildenden Freikolbenmotoren umgebenden Ringraum verbunden ist, der zum einen mit den Verbrennungskammern der Freikolbenmotoren und zum anderen mit einem Zapfluftauslass verbunden ist.

Weitere Einzelheiten, Vorteile und Merkmale ergeben sich nicht nur aus den Ansprüchen, den diesen zu entnehmenden Merkmalen – für sich und/oder in Kombination -, sondern auch aus der nachfolgenden Beschreibung von der Zeichnung zu entnehmenden bevorzugten Ausführungsbeispielen.

Es zeigen:

Fig. 1 eine erste Ausführungsform eines Freikolbenmotors in einem Energiewandlersystem,

Fig. 2 eine zweite Ausführungsform eines Freikolbenmotors in einem Energiewandlersystem,

Fig. 3 eine dritte Ausführungsform eines Freikolbenmotors in einem Energiewandlersystem,

Fig. 4 eine vierte Ausführungsform eines Freikolbenmotors in einem Energiewandlersystem,

Fig. 5 eine fünfte Ausführungsform eines Freikolbenmotors in einem Energiewandlersystem,

Fig. 6 eine Abwandlung des Freikolbenmotors gemäß Fig. 3,

Fig. 7 eine Abwandlung der Anordnung gemäß Fig. 6,

Fig. 8 eine sechste Ausführungsform eines Freikolbenmotors in einem Energiewandlersystem,

Fig. 9 eine siebte Ausführungsform eines Freikolbenmotors in einem Energiewandlersystem,

Fig. 10 eine Variante des Freikolbenmotors gemäß Fig. 9,

Fig. 11 eine Variante der Anordnung gemäß Fig. 6,

Fig. 12 eine Abwandlung der Anordnung gemäß Fig. 11,

Fig. 13 eine achte Ausführungsform eines Freikolbenmotors in einem Energiewandlersystem,

Fig. 14 eine Variante des Freikolbenmotors gemäß Fig. 13,

Fig. 15 eine neunte Ausführungsform eines Freikolbenmotors in einem Energiewandlersystem,

Fig. 16 eine zehnte Ausführungsform eines Freikolbenmotors in einem Energiewandlersystem,

Fig. 17 eine Abwandlung des Freikolbenmotors gemäß Fig. 16,

Fig. 18 eine weitere Abwandlung des Freikolbenmotors gemäß Fig. 16,

Fig. 19 eine weitere Ausführungsform eines Freikolbenmotors in einem Energiewandlersystem,

Fig. 20 einen Turbopropantrieb,

Fig. 21 eine erste Ausführungsform eines Strahltriebwerks,

Fig. 22 eine zweite Ausführungsform eines Strahltriebwerks,

Fig. 23 eine dritte Ausführungsform eines Strahltriebwerks,

Fig. 24 eine vierte Ausführungsform eines Strahltriebwerks,

Fig. 25 einen Antrieb mit Freikolbenmotoren in einer Ringanordnung,

Fig. 26 einen Turbofanantrieb,

Fig. 27 eine weitere Ausführungsform eines Antriebs mit Getriebe bzw. Wandler,

Fig. 28 eine weitere Ausführungsform eines Motors,

Fig. 29 eine weitere Ausführungsform mit einem Freikolbenmotor mit einem Kolben in einer ersten Stellung und

Fig. 30 den Freikolbenmotor nach Fig. 29 mit dem Kolben in einer zweiten Stellung.

In den Figuren, in denen grundsätzlich gleiche Elemente mit gleichen Bezugszeichen versehen sind, werden verschiedene Ausführungsformen von Freikolbenmotoren im Zusammenhang mit Energiewandlersystemen beschrieben, mit denen ihrerseits z. B. elektrische Energie erzeugt werden kann. Hierdurch erfolgt jedoch keine Beschränkung der erfindungsgemäßen Lehre, da nicht nur andere Anwendungsfälle zum Einsatz erfindungsgemäßer Freikolbenmotoren möglich sind, sondern auch andere Arten von Energien genauso erzeugt werden können wie Druck- oder Kühlluft.

Bei der Beschreibung selbst wird auf Details von beschriebenen Aggregaten wie Verdichter, Turbine oder Generator nicht näher eingegangen, da es sich hierbei um Bauelemente handelt, die der Durchschnittsfachmann im hinreichenden Umfang kennt. Insoweit wird auf übliche Konstruktionen und Bauarten zurückgegriffen, ohne die Erfindung zu verlassen.

In Fig. 1 ist ein Energiewandlersystem dargestellt, das einen Generator 10 mit Läuferwelle 12, einen Verdichter 14 sowie eine Turbine 16 umfasst, die von der Generator- oder Läuferwelle ausgehen. Als zwingendes Bauteil – neben dem Verdichter und der Turbine - ist des Weiteren ein Freikolbenmotor 18 vorgesehen, der entsprechend der verschiedenen Ausführungsformen unterschiedlich gestaltet sein kann. Der Verdichter 16 ist dabei über den Freikolbenmotor 18 gasströmungsmäßig mit der Turbine 16 verbunden, wie aus der Darstellung entnehmbar ist.

Der Freikolbenmotor 18 weist einen Kolben 20 auf, der in einem nachstehend auch als Zylinder bezeichneten Gehäuse 22 hin und her schwingbar ist. Von dem Kolben 20, und zwar von dessen Stirnseiten 24, 26 gehen Kolbenstangen 28, 30 aus, die Auslassöffnun-

gen 32, 34 von Verbrennungskammern 36, 38 derart durchsetzen, dass in Abhängigkeit von der Stellung des Kolbens 20 beim Verdichten die Öffnung der entsprechenden Verbrennungskammer geschlossen und beim Entspannen geöffnet ist. Somit ergibt sich eine ventillose Anordnung, wobei die Gasauslassöffnungen 32, 34, die über eine Leitung 40 mit der Turbine 16 verbunden sind, ventillos über die Kolbenstangen 28, 30 verschlossen bzw. geöffnet werden.

Ein mittig verlaufender Gaseinlass 42 weist bevorzugterweise eine Rückschlagventil 44 auf.

Das Ausführungsbeispiel der Fig. 2 unterscheidet sich von dem der Fig. 1 dahingehend dass die Gasauslassöffnungen 32, 34 durch Magnetventile 46, 48 geöffnet bzw. verschlossen werden. Ein in dem Zylinder 22 hin und her schwingbarer Kolben 50 ist als Hohlzylinderkörper ausgebildet. Hierdurch ergeben sich Masseneinsparungen, so dass hohe Frequenzen erzielbar sind.

Die Fig. 3 unterscheidet sich von den Ausführungsbeispielen der Fig. 1 und 2 dahingehend, dass einem Freikolbenmotor 52 über einen nicht von der Generatorwelle 12 ausgehenden Verdichter 54 Druckluft zugeführt werden kann. Hierzu kann ein Elektromotor 56, der über einen Umrichter 58 mit dem Generator 10 elektrisch verbunden ist, eingesetzt werden. Von der Motorwelle 60 geht der Verdichter 54 aus, der über eine Leitung 68 mit einem Anschluss 62 des Freikolbenmotors 52 verbunden ist, der zwei Gaseinlässe 64, 66 umfasst, in denen Rückschlagventile 66, 68 angeordnet sein können. Die Einlässe 64, 66 münden in den Verbrennungsräumen oder -kammern 36, 38, in dem in der zeichnerischen Darstellung ein als Vollzylinder dargestellter Kolben 72 hin und her schwingbar ist. Selbstverständlich kann der Kolben 72 auch eine Konstruktion entsprechend der Fig. 2 aufweisen.

Mittig in dem die Verbrennungskammern 36, 38 umfassenden Zylinderraum 74 des Zylinders 22 verläuft ein Gasauslass 76, der in Abhängigkeit von der Stellung des Kolbens 72 geschlossen bzw. geöffnet ist. Somit erfolgt die Steuerung über den Kolben 72 selbst, ohne dass zusätzliche Ventile erforderlich sind.

Das über die Gasauslassöffnung 76 strömende Abgas wird über eine Leitung 78 zum einen der Turbine 16 und zum anderen einer weiteren Turbine 78 zugeleitet, die von der Motorwelle 60 ausgeht.

Durch die Verbindung des Gasauslasses mit der Turbine 78 kann nach dem Starten auch ohne Stromzuführung zum Motor 56 der z. B. als Turbolader ausgebildete Verdichter 54 angetrieben werden. Der Motor 56 kann dann bei Bedarf den Verdichter 54 antriebsmäßig unterstützen oder als zusätzlicher Generator z. B. für die Systemversorgung herausgezogen werden. Des Weiteren ergibt sich aus der zeichnerischen Darstellung der Fig. 3, dass die Läuferwelle 12 über ein Getriebe 80 mit einer weiteren Welle 82 in Wirkverbindung gesetzt werden kann, so dass die Welle 12 die Funktion einer Abtriebswelle ausübt.

Die Lagerung der Wellen 12, 60 kann über Luft- oder Magnetlager erfolgen. Auch besteht die Möglichkeit, die Drehzahl zu verändern, um somit die gewünschte Fördermenge an Druckluft einstellen zu können. Diesbezügliche Möglichkeiten bieten sich bei allen Ausführungsformen. Des Weiteren kann der Generator 10, d. h. die Statorwicklungen gekühlt sein, beispielhaft mit flüssigem Stickstoff. Auch können supraleitende Materialien für die Statorwicklung zum Einsatz gelangen, um geringe Energieverluste in Kauf nehmen zu müssen und dem thermischen Aspekt wegen der drehzahlbedingten kleinen Abmessungen gerecht zu werden. Bei einer Leistung von 100 kW ist der Statordurchmesser in etwa 100 mm bis 150 mm bei einer Länge von in etwa 150 mm bis 250mm.

Anhand des Ausführungsbeispiels der Fig. 4 soll verdeutlicht werden, dass ein mehrstufig vorverdichtetes Gas einem Freikolbenmotor 84 zugeführt wird. Hierzu gehen von einer Welle 86 eines Elektromotors 88 Verdichter 90, 92 aus, die druckluftmäßig in Verbindung stehen. Von dem strömungsmäßig hinteren Verdichter 90 führt sodann eine Leitung 94 zu Einlassöffnungen 96, 98 des Freikolbenmotors 84, also zu den Verbrennungsräumen 36, 38 aus. Von der Bewegung des Kolbens 72 werden Auslassöffnungen 100, 102 abgesperrt oder geöffnet, um entsprechend den Ausführungsbeispielen der Fig.

1 bis 3 die Turbine 16, d.h. dessen Turbinenrad mit Abgas zu beaufschlagen. Dabei besteht ergänzend die Möglichkeit, dass den Verbrennungsräumen 36, 38 über eine Leitung 104 vorverdichtete Luft über eine Einlassöffnung 106 zugeführt wird, die im Mittenbereich des Zylinderraums 74 mündet. Die Leitung 104 geht dabei von einer der Fig. 3 entsprechenden Einheit aus, die aus dem Verdichter 54, Elektromotor 56 und Turbine 78 besteht. Allerdings ist im Ausführungsbeispiel der Fig. 4 der Motor 56 elektrisch nicht mit dem Generator 10 verbunden, gleichwenn dies möglich wäre.

Ein Energiewandlersystem gemäß der Fig. 5 unterscheidet sich von den vorhergehenden Ausführungsbeispielen im Wesentlichen dadurch, dass ein Freikolbenmotor 108 eingesetzt wird, dessen Kolben 110 kühlbar ist. Hierzu gehen von den Stirnflächen 112, 114 des Kolbens 110 Hohlwellen 116, 118 aus, die in eine Durchgangsöffnung 120 des Kolbens 110 übergehen, die koaxial zur Längsachse 122 des Kolbens 110 verläuft.

Somit besteht die Möglichkeit, durch die Hohlwellen 116, 118 ein Kühlfluid strömen zu lassen, durch das der Kolben 110 und damit der Zylinder 22, also das Gehäuse des Freikolbenmotors 108 gekühlt wird.

Die Steuerung der Gasauslässe 100, 102 erfolgt entsprechend dem Ausführungsbeispiel der Fig. 4. Ferner mündet in dem Zylinderraum 74 in dessen Mittenbereich die Gaseintrittsöffnung 106, die über die Leitung 104 mit dem Verdichter 14 verbunden ist, der abweichend von dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1 und 2 in Bezug auf die Turbine 16 auf der gegenüberliegenden Seite des Generators 10 von der Welle 12 ausgeht.

Eine der Fig. 1 und 2 entsprechende Anordnung von Turbine 16 und Verdichter 14 findet sich in der Fig. 6, wobei der Verdichter 14 und die Turbine 16 strömungstechnisch mit den Verbrennungskammern 36, 38 bzw. dem Zylinderraum 74 des Gehäuses 22 entsprechend den Erläuterungen nach Fig. 5 verbunden sind. Abweichend von dieser Darstellung wird ein ungekühlter Kolben benutzt, der dem der Fig. 4 entspricht.

Das Ausführungsbeispiel der Fig. 7 ist in Bezug auf das der Fig. 6 dahingehend weitergebildet, dass von der Generatorwelle 12, und zwar auf der gegenüberliegenden Seite

von dem Verdichter 14 und der Turbine 16 ein weiterer Verdichter 124 ausgeht, der die Funktion eines Turbokompressors ausüben kann, um Druckluft zu erzeugen, die einem Verbraucher zuzuführen ist oder z.B. einer Turbopumpe für flüssige Medien ausüben kann.

Eine weitere Möglichkeit einer Energiewandlung ergibt sich aus der Fig. 8, der ein System zu entnehmen ist, das in Bezug auf den Generator 10, den Verdichter 14, der Turbine 16 sowie den Gasein- und -austrittsöffnungen 102, 104, 106 des Zylinderraums 74 funktionell dem Ausführungsbeispiel der Fig. 6 entspricht. Abweichend hiervon weist ein Freikolbenmotor 126 einen Kolben 128 auf, der als Magnet ausgebildet ist oder einen solchen enthält, wobei der Zylinderraum 74 umfangsseitig von einer oder mehreren Spulen 128 umgeben ist, so dass bei der Hin- und Herbewegung des Kolbens 128 Strom induziert wird. Werden mehrere Spulen 128 mit Strom beaufschlagt, so ergibt sich die Wirkung eines Starters.

Die Ausführungsbeispiele der Fig. 9 und 10 stimmen bezüglich Generator 10, Verdichter 14 und Turbine 16 mit den zuvor erläuterten Beispielen überein. Auch ist die Möglichkeit gegeben, die Welle 12 des Generators 10 als Abtriebswelle zu nutzen, um diese über das Getriebe 80 mit einer Antriebswelle 82 zu verbinden. Ferner wird in den Fig. 9 und 10 prinzipiell angedeutet, dass als Verdichter 14 beliebige Bauarten eingesetzt werden können. So ist in Fig. 9 beispielhaft ein Roots-Gebläse 124 und in Fig. 10 ein Flügelzellenverdichter 126 dargestellt.

Abweichend von den zuvor erläuterten Ausführungsformen gelangen Freikolbenmotoren 128 bzw. 130 zum Einsatz, die zwei gegensinnig schwingende Kolben 132, 134 aufweisen. Dabei ist in Fig. 9 die zwischen den innenliegenden Verbrennungsräumen 136, 138 verlaufende Trennwand 140 durchbrochen, wohingegen diese in Fig. 10 geschlossen und mit dem Bezugszeichen 142 gekennzeichnet ist.

Die Öffnung 141 in der Trennwand 140 des Freikolbenmotors 128 zusammen mit einer die äußeren Verbrennungsräume 144, 146 verbindenden Leitung 143 bietet die Möglichkeit, dass sämtliche Verbrennungsräume 136, 138, 144, 146 gasdynamisch verbun-

den sind. Ansonsten erfolgt eine Konstruktion bezüglich Gasein- und -auslässe, wie diese der Fig. 4 bis 6 zu entnehmen ist, also ein ventilloses Öffnen und Schließen der Gaseintritts- und -austrittsöffnungen 102, 104, 106, so dass gleiche Bezugszeichen verwendet werden.

Die Verbrennungsräume 144, 136 bzw. 138, 146 eines jeden Kolbens 132, 134 sind in zuvor beschriebener Weise mit dem Verdichter 14 bzw. der Turbine 16 verbunden.

Anhand der Fig. 11 soll verdeutlicht werden, dass die Möglichkeit besteht, nicht nur elektrische Energie zu erzeugen, sondern auch Kühlluft. Hierzu ist das Ausführungsbeispiel der Fig. 6 dahingehend weitergebildet, dass von der Welle 12, und zwar in Bezug auf den Generator 10 auf der gegenüberliegenden Seite zu dem Verdichter 14 und der Turbine 16, ein Entspanner 148 ausgeht, der über einen Wärmetauscher mit einer Leitung 50 mit einer Leitung 152 verbunden ist, über die der Verdichter 14 mit dem Gaseinlass 106 verbunden ist. Somit besteht mit konstruktiv einfachen Maßnahmen die Möglichkeit, Kühlluft zu erzeugen.

Eine alternative Ausführungsform ergibt sich aus der Fig. 12. Diese unterscheidet sich von der der Fig. 11 dahingehend, dass auf der Welle 12 ein weiterer Verdichter 154 angeordnet ist, der über einen Wärmetauscher 156 mit einem Entspanner 158 strömungstechnisch verbunden ist, um Kühlluft zu erzeugen. Die Druckluft des Verdichters 154 wird dabei nicht dem Freikolbenmotor zugeführt. Ansonsten entspricht der Aufbau der Fig. 12 dem der Fig. 6.

Wurde an Hand der Fig. 9 und 10 prinzipiell verdeutlicht, dass ein erfindungsgemäß zum Einsatz gelangender Freikolbenmotor mehr als einen Kolben aufweisen kann, so vermitteln die zeichnerischen Darstellungen der Fig. 13 bis 18 die Möglichkeit, Freikolbenmotoren mit mehr als zwei Kolben einzusetzen.

Ein in der Fig. 13 dargestellter Freikolbenmotor 160 weist insgesamt sechs Kolben 162, 164, 166, 168, 170, 172 auf, die in zwei Gruppen 161, 163 unterteilt sind, und zwar die Kolben 162, 164, 166 einerseits und die Kolben 168, 170, 172 andererseits. Dabei wird

der Freikolbenmotor 160 derart betrieben, dass die in jeder Gruppe 161, 163 vorhandenen Kolben 162, 164, 166 bzw. 168, 170, 172 gleichsinnig schwingen, jedoch die Gruppen gegensinnig zueinander. Die Versorgung mit Druckluft erfolgt in gewohnter Weise über den Verdichter 14, der über eine Leitung 174 mit Einlässen 176, 178, 180, 182, 184, 186 nicht näher gekennzeichneter Verbrennungsräume verbunden ist, die von jeweiligen Kolben 162, 164, 166, 168, 170, 172 begrenzt sind. Die Brennräume sind über Druckausgleichsleitungen 191, 193 miteinander verbunden, ohne dass dies ein zwingendes Merkmal ist.

Die Auslässe der entsprechenden Verbrennungsräume sind über eine gemeinsame Leitung 192 mit der Turbine 16 verbunden, dessen Rad in zuvor beschriebener Weise von der Welle 12 des Generators 10 ausgeht. Dabei kann die Welle 12 über ein Getriebe 80 mit einer weiteren Welle 82 mechanisch gekoppelt sein. Beispielhaft sind zwei der Gasauslässe mit den Bezugszeichen 188, 190 gekennzeichnet.

Sind die Kolben 162, 164, 166, 168, 170, 172 in Reihe angeordnet, so besteht auch die Möglichkeit einer Ringanordnung, wie dies prinzipiell aus der Fig. 14 erkennbar ist. In einem Motorgehäuse 194 erstrecken sich auf einem Kreis Zylinderräume 196, 198, 200, 202, 204, 206, 208, 210, in denen nicht dargestellte Kolben hin und her bewegbar sind. Die Gaseinlässe, von denen einer das Bezugszeichen 112 trägt, sind untereinander und mit dem Verdichter 14 verbunden. Die Gasauslässe, von denen wiederum einer rein beispielhaft gekennzeichnet und mit dem Bezugszeichen 214 versehen ist, münden in einen gemeinsamen Kanal 216, der zu der Turbine 16 führt.

Die einzelnen Zylinderräume 196, 198, 200, 202, 204, 206, 208, 210 sind untereinander verbunden. Dabei kann die Verbindung durch nicht dargestellte Ventile abgesperrt werden, wenn z.B. eine Teillast gewünscht ist bzw. wenn Zylinder individuell vorzugsweise paarweise zu- oder abgeschaltet werden.

Ist nach dem Ausführungsbeispiel der Fig. 13 eine Anordnung mit unabhängig voneinander bewegten Kolben dargestellt, die also mechanisch nicht gekoppelt sind, deren Bewegung jedoch elektronisch synchronisiert werden kann, so zeigt das Ausführungs-

beispiel der Fig. 16 die Möglichkeit, die in Gruppen 161, 163 zusammengefasste Kolben 162, 164, 166, bzw. 168, 170, 172 mechanisch jeweils über eine gemeinsame Kolbenstange 218 bzw. 220 zu verbinden. Auch im Ausführungsbeispiel der Fig. 16 weist der dargestellte Freikolbenmotor 222 insgesamt sechs Kolben auf, die in die Gruppen 161, 163 zusammengefasst sind. Insoweit werden die Bezugszeichen entsprechend der Fig. 13 verwendet. Anzumerken ist jedoch, dass die Anzahl der Kolben auch kleiner und insbesondere größer sein kann.

Die Kolbenstangen 218, 220 können zur Gewichtsreduzierung als Hohlwellen ausgebildet und gegebenenfalls mit einem Kühlfluid beaufschlagt werden. Die einzelnen Verbrennungskammern des Freikolbenmotors 222, die von den Kolben 162, 164, 166, 168, 170, 172 abgeschlossen werden, sind entsprechend der Fig. 16 über Leitungen 174, 192 mit dem Verdichter 14 bzw. der Turbine 16 verbunden. Insoweit werden gleiche Bezugszeichen verwendet.

Ergänzend oder alternativ kann der Freikolbenmotor 222 auch als Pumpe benutzt werden. So gehen von den Gruppen 161, 163 der Kolben 162, 164, 166 bzw. 168, 170, 172 gegenüber der Innenwandung 224 des Freikolbenmotorgehäuses abgedichtete zylinderförmige Kolbenscheiben 226, 228 aus, die einen Raum 230 begrenzen, der einen Einlass 232 und einen Auslass 234 aufweist. Da sich die Gruppen 161, 163 der Kolben 162, 164, 166, 168, 170, 172 gegensinnig bewegen, wird das Volumen des Raums 230 entsprechend verkleinert und vergrößert, so dass sich eine Pumpenwirkung ergibt.

Bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 17, dem ein Freikolbenmotor 236 zu entnehmen ist, der einen prinzipiellen Aufbau wie der der Fig. 16 zeigt, besteht neben der Pumpwirkung zusätzlich die Möglichkeit, dass die Kolbenscheiben 226, 228 weitere Kammern 238, 240 begrenzen, die mit den als Hohlwellen ausgebildeten Kolbenstangen 218, 220 verbunden sind, um diese zur Kühlung mit Luft durchströmen zu lassen.

Die Fig. 17 verdeutlicht zusätzlich, dass die von dem Raum 230 stammende Luft einer Luftkonditioniereinrichtung 240 zugeführt werden kann. Hierzu ist der Raum 230 über eine Leitung 242 mit einem Verdichter 244 verbunden, der lufttechnisch über einen

Wärmetauscher 246 zu einem Entspanner 248 führt, dem Kühlluft zu entnehmen ist. Verdichter 244 und Entspanner 248 gehen von einer Welle 250 eines Generators 252 aus. Die von dem Raum 230 stammende Druckluft kann auch zur Nachoxidierung und Beimischung zu den Heißgasen nach Verlassen der Brennräume zur Erhöhung des Massendurchsatzes verwendet werden.

Bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 18 gehen von den Kolbenstangen 218, 220 zwar von ihren einander zugewandten Endbereichen nicht dargestellte Magnete aus, denen eine oder mehrere Spulen 252 zugeordnet sind, die koaxial die Magnete umgeben, um elektrische Energie zu erzeugen. Umgekehrt, also wenn mehrere Spulen 252 nacheinander mit Strom beaufschlagt werden, ergibt sich die Funktion eines linearen Starters. Ansonsten weist der der Fig. 18 zu entnehmende Freikolbenmotor eine Konstruktion auf, die denen der Fig. 16 und 17 entspricht, so dass auf die diesbezüglichen Ausführungen verwiesen wird.

Der Fig. 15 ist ein Freikolbenmotor 253 zu entnehmen, dessen Brennräume 292, 294 mit mehrstufig vorverdichteter Druckluft beaufschlagt werden. Dabei erfolgt in dem Motorgehäuse selbst eine weitere Vorverdichtung der Druckluft. Ein Teil der Mehrstufigkeit kann zum einen durch gesonderte Vorverdichteranordnungen erfolgen, wie diese den Fig. 3 oder 4 zu entnehmen sind. Dabei kann eine Vorverdichtung auch ohne Abgasunterstützung erfolgen.

Im Ausführungsbeispiel der Fig. 15 ist eine Vorverdichtungsstufe 254 prinzipiell eingezeichnet, die einen Elektromotor 256 mit Welle 262 sowie mit auf gegenüberliegenden Seiten von dem Elektromotor 256 angeordneten Verdichtern 258, 260 umfasst. Von dem strömungsmäßig zweiten Verdichter 260 führt eine Leitung 264 zu Anschlüssen 263, 265, die in dem Gehäuse bzw. Zylinder 282 des Freikolbenmotors 252 münden, und zuvor in Verdichtungsräumen 266, 267, die durch eine Kolbenscheibe 272 getrennt sind, die mit einer ersten Kolbenstange 276 eines Kolbens 280 des Freikolbenmotors 252 verbunden ist. Die Vorverdichtungsräume 266, 267 sind über Leitungen 268, 269 mit Verdichtungsräumen 270, 271 verbunden, die in Bezug auf den Kolben 280 gegenüberliegend zu den Verdichtungsräumen 266, 267 angeordnet sind. Die Verdichtungs-

räume 270, 271 sind durch eine weitere Kolbenscheibe 274 getrennt, die von einer zweiten Kolbenstange 277 ausgeht. Die Kolbenscheiben 272, 274 üben folglich die Bewegung des Kolbens 280 mit aus.

Durch eine diesbezügliche Anordnung erfolgt eine mehrstufige Vorverdichtung, und zwar die erste Vorverdichtung über die Verdichter 258, 260 und weitere Vorverdichtungen in den Kammern 266, 267, 270, 271. Die Kammern 270, 271 sind sodann über Anschlüsse 284, 286 mit einem Druckspeicher 288 verbunden, der wiederum über die gestrichelt dargestellte Verbindung 290 mit den Verbrennungskammern 292, 294 des Freikolbenmotors 252 verbunden sind.

Alternativ oder ergänzend kann eine abgasunterstützte Vorverdichtung erfolgen. Hierzu ist eine Vorverdichtungseinheit 296 mit Elektromotor 298 vorgesehen, von dessen Welle 300 eine Turbine 302 und ein Verdichter 304 ausgeht. Die Turbine 302 ist über eine Leitung 306 mit Auslässen 308, 310 der Verbrennungskammern 292, 294 verbunden und der Verdichter 304 mit den Kammern 266, 267 über die Anschlüsse 263, 265, zu denen die Leitung 264 führt.

Die in den Vorverdichterräumen 266, 267 vorverdichtete Luft wird – wie zuvor beschrieben - über die Leitungen 268, 269 zu den Vorverdichterräumen 270, 271 geführt, die über die Leitungen 284, 286 mit dem Druckspeicher 288 verbunden sind. Dieser ist bei abgasunterstützter Vorverdichtung mit den Verbrennungsräumen 292, 294 über einen mittig verlaufenden Einlass 312 verbunden.

Ferner ergibt sich aus der Fig. 15, dass in den Leitungen 268, 269 ein Wärmetauscher 314 angeordnet sein kann.

Der Fig. 19 ist eine bevorzugte Ausführungsform eines Kolbens 316 eines Freikolbenmotors 318 zu entnehmen, der in zuvor beschriebener Weise mit dem Verdichter 12 und der Turbine 14 lufttechnisch verbunden ist. Zum Starten kann der Generator 10 als Elek-tromotor genutzt werden.

Der Kolben 316, der bevorzugterweise als Hohlzylinderkolben ausgebildet ist, weist zwei zueinander beabstandete vorzugsweise umlaufende Nuten 320, 322 auf, von denen in Längsrichtung des Kolbens 316 verlaufende und in die jeweilige nahe liegende Stirnfläche 324, 326 mündende Kanäle 328, 330, 332, 334 ausgehen, über die vorverdichtete Luft dem jeweiligen Verbrennungsraum 336 bzw. 338 zugeführt wird. Hierzu verlaufen die umlaufenden Nuten 320, 322 derart zueinander und zu den Stirnflächen 324, 326 beabstandet, dass in Abhängigkeit von der Stellung des Kolbens in jeweiliger Totpunktlage eine Verbindung mit einer Gaseinlassöffnung 340 besteht. Ferner gehen von den Verbrennungsräumen 336, 338 in gewohnter Weise Auslasskanäle 342, 344 aus, die zu der Turbine 14 führen.

Ein der Fig. 19 entsprechender Energiewandler ist in Fig. 20 als Turbopropantrieb für die Luftfahrt ist in der Fig. 20 dargestellt, wobei die der Fig. 19 entsprechenden Elemente mit gleichen Bezugszeichen versehen sind. Ergänzend geht von der Welle 12 ein Propeller 346 aus.

Den Fig. 21 bis 23 sind Energiewandlersysteme zu entnehmen, die zum Einsatz bzw. Antrieb von bemannten oder unbemannten Fluggeräten, insbesondere ultraleichten Fluggeräten, Segelflugzeugen oder als Hilfsaggregate bestimmt sind. So sind verschiedene Ausführungsformen von Luftstrahltriebwerken 348, 350, 352 dargestellt, die ein Gehäuse 354 mit in diesem hin und her bewegbaren Kolben 356, 358 umfassen, durch den der von dem Gehäuse 354 umgebene Zylinderraum 360 in Verbrennungsräume 362, 364 unterteilt wird.

Dabei unterscheiden sich die Kolben 356, 358 im Wesentlichen dadurch, dass der Kolben 358 ein Vollzylinder und der Kolben 356 dahingehend massenmäßig leichter ausgebildet ist, dass der Kolben aus zwei Stirnwandungen 357, 359 sowie einen diese verbindenden Hohlzylinder 361 besteht, dessen Außendurchmesser erheblich kleiner als der der Kolbenstirnwandung 357, 359 ist. Es ergibt sich im Schnitt eine H-Form.

Unabhängig hiervon weist jeder Kolben 356, 358 eine Durchgangsöffnung 366 auf, die auf eine Gasaustrittsöffnung 368 bzw. Austrittsdüse 370 ausgerichtet ist.

Damit in den Verbrennungsräumen 322, 364 Kraftstoffgasgemisch im erforderlichen Umfang verdichtet werden kann, geht von der zu der Abgasaustrittsöffnung 368 bzw. Austrittsdüse 370 gegenüberliegenden Stirnwand 372 des hinteren Verbrennungsraums 362 ein gegebenenfalls endseitig spitz zulaufendes Zylinderelement 373, 374 aus, der die Durchgangsöffnung 366 beim Bewegen des Kolbens 356, 358 in Richtung der Stirnwand 372 verschließt.

Um die Verdichtung in dem Verbrennungsraum 364 zu ermöglichen, geht von der gasaustrittsseitig verlaufenden Stirnfläche 376 des Kolbens 356, 358 ein Hohlzylinder 378 aus, der fluchtend in die Durchgangsöffnung 366 übergeht und eine Erstreckung derart aufweist, dass bei Bewegen des Kolbens 356, 358 in Richtung der Abgasaustrittsöffnung 368 bzw. –düse 370 diese gegenüber dem Verbrennungsraum 364 abgeschlossen ist.

In gewohnter Weise gehen – wie bei den übrigen Ausführungsbeispielen gleichfalls – vorzugsweise von den Stirnbegrenzungswandungen der Verbrennungskammern 362, 364 Kraftstoffeinspritzdüsen aus. Vorverdichtete Luft gelangt in die Brennkammern 362, 364 über eine Einlassöffnung 380, wobei bei mittiger Anordnung eine einzige Eintrittsöffnung benötigt wird. Selbstverständlich kann jedem Verbrennungsraum 362, 364 eine gesonderte Eintrittsöffnung zugeordnet werden. Ferner besteht die Möglichkeit, zusätzlich Druckluft über Anschlüsse 382, 384 in die Verbrennungsräume 362, 364 einzuspeisen.

Bei den Ausführungsbeispielen der Fig. 22, 23 ist die Möglichkeit gegeben, dass in die Austrittsdüse 370 zusätzlich Kraftstoff zum Verbrennen des noch vorhandenen Sauerstoffs eingespritzt wird. Ferner kann die Austrittsdüse 370 von einem Rohr 386 koaxial umgeben werden, um den Strahlschub zu beeinflussen.

Ein Jetantrieb 388 ist prinzipiell in der Fig. 28 dargestellt. Der Antrieb 388 umfasst dabei zwei gegensinnig schwingende Kolben 390, 392, wie dies prinzipiell in der Fig. 10 dargestellt und erläutert worden ist. Die Kolben 390, 392, die die Geometrie eines Zy-

linders aufweisen, sind in Verbrennungsräumen 394, 396 bzw. 398, 400 hin und her bewegbar. Die Verbrennungsräume 394, 396 bzw. 398, 400 sind über mehrere die Wandung des die Verbrennungsräume 394, 396, 398, 400 umgebenden Zylinders 402 durchsetzende Abgasaustrittsöffnungen 404, 406 verlaufen, die in einem Ringraum 408 verbunden, der in die Austrittsdüse 410 übergeht.

Dabei besteht die Möglichkeit, in den Ringraum 408, und zwar außerhalb des die Verbrennungsräume 394, 396, 398, 400 umgebenden Gehäuses des die Kolben 390, 392 umfassenden Freikolbenmotors weiteren Kraftstoff einzuspritzen, um vorhandenen Sauerstoff zu verbrennen und somit eine weitere Schuberhöhung zu erzielen.

Die den Verbrennungsräumen 394, 396, 398, 400 zuzuführende vorverdichtete Luft kann über eine Vorverdichteranordnung erfolgen, wie diese in Fig. 15 dargestellt und erläutert und mit den Bezugszeichen 296 versehen ist. Daher werden entsprechende Bezugszeichen verwendet.

In die von dem Ringraum 408 ausgehende und zu der Turbine 302 führende Leitung 412 kann gleichfalls Kraftstoff eingespritzt werden (Element 414). Der zwischen der Turbine 302 und dem Verdichter 304 vorhandene Elektromotor 298 kann nach Starten des Antriebs die Funktion eines Generators ausüben, so dass elektrische Energie gewonnen wird.

Aus den zeichnerischen Darstellungen der Fig. 21 und 22 ergibt sich des Weiteren, dass durch Staudruck vorverdichtetes Gas in die Verbrennungskammern 362, 364 strömen kann. Hierzu kann nach dem Ausführungsbeispiel der Fig. 21 das die Durchgangsöffnung 366 verschließende Zylinderelement 373 als Hohlzylinder, also Rohr ausgebildet sein. Bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 22 ist das die Verbrennungsräume 362, 364 umgebende Gehäuse 354 doppelwandig ausgebildet, so dass ein Ringraum 355 entsteht, über den die benötigte vorverdichtete Luft den Verbrennungsräumen 362, 364 zugeführt wird.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Fig. 25 bis 27, die – wie jede der den einzelnen Figuren zu entnehmenden Ausführungsformen – eigenerfinderischen Gehalt aufweisen.

Die Darstellungen der Fig. 25 und 26 beziehen sich auf Antriebe insbesondere für die Luft- und Raumfahrt, ohne dass hierdurch eine Beschränkung erfolgen soll. Die Fig. 25 – wie auch die Fig. 26 und 27 – umfassen Freikolbenmotoren 416, 418, 420, 422, die entsprechend der Darstellungen bzw. der Erläuterungen der Fig. 14 mehrere Kolben 420, 422, 424, 426 umfassen, die auf der Umfangsfläche eines Zylinders angeordnet sind, so dass sich eine sogenannte Ringanordnung ergibt. Dabei können die Kolben 420, 422 vom Aufbau und Funktion denen der Fig. 1 entsprechen. Die Kolben 424, 426 weisen im Schnitt eine H-Form auf, wie diese im Zusammenhang mit der Fig. 21 erläutert worden ist. Andere geeignete Geometrien sind gleichfalls möglich.

Die Ringanordnung der Kolben 420, 422 umgeben einen Elektromotor 428, von dessen Welle 430 eine erste und eine zweite Turbine 432, 434 mit feststehendem Rad 436, 438 und laufendem Rad 440, 442 ausgehen. Die Turbinen 430, 432 sind zu beiden Seiten des Motors 428 auf der Welle 430 angeordnet.

Bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 25 umgeben die Kolben 424, 426 des Freikolbenmotors 418 einen Verdichter 444, insbesondere einer zuvor beschriebenen Bauart, von dessen Welle 446 zum einen ein Turbinenrad 448 und zum anderen ein Rad 450 eines Gebläses ausgehen. Das Gebläse des Gebläserades 450 führt Luft einem Ringraum 452 zu, das die Kolbenanordnung des Freikolbenmotors 418 koaxial umgibt. Durch eine diesbezügliche Konstruktion erhält man ein Turbofantriebwerk. Zum Betreiben der Freikolben des Freikolbenmotors 418 werden die nicht näher bezeichneten, sich jedoch aus der Zeichendarstellung klar erkennbaren Verbrennungsräume der Kolben 424, 426 bevorzugterweise mit Dieselkraftstoff beschickt.

Eine der Fig. 26 entsprechende Anordnung bezüglich des Freikolbenmotors und des Verdichters sowie der Turbine ist der Fig. 27 zu entnehmen, so dass gleiche Bezugszeichen verwendet werden.

Die Verdichterwelle 446, die die Funktion einer Abtriebswelle ausübt, ist über ein vorzugsweise Stufengetriebe 450 mit einer Welle 452 verbunden, um einen mechanischen Antrieb zur Verfügung zu stellen. Das Stufengetriebe 450 kann jedoch selbstverständlich auch durch einen hydrostatischen, hydrodynamischen oder sonstigen mechanischen Wandler ersetzt werden.

Ein als Vielstoffmotor ausgebildeter Energiewandler gemäß Fig. 28 kann z.B. als Blockheizkraftwerk eingesetzt werden, wobei Prozesswärme durch Wärmetauscher abgeführt wird. Entsprechend den Erläuterungen zu der Fig. 25 wird ein Generator 456 koaxial von Zylinderräumen 458, 460 umgeben, in denen Kolben 462, 464 hin- und herschwingbar sind, also eine Ringanordnung von Freikolbenmotoren vorliegt, wie diese im Zusammenhang mit der Fig. 14 beschrieben worden ist.

Von der Welle 466 des Elektromotors 456 geht ein Turbinenrad 468 aus. Auf der gegenüberliegenden Seite ist auf der Welle 466 ein Verdichter 470 vorgesehen, über den die Verbrennungsräume der Freikolbenmotore, also die Zylinderräume 458, 460 mit vorverdichteter Luft beaufschlagt werden. Hierzu strömt die von dem Verdichter 470 kommende Luft vorzugsweise in einen Ringraum 472, der über die zeichnerisch dargestellten Gaseinlassöffnungen in Verbindung steht, die zu den einzelnen Verbrennungsräumen führen. Vor dem Ringraum 472 kann des Weiteren über eine Leitung 474 Zapfluft entnommen werden, die einem Verbraucher, wie z. B. einer Klimaanlage zugeführt wird.

Ferner kann der Generator 456 in einem Frequenzumrichter 476 angeschlossen sein. Insoweit wird jedoch auf hinlängliche bekannte Techniken verwiesen.

Der Rotordurchmesser der Turbine in der Anordnung gemäß Fig. 28 kann einen Durchmesser zwischen 20 cm und 30 cm aufweisen und eine Leistung von 200 kW bis 250 kW erzeugen, um nur rein beispielhaft Zahlenwerte anzugeben. Es werden nur zwei Lagerstellen wie Magnet- oder Luftlager benötigt.

Den Fig. 29 und 30 ist eine weitere Ausführungsform eines Energiewandlersystems zu entnehmen, das einen Freikolbenmotor 478 umfasst, dessen Kolben 480 im Schnitt eine H-Form aufweist, wie diese im Zusammenhang mit dem Ausführungsbeispiel der Fig. 21 erläutert worden ist. Mit anderen Worten weist der Kolben 480 zwei äußere Kolbenscheiben 482, 484 auf, die über ein Verbindungselement vorzugsweise in Form eines Zylinders 486 miteinander verbunden sind. Der Kolben 480 unterteilt entsprechend der erfindungsgemäßen Lehre einen Zylinderraum 488 in zwei Verbrennungsräume oder -kammern 490, 492, denen vorverdichtete Luft über Einlässe 494, 496 von jeweils einem Verdichter 498, 500 zugeführt wird. Die Verdichter 498, 500 gehen von einer gemeinsamen Welle 502 aus, die über einen Elektromotor 504 antreibbar ist. Auch durch eine diesbezügliche Anordnung kann die Verdichtung während des Betriebs des Freikolbenmotors 478 frei bestimmt werden, und zwar unabhängig davon, in welchem Maß und in welchem Umfang den Verbrennungsräumen 490, 492 vorverdichtete Luft zugeführt wird. Gleiches gilt für die übrigen Beispiele.
Der Zylinderraum 488 weist einen Auslass 505 auf, der mit einer Turbinenanordnung 506 verbunden ist, die eine stufenweise Verbrennung ermöglicht. So weist die Turbinenanordnung 506 zwei stehende Räder 508, 510 auf, denen laufende Räder 512, 514 zugeordnet sind. Die Räder 512, 514 gehen von einer gemeinsamen Welle 516 aus, auf der ein Generator bzw. der Läufer 518 eines Generators befestigt ist. Insoweit wird auf die Erläuterungen in den vorausgegangenen Ausführungsbeispielen verwiesen. Ergänzend zu diesen ist in den Fig. 29 und 30 das Einspritzen von Kraftstoff in die Turbinen angedeutet.

Die den Fig. 29 und 30 zu entnehmenden Ausführungsbeispiele sollen verdeutlichen, dass der Turbinenanordnung 506 ein Gasstrom im Wesentlichen kontinuierlich zugeführt wird, ohne dass es zu großen Pulsationen kommt. Es ist eine Optimierung des Massendurchsatzes möglich, wobei zusätzlich eine Innenkühlung des Kolbens 480 sowie auf einfache Weise eine Nachoxidation ermöglicht wird.

Die Innenkühlung des Kolbens wird dadurch erreicht, dass in Abhängigkeit von der Stellung des Kolbens 480 der zwischen den Kolbenscheiben 482, 484 vorhandene Zwischenraum 520 eine Verbindung zwischen den Eintrittsöffnungen 494, 496 und der

Austrittsöffnung 505 während des Verdichtens des Kraftstoffgasgemisches in den Verbrennungskammern 492, 494 bzw. beim Entspannen ermöglicht. So zeigt die Fig. 29, dass während des Verdichtens des Kraftstoffgasgemisches in der Kammer 490 über die Einlassöffnung 496 eine Verbindung zum Auslass 505 über die Verbrennungskammer 492 besteht. Bewegt sich der Kolben 480 nach rechts, so wird durch die Kolbenscheibe 484 zwar die Einlassöffnung 496 kurzzeitig abgesperrt, ohne dass jedoch die Verbindung zum zur Turbinenanordnung 506 strömenden Gas unterbunden wird; denn beim Absperren der Einlassöffnung 496 wird über den Innenraum 520 des Kolbens 480 eine Verbindung zur Turbinenanordnung 506 hergestellt. Entsprechend wird dann, wenn die in der Zeichnung links dargestellte Kolbenscheibe 482 den Einlass 494 absperrt, eine Verbindung über die Einlassöffnung 496, den Innenraum 520 und die Auslassöffnung 504 ein Durchgang zur Turbinenanordnung 506 geöffnet.

Den insbesondere den Fig. 25 bis 28 zu entnehmenden Ringanordnungen von Freikolbenmotoren ist anzumerken, dass die Zylinderzahl den Anforderungen entsprechend gewählt werden kann. Dabei besteht die Möglichkeit, die einzelnen Zylinder individuell zu- bzw. abzuschalten. In diesem Zusammenhang wird auf die Darlegungen im Zusammenhang mit der Fig. 14 verwiesen.

Patentansprüche

Freikolbenmotor

1. Freikolbenmotor, der druckgasmäßig sowohl mit einem Vorverdichter (14, 54, 58, 90, 92, 124, 154, 244, 258, 260, 304, 444, 470, 498, 500) als auch einer Turbine (16, 78, 302, 432, 434) verbunden ist,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Freikolbenmotor (18, 52, 84, 108, 126, 130, 133, 160, 222, 236, 253, 318, 478) zumindest einen in einem Zylinderraum (74, 196, 198, 200, 202, 204, 206, 208, 210, 458, 460, 488) hin und her bewegbaren und diesen in zwei Verbrennungskammern (136, 138, 144, 146, 292, 294, 490, 492, 38, 336, 338, 362, 364, 394, 396, 398, 400; 266, 267, 270, 271) unterteilenden Kolben (20, 50, 72, 110, 128, 132, 134, 162, 164, 166, 168, 170, 172, 280, 316, 356, 358, 390, 392, 420, 422, 424, 426, 462, 464, 480) aufweist und dass der Vorverdichter elektrisch und/oder abgasunterstützt betätigbar ist.

2. Freikolbenmotor nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass der Kolben (20) von dessen freien Stirnflächen (24, 26) ausgehende Kolbenstangen (28, 30) aufweist, die druckgasmäßig mit der Turbine (16) verbundene Gasaustrittsöffnungen (32, 34) in Abhängigkeit von der Stellung des Kolbens freigeben oder verschließen.

3. Freikolbenmotor nach Anspruch 1 oder 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass Gasaustrittsöffnungen (32, 34) der Verbrennungskammern (36, 38) über Magnetventile (46, 48) verschließbar sind.

4. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Verdichter (54) auf einer Welle (60) eines Elektromotors (56) angeordnet ist.

5. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass den Verbrennungskammern (292, 294) über einen mehrstufigen Verdichter (296) Gas zuführbar ist.

6. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass von der Welle (60) des Elektromotors (56) eine Turbine (78) ausgeht, die druckgasmäßig mit den Auslassöffnungen (76) der Verbrennungskammern (36, 38) verbunden ist.

7. Freikolbenmotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Welle (60) der Turbine (78) in Welle eines Generators übergeht oder Abschnitt dieser ist.

8. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auslassöffnungen (76) der Verbrennungskammern (36, 38) ventillos in Abhängigkeit von der Stellung des Kolbens geöffnet oder verschlossen sind.

9. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kolben (110) von einer vorzugsweise koaxial zu dessen Längsachse (122) verlaufender Durchgangsöffnung (120) durchsetzt ist, die in Hohlwellen- bzw. Rohrabschnitte (116, 118) übergehen, die Öffnungen in Stirnwandungen

(112, 114) des Zylinderraums (74) des Freikolbenmotors (108) durchsetzen und gegenüber diesen abgedichtet sind.

10. Freikolbenmotor nach zumindest Anspruch 9,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Hohlwellen- bzw. Rohrabschnitte (116, 118) mit einem Kühlmedium durchströmbar sind.

11. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Kolben (128) abschnittsweise als Magnet ausgebildet ist oder einen solchen aufweist und dass den Kolben aufnehmender Zylinderraum (74) im Bewegungsbereich des Magneten von zumindest einer Spule (129, 131) umgeben ist.

12. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Verdichter ein Roots-Gebläse (125) oder ein Flügelzellen- oder Schraubenverdichter (127) ist.

13. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Freikolbenmotor (130, 133) zwei gegensinnig bewegende Kolben (132, 134, 162, 164, 166, 168, 170, 172) aufweist.

14. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die gegensinnig zueinander sich bewegenden Kolben (132, 134, 162, 164, 166, 168, 170, 172) gasdynamisch verbunden sind.

15. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Verbrennungsraum neben der zu dem Verdichter führenden Verbindung ein Druckluftanschluss mündet.

16. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Freikolbenmotor (160) zwei Gruppen (161, 163) von Kolben (162, 164, 166, 168, 170, 172) aufweist, wobei die Kolben einer Gruppe gleichsinnig und die Gruppen gegensinnig zueinander hin und her bewegbar sind.

17. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegung der Gruppen (161, 163) zueinander regelbar ist.

18. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Freikolbenmotor mehrere entlang einer gemeinsamen Zylinderumfangsfläche hin und her bewegbare Kolben umfasst, deren Verbrennungsräume gemeinsam mit einem oder mehreren Verdichtern verbunden sind und die Gasaustrittsöffnungen (214) der Verbrennungsräume untereinander verbunden sind.

19. Freikolbenmotor nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen Verbrennungsräumen (214) benachbarter Kolben eine Verbindung verläuft, die über ein Ventil absperrbar ist.

20. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den in Gruppen (161, 163) gegensinnig zueinander bewegbaren Kolben (162, 164, 166, 168, 170, 172) ein mit Ein- und Auslass (232, 234) ver-

sehener, von mit dem Kolben mitbewegbaren Kolbenscheiben (226, 228) begrenzter Raum (230) innerhalb des Motorgehäuses verläuft.

21. Freikolbenmotor nach zumindest Anspruch 18,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Einlass (232) des Raums (230) mit einem oder dem Verdichter (12) und der Auslass (234) mit den Verbrennungskammern verbunden ist.

22. Freikolbenmotor nach zumindest Anspruch 18,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Raum (230) ein Pumpenraum ist.

23. Freikolbenmotor nach zumindest Anspruch 16,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Kolben (162, 164, 166, 168, 170, 172) einer Gruppe (161, 163) durch eine Kolbenstange (218, 220) verbunden sind, die als Hohlwelle ausgebildet ist.

24. Freikolbenmotor nach zumindest Anspruch 23,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Hohlwelle (218, 220) mit einem Kühlfluid beaufschlagbar ist.

25. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Kolben zwei zueinander beabstandete Zylinderscheiben umfasst, deren Zwischenraum mit der Hohlwelle (218, 220) verbunden ist.

26. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass von der Kolbenstange (218, 220) ein Magnet ausgeht, die von zumindest einer Spule (251) umgeben ist.

27. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Zylinderraum eine einzige wirksame Gaseinlassöffnung aufweist, dass der Kolben (316) zwei zueinander beabstandete vorzugsweise umlaufende Nuten (320, 322) aufweist, dass von jeder Nut zumindest ein innerhalb des Kolbens und in dessen Längsrichtung verlaufender nutnaheliegende Stirnseite (324, 326) des Kolbens durchsetzender Kanal (328, 330, 332, 334) ausgeht und dass die Nuten derart positioniert sind, dass jeweils in einer Totpunktlage des Kolbens eine der Nuten mit der Gaseinlassöffnung (340) in Verbindung steht.

28. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbrennungskammern (292, 294) des Freikolbenmotors (253) mit einem Vorverdichter (403) druckgasmäßig verbunden ist, der von einer Welle (300) eines Generators bzw. Elektromotors ausgeht, und dass auf der Welle ein Turbinenrad einer weiteren Turbine (302) angeordnet ist, die druckgasmäßig mit den Gasauslassöffnungen (308, 310) der Verbrennungskammern (292, 294) verbunden ist.

29. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei abgasunterstützter Vorverdichtung eine Kraftstoffzuführung (414) in einer Leitung (412) mündet, die die Auslassöffnungen (408) der Verbrennungskammern (394, 396, 398, 400) mit der weiteren Turbine verbindet.

30. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass von jeder Stirnseite des Kolbens (280) des Freikolbenmotors (253) eine Kolbenstange (276, 277) ausgeht, dass von jeder Kolbenstange eine jeweils einen Abschnitt des Zylinders (282) des Freikolbenmotors in einen ersten und einen zweiten Vorverdichtungsraum (266, 267, 270, 271) unterteilende Kolbenscheibe (272, 274) ausgeht, dass in Bezug auf den Kolben die außenliegenden

Vorverdichtungsräume (266, 270) und die innenliegenden Verdichtungsräume jeweils untereinander verbunden sind und dass die Vorverdichtungsräume mit den Verbrennungskammern (292, 294) verbunden sind.

31. Freikolbenmotor nach zumindest Anspruch 30,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Vorverdichtungsräume (266, 267, 270, 271) mit den Verbrennungskammern (292, 294) über einen Druckspeicher (288) verbunden sind.

32. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Freikolbenmotor in einem Strahlantrieb mit Strahlaustrittsöffnung angeordnet ist, dass der Freikolbenmotor einen in Längsrichtung des Strahlantriebs hin und her schwingbaren eine erste und eine zweite Verbrennungskammer (362, 364) begrenzenden Kolben (356, 358) umfasst, der eine in axialer Richtung verlaufende Durchgangsöffnung (366) aufweist, dass von strahlaustrittsöffnungsseitig verlaufender Stirnfläche (376) des Kolbens ein in die Durchgangsöffnung übergehender Hohlzylinder (378) ausgeht, der in Abhängigkeit von der Stellung des Kolbens strahlaustrittsöffnungsseitig verlaufenden ersten Verbrennungsraum (374) gegenüber der Strahlaustrittsöffnung freigibt oder absperrt, und dass in der zweiten Verbrennungskammer (362) ein axial verlaufender Zylinderkörper (373, 374) angeordnet ist, der in Abhängigkeit von der Stellung des Kolbens dessen Durchgangsöffnung freigibt oder absperrt.

33. Freikolbenmotor nach zumindest Anspruch 32,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Zylinderkörper (373) ein der zweiten Verbrennungskammer (362) vorverdichtete Luft (Staudruck) zuführender Hohlzylinder ist.

34. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die die Verbrennungskammern (362, 364) umgebende Wandung (356) des Freikolbenmotors zumindest abschnittsweise von einem Ringraum (355) umgeben ist, über den vorverdichtete Luft (Staudruck) der ersten und/oder zweiten Verbrennungskammer (362, 364) zuführbar ist.

35. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Freikolbenmotoren mit gegensinnig schwingenden Kolben (390, 392) in einem Strahlantrieb angeordnet sind und dass Gasaustrittsöffnungen (404, 406) der Verbrennungskammern (394, 396, 398, 400) der Freikolbenmotoren in einem Ringraum (408) des Strahlantriebs münden, der in die Strahlaustrittsöffnung (410) übergeht.

36. Freikolbenmotor nach zumindest Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Ringraum (408) eine Kraftstoffzuführung vorgesehen ist.

37. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zum Antrieb insbesondere für ein Luftfahrzeug mehrere Freikolbenmotoren auf der Umfangsfläche eines Zylinders angeordnet sind, dass die Umfangsfläche koaxial zu einem Generator (428) oder Verdichter (444) verläuft und dass von der Welle (430, 446) des Generators bzw. des Verdichters ein Turbinenrad (440, 442, 448) ausgeht.

38. Freikolbenmotor nach zumindest Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, dass zu beiden Seiten des Generators (428) bzw. Verdichters (44e) von dessen Welle (430, 446) ein Rad (442, 444) einer Turbine (432, 434) ausgeht.

39. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kolben (480) im Schnitt eine H-Geometrie mit zwei äußeren Kolbenscheiben (482, 484) und diese verbindendem Element wie Zylinder (486) aufweist.

40. Freikolbenmotor nach zumindest Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, dass die Kolbenscheiben (482, 484) einen Innenraum (520) des Kolbens (480) begrenzen und dass über den Innenraum eine Verbindung zwischen Gaseinlass (494, 496) des oder der Verbrennungskammern (490, 492) des Freikolbenmotors (478) und dessen bzw. deren Verbrennungsgasauslass (505) besteht.

41. Freikolbenmotor nach zumindest Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, dass jede Verbrennungskammer (490, 492) einen gesonderten Gaseinlass (494, 496) aufweist und dass in Abhängigkeit von der Stellung des Kolbens (480) einer der Gaseinlässe oder beide Gaseinlässe mit dem Verbrennungsgasauslass (505) verbunden ist bzw. sind.

42. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass auf einer Seite des Generators (448) bzw. des Verdichters (444) von dessen Welle (430, 446) ein Gebläserad (450) und von der anderen Seite ein Turbinenrad (448) ausgehen.

43. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Welle (446) des Generators (428) bzw. des Verdichters (444) eine Abtriebswelle ist, die über Stufengetriebe, einen hydrostatischen oder hydrodynamischen Wandler oder einen sonstigen mechanischen Wandler mit einer Antriebswelle (452) in Wirkverbindung steht.

44. Freikolbenmotor nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass auf der einen Seite des Generators (428) bzw. des Verdichters (444) von dessen Welle (430, 446) ausgehend ein Turbinenrad (468) und auf der anderen Seite ein Verdichter (470) angeordnet sind, der mit einem von eine Ringanordnung bildenden Freikolbenmotoren umgebenden Ringraum (472) verbunden ist, der zum einen mit den Verbrennungskammern der Freikolbenmotoren und zum anderen mit einem Zapfluftauslass (474) verbunden ist.

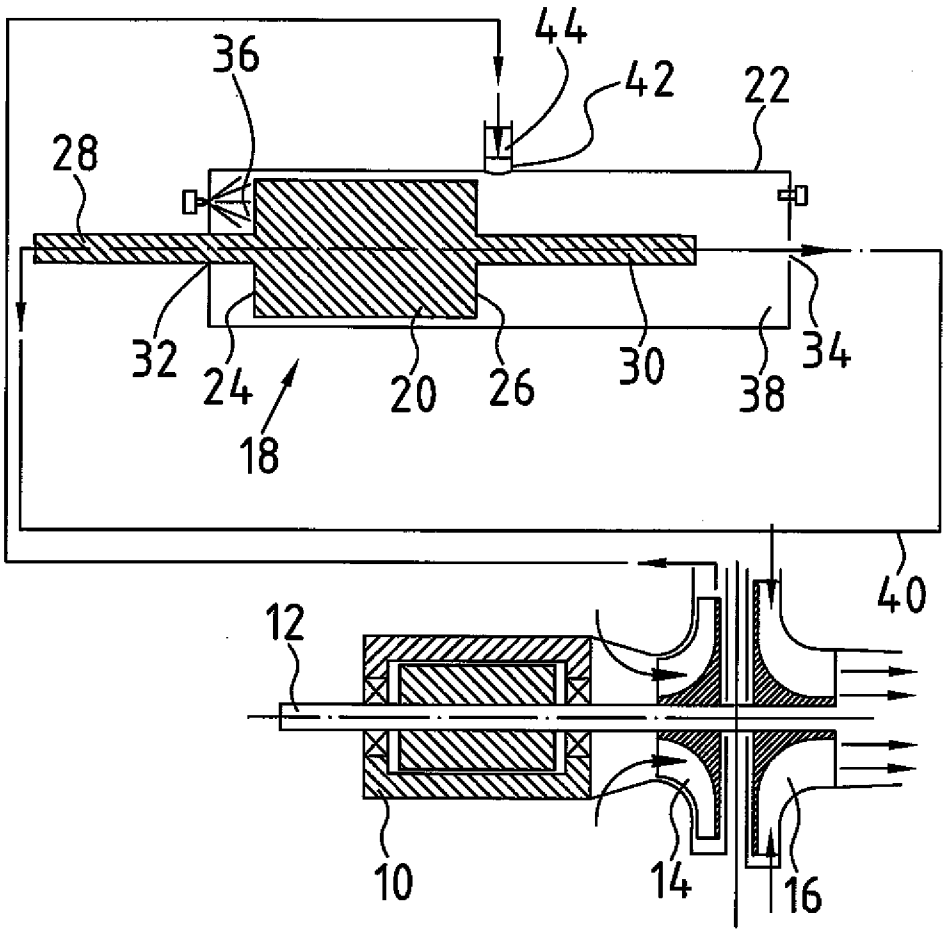


Fig.1

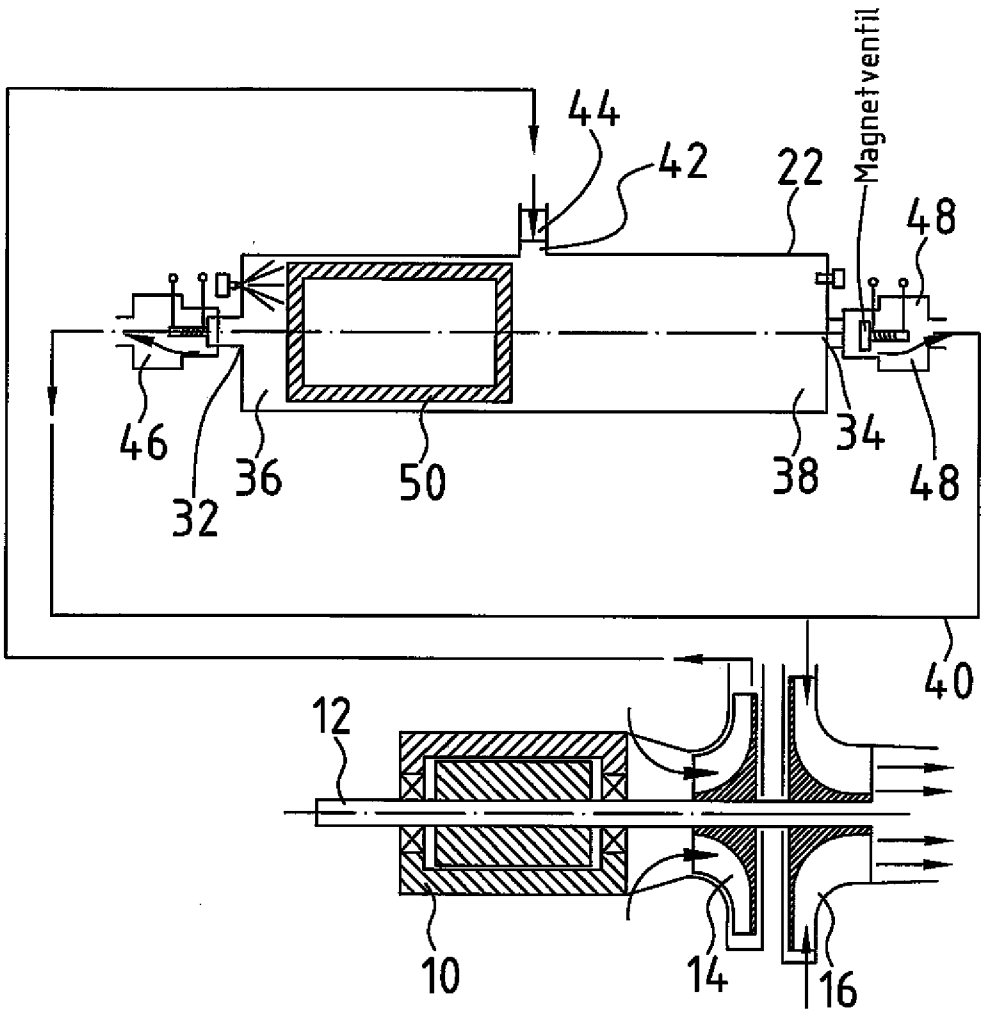


Fig.2

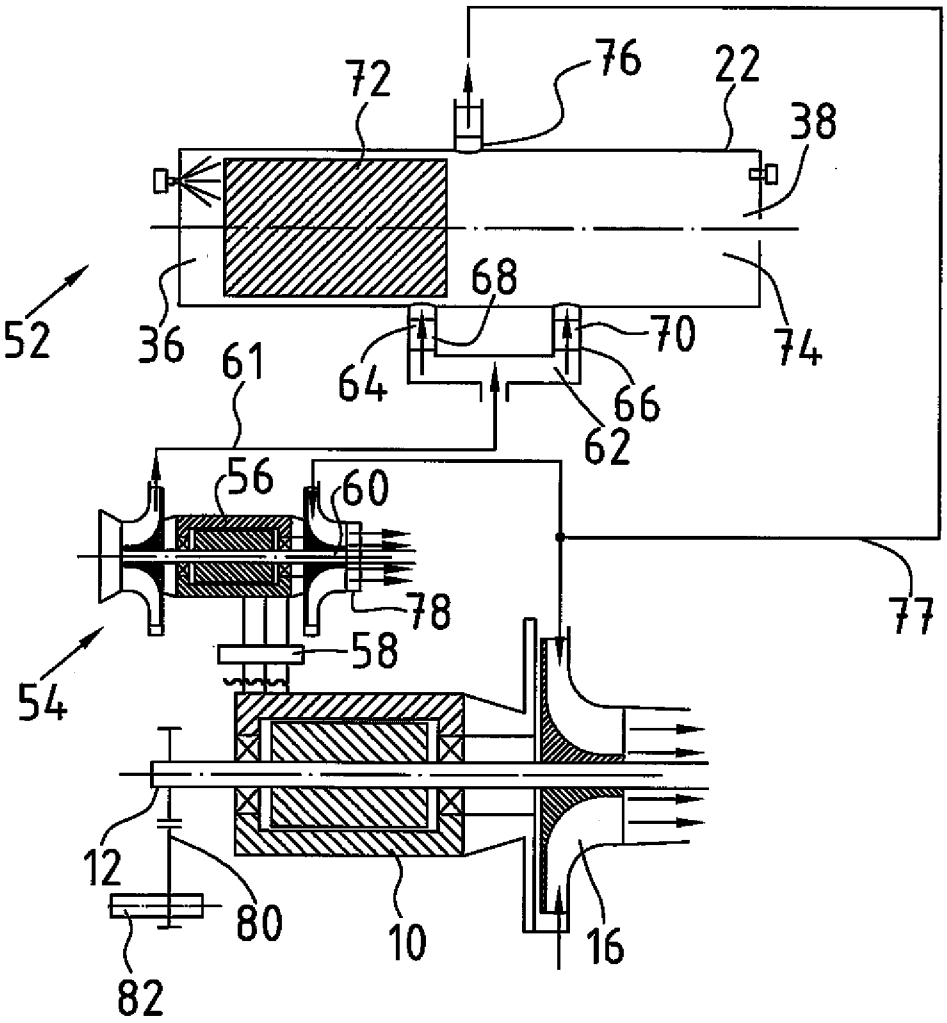


Fig.3

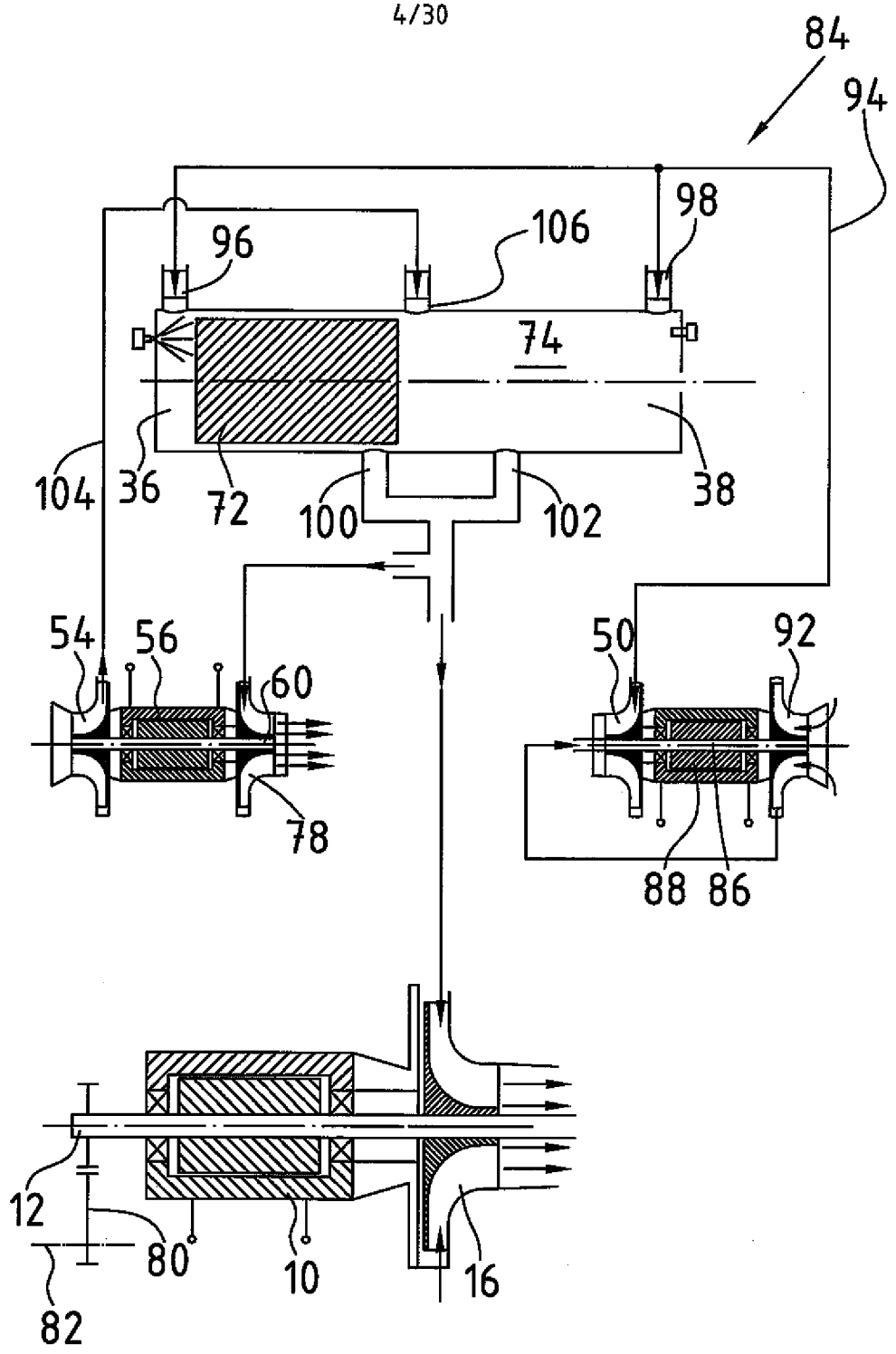

84
94
98
106
96
74
104
36
72
100
102
38
54
56
60
50
92
78
88
86
12
80
10
16
82

Fig.4

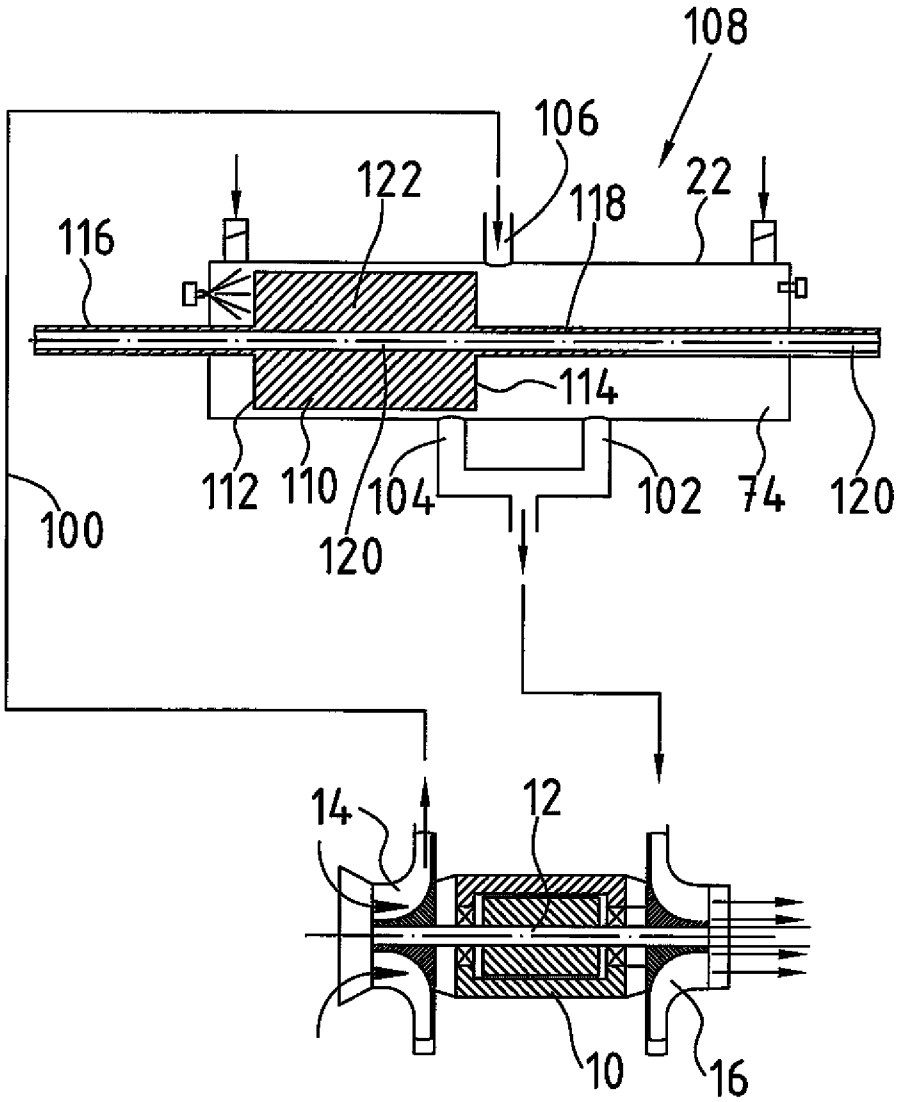

108
106
122
118
22
116
114
112
110
104
102
74
120
100
120
14
12
10
16

Fig.5

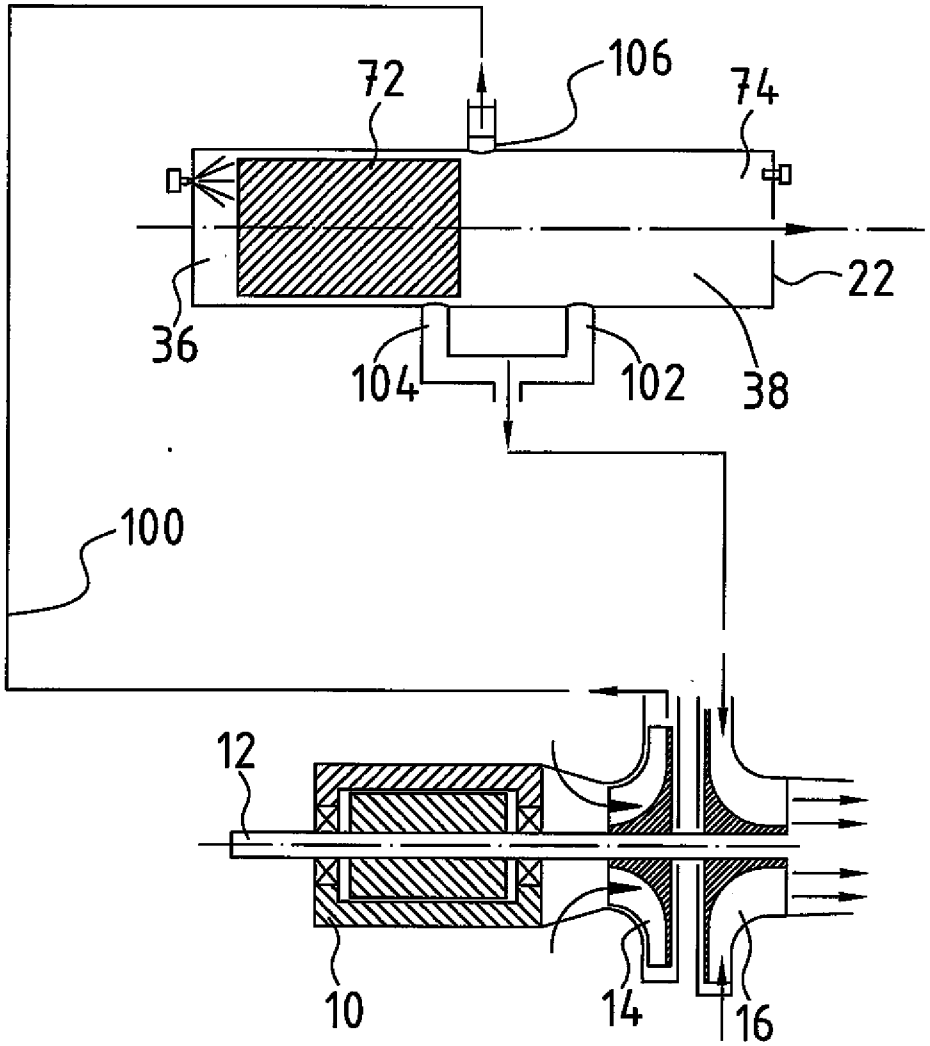


Fig.6

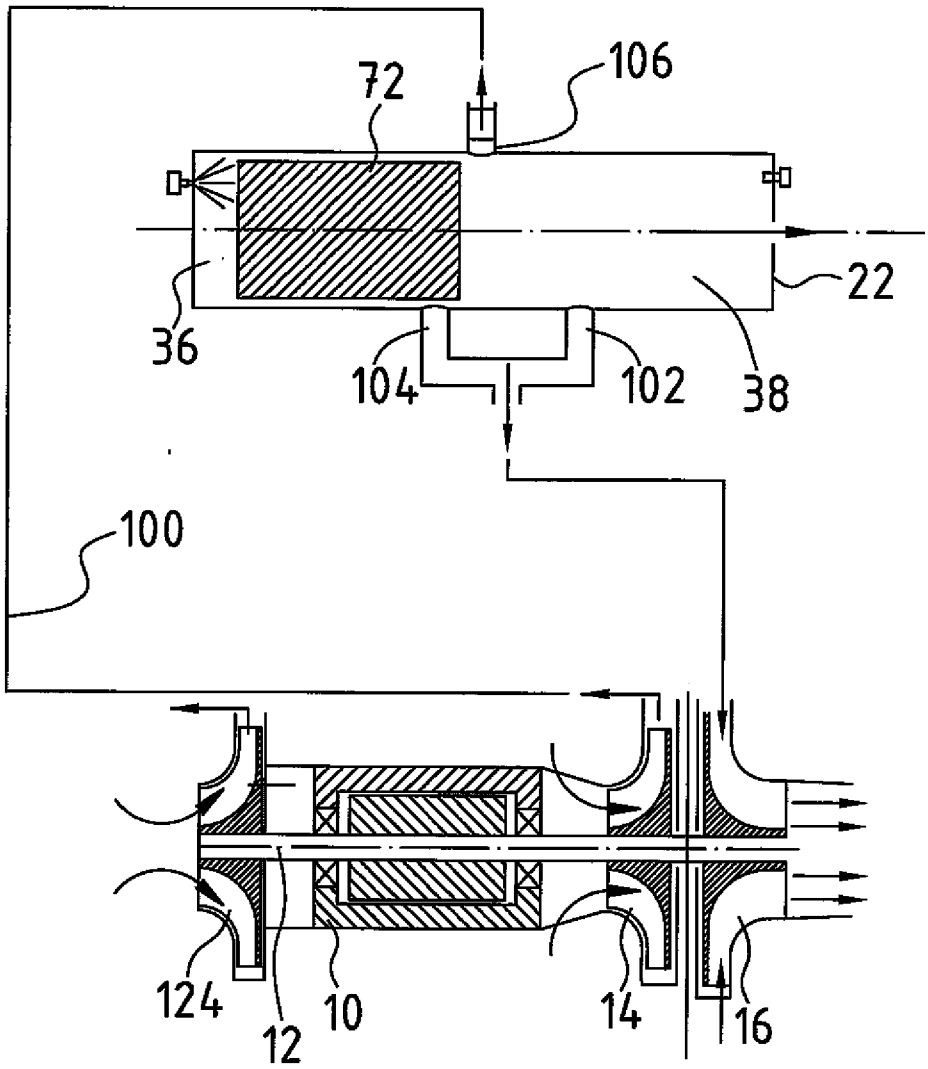


Fig.7

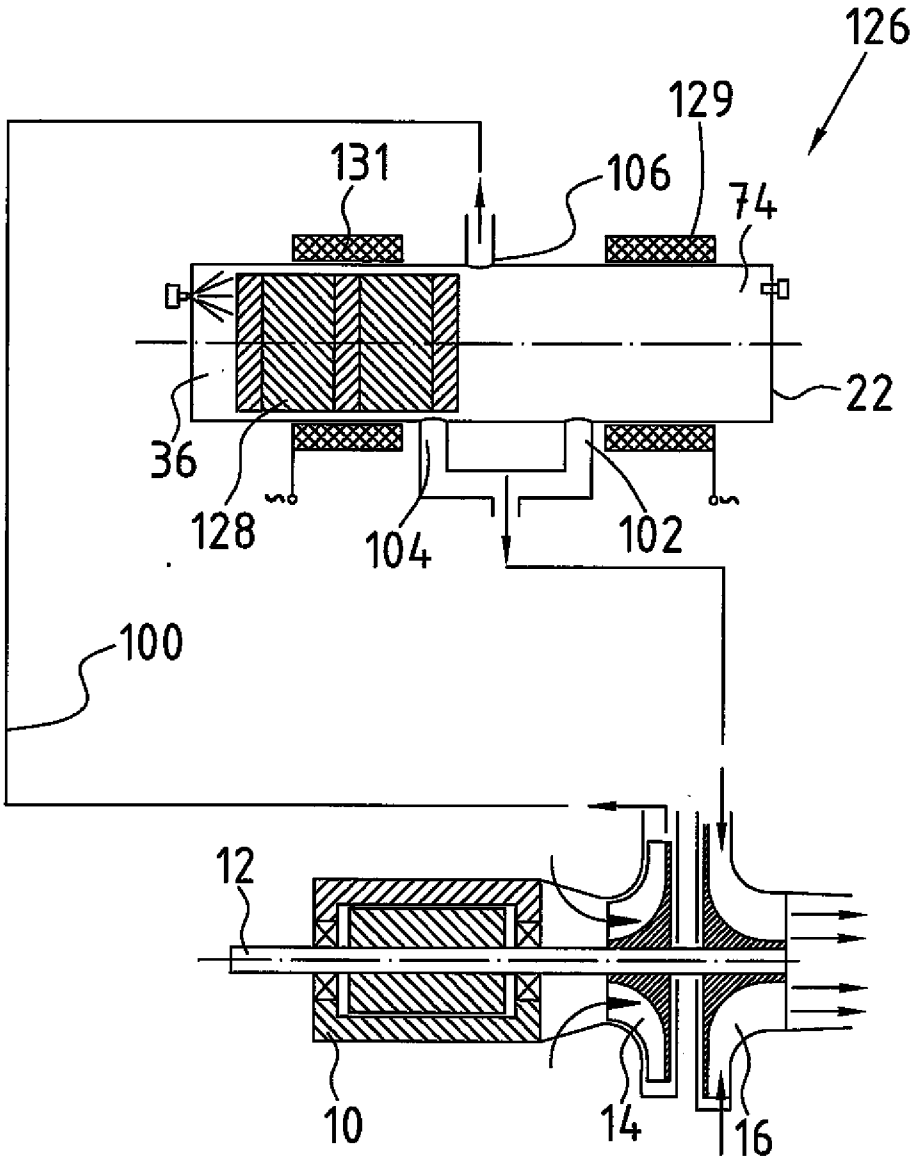


Fig.8

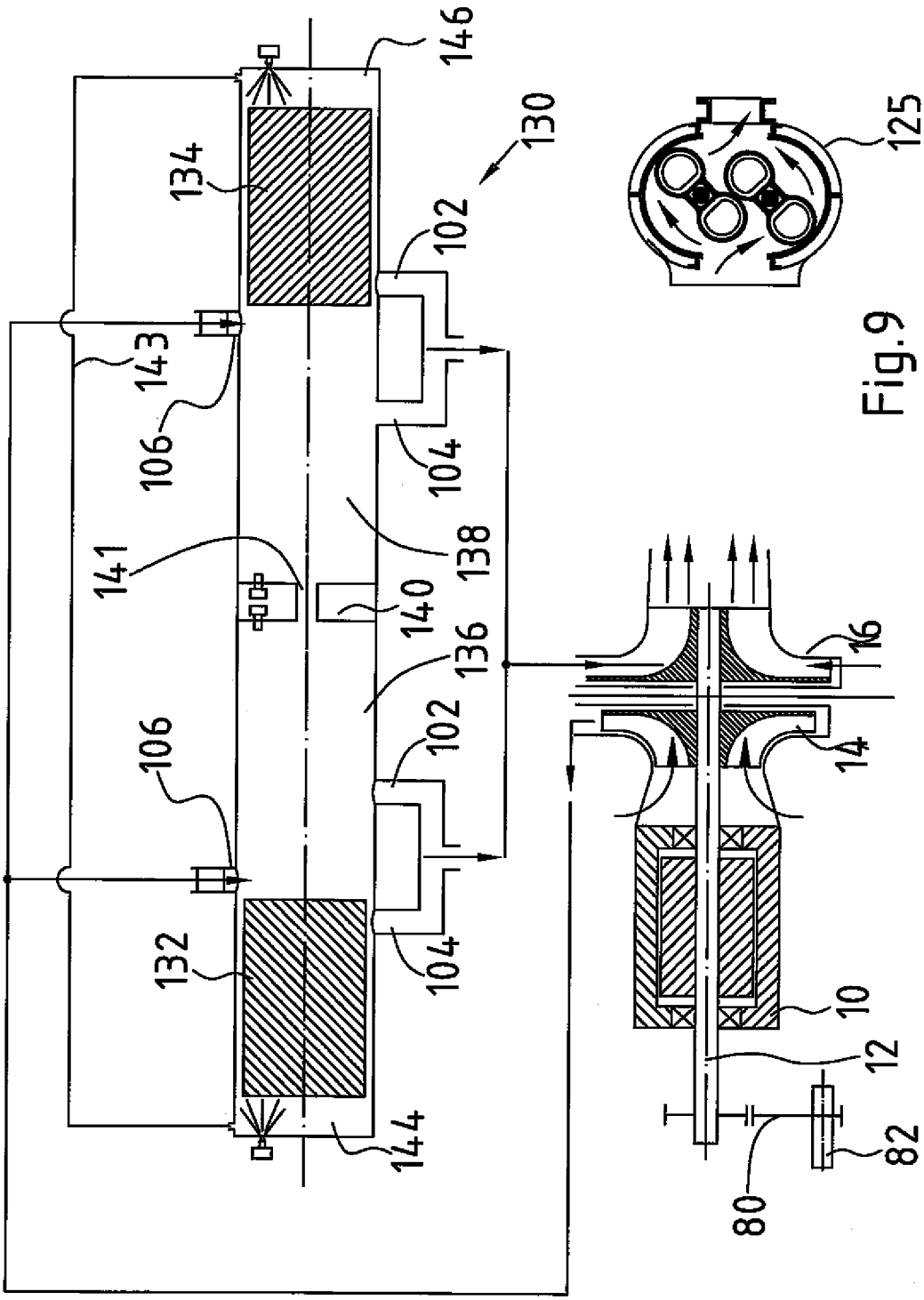

146
130
134
102
125
143
106
104
141
138
140
136
16
106
102
14
132
104
10
12
144
82
80

Fig.9

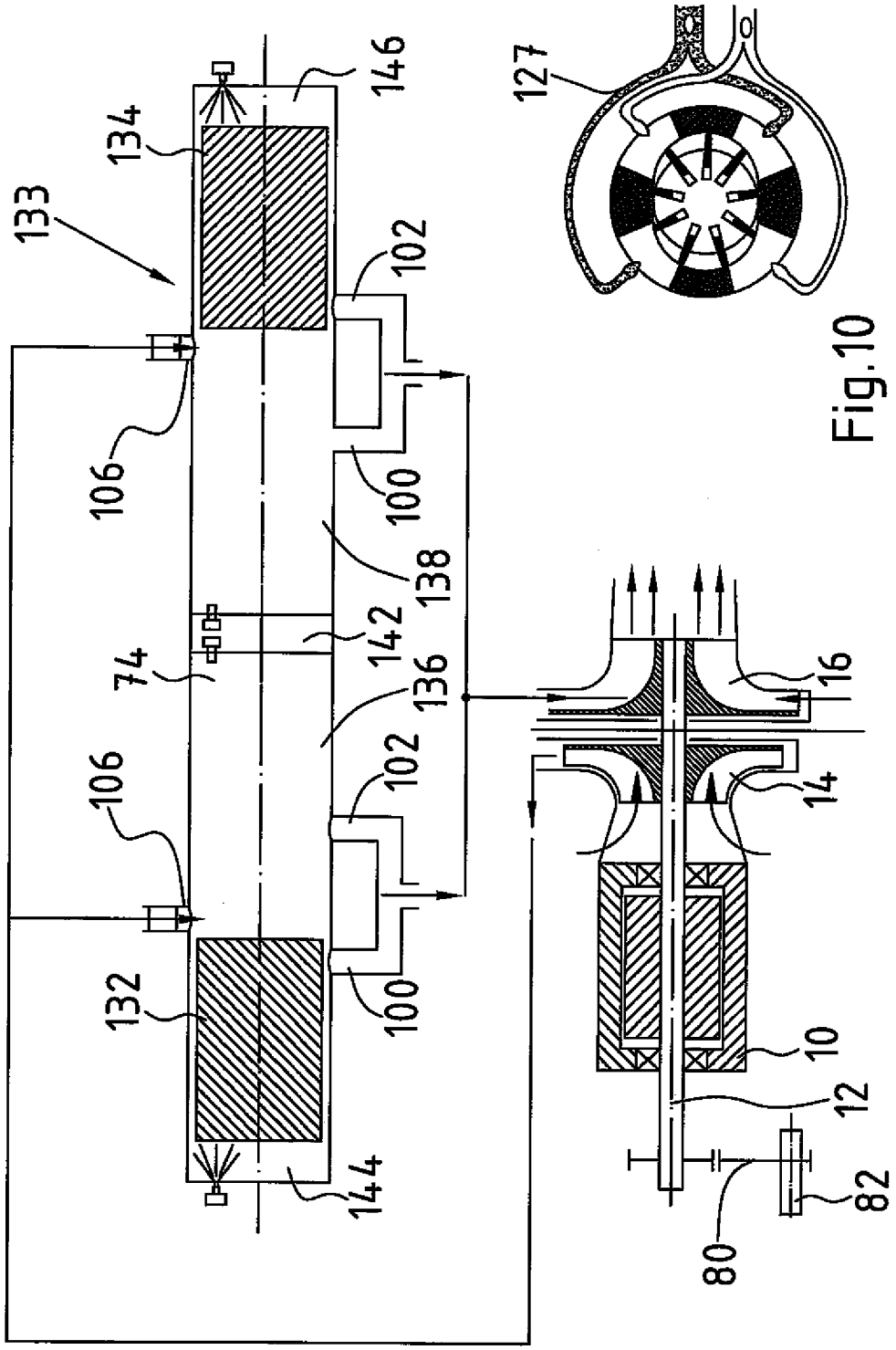

127
146
134
133
102
106
100
138
142
74
136
16
106
102
14
132
100
10
12
144
82
80

Fig.10

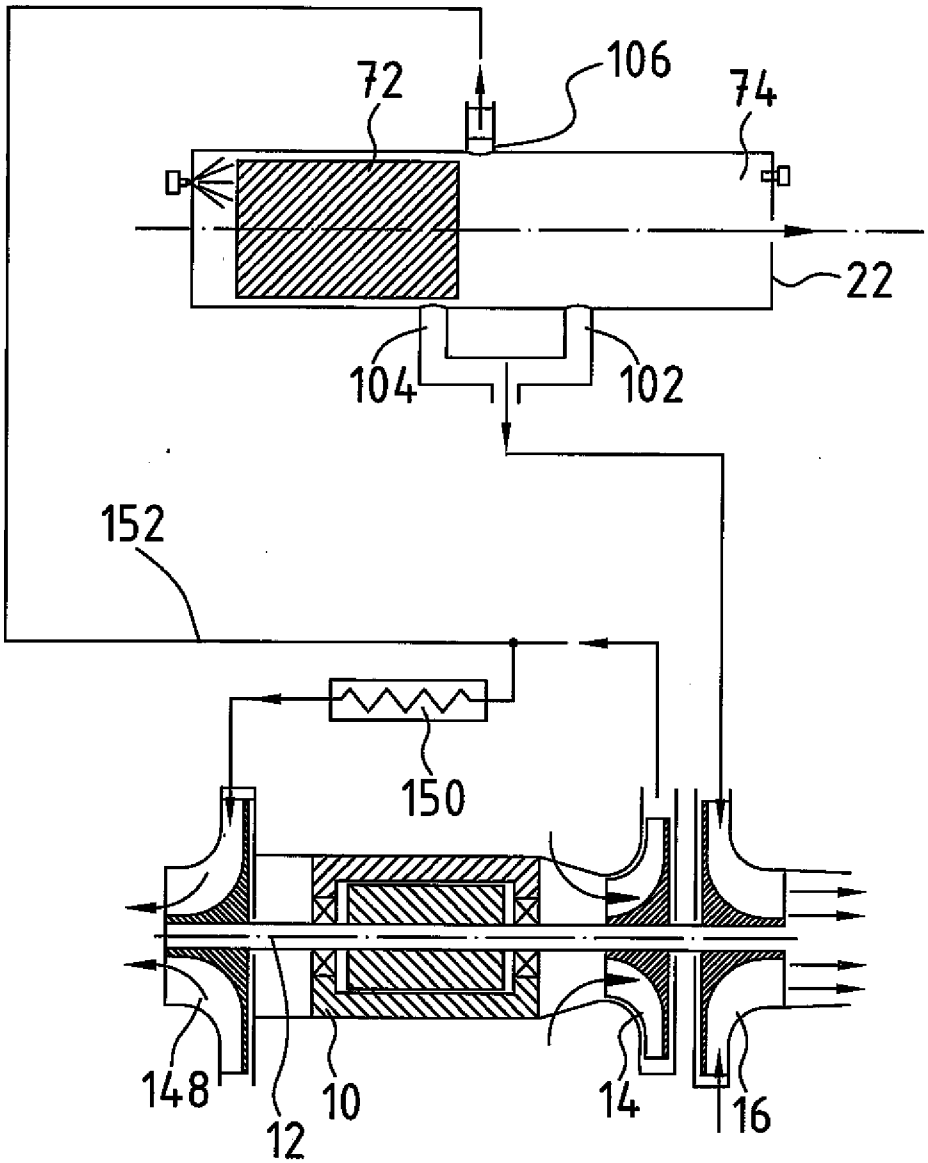


Fig.11

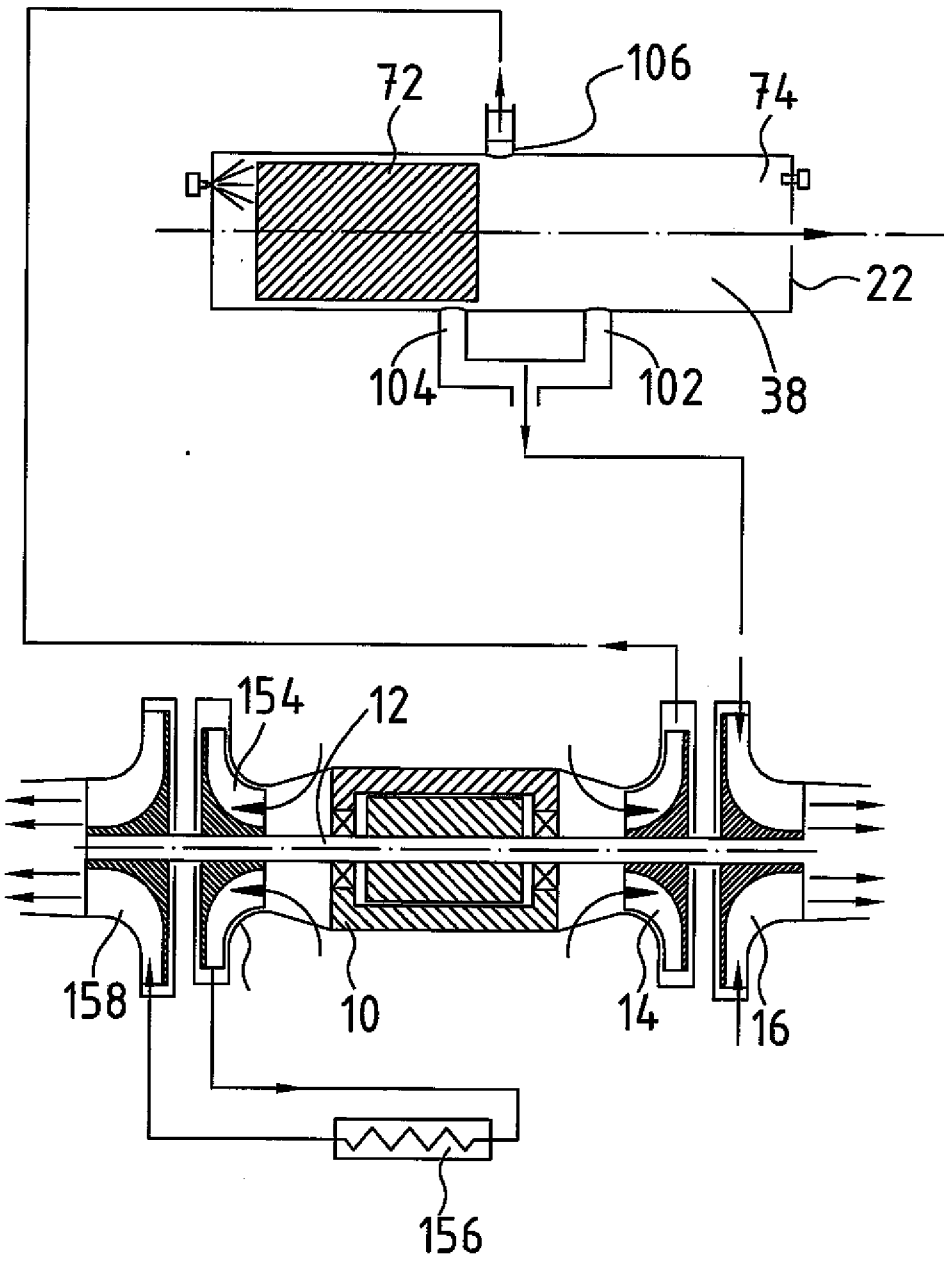


Fig.12

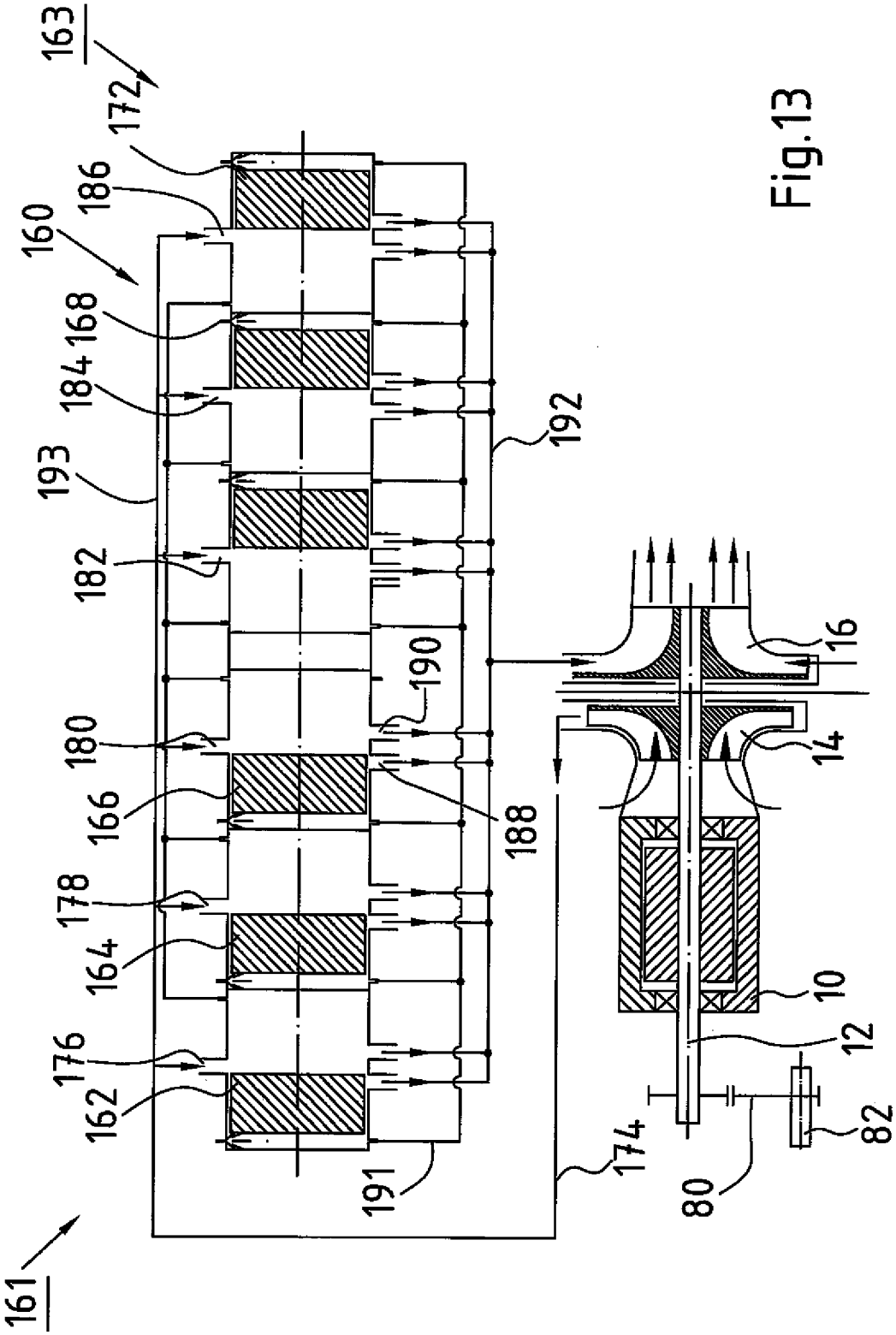

163
172
186
160
168
184
193
182
180
166
178
164
176
162
161
191
192
190
188
174
80
82
12
10
14
16

Fig.13

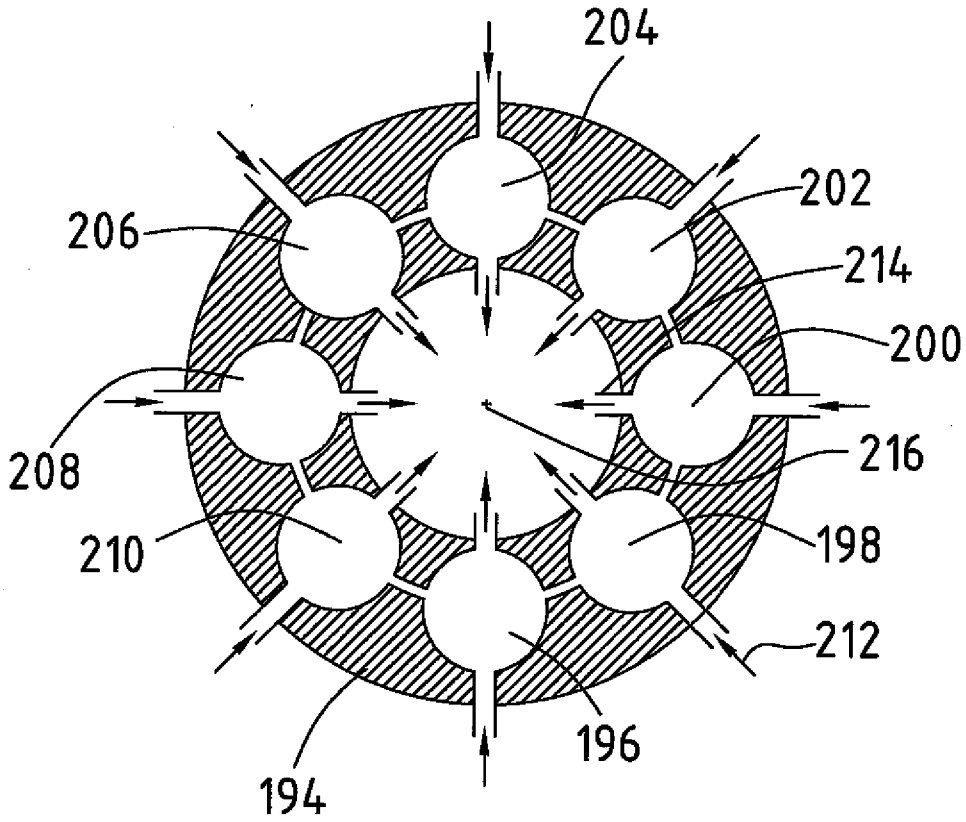


Fig.14

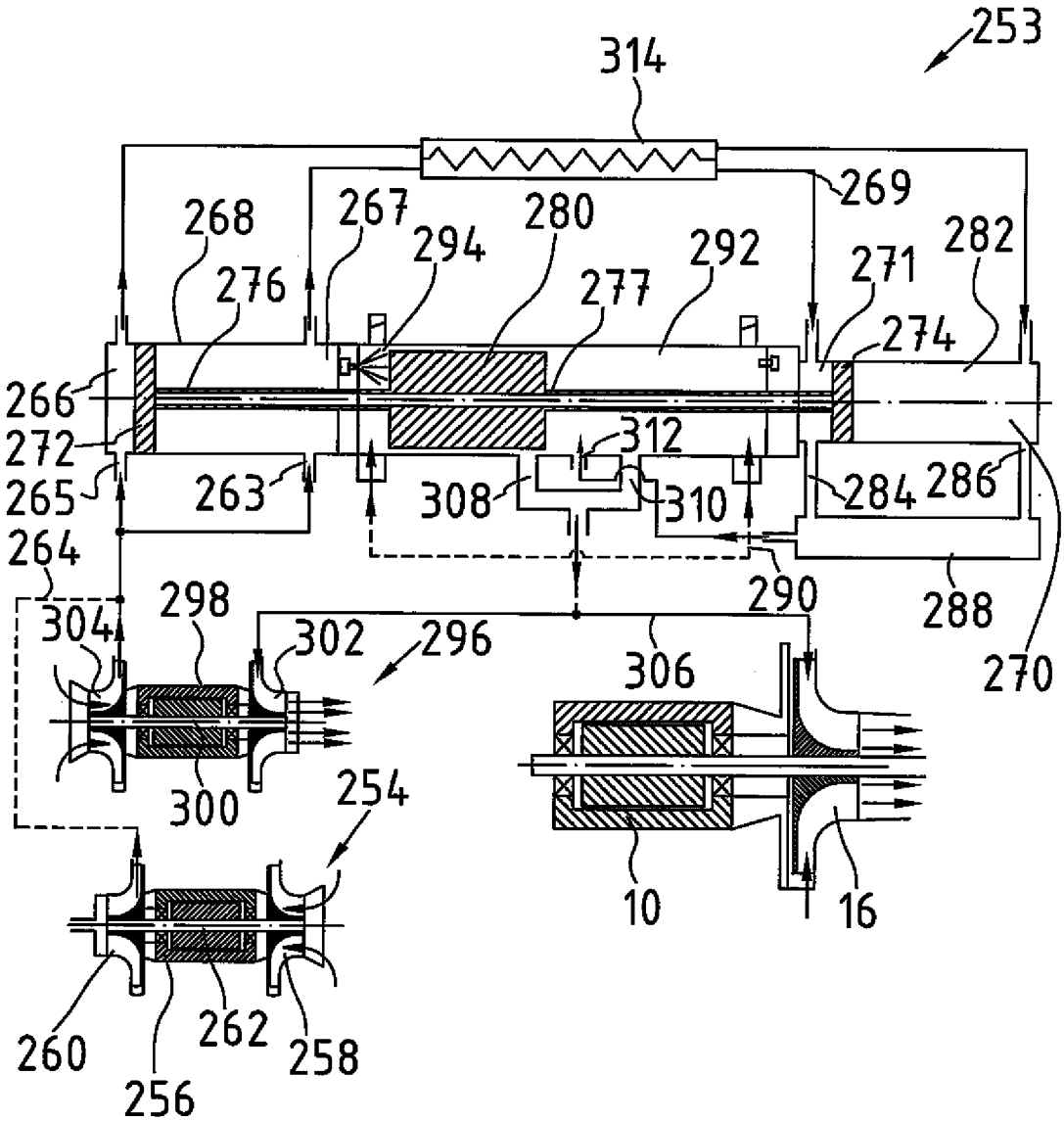

253
314
269
268
267
294
280
292
282
271
276
277
274
266
272
312
265
263
308
310
284
286
264
290
288
304
298
302
296
306
270
300
254
10
16
260
256
262
258

Fig.15

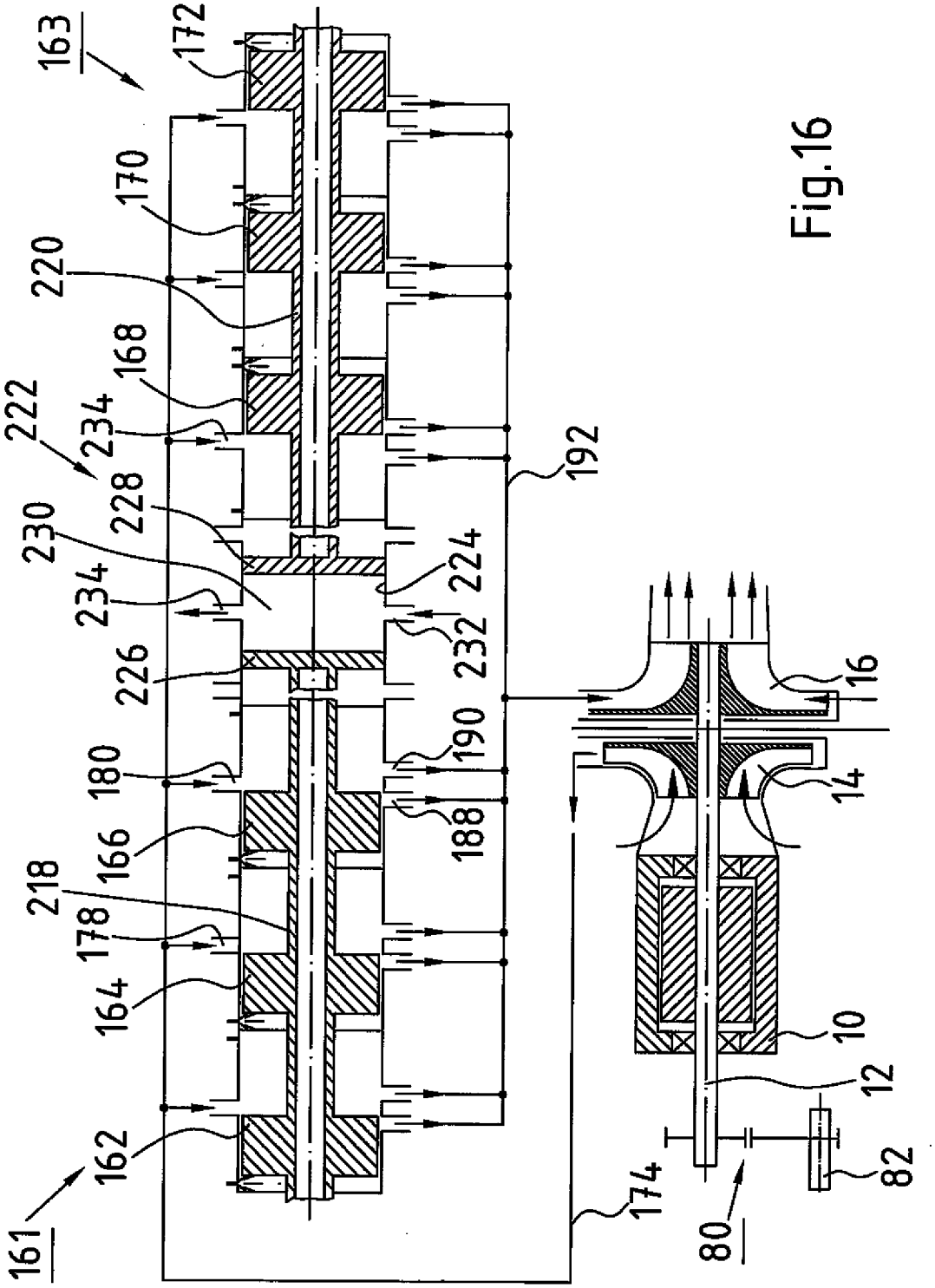

163
172
170
220
168
222
234
228
230
234
226
180
166
218
178
164
162
161
192
224
232
190
188
16
14
10
12
82
174
80

Fig.16

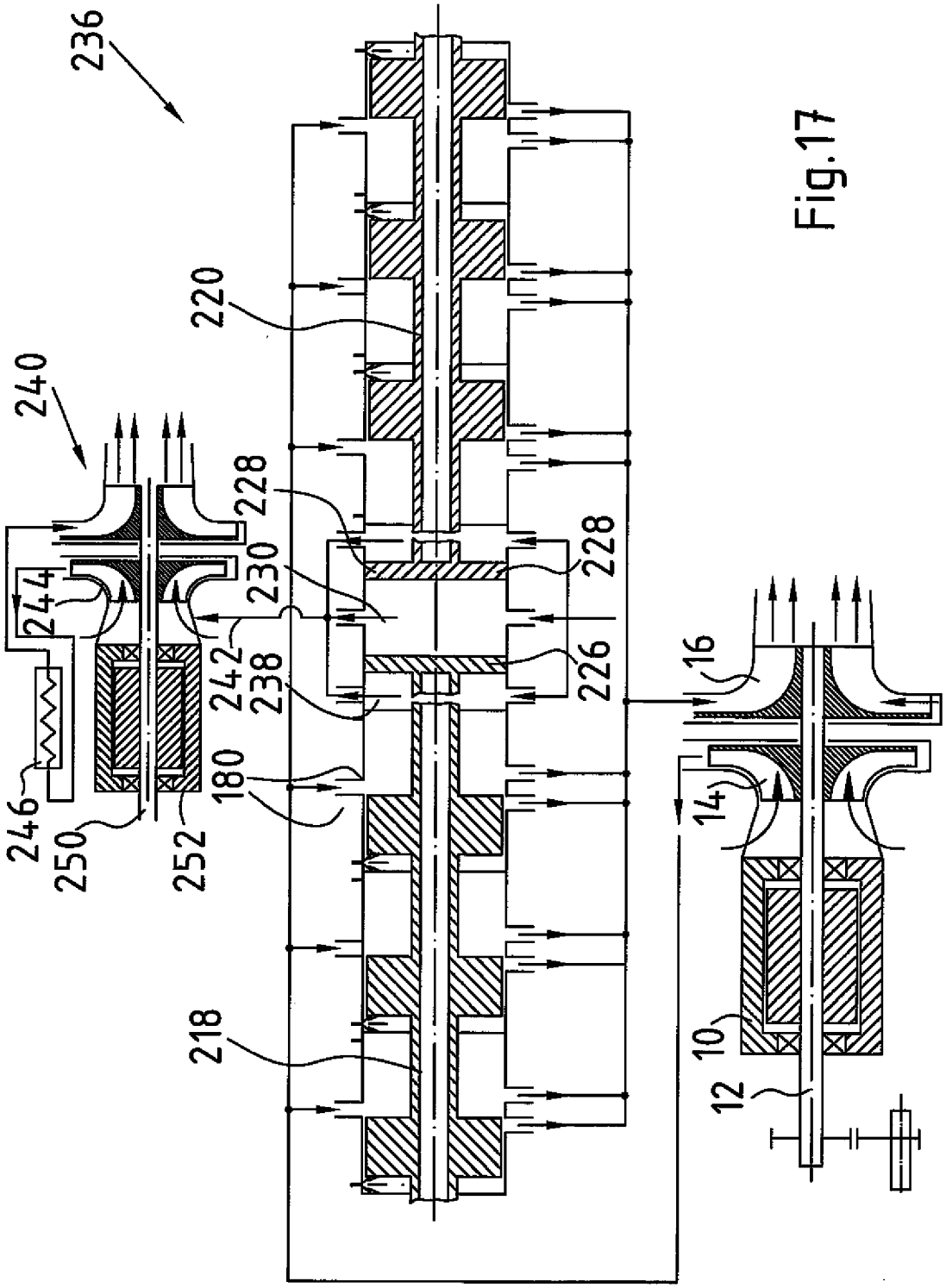

236
220
240
228
230
244
242
238
180
246
250
252
218
228
226
16
14
10
12

Fig.17

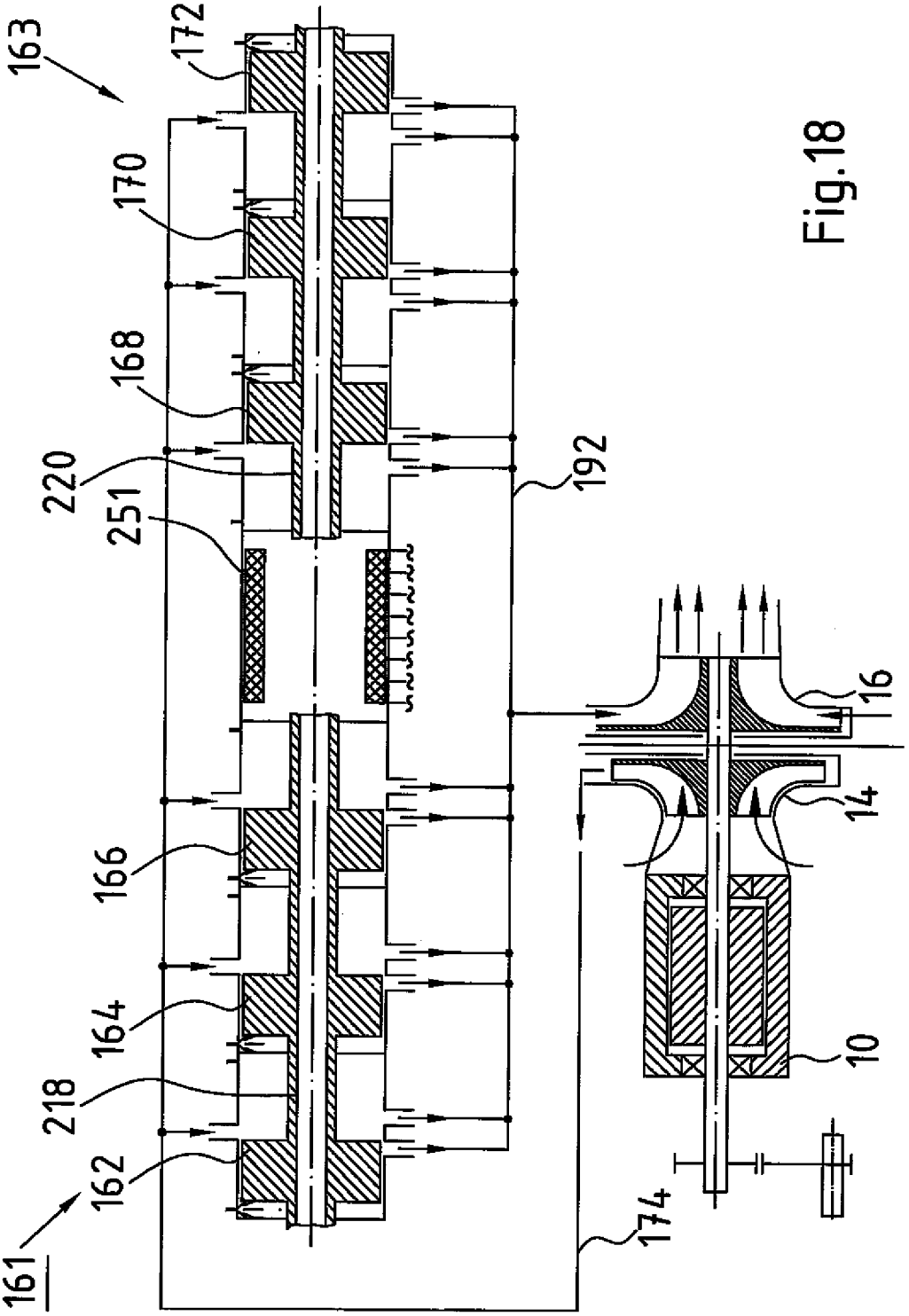


Fig.18

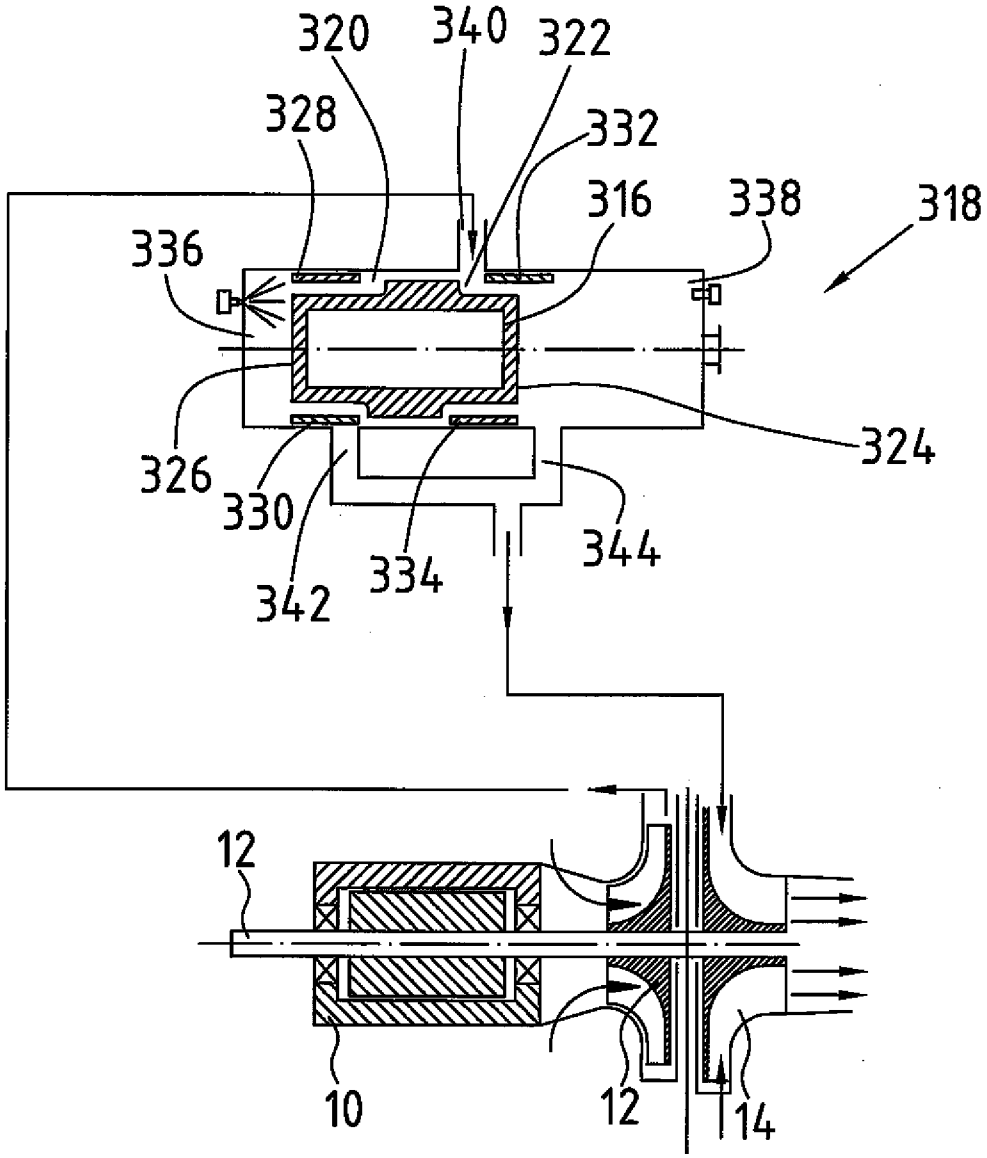

320
340
322
328
332
316
338
318
336
324
326
330
342
334
344
12
10
12
14

Fig.19

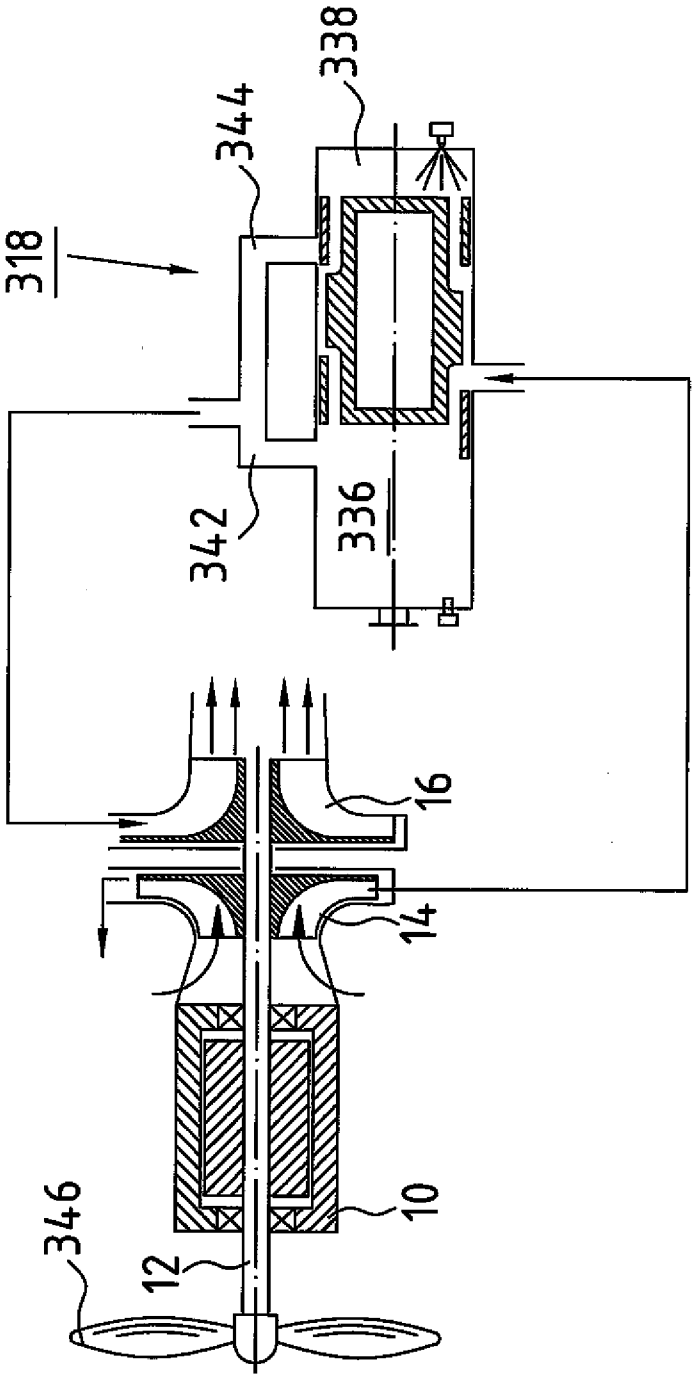


Fig.20

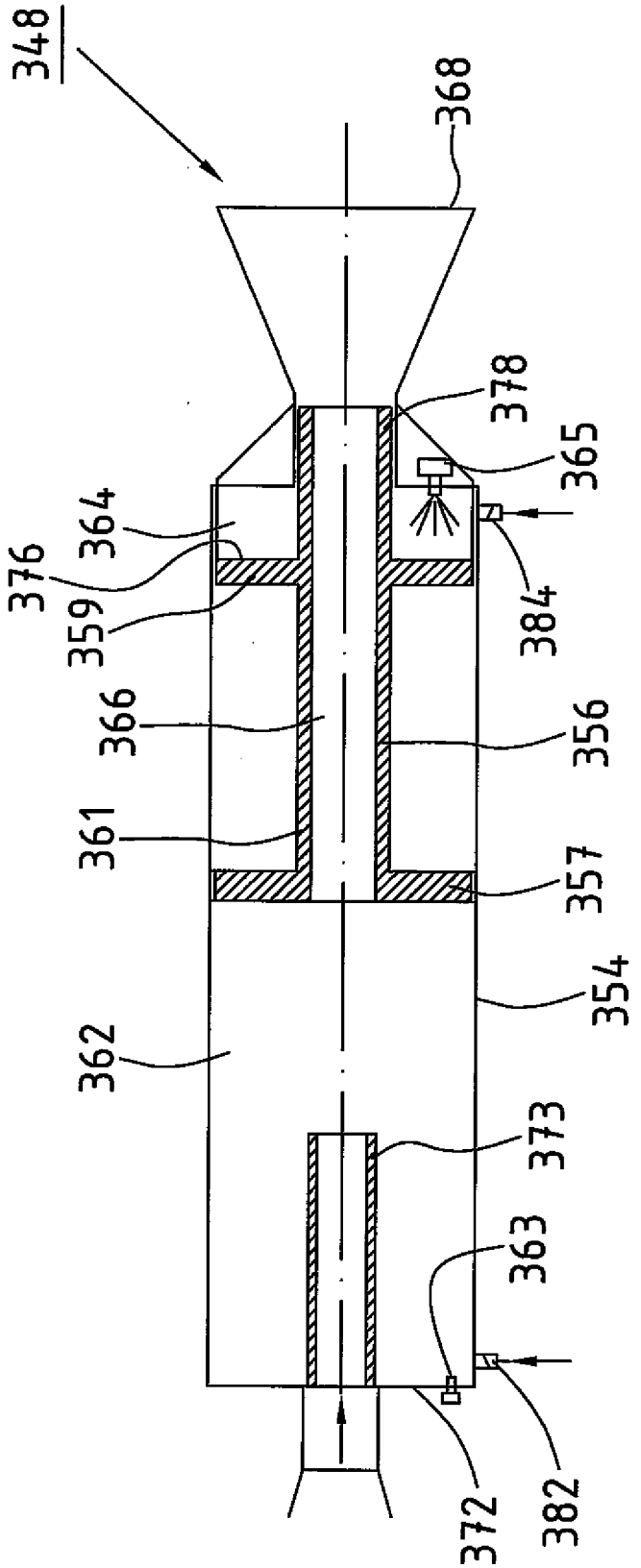

348
368
378
365
364
376
359
384
366
356
361
357
354
362
373
363
372
382

Fig.21

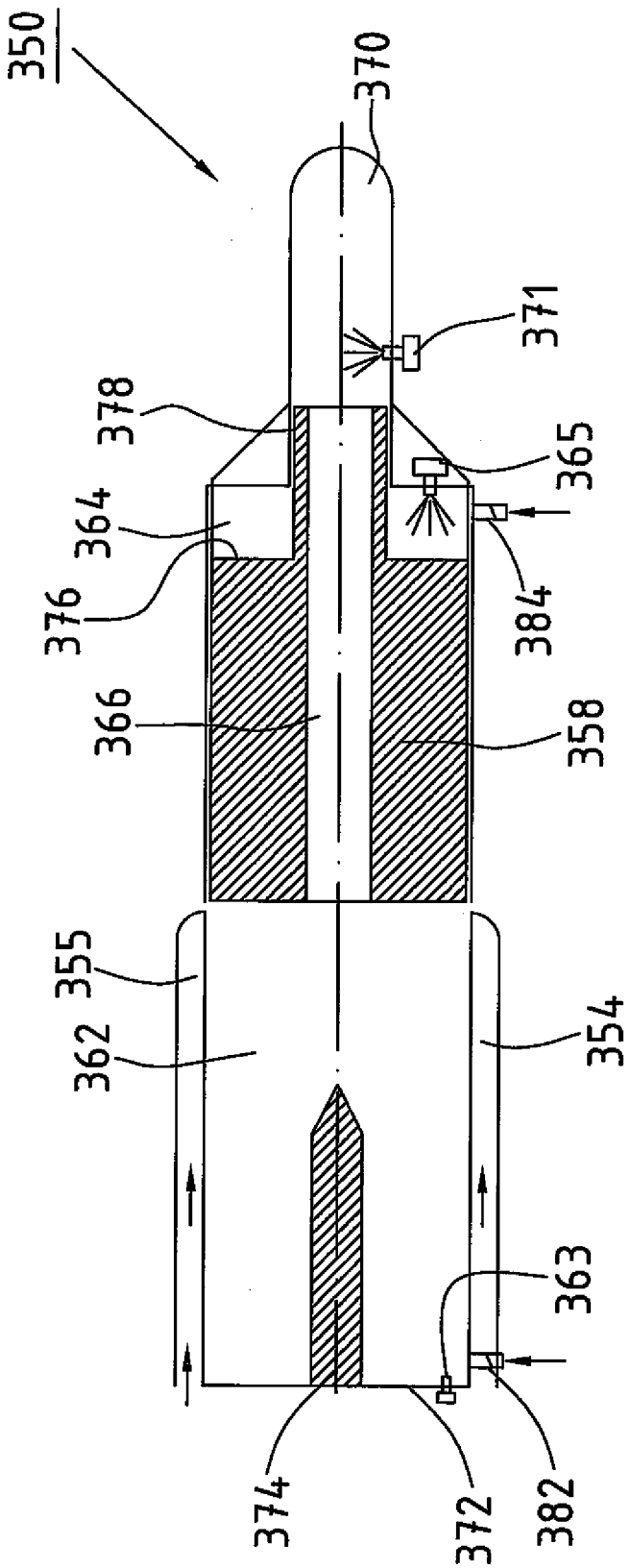

350
370
371
378
365
364
376
384
366
358
355
362
354
363
374
372
382

Fig.22

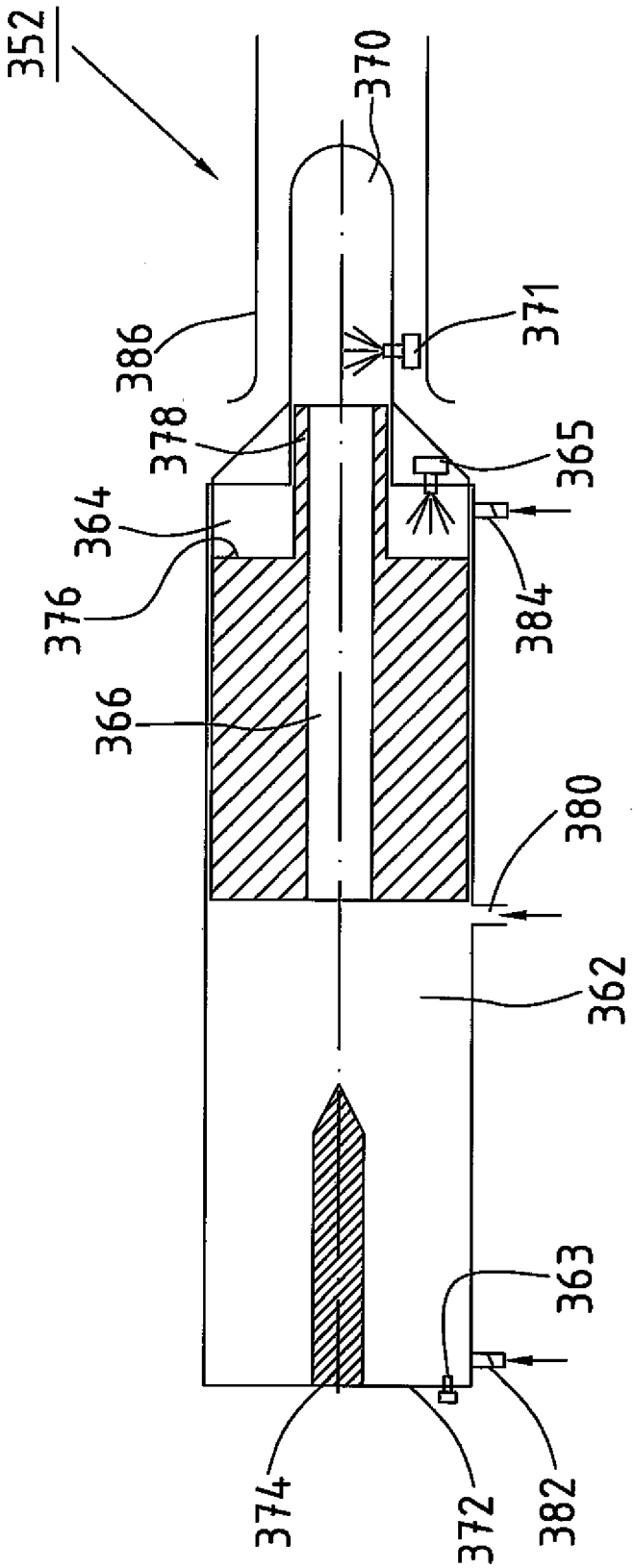


Fig.23

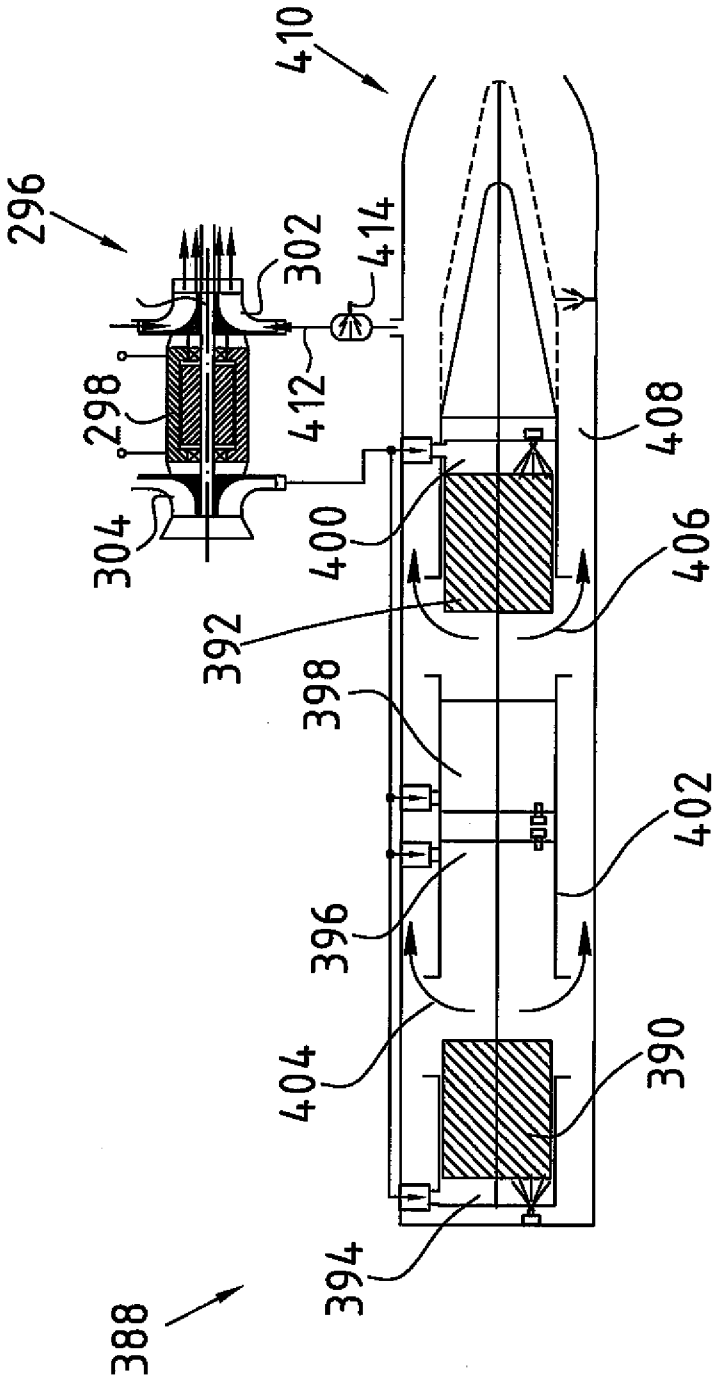

410
296
302
414
298
412
408
304
400
406
392
398
402
396
404
390
394
388

Fig.24

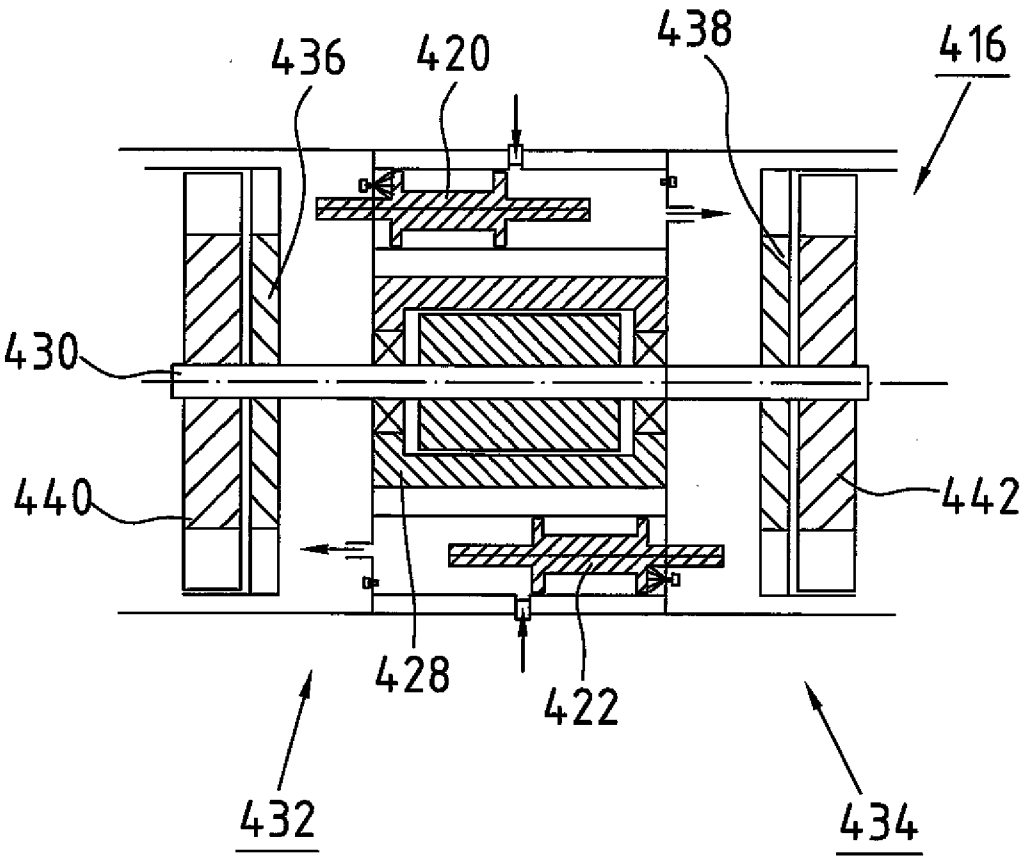


Fig.25

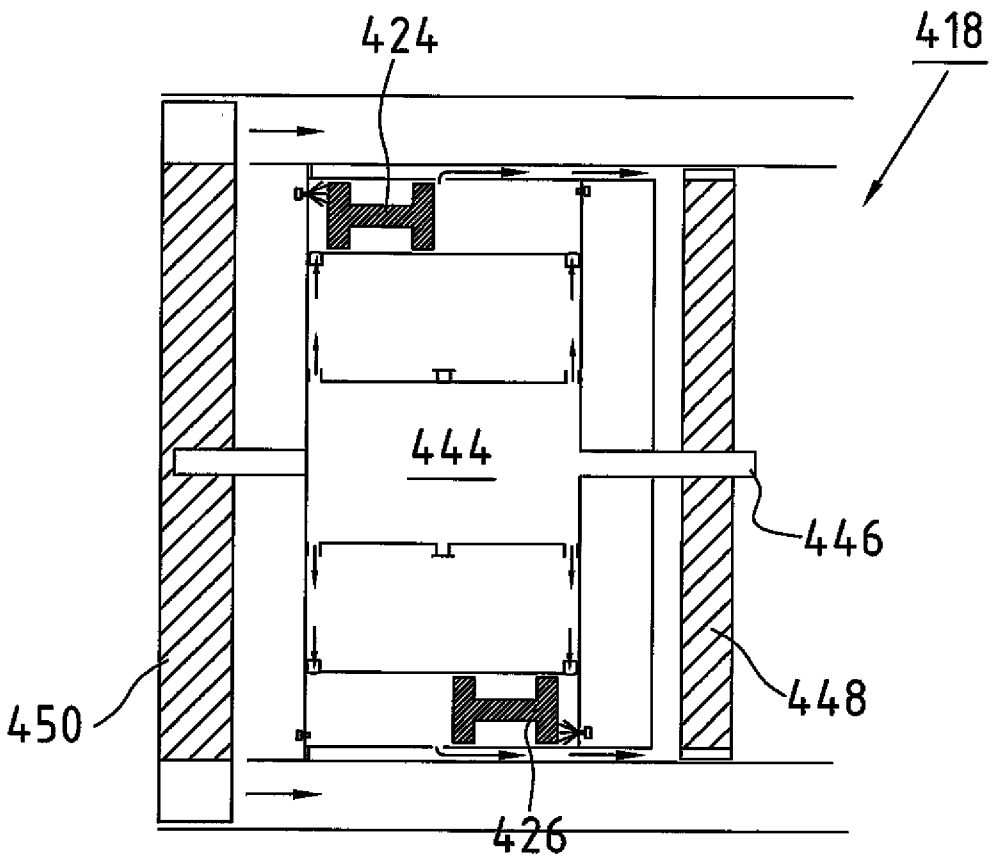


Fig.26

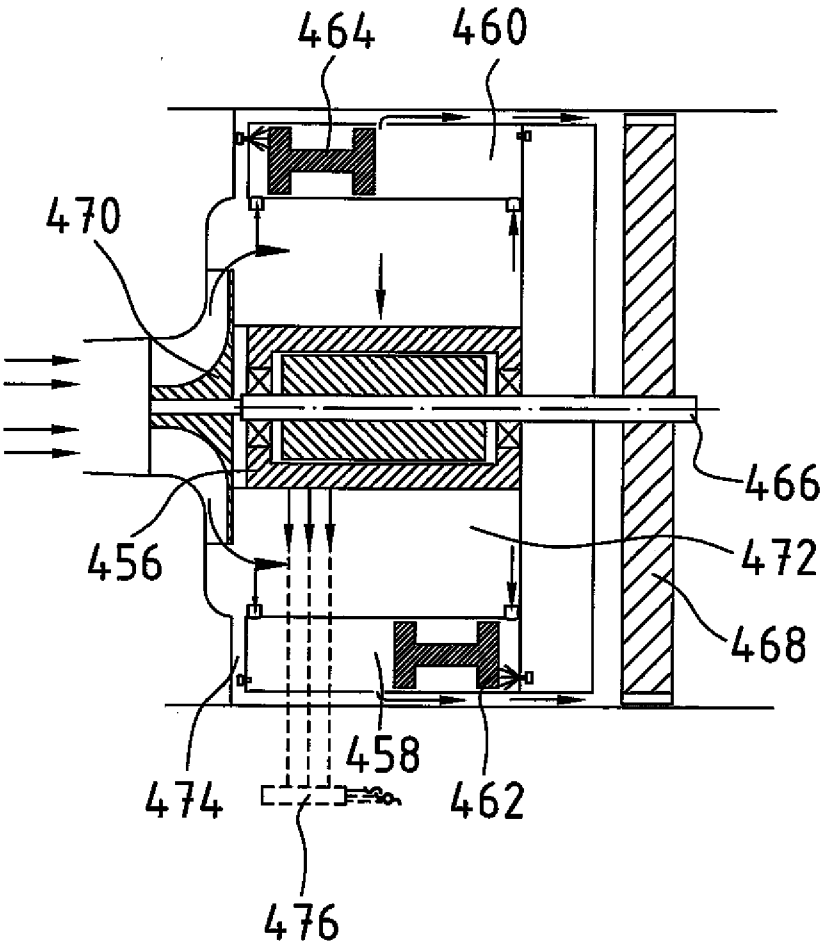


Fig.28

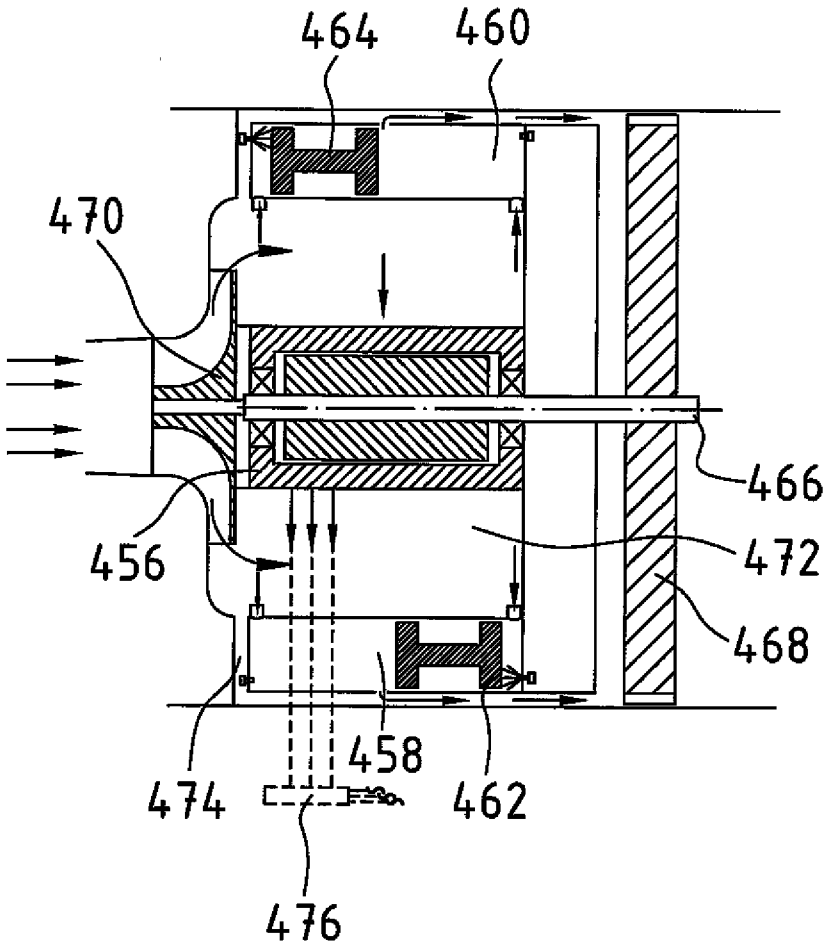


Fig.28

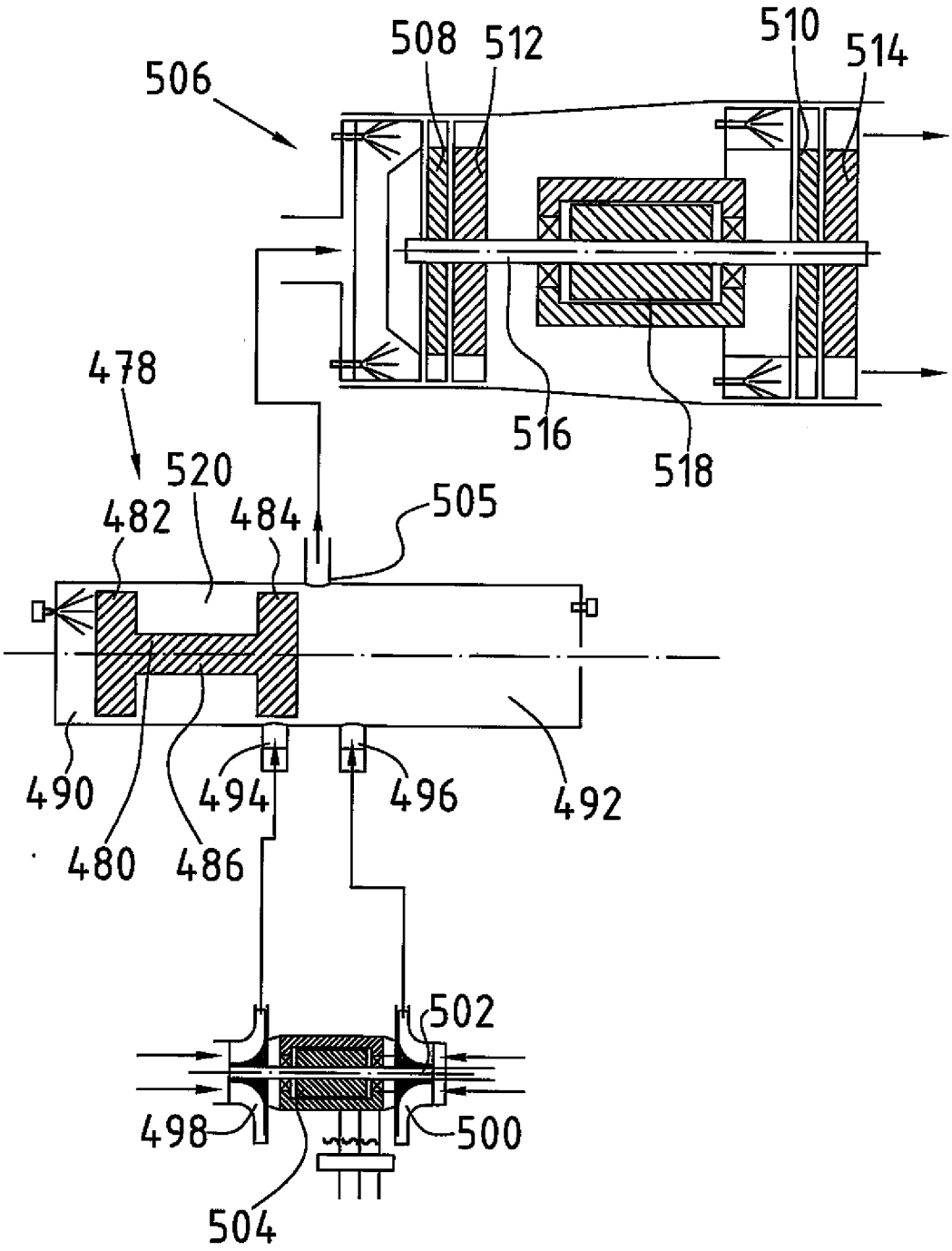

506
508
512
510
514
516
518
478
520
482
484
505
490
494
496
492
480
486
502
498
500
504

Fig.29

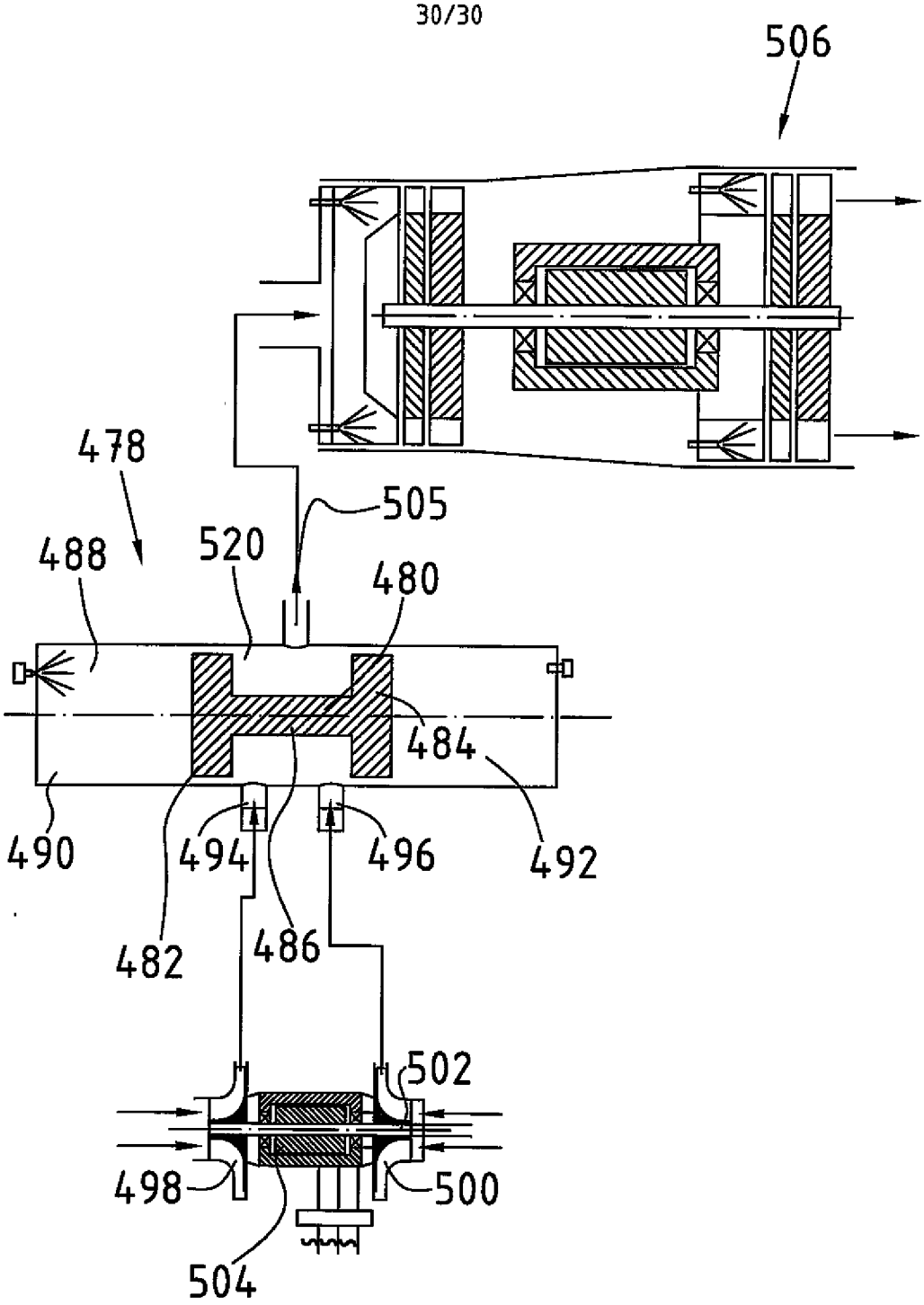

506
478
505
488
520
480
484
490
494
496
492
482
486
502
498
500
504

Fig.30