

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 412/2005 (51) Int. Cl.⁸: **F02C 3/32** (2006.01)

(22) Anmeldetag: 2005-03-11

(43) Veröffentlicht am: 2008-09-15

(56) Entgegenhaltungen:
US 5687560A1 US 5845481A1
GB 642118A US 1874314A1

(73) Patentanmelder:
DELUNAMAGMA INDUSTRIES GMBH
A-5023 SALZBURG (AT)

(54) **VERBRENNUNGSKRAFTMASCHINE MIT EINER MITTEL- ODER HOCHDRUCK-
ABGASTURBINE UND VERFAHREN ZU DEREN BETRIEB**

(57) Bei der Erfindung der Verbrennungskraftmaschine, Kondensationstemperatur des Dampfes vorerwärmt, sowie beim Verfahren zum Betreiben einer Verbrennungskraftmaschine, wird einer Mittel- oder Hochdruck / Axial oder Radial-Abgasturbine (16) eine kontinuierlich betriebener Brenner (15) vorgeschaltet, welcher erfindungsgemäß von einem Hochdrucktreibstrahl-Dampfinjektor (31) mit Verbrennungsluft geladen wird und dessen Treibdampf überwiegend in einem, der Unterschall-Abgasturbine (16) nachgeschalteten Rekuperator (4) erzeugt wird. Im Gegensatz zu bekannten Anwendungen eines solchen Rekuperator, werden dem Abgas (32) nicht nur das Speisewasser (26) zur Treibdampferzeugung entgegen geführt, sondern auch der Treibstoff (25) und auch die Verbrennungsluft (24). Das Verdichten der Verbrennungsluft erfolgt in einem Dampfinjektor (31) der mit rekuperativ erzeugtem überhitztem Höchstdruck-Heißdampf betrieben wird. Um eine ausreichende Pumpfähigkeit für die Verbrennungsluftförderung zu erreichen, muss das unvermeidliche Kondensat nach der Laval-Dampftreibdüse (1) im Injektormischrohr (10) wieder verdampft werden. Dazu wird die angesaugte Verbrennungsluft im Rekuperator (24) weit über die

Die Erfindung betrifft eine Verbrennungskraftmaschine mit einer Mittel- oder Hochdruck-Abgasturbine (axial oder radial), sowie einem kontinuierlich betriebenen Brenner, welcher erfindungsgemäß Hochdrucktreibstrahl-Dampfinjektor mit Verbrennungsluft geladen wird und dessen Treibdampf überwiegend in einem, der Abgasturbine nachgeschalteten Rekuperator (Gegenstrom-Wärmetauscher) erzeugt wird. Im Gegensatz zu bekannten Anwendungen eines solchen Rekuperators werden zum Abgas im Wärmetauscher nicht nur das Speisewasser zur Treibdampferzeugung gegengeführt, sondern auch der Treibstoff und auch die Verbrennungsluft.

Ebenso betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben einer Verbrennungskraftmaschine mit einer Mittel- oder Hochdruck-Abgasturbine, sowie einem kontinuierlich betriebenen Brenner, welcher erfindungsgemäß von einem Hochdrucktreibstrahl-Dampfinjektor mit Verbrennungsluft geladen wird und dessen Treibdampf überwiegend in einem der Abgasturbine nachgeschalteten Rekuperator erzeugt wird. Im Gegensatz zu bekannten Anwendungen eines solchen Rekuperators werden zum Abgas im Wärmetauscher nicht nur das Speisewasser zur Treibdampferzeugung gegengeführt, sondern auch der Treibstoff und die Verbrennungsluft.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Verbrennungskraftmaschine der eingangs erwähnten Art bereitzustellen und dabei eine Hochdruck-Dampftreibstrahlpumpe zum Verdichten der Verbrennungsluft für eine solche Maschine anwendbar zu machen. Die Ausführungsbeispiele zeigen zwei Varianten der Anwendung des Hochdrucktreibstrahl-Dampfinjektors: In einem ersten Beispiel wird der Brenner alleine durch den Dampfinjektor ohne weitere bewegliche Bauteile geladen, in einem zweiten Ausführungsbeispiel wird eine Anwendung des Dampfinjektors mit zusätzlichem Vorschalten einer von der Turbine angetriebenen Verdichterstufe gezeigt.

Ähnliche Anwendungen sind aus der Anmeldung DE 560 273 A bekannt, in welcher mittels Dampf die Verbrennungsluft zusätzlich verdichtet wird und in den Brenner folglich ein Gemisch aus Dampf und Verbrennungsluft gelangt.

Aus der Anmeldung US 2 542 953 A ist bekannt, dass im Injektor nur der verdampfte Treibstoff zum Fördern und Verdichten der Verbrennungsluft verwendet wird. Die Verdampfung des Brennstoffes erfolgt in einem Wärmetauscher zur Brennkammer.

In einer Ausführung gemäß der US 5 983 640 A wird mit Hilfe der Dampfstrahlpumpe Luft angesaugt und nachträglich ebenfalls in einer Turbine expandiert.

Die EP 0 462 458 A beschreibt ein Verfahren, wonach in einem Abhitzedampferzeuger einer Gasturbogruppe Hochdruckdampf erzeugt wird, welcher zur Weiterverdichtung der Luft mittels Dampfstrahlpumpe verwendet wird.

Aus der GB 190 927 090 A ist bekannt, dass mittels eines im Abgas-Wärmetauscher erzeugten Dampfes, Brennstoff und Luft von einem Strahlapparat angesaugt wird.

Die US 5 687 560 A1 zeigt eine Verbrennungskraftmaschine mit einer Abgasturbine und einer vorgeschalteten kontinuierlich betriebenen Brennkammer. Eine Ausführung dieser Verbrennungskraftmaschine hat einen der Abgasturbine nachgeschalteten Wärmetauscher, in dem der Verbrennungsluft und einem Treibstoff/Dampf-Gemisch im Gegenstrom Wärme zugeführt wird. In einer weiteren Ausführung dieser Verbrennungskraftmaschine erfolgt die Verdichtung eines Teiles des Treibstoff/Dampf-Gemisches. Hier handelt es sich um ein Verfahren zur Nutzung der Abwärme einer Abgasturbine, weil im Abgasstrom ein Wärmetauscher geschaltet ist. Es handelt sich also um eine zweistufige Gasturbine und zwar bestehend aus einem Niederdruck-Vorverdichter und eine mechanisch mit einem Niederdruck-Vorverdichter gekoppelte Abgasturbine. In der ersten Stufe wird die Verbrennungsluft vorgeheizt. Dieser vorgeheizte Treibstoff wird dann in den Verbrennungsteil der nachgeschalteten Abgasturbine eingespeist. Am Ausgang der Abgasturbine ist ein zweiter Wärmetauscher angeordnet, der von dem heißen Abgas

durchströmt wird. In diesem zweiten Wärmetauscher wird die vorher durch den ersten Wärmetauscher abgekühlte Verbrennungsluft hindurchgeleitet und entsprechend aufgeheizt, um so im aufgefrischten Zustand in die Eingangsstufe der Abgasturbine eingespeist zu werden. Ein Speisewasserkreislauf ist bei dem genannten Vorhalt in keiner Weise gezeigt. Nachteil dieser bekannten Verbrennungskraftmaschine mit Abgasturbine ist, dass insgesamt zwei Gegenstromwärmetauscher benötigt werden, nämlich ein erster Gegenstromwärmetauscher zum Aufheizen des Treibstoffes und ein zweiter Gegenstromwärmetauscher zum Aufheizen der Verbrennungsluft. Der Eintrag des Kraftstoffes erfolgt nicht über eine Strahlpumpe, sondern über einen Niederdruck-Kompressor, was ebenfalls nachteilig für den Wirkungsgrad ist.

In der US 5 845 481 A1 wird eine Verbrennungskraftmaschine mit einer Abgasturbine und einer kontinuierlich betriebenen Brennkammer offenbart, bei der die Wärme des Abgases auf einen Teil des Brennstoffes in einem der Abgasturbine nachgeschalteten Wärmetauscher übertragen wird. Es handelt sich also um eine einfache Wärmeübertragung in einer zweifachen Gasturbine, die aus einer Verdichterstufe und einer Entspannungsstufe besteht, wobei in einem Abwärme-Gegenstromwärmetauscher ein zweiter Gegenstrom-Wärmetauscher angeordnet ist, der Verbrennungsluft aus der Verdichterstufe Wärme überträgt, um diese vorzuheizen und in die Entspannungsstufe einzuspeisen. Auch bei dieser zweistufigen Turbinenanordnung bestehen die gleichen Nachteile, wie sie bei der US 5 687 560 A1 bestehen.

Die GB 642 118 A beinhaltet eine Verbrennungskraftmaschine mit Abgasturbinen vorgeschalteten kontinuierlich betriebenen Brennkammern und den Abgasturbinen nachgeschalteten Wärmetauschern, in denen die Verbrennungsluft vorgewärmt und Dampf erzeugt wird. Bei dieser Anordnung sind mehrere Verdichterstufen hintereinander angeordnet, um einen relativ hohen Verdichtungsgrad für die in die Brennkammer einzuführende Verbrennungsluft zu erzielen. Im Zwischenraum zwischen der Niederdruckverdichterstufe und der Hochdruckverdichterstufe ist ein erster Wärmetauscher zur Abkühlung der Verbrennungsluft angeordnet. Es handelt sich jedoch nicht um einen Gegenstromwärmetauscher. Im Bereich zwischen dem Hochdruckkompressor und der Hochdruck-Verbrennungskammer ist ein weiterer Wärmetauscher angeordnet. Es sind ferner Dampfgeneratoren vorgesehen, die Brennerdüsen der beiden Verbrennungskammern arbeiten mit einem Gemisch aus Dampf und Öl. Es fehlt eine Strahlpumpe und ein Gegenstromwärmetauscher, der geeignet ist, Wärme aus dem Abgas zu entziehen und im Gegenstrom den Treibstoff, die Verbrennungsluft und ein Speisewasser vorzuwärmen.

Die US 1 874 314 A1 zeigt eine Verbrennungskraftmaschine mit einer Abgasturbine und einer kontinuierlich betriebenen Brennkammer und zwei Dampf injektoren zum zusätzlichen Verdichten der Verbrennungsluft, sowie rekuperative Wärmetauscher zur Erzeugung des Dampfes. Die Turbine ist zweistufig ausgelegt, indem die Abgasturbine mechanisch mit einer Vorverdichterstufe gekoppelt ist. In der mechanischen Vorverdichterstufe wird die Verbrennungsluft verdichtet und zu einem Teil dem Brenner zugeführt. Vor Eintritt in den Brenner wird die Verbrennungsluft durch zwei nacheinander wirkende Dampf injektoren zusätzlich verdichtet. Ein anderer Teil der Verbrennungsluft wird dem Abgas nach dem Brenner, aber noch vor dem Eintritt in die Abgasturbine, beigemischt. Diese Form des sekundären Beimischens des Dampfes ist erforderlich, da die Dampfmenge im Brenner die Flamme zum Erlöschen brächte.

Der gesamte Dampf im Abgas wird nach dem Passieren der Abgasturbine in einem Wärmetauscher kondensiert und als Flüssigkeit in einem Wärmetauscher zum Abgas nach der Turbine wieder vorverdampft und in einem zweiten Wärmetauscher im Brenner überhitzt. Nachteil dieser bekannten Verbrennungskraftmaschine ist, dass insgesamt drei Wärmetauscher und drei Injektoren benötigt werden. Dies ist zwar ein konstruktiver Mehraufwand, entscheidend ist aber, dass in dieser Verbrennungskraftmaschine die Abwärme im Abgas nur zu einem geringen Teil rekuperativ genutzt werden kann. Es wird dem Abgas, welches aus dem Verbrennungsgas - zusammengesetzt aus verbranntem Treibstoff und „verbrannter Verbrennungsluft“ - sowie dem Dampf besteht, die Wärmekapazität des rückgeführten Speisewassers entgegengeführt. Diese kann in dem Wärmetauscher mit dessen Wärmekapazität aber niemals die Restwärme des

Dampfes und des Abgases aufnehmen.

Weiters wird die Verbrennungsluft für die gezeigte Verbrennungskraftmaschine nicht vorerwärmt. Dies wäre in der gezeigten Ausführung grundsätzlich auch nicht möglich, da es das Erwärmen der Verbrennungsluft vor einer mechanischen Verdichterstufe erforderlich macht, was den Nutzen der Wärmerückführung bei Weitem wieder aufheben würde. Die gezeigte Verbrennungskraftmaschine verzichtet auch auf die Wärmerückführung von Abwärme mittels des zufließenden Treibstoffes.

Durch die rekuperative Abwärmerückführung über das zufließende Speisewasser und den Treibstoff und die Verbrennungsluft kann eine erfindungsgemäße Verbrennungskraftmaschine bereitgestellt werden, welche auch völlig ohne mechanische Vorverdichter, mit nur einem Dampfstrahlinjektor einen ausreichenden Verdichtungsdruck vor dem Brenner erzielt und andererseits die Flamme dabei nicht durch eine Übermenge von Dampf löscht.

Zum Betreiben einer Wärmekraftmaschine können Dampftreibstrahlpumpen zum Verdichten der Verbrennungsluft nur sehr bedingt eingesetzt werden, da extrem schlechte Wirkungsgrade erzielt werden. Dieser schlechte Wirkungsgrad resultiert zum einen daraus, dass der Hochdruck-Treibdampf bereits in der Treibdüse in den Zustand des Nassdampfes übergeht, zum anderen wird durch die Vermischung mit der Ansaugluft der Dampf in der Injektorkammer fast vollständig verflüssigt, der Wirkungsgrad η_{eff} sinkt dermaßen auf bis zu $< 5\%$!

Aufgabe der Erfindung ist es ein Verfahren bereitzustellen, welches den Wirkungsgrad der Hochdruck-Dampftreibstrahlpumpe soweit verbessert, dass bei ausreichender Pumpfähigkeit des Dampfes der unvermeidliche Flüssigkeitseintrag des Treibdampfes in die Verbrennungsluft unter einem Maß bleibt, welches zum Löschen der Flamme führt. Folglich wird das Speisewasser im Gegenstromwärmetauscher bei physikalisch höchstmöglichem Druck erhitzt und danach zusätzlich im Wärmetauscher zum Brenner überhitzt. Mit dem Passieren der Laval-Dampftreibdüse und dem Wandeln des Dampfdrucks in die Überschallgeschwindigkeit des abströmenden Treibdampfes entsteht unvermeidlich Kondenswasser im Dampf. Deswegen wird die angesaugte Verbrennungsluft im Rekuperator weit über die Kondensationstemperatur des Dampfes erwärmt, wodurch bei der anschließenden Vermischung des Nassdampfes mit dieser heißen Luft die Wasseranteile im Dampf wieder verdampfen. Dadurch wird die Pumpfähigkeit des Treibstrahles im entscheidenden Maße verbessert.

Der Rekuperator besteht für alle ihn durchströmenden Medien aus einem filigranen labyrinthartigen Kanalsystem, durch welches die Medien mit Unterschallgeschwindigkeit strömen. Erst durch das Strömen mit Unterschallgeschwindigkeit können Gase und Flüssigkeiten ohne das Auftreten schadhafter Verdichtungsstöße durch labyrinthartige, raumsparende Tauscherrohre und Kammern geleitet werden.

Der Rekuperator weist in die Hauptrichtung der Medien eine länglich gestreckte Form auf und ist allseitig nach außen wärmeisoliert. Er weist eine ausreichende Wärmeleitfähigkeit des für den Rekuperator verwendeten Metalls auf, um nach dem Abschalten der Maschine das Temperaturgefälle von einem Ende des Tauschers zum anderen allmählich zu egalisieren. Dieses Egalisieren der Temperatur führt zu einer gleichmäßig hohen Mischtemperatur des gesamten Wärmetauschers. Dies hat wiederum zur Folge, dass Ruß- und Brennstoffablagerungen an den (im Betrieb) kalten Stellen des abgasseitigen Wärmetauschers nachverbrannt werden.

Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung werden im Folgenden anhand eines in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiels der Erfindung erläutert. In dieser zeigt:

Fig. 1 eine schematische Ansicht der Maschine mit nur Injektorverdichtung (ohne vorgeschaltete Verdichterstufe)

Fig. 2 eine schematische Ansicht der Maschine mit zusätzlichen von der Turbine angetriebe-

nen Vorverdichterstufe für die Verbrennungsluft.

Bei der erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine ist einer Hochdruck-Dampfstrahlpumpe (31) mit ihrer Laval-Treibdampfdüse (1) und der Mischkammer (10), sowie dem Injektordiffusor (12) nach der nachfolgenden Treibstoffeinblasung (13) ein adiabater Brenner (15) nachgeschaltet. Das Abgas aus diesem kontinuierlich betriebenen Druckbrenner (15) strömt über die vorzugsweise mehrstufige Abgasturbine (16) (wahlweise axial oder radial) mit vorwiegend Unterschallgeschwindigkeit und unter stetiger Expansion des Druckgases in den Rekuperator (4). In der Abgasturbine (16) wird der Druck des Gases vollständig entspannt und die Rotation einer Welle (17) gewandelt. Das noch sehr heiße Abgas aus dieser Turbine (16) strömt anschließend im Gegenstrom zu dem zufließenden Treibstoff (25), zu dem Speisewasser (26) und zu der Verbrennungsluft (24) mit Unterschallgeschwindigkeit durch den als Gegenstromwärmetauscher ausgebildeten Rekuperator (4). Das Abgas verliert durch die Wärmeabgabe an die entgegenfließenden Medien (bei entsprechender Qualität und ausreichender Tauschfläche) seine gesamte Restwärme bis auf den nicht wieder zu gewinnenden Wärmeanteil aus der Kondensationswärme des Dampfes. Da der Dampfdruck des abströmenden Gemisches etwa bei atmosphärischem Druck liegt, der des zuströmenden Speisewassers Drücke mit ca. 500 bar aufweist, kann das zulaufende Wasser die Kondensationswärme nicht aufnehmen (die Zulauf-Verdampfungstemperatur liegt wesentlich über der Abfließ-Kondensationstemperatur).

Die Verbrennungsluft (24) strömt durch den Wärmetauscher (4) und die Verbrennungsluftleitung (21) zum Injektor der Hochdruck-Dampfstrahlpumpe (31). Gleichzeitig wird aus dem Speisewassertank (23) durch die Speisewasserpumpe (22) Wasser gefördert und mit physikalisch höchstmöglichem Druck in den dampfseitigen Wärmetauscherteil (26) gedrückt. Das Speisewasser erhitzt sich im Dampftauscher (26). Danach wird es zum Dampfüberhitzer (14) am Brenner (15) geführt. Über den Dampfüberhitzer (14) wird Wärme zugeführt, sodass überhitzter Heißdampf entsteht. Der überhitzte Heißdampf mit physikalisch höchstmöglichem Druck strömt sodann über die Hochdruck-Dampfleitung (2) weiter zur Laval-Dampftreibdüse (1), wo er mit Überschallgeschwindigkeit in den Injektor eingeblasen wird.

Am Auslass der Dampf-Treibdüse (1) entsteht ein Unterdruck mit einigen 1/10 bar unter atmosphärischem Druck. Dieser Unterdruck befördert die Verbrennungsluft in den Injektor (31). In einem zweiten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung wird gezeigt, dass es möglich ist durch einen von der Turbine (16) angetriebenen Verdichter (28) den Druck der zuströmenden Verbrennungsluft über atmosphärischen Druck zu erhöhen.

Im Injektor (9-12) kommt es zu einer intensiven Durchmischung des überschallschnellen Dampfes und der vorgewärmten Verbrennungsluft. Dabei stoßen Dampfmoleküle mit Luftmolekülen zusammen. Der hohe Bewegungsimpuls der Dampfmoleküle überträgt sich im überwiegend elastischen Stoß auf die Luftmoleküle. Die Volumenanteile von Verbrennungsluft zu Treibdampf können durch die maximierte Temperatur des Treibdampfes und den maximierten Druck des Treibdampfes ein Vielfaches betragen. Bei ausreichender Länge des Injektor-Mischrohres (10) nehmen beide Stoffe allmählich vorteilhaft eine homogene Geschwindigkeit und homogenisierte Mischtemperatur an.

Die Verbrennungsluft (24) wird im Rekuperator (4) soweit erwärmt, dass deren Temperatur weit über der Kondensationstemperatur des Dampfes liegt. Wassertröpfchen, welche im Treibdampf durch dessen Arbeitsleistung in der Dampftreibdüse (1) entstehen, werden durch die intensive Vermischung im Injektor (9-12) wieder verdampft. Dadurch steigert sich der Wirkungsgrad der Dampftreibstrahlpumpe (31) in jenem entscheidenden Maß, der sie für diesen Einsatzzweck erst anwendbar macht. Würde eine Dampftreibstrahlpumpe (31) die Verbrennungsluft mit normaler Umgebungstemperatur zugeführt, würden nicht nur die ohnehin schon vorhandenen Wassertröpfchen als Nassdampf erhalten bleiben, sondern dem Treibdampf würde von der Luft soviel Wärme entzogen, dass dieser fast vollständig kondensieren würde. Es ist also von unabdingbarer Wichtigkeit für das erfindungsgemäße Funktionieren der Dampftreibstrahlpumpe (31),

maximal überhitzten Heißdampf mit höchstmöglichem Druck zu erzeugen und die Verbrennungsluft weit über die Dampf-Kondensationstemperatur zu erwärmen.

Der dem Brenner (15) zugeführte Treibstoff wird in dem dafür vorgesehenen Gegenstrom-Wärmetauscher (25) ebenfalls durch die rekuperative Wärme aus dem Abgas erhitzt. Es werden Temperaturen erreicht, welche die Selbstzündungstemperatur der Treibstoffe übersteigen kann und viele flüssige Treibstoffe werden außerdem schon im Wärmetauscher (25) verdampft.

Damit der Brenner (15) eine adiabatische Verbrennung vollführen kann, muss auch er nach außen hin mit einer Hochtemperatur-Isolierung ummantelt sein. Befindet sich der Brenner (15) noch nicht auf jener Betriebstemperatur, bei der Treibstoff selbstzündend ist, wird mit einer elektrischen Zündkerze (30) gezündet. Diese Zündkerze (30) muss also nur in der Startphase der Maschine aktiv sein.

Der Brenner (15) ist, wie bei solchen Einrichtungen üblich, in seiner Form konisch, er stellt einen Diffusor dar. Das unter Druck in den Brenner einströmende Gemisch aus Dampf, vorgewärmter Verbrennungsluft und dem soeben eingespritzten Treibstoff (13), wird in dem sich allmählich erweiternden Brenner (15) auf ca. 25 m/s abgebremst.

Patentansprüche:

1. Verbrennungskraftmaschine mit einer Mittel- oder Hochdruck-Abgasturbine (16) und einem vorgeschalteten kontinuierlich betriebenen Unterschallbrenner (15), welcher die verdichtete Verbrennungsluft aus einer Strahlpumpe (31) bezieht, und einem, der Abgasturbine (16) nachgeschalteten als Wärmetauscher (32) ausgebildeten Rekuperator (4), in welchem der Maschine zufließende Medien (24, 25, 26) erwärmt werden und umgekehrt dem Abgas Restwärme entzogen wird, *dadurch gekennzeichnet*, dass im Wärmetauscher (32) bei Unterschallgeschwindigkeit dem Abgas Wärme entzogen wird, und im Gegenstrom dem Treibstoff (25) und der Verbrennungsluft (24) und dem Speisewasser (26) diese Wärme zugeführt wird.
2. Verbrennungskraftmaschine nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, dass der in der Injektorkammer im Überschall-Dampftreibstrahldampf auftretende Nassdampf durch die Vermischung des Treibdampfes mit der im Rekuperator (4) weit über die Kondensationstemperatur des Dampfes erwärmten Verbrennungsluft (24) wieder verdampft wird.
3. Verbrennungskraftmaschine nach Anspruch 1 und 2, *dadurch gekennzeichnet*, dass der im Rekuperator (4) erzeugte Dampf im Überhitzer (14) am Brenner (15) überhitzt wird.
4. Verbrennungskraftmaschine nach Anspruch 1 bis 3, *dadurch gekennzeichnet*, dass im der Abgasturbine (16) nachgeschalteten Gegenstromwärmetauscher (32) alle vier durchströmenden Medien mit Unterschallgeschwindigkeit fließen und folglich die Strömungskanäle raumsparend auch labyrinthartig angelegt sein können.
5. Verbrennungskraftmaschine nach Anspruch 1 bis 3, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Treibdampf einen Dampfdruck von zumindest annähernd 500 bar aufweist und der Treibdampf im Dampfüberhitzer auf zumindest annähernd 500°C erhitzt wird.
6. Verbrennungskraftmaschine nach Anspruch 1 bis 5, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Treibdampf mit mehrfacher Schallgeschwindigkeit aus der Laval-Treibdüse (1) austritt.
7. Verbrennungskraftmaschine nach Anspruch 1 bis 6, *dadurch gekennzeichnet*, dass das im Mischrohr (10) des Injektors zunächst auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigte Gemisch aus Treibdampf und Verbrennungsluft, vor dem Eintritt in den Brenner (15) durch

Verdichtungsstöße und in einen, dem Mischrohr (10) nachgeschalteten Diffusor (12) weit unter Schallgeschwindigkeit verzögert wird.

- 5 8. Verfahren zum Betreiben einer Verbrennungskraftmaschine mit einer Mitteldruck- oder Hochdruck-Abgasturbine (16) und einem vorgeschalteten kontinuierlich betriebenen Unterschallbrenner (15), welcher die verdichtete Verbrennungsluft aus einer Strahlpumpe (31) bezieht und einem, der Abgasturbine (16) nachgeschalteten Rekuperator (4), in welchem der Maschine zufließende Medien erwärmt werden und umgekehrt dem Abgas Restwärme entzogen wird, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Treibdampf für den Dampfinjektor ein physikalisches Maximum an Druck aufweist und außerdem überhitzt ist.
- 10

Hiezu 1 Blatt Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

50

55



Fig. 1

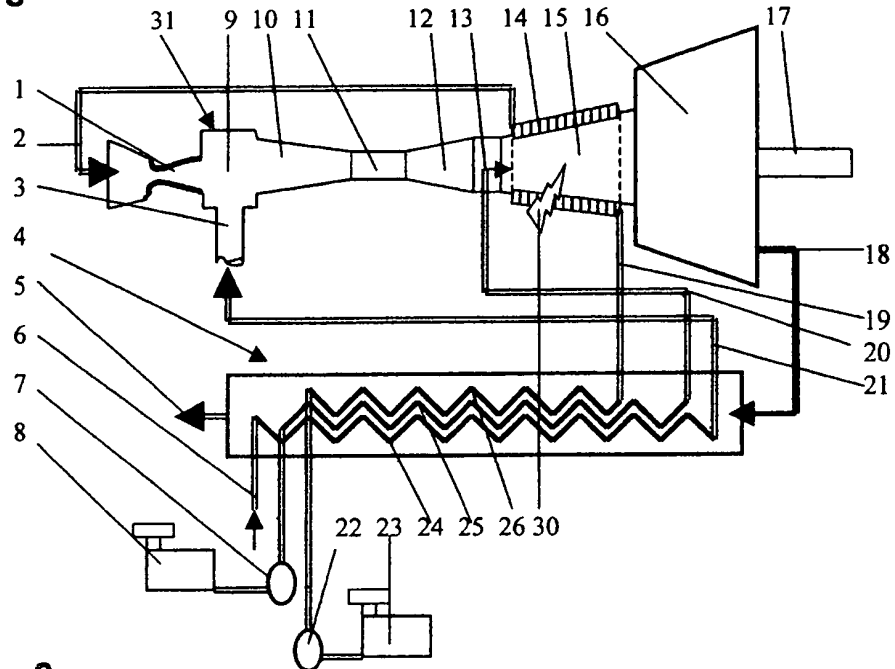


Fig. 2

