



(10) **DE 10 2012 224 078 A1** 2014.06.26

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2012 224 078.0**

(22) Anmeldetag: **20.12.2012**

(43) Offenlegungstag: **26.06.2014**

(51) Int Cl.: **F02B 37/013** (2006.01)

F02B 67/00 (2006.01)

(71) Anmelder:

**MTU Friedrichshafen GmbH, 88045,
Friedrichshafen, DE**

(74) Vertreter:

**Gleiss Große Schrell und Partner mbB
Patentanwälte Rechtsanwälte, 70469, Stuttgart,
DE**

(72) Erfinder:

**Kasper, Werner, 88048, Friedrichshafen,
DE; Schneemann, Arne, Dr. Ing., 88074,
Meckenbeuren, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

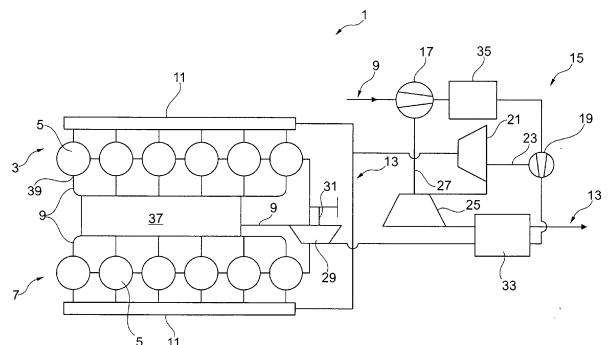
DE	33 38 330	A1
DE	38 07 372	A1
DE	10 2009 042 283	A1
DE	10 2010 035 085	A1
DE	10 2011 084 782	A1
GB	2 420 152	A
US	2002 / 0 195 086	A1
WO	81/ 02 912	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verbrennungsmotor**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verbrennungsmotor (1) mit mindestens einem Zylinder (5), einem ersten Fluidpfad (9) zur Zuführung von Ladeluft in den Zylinder (5), einem zweiten Fluidpfad (13) zur Abführung von Abgas aus dem Zylinder (5), einer Aufladegruppe (15), die mindestens einen Verdichter (17, 19) umfasst, der entlang des ersten Fluidpfads (9) zur Verdichtung der Ladeluft angeordnet ist, und mit einer Nutzturbine (29), die durch einen Fluidstrom antreibbar und mit einem Verbraucher wirkverbunden ist, vorgeschlagen. Der Verbrennungsmotor (1) zeichnet sich dadurch aus, dass die Nutzturbine (29) entlang des ersten Fluidpfads (9) angeordnet ist, sodass sie von der entlang des ersten Fluidpfads (9) strömenden Ladeluft antreibbar ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Verbrennungsmotor gemäß Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Verbrennungsmotoren der hier angesprochenen Art sind bekannt. Aus der europäischen Patentanmeldung EP 0 653 558 A1 geht ein Verbrennungsmotor mit mindestens einem Zylinder hervor, der einen ersten Fluidpfad zur Zuführung von Ladeluft in den Zylinder sowie einen zweiten Fluidpfad zur Abführung von Abgas aus dem Zylinder aufweist. Der Verbrennungsmotor umfasst eine Aufladegruppe, die einen Verdichter aufweist, der entlang des ersten Fluidpfads zur Verdichtung der Ladeluft angeordnet ist. Es ist eine Nutzturbine vorgesehen, die durch einen Fluidstrom antreibbar und mit einem Verbraucher, nämlich einen elektrischen Generator wirkverbunden ist. Die Aufladegruppe umfasst außer dem Verdichter eine mit diesem wirkverbundene Abgasturbine, durch die der Verdichter angetrieben wird. Dies entspricht dem Prinzip eines Abgasturboladers. Die Nutzturbine ist in dem zweiten Fluidpfad, mithin in einem Abgasstrang, parallel zu der Abgasturbine angeordnet. Hierdurch kann die von dem Abgas umfasste Energie, die bei einem abgasturboaufgeladenen Dieselmotor etwa ein Drittel der Kraftstoffenergie ausmachen kann, genutzt werden, indem sie von der Nutzturbine teilweise in Rotationsenergie und schließlich von dem Generator in elektrische Energie umgewandelt wird. Nachteilig an dieser Anordnung ist allerdings, dass sich für eine parallelgeschaltete Nutzturbine im Abgasstrang ein vergleichsweise geringer Massenstrom ergibt, und dass eine Abgastemperatur auch stromabwärts der Nutzturbine noch sehr hoch ist. Eine sich gegenüber einer Standardaufladung ohne Nutzturbine ergebende Effizienzsteigerung ist insgesamt relativ gering. Es ist auch möglich, die Nutzturbine im Abgasstrang stromabwärts der Abgasturbine anzuordnen, sie mithin mit dieser in Reihe zu schalten. Hierdurch steigt allerdings ein Abgasgegendruck in dem Abgasstrang an, wodurch eine Ausschubarbeit des mindestens einen Zylinders zunimmt. Dies wirkt sich negativ auf den Gesamtwirkungsgrad des Verbrennungsmotors aus. Außerdem ist auch bei einer solchen, nachgeschalteten Nutzturbine die Abgastemperatur stromabwärts derselben noch vergleichsweise hoch, und der Anteil der zurückgewonnenen Energie ist vergleichsweise gering.

[0003] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Verbrennungsmotor zu schaffen, welcher die von dem Abgas umfasste Energie effizienter nutzt, sodass der Wirkungsgrad des Verbrennungsmotor gesteigert sowie dessen spezifischer Kraftstoffverbrauch und seine Emissionen gesenkt werden können.

[0004] Die Aufgabe wird gelöst, indem ein Verbrennungsmotor mit den Merkmalen des Anspruchs 1

geschaffen wird. Dieser zeichnet sich dadurch aus, dass die Nutzturbine entlang des ersten Fluidpfads angeordnet ist, sodass sie von der entlang des ersten Fluidpfads strömenden Ladeluft antreibbar ist. Die Nutzturbine ist mithin nicht im Abgasstrang, sondern im Ladeluftstrang angeordnet und wird von der dem Verbrennungsmotor zugeführte Ladeluft angetrieben. Hierdurch wird ein Abgasgegendruck im Abgasstrang im Vergleich zu einer Nutzturbine, die einer Abgasturbine nachgeschaltet ist, gesenkt, was den Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors erhöht. Aufgrund der Anordnung der Nutzturbine in dem ersten Fluidpfad ist es auch möglich, mehr Abgasenergie zurückzugewinnen, als dies bei einer Anordnung im Abgasstrang – parallel oder seriell – möglich ist. Hierdurch sinkt auch der spezifische Kraftstoffverbrauch. Durch die Expansion in der Nutzturbine werden tiefe Ladelufttemperaturen erreicht, die zu niedrigen NO_x -Emissionen des Verbrennungsmotors führen.

[0005] Es wird ein Verbrennungsmotor bevorzugt, der sich dadurch auszeichnet, dass die Nutzturbine entlang des ersten Fluidpfads stromabwärts des mindestens einen Verdichters angeordnet ist. Der Nutzturbine wird mithin verdichtete Ladeluft zugeführt, wodurch sie besonders effizient betreibbar ist.

[0006] Der Verbrennungsmotor weist vorzugsweise mehr als einen Zylinder, insbesondere vorzugsweise vier Zylinder, vorzugsweise sechs Zylinder, vorzugsweise acht Zylinder, besonders bevorzugt 12 Zylinder oder mehr als zwölf Zylinder auf. Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist der Verbrennungsmotor als Großmotor ausgebildet, der beispielsweise zum Antrieb eines Generators, als Schiffsantrieb, Antrieb für eine Lokomotive oder ein anderes Großfahrzeug dient. Auch eine Anwendung als stationärer Großmotor, beispielsweise eines Notstromaggregats oder zur Grundlastversorgung in einem Elektrizitätswerk, beispielsweise einem Gaskraftwerk, sind möglich. Besonders bevorzugt ist der Verbrennungsmotor als Dieselmotor oder als Gasmotor, insbesondere als Magergasmotor, ausgebildet.

[0007] Es wird ein Verbrennungsmotor bevorzugt, der sich dadurch auszeichnet, dass die Aufladegruppe – entlang des ersten Fluidpfads gesehen – einen Niederdruck-Verdichter und stromabwärts des Niederdruck-Verdichters einen Hochdruck-Verdichter umfasst. Es sind also entlang des ersten Fluidpfads zwei Verdichterstufen vorgesehen, wobei die zu dem mindestens einen Zylinder strömende Ladeluft zunächst in dem Niederdruck-Verdichter auf ein erstes Druckniveau verdichtet wird, wobei sie anschließend von dem Hochdruck-Verdichter auf ein zweites Druckniveau verdichtet wird, wobei das zweite Druckniveau höher ist als das erste Druckniveau. Vorzugsweise ist die Nutzturbine stromabwärts des Hochdruck-Verdichters angeordnet. Sie ist in diesem Fall besonders effizient betreibbar, weil sie mit einem

besonders hohen Druck angeströmt wird. Alternativ ist es möglich, dass die Nutzturbine stromabwärts des Niederdruck-Verdichters, jedoch stromaufwärts des Hochdruck-Verdichters angeordnet wird, wobei sie in diesem Fall mit dem ersten Druckniveau angeströmt wird.

[0008] Es wird auch ein Verbrennungsmotor bevorzugt, der sich dadurch auszeichnet, dass die Aufladegruppe – entlang des zweiten Fluidpfads gesehen – mindestens eine Turbine umfasst, die mit dem mindestens einen Verdichter zu dessen Antrieb wirkverbunden ist. Die Aufladegruppe ist in diesem Fall als Abgasturbolader ausgebildet, wobei die von dem Abgas angetriebene, mindestens eine Turbine vorzugsweise über eine Welle mit dem mindestens einen Verdichter zur Verdichtung der Ladeluft wirkverbunden ist. Alternativ ist es möglich, dass der mindestens eine Verdichter als Kompressor ausgebildet ist, wobei er von einem separaten Antrieb oder von dem Verbrennungsmotor angetrieben wird.

[0009] Vorzugsweise umfasst die Aufladegruppe – entlang des zweiten Fluidpfads gesehen – eine Hochdruck-Turbine und stromabwärts derselben eine Niederdruck-Turbine. Die Hochdruck-Turbine ist mit dem Hochdruckverdichter wirkverbunden, um diesen anzutreiben, wobei die Niederdruck-Turbine mit dem Niederdruck-Verdichter wirkverbunden ist, um diesen anzutreiben. Insoweit wird eine zweistufige Aufladung mit einem Niederdruck-Abgasturbolader und einem Hochdruck-Abgasturbolader verwirklicht, wobei das unter hohem Druck aus dem mindestens einen Zylinder heranströmende Abgas zunächst die Hochdruck-Turbine und vermittelt über diese den Hochdruck-Verdichter antreibt, wobei es stromabwärts der Hochdruck-Turbine bei einem niedrigeren Druckniveau die Niederdruck-Turbine und vermittelt über diese den Niederdruck-Verdichter antreibt. Zur Funktion des Niederdruck-Verdichters und des Hochdruck-Verdichters wird auf die vorherigen Ausführungen verwiesen. Eine derartige zweistufige Aufladung ist im Übrigen bekannt, sodass hierauf nicht weiter eingegangen wird.

[0010] Es wird auch ein Verbrennungsmotor bevorzugt, der sich durch einen Rekuperator auszeichnet, durch den der erste Fluidpfad stromaufwärts der Nutzturbine zumindest bereichsweise verläuft. Der zweite Fluidpfad verläuft stromabwärts der mindestens einen Turbine, vorzugsweise stromabwärts der Niederdruck-Turbine zumindest bereichsweise durch den Rekuperator. Dabei sind der erste und der zweite Fluidpfad in dem Rekuperator miteinander in thermischem Kontakt. Die von dem Abgas insbesondere stromabwärts der Niederdruck-Turbine noch umfasste thermische Energie wird über den Rekuperator teilweise dem Ladeluftstrom in dem ersten Fluidpfad stromaufwärts der Nutzturbine zugeführt. Auf diese Weise wird die Abgastemperatur bevorzugt erheb-

lich abgesenkt, und ein großer Teil der Abgasenergie wird der Ladeluft zugeführt und durch die Nutzturbine umsetzbar gemacht. Der Rekuperator ist vorzugsweise als Wärmetauscher ausgebildet. Auf diese Weise wird durch den sehr effizienten Wärmetausch im Rekuperator ein größerer Teil der Abgasenergie vermittelt über die Ladeluft in der Nutzturbine nutzbar, als dies bei einer Parallel- oder Reihenschaltung der Nutzturbine zu einer Abgasturbine direkt in dem Abgasstrang möglich ist. Außerdem wird – wie bereits beschrieben – der Abgasgegendruck durch die Verlagerung der Nutzturbine in den ersten Fluidpfad gesenkt, sodass insgesamt der Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors deutlich angehoben wird. Somit sinkt auch sein spezifischer Kraftstoffverbrauch deutlich, und die Emissionen können reduziert werden. Letztlich steigt demnach der Wirkungsgrad des Gesamtprozesses. Als weiterer positiver Effekt kommt hinzu, dass das Temperaturniveau der Ladeluft vor dem mindestens einen Zylinder durch die Nutzturbine abgesenkt wird, was sich positiv auf die Füllung des Zylinders und die Emissionen auswirkt. Auch dies steigert den Wirkungsgrad des Gesamtprozesses.

[0011] Es wird auch ein Verbrennungsmotor bevorzugt, der sich dadurch auszeichnet, dass die Nutzturbine mit einem elektrischen Generator als Verbraucher wirkverbunden ist. Über die Nutzturbine kann demnach Strom erzeugt werden, der in vielfältiger Weise verwendet, beispielsweise in einer Batterie oder einem Akkumulator gespeichert, und/oder insbesondere zur Unterstützung des Verbrennungsmotors herangezogen werden kann. Insbesondere in einem hybridisierten Antriebsstrang ist es möglich, den mit Hilfe der Nutzturbine erzeugten Strom einer elektrischen Maschine zuzuführen, welche in bestimmten Betriebszuständen den Verbrennungsmotor unterstützen oder sogar ersetzen kann.

[0012] Es wird auch ein Verbrennungsmotor bevorzugt, der sich dadurch auszeichnet, dass entlang des ersten Fluidpfads mindestens ein Ladeluftkühler stromabwärts des mindestens einen Verdichters angeordnet ist. Für die Füllung des mindestens einen Zylinders ist es günstig, wenn diesem möglichst kühle Ladeluft zugeführt wird. Da die Ladeluft beim Verdichten erhitzt wird, ist es günstig, sie stromabwärts des mindestens einen Verdichters zu kühlen. Wie bereits zuvor ausgeführt, hat die Expansion in der Nutzturbine einen kühlenden Effekt und setzt die Temperatur der Ladeluft stromaufwärts des mindestens einen Zylinders herab. Gleichwohl ist vorzugsweise zusätzlich ein Ladeluftkühler stromabwärts des mindestens einen Verdichters vorgesehen.

[0013] In diesem Zusammenhang wird auch ein Verbrennungsmotor bevorzugt, der sich dadurch auszeichnet, dass der Ladeluftkühler stromabwärts der Nutzturbine angeordnet ist. In diesem Fall ist es mög-

lich, die bereits durch die Nutzturbine herabgesetzte Temperatur der Ladeluft weiter zu senken, wobei zugleich Ladeluft mit vergleichsweise hohem Energiegehalt der Nutzturbine zugeführt wird. Bei umgekehrter Anordnung würde der Ladeluft zuerst in dem Ladeluftkühler Energie entzogen, die dann in der Nutzturbine nicht mehr zur Verfügung stünde. Es ist daher energetisch günstiger, die Ladeluft zuerst durch die Nutzturbine und anschließend durch den Ladeluftkühler zu führen.

[0014] Es wird ein Verbrennungsmotor bevorzugt, der sich dadurch auszeichnet, dass – entlang des ersten Fluidpfads gesehen – ein Niederdruck-Ladeluftkühler und stromabwärts desselben ein Hochdruck-Ladeluftkühler angeordnet ist. Bei zweistufiger Verdichtung ist in diesem Fall also für jede Druckstufe ein eigener Ladeluftkühler vorgesehen. Dabei ist vorzugsweise der Niederdruck-Ladeluftkühler stromabwärts des Niederdruck-Verdichters und stromaufwärts des Hochdruck-Verdichters angeordnet. Die in dem Niederdruck-Verdichter komprimierte Ladeluft wird demnach zunächst durch den Niederdruck-Ladeluftkühler gekühlt, bevor sie in dem Hochdruck-Verdichter weiter verdichtet wird. Wird die Ladeluft in dem Niederdruck-Ladeluftkühler isobar gekühlt, ist es dann möglich, in dem Hochdruck-Verdichter eine größere Luftmasse bei niedrigerem Temperaturniveau zu verdichten. Der Hochdruck-Ladeluftkühler ist vorzugsweise stromabwärts des Hochdruck-Verdichters angeordnet. Er dient zur Kühlung der durch die Kompression im Hochdruck-Verdichters erwärmten Ladeluft, um die Füllung des mindestens einen Zylinders zu erhöhen.

[0015] Besonders bevorzugt ist der Hochdruck-Ladeluftkühler stromabwärts der Nutzturbine angeordnet. Diese wird also von der aus dem Hochdruck-Verdichter heranströmenden Ladeluft bei hohem Druck- und Temperaturniveau angeströmt, sodass in der Nutzturbine eine große Energiemenge zur Verfügung steht, die von der Nutzturbine in Rotationsenergie umgewandelt und schließlich dem Verbraucher zugeführt werden kann. Die durch die Nutzturbine teilweise entspannte und gekühlte Ladeluft wird dann von dem Hochdruck-Ladeluftkühler weiter gekühlt, bevor sie schließlich dem mindestens einen Zylinder zugeführt wird.

[0016] Schließlich wird ein Verbrennungsmotor bevorzugt, der sich dadurch auszeichnet, dass der Hochdruck-Ladeluftkühler unmittelbar vor einem Einlass für die Ladeluft in den mindestens einen Zylinder angeordnet ist. Dies ist nicht nur in Hinblick auf eine räumliche Anordnung des Hochdruck-Ladeluftkühlers günstig, weil dieser bauraumsparend besonders dicht an dem mindestens einen Zylinder und damit auch an dem Verbrennungsmotor selbst angeordnet sein kann, sondern es ist auch günstig in Hinblick auf die Erzielung einer möglichst großen Füllung für

den mindestens einen Zylinder, weil die Ladeluft unmittelbar vor dessen Einlass gekühlt wird und so bei besonders niedrigem Temperaturniveau in den Zylinder eingebracht werden kann. Es ist dabei nicht oder kaum möglich, dass die Ladeluft auf dem Weg von dem Hochdruck-Ladeluftkühler zu dem Zylinder wiederum – beispielsweise durch Abwärme des Verbrennungsmotors – erwärmt wird. Diese Anordnung des Hochdruck-Ladeluftkühlers trägt somit weiterhin zur Steigerung des Gesamtwirkungsgrads bei.

[0017] Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnung erläutert. Dabei zeigt die einzige Figur eine schematische Darstellung des Verbrennungsmotors.

[0018] Die einzige Figur zeigt einen Verbrennungsmotor **1**, der hier als Zwölfzylinder-Großmotor, vorzugsweise als Zwölfzylinder-V-Motor, insbesondere als Dieselmotor, ausgebildet ist. Der Verbrennungsmotor **1** umfasst eine erste Zylinderbank **3** mit sechs Zylindern, von denen der besseren Übersichtlichkeit wegen nur einer mit dem Bezugszeichen **5** gekennzeichnet ist, sowie eine zweite Zylinderbank **7**, die ebenfalls sechs Zylinder aufweist, von denen ebenfalls einer mit dem Bezugszeichen **5** gekennzeichnet ist. Ein erster Fluidpfad **9** dient der Zuführung von Ladeluft in die Zylinder **5**.

[0019] Die erste Zylinderbank **3** und die zweite Zylinderbank **7** weisen jeweils ein Abgassammelrohr **11** auf, welches Teil eines zweiten Fluidpfads **13** zur Abführung von Abgas aus den Zylindern **5** ist.

[0020] Weiterhin umfasst der Verbrennungsmotor **1** einer Aufladegruppe **15**, welche der Verdichtung der Ladeluft entlang des ersten Fluidpfads **9** dient.

[0021] Die Aufladegruppe **15** umfasst – entlang des ersten Fluidpfads **9** gesehen – einen Niederdruck-Verdichter **17** und stromabwärts desselben einen Hochdruck-Verdichter **19**, sodass die Ladeluft in zwei Stufen zuerst von dem Niederdruck-Verdichter **17** auf ein erstes Druckniveau und anschließend von dem Hochdruck-Verdichter **19** auf ein zweites Druckniveau bringbar ist.

[0022] Die Aufladegruppe **15** umfasst – entlang des zweiten Fluidpfads **13** gesehen – eine Hochdruck-Turbine **21**, die über eine Welle **23** mit dem Hochdruck-Verdichter **19** wirkverbunden ist, sodass dieser von der Hochdruck-Turbine **21** durch den Abgasstrom in dem zweiten Fluidpfad **13** antreibbar ist. Stromabwärts der Hochdruck-Turbine **21** – entlang des zweiten Fluidpfads **13** gesehen – umfasst die Aufladegruppe **15** eine Niederdruck-Turbine **25**, die über eine Welle **27** mit dem Niederdruck-Verdichter **17** wirkverbunden ist, sodass dieser durch die Niederdruck-Turbine **25**, die von dem Abgasstrom in dem zweiten Fluidpfad **13** angetrieben wird, antreibbar ist.

[0023] Die Aufladegruppe **15** ist insofern als zwei-stufige Aufladung mit einem Hochdruck-Turbolader, der die Hochdruck-Turbine **21**, die Welle **23** und den Hochdruck-Verdichter **19** umfasst, und einem Niederdruck-Turbolader, welcher die Niederdruck-Turbine **25**, die Welle **27** und den Niederdruck-Verdichter **17** umfasst, ausgebildet.

[0024] Entlang des ersten Fluidpfads **9** ist eine Nutzturbine **29** vorgesehen, die im Betrieb des Verbrennungsmotors **1** von der entlang des ersten Fluidpfads **9** strömenden Ladeluft angetrieben wird. Diese ist bei dem in der Figur dargestellten Ausführungsbeispiel stromabwärts des Hochdruck-Verdichters **19** angeordnet und wird entsprechend von der Ladeluft auf der zweiten Druckstufe, mithin von unter vergleichsweise hohem Druck stehender Ladeluft angeströmt beziehungsweise angetrieben. Die Nutzturbine **29** ist stromaufwärts des mindestens einen Zylinders **5** angeordnet.

[0025] Vorzugsweise ist die Nutzturbine **29** mit einem nicht dargestellten elektrischen Generator als Verbraucher wirkverbunden, sodass von der Ladeluft umfasste Energie durch die Nutzturbine **29** zunächst in Rotationsenergie und anschließend in dem elektrischen Generator in elektrische Energie umwandelbar ist. Alternativ ist es möglich, die Energie der Nutzturbine, wie für das Ausführungsbeispiel des Verbrennungsmotors **1** gemäß der Figur dargestellt, über eine mechanische Verbindung **31** in die Kurbelwelle zu speisen. Hierzu ist umfasst die mechanische Verbindung **31** bevorzugt ein nicht dargestelltes Getriebe.

[0026] Das in der Figur dargestellte Ausführungsbeispiel des Verbrennungsmotors **1** weist einen Rekuperator **33** auf, der als Wärmetauscher ausgebildet ist. Der erste Fluidpfad **9** verläuft stromaufwärts der Nutzturbine **29** und stromabwärts des Hochdruck-Verdichters **19** durch den Rekuperator **33**, während der zweite Fluidpfad **13** stromabwärts der Niederdruck-Turbine **25** durch denselben verläuft. In dem Rekuperator **33** stehen der erste Fluidpfad **9** und der zweite Fluidpfad **13** miteinander in thermischem Kontakt, sodass die stromabwärts der Niederdruck-Turbine **25** noch von dem Abgas umfasste, thermische Energie zumindest teilweise an die den Rekuperator **33** entlang des ersten Fluidpfads **9** durchströmende Ladeluft abgegeben werden kann.

[0027] Die in dem Hochdruck-Verdichter **19** verdichtete und erwärmte Ladeluft wird so in dem Rekuperator **33** weiter erwärmt, sodass sie die Nutzturbine **29** bei hohem Druck- und Temperaturniveau anströmt. Hierdurch ist die Nutzturbine **29** sehr effizient betreibbar. Insbesondere kann ein erheblicher Teil der noch von dem Abgas umfassten Energie über den Rekuperator **33** der Ladeluft zugeführt und schließlich in der Nutzturbine **29** nutzbar gemacht werden. Der Rekuperator **33** ermöglicht somit einen sehr günstigen

Wirkungsgrad des Gesamtprozesses. Wichtig hierfür ist auch, dass die Nutzturbine **29** gerade stromabwärts des Hochdruck-Verdichters **19** und des Rekuperators **33** angeordnet ist, wobei sie bevorzugt – gegebenenfalls bis auf einen Ladeluftkühler – unmittelbar stromaufwärts des mindestens einen Zylinders **5** angeordnet ist, sodass ein hohes Temperatur- und Druckniveau der Ladeluft in der Nutzturbine **29** möglichst vollständig genutzt werden kann, ohne dass stromabwärts der Nutzturbine **29** weitere Strömungshindernisse angeordnet sind.

[0028] Der Rekuperator **33** ist vorzugsweise unmittelbar stromaufwärts der Nutzturbine **29** angeordnet, sodass die aus dem Abgas zurückgewonnene und der Ladeluft zugeführte Energie möglichst vollständig der Nutzturbine **29** zugeführt werden kann, ohne zuvor in anderen Elementen dissipiert zu werden. Zugleich ist der Rekuperator **33** vorzugsweise stromabwärts der Niederdruck-Turbine **25** angeordnet, um nicht dem Abgas stromaufwärts einer Turbine Energie zu entnehmen, die andernfalls zur Verdichtung der Ladeluft genutzt werden könnte. Vielmehr soll der Rekuperator **33** bevorzugt lediglich die nach der Niederdruck-Turbine **25** noch im Abgas vorhandene Restenergie möglichst vollständig nutzbar machen.

[0029] Das in der Figur dargestellte Ausführungsbeispiel des Verbrennungsmotors **1** weist – entlang des ersten Fluidpfads **9** gesehen – einen Niederdruck-Ladeluftkühler **35** auf, der unmittelbar stromabwärts des Niederdruck-Verdichters **17** angeordnet ist und die in diesem erwärmte, auf das erste Druckniveau komprimierte Ladeluft kühlt. Hierdurch kann der Wirkungsgrad des stromabwärts des Niederdruck-Ladeluftkühlers **35** angeordneten Hochdruck-Verdichters **19** gesteigert werden.

[0030] Bevorzugt ist stromabwärts des Hochdruck-Verdichters **19** und auch stromabwärts der Nutzturbine **29** ein Hochdruck-Ladeluftkühler **37** angeordnet, durch den die in dem Hochdruck-Verdichter **19** komprimierte und erwärmte sowie in dem Rekuperator **33** weiter erwärmte, allerdings von der Nutzturbine **29** wiederum gekühlte Ladeluft weiter gekühlt werden kann, bevor sie den Zylindern **5** zugeführt wird.

[0031] Insgesamt zeigt sich so, dass mithilfe des Verbrennungsmotors **1** eine sehr effiziente Nutzung der noch von dem Abgas umfassten Energie möglich ist, wobei insbesondere ein Wirkungsgrad des Gesamtprozesses gesteigert und Emissionen des Verbrennungsmotors gesenkt werden können.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- EP 0653558 A1 [0002]

Patentansprüche

1. Verbrennungsmotor (1) mit mindestens einem Zylinder (5), einem ersten Fluidpfad (9) zur Zuführung von Ladeluft in den Zylinder (5), einem zweiten Fluidpfad (13) zur Abführung von Abgas aus dem Zylinder (5), einer Aufladegruppe (15), die mindestens einen Verdichter (17, 19) umfasst, der entlang des ersten Fluidpfads (9) zur Verdichtung der Ladeluft angeordnet ist, und mit einer Nutzturbine (29), die durch einen Fluidstrom antreibbar und mit einem Verbraucher wirkverbunden ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Nutzturbine (29) entlang des ersten Fluidpfads (9) angeordnet ist, sodass sie von der entlang des ersten Fluidpfads (9) strömenden Ladeluft antreibbar ist.

2. Verbrennungsmotor (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Nutzturbine (29) entlang des ersten Fluidpfads (9) stromabwärts des mindestens einen Verdichters (17, 19) angeordnet ist.

3. Verbrennungsmotor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Aufladegruppe (15) – entlang des ersten Fluidpfads (9) gesehen – einen Niederdruck-Verdichter (17) und stromabwärts desselben einen Hochdruck-Verdichter (19) umfasst, wobei die Nutzturbine (29) vorzugsweise stromabwärts des Hochdruck-Verdichters (19) angeordnet ist.

4. Verbrennungsmotor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Aufladegruppe (15) – entlang des zweiten Fluidpfads (13) gesehen – mindestens eine Turbine (21, 25) umfasst, die mit dem mindestens einen Verdichter (17, 19) zu dessen Antrieb wirkverbunden ist, wobei die Aufladegruppe (15) vorzugsweise – entlang des zweiten Fluidpfads (13) gesehen – eine Hochdruck-Turbine (21) und stromabwärts derselben eine Niederdruck-Turbine (25) umfasst, wobei die Hochdruck-Turbine (21) mit dem Hochdruck-Verdichter (19) zu dessen Antrieb wirkverbunden ist, und wobei die Niederdruck-Turbine (25) mit dem Niederdruck-Verdichter (17) zu dessen Antrieb wirkverbunden ist.

5. Verbrennungsmotor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Rekuperator (33), durch den der erste Fluidpfad (9) stromaufwärts der Nutzturbine (29) zumindest bereichsweise verläuft, und durch den der zweite Fluidpfad (13) stromabwärts der mindestens einen Turbine (21, 25) zumindest bereichsweise verläuft, sodass der zweite Fluidpfad (13) mit dem ersten Fluidpfad (9) in dem Rekuperator (33) in thermischem Kontakt ist.

6. Verbrennungsmotor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,

dass die Nutzturbine (29) mit einem elektrischen Generator als Verbraucher wirkverbunden ist.

7. Verbrennungsmotor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass entlang des ersten Fluidpfads (9) mindestens ein Ladeluftkühler (35, 37) stromabwärts des mindestens einen Verdichters (17, 19) angeordnet ist.

8. Verbrennungsmotor (1) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Ladeluftkühler (35, 37) stromabwärts der Nutzturbine (29) angeordnet ist.

9. Verbrennungsmotor (1) nach einem der Ansprüche 7 und 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass – entlang des ersten Fluidpfads (9) gesehen – ein Niederdruck-Ladeluftkühler (35) und stromabwärts desselben ein Hochdruck-Ladeluftkühler (37) angeordnet ist, wobei der Niederdruck-Ladeluftkühler (35) vorzugsweise stromabwärts des Niederdruck-Verdichters (17) und stromaufwärts des Hochdruck-Verdichters (19) angeordnet ist, wobei der Hochdruck-Ladeluftkühler (37) vorzugsweise stromabwärts des Hochdruck-Verdichters (19) und bevorzugt stromabwärts der Nutzturbine (29) angeordnet ist.

10. Verbrennungsmotor (1) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Hochdruck-Ladeluftkühler (37) unmittelbar vor einem Einlass (39) für die Ladeluft in den mindestens einen Zylinder (5) angeordnet ist.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

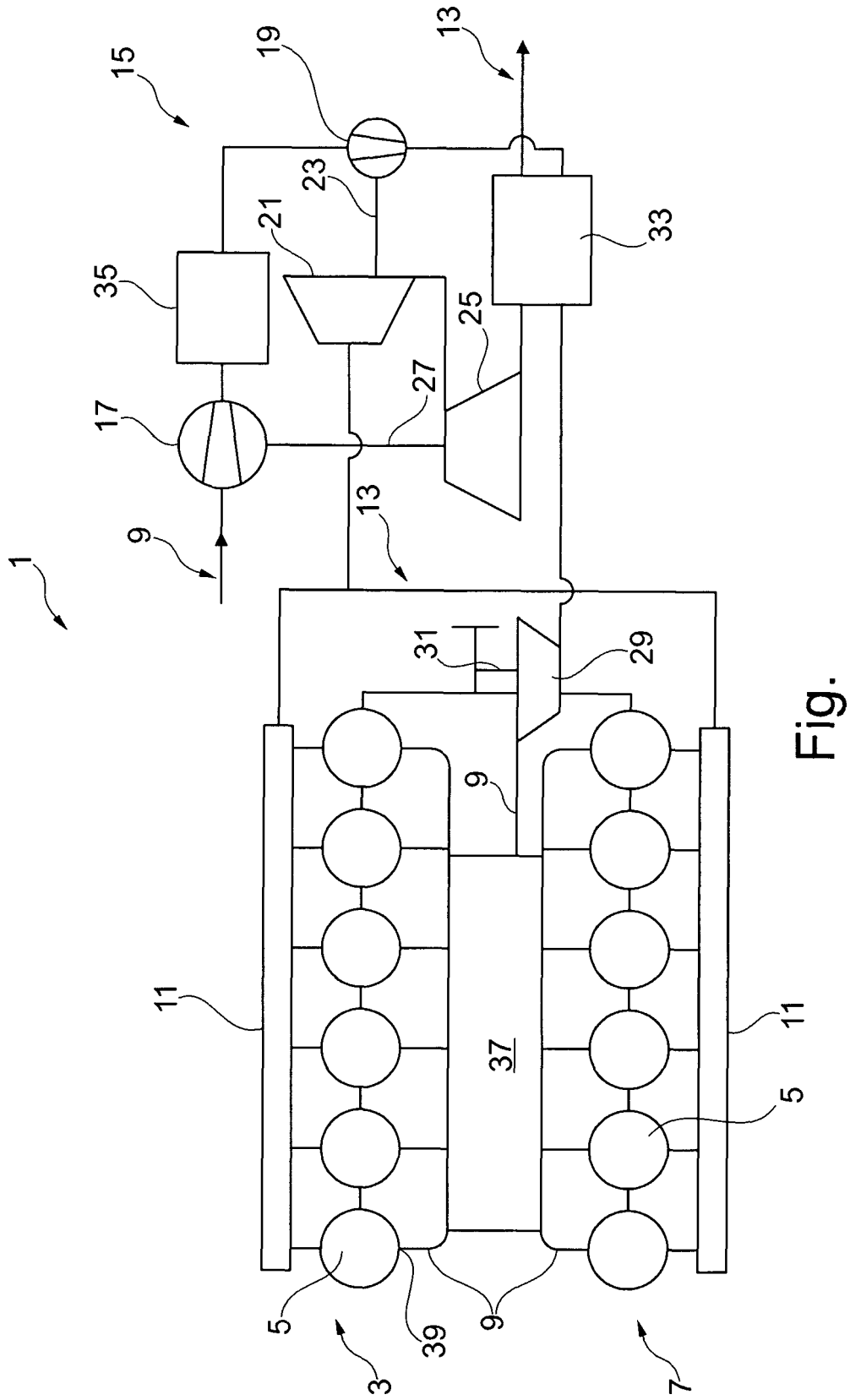


Fig.