

(19)



(11)

EP 2 527 590 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
28.11.2012 Patentblatt 2012/48

(51) Int Cl.:
F01C 1/344^(2006.01) F01C 11/00^(2006.01)
F01C 19/02^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: 12001770.2

(22) Anmeldetag: 15.03.2012

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(72) Erfinder:
• Seba, Bouzid, Dr.
1636 Broc (CH)
• Schlager, Gerd, Dr.
1630 Bulle (CH)

(30) Priorität: 27.05.2011 CH 9152011

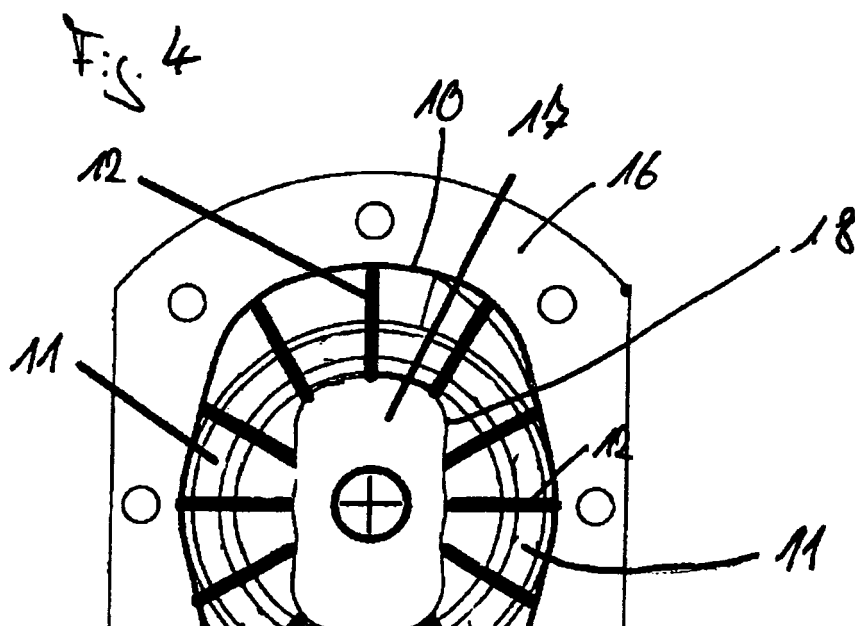
(74) Vertreter: Laufhütte, Dieter et al
Lorenz-Seidler-Gossel
Widenmayerstrasse 23
80538 München (DE)

(71) Anmelder: Liebherr-Machines Bulle SA
1630 Bulle (CH)

(54) Flügelzellenexpander

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft einen Flügelzellenexpander zur Erzeugung mechanischer Energie aus der Expansion eines gasförmigen Mediums, mit einem Gehäuse (16), einem Einlass und einem Auslass für das gasförmige Medium und einen im Gehäuse (16) angeordneten Rotor (11). Gemäß einem ersten Aspekt

ist dabei vorgesehen, dass die Innenkontur (10) des Gehäuses (16) zwei oder mehr Hubbereiche aufweist, welche mit dem Einlass für das gasförmige Medium so in Verbindung stehen, dass während des Betriebs des Energierückgewinnungssystems das gasförmige Medium gleichzeitig in den zwei oder mehr Hubbereichen expandiert.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Flügelzellenexpander zur Erzeugung mechanischer Energie aus der Expansion eines gasförmigen Mediums, mit einem Gehäuse, einem Einlass und einem Auslass für das gasförmige Medium und einen im Gehäuse angeordneten Rotor.

[0002] Solche Flügelzellenexpander können beispielsweise in Energierückgewinnungssystemen eingesetzt werden, um aus der Abwärme einer Anlage mechanische Energie durch den Antrieb des Flügelzellenexpanders zu erzeugen. Diese kann dann beispielsweise zur Stromerzeugung eingesetzt werden.

[0003] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es dabei, einen Flügelzellenexpander zur Verfügung zu stellen, welcher für den Einsatz mit einem gasförmigen Medium optimiert ist.

[0004] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die Ansprüche 1, 4, 6, 8 und 11 in mehreren Aspekten der vorliegenden Erfindung gelöst.

[0005] Gemäß einem ersten Aspekt umfasst die vorliegende Erfindung dabei einen Flügelzellenexpander zur Erzeugung mechanischer Energie aus der Expansion eines gasförmigen Mediums, mit einem Gehäuse, einem Einlass und einem Auslass für das gasförmige Medium und einen im Gehäuse angeordneten Rotor. Erfindungsgemäß ist dabei vorgesehen, dass die Innenkontur des Gehäuses zwei oder mehr Hubbereiche aufweist, welche mit dem Einlass für das gasförmige Medium so in Verbindung stehen, dass während des Betriebs des Energierückgewinnungssystems das gasförmige Medium gleichzeitig in den zwei oder mehr Hubbereichen expandiert. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform weist die Innenkontur dabei genau zwei Hubbereiche auf.

[0006] Der erfindungsgemäße zwei- oder mehrhubige Flügelzellenexpander hat dabei den Vorteil, dass die im Betrieb auf den Rotor wirkenden thermischen und mechanischen Belastungen nicht mehr einseitig nur auf eine Seite des Rotors wirken. Hierdurch wird die Lebensdauer und Laufruhe des Rotors erheblich verbessert.

[0007] Vorteilhafterweise erstrecken sich die einzelnen Hubbereiche dabei jeweils über gleich große Drehwinkelbereiche des Rotors. Bei zwei Hubbereichen erstreckt sich dabei jeder Hubbereich jeweils über 180°, bei drei Hubbereichen über 120°, usw.

[0008] Weiterhin vorteilhafterweise kann die Innenkontur des Gehäuses für alle Hubbereiche identisch ausgeführt sein. Hierdurch wird eine besonders gleichmäßige Belastung des Rotors erreicht.

[0009] Alternativ oder zusätzlich können auch die Steuerschlitze des Gehäuses für alle Hubbereiche identisch ausgeführt sein. Dies sorgt dafür, dass alle Hubbereiche des Flügelzellenexpanders synchron angesteuert werden.

[0010] In einer besonders bevorzugten Ausführung des erfindungsgemäßen Flügelzellenexpanders ist die

Innenkontur des Gehäuses im Hinblick auf den jeweils einem Hub zugeordneten Drehbereich asymmetrisch ausgeführt. Die einzelnen Hubbereiche sind damit in sich jeweils nicht kreisbogenförmig. Insbesondere hat dies den Vorteil, dass die Expansionsphase des Flügelzellenexpanders vergrößert werden kann. Insbesondere macht dabei der der Expansionsphase zugeordnete Drehbereich mehr als 50 % des dem jeweiligen Hub zugeordneten Gesamtdrehbereichs des Rotors aus. Besonders bevorzugt macht der der Expansionsphase zugeordnete Drehbereich dabei mehr als 60%, weiterhin vorteilhafterweise mehr als 75% des dem jeweiligen zugeordneten Gesamtdrehbereichs des Rotors aus.

[0011] In einem zweiten Aspekt umfasst die vorliegende Erfindung einen Flügelzellenexpander zur Erzeugung mechanischer Energie aus der Expansion eines gasförmigen Mediums, mit einem Gehäuse, einem Einlass und einem Auslass für das gasförmige Medium und einen im Gehäuse angeordneten Rotor. Erfindungsgemäß ist dabei vorgesehen, dass die Flügel auf ihrer dem Gehäuse abgewandten Seite durch einen Zwangsführungsring geführt sind. Der Zwangsführungsring sorgt dabei insbesondere dafür, dass die Flügel immer mit der Innenkontur des Gehäuses in Kontakt sind. Vorteilhafterweise ist der Zwangsführungsring hierfür fest mit dem Gehäuse verbunden, und zwingt die mit dem Rotor mit rotierenden Flügel des Rotors so in eine Position, in welcher sie mit ihren Außenkanten mit der Innenkontur des Gehäuses in Kontakt stehen. Insbesondere kann dabei auf eine gefederte Lagerung der Flügel verzichtet werden.

[0012] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird dabei berücksichtigt, dass die Kontaktbereiche der Flügel mit der Innenkontur des Gehäuses einen Krümmungsradius größer Null haben, so dass sich die Kontaktlinie der Flügel mit der Innenkontur bei der Drehbewegung des Rotors auf dem Krümmungsradius der Kontaktbereiche verschiebt. Vorteilhafterweise ist dabei vorgesehen, dass der Zwangsführungsring eine Kontur aufweist, welche diese Verschiebung berücksichtigt.

[0013] Der radiale Abstand zwischen der Außenkontur des Zwangsführungsringes und der Innenkontur des Gehäuses ist damit anders als im Stand der Technik nicht für alle

[0014] Radien identisch, da in diesem Fall die sich verschiebende Kontaktlinie der Kontaktbereiche der Flügel mit der Innenkontur des Gehäuses für unterschiedliche Spaltbreiten je nach Stellung des Rotors führen würde. Vielmehr ist der Zwangsführungsring vorteilhafterweise so geformt, dass der radiale Abstand zwischen Innenkontur des Gehäuses und Zwangsführungsring sich mit dem Drehwinkel so ändert, dass in jeder Drehposition ein optimaler Kontakt dem Kontaktbereich des Flügels und der Innenkontur des Gehäuses besteht.

[0015] In einem dritten Aspekt umfasst die vorliegende Erfindung einen Flügelzellenexpander zur Erzeugung mechanischer Energie aus der Expansion eines gasförmigen Mediums, mit einem Gehäuse, einem Einlass und einem Auslass für das gasförmige Medium und einen im

Gehäuse angeordneten Rotor. Erfindungsgemäß ist dabei vorgesehen, dass an Stirnflächen des Rotors zwischen den Flügeln Dichtungssegmente eines Dichtungsringes zur seitlichen Abdichtung mit dem Gehäuse angeordnet sind. Die Dichtungssegmente erlauben dabei eine besonders gute Abdichtung der Stirnflächen des Rotors mit den Stirnflächen des Gehäuses.

[0016] Vorteilhafterweise weisen die Stirnflächen hierfür Aussparungen auf, in welchen die Dichtungssegmente angeordnet sind. Weiterhin vorteilhafterweise weisen die Stirnflächen des Rotors hierfür eine Ringnut auf, in welcher die einzelnen Segmente so angeordnet sind, dass sie insgesamt einen Dichtungsring bilden.

[0017] Weiterhin vorteilhafterweise reichen die einzelnen Flügel jedoch von einer Stirnseite des Gehäuses bis zur gegenüberliegenden Stirnseite und trennen damit die einzelnen Segmente voneinander.

[0018] Weiterhin vorteilhafterweise sind Druckmittel vorgesehen, welche die Dichtungssegmente gegen das Gehäuse drücken. Hierdurch wird eine nochmals verbesserte Abdichtung ermöglicht. Weiterhin kann hierdurch unterschiedlichen Größenausdehnungskoeffizienten von Gehäuse und Rotor Rechnung getragen werden.

[0019] In einer ersten vorteilhaften Ausgestaltung umfassen die Druckmittel dabei eine Feder, welche die Dichtungssegmente gegen das Gehäuse drückt.

[0020] In einer zweiten Ausgestaltung können die Druckmittel einen Druckkanal umfassen, welcher die Rückseite der Segmente mit Druck aus der dem Segment zugeordneten Druckkammer beaufschlagt und hierdurch gegen das Gehäuse drückt. Dies hat den Vorteil, dass der Anpressdruck der Dichtungssegmente abhängig vom Druck in der jeweiligen Druckkammer ist und damit mit steigendem Druck in der Druckkammer zunimmt.

[0021] Gemäß einem vierten Aspekt umfasst die vorliegende Erfindung einen Flügelzellenexpander zur Erzeugung mechanischer Energie aus der Expansion eines gasförmigen Mediums, mit einem Gehäuse, einem Einlass und einem Auslass für das gasförmige Medium und einen im Gehäuse angeordneten Rotor. Erfindungsgemäß ist dabei vorgesehen, dass der Rotor aus zwei oder mehr Rotorabschnitten besteht, welche nebeneinander auf einer gemeinsamen Achse sitzen und jeweils durch eine Druckplatte voneinander getrennt sind. Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass das Gehäuse aus zwei oder mehr Gehäuseabschnitten besteht, welche in Axialrichtung des Rotors nebeneinander angeordnet sind und den Rotor umgeben. Durch einen solchen Aufbau des Rotors bzw. des Gehäuses aus mehreren Abschnitten kann der Hubraum des Flügelzellenexpanders problemlos durch die Verwendung einer entsprechenden Anzahl von Abschnitten auf einen gewünschten Wert eingestellt werden.

[0022] Vorteilhafterweise sind dabei die Rotorabschnitte und/oder Gehäuseabschnitte identisch ausgeführt. Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass jeder Gehäuseabschnitt die gleiche Innenkontur

aufweist. Die Verwendung mehrerer gleichartiger Rotorabschnitte bzw. Gehäuseabschnitte erlaubt so eine besonders kostensparende Konstruktion des Flügelzellenexpanders.

[0023] Vorteilhafterweise ist die Achse des Rotors dabei sowohl an den äußeren Stirnseiten des Gehäuses, als auch an den Druckplatten gelagert. Weiterhin kann vorgesehen sein, dass die einzelnen Gehäuseabschnitte mit den dazwischen liegenden Druckplatten in Verbindung stehen.

[0024] Die vorliegende Erfindung umfasst dabei insbesondere einen Flügelzellenexpander, bei welchem mindestens drei Rotorabschnitte vorgesehen sind, wobei das Gehäuse zur Ansteuerung mindestens eines der innen liegenden Rotorabschnitte Steuerschlitze im Umfangsbereich aufweist. Die außen liegenden Rotorabschnitte können dagegen auch über Steuerschlitze im Bereich der Stirnseiten des Gehäuses angesteuert werden. Alternativ können jedoch auch diese Rotorabschnitte über Steuerschlitze im Umfangsbereich angesteuert werden, um den Fertigungsaufwand für unterschiedliche Gehäuse zu minimieren.

[0025] Weiterhin vorteilhafterweise sind die Gehäuse dabei so aufgebaut, dass die einzelnen Rotorabschnitte und hierdurch gebildeten Flügelzellenexpanderabschnitte identisch angesteuert werden.

[0026] Gemäß einem fünften Aspekt der vorliegenden Erfindung umfasst diese einen Flügelzellenexpander zur Erzeugung mechanischer Energie aus der Expansion eines gasförmigen Mediums, mit einem Gehäuse, einem Einlass und einem Auslass für das gasförmige Medium und einen im Gehäuse angeordneten Rotor. Dabei ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass der Rotor des Flügelzellenexpanders über Kugellager mit Keramikugeln gelagert ist. Dies ermöglicht insbesondere eine schmierungsfreien Lagerung des Rotors, da die Keramikugeln auch ohne eine Ölschmierung durch das gasförmige Medium ausreichend geschmiert werden, um einen zuverlässigen Betrieb zu gewährleisten. Die Lagerschienen der Kugellager bestehen dabei vorteilhafterweise aus Stahl.

[0027] In besonders vorteilhaften Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung sind weiterhin zwei oder mehr der oben beschriebenen fünf Aspekte der vorliegenden Erfindung miteinander kombiniert.

[0028] Insbesondere kann die bessere radiale Abdichtung gemäß dem zweiten Aspekt mit der besseren seitlichen Abdichtung gemäß dem dritten Aspekt kombiniert werden, um so die für die Verwendung mit einem gasförmigen Medium benötigte Dichtigkeit zu erreichen.

[0029] Weiterhin kann die Form des Gehäuses gemäß dem ersten Aspekt mit den besseren Abdichtmöglichkeiten gemäß dem zweiten und/oder dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung kombiniert werden. So können durch die erfindungsgemäße Form ggf. bedingte ungünstige Druckwechselbedingungen ausgeglichen werden.

[0030] Weiter kann der modulare Aufbau gemäß dem vierten Aspekt mit der erfindungsgemäßen Form des Ge-

häuses gemäß dem ersten Aspekt und/oder der verbesserten Dichtigkeit gemäß dem zweiten und/oder dritten Aspekt kombiniert werden, um so mit vertretbaren Kosten unterschiedliche Hubvolumina zu realisieren.

[0031] Weiterhin kann die Lagerung des Rotors gemäß dem fünften Aspekt bei Flügelzellenrotoren gemäß allen anderen Aspekten eingesetzt werden, um eine schmierungsfreie Lagerung zu realisieren.

[0032] Selbstverständlich können dabei auch drei, vier oder alle fünf Aspekte der vorliegenden Erfindung miteinander kombiniert werden.

[0033] Der allgemeine Aufbau und die Funktion eines Flügelzellenexpanders gemäß einem der oben beschriebenen Aspekte der vorliegenden Erfindung soll nun noch einmal kurz dargestellt werden:

Der Flügelzellenexpander weist ein Gehäuse, einen Einlass und einen Auslass für das gasförmige Medium und einen im Gehäuse angeordneten Rotor auf. Dabei sind in dem Rotor Schlitze vorgesehen, in welchen Flügelscheiben verschieblich gelagert sind. Die einzelnen Kammern bzw. Flügelzellen des Flügelzellenexpanders werden damit durch die Außenkontur des Rotors, die Innenkontur des Gehäuses, sowie jeweils benachbarte Flügelscheiben gebildet. Bei einer Drehbewegung des Rotors folgen die einzelnen Flügel dabei der Innenkontur des Gehäuses und werden in den Führungsschlitzen des Rotors auf und ab bewegt. Ein Hubbereich eines Expanders entspricht dabei dem Drehbereich der Außenkontur, in welchem ein Flügel von einer vollkommen eingefahrenen Stellung in eine vollkommen ausgefahrene Stellung und wieder zurück bewegt wird. Im Betrieb strömt damit das gasförmige Medium durch den Einlass über Steuerschlitze des Gehäuses unter Druck in die Flügelzellen, expandiert dort unter Bewegung des Rotors und strömt dann über weitere Steuerschlitze des Gehäuses zum Auslass.

[0034] Der Flügelzellenexpander gemäß der vorliegenden Erfindung weist vorteilhafterweise mehr als vier, weiterhin vorteilhafterweise sechs oder mehr Flügel auf. Die Anzahl der Flügel kann dabei weniger als 20, weiterhin vorteilhafterweise weniger als 15 Flügel betragen. Vorteilhafterweise sind die Flügel dabei mit jeweils identischen Drehwinkelabständen um den Rotor angeordnet.

[0035] Die Steuerschlitze, welche die Flügelzellen mit dem Einlass für das gasförmige Medium verbinden, sind dabei vorteilhafterweise im Umfangsbereich des Rotors angeordnet, d.h. im Bereich der dem Rotor zugewandten Innenkontur. Die Steuerschlitze, welche die Flügelzellen mit dem Auslass für das gasförmige Medium verbinden, sind dagegen vorteilhafterweise im Bereich der Stirnseiten angeordnet.

[0036] Weiterhin kann das Gehäuse dabei aus stirnseitigen Deckelabschnitten und einem zwischen diesen angeordneten Mantelbereich aufgebaut sein. Vorteilhaf-

terweise sind dabei die Steuerschlitze zur Verbindung mit dem Einlass im Mantelbereich angeordnet, die Steuerschlitze zur Verbindung mit dem Auslass in einem oder beiden Deckelabschnitten.

[0037] Neben den oben beschriebenen Flügelzellenexpandern gemäß den fünf Aspekten der vorliegenden Erfindung umfasst diese weiterhin ein Energierückgewinnungssystem mit einem solchen Flügelzellenexpander.

[0038] Selbstverständlich sind dabei auch im Hinblick auf das Energierückgewinnungssystem Kombinationen der fünf Aspekte der vorliegenden Erfindung möglich, wie dies bereits oben im Hinblick auf die Flügelzellenexpander dargestellt wurde.

[0039] Das Energierückgewinnungssystem kann dabei einen Fluidkreislauf aufweisen, in welchem ein Medium zirkuliert, welches im Expander expandiert. Das Energierückgewinnungssystem kann dazu eingesetzt werden, um thermische Energie über den Flügelzellenexpander in mechanische Wellenleistung umzuwandeln.

[0040] Das Energierückgewinnungssystem kann dabei eine Pumpe, einen Wärmetauscher, den Flügelzellenexpander sowie einen Kondensator aufweisen. Die Pumpe wird dabei dazu eingesetzt, um den Druck des Mediums im Kreislauf zu erhöhen. Im Wärmetauscher wird das Medium dann erwärmt, verdampft und überhitzt. Die Expansionsphase des nun gasförmigen Mediums findet im Flügelzellenexpander statt. Hierbei wird an einer Abtriebswelle des Expanders mechanische Leistung abgegeben. Danach wird das Fluid im Kondensator gekühlt und verflüssigt.

[0041] Als Medium kann dabei insbesondere eine Flüssigkeit mit einem Siedepunkt zwischen 50°C und 120°C eingesetzt werden, beispielsweise Wasser, ein Alkohol wie bspw. Ethanol und/oder R245.

[0042] Die vorliegende Erfindung umfasst weiterhin ein Verfahren zum Betrieb eines erfindungsgemäßen Energierückgewinnungssystems, wie es oben beschrieben wurde. Erfindungsgemäß ist dabei vorgesehen, dass ein gasförmiges Medium in den Flügelzellenexpander strömt und dort unter Abgabe von mechanischer Energie expandiert. Vorteilhafterweise arbeitet das erfindungsgemäße Energierückgewinnungssystem dabei nach dem Clausius-Rankine-Prinzip.

[0043] Die vorliegende Erfindung umfasst weiterhin ein Verfahren zur Herstellung eines Energierückgewinnungssystems nach dem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung. Erfindungsgemäß ist dabei vorgesehen, dass die Außenkontur des Zwangsführungsringes unter Berücksichtigung der Verschiebung der Kontaktlinie ermittelt wird. Insbesondere kann hierdurch berücksichtigt werden, dass die Kontaktbereiche der Flügel mit der Innenkontur des Gehäuses üblicherweise einen Krümmungsradius größer Null haben, so dass sich die Kontaktlinie der Flügel mit der Innenkontur des Gehäuses bei der Drehbewegung des Rotors verschiebt und hierdurch der radiale Abstand zwischen der Innenkontur des Gehäuses und der Außenkontur des Zwangsführungs-

ringes nicht mit dem tatsächlichen Abstand zwischen den beiden Kontaktlinien des Flügels mit der Innenkontur des Gehäuses und der Außenkontur des Zwangsführungs-rings übereinstimmt.

[0044] Erfindungsgemäß wird dies nun bei der Ermittlung der gewünschten Außenkontur des Zwangsführungsringes berücksichtigt. Hierdurch kann der Abstand zwischen den beiden Kontaktlinien exakt auf das gewünschte Maß eingestellt werden.

[0045] Die vorliegende Erfindung umfasst weiterhin ein Verfahren zur Herstellung eines Energierückgewinnungssystems mit einem Flügelzellenexpander zur Erzeugung mechanischer Energie aus der Expansion eines gasförmigen Mediums, wobei der Flügelzellenexpander einen Einlass und einen Auslass für das gasförmige Medium, ein Gehäuse und einen im Gehäuse angeordneten Rotor aufweist. Erfindungsgemäß ist dabei vorgesehen, dass je nach gewünschtem Hubvolumen der Rotor aus einem, zwei oder mehr Rotorabschnitten aufgebaut wird, welche, wenn zwei oder mehr Rotorabschnitte eingesetzt werden, nebeneinander auf eine gemeinsamen Achse gesetzt und jeweils durch eine Druckplatte voneinander getrennt werden. Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass auch das Gehäuse aus mehreren Gehäuseabschnitten aufgebaut ist, welche, wenn zwei oder mehr Gehäuseabschnitte eingesetzt werden, in Axialrichtung des Rotors nebeneinander angeordnet und mit einer Druckplatte verbunden werden. Insbesondere dient das Verfahren dabei zur Herstellung eines Energierückgewinnungssystems gemäß dem vierten Aspekt der vorliegenden Erfindung.

[0046] Die einzelnen Aspekte der vorliegenden Erfindung werden nun anhand von Ausführungsbeispielen sowie Zeichnungen näher beschrieben.

[0047] Dabei zeigen:

Figur 1: eine Prinzipdarstellung eines Energierückgewinnungssystems, in welchem ein erfindungsgemäßer Flügelzellenexpander zum Einsatz kommen kann,

Figur 2: ein p-V-Diagramm zum Betrieb eines solchen Energierückgewinnungssystems gemäß dem Clausius-Rankine-Prinzips,

Figur 3: ein Ausführungsbeispiel des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung, bei welchem der Flügelzellenexpander zwei oder mehr Hubbereiche aufweist, wobei hier einer dieser Hubbereiche mit einer asymmetrischen Innenkontur des Gehäuses dargestellt ist,

Figur 4: ein Ausführungsbeispiel des zweiten Aspekts der vorliegenden Erfindung, bei welchem ein Zwangsführungsring zur Führung der Flügel eingesetzt wird, wobei der Flügelzellenexpander in einer Seitenansicht dargestellt ist,

Figur 5: eine Detailansicht zur näheren Erläuterung der Ausführung des Zwangsführungsringes gemäß dem zweiten Aspekt,

5 Figur 6: ein erstes Ausführungsbeispiel des dritten Aspekts der vorliegenden Erfindung, bei welchem Dichtungssegmente zum Abdichten der Stirnseiten des Rotors eingesetzt werden, wobei der Flügelzellenexpander in einer Schnittdarstellung in Axialrichtung gezeigt ist,

10 Figur 7: ein zweites Ausführungsbeispiel des dritten Aspekts der vorliegenden Erfindung, wobei das in diesem Ausführungsbeispiel durch eine Feder vorgespannte Dichtungssegment und die Stirnseite des Rotors in einer Explosionsdarstellung gezeigt sind und

15 Figur 8: ein Ausführungsbeispiel des modularen Aufbaus gemäß dem vierten Aspekts der vorliegenden Erfindung, durch welchen der erfindungsgemäße Flügelzellenexpander je nach gewünschtem Hubvolumen aus einem oder mehreren Abschnitten aufgebaut werden kann.

[0048] In Figur 1 ist ein Energierückgewinnungssystem dargestellt, bei welchem ein erfindungsgemäßer Flügelzellenexpander zum Einsatz kommen kann. Das Energierückgewinnungssystem weist dabei einen Fluidkreislauf 1 auf, in welchem ein Medium zirkuliert. Das Energierückgewinnungssystem kann dazu eingesetzt werden, um thermische Energie über den Expander 4 in mechanische Wellenleistung umzuwandeln.

35 **[0049]** Das Energierückgewinnungssystem weist dabei eine Pumpe 2, einen Wärmetauscher 3, den Expander 4 sowie einen Kondensator 5 auf. Die Pumpe 2 wird dabei dazu eingesetzt, um den Druck des Mediums im Kreislauf zu erhöhen. Im Wärmetauscher 3 wird das Medium dann erwärmt, verdampft und überhitzt. Die Expansionsphase des nun gasförmigen Mediums findet im Expander 4 statt. Hierbei wird an einer Abtriebswelle des Expanders mechanische Leistung abgegeben.

40 **[0050]** Danach wird das Fluid im Kondensator 5 gekühlt und verflüssigt. Das erfindungsgemäße Energierückgewinnungssystem kann weiterhin einen Tank und gegebenenfalls einen Filter aufweisen, welche in Figur 1 jedoch der Übersicht halber nicht dargestellt wurden.

45 **[0051]** Vorteilhafterweise erfolgt der Betrieb des Energierückgewinnungssystems dabei nach dem Clausius-Rankine-Prinzip, dessen p-V-Diagramm in Figur 2 dargestellt ist. Die Linie 6 entspricht dabei der Druckbeaufschlagung des Mediums in der Pumpe 2, die Linie 7 der Erwärmung, Verdampfung und Überhitzung des Mediums im Wärmetauscher 3, die Linie 8 der Expansion im Expander 4 und die Linie 9 der Kondensation im Kondensator 5.

[0052] Als Medium wird im Kreislauf vorteilhafterweise

eine Flüssigkeit mit einem Siedepunkt zwischen 50°C und 120°C eingesetzt, beispielsweise Wasser, Ethanol oder R245.

[0053] Als Expander in einem solchen Energierückgewinnungssystem wird nun erfindungsgemäß ein Flügelzellenexpander eingesetzt. Der Wirkungsgrad eines solchen Flügelzellenexpanders ist dabei von den geometrischen und mechanischen Eigenschaften des Expanders abhängig. Neben den Grundparametern des Flügelzellenexpanders wie Innendurchmesser des Gehäuses und der Rotorhöhe sind das Expansionsverhältnis und die Verlaufkurve der isentropen Expansion die wichtigsten geometrischen Parameter des Flügelzellenexpanders.

[0054] Ein Flügelzellenexpander gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst dabei ein Gehäuse und einen im Gehäuse angeordneten Rotor. Der Rotor trägt dabei mehrere Flügel, welche verschieblich am Rotor gelagert sind und mit ihren Außenkanten mit der Innenkontur des Gehäuses in Kontakt stehen. Die einzelnen Flügel definieren hierdurch Kammern. Die Innenkontur des Gehäuses weist dabei einen sich über den Drehwinkelbereich des Rotors verändernden Abstand zur Drehachse des Rotors auf. Hierdurch verändert sich das Volumen der durch die einzelnen Flügel gebildeten Flügelzellen.

[0055] Der Flügelzellenexpander weist weiterhin einen Einlass für das gasförmige Medium auf, durch welchen dieses in den Flügelzellenexpander einströmen kann. Weiterhin weist der Flügelzellenexpander einen Auslass für das expandierte gasförmige Medium auf. Einlass und Auslass stehen dabei mit dem Hubvolumen des Rotors über eine Schlitzsteuerung in Verbindung. Dabei sorgen Öffnungen bzw. Schlitze in den Stirnseiten und/oder im Umfangsbereich des Gehäuses für eine Verbindung der Flügelzellen mit dem Einlass für das gasförmige Medium, wenn das Volumen der Flügelzellen aufgrund des Drehwinkels des Rotors gering ist. Bei einer Drehung des Rotors expandiert das Volumen der Flügelzellen mit dem darin eingeschlossenen Gas. Die Expansion des Gases treibt dabei den Rotor an. Wurde das Volumen der jeweiligen Flügelzellen durch Rotors expandiert, kommen diese mit weiteren Öffnungen bzw. Schlitzen in Kontakt, welche eine Verbindung zum Auslass für das nun expandierte gasförmige Medium herstellen. Ein solcher Flügelzellenexpander arbeitet damit genau umgekehrt wie eine Flügelzellenpumpe.

[0056] Die Flügel des Flügelzellenexpanders sind dabei vorteilhafterweise in Schlitzen des Rotors gelagert und verlaufen in radialer Richtung von der Drehachse des Rotors weg. Dabei können beispielsweise zwischen 6 und 14 Flügel für den Flügelzellenexpander eingesetzt werden.

[0057] Die vorliegende Erfindung optimiert nun einen solchen Flügelzellenexpander in mehreren, voneinander unabhängigen Aspekten. Die einzelnen voneinander unabhängigen Aspekte, welche nun im folgenden beschrieben werden, können jedoch besonders bevorzugt auch kombiniert miteinander eingesetzt werden.

[0058] In Figur 3 ist nun ein Ausführungsbeispiel eines

ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung gezeigt. Figur 3 zeigt einen Schnitt durch den Rotor 11, dessen Außenkontur kreisförmig ist. Im Rotor sind dabei Schlitze 13 vorgesehen, in welchen Flügel 12 in radialer Richtung verschieblich gelagert sind. Die Flügel 12 kontaktieren dabei mit ihren Außenkanten die Innenkontur 10 des Gehäuses.

[0059] Der erfindungsgemäße Flügelzellenexpander ist dabei zweihubig ausgeführt, das heißt jeder einzelne Flügel wird bei einer Drehung des Rotors um 360° zweimal komplett in den Rotor eingedrückt und komplett aus diesem herausgeschoben. Mit anderen Worten durchläuft jede Flügelzelle des Flügelzellenexpanders bei einer Drehung des Rotors um 360° zweimal ihr maximales Volumen und zweimal ihr minimales Volumen.

[0060] Jeder der beiden Hubbereiche ist dabei im Hinblick auf den Drehwinkel des Rotors gleich groß, das heißt das Gehäuse weist jeweils zwei Hubbereiche mit einer Erstreckung von 180° auf. In Figur 3 ist dabei lediglich der obere Hubbereich dargestellt. Der untere Hubbereich ist demgegenüber punktsymmetrisch im Hinblick auf die Längsachse des Rotors 11 ausgeführt.

[0061] Die Schlitzsteuerung und die Innenkontur des Gehäuses sind dabei so ausgeführt, dass die Expansion des gasförmigen Mediums in beiden Hubbereichen gleichzeitig und synchron verläuft. Bevorzugt sind dabei beide Hubbereiche im Hinblick auf ihre Innenkontur und im Hinblick auf die Schlitzsteuerung symmetrisch ausgeführt.

[0062] Erfindungsgemäß wird gemäß diesem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung im Hinblick auf die auf den Rotor einwirkenden Kräfte, als auch im Hinblick auf die auf den Rotor einwirkenden Temperaturen eine optimale Symmetrie erreicht. Hierdurch werden sowohl die Laufeigenschaften, als auch die Dauerfestigkeit des Flügelzellenexpanders erhöht.

[0063] Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführung des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung ist dabei die Innenkontur 10 des Gehäuses über den Hubbereich asymmetrisch ausgeführt. Insbesondere ist dabei der der Expansionsphase entsprechende Drehbereich deutlich größer als der Drehbereich, in welchem sich das Volumen der Flügelzellen wieder verringert, um zu Beginn des nächsten Hubbereiches wieder ein Minimalvolumen einzunehmen. Der Expansionsbereich 14, das heißt der Bereich, in welchem sich der Abstand der Innenkontur 10 von der Drehachse des Rotors 11 vergrößert, beträgt dabei im Ausführungsbeispiel 75% des gesamten diesem Hub zugeordneten Drehbereichs, während der zur Verringerung des Zellenvolumens angesetzte Bereich 15 lediglich 25% beträgt.

[0064] Durch die gemäß der besonders bevorzugten Ausführung des ersten Aspekts vorgesehene asymmetrische Innenkontur des Gehäuses kann ein verbesserter Wirkungsgrad des Flügelzellenexpanders erreicht werden, da sich eine entsprechend verlängerte Expansionsphase ergibt.

[0065] Gemäß dem nun folgenden zweiten und dritten

Aspekt der vorliegenden Erfindung kann nun weiterhin die Dichtigkeit des Flügelzellenexpanders verbessert werden.. Hierdurch können Leckageverluste, welche gegebenenfalls durch die ungünstigen Gaswechselbedingungen im Auslassbereich bei der Verlängerung der isentropen Expansion gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung verursacht werden, verringert werden.

[0066] In Figuren 4 und 5 ist dabei nun ein Ausführungsbeispiel des zweiten Aspekts der vorliegenden Erfindung dargestellt. Gemäß diesem Aspekt wird ein Zwangsführungsring 17 eingesetzt, welcher die Flügel 12 des Flügelzellenexpanders in Kontakt mit der Innenkontur 10 des Gehäuses 16 zwingt. Der Zwangsführungsring 17 ist dabei starr mit dem Gehäuse 16 verbunden. Beispielsweise können die Zwangsführungsringe 17 dabei auf beiden Stirnseiten des Rotors so angeordnet sein, dass die Innenkanten der Flügel 12 sich auf der Außenkontur 18 des Zwangsführungsrings abstützen.

[0067] Die Flügelzellen laufen nun mit ihren den Außenkanten gegenüberliegenden Innenbereichen auf der Außenkontur 18 des Zwangsführungsrings 17, welcher hierdurch die Verschiebung der Flügel 12 in radialer Richtung steuert. Die Außenkontur 18 des Zwangsführungsrings ist dabei so gestaltet, dass die Flügel 12 in jeder Drehposition des Rotors 11 mit der Innenkontur 10 des Gehäuses 16 in Kontakt stehen.

[0068] In Figur 5 ist in einer Detailansicht der Kontaktbereich 19 eines Flügels 12 mit der Innenkontur 10 des Gehäuses gezeigt. Da der Kontaktbereich 19 einen Krümmungsradius $r > 0$ aufweist, liegt die Kontaktlinie 20 in all den Winkelstellungen des Rotors, in welchen die Innenkontur 10 nicht tangential zur Drehachse des Rotors verläuft, um einen gewissen Abstand verschoben von der radialen Richtung bzw. einer in radialer Richtung liegenden Linie 21. Diese Verschiebung der Kontaktlinie 20 führt auch in radialer Richtung zu einem gewissen Höhenversatz h zwischen der Schnittlinie 21 zwischen der in radialer Richtung verlaufenden Mittellinie des Flügels und der Innenkontur 10 sowie der verschobenen Kontaktlinie 20.

[0069] Erfindungsgemäß wird diese Verschiebung der Kontaktlinie 20 und der hierdurch bewirkte Höhenversatz h bei der Gestaltung der Außenkontur des Zwangsführungsrings berücksichtigt, ebenso wie ein entsprechender Versatz einer Kontaktlinie des Flügels auf dieser Außenkontur. Hierdurch kann sichergestellt werden, dass trotz der verschobenen Kontaktlinien die Flügel immer spaltfrei an der Außenkontur 10 des Gehäuses anliegen. Durch Berücksichtigung der Verschiebung der Kontaktlinie lassen sich Spaltbreiten von weniger als $10\ \mu\text{m}$ über den gesamten Drehwinkelbereich realisieren.

[0070] In Figuren 6 und 7 sind nur zwei Ausführungsbeispiele eines dritten Aspekts der vorliegenden Erfindung gezeigt, durch welche eine bessere Abdichtung des Axialspalts zwischen dem Rotor 11 und den Deckeln 24 des Gehäuses ermöglicht wird. Hierfür werden Dichtscheiben 23 eingesetzt, welche zwischen dem Rotor 12

und den Deckeln 24 angeordnet sind. Die Dichtscheiben sind dabei in Segmente 23 unterteilt, welche jeweils zwischen den Flügeln 12 des Flügelzellenexpanders angeordnet sind und gemeinsam einen Dichtring bilden.

[0071] Dabei weisen die Stirnseiten 22 des Rotors jeweils Ringnuten 28 auf, in welche die Dichtsegmente 23 eingesetzt sind. In Figur 7 sind dabei auch die in radialer Richtung verlaufenden Spalte 13 im Rotor 12 zu sehen, in welchen die Flügel gelagert sind. Die Flügel weisen dabei die gleiche Breite auf wie der Rotor und stoßen damit mit ihren Stirnkanten jeweils gegen die Innenseiten der Deckel 24. Die weitere Abdichtung der einzelnen Flügelzellen in axialer Richtung wird nun durch die Segmente der Dichtscheiben ermöglicht.

[0072] Die Segmente werden dabei in einer besonders bevorzugten Ausführung des dritten Aspekts gegen die Innenflächen der Deckel 24 gedrückt. Bei dem in Figur 6 gezeigten Ausführungsbeispiel erfolgt dies druckbeaufschlagt. Hierfür ist ein Druckkanal 25 von der Flügelzelle 26 zur Rückseite des Segments 23 gezogen. Durch diesen wird das Segment mit dem Druck aus der Flügelzelle gegen den Deckel 24 gedrückt. Entsprechende Druckkanäle sind dabei für sämtliche Segmente auf beiden Seiten des Rotors vorgesehen.

[0073] Bei dem in Figur 7 gezeigten Ausführungsbeispiel erfolgt die Anpressung dagegen über eine Feder 27, welche hinter dem Segment 23 angeordnet ist. Dabei kann beispielsweise eine Wellfeder oder eine Druckfeder verwendet werden.

[0074] Zur Minimierung der Reibungsverluste kann die Dichtscheibe bzw. können die Segmente aus einem PT-FE- oder Keramikwerkstoff hergestellt werden. Die Segmente der Schreibe werden dabei genau gefertigt, um die Ausdehnung des Werkstoffes bei höheren Temperaturen zu berücksichtigen.

[0075] Ein vierter Aspekt der vorliegenden Erfindung wird nun anhand von Figur 8 erläutert. Dort ist ein Ausführungsbeispiel eines modularen Aufbaus des Flügelzellenexpanders dargestellt, welcher eine Variabilität des Hubvolumens realisiert. Dabei kann durch die Einstellung der Expander-Größe die Wellenleistung eingestellt werden.

[0076] Der Rotor ist dabei erfindungsgemäß aus mehreren Rotorabschnitten 11 und 11' aufgebaut, welche nebeneinander auf einer gemeinsamen Welle 30 sitzen. Die Rotorabschnitte 11 und 11' sind dabei durch eine Druckplatte 29 getrennt, an welcher auch die Achse 30 gelagert ist. Dabei können identische Rotorabschnitte 11 und 11' eingesetzt werden. Das Hubvolumen wird dabei durch die Druckplatten in voneinander getrennte Einzelvolumina aufgeteilt.

[0077] Weiterhin ist auch der Umfangsbereich des Gehäuses aus Gehäuseabschnitten 16 und 16' aufgebaut, welche insbesondere die gleiche Innenkontur aufweisen können. Diese sind ebenfalls mit der dazwischen liegenden Druckplatte 29 verbunden. An den beiden Enden können wieder Deckel 24 eingesetzt werden. Die stirnseitige Abdichtung der Rotorabschnitte mit den Deckeln

und den Druckplatten kann dabei insbesondere gemäß dem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung erfolgen.

[0078] Die Druckplatten 29 sind dabei vorteilhafterweise ebenfalls aus Keramikwerkstoffen oder PTFE beschichteten Werkstoffen hergestellt. Hierdurch können Reibverluste zwischen den Druckplatten und den Rotoren minimiert werden.

[0079] Je nach gewünschtem Hubvolumen kann der Expander nun aus einer entsprechenden Anzahl von Rotorabschnitten und Gehäuseabschnitten aufgebaut werden. Hierdurch sind Expander mit unterschiedlichen Hubvolumen ohne größere konstruktive Umbauten herstellbar. Das Hubvolumen wird dabei im wesentlichen durch die Anzahl der Rotoren bestimmt und, wobei eine entsprechende Verlängerung der Welle 30 mit der Vergrößerung des Hubvolumens einhergeht.

[0080] Gemäß dem fünften Aspekt der vorliegenden Erfindung ist weiterhin vorgesehen, dass die Lagerung der Rotorwelle durch die Verwendung von Kugelkeramiklagern erfolgt. Dabei sind die Kugeln des Kugellagers aus Keramik gefertigt, während die Führungsringe des Lagers aus Stahl bestehen.

[0081] Hierdurch und ggf. durch die Verwendung von PTFE-Werkstoffen und/oder Keramikwerkstoffen ist es erfindungsgemäß möglich, den erfindungsgemäßen Flügelzellenexpander ohne Schmierung zu betreiben.

[0082] Selbstverständlich können dabei erfindungsgemäß auch zwei oder mehr der oben beschriebenen Aspekte der vorliegenden Erfindung miteinander kombiniert werden.

Patentansprüche

1. Flügelzellenexpander (4) zur Erzeugung mechanischer Energie aus der Expansion eines gasförmigen Mediums, mit einem Gehäuse (16), einem Einlass und einem Auslass für das gasförmige Medium und einen im Gehäuse angeordneten Rotor (11),
dadurch gekennzeichnet,
dass die Innenkontur (10) des Gehäuses zwei oder mehr Hubbereiche aufweist, welche mit dem Einlass für das gasförmige Medium so in Verbindung stehen, dass während des Betriebs des Energierückgewinnungssystems das gasförmige Medium gleichzeitig in den zwei oder mehr Hubbereichen expandiert.
2. Flügelzellenexpander nach Anspruch 1, wobei die Innenkontur (10) und/oder die Steuerschlitze des Gehäuses (16) für alle Hubbereiche identisch ausgeführt sind.
3. Flügelzellenexpander nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Innenkontur (10) des Gehäuses im Hinblick auf den jeweils einem Hub zugeordneten Drehbereich asymmetrisch ausgeführt ist, wodurch der der Expansionsphase zugeordnete Drehbereich (14) mehr als 50 % des dem jeweiligen Hub zugeordne-

ten Gesamtdrehbereichs des Rotors ausmacht.

4. Flügelzellenexpander (4) zur Erzeugung mechanischer Energie aus der Expansion eines gasförmigen Mediums, mit einem Gehäuse (16), einem Einlass und einem Auslass für das gasförmige Medium und einen im Gehäuse angeordneten Rotor (11),
dadurch gekennzeichnet,
dass die Flügel (12) auf ihrer dem Gehäuse (16) abgewandten Seite durch einen Zwangsführungsring (17) geführt sind.
5. Flügelzellenexpander nach Anspruch 4, wobei die Kontaktbereiche der Flügel (12) mit der Innenkontur (10) des Gehäuses einen Krümmungsradius größer Null haben, so dass sich die Kontaktlinie (20) der Flügel mit der Innenkontur (10) bei der Drehbewegung des Rotors auf dem Krümmungsradius der Kontaktbereiche verschiebt, wobei der Zwangsführungsring (17) eine Kontur aufweist, welche diese Verschiebung berücksichtigt.
6. Flügelzellenexpander (4) zur Erzeugung mechanischer Energie aus der Expansion eines gasförmigen Mediums, mit einem Gehäuse (16, 24), einem Einlass und einem Auslass für das gasförmige Medium und einen im Gehäuse angeordneten Rotor (11),
dadurch gekennzeichnet,
dass an Stirnflächen (22) des Rotors (11) zwischen den Flügeln (12) Dichtungssegmente (23) eines Dichtungsringes zur seitlichen Abdichtung mit dem Gehäuse (24) angeordnet sind.
7. Flügelzellenexpander nach Anspruch 6, wobei Druckmittel (25, 27) vorgesehen sind, welche die Dichtungssegmente (23) gegen das Gehäuse drücken, wobei vorteilhafterweise die Druckmittel eine Feder (27) und/oder einen Druckkanal (25) umfassen.
8. Flügelzellenexpander (4) zur Erzeugung mechanischer Energie aus der Expansion eines gasförmigen Mediums, mit einem Gehäuse (16), einem Einlass und einem Auslass für das gasförmige Medium und einen im Gehäuse angeordneten Rotor (11),
dadurch gekennzeichnet,
dass der Rotor aus zwei oder mehr Rotorabschnitten (11, 11') besteht, welche nebeneinander auf einer gemeinsamen Achse (30) sitzen und jeweils durch eine Druckplatte (29) voneinander getrennt sind und/oder das Gehäuse aus zwei oder mehr Gehäuseabschnitten (16, 16') besteht, welche in Axialrichtung des Rotors nebeneinander angeordnet sind und den Rotor umgeben.
9. Flügelzellenexpander nach Anspruch 8, wobei die Rotorabschnitte (11, 11') und/oder Gehäuseabschnitte (16, 16') identisch ausgeführt sind und/oder

die gleiche Außen- bzw. Innenkontur aufweisen.

10. Flügelzellenexpander nach Anspruch 8 oder 9, mit mindestens drei Rotorabschnitten, wobei das Gehäuse zur Ansteuerung mindestens eines der innen liegenden Rotorabschnitte Steuerschlitze im Umfangsbereich aufweist. 5

11. Flügelzellenexpander (4) zur Erzeugung mechanischer Energie aus der Expansion eines gasförmigen Mediums, mit einem Gehäuse (16), einem Einlass und einem Auslass für das gasförmige Medium und einen im Gehäuse angeordneten Rotor (11), **dadurch gekennzeichnet**, 10
 der Rotor des Flügelzellenexpanders über Kugellager mit Keramikugeln gelagert ist. 15

12. Energierückgewinnungssystem (1) mit einem Flügelzellenexpander (4) nach einem der vorangegangenen Ansprüche. 20

13. Verfahren zum Betrieb eines Energierückgewinnungssystems (1) nach Anspruch 12, wobei ein gasförmiges Medium in den Flügelzellenexpander (4) strömt und dort unter Abgabe von mechanischer Energie expandiert, wobei das Energierückgewinnungssystem vorteilhafterweise nach dem Clausius-Rankine-Prinzip arbeitet. 25

14. Verfahren zur Herstellung eines Flügelzellenexpanders nach Anspruch 5, wobei die Außenkontur des Zwangsführungsringes (17) unter Berücksichtigung der Verschiebung der Kontaktlinie (20) ermittelt wird. 30

15. Verfahren zur Herstellung eines Flügelzellenexpanders (4) insbesondere nach Anspruch 8 mit einem Flügelzellenexpander zur Erzeugung mechanischer Energie aus der Expansion eines gasförmigen Mediums mit einem Gehäuse (16), einem Einlass und einem Auslass für das gasförmige Medium und einen im Gehäuse angeordneten Rotor (11), **dadurch gekennzeichnet**, 35
dass je nach gewünschtem Hubvolumen der Rotor aus einem, zwei oder mehr Rotorabschnitten (11, 11') aufgebaut wird, welche, wenn zwei oder mehr Rotorabschnitte eingesetzt werden, nebeneinander auf eine gemeinsamen Achse gesetzt und jeweils durch eine Druckplatte voneinander getrennt werden und/oder wobei das Gehäuse aus einem oder mehreren Gehäuseabschnitten (16, 16') besteht, 40
 welche, wenn zwei oder mehr Gehäuseabschnitte eingesetzt werden, in Axialrichtung des Rotors nebeneinander angeordnet sind und den Rotor umgeben. 45
 50
 55

Fig. 1

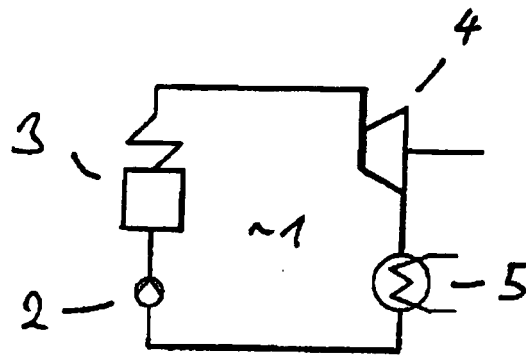
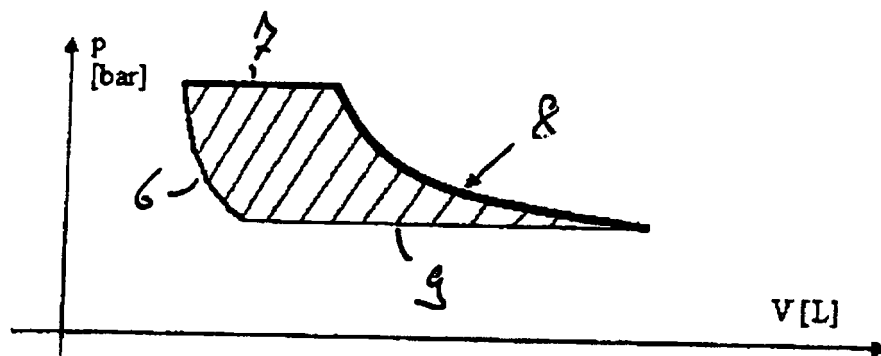
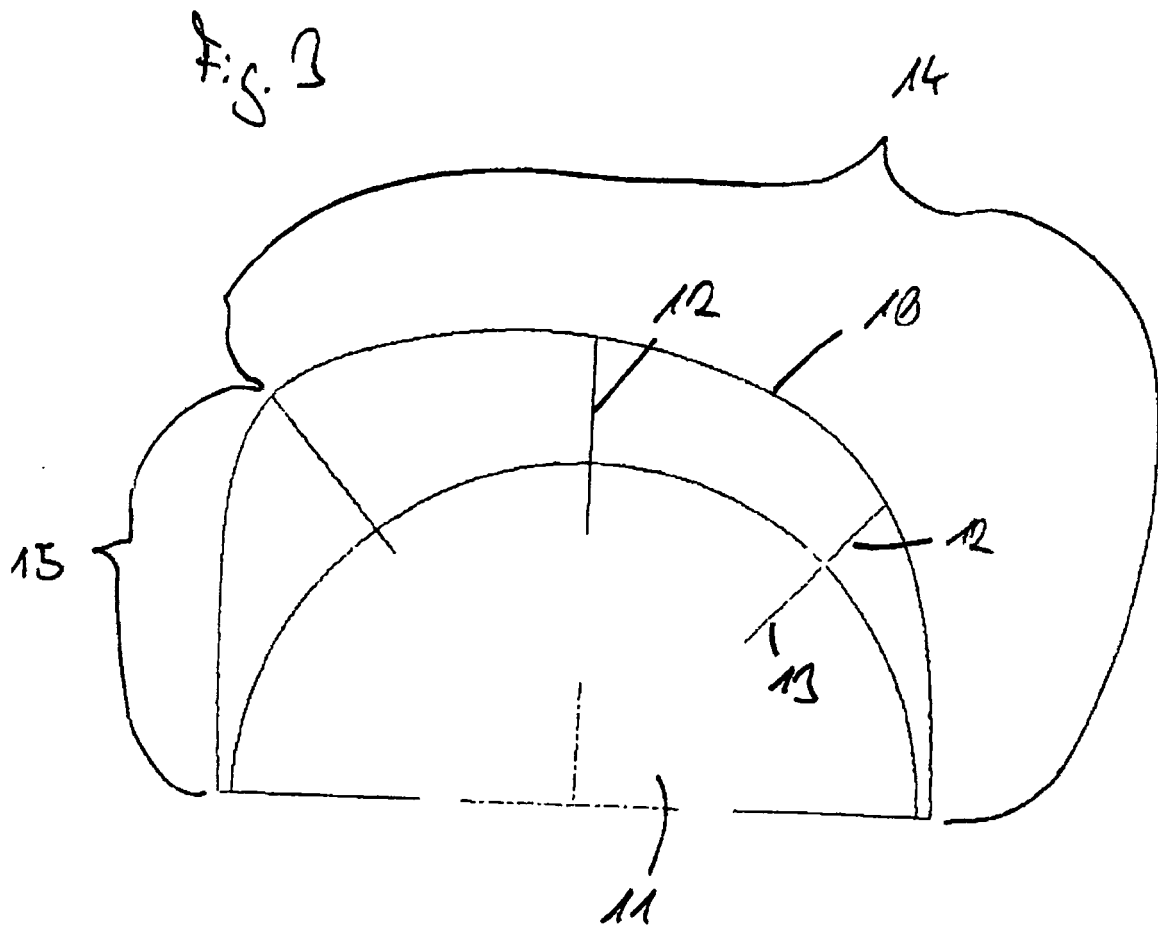
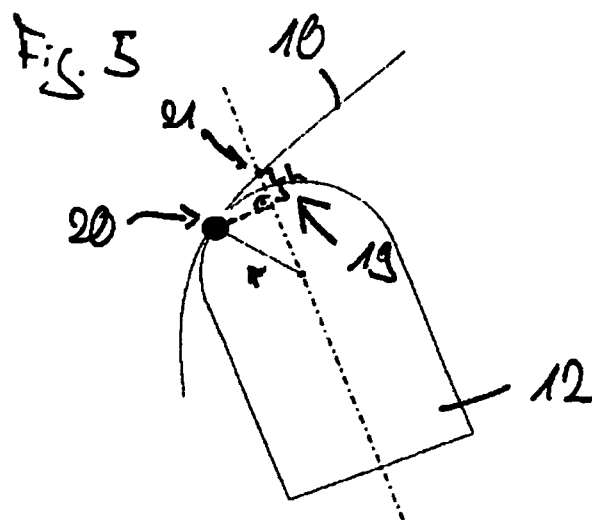
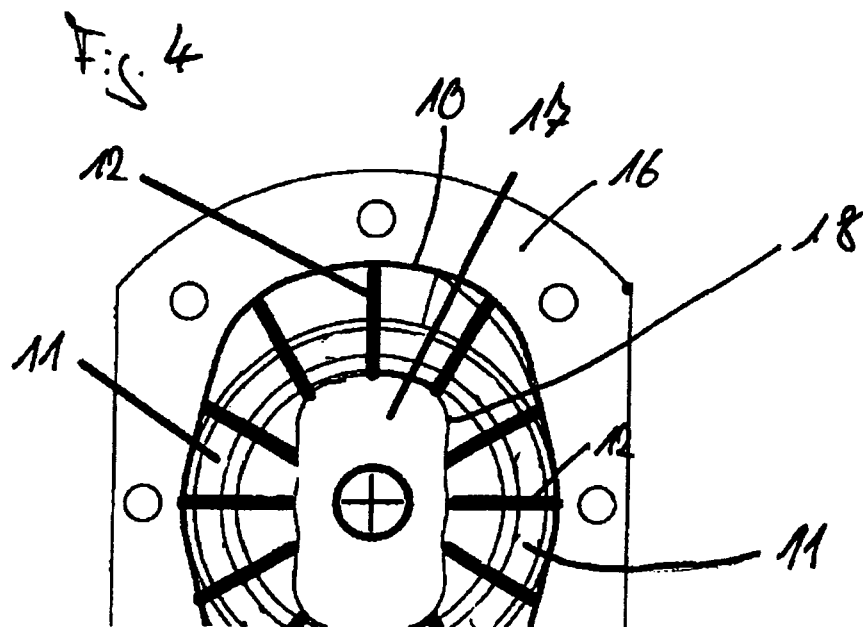


Fig. 2







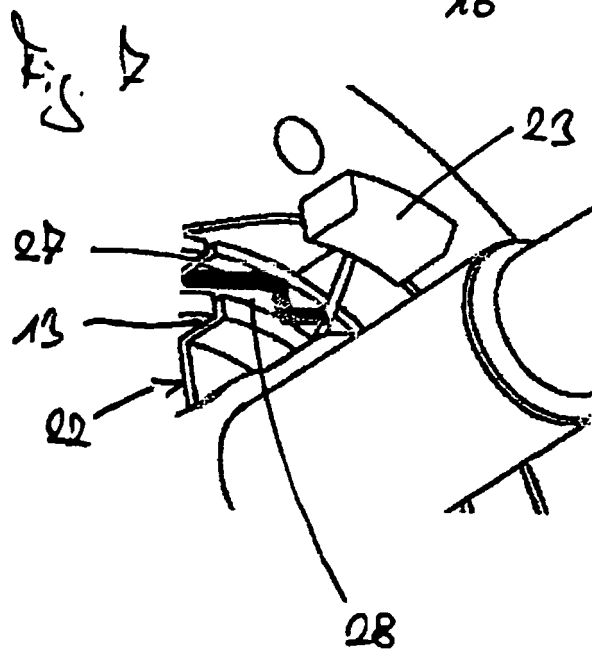
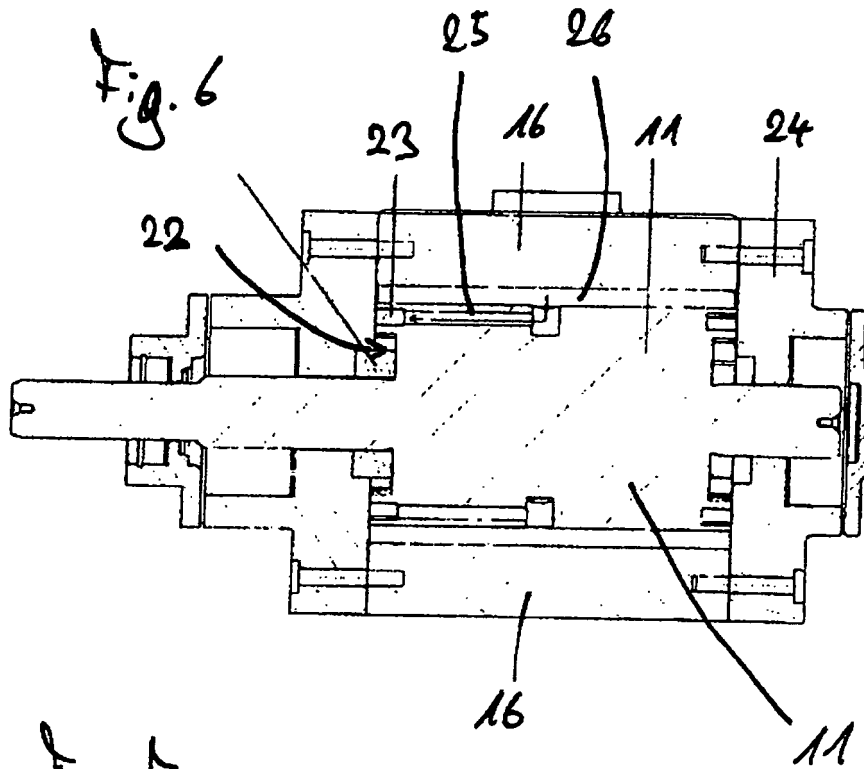


Fig. 8

