



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
05.07.2023 Patentblatt 2023/27

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F02D 19/02 ^(2006.01) **F02D 41/00** ^(2006.01)
F02D 41/30 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **22215553.3**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F02D 41/3094; F02D 19/024; F02D 41/0027;
F02D 2200/0406; F02D 2200/0414; F02D 2200/101

(22) Anmeldetag: **21.12.2022**

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

(72) Erfinder:
• **Grewe, Frank**
48691 Vreden (DE)
• **Knepper, Stefan**
48249 Dülmen (DE)

(30) Priorität: **28.12.2021 DE 102021006374**

(74) Vertreter: **Wischmeyer, André et al**
Busse & Busse
Patent- und Rechtsanwälte
Partnerschaft
Großhandelsring 6
49084 Osnabrück (DE)

(71) Anmelder: **2G Energy AG**
48619 Heek (DE)

(54) **VERFAHREN ZUM BETRIEB EINER BRENNKRAFTMASCHINE MIT GASGEMISCHEN HOHER FLAMMENGESCHWINDIGKEIT UND NIEDRIGER ZÜNDENERGIE SOWIE ENTSPRECHENDE BRENNKRAFTMASCHINE**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine (2) mit Gasgemischen hoher Flammgeschwindigkeiten und niedriger Zündenergie, insbesondere Wasserstoff-Luft-Gemischen, umfassend eine Mehrzahl von Zylindern (4), einen Ansaugtrakt (6), durch den Ansaugluft in die Zylinder (4) der Brennkraftmaschine (2) gelangt, eine erste Gasdosiereinrichtung (20) zur taktenden brennraumnahen Dosierung eines Brenngases mit mehreren den Zylindern (4) zugeordneten Gasinjektoren (22) sowie eine zweite Gasdosiereinrichtung (24) zur kontinuierlichen brennraumfernen zentralen Dosierung eines Brenngases in den Ansaugtrakt (8) für alle Zylinder (4), wobei die Dosierung des Brenngases in einem ersten Lastbereich geringer Last ausschließlich durch die erste Gasdosiereinrichtung (20) und in einem zweiten Lastbereich hoher Last zumindest hauptsächlich durch die zweite Gasdosiereinrichtung (24) erfolgt.

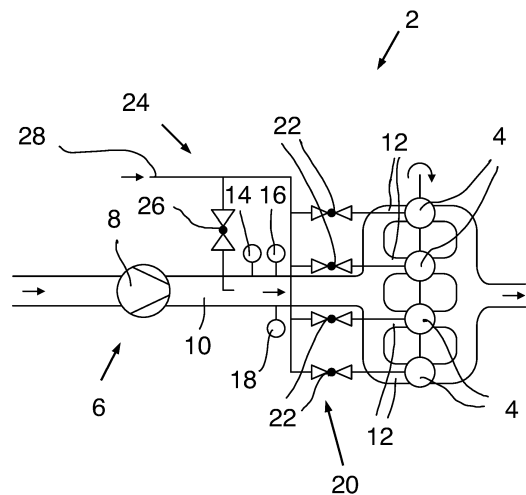


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine mit Gasgemischen hoher Flammengeschwindigkeiten und niedriger Zündenergie gemäß Anspruch 1 sowie eine Brennkraftmaschine zum Betrieb mit Gasgemischen hoher Flammengeschwindigkeiten und niedriger Zündenergie gemäß Anspruch 8.

[0002] Bekannt sind Brennkraftmaschinen sowie Verfahren zum Betreiben von Brennkraftmaschinen mit Erdgas-Luft-Gemischen. Hauptkomponente des Erdgases ist hierbei Methan. Die Flammengeschwindigkeiten von Methan-Luft-Gemischen liegen bei den typischerweise in Ansaugtrakten von entsprechenden Brennkraftmaschinen herrschenden Drücken, Temperaturen und Luftzahlverhältnissen unter 50 cm pro Sekunde. Die Mindestzündenergie für Methan-Luft-Gemische liegt in der Größenordnung von 0,3 mJ. Typische Erdgas-Luft-Gemische zeigen ein vergleichbares Verhalten.

[0003] Im Rahmen der vorliegenden Patentanmeldung stellen Erdgas-Luft-Gemische in mit Erdgas als Brenngas betriebenen Brennkraftmaschinen Gasgemische mit einer niedrigen Flammengeschwindigkeit und hoher Zündenergie dar. Bei solchen Brennkraftmaschinen wird das Gasgemisch über einen im Ansaugtrakt der Brennkraftmaschine angeordneten Gasmischer bereitgestellt. Für mit Erdgas betriebene Brennkraftmaschinen stellt dies eine sichere Betriebsweise dar.

[0004] Andere Brennkraftmaschinen werden mit Gasgemischen hoher Flammengeschwindigkeiten und niedriger Zündenergie betrieben. Derartige Gasgemische entstehen unter anderem bei der Verwendung von Wasserstoff als Brenngas. Auch Abgasströme aus der chemischen Industrie mit hohen Anteilen von Ethen, Ethin oder Ethylenoxid bilden Gasgemische mit hohen Flammengeschwindigkeiten und niedrigen Zündenergien aus. Ein hoher Anteil der genannten Gase kann hierbei schon bei niedrigen Volumenprozentanteilen der genannten Stoffe vorliegen, sofern diese Stoffe das Verbrennungsverhalten des Gasgemisches dominieren. Die Flammengeschwindigkeiten von Gasgemischen hoher Flammengeschwindigkeiten liegen in Bereichen >30 cm/s, insbesondere >50 cm/s, weiter insbesondere im Bereich zwischen 1 bis 4 m/s. Niedrige Zündenergien liegen im Bereich zwischen 0,01 und 0,25 mJ, insbesondere im Bereich zwischen 0,02 und 0,1 mJ. Derartige Gasgemische sind sehr zündwillig, sodass bereits Zündquellen vergleichsweise geringer Energieabgabe, wie glühende Rußpartikel in einem Zylinder oder heiße Stellen an einem Zylindereinlass ausreichend sein können, um ein solches Gasgemisch zu entzünden. Durch die hohe Flammengeschwindigkeit setzt sich die Verbrennung des Gasgemisches mit hoher Geschwindigkeit durch einen Ansaugtrakt der Brennkraftmaschine fort. Hierdurch kann die Brennkraftmaschine zerstört und sich in der Nähe aufhaltenden Personen verletzt werden.

[0005] Um diese Gefahr zu minimieren, wird das Gas-

gemisch bei der Verwendung von entsprechenden Brenngasen wie Wasserstoff brennraumnah bereitgestellt. Das Brenngas wird erst unmittelbar vor dem Füllen eines Zylinders mit dem Gasgemisch vor das Einlassventil des entsprechenden Zylinders gegeben. Alternativ kann ein brennraumnahes Bereitstellen des Brenngases durch eine Einspritzung direkt in die Brennkammer eines Zylinders erfolgen. Beide Varianten werden hier als brennraumnahe Dosierung eines Brenngases bezeichnet. Durch eine brennraumnahe Dosierung des Brenngases wird erreicht, dass im Ansaugtrakt immer nur die Menge Brenngas vorhanden ist, die für den nächsten mit Gasgemisch zu füllenden Zylinder benötigt wird. Wenn es zu einer vorzeitigen Entzündung des Gasgemisches an einer Zündquelle am oder im Zylinder kommt, sind die Auswirkungen durch die geringe Menge an Brenngas im Ansaugtrakt begrenzt.

[0006] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine weist die Brennkraftmaschine eine Mehrzahl von Zylindern auf, sowie einen Ansaugtrakt, durch den Ansaugluft in die Zylinder der Brennkraftmaschine gelangt. Die Brennkraftmaschine weist weiterhin eine erste Gasdosiereinrichtung zur takten brennraumnahen Dosierung eines Brenngases mit mehreren den Zylindern zugeordneten Gasinjektoren auf. Hierbei ist jedem Zylinder ein Gasinjektor zugeordnet. Der Ansaugtrakt weist für jeden Zylinder einen Ansaugkanal auf. Der Gasinjektor dosiert das Brenngas jeweils in den zu einem Zylinder gehörigen Ansaugkanal. Wenn die Brennkraftmaschine Zylinderpaare aufweist, die besonders günstig versetzt getaktet und angeordnet sind, kann ein Gasinjektor die Dosierung des Brenngases für die beiden Zylinder eines solchen Zylinderpaares übernehmen. Die Dosierung des Brenngases erfolgt dann an der Stelle, an der sich die Ansaugkanäle der beiden Zylinder trennen. Die Dosierung des Brenngases durch die Gasinjektoren erfolgt hierbei typischerweise zeitgesteuert. Die Menge des Brenngases wird dadurch bestimmt, wie lange ein Gasinjektor für den Durchtritt von Brenngas geöffnet ist.

[0007] Weiterhin weist die Brennkraftmaschine eine zweite Gasdosiereinrichtung für eine kontinuierliche brennraumferne zentrale Dosierung eines Brenngases in den Ansaugtrakt auf. Durch die zweite Gasdosierung wird ein Gasgemisch im Ansaugtrakt bereitgestellt, mit dem alle Zylinder der Brennkraftmaschine versorgt werden. Bei einer aufgeladenen Brennkraftmaschine kann dies durch eine Einzeleinspritzung in eine Ansaugstrecke nach einem Verdichter insbesondere eines Abgasturboladers erfolgen. Alternativ kann die Dosierung insbesondere über einen Gasmischer in den Ansaugtrakt vor einem Verdichter eines Abgasturboladers erfolgen. Bei der zweiten Gasdosiereinrichtung wird die Menge des eingegebenen Brenngases vorzugsweise über ein Proportionalventil gesteuert. Die Menge des pro Zeiteinheit in den Ansaugtrakt gelangenden Brenngases wird durch den veränderlichen Querschnitt des Proportionalventils geregelt.

[0008] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt die Dosierung des Brenngases in einem ersten Lastbereich geringer Last ausschließlich durch die erste Gasdosiereinrichtung und einem zweiten Lastbereich hoher Last zumindest hauptsächlich durch die zweite Gasdosiereinrichtung. Bei hoher Last ist die Strömungsgeschwindigkeit im Ansaugtrakt, insbesondere an einem Ausblasquerschnitt des Ansaugtraktes, höher als die Flammengeschwindigkeit des Gasgemisches, insbesondere mindestens 1,5-mal so groß, weiter bevorzugt mindestens zweimal so groß. Der Ausblasquerschnitt ist ein bestimmter, definierter Querschnitt des Ansaugtraktes, der in Strömungsrichtung hinter den zu schützenden Bauteilen des Ansaugtraktes liegt. Wenn das Gasgemisch sich an einer Zündquelle an einem Zylinder entzünden sollte, kann es sich dadurch, dass bei hoher Last die Strömungsgeschwindigkeit im Ausblasquerschnitt des Ansaugtraktes höher ist als die Flammengeschwindigkeit des Gasgemisches, nicht über diesen Ausblasquerschnitt hinaus gegen die Strömungsrichtung im Ansaugtrakt ausbreiten. Etwaig auftretende vorzeitige Zündungen eines Gasgemisches hoher Flammengeschwindigkeit und niedriger Zündenergie werden somit beherrschbar. Ein Bereich hoher Last ist insbesondere ein Bereich ab 50 % der Nennleistung bei Nenndrehzahl. Geringe Last liegt insbesondere bei einer Leistung von 10 % der Nennleistung bei Nenndrehzahl oder geringer vor. Dann erfolgt die Dosierung des Brenngases über die erste Gasdosiereinrichtung. Das Brenngas wird brennraumnah dosiert und taktend kurz bevor das Gasgemisch vom Zylinder angesaugt wird bereitgestellt oder direkt in den Brennraum eingespritzt. Die im System vorhandene Menge an Gasgemisch wird hierdurch auf die gerade benötigte Menge verringert. Durch die Verringerung der Menge an Gasgemisch wird die Gefahr von Beschädigungen der Brennkraftmaschine durch vorzeitige Zündung des Gasgemisches reduziert, auch wenn die Flammengeschwindigkeit des Gasgemisches höher als die Strömungsgeschwindigkeit im Ansaugtrakt, insbesondere im Ausblasquerschnitt ist. Die Brennkraftmaschine kann so bei geringen Lasten sicher betrieben werden.

[0009] Da die erste Gasdosiereinrichtung das Brenngas nur in geringen Lastbereichen von insbesondere 10 % der Nennlast bei Nenndrehzahl (allein) bereitstellt, kann die erste Gasdosiereinrichtung für die Dosierung vergleichsweise geringer Mengen Brenngas ausgelegt werden. Die Gasinjektoren der ersten Gasdosiereinrichtung können somit im Vergleich zu Brennkraftmaschinen, bei denen eine brennraumnahe Dosierung über den gesamten Leistungsbereich erfolgt, deutlich kleiner dimensioniert werden. Gasinjektoren insbesondere für Wasserstoff müssen aufgrund der vergleichsweise geringen Energiedichte von Wasserstoff besonders groß dimensioniert werden. Große Gasinjektoren zum takten Betrieb sind Sonderbauteile und kostenintensiv. Durch das regelmäßige Öffnen und Schließen unterliegen diese Gasinjektoren zudem erhöhtem Verschleiß. Die Gasinjektoren werden während der Lebensdauer

entsprechender Brennkraftmaschinen typischerweise mehrmals ausgetauscht. Die hohen Kosten für große Gasinjektoren fallen über die Lebensdauer einer entsprechenden Brennkraftmaschine somit mehrfach an. Wenn die Gasinjektoren nur bis zu einem Lastbereich von ca. 10% der Nennlast die ausschließliche Dosierung von Brenngas übernehmen müssen, können diese zumindest 50%, bevorzugt rund 75% und insbesondere zwischen 75% und 90% kleiner dimensioniert werden als Gasinjektoren, die die Gasdosierung über den gesamten Lastbereich bewerkstelligen müssen. Kleinere Gasinjektoren sind kostengünstiger und durch die geringeren bewegten Massen zudem haltbarer.

[0010] Bei hoher Last erfolgt die Dosierung von Brenngas hauptsächlich durch die zweite Gasdosiereinrichtung. Bei hoher Last ist die Strömungsgeschwindigkeit im Ansaugtrakt, insbesondere in einem Ausblasquerschnitt, höher als die Flammengeschwindigkeit des Gasgemisches. Im Falle einer vorzeitigen Entzündung des Gasgemisches kann sich die Flammenfront nicht über den Ausblasquerschnitt ausbreiten. Hierdurch wird ein sicherer Betrieb auch bei einer Dosierung des Brenngases durch die zweite Gasdosiereinrichtung sichergestellt. Die zweite Gasdosiereinrichtung weist insbesondere ein Proportionalventil auf, wobei der Durchtritt des Brenngases durch das Proportionalventil von dem Öffnungsquerschnitt des Proportionalventils abhängig ist. Die Dosierung des Brenngases über die zweite Gasdosiereinrichtung erfolgt kontinuierlich. Die zweite Gasdosiereinrichtung unterliegt daher nur einem geringen Verschleiß.

[0011] Bevorzugt erfolgt die Dosierung des Brenngases während einer Anlaufphase der Brennkraftmaschine ausschließlich durch die erste Gasdosiereinrichtung. Während der Anlaufphase ist die Last gering. In der Folge ist auch die Strömungsgeschwindigkeit im Ansaugtrakt zunächst gering. Dadurch, dass in dieser Phase die Dosierung des Brenngases ausschließlich durch die erste Gasdosiereinrichtung erfolgt, wird die Gefahr durch mögliche vorzeitige Entzündungen des Gasgemisches handhabbar, weil nur die jeweils benötigten Mengen an Brenngas in der Brennkraftmaschine vorhanden sind. Die Menge an Gasgemisch in der Brennkraftmaschine, dass sich vorzeitig entzünden kann, ist somit begrenzt. Das Umschalten einer Dosierung des Brenngases ausschließlich durch die erste Gasdosierung zu einer Dosierung des Brenngases durch die zweite Gasdosiereinrichtung kann beispielsweise zeitgesteuert nach Ablauf einer Anlaufphase erfolgen. Die Zeit bis zum Umschalten kann hierbei insbesondere eine Minute betragen. Vorzugsweise erfolgt die Umschaltung lastabhängig, so dass nach Erreichen einer Mindestleistung von insbesondere 10% der Maximalleistung der Brennkraftmaschine von der ersten Gasdosiereinrichtung auf die zweite Gasdosiereinrichtung umgeschaltet wird.

[0012] Beim Abschalten der Brennkraftmaschine kann die Brenngasdosierung vollständig abgeschaltet werden. Die Brennkraftmaschine läuft aus. Hierbei saugt die-

se durch den Ansaugtrakt Frischluft von außerhalb der Brennkraftmaschine an. Der Ansaugtrakt wird gespült. Die Brennkraftmaschine wird automatisch in einen sicheren Zustand für ein erneutes Anfahren verbracht.

[0013] Vorzugsweise erfolgt die Dosierung des Brenngases durch die zweite Gasdosiereinrichtung derart, dass die Flammgeschwindigkeit des Gasgemisches im Ansaugtrakt stets kleiner ist als die Strömungsgeschwindigkeit im Ansaugtrakt, insbesondere in einem Ausblasquerschnitt des Ansaugtrakts. Insbesondere beträgt das Verhältnis von Strömungsgeschwindigkeit im Ansaugtrakt und Flammgeschwindigkeit des Gasgemisches mindestens 1,5, besonders bevorzugt mindestens 2,0. Die Flammgeschwindigkeit des Gasgemisches ist abhängig insbesondere vom Luftzahlverhältnis. Sie kann somit durch die Menge des dosierten Brenngases beeinflusst werden. Das Brenngas kann teilweise oder vollständig durch die zweite Gasdosiereinrichtung in den Ansaugtrakt dosiert werden. Bei einer teilweisen Dosierung der benötigten Brenngasmenge durch die zweite Gasdosiereinrichtung erfolgt die Dosierung der verbleibenden Menge an Brenngas durch die erste Gasdosiereinrichtung. Hierdurch kann ein sicherer Betrieb der Brennkraftmaschine vorzugsweise über den gesamten Leistungsbereich der Brennkraftmaschine sichergestellt werden.

[0014] Bevorzugt wird die den Ansaugtrakt durchströmende Gasmenge gemessen. Die Messung der durch den Ansaugtrakt strömenden Gasmenge kann insbesondere durch einen Luftmassenmesser erfolgen. Aus der Gasmenge kann der Volumenstrom und aus diesem bei bekanntem Querschnitt des Ansaugtrakts, insbesondere eines Ausblasquerschnitts im Ansaugtrakt, die Strömungsgeschwindigkeit im Ansaugtrakt bzw. im Ausblasquerschnitt bestimmt werden. Wenn in einem Motorsteuergerät der Verlauf der Flammgeschwindigkeit eines Gasgemisches in Abhängigkeit vom Luftzahlverhältnis hinterlegt ist, kann dann die Dosierung des Brenngases durch die zweite Gasdosiereinrichtung derart gesteuert werden, dass die Flammgeschwindigkeit des Gasgemisches ausreichend kleiner ist als die Strömungsgeschwindigkeit im Ansaugtrakt, insbesondere im Ausblasquerschnitt des Ansaugtraktes.

[0015] Alternativ oder zusätzlich kann die Strömungsgeschwindigkeit über die Drehzahl der Brennkraftmaschine bestimmt werden. Aus der Drehzahl zusammen mit dem Hubraum der Brennkraftmaschine sowie der Anzahl an Fülltakten pro Umdrehung kann der den Ansaugtrakt durchströmende Volumenstrom des Gasgemischs ermittelt werden. Die Strömungsgeschwindigkeit ergibt sich durch Teilen des Volumenstroms durch den relevanten Querschnitt des Ansaugtrakts.

[0016] Vorzugsweise werden der Druck und die Temperatur des Gasgemisches im Ansaugtrakt gemessen. Mit dem Volumenstrom im Ansaugtrakt sowie Temperatur und Druck im Ansaugtrakt kann die den Ansaugtrakt durchströmende Gasmenge bestimmt werden. Aus diesen Daten kann bestimmt werden, welche Menge Brenn-

gas zu dosieren ist, um ein gewünschtes Luftzahlverhältnis des Gasgemisches einzustellen.

[0017] Bevorzugt wird bei Erreichen eines Schwellwertes, insbesondere bei einem bestimmten Prozentwert der Nennleistung bei Nenndrehzahl, bspw. 10 %, die Dosierung des Brenngases von der ersten Gasdosiereinrichtung auf die zweite Gasdosiereinrichtung umgestellt. Ein solches Verfahren ermöglicht eine besonders einfache Steuerung der Brennkraftmaschine. Bei Erreichen bzw. Überschreiten eines Schwellwerts erfolgt eine vollständige Umstellung der Dosierung des Brenngases von der ersten Gasdosiereinrichtung auf die zweite Gasdosiereinrichtung. In diesem Falle wird die erste Gasdosiereinrichtung im weiteren Betrieb der Brennkraftmaschine im Betriebsbereich oberhalb des Schwellwertes nicht länger verwendet. Die Gasinjektoren der ersten Gasdosiereinrichtung unterliegen keinem weiteren Verschleiß. Die Lebensdauer der Gasinjektoren relativ zur Gesamtlebensdauer der Brennkraftmaschine wird somit verbessert.

[0018] In einer alternativen Ausgestaltung des Verfahrens erfolgt bei hoher Last eine Dosierung von Brenngas durch die erste Gasdosiereinrichtung zusätzlich zu einer Dosierung durch die zweite Gasdosiereinrichtung. Der Hauptteil des Brenngases wird hierbei durch die zweite Gasdosiereinrichtung bereitgestellt. Die erste Gasdosiereinrichtung mit den Gasinjektoren kann jedoch verwendet werden, um einzelnen Zylindern zylinderindividuell zusätzliches Brenngas zur Verfügung zu stellen. Durch eine derartige zylinderindividuelle Regelung der Gasdosierung können die verbrennungsrelevanten Parameter aller Zylinder gleichgestellt werden. Dies betrifft insbesondere die Gleichstellung der Verbrennungstemperaturen, der Lage und Länge der Verbrennung, insbesondere der Verbrennungsschwerpunkte, sowie die abgegebene Leistung der individuellen Zylinder. Hierbei wird über die Gasinjektoren jeweils nur eine geringe Menge Brenngas, insbesondere weniger als 10% der gesamten Brenngasmenge, dosiert. Die Gasinjektoren können somit entsprechend klein dimensioniert werden und sind somit kostengünstiger.

[0019] Die Erfindung betrifft weiterhin eine Brennkraftmaschine zum Betrieb mit Gasgemischen hoher Flammgeschwindigkeiten und niedriger Zündenergie nach Anspruch 8. Die Brennkraftmaschine umfasst eine Mehrzahl von Zylindern sowie einen Ansaugtrakt, durch den Ansaugluft in den Zylinder der Brennkraftmaschine gelangt. Die Brennkraftmaschine weist eine erste Gasdosiereinrichtung zur taktenden brennraumnahen Dosierung eines Brenngases mit mehreren jeweils einzelnen Zylindern zugeordneten Gasinjektoren auf. Die Brennkraftmaschine weist weiterhin eine zweite Gasdosiereinrichtung zur kontinuierlichen brennraumfernen zentralen Dosierung eines Brenngases für alle Zylinder in den Ansaugtrakt auf. Eine brennraumnahe Dosierung eines Brenngases umfasst in diesem Zusammenhang auch eine Direkteinspritzung des Brenngases in einen Brennraum eines Zylinders. Vorzugsweise ist jedem Zy-

linder ein Gasinjektor zugeordnet. In besonderen Fällen kann ein Gasinjektor jedoch auch für zwei Zylinder verwendet werden, wenn die räumlichen Anordnungen der Zylinder und ihre Taktungen dies zulassen.

[0020] Vorzugsweise weist der Ansaugtrakt der Brennkraftmaschine einen Ausblasquerschnitt auf, in dem die Strömungsgeschwindigkeit des zu dem Zylinder gelangenden Gasgemisches bei hoher Last der Brennkraftmaschine höher als die Flammengeschwindigkeit des Gasgemisches ist. Insbesondere ist der Ausblasquerschnitt in Strömungsrichtung hinter den durch den Ausblasquerschnitt von einer Durchzündung eines Gasgemisches zu schützenden Elementen des Ansaugtraktes angeordnet. Insbesondere ist der Ausblasquerschnitt in Strömungsrichtung vor den Zylindern, die die wesentliche Zündquelle darstellen, angeordnet. Weiter bevorzugt ist der Ausblasquerschnitt zwischen den Zylindern und einer Gemischbildungsstelle der zweiten Gasdosiereinrichtung angeordnet. Bei den vor einer Durchzündung des Gasgemisches zu schützenden Elementen des Ansaugtraktes kann es sich um eine Drosselklappe, einen Verdichter, einen Ladeluftkühler und/oder Sensoren handeln, die im Ansaugtrakt angeordnet sind. Dadurch, dass der Ausblasquerschnitt des Ansaugtraktes so ausgelegt ist, dass bei einer hohen Last der Brennkraftmaschine, insbesondere bei einer Last >50 % bei Nenn-drehzahl, eine Strömungsgeschwindigkeit herrscht, die größer ist als die Flammengeschwindigkeit des Gasgemisches, wird eine sicher betreibbare Brennkraftmaschine bereitgestellt. Typischerweise liegen bei Leistungen ab etwa 10% der Nennleistung in den zu den einzelnen Zylindern führenden Ansaugkanälen des Ansaugtraktes Strömungsgeschwindigkeiten vor, die ausreichend hoch über der Flammengeschwindigkeit des Gasgemisches liegen.

[0021] Bevorzugt ist im Ansaugtrakt ein Verdichter zur Erzeugung eines Ladedrucks angeordnet. Insbesondere ist der Verdichter Teil eines Abgasturboladers. Brennkraftmaschinen, die mit einem erhöhten Ladedruck betrieben werden, weisen eine höhere Leistung und/oder Effizienz auf.

[0022] In einer weiter besonders bevorzugten Ausführungsform weist die zweite Gasdosiereinrichtung zum Dosieren eines Brenngases in den Ansaugtrakt einen in Strömungsrichtung hinter dem Verdichter angeordneten Gaseinlass auf. Diese Konfiguration ist besonders vorteilhaft, wenn das Brenngas mit einem hohen Druck zur Verfügung steht. Ein hoher Druck bezeichnet hierbei einen Druck von mindestens einem Zehntel Bar oberhalb des Ladedrucks. Das unter hohem Druck stehende Brenngas kann direkt in den Ansaugtrakt mit dem hohen Ladedruck eingeführt werden. Effizienzverluste durch ein Entspannen des Brenngases und anschließendes Wiederverdichten werden vermieden. Wenn das Brenngas mit hohem Druck zur Verfügung steht, kann auch die erste Gasdosiereinrichtung unmittelbar mit dem Brenngas mit hohem Druck versorgt werden.

[0023] In einer alternativen bevorzugten Ausführungs-

form weist die zweite Gasdosiereinrichtung zum Dosieren eines Brenngases in den Ansaugtrakt einen in Strömungsrichtung vor dem Verdichter angeordneten Gaseinlass auf. Die Brennkraftmaschine weist zudem einen Brenngasverdichter zum Verdichten von Brenngas zur Dosierung über die erste Gasdosierung auf. Diese Konfiguration ist vorteilhaft, wenn das Brenngas mit geringem Druck zur Verfügung steht. Ein geringer Druck ist ein Druck von weniger als einem Zehntel Bar über dem Ladedruck, weiterhin insbesondere einem geringeren Druck als der Ladedruck. Das Brenngas wird vor dem Verdichter in den Ansaugtrakt eingegeben und gemeinsam mit der Ansaugluft im Verdichter verdichtet. Für den Betrieb der ersten Gasdosiereinrichtung, über die eine brennraumnahe Dosierung des Brenngases erfolgt, ist jedoch ein Brenngasverdichter zum Verdichten von Brenngas notwendig. Andernfalls kann über die erste Gasdosiereinrichtung kein Brenngas in den Bereich des Ansaugtraktes dosiert werden, in dem der erhöhte Ladedruck herrscht. Der Brenngasverdichter muss jedoch nur einen Teil des Brenngases verdichten, nämlich den Teil, der zur Dosierung über die erste Gasdosiereinrichtung vorgesehen ist. Er kann somit klein dimensioniert werden und muss auch nicht durchgehend betrieben werden.

[0024] Vorzugsweise ist die Brennkraftmaschine als Stationärmotor ausgebildet. Stationärmotoren laufen typischerweise mit einer Last in der Nähe ihres Auslegungspunktes. Sie werden zudem häufig mit geringeren Brenngasdrücken betrieben als Brennkraftmaschinen für mobile Anwendungen, da für eine stationäre Anwendung die Energiedichte anders als bei mobilen Anwendungen nicht so entscheidend ist. So können für Stationärmotoren große Tanks bereitgestellt werden, die mit vergleichsweise geringem Brenngasdrücken von insbesondere bis zu 30 Bar betrieben werden. Je geringer der notwendige Mindestbrenngasdruck ist, der zum Betrieb einer Brennkraftmaschine notwendig ist, desto besser kann das Tankfüllvolumen ausgenutzt werden. Um mit einem geringen Brenngasdruck betrieben werden zu können, müssen die Gasinjektoren der ersten Gasdosiereinrichtung entsprechend groß dimensioniert sein, bzw. einen großen Querschnitt aufweisen. Bei Stationärmotoren kommt somit der Vorteil der Verwendung einer ersten Gasdosiereinrichtung mit Gasinjektoren und einer zweiten Gasdosiereinrichtung zur kontinuierlichen Dosierung von Brenngas besonders deutlich zum Tragen. Die Gasinjektoren für die erste Gasdosiereinrichtung, über die nur noch ein Teil des der Brennkraftmaschine zuzuführenden Brenngases dosiert werden muss, können entsprechend deutlich kleiner und somit kostengünstiger ausfallen, als wenn sie die Brenngasdosierung über den gesamten Leistungsbereich sicherstellen müssten.

[0025] Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Figurenbeschreibung. Es zeigen:

Fig. 1 eine erfindungsgemäße Brennkraftmaschine in einer ersten Ausführungsform für mit hohem Druck zur Verfügung stehendem Brenngas;

Fig. 2 eine alternative Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine für mit niedrigem Druck zur Verfügung stehendem Brenngas;

Fig. 3 eine beispielhafte Darstellung des Betriebs einer Brennkraftmaschine mit Darstellung der Leistung sowie der Brenngasflüsse über die erste Gasdosiereinrichtung sowie die zweite Gasdosiereinrichtung im zeitlichen Verlauf;

Fig. 4 Darstellung der laminaren Flammengeschwindigkeit eines Gasgemisches in Abhängigkeit vom Verbrennungsluftverhältnis.

[0026] Gleiche oder ähnliche wirkende Teile sind - sofern dienlich - mit identischen Bezugsziffern versehen. Einzelne technische Merkmale der nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiele können mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche sowie mit den Merkmalen einzelner vorbeschriebener Ausführungsbeispiele zur erfindungsgemäßen Gegenständen kombiniert werden.

[0027] Fig. 1 zeigt eine Brennkraftmaschine 2 mit vier Zylindern 4. Die Brennkraftmaschine 2 weist einen Ansaugtrakt 6 auf. Im Ansaugtrakt 6 ist ein Verdichter 8 angeordnet. Weitere, nicht dargestellte Elemente in einem Ansaugtrakt 6 können eine Drosselklappe und ein Ladeluftkühler sein. Der Verdichter 8 kann als Teil eines Abgasturboladers ausgeführt sein. Der Ansaugtrakt 6 weist in Strömungsrichtung hinter dem Verdichter 8 eine Ansaugstrecke 10 auf, die sich vor den Zylindern in zylinderindividuelle Ansaugkanäle 12 aufteilt. In der Ansaugstrecke 10 sind Temperaturfühler 14, Druckaufnehmer 16 und Durchflussmesser 18 angeordnet. Die Brennkraftmaschine 2 weist eine erste Gasdosiereinrichtung 20 auf. Die erste Gasdosiereinrichtung 20 umfasst vier Gasinjektoren 22. Jeder Gasinjektor 22 ist dabei einem Zylinder 4 zugeordnet. Die erste Gasdosiereinrichtung 20 ist eingerichtet, über die Gasinjektoren 22 Brenngas zylinderindividuell in die jeweiligen Ansaugkanäle 12 der jeweiligen Zylinder einzudosieren. Die Gasinjektoren 22 öffnen und schließen im Betrieb taktend. Die Taktung ist mit dem Motorzyklus synchronisiert. Die Menge an Brenngas wird zeitgesteuert durch die Öffnungsdauer der jeweiligen Gasinjektoren 22 bestimmt.

[0028] Die Brennkraftmaschine 2 weist darüber hinaus eine zweite Gasdosiereinrichtung 24 auf. Diese dosiert über ein Proportionalventil 26 das Brenngas in die Ansaugstrecke 10. Die Menge des durch die zweite Gasdosiereinrichtung 24 über das Proportionalventil 26 in die Ansaugstrecke 10 des Ansaugtraktes 6 eingebrachten Brenngases wird durch den Öffnungsquerschnitt des Proportionalventils 26 bestimmt. Der für einen Durchtritt

einer bestimmten Brenngasmenge pro Zeiteinheit notwendige Öffnungsquerschnitt des Proportionalventils 26 ist dabei abhängig von dem in der Ansaugstrecke 10 herrschenden Ladedruck sowie dem Druck, mit dem das Brenngas zur Verfügung steht. Die erste Gasdosiereinrichtung 20 und die zweite Gasdosiereinrichtung 24 werden über eine gemeinsame Brenngasversorgung 28 mit Brenngas versorgt.

[0029] Die Brennkraftmaschine 2 gemäß Fig. 1 ist geeignet für Brenngasversorgungen, die das Brenngas mit einem hohen Druck zur Verfügung stellen können. Der Druck sollte hierbei mindestens ein Zehntel Bar über den in der Ansaugstrecke 10 herrschenden Ladedruck liegen. Wenn die Brennkraftmaschine bei Nennleistung mit einem Ladedruck von 3 bar betrieben wird, muss die Brenngasversorgung das Brenngas also mindestens mit einem Druck von 3,1 bar bereitstellen können.

[0030] Diese Ausführungsform ist beispielsweise geeignet für eine Verwendung von über Hochdruckelektrolyseure erzeugten Wasserstoff. Typische Hochdruckelektrolyseure stellen Wasserstoff mit einem Druck von bis zu 30 bar zur Verfügung.

[0031] Fig. 2 zeigt eine alternative Ausführungsform einer Brennkraftmaschine 2 für Brenngas, das mit einem geringen Druck zur Verfügung gestellt wird. Geringe Drücke sind hierbei Drücke kleiner als einem Zehntel Bar über dem Ladedruck. Auch diese Brennkraftmaschine 2 umfasst wiederum vier Zylinder 4. Die Zylinder 4 werden durch einen Ansaugtrakt 6 mit Luft bzw. Gasgemisch versorgt. Über eine erste Gasdosiereinrichtung 20 und eine zweite Gasdosiereinrichtung 24 wird Brenngas in den Ansaugtrakt 6 eingebracht. Die erste Gasdosiereinrichtung 20 umfasst vier Gasinjektoren 22. Jeder der Gasinjektoren 22 ist einem Zylinder 4 der Brennkraftmaschine 2 zugeordnet. Die Gasinjektoren 22 stellen das Brenngas zylinderindividuell in den jeweiligen Ansaugkanälen 12 der jeweiligen Zylinder 4 bereit. Die zweite Gasdosiereinrichtung 24 mit dem Proportionalventil 26 stellt das Brenngas, das mit niedrigem Druck bereitsteht, in Strömungsrichtung vor dem Verdichter 8 bereit. Der Verdichter 8 komprimiert somit bereits das Gasgemisch und nicht nur die Ansaugluft. Für den Betrieb der ersten Gasdosiereinrichtung 20 ist in der Brenngasversorgung 28 ein Brenngasverdichter 30 vorgesehen. Durch den Brenngasverdichter 30 wird ein Teil des Brenngasstroms auf einen Druck gebracht, der ausreichend ist, um das Brenngas über die Gasinjektoren 22 in den unter Druck stehenden Teil des Ansaugtraktes 6, namentlich die Ansaugkanäle 12, dosieren zu können. In der Ansaugstrecke 10 sind weiterhin die Temperaturfühler 14, Druckmesser 16 und Durchflussmesser 18 angeordnet.

[0032] Die über die Temperaturfühler 14, Druckmesser 16 sowie Durchflussmesser 18 kann die Menge des in die Zylinder 4 gelangenden Gasgemisches bestimmt werden. Anhand dieser Daten wird die Menge an Brenngas, die über die erste Gasdosiereinrichtung 20 bzw. die zweite Gasdosiereinrichtung 24 bereitgestellt werden muss, ermittelt.

[0033] Die Anzahl der Zylinder der in Fig. 1 und Fig. 2 dargestellten Ausführungsformen kann auch variieren. Auch Brennkraftmaschinen mit mehr als vier Zylindern 4, insbesondere mit 6, 8, 10, 12, 16, 20 oder 24 Zylinder sind ebenfalls umfasst.

[0034] Fig. 3 zeigt den zeitlichen Verlauf der Leistung 32 einer Brennkraftmaschine 2 sowie eine Darstellung des Brenngasflusses 34, der über die Gasdosiereinrichtung 20 bereitgestellt wird und des Brenngasflusses 36, der über die zweite Gasdosiereinrichtung 24 bereitgestellt wird. Beim Anfahren der Brennkraftmaschine 2 wird Brenngas ausschließlich durch die erste Gasdosiereinrichtung 20 bereitgestellt. Wenn die Leistung des Motors etwa 10 Prozent der Nennleistung beträgt, wird zusätzliches Brenngas über die zweite Gasdosiereinrichtung 24 bereitgestellt. Die Menge des über die erste Gasdosiereinrichtung 20 dosierten Brenngases bleibt in dieser Phase konstant. Wenn die Menge des durch die zweite Gasdosiereinrichtung 24 bereitgestellten Brenngases in etwa der Menge der durch die ersten Gasdosiereinrichtung 20 gestellten Brenngases entspricht, ungefähr bei einer Leistung von 40 Prozent der Brennkraftmaschine 2, wird der Brenngasfluss über die erste Gasdosiereinrichtung 20 reduziert und der Brenngasfluss über die zweite Gasdosiereinrichtung 24 steigt mit größerer Steigung an. Bei etwa 80 Prozent der Leistung erfolgt in diesem Beispiel keine Gasdosierung mehr über die erste Gasdosiereinrichtung 20. Die weiteren Leistungssteigerungen gehen mit einer Erhöhung der durch die zweite Gasdosiereinrichtung 24 bereitgestellten Brenngasmenge einher. Wenn die Leistung der Brennkraftmaschine 2 wieder reduziert wird, erfolgt zunächst eine Reduktion der durch die zweite Gasdosiereinrichtung 24 bereitgestellten Brenngasmenge. Bei einer Leistung von etwa 80 Prozent wird wieder eine gewisse Menge Brenngas durch die erste Gasdosiereinrichtung 20 bereitgestellt. Die Menge an Brenngas, die durch die erste Gasdosiereinrichtung 20 bereitgestellt wird, erhöht sich bei einer Leistung von ca. 40 Prozent nicht mehr, Die Menge des über die zweite Gasdosiereinrichtung 24 bereitgestellten Brenngases wird weiter reduziert. Bei einer Leistung von etwa 10 Prozent erfolgt keine Dosierung von Brenngas mehr über die zweite Gasdosiereinrichtung 24. Anschließend wird die Menge des über die ersten Gasdosiereinrichtung 20 dosierten Brenngases weiter reduziert, bis die Brennkraftmaschine 2 abgestellt wird.

[0035] Mit zunehmender Leistung der Brennkraftmaschine 2 steigt die Menge an Gasgemisch, die durch den Ansaugtrakt 6, insbesondere die Ansaugstrecke 10 und die Ansaugkanäle 12, durchtritt. Brenngas kann über die zweite Gasdosiereinrichtung 24 zur Verfügung gestellt werden, sofern die Flammengeschwindigkeit des sich ergebenden Gasgemisches unterhalb der Strömungsgeschwindigkeit des Gasgemisches im Ansaugtrakt 6 bzw. einem Ausblasquerschnitt des Ansaugtraktes 6 befindet. Bevorzugt ist die Strömungsgeschwindigkeit im Ansaugtrakt mindestens 1,5 mal so groß wie die Flammengeschwindigkeit, besonders bevorzugt zumindest 2,0 mal

so groß wie die Flammengeschwindigkeit des Gasgemisches.

[0036] Die Flammengeschwindigkeit eines Gasgemisches ist in Fig. 4 exemplarisch in Abhängigkeit vom Verbrennungsluftverhältnis bzw. der Luftzahl λ dargestellt. Die Flammengeschwindigkeit erreicht ein Maximum im Bereich eines Verbrennungsluftverhältnisses von 1. Ausgehend vom Maximum sinken die Flammengeschwindigkeiten mit zunehmenden Verbrennungsluftverhältnis. Die zweite Gasdosiereinrichtung 24 kann somit bereits bei vergleichsweise niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten im Ansaugtrakt beginnen, kleine Mengen an Brenngas zu dosieren, sofern die Flammengeschwindigkeit des resultierenden Gasgemisches unterhalb der Strömungsgeschwindigkeit im Ansaugtrakt liegt. Die restliche Menge an Brenngas wird über die erste Gasdosiereinrichtung 20 brennraumnah zudosiert. Wenn die Strömungsgeschwindigkeit im Ansaugtrakt 6 ausreichend hoch ist, kann das Brenngas vollständig über die zweite Gasdosiereinrichtung 24 dosiert werden. Dadurch, dass die Strömungsgeschwindigkeit im Ansaugtrakt 6, insbesondere an einem Ausblasquerschnitt des Ansaugtraktes, höher ist als die Flammengeschwindigkeit des Gasgemisches, wird verhindert, dass sich im Falle einer vorzeitigen Entzündung des Gasgemisches die Flammen entgegen der Strömungsrichtung in dem Ansaugtrakt ausbreiten können. Typische Zündquellen für ein vorzeitiges entzündendes Gasgemisch finden sich im Bereich der Zylinder. Typische Zündquellen sind insbesondere Hotspots im Bereich des Zylindereinlasses oder glühende Partikel im Inneren der Zylinder 4. Da die Zündquellen typischerweise den Zylindern 4 zugeordnet sind, wird für eine einfache Berechnung als Ausblasquerschnitt der geringste Querschnitt des Ansaugkanals 10 verwendet.

[0037] Neben dem im Fig. 3 exemplarisch dargestellten Betriebsverlauf sind auch andere Betriebsweisen der Brennkraftmaschine 2 möglich. Beispielsweise kann die Umstellung von einer Dosierung durch die erste Gasdosiereinrichtung 20 bei Erreichen eines Schwellwerts auf eine Dosierung durch die zweite Gasdosiereinrichtung 24 umgestellt werden, über die dann die weitere Dosierung ausschließlich erfolgt. Die Steuerung der Brennkraftmaschine 2 wird hierdurch vereinfacht.

[0038] Ein Abschalten der Brennkraftmaschine 2 kann durch ein gänztliches Einstellen der Dosierung von Brenngas erfolgen. Die Brennkraftmaschine läuft dann aus, wobei sie gleichzeitig durch dabei angesaugte Frischluft gespült wird. Ein Umschalten auf eine Dosierung durch die erste Gasdosiereinrichtung 20 kann dann entfallen. Die Steuerung der Brennkraftmaschine 2 ist vereinfacht.

[0039] Auch bei hoher Last kann eine teilweise Dosierung des Brenngases durch die erste Gasdosiereinheit 20 erfolgen, um zylinderindividuell geringe Mengen an Brenngas zudosieren zu können. Hierdurch kann auch bei hoher Last eine Gleichstellung der einzelnen Zylinder 4 erreicht werden. Da hierfür nur geringe Mengen an zu-

sätzlichem Brenngas über die erste Gasdosiereinheit 20 dosiert werden müssen, können die Gasinjektoren 22 dennoch klein ausgelegt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine (2) mit Gasgemischen hoher Flammengeschwindigkeiten und niedriger Zündenergie, insbesondere Wasserstoff-Luft-Gemischen, umfassend eine Mehrzahl von Zylindern (4), einen Ansaugtrakt (6), durch den Ansaugluft in die Zylinder (4) der Brennkraftmaschine (2) gelangt, eine erste Gasdosiereinrichtung (20) zur taktenden brennraumnahen Dosierung eines Brenngases mit mehreren den Zylindern (4) zugeordneten Gasinjektoren (22) sowie eine zweite Gasdosiereinrichtung (24) zur kontinuierlichen brennraumfernen zentralen Dosierung eines Brenngases in den Ansaugtrakt (8) für alle Zylinder (4), wobei die Dosierung des Brenngases in einem ersten Lastbereich geringer Last ausschließlich durch die erste Gasdosiereinrichtung (20) und in einem zweiten Lastbereich hoher Last zumindest hauptsächlich durch die zweite Gasdosiereinrichtung (24) erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dosierung des Brenngases während einer Anlaufphase der Brennkraftmaschine ausschließlich durch die erste Gasdosiereinrichtung (20) erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Dosierung des Brenngases durch die zweite Gasdosiereinrichtung (24) derart erfolgt, dass die Flammengeschwindigkeit des Gasgemischs kleiner ist als die Strömungsgeschwindigkeit des Gasgemischs im Ansaugtrakt (6), insbesondere an einem Ausblasquerschnitt des Ansaugtrakts (6).
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die den Ansaugtrakt (6) durchströmende Gasmenge gemessen wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druck und die Temperatur des Gasgemisches im Ansaugtrakt (6) sowie die Drehzahl der Brennkraftmaschine (2) gemessen werden und aus diesen Daten zusammen mit dem Hubraum der Brennkraftmaschine (2) die den Ansaugtrakt (6) durchströmende Gasmenge bestimmt wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Erreichen eines Schwellwertes die Dosierung des Brenngases

von der ersten Gasdosiereinrichtung (20) auf die zweite Gasdosiereinrichtung (24) umgestellt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei hoher Last eine Dosierung von Brenngas durch die erste Gasdosiereinrichtung (20) zusätzlich zu einer Dosierung durch die zweite Gasdosiereinrichtung (24) erfolgt, wobei Gasdosierzeiten der ersten Gasdosiereinrichtung (20) zylinderindividuell derart geregelt werden, dass die verbrennungsrelevanten Parameter aller Zylinder (4) gleichgestellt werden
8. Brennkraftmaschine (2) zum Betrieb mit Gasgemischen hoher Flammengeschwindigkeiten und niedriger Zündenergie, insbesondere Wasserstoff-Luft-Gemischen, umfassend eine Mehrzahl von Zylindern (4), einen Ansaugtrakt (6), durch den Ansaugluft in die Zylinder (4) der Brennkraftmaschine (2) gelangt, eine erste Gasdosiereinrichtung (20) zur taktenden brennraumnahen Dosierung eines Brenngases mit mehreren den Zylindern (4) zugeordneten Gasinjektoren (22) sowie eine zweite Gasdosiereinrichtung (24) zur kontinuierlichen brennraumfernen zentralen Dosierung eines Brenngases für alle Zylinder (4) in den Ansaugtrakt (6).
9. Brennkraftmaschine nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ansaugtrakt (6) einen Ausblasquerschnitt aufweist, in dem die Strömungsgeschwindigkeit des zu den Zylindern (4) gelangenden Gasgemisches bei hoher Last höher als die Flammengeschwindigkeit des Gasgemisches ist.
10. Brennkraftmaschine nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ausblasquerschnitt in Strömungsrichtung hinter durch den Ausblasquerschnitt von einer Durchzündung eines Gasgemisches zu schützenden Elementen des Ansaugtrakts (6) angeordnet ist.
11. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **gekennzeichnet durch** einen im Ansaugtrakt angeordneten Verdichter (8) zur Erzeugung eines Ladedrucks.
12. Brennkraftmaschine nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Gasdosiereinrichtung (24) zum Dosieren eines Brenngases in den Ansaugtrakt (6) einen in Strömungsrichtung hinter dem Verdichter (8) angeordneten Gaseinlass aufweist.
13. Brennkraftmaschine nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Gasdosiereinrichtung (24) zum Dosieren eines Brenngases in den Ansaugtrakt (6) einen in Strömungsrichtung vor dem Verdichter (8) angeordneten Gaseinlass aufweist

und die Brennkraftmaschine (2) einen Brenngasverdichter (30) zum Verdichten von Brenngas zur Dosierung über die erste Gasdosiereinrichtung (20) aufweist.

5

14. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 8 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennkraftmaschine (2) ein Stationärmotor ist.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

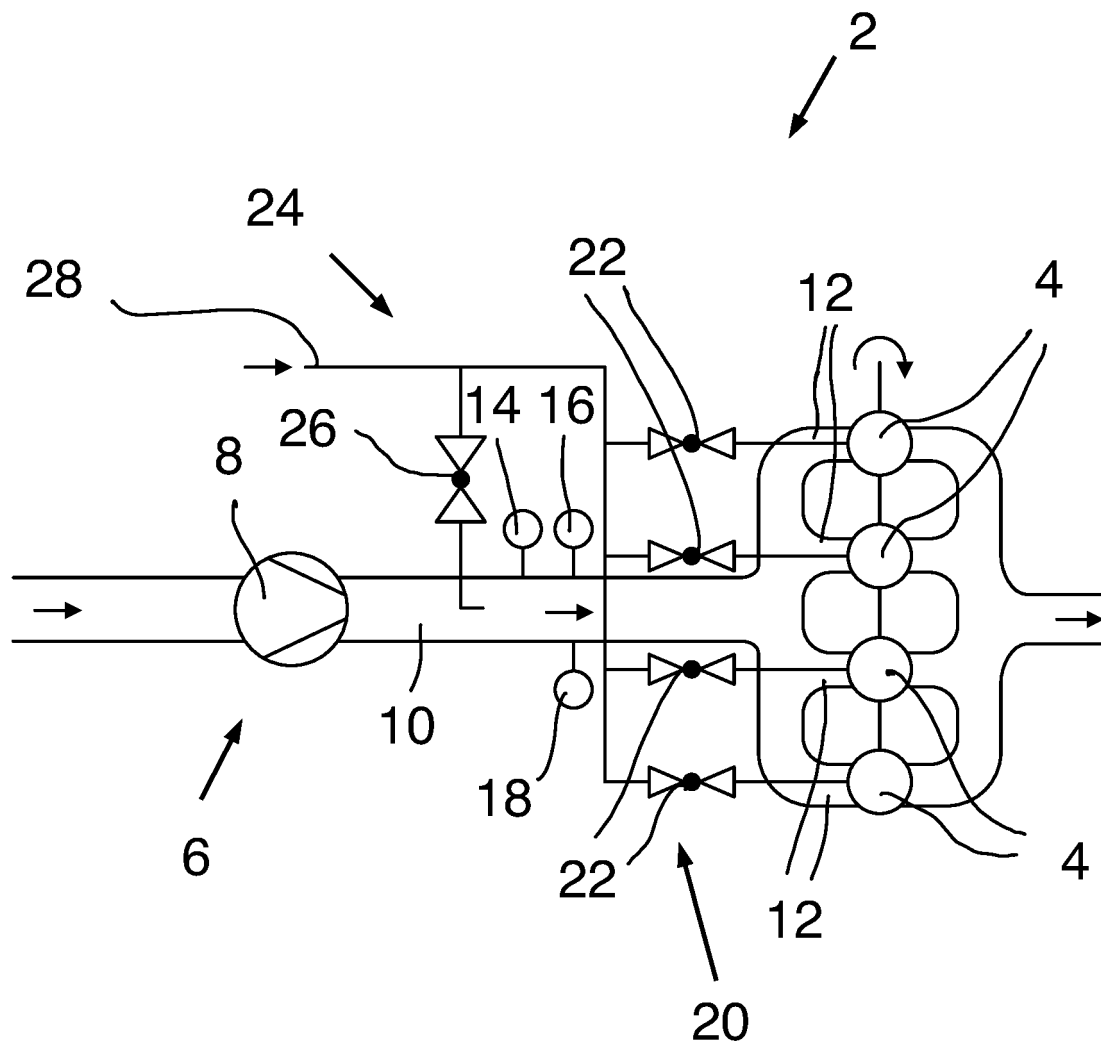


Fig. 1

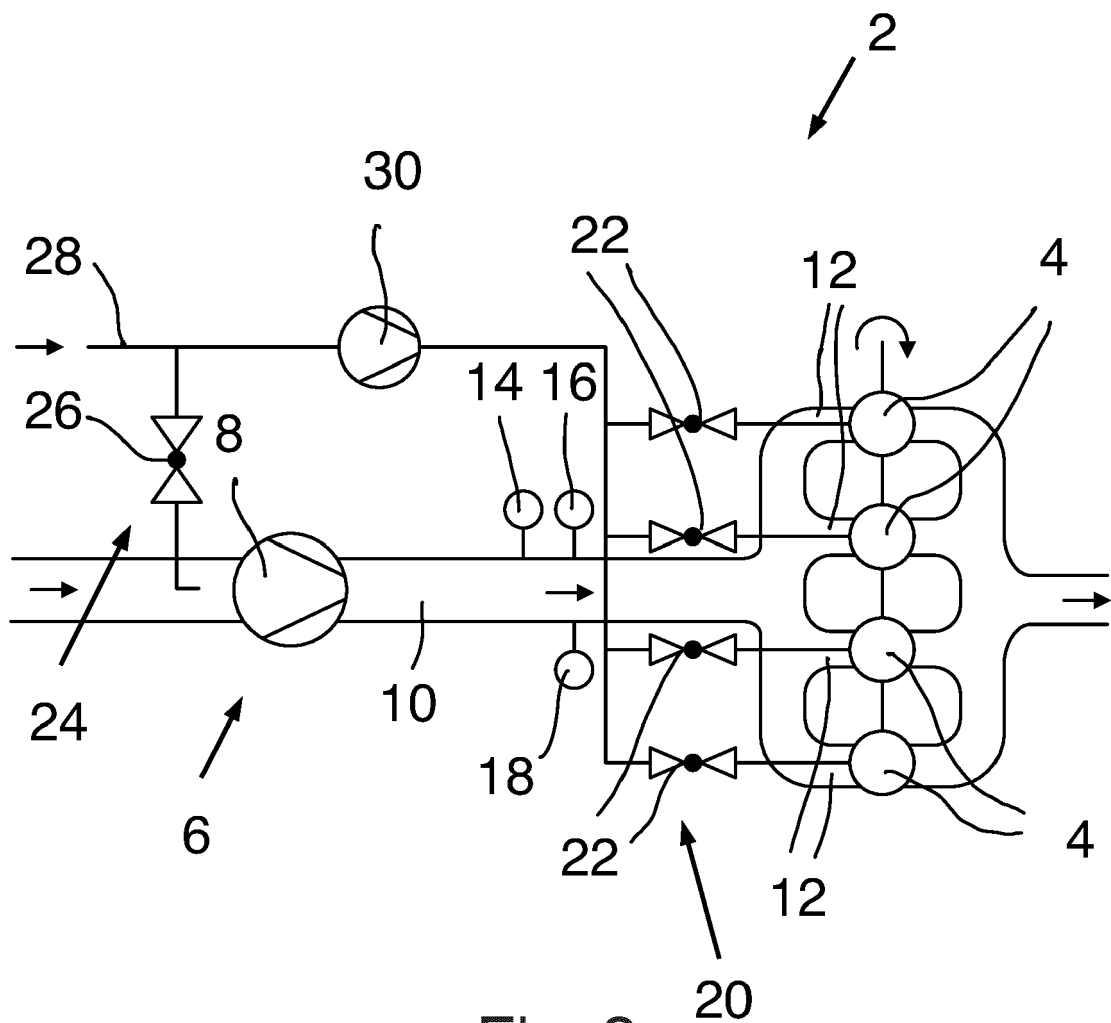


Fig. 2

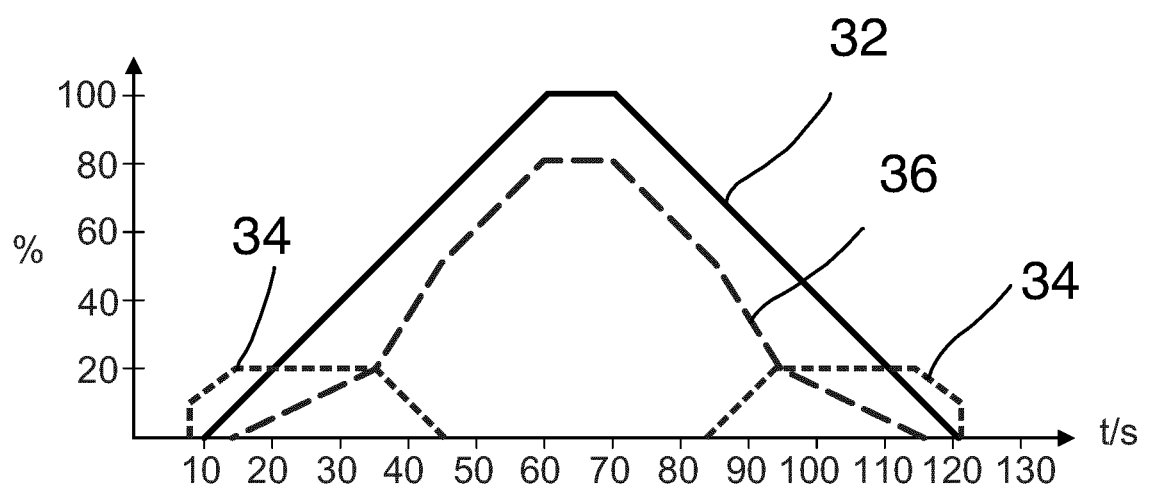


Fig. 3

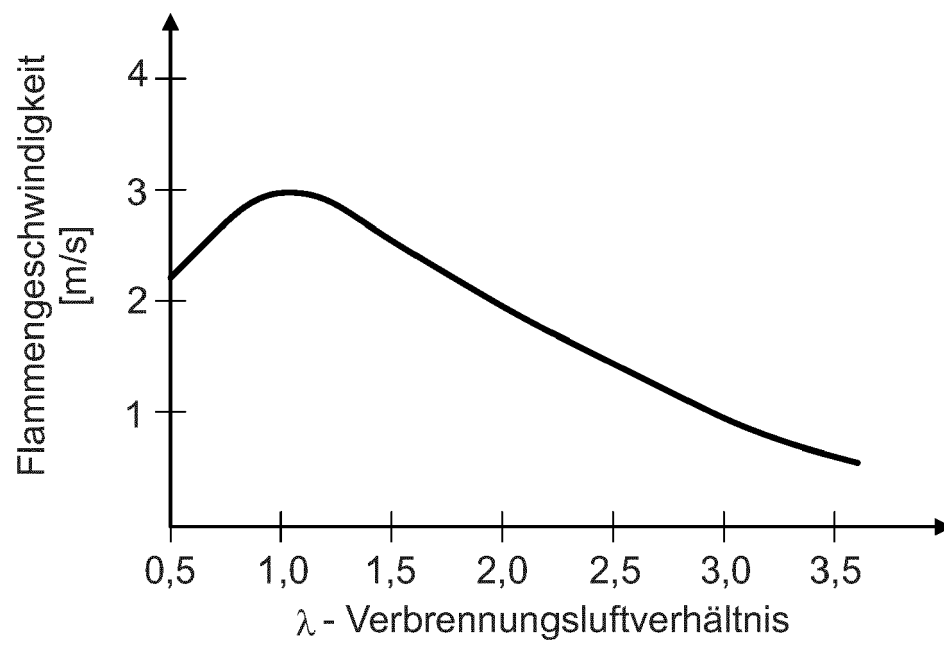


Fig. 4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 21 5553

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 2012/041665 A1 (PURSIFULL ROSS DYKSTRA [US] ET AL) 16. Februar 2012 (2012-02-16)	1, 8	INV. F02D19/02
Y	* Absätze [0024] – [0033], [0053];	4, 5, 7, 14	F02D41/00
A	Abbildungen 1, 2A, 2B *	3, 9, 10, 13	F02D41/30

X	DE 199 45 544 A1 (DAIMLER CHRYSLER AG [DE]) 5. Oktober 2000 (2000-10-05)	1, 2, 6, 8, 11, 12	
Y	* Absätze [0009], [0015] – [0028];	4, 5	
A	Abbildungen 1, 3, 4 *	3, 9, 10, 13	

Y	EP 1 231 372 B1 (MAGNETI MARELLI SPA [IT]) 2. November 2016 (2016-11-02)	4, 5	
	* Absätze [0030], [0031]; Abbildung 1 *		

Y	US 2014/114552 A1 (CHERNIAK RYAN JOSEPH [US] ET AL) 24. April 2014 (2014-04-24)	7	
	* Absatz [0017] *		

Y	WO 2014/053167 A1 (CATERPILLAR ENERGY SOLUTIONS GMBH [DE]; SCHILIR MICHELE [DE]) 10. April 2014 (2014-04-10)	14	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
	* Seite 5 *		F02D

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 16. Mai 2023	Prüfer Deseau, Richard
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 22 21 5553

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

16-05-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2012041665 A1	16-02-2012	CN 102374013 A	14-03-2012
		DE 102010037003 A1	16-02-2012
		US 2012041665 A1	16-02-2012
<hr/>			
DE 19945544 A1	05-10-2000	KEINE	
<hr/>			
EP 1231372 B1	02-11-2016	BR 0200426 A	08-10-2002
		EP 1231372 A2	14-08-2002
		IT B020010076 A1	13-08-2002
		US 2002148285 A1	17-10-2002
<hr/>			
US 2014114552 A1	24-04-2014	BR 112015008818 A2	04-07-2017
		CN 104755733 A	01-07-2015
		EP 2917546 A1	16-09-2015
		US 2014114552 A1	24-04-2014
		WO 2014066577 A1	01-05-2014
<hr/>			
WO 2014053167 A1	10-04-2014	CN 104718359 A	17-06-2015
		EP 2904230 A1	12-08-2015
		WO 2014053167 A1	10-04-2014
<hr/>			

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82