



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 200 602.6**
(22) Anmeldetag: **16.01.2015**
(43) Offenlegungstag: **21.07.2016**

(51) Int Cl.: **F02B 39/10** (2006.01)
F01N 5/04 (2006.01)
F02B 29/04 (2006.01)
F02B 39/12 (2006.01)
F02N 11/04 (2006.01)

(71) Anmelder:
**Ford Global Technologies, LLC, Dearborn, Mich.,
US**

(74) Vertreter:
Dörfler, Thomas, Dr.-Ing., 50735 Köln, DE

(72) Erfinder:
**Kindl, Helmut, Dr., 52066 Aachen, DE; Kuske,
Andreas, Geulle, NL; Kemmerling, Jörg, 52156
Monschau, DE; Smiljanovski, Vanco, Dr.,
50181 Bedburg, DE; Sommerhoff, Franz Arnd,
52066 Aachen, DE; Forsting, Michael, 41238
Mönchengladbach, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 10 2005 012 837 A1
DE 10 2009 042 333 A1
US 2008 / 0 173 017 A1
WO 2013/ 004 595 A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Brennkraftmaschine mit mechanischem Lader und Elektromaschine und Verfahren zum Betreiben einer derartigen Brennkraftmaschine**

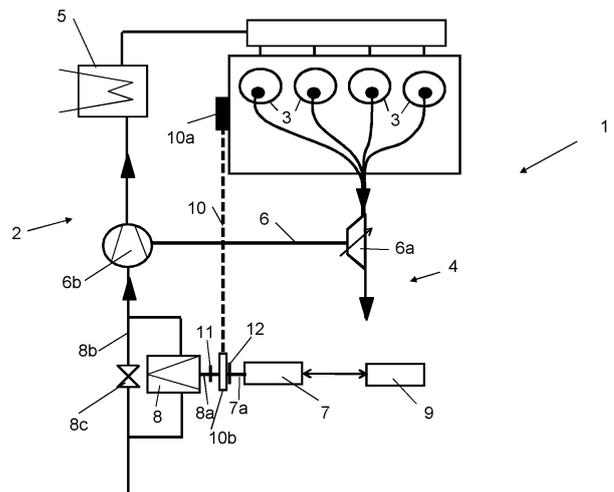
(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine aufgeladene Brennkraftmaschine (1) mit

- einer Kurbelwelle,
- einem Ansaugsystem (2) zum Zuführen von Ladeluft,
- einem Abgasabfuhrsystem (4) zum Abführen des Abgases,
- einem mechanischen Lader (8), der im Ansaugsystem (2) angeordnet ist und der über mindestens ein auf einer Antriebswelle (8a) angeordnetes Laufrad und eine Bypassleitung (8b) verfügt, die stromabwärts des Laders (8) in das Ansaugsystem (2) mündet,
- einer Elektromaschine (7), die über eine Welle (7a) verfügt und als Antriebsmotor mittels einer ersten Kupplung (11) mit der Antriebswelle (8a) des Laders (6) antriebsverbindbar ist, und
- einer Batterie (9),

wobei

- die Elektromaschine (7) als Generator betreibbar ist, der Leistung aufnimmt,
- ein Zugmitteltrieb (10) vorgesehen ist, der neben dem Zugmittel ein auf der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine (1) angeordnetes erstes Rad (10a) und ein auf der Welle (7a) der Elektromaschine (7) angeordnetes zweites Rad (10b) umfasst, wobei das zweite Rad (10b) ein in eine Drehrichtung freilaufendes Rad (10b) ist, welches freiläuft, wenn die Drehzahl n_{shaft} der Welle (7a) der Elektromaschine (7) größer ist als die Drehzahl n_{wheel} des zweiten Rades (10b), und die Welle (7a) der Elektromaschine (7) mittels einer

zweiten Kupplung (12) mit dem zweiten Rad (10b) antriebsverbindbar ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine aufgeladene Brennkraftmaschine mit

- einer Kurbelwelle,
- einem Ansaugsystem zum Zuführen von Ladeluft,
- einem Abgasabfuhrsystem zum Abführen des Abgases,
- einem mechanischen Lader, der im Ansaugsystem angeordnet ist und der über mindestens ein auf einer Antriebswelle angeordnetes Laufrad und eine Bypassleitung verfügt, die stromabwärts des Laders in das Ansaugsystem mündet,
- einer Elektromaschine, die über eine Welle verfügt und als Antriebsmotor mittels einer ersten Kupplung mit der Antriebswelle des Laders antriebsverbindbar ist, und
- einer Batterie.

[0002] Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben einer derartigen Brennkraftmaschine.

[0003] Eine Brennkraftmaschine der genannten Art mit einem mechanischen Lader und einer Elektromaschine beschreibt die US 2008/0173017 A1, wobei die Elektromaschine als elektrischer Hilfsantrieb den Lader antreiben kann oder als Generator zur Energierückgewinnung verwendet wird, der mittels der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine und via einem Zugmitteltrieb angetrieben wird. Es sind mehrere Kupplungen vorgesehen, um die Elektromaschine mit dem Lader und die Kurbelwelle mit dem Lader zu verbinden.

[0004] Das in der US 2008/0173017 A1 beschriebene Konzept verfügt über zwei schaltbare Antriebsstränge, wobei ein erster schaltbarer Antriebsstrang zwischen der Elektromaschine und dem Lader verläuft und ein zweiter schaltbarer Antriebsstrang vorgesehen ist, der den Zugmitteltrieb mit dem ersten Antriebsstrang verbindet bzw. verbinden kann. Dadurch wird die Kombination aus Lader und Antrieb sehr aufwendig und voluminös. Ein kostenintensives Zahnradgetriebe ist erforderlich, um die beiden Antriebsstränge miteinander verbinden zu können.

[0005] Eine Brennkraftmaschine der eingangs genannten Art wird als Kraftfahrzeugantrieb eingesetzt. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung umfasst der Begriff Brennkraftmaschine Dieselmotoren und Ottomotoren, aber auch Hybrid-Brennkraftmaschinen, die ein Hybrid-Brennverfahren nutzen, und Hybrid-Antriebe, die neben der Brennkraftmaschine eine mit der Brennkraftmaschine antriebsverbindbare Elektromaschine umfassen, welche Leistung von der Brennkraftmaschine aufnimmt oder als zuschaltbarer Hilfsantrieb zusätzlich Leistung abgibt.

[0006] In den letzten Jahren hat sich eine Entwicklung hin zu kleinen, hochaufgeladenen Motoren vollzogen, wobei die Aufladung in erster Linie ein Verfahren zur Leistungssteigerung ist, bei dem die für den motorischen Verbrennungsprozess benötigte Luft verdichtet wird, wodurch jedem Zylinder pro Arbeitsspiel eine größere Luftmasse zugeführt werden kann. Dadurch können die Kraftstoffmasse und damit der Mitteldruck gesteigert werden.

[0007] Die Aufladung ist ein geeignetes Mittel, bei unverändertem Hubraum die Leistung einer Brennkraftmaschine zu steigern oder bei gleicher Leistung den Hubraum zu reduzieren. In jedem Fall führt die Aufladung zu einer Erhöhung der Bauraumleistung und einer günstigeren Leistungsmasse. Wird der Hubraum verringert, lässt sich so das Lastkollektiv zu höheren Lasten hin verschieben, bei denen der spezifische Kraftstoffverbrauch niedriger ist. Durch Aufladung in Kombination mit einer geeigneten Getriebeauslegung kann auch ein sogenanntes Downspeeding realisiert werden, bei dem ebenfalls ein geringerer spezifischer Kraftstoffverbrauch erzielt werden kann.

[0008] Die Aufladung unterstützt folglich das ständige Bemühen in der Entwicklung von Brennkraftmaschinen, den Kraftstoffverbrauch zu minimieren, d. h. den Wirkungsgrad der Brennkraftmaschine zu verbessern.

[0009] Häufig wird für die Aufladung ein Abgasturbolader eingesetzt, bei dem ein Verdichter und eine Turbine auf derselben Welle angeordnet sind. Der heiße Abgasstrom wird der Turbine zugeführt und entspannt sich unter Energieabgabe in der Turbine, wodurch die Welle in Drehung versetzt wird. Die vom Abgasstrom an die Turbine und schließlich an die Welle abgegebene Energie wird für den Antrieb des ebenfalls auf der Welle angeordneten Verdichters genutzt. Der Verdichter fördert und komprimiert die ihm zugeführte Ladeluft, wodurch eine Aufladung der Zylinder erreicht wird. Vorteilhafterweise wird ein Ladeluftkühler stromabwärts des Verdichters im Ansaugsystem vorgesehen, mit dem die komprimierte Ladeluft vor Eintritt in den mindestens einen Zylinder gekühlt wird. Der Kühler senkt die Temperatur und steigert damit die Dichte der Ladeluft, so dass auch der Kühler zu einer besseren Füllung der Zylinder, d. h. zu einer größeren Luftmasse, beiträgt. Es erfolgt eine Verdichtung durch Kühlung.

[0010] Der Vorteil eines Abgasturboladers im Vergleich zu einem mechanischen Lader besteht darin, dass ein Abgasturbolader die Abgasenergie der heißen Abgase nutzt, während ein mechanischer Lader die für seinen Antrieb erforderliche Energie direkt oder indirekt von der Brennkraftmaschine bezieht. In der Regel ist eine mechanische Verbindung

zur Leistungsübertragung zwischen dem Lader und der Brennkraftmaschine erforderlich.

[0011] Der Vorteil eines mechanischen Laders gegenüber einem Abgasturbolader besteht darin, dass der mechanische Lader stets den angeforderten Ladedruck generiert und zur Verfügung stellt und zwar unabhängig vom Betriebszustand der Brennkraftmaschine, insbesondere unabhängig von der momentan vorliegenden Drehzahl der Kurbelwelle. Das gilt insbesondere für einen mechanischen Lader, der mittels Elektromaschine antreibbar ist.

[0012] Nach dem Stand der Technik bereitet es nämlich Schwierigkeiten, die Leistung mittels Abgasturboaufladung in allen Drehzahlbereichen zu steigern. Es wird ein stärkerer Drehmomentabfall bei Unterschreiten einer bestimmten Drehzahl beobachtet. Verständlich wird dieser Drehmomentabfall, wenn berücksichtigt wird, dass das Ladedruckverhältnis vom Turbinendruckverhältnis abhängt. Wird die Motordrehzahl verringert, führt dies zu einem kleineren Abgasmassenstrom und damit zu einem kleineren Turbinendruckverhältnis. Folglich nimmt das Ladedruckverhältnis zu niedrigeren Drehzahlen hin ebenfalls ab. Dies ist gleichbedeutend mit einem Drehmomentabfall.

[0013] Die Drehmomentcharakteristik einer mittels Abgasturboaufladung aufgeladenen Brennkraftmaschine wird nach dem Stand der Technik durch unterschiedliche Maßnahmen zu verbessern versucht.

[0014] Beispielsweise durch eine kleine Auslegung des Turbinenquerschnittes und gleichzeitiger Abgasabblaseung. Hierzu wird die Turbine mit einer Abblaseleitung ausgestattet, die stromaufwärts der Turbine vom Abgasabführsystem abzweigt und in der ein Absperrerelement angeordnet ist. Eine derartige Turbine wird auch als Waste-Gate-Turbine bezeichnet. Überschreitet der Abgasmassenstrom eine kritische Größe wird ein Teil des Abgasstromes im Rahmen der sogenannten Abgasabblaseung via Abblaseleitung an der Turbine vorbei geführt, d. h. abgeblasen. Diese Vorgehensweise hat den Nachteil, dass das energiereiche abgeblasene Abgas ungenutzt bleibt und das Aufladeverhalten bei höheren Drehzahlen regelmäßig unzureichend ist.

[0015] Eine Turbine mit variabler Turbinengeometrie gestattet eine weitergehende Anpassung an den jeweiligen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine durch Verstellen der Turbinengeometrie bzw. des wirksamen Turbinenquerschnittes, wobei in einem gewissen Umfang eine drehzahlabhängige bzw. lastabhängige Regelung der Turbinengeometrie erfolgen kann.

[0016] Die Drehmomentcharakteristik einer aufgeladenen Brennkraftmaschine kann auch durch meh-

rere parallel angeordnete Turbolader, d. h. durch mehrere parallel angeordnete Turbinen von kleinerem Turbinenquerschnitt verbessert werden, wobei mit steigender Abgasmenge Turbinen sukzessive zugeschaltet werden; ähnlich einer Registeraufladung.

[0017] Die Drehmomentcharakteristik kann auch mittels mehrerer in Reihe geschalteter Abgasturbolader vorteilhaft beeinflusst werden. Durch das in Reihe Schalten von zwei Abgasturboladern, von denen ein Abgasturbolader als Hochdruckstufe und ein Abgasturbolader als Niederdruckstufe dient, kann das Verdichterkennfeld in vorteilhafter Weise aufgeweitet werden und zwar sowohl hin zu kleineren Verdichterströmen als auch hin zu größeren Verdichterströmen.

[0018] Insbesondere ist bei dem als Hochdruckstufe dienenden Abgasturbolader ein Verschieben der Pumpgrenze hin zu kleineren Verdichterströmen möglich, wodurch auch bei kleinen Verdichterströmen hohe Ladedruckverhältnisse erzielt werden können und die Drehmomentcharakteristik im unteren Drehzahlbereich deutlich verbessert wird. Erreicht wird dies durch eine Auslegung der Hochdruckturbine auf kleine Abgasmassenströme und Vorsehen einer Abblaseleitung, mit der bei zunehmendem Abgasmassenstrom zunehmend Abgas an der Hochdruckturbine vorbeigeführt wird. Die Abblaseleitung zweigt hierzu stromaufwärts der Hochdruckturbine vom Abgasabführsystem ab und mündet stromaufwärts der Niederdruckturbine wieder in das Abgasabführsystem. In der Abblaseleitung ist ein Absperrerelement angeordnet, um den an der Hochdruckturbine vorbeigeführten Abgasstrom zu steuern.

[0019] Zusätzlich zu einem Abgasturbolader kann grundsätzlich auch ein mechanischer Lader vorgesehen werden. Da eine Abgasturboaufladung insbesondere unter Verwendung mehrerer Abgasturbolader kostenintensiv ist, kann anstelle einer Abgasturboaufladung auch eine Aufladung mittels einem mechanischem Lader vorgenommen werden. Die Vorteile sind die oben bereits Genannten.

[0020] Die Brennkraftmaschine, die Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist, verfügt zwecks Aufladung über einen mechanischen Lader.

[0021] Vor dem Hintergrund des Gesagten ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine aufgeladene Brennkraftmaschine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bereitzustellen, mit der die aus dem Stand der Technik bekannten Nachteile überwunden werden und die über eine verbesserte Aufladung verfügt.

[0022] Eine weitere Teilaufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zum Betreiben einer derartigen Brennkraftmaschine aufzuzeigen.

[0023] Gelöst wird die erste Teilaufgabe durch eine aufgeladene Brennkraftmaschine mit

- einer Kurbelwelle,
 - einem Ansaugsystem zum Zuführen von Ladeluft,
 - einem Abgasabfuhrsystem zum Abführen des Abgases,
 - einem mechanischen Lader, der im Ansaugsystem angeordnet ist und der über mindestens ein auf einer Antriebswelle angeordnetes Laufrad und eine Bypassleitung verfügt, die stromabwärts des Laders in das Ansaugsystem mündet,
 - einer Elektromaschine, die über eine Welle verfügt und als Antriebsmotor mittels einer ersten Kupplung mit der Antriebswelle des Laders antriebsverbindbar ist, und
 - einer Batterie,
- die dadurch gekennzeichnet ist, dass
- die Elektromaschine als Generator betreibbar ist, der Leistung aufnimmt,
 - ein Zugmitteltrieb vorgesehen ist, der neben dem Zugmittel ein auf der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine angeordnetes erstes Rad und ein auf der Welle der Elektromaschine angeordnetes zweites Rad umfasst, wobei das zweite Rad ein in eine Drehrichtung freilaufendes Rad ist, welches freiläuft, wenn die Drehzahl n_{shaft} der Welle der Elektromaschine größer ist als die Drehzahl n_{wheel} des zweiten Rades, und die Welle der Elektromaschine mittels einer zweiten Kupplung mit dem zweiten Rad antriebsverbindbar ist.

[0024] Im Gegensatz zum Stand der Technik ist bei der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine nur ein schaltbarer Antriebsstrang vorgesehen, nämlich der Strang zwischen der Elektromaschine und dem Lader. Die Welle der Elektromaschine und die Antriebswelle des Laders können durch Betätigen einer ersten Kupplung miteinander verbunden oder voneinander getrennt werden.

[0025] Dies trägt auch dem Umstand Rechnung, dass der Lader grundsätzlich von der Elektromaschine angetrieben wird bzw. angetrieben werden sollte, solange die Batterie, welche die Elektromaschine speist, ausreichend elektrische Energie liefert.

[0026] Der via erstem Rad mit der Kurbelwelle antriebsverbundene Zugmitteltrieb ist unmittelbar mit diesem Antriebsstrang verbunden bzw. verbindbar. Hierzu ist ein zweites Rad des Zugmitteltriebs auf der Welle der Elektromaschine angeordnet, das freiläuft, wenn die Drehzahl n_{shaft} der Welle der Elektromaschine größer ist als die Drehzahl n_{wheel} des zweiten Rades. Dieses zweite Rad kann mit der Welle der Elektromaschine durch Betätigen einer zweiten Kupplung kraftschlüssig verbunden werden.

[0027] Ein zweiter schaltbarer Antriebsstrang, wie in der US 2008/0173017 A1 beschrieben, der den Zugmitteltrieb mit dem ersten Antriebsstrang verbindet und bei Bedarf auch mittels Kupplung unterbrochen werden kann, entfällt bzw. reduziert sich auf die zweite Kupplung. Dadurch wird die Kombination aus Lader und Antrieb weniger aufwendig und weniger voluminös. Ein kostenintensives Zahnradgetriebe entfällt.

[0028] Ein direkter Antrieb des mechanischen Laders durch die Brennkraftmaschine unter Umgehung der Elektromaschine, so wie dies in der US 2008/0173017 A1 beschrieben wird, ist erfindungsgemäß nicht vorgesehen. Entweder wird der Lader von der Elektromaschine als Antriebsmotor angetrieben oder die Elektromaschine ist via Zugmitteltrieb mit der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine verbunden und wird als Generator betrieben, wobei der Lader bei geschlossener erster Kupplung via Elektromaschine indirekt von der Brennkraftmaschine mit angetrieben wird.

[0029] Im Gegensatz zum Stand der Technik kann die Elektromaschine der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine auch als Startvorrichtung für die Brennkraftmaschine genutzt werden, mit der die Kurbelwelle beim Starten zwangsweise in Drehung versetzt wird. Bei geöffneter erster Kupplung und geschlossener zweiter Kupplung treibt die von der Batterie gespeiste Elektromaschine dann via Zugmitteltrieb die Kurbelwelle der Brennkraftmaschine an. Die zweite Kupplung muss vorliegend nur zum Starten geschlossen werden.

[0030] Die üblicherweise vorgesehene Startvorrichtung kann entfallen, so dass das erfindungsgemäße Konzept betreffend einen mechanischen Lader mit samt Antrieb zu einem dichten Packaging einer weniger voluminösen Antriebseinheit beiträgt.

[0031] Bei geöffneter zweiter Kupplung wird die erste Kupplung geschlossen, um die Welle der Elektromaschine mit der Antriebswelle des mechanischen Laders zu verbinden und den mechanischen Lader anzutreiben. Dabei wird die Welle der Elektromaschine in Drehung versetzt mit einer Drehzahl n_{shaft} , die größer ist als die Drehzahl n_{wheel} des zweiten Rades, so dass die Welle unter dem zweiten Rad hindurch frei durchdreht.

[0032] Die Elektromaschine kann aber auch als Generator betrieben werden, beispielsweise im Schubbetrieb der Brennkraftmaschine oder falls die Batterie einen vorgebbaren Mindestladezustand unterschreitet. Dann wird der Zugmitteltrieb in der Art betrieben, dass die Drehzahl n_{wheel} des zweiten Rades nicht kleiner ist als die Drehzahl n_{shaft} der Welle der Elektromaschine. Die Elektromaschine dient dann der Energierückgewinnung. Bei geschlossener erster Kupplung wird zudem der mechanische Lader angetrieben.

[0033] Mit der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine wird die erste der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe gelöst, nämlich eine aufgeladene Brennkraftmaschine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bereitgestellt, mit der die aus dem Stand der Technik bekannten Nachteile überwunden werden und die über eine verbesserte Aufladung verfügt.

[0034] Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine werden im Zusammenhang mit den Unteransprüchen erörtert.

[0035] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen die Welle der Elektromaschine mittels der ersten Kupplung mit der Antriebswelle des mechanischen Laders antriebsverbunden ist. Wenn dann bei geöffneter zweiter Kupplung die Drehzahl n_{shaft} der Welle der Elektromaschine größer ist als die Drehzahl n_{wheel} des zweiten Rades, läuft das zweite Rad auf der Welle der Elektromaschine frei und die Elektromaschine treibt den Lader an.

[0036] Der Lader wird nämlich vorzugsweise von der Elektromaschine angetrieben, so dass die für den Antrieb des Laders erforderliche Energie zumindest nicht direkt von der Brennkraftmaschine stammt und die von der Brennkraftmaschine zur Verfügung gestellte bzw. bereitstellbare Leistung nicht gemindert wird. Insofern muss beim Betrieb der Brennkraftmaschine auch keine Rücksicht auf die Anforderungen des Laders genommen werden, solange die Batterie, welche die Elektromaschine speist, ausreichend elektrische Energie liefert. D. h. der Betrieb der Brennkraftmaschine ist unabhängig vom Laderbetrieb und umgekehrt, wodurch sich die Flexibilität der Aufladung erhöht.

[0037] Vorteilhaft sind in diesem Zusammenhang Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen die Bypassleitung des mechanischen Laders geschlossen ist, damit die Ladeluft den Lader nicht umgehen kann, sondern durchströmen muss.

[0038] Vorteilhaft sind auch Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen die Elektromaschine zur Energierückgewinnung als Generator dient und die Batterie die vom Generator aufgenommene Leistung als elektrische Energie speichert. Ist bei geöffneter zweiter Kupplung die Drehzahl n_{wheel} des zweiten Rades nicht kleiner als die Drehzahl n_{shaft} der Welle der Elektromaschine, treibt das zweite Rad die Welle der Elektromaschine an und die Elektromaschine fungiert als Generator.

[0039] Wenn die Batterie einen vorgebbaren Mindestladezustand unterschreitet und nicht mehr die elektrische Energie für den Antrieb der Elektromaschine liefern kann, sondern als Generator fungiert,

muss die Brennkraftmaschine den mechanischen Lader antreiben. Bei geschlossener erster Kupplung wird dann der Lader von der Brennkraftmaschine angetrieben und zwar indirekt via Elektromaschine.

[0040] Für die Energierückgewinnung eignet sich insbesondere der Schubbetrieb der Brennkraftmaschine. Dabei wirkt der Generator wie eine Motorbremse, wobei die nach dem Stand der Technik von der Motorbremse abgebaute und damit ungenutzte Energie erfindungsgemäß mittels Generator zurückgewonnen werden kann und im Bedarfsfall auch zurückgewonnen wird. Verstärken und unterstützen lässt sich dieser Effekt dadurch, dass die Ventile während der Energierückgewinnung im Schubbetrieb einlassseitig und/oder auslassseitig abgeschaltet werden. Die erste Kupplung bleibt im Rahmen der Energierückgewinnung vorzugsweise geöffnet, falls der Lader nicht mittels Brennkraftmaschine angetrieben werden muss.

[0041] Vorteilhaft können auch Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen die Welle der Elektromaschine mittels der zweiten Kupplung mit dem zweiten Rad des Zugmitteltriebs antriebsverbunden ist. Das Schliessen der zweiten Kupplung sorgt für einen Kraftschluss in beide Drehrichtungen des zweiten Rades und schafft damit die Möglichkeit, zum Starten der Brennkraftmaschine ein Drehmoment von der Elektromaschine auf die Kurbelwelle zu übertragen.

[0042] Vorteilhaft sind nämlich auch Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine sein, bei denen die Elektromaschine als Startvorrichtung zum Starten der Brennkraftmaschine dient und die Batterie die erforderliche elektrische Energie liefert. Dabei ist die erste Kupplung vorzugsweise geöffnet, es sei denn, der Lader soll bereits vor dem Starten bzw. gleichzeitig mit dem Starten der Brennkraftmaschine beschleunigt, d. h. auf Drehzahl gebracht werden. Dadurch, dass die Elektromaschine gemäß der in Rede stehenden Ausführungsform als Startvorrichtung verwendbar ist, kann auf eine weitere zusätzliche Startvorrichtung verzichtet werden, so dass die Ausstattung des Laders mit einer – primär als Hilfsantrieb dienenden – Elektromaschine kostenneutral ist im Vergleich zu einer Brennkraftmaschine, die nicht über eine derartige Elektromaschine verfügt und eine andere Startvorrichtung benötigt.

[0043] Vorteilhaft sind dabei grundsätzlich Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen die Bypassleitung des mechanischen Laders geöffnet ist.

[0044] Sowohl im Rahmen der Energierückgewinnung als auch beim Starten der Brennkraftmaschine ist es sinnvoll, die Bypassleitung zu öffnen, damit die von der Zylindern angesaugte Ladeluft nicht

durch den Lader strömen muss, der in beiden Fällen lediglich einen Strömungswiderstand darstellt. Es sei denn die erste Kupplung ist zum Antreiben des Laders geschlossen. Dann wird auch die Bypassleitung des mechanischen Laders vorzugsweise geschlossen, damit die Ladeluft den Lader nicht umgehen kann, sondern den Lader durchströmen muss.

[0045] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen die erste Kupplung und/oder die zweite Kupplung eine elektromagnetische Kupplung ist. Eine elektromagnetische Kupplung zeichnet sich durch die schnellen Schaltzeiten aus. Dies ermöglicht ein schnelles Schließen und Öffnen, d. h. ein schnelles Aktivieren und Deaktivieren der Kupplung.

[0046] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen mindestens ein Abgasturbolader vorgesehen ist, der eine im Abgasabfuhrsystem angeordnete Turbine und einen im Ansaugsystem angeordneten Verdichter umfasst, wobei die Turbine und der Verdichter auf derselben drehbaren Welle angeordnet sind.

[0047] Werden der Verdichter des mindestens einen Abgasturboladers und der Lader in Reihe angeordnet, kann der Verdichter stromabwärts oder stromaufwärts des mechanischen Laders im Ansaugsystem angeordnet sein.

[0048] Vorteilhaft sind daher unter anderem Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen der Verdichter des mindestens einen Abgasturboladers stromabwärts des mechanischen Laders im Ansaugsystem angeordnet ist. Vorliegend dient der Verdichter des Abgasturboladers als Hochdruckstufe, bei dem ein Verschieben der Pumpgrenze hin zu kleineren Verdichterströmen möglich wird, so dass auch bei kleinen Verdichterströmen hohe Ladedruckverhältnisse erzielt werden können und die Drehmomentcharakteristik im unteren Drehzahlbereich deutlich verbessert wird.

[0049] Vorteilhaft können aber auch Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine sein, bei denen der Verdichter des mindestens einen Abgasturboladers stromaufwärts des mechanischen Laders im Ansaugsystem angeordnet ist. Hierbei dient der mechanische Lader als Hochdruckstufe und der Verdichter des mindestens einen Abgasturboladers als Niederdruckstufe, der auf große Verdichterströme auszuliegen ist, d. h. entsprechend zu dimensionieren ist.

[0050] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen stromabwärts des mechanischen Laders ein Ladeluftkühler im Ansaugsystem angeordnet ist. Der Ladeluftkühler senkt die Lufttemperatur und steigert damit die Dich-

te der Luft, wodurch auch der Kühler zu einer besseren Füllung des Brennraums mit Luft, d. h. zu einer größeren Luftmasse beiträgt.

[0051] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen eine Abgasrückführung vorgesehen ist.

[0052] Vorteilhaft sind in diesem Zusammenhang Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen eine Abgasrückführung vorgesehen ist, welche eine Leitung umfasst, die stromabwärts des Laders in das Ansaugsystem mündet.

[0053] Um zukünftige Grenzwerte für Stickoxidemissionen einzuhalten, wird zunehmend häufig eine Abgasrückführung eingesetzt, d. h. die Rückführung von Abgasen von der Auslassseite auf die Einlassseite, bei der mit zunehmender Abgasrückführtrate die Stickoxidemissionen deutlich gesenkt werden können. Die Abgasrückführtrate x_{AGR} bestimmt sich dabei mit $x_{AGR} = m_{AGR} / (m_{AGR} + m_{Frischluff})$, wobei m_{AGR} die Masse an zurückgeführtem Abgas und $m_{Frischluff}$ die durch den Verdichter geführte und komprimierte Ladeluft bezeichnet.

[0054] Die Abgasrückführung eignet sich auch zur Reduzierung der Emissionen an unverbrannten Kohlenwasserstoffen im Teillastbereich. Um eine deutliche Senkung der Stickoxidemissionen zu erreichen, können hohe Abgasrückführraten erforderlich sein, die in der Größenordnung von $x_{AGR} \approx 60\%$ bis 70% liegen können.

[0055] Vorteilhaft sind Ausführungsformen, bei denen die Leitung zur Abgasrückführung stromabwärts eines Ladeluftkühlers in das Ansaugsystem mündet. Auf diese Weise wird der Abgasstrom nicht durch den Ladeluftkühler geführt und kann folglich diesen Kühler nicht durch Ablagerungen von im Abgasstrom enthaltenen Schadstoffen, insbesondere Rußpartikeln und Öl, verschmutzen.

[0056] Vorteilhaft sind Ausführungsformen, bei denen in der Leitung zur Abgasrückführung ein zusätzlicher Kühler vorgesehen ist. Dieser zusätzliche Kühler senkt die Temperatur im heißen Abgasstrom und steigert damit die Dichte der Abgase. Die Temperatur der Zylinderfrischladung, die sich bei der Mischung der Frischluft mit den rückgeführten Abgasen einstellt, wird hierdurch folglich weiter gesenkt, wodurch auch der zusätzliche Kühler zu einer besseren Füllung des Brennraums mit Ladeluft beiträgt.

[0057] Vorteilhaft sind Ausführungsformen, bei denen in der Leitung zur Abgasrückführung ein Absperrerelement vorgesehen ist. Dieses Absperrerelement dient der Steuerung der Abgasrückführtrate.

[0058] Die zweite der Erfindung zugrunde liegende Teilaufgabe, nämlich ein Verfahren zum Betreiben einer aufgeladenen Brennkraftmaschine einer vorstehend beschriebenen Art aufzuzeigen, wird gelöst durch ein Verfahren, das dadurch gekennzeichnet ist, dass bei geöffneter zweiter Kupplung die erste Kupplung geschlossen wird, um die Welle der Elektromaschine mit der Antriebswelle des mechanischen Laders zu verbinden und den mechanischen Lader anzutreiben, wobei die Welle der Elektromaschine in Drehung versetzt wird mit einer Drehzahl n_{shaft} , die größer ist als die Drehzahl n_{wheel} des zweiten Rades.

[0059] Das bereits für die erfindungsgemäße Brennkraftmaschine Gesagte gilt auch für das erfindungsgemäße Verfahren, weshalb an dieser Stelle im Allgemeinen Bezug genommen wird auf die vorstehend hinsichtlich der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine gemachten Ausführungen. Die unterschiedlichen Brennkraftmaschinen erfordern teils verschiedene Verfahrensvarianten.

[0060] Vorteilhaft sind Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen der Zugmitteltrieb, falls die Batterie einen vorgebbaren Mindestladezustand unterschreitet, in der Art betrieben wird, dass die Drehzahl n_{wheel} des zweiten Rades nicht kleiner ist als die Drehzahl n_{shaft} der Welle der Elektromaschine, um

- bei geschlossener erster Kupplung den mechanischen Lader anzutreiben, und
- die Elektromaschine zur Energierückgewinnung als Generator zu betreiben.

[0061] Vorteilhaft sind dabei Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen die Bypassleitung des mechanischen Laders geschlossen wird.

[0062] Ist die Drehzahl n_{wheel} des zweiten Rades nicht kleiner als die Drehzahl n_{shaft} der Welle der Elektromaschine, sind Verfahrensvarianten vorteilhaft, bei denen die erste Kupplung geöffnet wird, um die Elektromaschine ausschließlich zur Energierückgewinnung als Generator zu betreiben und die Batterie mittels Generator aufzuladen.

[0063] Vorteilhaft sind ebenfalls Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen die erste Kupplung geöffnet und die zweite Kupplung geschlossen wird, um

- das zweite Rad des Zugmitteltriebs kraftschlüssig mit der Welle der Elektromaschine zu verbinden, und
- die Elektromaschine als Startvorrichtung zum Starten der Brennkraftmaschine zu betreiben, wobei die Batterie die erforderliche elektrische Energie liefert.

[0064] Hinsichtlich der beiden letztgenannten Verfahrensvarianten sind Ausführungsformen vorteilhaft, bei denen die Bypassleitung des mechanischen Laders geöffnet wird.

[0065] Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels gemäß **Fig. 1** näher beschrieben. Hierbei zeigt:

[0066] **Fig. 1** schematisch eine erste Ausführungsform der Brennkraftmaschine.

[0067] **Fig. 1** zeigt eine erste Ausführungsform der aufgeladenen Brennkraftmaschine **1** am Beispiel eines Vier-Zylinder-Reihenmotors **1**.

[0068] Zum Abführen der heißen Abgase verfügen die vier in Reihe angeordneten Zylinder **3** über ein Abgasabfuhrsystem **4**. Des Weiteren verfügen die Zylinder **3** über ein Ansaugsystem **2** und ein Plenum **13** zum Zuführen von Ladeluft.

[0069] Die Brennkraftmaschine **1** ist mit einem Abgasturbolader **6** ausgestattet, der eine im Abgasabfuhrsystem **4** angeordnete Turbine **6a** und einen im Ansaugsystem **2** angeordneten Verdichter **6b** umfasst, wobei die Turbine **6a** und der Verdichter **6b** auf derselben drehbaren Welle angeordnet sind und die Turbine **6a** eine variable Turbinengeometrie aufweist.

[0070] Stromabwärts des Verdichters **6b** ist ein Ladeluftkühler **5** im Ansaugsystem **2** angeordnet. Der Ladeluftkühler **5** senkt die Ladelufttemperatur und steigert damit die Dichte der Luft, weshalb der Kühler **5** zu einer besseren Füllung der Zylinder **3** mit Ladeluft beiträgt.

[0071] Die Brennkraftmaschine **1** ist des Weiteren mit einem mechanischen Lader **8** ausgestattet, der stromaufwärts des Verdichters **6b** im Ansaugsystem **2** angeordnet ist und über mindestens ein auf einer Antriebswelle **8a** angeordnetes Laufrad verfügt. Eine Bypassleitung **8b** ist vorgesehen, die stromaufwärts des Laders **8** aus dem Ansaugsystem **2** abzweigt und stromabwärts des Laders **8** wieder in das Ansaugsystem **2** mündet und in der ein Absperrlement **8c** angeordnet ist.

[0072] Darüber hinaus sind eine Elektromaschine **7** und eine Batterie **9** vorgesehen. Die Welle **7a** der Elektromaschine **7** ist mittels einer ersten Kupplung **11** mit der Antriebswelle **8a** des Laders **8** antriebsverbindbar. Dabei fungiert die Elektromaschine **7** als Antrieb und die Bypassleitung **8b** ist vorzugsweise geschlossen.

[0073] Ein Zugmitteltrieb **10** ist vorgesehen, der neben dem Zugmittel ein auf der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine **1** angeordnetes erstes Rad **10a** und ein auf der Welle **7a** der Elektromaschine **7** angeordnetes zweites Rad **10b** umfasst. Das zweite Rad **10b** ist ein in eine Drehrichtung freilaufendes Rad **10b**, welches freiläuft, wenn die Drehzahl n_{shaft} der Welle **7a** der Elektromaschine **7** größer ist als die Drehzahl n_{wheel} des zweiten Rades **10b**. Das zweite Rad **10b**

kann mittels einer zweiten Kupplung **12** mit der Welle **7a** der Elektromaschine **7** kraftschlüssig verbunden werden.

[0074] Bei geöffneter zweiter Kupplung **12** wird die erste Kupplung **11** geschlossen, um die Welle **7a** der Elektromaschine **7** mit der Antriebswelle **8a** des mechanischen Laders **8** zu verbinden und den mechanischen Lader **8** anzutreiben. Dabei wird die Welle **7a** der Elektromaschine **7** in Drehung versetzt mit einer Drehzahl n_{shaft} , die größer ist als die Drehzahl n_{wheel} des zweiten Rades **10b**, so dass die Welle **7a** unter dem zweiten Rad **10b** hindurch frei durchdreht.

[0075] Die Elektromaschine **7** kann aber auch als Generator, der Leistung aufnimmt, betrieben werden.

[0076] Falls die Batterie **9** einen vorgebbaren Mindestladezustand unterschreitet, wird der Zugmitteltrieb **10** in der Art betrieben, dass die Drehzahl n_{wheel} des zweiten Rades **10b** nicht kleiner ist als die Drehzahl n_{shaft} der Welle **7a** der Elektromaschine **7**. Die Elektromaschine **7** dient dann als Generator zur Energierückgewinnung. Bei geschlossener erster Kupplung **11** kann zudem der mechanische Lader **8** angetrieben werden.

[0077] Im Schubbetrieb der Brennkraftmaschine **1** kann die Elektromaschine **7** grundsätzlich als Generator zur Energierückgewinnung verwendet werden, wobei die Batterie **9** die vom Generator aufgenommene Leistung als elektrische Energie speichert.

[0078] Bei geöffneter erste Kupplung **11** kann die zweite Kupplung **12** geschlossen werden, um das zweite Rad **10b** des Zugmitteltriebs **10** kraftschlüssig mit der Welle **7a** der Elektromaschine **7** zu verbinden und die Elektromaschine **7** als Startvorrichtung zum Starten der Brennkraftmaschine **1** zu betreiben, wobei die Batterie **9** die erforderliche elektrische Energie liefert. Die Bypassleitung **8b** des mechanischen Laders **8** wird vorzugsweise geöffnet.

[0079] Die zweite Kupplung **12** muss lediglich dann geschlossen werden, wenn die Elektromaschine als Startvorrichtung fungiert. Zur Energierückgewinnung ist es nicht erforderlich, die zweite Kupplung **12** zu schliessen. Vorteile bietet dies insbesondere, falls die zweite Kupplung **12** eine elektromagnetische Kupplung ist, da die Batterie **9** im Rahmen der Energierückgewinnung Leistung aufnimmt und nicht elektrische Energie abgibt bzw. abgeben kann.

| | |
|--------------------|-----------------------------------------------------|
| 5 | Ladeluftkühler |
| 6 | Abgasturbolader |
| 6a | Turbine |
| 6b | Verdichter |
| 7 | Elektromaschine |
| 7a | Welle der Elektromaschine |
| 8 | mechanischer Lader |
| 8a | Antriebswelle des Laders |
| 8b | Bypassleitung |
| 8c | Absperrelement |
| 9 | Batterie |
| 10 | Zugmitteltrieb |
| 10a | erstes Rad |
| 10b | zweites Rad, in eine Drehrichtung freilaufendes Rad |
| 11 | erste Kupplung |
| 12 | zweite Kupplung |
| 13 | Plenum |
| n_{shaft} | Drehzahl der Welle der Elektromaschine |
| n_{wheel} | Drehzahl des zweiten Rades |

Bezugszeichenliste

| | |
|----------|-----------------------------------------------------------|
| 1 | aufgeladene Brennkraftmaschine, Vier-Zylinder-Reihenmotor |
| 2 | Ansaugsystem |
| 3 | Zylinder |
| 4 | Abgasabführsystem |

ZITATE ENHALTEN 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

- US 2008/0173017 A1 [0003, 0004, 0027, 0028]

Patentansprüche

1. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) mit

- einer Kurbelwelle,
- einem Ansaugsystem (2) zum Zuführen von Ladeluft,
- einem Abgasabfuhrsystem (4) zum Abführen des Abgases,
- einem mechanischen Lader (8), der im Ansaugsystem (2) angeordnet ist und der über mindestens ein auf einer Antriebswelle (8a) angeordnetes Laufrad und eine Bypassleitung (8b) verfügt, die stromabwärts des Laders (8) in das Ansaugsystem (2) mündet,
- einer Elektromaschine (7), die über eine Welle (7a) verfügt und als Antriebsmotor mittels einer ersten Kupplung (11) mit der Antriebswelle (8a) des Laders (8) antriebsverbindbar ist, und
- einer Batterie (9),

dadurch gekennzeichnet, dass

- die Elektromaschine (7) als Generator betreibbar ist, der Leistung aufnimmt,
- ein Zugmitteltrieb (10) vorgesehen ist, der neben dem Zugmittel ein auf der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine (1) angeordnetes erstes Rad (10a) und ein auf der Welle (7a) der Elektromaschine (7) angeordnetes zweites Rad (10b) umfasst, wobei das zweite Rad (10b) ein in eine Drehrichtung freilaufendes Rad (10b) ist, welches freiläuft, wenn die Drehzahl n_{shaft} der Welle (7a) der Elektromaschine (7) größer ist als die Drehzahl n_{wheel} des zweiten Rades (10b), und die Welle (7a) der Elektromaschine (7) mittels einer zweiten Kupplung (12) mit dem zweiten Rad (10b) antriebsverbindbar ist.

2. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Welle (7a) der Elektromaschine (7) mittels der ersten Kupplung (11) mit der Antriebswelle (8a) des mechanischen Laders (8) antriebsverbunden ist.

3. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bypassleitung (8b) des mechanischen Laders (8) geschlossen ist.

4. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Elektromaschine (7) zur Energierückgewinnung als Generator dient und die Batterie (9) die vom Generator aufgenommene Leistung als elektrische Energie speichert.

5. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Welle (7a) der Elektromaschine (7) mittels der zweiten Kupplung (12) mit dem zweiten Rad (10b) des Zugmitteltriebs (10) antriebsverbunden ist.

6. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Elektromaschine (7) als Startvorrichtung zum Starten der Brennkraftmaschine (1) dient und die Batterie (9) die erforderliche elektrische Energie liefert.

7. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bypassleitung (8b) des mechanischen Laders (8) geöffnet ist.

8. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens ein Abgasturbolader (6) vorgesehen ist, der eine im Abgasabfuhrsystem (4) angeordnete Turbine (6a) und einen im Ansaugsystem (2) angeordneten Verdichter (6b) umfasst, wobei die Turbine (6a) und der Verdichter (6b) auf derselben drehbaren Welle angeordnet sind.

9. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verdichter (6b) des mindestens einen Abgasturboladers (6) stromabwärts des mechanischen Laders (8) im Ansaugsystem (2) angeordnet ist.

10. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verdichter (6b) des mindestens einen Abgasturboladers (6) stromaufwärts des mechanischen Laders (8) im Ansaugsystem (2) angeordnet ist.

11. Verfahren zum Betreiben einer aufgeladenen Brennkraftmaschine (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei geöffneter zweiter Kupplung (12) die erste Kupplung (11) geschlossen wird, um die Welle (7a) der Elektromaschine (7) mit der Antriebswelle (8a) des mechanischen Laders (8) zu verbinden und den mechanischen Lader (8) anzutreiben, wobei die Welle (7a) der Elektromaschine (7) in Drehung versetzt wird mit einer Drehzahl n_{shaft} , die größer ist als die Drehzahl n_{wheel} des zweiten Rades (10b).

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zugmitteltrieb (10), falls die Batterie (9) einen vorgebbaren Mindestladezustand unterschreitet, in der Art betrieben wird, dass die Drehzahl n_{wheel} des zweiten Rades (10b) nicht kleiner ist als die Drehzahl n_{shaft} der Welle (7a) der Elektromaschine (7), um

- bei geschlossener erster Kupplung (11) den mechanischen Lader (8) anzutreiben, und
- die Elektromaschine (7) zur Energierückgewinnung als Generator zu betreiben.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bypassleitung (8b) des mechanischen Laders (8) geschlossen wird.

14. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Kupplung (**11**) geöffnet wird, um die Elektromaschine (**7**) zur Energierückgewinnung als Generator zu betreiben und die Batterie (**9**) mittels Generator aufzuladen.

15. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Kupplung (**11**) geöffnet und die zweite Kupplung (**12**) geschlossen wird, um
– das zweite Rad (**10b**) des Zugmitteltriebs (**10**) kraftschlüssig mit der Welle (**7a**) der Elektromaschine (**7**) zu verbinden, und
– die Elektromaschine (**7**) als Startvorrichtung zum Starten der Brennkraftmaschine (**1**) zu betreiben, wobei die Batterie (**9**) die erforderliche elektrische Energie liefert.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bypassleitung (**8b**) des mechanischen Laders (**8**) geöffnet wird.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

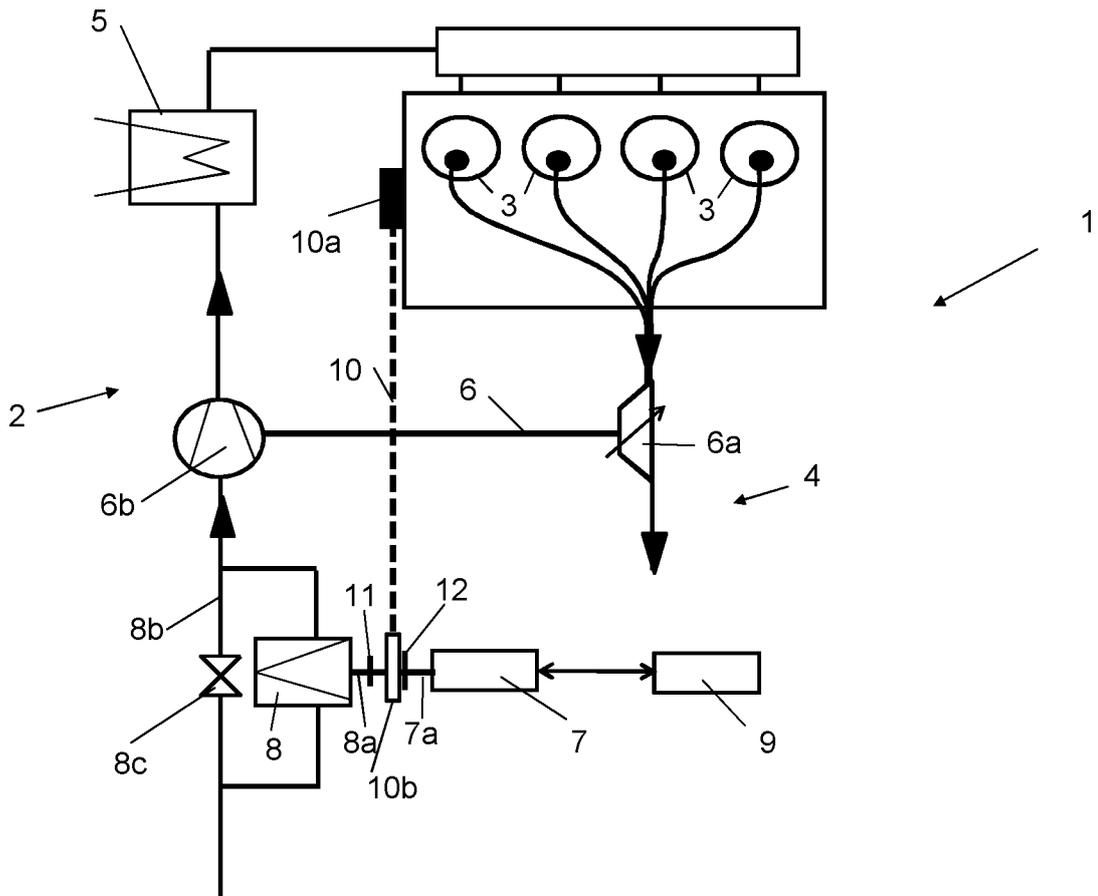


Fig. 1