



(11)

EP 4 253 738 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**04.10.2023 Patentblatt 2023/40**

(21) Anmeldenummer: **22166029.3**(22) Anmeldetag: **31.03.2022**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

**F02B 41/04 (2006.01)** **F01N 3/02 (2006.01)**  
**F02M 31/02 (2019.01)** **F01N 5/02 (2006.01)**  
**F02G 5/00 (2006.01)** **F02B 7/06 (2006.01)**  
**F02B 33/00 (2006.01)** **F02B 43/00 (2006.01)**  
**F02B 75/02 (2006.01)**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

**F02B 41/04; F01N 3/02; F02M 31/02;**  
F01N 2240/02; F02B 7/06; F02B 33/00; F02B 43/00;  
F02B 2075/025

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

(71) Anmelder: **Buchberger, Martin**  
**6073 Sistrans (AT)**

(72) Erfinder: **Buchberger, Martin**  
**6073 Sistrans (AT)**

(74) Vertreter: **Grünecker Patent- und Rechtsanwälte**  
**PartG mbB**  
**Leopoldstraße 4**  
**80802 München (DE)**

Bemerkungen:

Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2)  
EPÜ.

## (54) VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES GETAKTET ANGETRIEBENEN KOLBENMOTORS

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines getaktet angetriebenen Kolbenmotors, der mindestens einen Zylinder, mindestens einen im Bereich eines Zylinderkopfs angeordnetes Einlassventil und mindestens einen im Bereich des Zylinderkopfs angeordnetes Auslassventil und einen in dem mindestens einen Zylinder zwischen einem unteren Totpunkt und einem oberen Totpunkt Hubbewegungen ausführbaren Kolben aufweist. Durch das Verfahren soll eine Wirkungsgradsteigerung erzielt werden. Dazu weist das Verfahren folgende Schritte auf: Durchführen eines Ladungswechsels im Zylinder mittels des mindestens einen Einlassventils und des mindestens einen Auslassventils, wobei eine Teilbefüllung des Zylinders mit einem bevorzugt von den Ventilsteuерzeiten vorbestimmten resultierenden Kompressions- oder Füllvolumen erzielt wird, Durchführen einer erweiterten Expansion während des Abwärtshubs des Kolbens vom oberen zum unteren Totpunkt, wobei das Expansionsvolumen im Zylinder, bevorzugt mindestens zweimal größer ist als das vorbestimmte, resultierende Kompressions- oder Füllvolumen, Abgeben des Abgases nach erfolgter erweiterter Expansion aus dem Zylinder mittels des einen Auslassventils oder eines der Auslassventile in ein Hauptabgas-Kühlsystem, das mittels einer gesteuerten Ventileinrichtung gekühltes Abgas, bevorzugt an die Umgebung, abgibt und näherungsweise isochores Abkühlen des Abgases in dem Hauptabgaskühlsystem bei oder bis zu einem Druck, der unter dem Umgebungsdruck liegt, wobei ge-

kühltes Abgas erst dann mittels der gesteuerten Ventileinrichtung abgegeben wird, wenn der Druck im Zylinder oder im Hauptabgaskühlsystem im Wesentlichen den Umgebungsdruck erreicht oder einen Wert erreicht, der bevorzugt maximal 0,5 bar vom Umgebungsdruck abweicht. Des Weiteren bezieht sich die Erfindung auf einen Kolbenmotor zum Durchführen dieses Verfahrens.

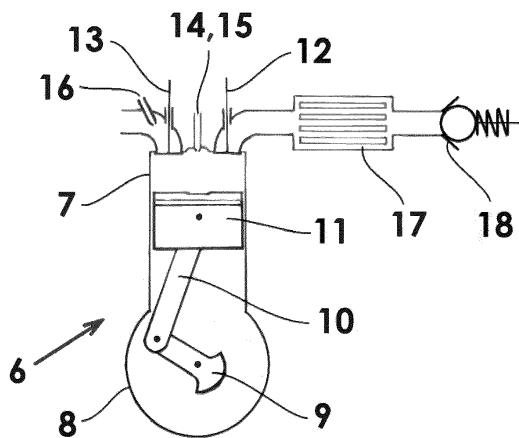


Fig. 2

**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines getaktet angetriebenen Kolbenmotors, der mindestens einen Zylinder, mindestens ein im Bereich eines Zylinderkopfs angeordnetes Einlassventil und mindestens ein im Bereich des Zylinderkopfs angeordnetes Auslassventil, und einen in dem mindestens einen Zylinder zwischen einem unteren Totpunkt und einem oberen Totpunkt Hubbewegungen ausführbaren Kolben aufweist.

**[0002]** Ein solches Verfahren ist z.B. aus der DE 10 2008 014 249 A1 bekannt. In diesem Dokument wird ein Verfahren für den Verbrennungsgaswechsel (Spülung) in einer Zweitakt-Brennkraftmaschine beschrieben. Der Gaswechsel erfolgt mittels eines Aufladesystems mit einem Einlassdruckniveau über dem Auslassdruckniveau, beginnt und endet in der oberen Hälfte der Hubbewegung des Kolbens vom unteren Totpunkt (UT) zum oberen Totpunkt (OT). Daraus folgt lediglich eine Teilbefüllung des Zylinders, weil eine Kompression über das aufgeladene Druckniveau hinaus bei der Aufwärtsbewegung des Kolbens nur bei geschlossenem Einlassventil und gleichzeitig geschlossenem Auslassventil stattfindet. Da die Ein- und Auslassventile während der Hubbewegung von OT nach UT geschlossen bleiben, erfolgt eine erweiterte Expansion. Zusätzlich kann eine Regelung des Abgasdruckniveaus in Abhängigkeit des Einlassdruckniveaus vorhanden sein. Als Stellglied zur Regelung des Auslassdruckniveaus kann eine Drosselklappe im Abgastrakt verwendet werden.

**[0003]** Im Folgenden werden einige thermodynamische Randbedingungen erläutert, um die vorteilhafte Wirkungsweise einer erweiterten Expansion besser zu verstehen. Aus dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik für offene Systeme folgt, dass bei gegebener zugeührter Wärmemenge (z.B. Heizwert der zugeführten Treibstoffmenge) die technische Arbeit bzw. der Wirkungsgrad einer Verbrennungskraftmaschine aus thermodynamischer Sicht nur durch zwei Maßnahmen signifikant erhöht werden kann:

- Durch eine Reduktion der Verlustwärme über die Brennraumoberflächen.
- Durch eine Reduktion der Verlustenergie im Abgas.

**[0004]** Für eine Abschätzung des Wirkungsgrades von Verbrennungskraftmaschinen wird meist das Temperatur-Entropie-Diagramm (Ts-Diagramm) verwendet. Das Ts-Diagramm braucht einige vereinfachende Annahmen:

- Es muss sich um ein ideales Gas handeln.
- Die Stoffwerte - insbesondere die Wärmekapazitäten - müssen als konstant angenommen werden.
- Es werden ideale Zustandsänderungen (adiabatische Kompression bzw. Expansion, ideale isochore, isobare oder isotherme Wärmezufuhr und Wärmeabfuhr) angenommen.
- Ein eventueller Ladungswechsel wird als Abkühlung ohne Massenaustausch simuliert.

**[0005]** Unter diesen Voraussetzungen zeigt das Ts-Diagramm den Wirkungsgrad verschiedener Motorbauarten, wobei das Ts-Diagramm nur die Verluste durch die Restwärme berücksichtigt. Andere Verluste (Wärmeverluste während der Kompression und während oder nach der Verbrennung/Wärmezufuhr), Leckage und Reibungsverluste bleiben unberücksichtigt. Der Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine ist definiert als Quotient von abgeführter (technischer) Arbeit zu zugeührter Wärmeenergie. Im Ts-Diagramm ist die technische Arbeit als Differenz von zugeührter und abgeführter Wärmeenergie und damit als vom Kreisprozess umgrenzte Fläche ablesbar.

**[0006]** Die Fig. 1 zeigt schematisch verschiedene Kreisprozesse im Ts-Diagramm unter der Annahme, dass die Wärmezufuhr jeweils bis zur gleichen maximalen Entropie (s) erfolgt.

**[0007]** Die Kompression scheint im Ts-Diagramm als adiabatische Zustandsänderung (1-2) auf. Bei der Wärmezufuhr wird zwischen isochorer (2-3) und isobarer (2-3") Entropie-Erhöhung unterschieden. Es gibt auch Mischformen mit teils isochorer und nachfolgend isobarer Entropie-Erhöhung (2-2'-3'). Theoretisch ist auch eine isotherme Entropie-Erhöhung denkbar (Carnot-Prozess), die aber bei real ausgeführten Maschinen schwer umzusetzen ist und daher nicht dargestellt ist.

**[0008]** Die Expansion ist wiederum eine adiabatische Zustandsänderung, die je nach Expansionsgrad bis zur Isochore (3-4 bzw. 3'-4 oder 3"-4), bis zur Isobare (3-4' bzw. 3'-4' oder 3"-4') oder bis zur Isotherme (3-4" bzw. 3'-4" oder 3"-4") erfolgt. Je größer das Expansionsvolumen ist - je geringer also die Temperatur nach der adiabatischen Expansion ist - umso geringer ist die abzuführende Wärmeenergie und umso größer ist der Wirkungsgrad.

**[0009]** Die Wärmeabfuhr kann entlang der Isochore (4-1), entlang der Isobare (4'-1) oder entlang der Isotherme (4"-1) erfolgen. Auch bei der Wärmeabfuhr ist eine Mischform denkbar. Nach der Expansion, z.B. bis zur Isobare (oder auch nach einer Expansion bis unter die Isobare) kann eine Abkühlung entlang der Isochore (4'-5) bis zur Isotherme gefolgt von einer isothermen Wärmeabfuhr bzw. Kompression (5-1) erfolgen, um die abzuführende Wärmeenergie gegenüber der isobaren Wärmeabfuhr weiter zu reduzieren.

**[0010]** Mit den Stoffwerten von Luft und einem Verdichtungsverhältnis von 10:1 ergeben sich für die obigen Kreisprozesse ungefähr folgende Expansionsvolumina und Wirkungsgrade (gerundet):

	Beschreibung	Linienzug im Ts-Diagramm	Kompressions-Volumen VK	Expansions-Volumen VE	Wirkungsgrad
5	Gleichraumprozess (Otto-Kreisprozess)	1-2-3-4-1	VK	$1 \times VK$	ca. 60 %
10	Seliger-Prozess	1 - 2 - 2' - 3' - 4 - 1	VK	$1 \times VK$	ca. 55 %
15	Diesel-Kreisprozess *)	1 - 2 - 3" - 4 - 1	VK	$1 \times VK$	ca. 50 %
20	Gleichdruck-Prozess (Joule-Kreisprozess)	1 - 2 - 3" - 4' - 1	VK	$4 \times VK$	ca. 65 %
25	Kreisprozess mit isochorer Erwärmung, erweiterter Expansion und isobarer Abkühlung	1 - 2 - 3 - 4' - 1	VK	$4 \times VK$	ca. 70 %
	Kreisprozess mit isochorer Erwärmung, erweiterter Expansion und isochorer und isothermer Abkühlung	1 - 2 - 3 - 4' - 5 - 1	VK	$4 \times VK$	ca. 75 %
	Kreisprozess mit isochorer Erwärmung, erweiterter Expansion und isothermer Abkühlung	1 - 2 - 3 - 4" - 1	VK	$100 \times VK$	ca. 85 %
	*) real ausgeführte Dieselmotoren haben ein höheres Verdichtungsverhältnis als 10:1 und daher auch einen höheren Wirkungsgrad.				

[0011] Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass eine erweiterte Expansion bis zum Umgebungsdruck ein Expansionsvolumen benötigt, das etwa 4-mal größer ist als das Kompressionsvolumen. Eine erweiterte Expansion bis zur Umgebungstemperatur benötigt ein Expansionsvolumen, das etwa 100-mal größer ist als das Kompressionsvolumen, was zu sehr großen Hubräumen führen würde.

[0012] Die benötigten Expansionsvolumina sinken grundsätzlich mit steigendem Verdichtungsverhältnis. So brauchen etwa Dieselmotoren oder Gasmotoren mit hohem Verdichtungsverhältnis geringere Expansionsverhältnisse/Expansionsvolumina als Benzinmotoren.

[0013] Des Weiteren gelten die benötigten Expansionsvolumina nur für den theoretischen Fall, dass kein Wärmeverlust während der Kompression bzw. während oder nach der Wärmezufuhr stattfindet. Bei realen Verhältnissen von Kolbenmotoren mit interner Verbrennung, bei welchen ein erheblicher Wärmeverlust über die Brennraumoberflächen während und nach der Verbrennung auftritt, sinkt das benötigte Expansionsvolumen auf etwa das 3-fache des Kompressionsvolumens ( $VE = 3 \times VK$ ).

[0014] Des Weiteren gelten die benötigten Expansionsvolumina bei Motoren mit interner Verbrennung zumeist nur für den Betrieb bei Vollast.

[0015] Der aus der DE 10 2008 014 249 A1 bekannte Motor arbeitet zwar bereits mit erweiterter Expansion, das Hauptaugenmerk der Regelung zwischen Einlassdruckniveau und Auslassdruckniveau liegt im Bereitstellen einer guten Spülung des Zylinderraums, so dass weiterhin Verbesserungsbedarf hinsichtlich des Wirkungsgrades besteht.

[0016] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art mit erweiterter Expansion bereitzustellen, das einen verbesserten Wirkungsgrad aufweist.

[0017] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 gelöst.

[0018] Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte:

Durchführen eines Ladungswechsels im Zylinder mittels des mindestens einen Einlassventils und des mindestens einen Auslassventils, wobei eine Teilbefüllung des Zylinders mit einem vorbestimmten resultierenden Kompressions- oder Füllvolumen erzielt wird, wobei bevorzugt das resultierende Kompressions- oder Füllvolumen durch die Steuerzeiten der Ventile vorbestimmt wird und daher während des Betriebes veränderbar ist - z.B. durch eine Phasenverstellung der Nockenwelle,

[0019] Durchführen einer erweiterten Expansion während des Abwärthubs des Kolbens vom oberen zum unteren Totpunkt, wobei das Expansionsvolumen im Zylinder, bevorzugt mindestens 2-mal, größer ist als das vorbestimmte, resultierende Kompressions- oder Füllvolumen,

[0020] Abgeben des Abgases nach erfolgter erweiterter Expansion aus dem Zylinder mittels des einen Auslassventils oder eines der Auslassventile in ein Hauptabgaskühlungssystem, das mittels einer gesteuerten Ventileinrichtung gekühltes

Abgas, bevorzugt an die Umgebung, abgibt, und

**[0021]** Abkühlen (bevorzugt näherungsweise isochor) des Abgases in dem Hauptabgaskühlssystem vorteilhafterweise bei oder bis zu einem Druck, der günstigerweise um mehr als 0,5 bar, bevorzugt aber um mindestens 0,2 bar unter dem Umgebungsdruck liegt, wobei gekühltes Abgas erst dann mittels der gesteuerten Ventileinrichtung abgegeben wird, wenn der Druck im Zylinder oder im Hauptabgaskühlssystem im Wesentlichen den Umgebungsdruck erreicht oder einen Wert erreicht, der bevorzugt maximal 0,5 bar und weiter bevorzugt maximal 0,25 bar vom Umgebungsdruck abweicht.

**[0022]** Ziel dieser Maßnahmen ist es, dass einerseits die Wärmeabfuhr bei einem Druck stattfindet, der günstigerweise unter dem Umgebungsdruck liegt, wodurch diese Verlustwärme minimiert wird, und dass andererseits die Ausschiebearbeit reduziert wird, da der Kolben das Abgas bevorzugt gegen einen geringeren Druck als den Umgebungsdruck ausschieben muss. Optimal ist die Situation, wenn das Abgas beim Abgeben aus dem Hauptabgaskühlssystem auf Umgebungstemperatur abgekühlt ist. Deshalb erfolgt dies auch vorrangig ohne weitere Abgasverwertung (wie z.B. einem Turbolader etc.), weil dem Abgas ohnehin die notwendige Energie entzogen ist. Es tritt demnach eine Wirkungsgrad-Steigerung durch die Reduktion der abzuführenden Wärme nach erfolgter Expansion ein. Aufgrund der erweiterten Expansion und insbesondere der Teilbefüllung des Zylinders kann eine zusätzliche Wirkungsgrad-Steigerung durch die

Reduktion der Zeit, in welcher das heiße Gas Wärme über die Zylinder- bzw. Brennraumoberflächen abgeben kann, erzielt werden. Im Unterschied zu Motoren ohne Teilbefüllung des Zylinders benötigt das Durchlaufen des Gleichraumprozesses deutlich weniger als  $360^\circ$  Kurbelwinkel, wodurch das heiße Gas bei gleicher Drehzahl deutlich weniger Zeit hat, Wärme über die Brennraumoberflächen abzugeben. Dadurch hat bereits der Gleichraumprozess (Kompression, Wärmezufuhr und Expansion bis zum Kompressionsvolumen) bei Motoren mit Teilbefüllung des Zylinders einen höheren Wirkungsgrad als bei Motoren ohne Teilbefüllung des Zylinders. Danach folgt bei Motoren mit Teilbefüllung des Zylinders noch die Wirkungsgrad-Steigerung durch die erweiterte Expansion. Darüber hinaus hat das Hauptabgaskühlssystem den Vorteil, dass die Abkühlung über einen größeren Zeitraum stattfinden kann. Denn so lange das zugehörige Auslassventil geschlossen ist, findet ein Teil der Wärmeabfuhr unabhängig von den Vorgängen und Zustandsänderungen im Zylinder statt, wobei für die Abkühlung ein Kurbelwinkel von über  $180^\circ$  zur Verfügung stehen kann und im Hauptabgaskühlssystem die Abkühlung bevorzugt bis auf Umgebungstemperatur leichter erreicht werden kann. Eine (elektronisch) gesteuerte Ventileinrichtung kann auch schon öffnen, wenn noch Unterdruck herrscht. Dies wäre u.U. sogar noch sinnvoller als eine Öffnung bei einem Druck oberhalb des Umgebungsdrucks. Die "perfekte" gesteuerte Ventileinrichtung öffnet günstigerweise genau bei Erreichen des Umgebungsdrucks und öffnet bevorzugt einen großen Querschnitt und hat dann minimale Strömungs-/Drosselverluste.

**[0023]** Das erfindungsgemäße Verfahren kann sowohl für Kolbenmotoren mit interner Wärmezufuhr als auch mit externer Wärmezufuhr verwendet werden. Bei interner Wärmezufuhr erfolgt die Selbst- und/oder Fremdzündung eines Treibstoffs oder Gemisches im Zylinder und bei externer Wärmezufuhr erfolgt die Kompression bzw. Druckerhöhung und Erwärmung außerhalb des Zylinders.

**[0024]** Unter Umgebungsdruck wird im vorliegenden Fall der Druck außerhalb des Hauptabgaskühlssystems nachfolgend der gesteuerten Ventileinrichtung verstanden, sofern das Abgas keine weitere, dem Motor zuführbare Arbeit, mehr verrichten kann bzw. keine nennenswerte Abkühlung mehr stattfindet. Bevorzugt ist unter Umgebungsdruck der Druck außerhalb des Systems "Kolbenmotor" zu verstehen.

**[0025]** Bei einer vorteilhaften Ausführungsform ist vorgesehen, dass der Druck im Zylinder aufgrund der erweiterten Expansion unter den Umgebungsdruck abgesenkt wird.

**[0026]** Bei einer besonders vorteilhaften Variante ist vorgesehen, dass das Abgas im Hauptabgaskühlssystem im Wesentlichen isochor auf einen Druck unterhalb des Umgebungsdrucks derart abgekühlt wird, dass ein Ausstoßen von Abgas aus dem Zylinder in das Hauptabgaskühlssystem vorrangig bei einem Druck erfolgt, der geringer ist als der Umgebungsdruck. Unter dem Ausdruck "isochor" ist hier zu verstehen, dass während der Abkühlphase das Abgas zwischen dem Auslassventil und der gesteuerten Ventileinrichtung eingeschlossen ist, wobei von einem konstanten Volumen des Hauptabgaskühlssystems ausgegangen werden kann. Vorteilhafterweise kann das Expansionsvolumen so ausgelegt werden, dass die erweiterte Expansion bei Vollast bis zum Umgebungsdruck erfolgt, so ist zumeist der Enddruck nach der Expansion bei Teillast deutlich geringer als der Umgebungsdruck. Bei Teillast erfolgt somit die Expansion bis in den Unterdruckbereich, was den Wirkungsgrad bei Teillast deutlich erhöht. Vorrangiges Ziel der Wirkungsgrad-Steigerung ist hierbei eine verringerte Wärmeabfuhr nach erfolgter Expansion, so dass in jedem Fall die Wärmeabfuhr unterhalb jener Isobaren erfolgt, welche dem Umgebungsdruck entspricht (siehe 4'-1 im Ts-Diagramm der Fig. 1), so dass im Hauptabgaskühlssystem und nach Öffnen des Auslassventils oder der Auslassventile auch im Zylinder während der Wärmeabfuhr ein geringerer Druck als Umgebungsdruck herrscht (Unterdruck in Bezug auf den Umgebungsdruck). Bei einer vorteilhaften Ausführungsform sollte der Druck um mehr als 0,5 bar, aber vorzugsweise mindestens um 0,2 bar geringer sein als der Umgebungsdruck.

**[0027]** Alternativ kann dieser Unterdruck auch dazu geeignet sein, den Ladungswechsel/den Spülvorgang zu unterstützen, anstatt nur die Wärmeabfuhr zu reduzieren. Dies kommt insbesondere bei Motoren mit interner Verbrennung zum Tragen, die bevorzugt im 2-Takt-Verfahren betrieben werden, bei welchen also der Ladungswechsel/die Spülung nahe des unteren Totpunkts bzw. bei der Aufwärtsbewegung des Kolbens stattfindet.

**[0028]** Günstigerweise kann die gesteuerte Ventileinrichtung beim Öffnen des einen Auslassventils oder des einen der Auslassventile das Hauptabgaskühlsystem von der Umgebung zumindest solange trennen, wie der Druck des Abgases im Zylinder und/oder im Hauptabgaskühlsystem im Wesentlichen unterhalb des Umgebungsdrucks liegt. Es kommt demnach auf ein optimales Zusammenspiel des Auslassventils und der gesteuerten Ventileinrichtung an, um eine günstige Wirkungsgrad-Steigerung zu erzielen.

Das Öffnen des Auslassventils erfolgt in aller Regel im Wesentlichen am unteren Totpunkt. Anschließend bewegt sich der Kolben wieder nach oben. Hierdurch wird Abgas aktiv aus dem Zylinder ausgeschoben, wodurch es auch wieder zu einem Druckanstieg kommt. Sobald Umgebungsdruck erreicht oder das vorbestimmte Verhältnis erzielt ist, öffnet die gesteuerte Ventileinrichtung und Abgas wird aus dem Hauptabgaskühlsystem ohne nennenswerten Gegendruck (weil so gut wie kein Differenzdruck vorhanden ist) ausgeschoben. Durch das erfindungsgemäße Zusammenspiel von Hauptabgaskühlsystem und gesteuerter Ventileinrichtung erfolgt die (isochore) Abkühlung im Hauptabgaskühlsystem also zeitgleich aber örtlich getrennt von den Zustandsänderungen im Zylinder. Dadurch steht bei gegebener Drehzahl mehr Zeit für die Wärmeabfuhr zur Verfügung, und dadurch wird erst eine (isochore) Wärmeabfuhr und damit die Erzeugung eines Unterdrucks im Abgassystem (und damit eine Verringerung der an die Umgebung abzuführenden Verlustwärme) ermöglicht.

**[0029]** Darüber hinaus kann ein Hilfsabgassystem vorgesehen sein, in das zumindest ein Teilstrom des Abgases zum Abbau eines gegebenenfalls vorhandenen Überdrucks, der im Wesentlichen oberhalb des Umgebungsdrucks liegt, eingeleitet wird und das bevorzugt mittels einer gesteuerten Ventileinrichtung den Teilstrom des Abgases, bevorzugt an die Umgebung, abgibt, wobei der Druckabbau im Wesentlichen erfolgt, bevor das restliche Abgas in das Hauptabgaskühlsystem abgegeben wird. Das Hilfsabgassystem dient demnach maßgeblich dem Druckabbau im Zylinder, sofern

am Ende der erweiterten Expansion noch ein Überdruck (oberhalb des Umgebungsdrucks) vorhanden sein sollte. Dieser könnte insbesondere im Bereich der Volllast entstehen. Auch beim Hilfsabgassystem wird bevorzugt, wenn eine endgültige Abgabe des Abgases, insbesondere an die Umgebung erst erfolgt, nachdem der Teilstrom des Abgases einer Abkühlung und damit einer Druckreduktion innerhalb des Hilfsabgassystems unterzogen wurde, so dass ein letztendliches Ausstoßen des Abgases in die Umgebung ebenfalls bevorzugt erst im Wesentlichen bei Umgebungsdruck erfolgt.

Sofern Unterdruck im Zylinder und im Hilfsabgassystem vorliegt, soll die gesteuerte Ventileinrichtung bevorzugt auch verhindern, dass ein Druckanstieg im Hilfsabgassystem und im Zylinder durch den Umgebungsdruck stattfinden kann. Das Hilfsabgassystem befindet sich bevorzugt hinter einem zweiten Auslassventil und baut nahe dem unteren Totpunkt einen eventuell vorhandenen Überdruck im Zylinder ab, bevor insbesondere ein erstes Auslassventil die Verbindung zum Hauptabgaskühlsystem freigibt.

**[0030]** Die Vorteile der vorliegenden Erfindung haben sich insbesondere dann als besonders wirksam herausgestellt, wenn der Kolbenmotor zwar ähnlich einem Viertaktkolbenmotor mit im Bereich des Zylinderkopfs angeordneten Ein- und Auslassventilen ausgestaltet ist, jedoch im Zweitaktbetrieb läuft. Hierdurch wird eine Wirkungsgrad-Steigerung durch eine Verringerung der Energie für den Ladungswechsel bei Motoren, welche den Ladungswechsel im unteren Totpunkt oder während der Aufwärtsbewegung des Kolbens durchführen, eben bei Zweitaktmotoren, erzielt.

**[0031]** Des Weiteren kann das eine Auslassventil oder das eine der Auslassventile zumindest solange bei der Aufwärtsbewegung des Kolbens zwischen unterem Totpunkt und oberem Totpunkt geöffnet bleiben, bis der Druck im Zylinder oder im Hauptabgaskühlsystem den Öffnungsdruck der gesteuerten Ventileinrichtung erreicht. Hierdurch wird sichergestellt, dass bei jedem Zyklus wieder ein Druckanstieg im Zylinder und dem Hauptabgaskühlsystem stattfindet, so dass ein Ausschieben von Abgas aus dem Hauptabgaskühlsystem, insbesondere an die Umgebung, erfolgt. Das Auslassventil öffnet günstigerweise in der Nähe des unteren Totpunkts, wenn im Hauptabgaskühlsystem durch die isochore Abkühlung ein Unterdruck herrscht, bleibt aber lange genug offen, um ein Ausschieben des Abgases aus dem Zylinder zu ermöglichen. Bei der Variante mit externer Wärmezufuhr wird das gesamte Abgas vom Kolben aus dem Zylinder geschoben da das Auslassventil günstigerweise im oder nahe des oberen Totpunkts schließt. Bei der Variante mit interner Verbrennung wird das Abgas teilweise auch durch das Nachströmen des Frischgases über das Einlassventil oder die Einlassventile ausgeschoben und das Schließen des Auslassventils bewirkt den Beginn der Kompression.

**[0032]** Insbesondere bei Kolbenmotoren mit interner Verbrennung erfolgt günstigerweise der Ladungswechsel während der Aufwärtsbewegung des Kolbens vom unteren zum oberen Totpunkt bei geöffnetem Einlassventil oder einem geöffneten der Einlassventile und geöffnetem Einlassventil oder einem geöffneten der Auslassventile, wobei anschließend durch Schließen des Auslassventils oder des einen der Auslassventile und des Einlassventils oder des einen der Einlassventile die Kompression mit dem vorbestimmten, resultierenden Kompressionsvolumen in der oberen Hälfte des Kolbenhub beginnt. Es wird demnach ein Verfahren angewendet, wie es bereits aus der DE 10 2008 014 249 A1 bekannt ist, wobei bei der vorliegenden Erfindung zusätzlich noch ein Hauptabgaskühlsystem vorgesehen ist. Sämtliche in dieser bekannten Druckschrift beschriebenen Verfahrens- und Vorrichtungsaspekte können, soweit sinnvoll, auch hier angewendet werden, insbesondere ist es von Vorteil, wenn die Kompression frühestens bei einem Kurbelwinkel von 60° vor dem oberen Totpunkt beginnt (d.h., Einlassventil und Auslassventil sind geschlossen). Ungefähr vom unteren Totpunkt bis zur Schließung des Auslassventils findet dann der Ladungswechsel statt. Eine zusätzliche Aufladung des eingebrachten Gases kann bevorzugt erfolgen. Die Wahl des Treibstoffs (gasförmig oder flüssig) oder der Gemischform ist nahezu beliebig. Je nach Anwendungsart erfolgt Fremd- oder Selbstzündung. Bevorzugt sind die Schließzeiten

und/oder Schließzeitpunkte des einen Einlassventils oder der Einlassventile und/oder des einen Auslassventils oder der Auslassventile veränderbar, um das Verdichtungsverhältnis zu ändern.

**[0033]** Von Vorteil ist die Erfindung jedoch auch gemäß einer Verfahrensvariante, bei der eine externe Wärmeeinbringung bewirkt wird. Hierzu kann das Gas, bevorzugt Luft, vor dem Ladungswechsel außerhalb des mindestens einen Zylinders mittels einer Kompressoreinrichtung auf einen vorbestimmten Druck komprimiert werden, anschließend das komprimierte Gas mittels einer Heizeinrichtung erwärmt werden und mittels eines Einlassventils oder eines der Einlassventile das komprimierte und erwärmte Gas im Wesentlichen bei der Abwärtsbewegung des Kolbens vom oberen zum unteren Totpunkt in den Zylinder eingeleitet wird, wobei durch Schließen des Einlassventils oder eines der Einlassventile vorzugsweise in der oberen Hälfte des Kolbenhubs ein vorbestimmtes, resultierendes Füllvolumen (VK) erzielt wird, welches kleiner ist als das Expansionsvolumen (VE), und wobei bevorzugt die Schließzeiten und/oder Schließzeitpunkte des Einlassventils oder der Einlassventile veränderbar sind, um das Füllvolumen (VK) zu ändern. Die erweiterte Expansion setzt dann sofort nach Schließen des Einlassventils ein und erfolgt im Zylinder nach dem Schließen des Einlassventils näherungsweise adiabatisch. Die Wärmeeinbringung kann beliebig (auch durch Verbrennung) erfolgen. Denkbar ist insbesondere die Ausgestaltung eines solarbetriebenen Luftmotors.

**[0034]** Bei der Variante mit externer Wärmezufuhr wird das Füllvolumen bzw. die Teilbefüllung des Zylinders durch das Schließen des Einlassventils während der Abwärtsbewegung des Kolbens vorbestimmt, und kann über veränderliche Steuerzeiten des Einlassventils - etwa durch eine Phasenverstellung der Nockenwelle - im Betrieb geändert werden.

**[0035]** Kolbenmotoren mit externer Wärmezufuhr ermöglichen zusätzliche Wirkungsgrad erhöhende Maßnahmen. Hierzu kann, wenn das eine Einlassventil oder das eine der Einlassventile geöffnet ist, das Gas die Heizeinrichtung durchströmen und in dieser beim Durchströmen, bevorzugt im Wesentlichen bei dem von der Kompressoreinrichtung bereitgestellten Druck, erwärmt werden. Es besteht hierdurch die Möglichkeit, dass während das Einlassventil geöffnet ist, quasi eine isobare Erwärmung erfolgt, weil das Gas mit vorbestimmtem, bevorzugt konstantem Druck die Heizeinrichtung durchströmt. Aufgrund der Abwärtsbewegung des Kolbens erfolgt eine im Wesentlichen isobare Expansion, solange das Einlassventil geöffnet ist, gefolgt von einer näherungsweisen adiabatischen Expansion im Zylinder nach Schließen des Einlassventils.

**[0036]** Vorteilhafterweise kann hierbei eine Wirkungsgrad-Steigerung dadurch erzielt werden, dass gemäß einer Verfahrensvariante das komprimierte Gas in einem optionalen Pufferspeicher zwischengespeichert wird und mit einer druckgesteuerten Zuführventileinrichtung der Heizeinrichtung zugeführt wird und in der Heizeinrichtung im Wesentlichen isochor erwärmt wird, solange das Einlassventil geschlossen ist. Hierzu ist von Vorteil, wenn das komprimierte Gasvolumen zwischen der druckgesteuerten Zuführventileinrichtung und dem zugehörigen Einlassventil eingeschlossen und der Wärmewirkung der Heizeinrichtung ausgesetzt ist. Hierzu stehen mehr als 180° Kurbelwinkel zur Verfügung. Von Vorteil ist demnach, dass Kompression und Expansion voneinander getrennt sind. In der Kompressoreinrichtung erfolgt die (adiabatische) Kompression. Nach der Kompressoreinrichtung befindet sich optional ein (isiertes) Puffervolumen (bereitgestellt durch den Pufferspeicher), das über eine optionale druckgesteuerte Zuführventileinrichtung zu einer Heizeinrichtung für externe Verbrennung/Wärmezufuhr und dann zum Einlassventil des Zylinders führt. Die Steuerzeiten des Einlassventils (durch Schließen des Einlassventils nach beispielsweise einem Drittel des Kolbenhubs) bewirken eine teilweise Befüllung des Zylinders mit nachfolgend erweiterter Expansion (bis oder unter Umgebungsdruck).

**[0037]** Die Vorgänge können gemäß einer weiteren Verfahrensvariante auch kombiniert ablaufen, indem bevorzugt zunächst das bevorzugt näherungsweise isochor erwärmte Gas aus der Heizeinrichtung bei geöffnetem Einlassventil oder bei dem einen geöffneten der Einlassventile in den Zylinder strömt, anschließend bei Erreichen eines vorbestimmten Drucks die gesteuerte Zuführventileinrichtung öffnet und weiteres Gas aus dem Pufferspeicher die Heizeinrichtung durchströmt und im Wesentlichen bei dem von dem Pufferspeicher bereitgestellten Druck (also näherungsweise isobar) erwärmt wird und ebenfalls in den Zylinder strömt. Hierdurch kann z.B. sichergestellt werden, dass der Fülldruck mindestens dem Druck aus dem Pufferspeicher entspricht.

**[0038]** Darüber hinaus bezieht sich die Erfindung auch auf einen Kolbenmotor zum Durchführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11. Der Kolbenmotor zeichnet sich aus durch mindestens einen Zylinder, mindestens ein im Bereich des Zylinderkopfs angeordnetes Einlassventil, und mindestens ein im Bereich des Zylinderkopfs angeordnetes Auslassventil, einen in dem mindestens einen Zylinder zwischen einem unteren Totpunkt und einem oberen Totpunkt Hubbewegungen ausführbaren Kolben und ein mit dem mindestens einen Auslassventil strömungsverbundenen Hauptabgaskühlsystem das mittels einer gesteuerten Ventileinrichtung von der Umgebung derart trennbar ist, dass ein Ausstoßen des Abgases aus dem Zylinder in das Hauptabgaskühlsystem bei geschlossener gesteuerte Ventileinrichtung bei einem ersten Druckniveau erfolgt, das im Wesentlichen unterhalb des Umgebungsdrucks liegt, und dass ein Ausstoßen des Abgases aus dem Hauptabgaskühlsystem bei geöffneter gesteuerte Ventileinrichtung bei einem höheren Druckniveau als das erste Druckniveau erfolgt. Bevorzugt handelt es sich um einen Zweitaktkolbenmotor, bei welchem in der Variante mit interner Verbrennung bevorzugt die Spülung/der Ladungswechsel während der Aufwärtsbewegung des Kolbens bei (teilweise) gleichzeitig geöffnetem Einlass- und Auslassventil und eine Teilbefüllung des Zylinders erfolgt, und in der Variante mit externer Wärmezufuhr bevorzugt eine Teilbefüllung des Zylinders durch das Schließen des Einlassventils/der Einlassventile während der Abwärtsbewegung des Kolbens erfolgt. Der Kolbenmotor kann als

Einzyylinder-Motor oder als Mehrzyylinder-Motor ausgeführt werden. In der Ausführung als Kolbenmotor mit interner Verbrennung kann der Kolbenmotor als VierTaktmotor ausgeführt werden (entsprechend z.B. einem Miller-Motor). Um die Leistungsdichte zu erhöhen, ist die Ausführung als Zwei-Taktmotor jedoch zu bevorzugen. Insbesondere für große, langsam laufende Kolbenmotoren lässt sich eine beträchtliche Wirkungsgrad-Steigerung erzielen.

5 [0039] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann das eine Einlassventil oder das eine der Einlassventile mit zunehmendem Ventilhub einen veränderlichen Strömungsquerschnitt derart aufweisen, dass ein Einströmen in den Zylinder anfangs in Richtung auf die Zylinderwand und bei zunehmendem Ventilhub vermehrt auch in Richtung auf die Zylindermitte erfolgt. Insbesondere aufgrund der Tatsache, dass die Spülung/der Ladungswechsel während der Aufwärtsbewegung des Kolbens bei (teilweise) gleichzeitig geöffnetem Einlass- und Auslassventil erfolgt, ist diese Ausgestaltung vorteilhaft, weil hierdurch ein besserer vollständiger Ladungswechsel erzielt und ein Überströmen der frischen Ladung in das Abgassystem vermieden werden kann.

10 [0040] Darüber hinaus können zwei Einlassventile vorgesehen sein, wobei das eine der Einlassventile zum Einströmen von Frischluft in den Zylinder ausgebildet ist und das andere Einlassventil zum Einströmen von einem, bevorzugt gasförmigen, Treibstoff oder einem zündfähigen Gemisch mit einem vorbestimmten Überdruck ausgebildet ist.

15 [0041] Bei der Ausgestaltung eines Kolbenmotors mit externer Wärmezufuhr ist es vorteilhafterweise vorgesehen, dass dem einen Einlassventil oder dem einen der Einlassventile eine Kompressoreinrichtung und eine Heizeinrichtung vorgeschaltet sind, wobei die Kompressoreinrichtung und die Heizeinrichtung derart ausgestaltet sind, dass mittels dieser zumindest zeitweise eine im Wesentlichen isobare Wärmezufuhr in dem Zylinder bewirkbar ist. Diese wird dadurch erzielt, dass von der Kompressoreinrichtung mit konstantem Druck gefördertes Gas während der Durchströmung in der

20 Heizeinrichtung einer Wärmezufuhr unterzogen wird. Selbstverständlich handelt es sich um idealisierte Betrachtungsweisen; jedoch hat die isobare Wärmezufuhr Vorrang, wenn Verluste durch andere Faktoren unberücksichtigt bleiben.

25 [0042] Hierzu kann es zusätzlich vorgesehen sein, dass zwischen der Kompressoreinrichtung und dem einen Einlassventil oder dem einen der Einlassventile ein optionaler Pufferspeicher und eine gesteuerte Zuführventileinrichtung vorgesehen sind, wobei die gesteuerte Zuführventileinrichtung zumindest zeitweise die Heizeinrichtung von der Kompressoreinrichtung und ggf. dem optionalen Pufferspeicher trennt und bei geschlossenem einen Einlassventil oder dem geschlossenen der Einlassventile eine im Wesentlichen isochore Erwärmung ermöglicht ist. Diese Erwärmung kann während einer beträchtlichen Zeit des Zylinderzyklus (während das Einlassventil geschlossen ist) durchgeführt werden, also unabhängig von sonstigen Zustandsänderungen innerhalb des Zylinders. Eine Wirkungsgrad-Steigerung ist hierdurch erzielbar.

30 [0043] Bei der Ausgestaltung eines Kolbenmotors mit interner Verbrennung kann das zweite Einlassventil den (gasförmigen) Treibstoff oder das Gemisch bevorzugt mit einem gewissen Überdruck in den Zylinder einbringen, wobei das zweite Einlassventil kurz vor Schließen des Auslassventils schließt (Kompressionsbeginn ohne Aufladung) oder kurz nach Schließen des Auslassventils schließt (Kompressionsbeginn mit Aufladung entsprechend dem Überdruck am zweiten Einlassventil).

35 [0044] Des Weiteren kann vor dem zweiten Einlassventil Luft tangential in den Einlasskanal eingeblasen werden, um für eine gute Gemischbildung vor dem Einlassventil einen Luftwirbel zu erzeugen, in welchen der (flüssige oder gasförmige) Treibstoff eingespritzt wird.

[0045] Bevorzugt kann ein (selbstzündender) Treibstoff, wie Diesel, in den Zylinder eingespritzt werden, wenn sich der Kolben nahe oder kurz nach dem oberen Totpunkt befindet.

40 [0046] Günstigerweise kann ein (gasförmiger) Treibstoff auch direkt in den Zylinder eingespritzt werden, nachdem die Spülung mit Frischluft über das Einlassventil/die Einlassventile erfolgt ist, und bei dem das entsprechende Gemisch fremdgezündet wird, wenn sich der Kolben nahe oder im oberen Totpunkt befindet. Hierzu kann der Einspritzvorgang des (gasförmigen) Treibstoffs kurz vor Schließen des Auslassventils/der Auslassventile beendet sein (wodurch keine Aufladung vor der Kompression erfolgt) oder kurz nach Schließen des Auslassventils/der Auslassventile erfolgen, wodurch eine Erhöhung des Drucks im Zylinder durch den Druck des (gasförmigen) Treibstoffs vor der Kompression erfolgt (Aufladung).

45 [0047] Bei einem Kolbenmotor mit externer Wärmezufuhr kann das Einlassventil öffnen, wenn sich der Kolben nahe des oberen Totpunkts befindet und schließen, wenn sich der Kolben noch in der oberen Hälfte des Hubs befindet, wodurch sich auch bei externer Kompression eine Teilbefüllung des Zylinders (und nachfolgend eine erweiterte Expansion bis zum unteren Totpunkt) ergibt.

50 [0048] Im Folgenden werden Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung anhand von Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Ts-Diagramm (mit unterschiedlichen Verfahrensabläufen),

55 Fig. 2 eine Prinzipskizze eines erfindungsgemäßen Kolbenmotors,

Fig. 3a-c Skizzen zur Begriffsdefinition,

- Fig. 4a-f Skizzen zum Verfahrensablauf von einer ersten Kolbenmotorausführungsform,
- Fig. 5a-b Skizzen zum Verfahrensablauf von einer zweiten Kolbenmotorausführungsform,
- 5 Fig. 6a-b Skizzen zum Verfahrensablauf von einer dritten Kolbenmotorausführungsform,
- Fig. 7a-c Skizzen zum Verfahrensablauf von einer vierten Kolbenmotorausführungsform,
- 10 Fig. 8a-e Skizzengruppen zur Funktionsweise einer Einlassventilausführungsform, wobei jede Skizzengruppe eine schematische Draufsicht (oben links), einen schematischen Teilschnitt (unten links), und eine vergrößerte Ansicht des Teilschnittes (rechts) enthält,
- 15 Fig. 9a-c Skizzengruppen zur Funktionsweise einer Ansaugtraktausführungsform, wobei jede Skizzengruppe eine schematische Draufsicht (oben) und einen schematischen Teilschnitt (unten) enthält,
- Fig. 10 eine Prinzipskizze einer fünften Kolbenmotorausführungsform,
- 20 Fig. 10a-f Skizzen zum Verfahrensablauf der fünften Kolbenmotorausführungsform,
- Fig. 11 eine Prinzipskizze einer sechsten Kolbenausführungsform,
- Fig. 11a-h Skizzen zum Verfahrensablauf von einer sechsten Kolbenmotorausführungsform.

**[0049]** Der prinzipielle, anhand von Fig. 2 erläuterte Aufbau eines Kolbenmotors 6 ähnelt, bis auf die im Folgenden noch zu erläuternden Unterschiede, jenem von einem Viertaktkolbenmotor und umfasst als wesentlichen Bestandteile einen Zylinder 7, ein Kurbelgehäuse 8, eine Kurbelwelle 9, ein Pleuel 10, einen Kolben 11, ein Auslassventil 12, ein Einlassventil 13, eine Zündkerze 14 oder eine Direkt-Einspritzdüse 15, und gegebenenfalls eine Saugrohr-Einspritzdüse 16 (Benzin, etc.).

**[0050]** Die vorliegende Erfindung ist auf die verschiedenen Kolbenmotorsysteme anwendbar, weshalb aus Gründen der Erläuterung hier eine, die verschiedenen Varianten enthaltende, Mischform dargestellt ist, von denen in aller Regel aber immer nur eine zur Anwendung kommt, was maßgeblich von der Verwendung einer internen oder einer externen Wärmezuführung, d.h., insbesondere des verwendeten Treibstoffs etc., abhängt. Der Kolbenmotor 6 kann als Einzylindermotor oder als Mehrzylindermotor ausgeführt werden. In der Ausführung als Kolbenmotor 6 mit einer internen Verbrennung kann der Motor als Viertaktmotor ausgeführt werden (entsprechend z.B. einem Miller-Motor). Um die Leistungsdichte zu erhöhen, ist die Ausführung als Zwei-Taktmotor jedoch zu bevorzugen. Nachfolgend werden daher ausschließlich Ausführungsformen beschrieben, die als Zwei-Takt-Kolbenmotoren 6 betrieben werden.

**[0051]** Die Spülung bzw. der Ladungswechsel erfolgt bei der Ausführung als Zwei-Taktmotor mit interner Verbrennung während der Aufwärtsbewegung des Kolbens 11 bei (teilweise) gleichzeitig geöffnetem Einlass- und Auslassventil 12, 13. Das erfordert grundsätzlich, dass zur Spülung an dem mindestens einen Einlassventil 13 ein höherer Druck anliegt als im Zylinder 7. Eine dafür nötige Kompressoreinrichtung 19 ist in der Folge nur dargestellt, wenn ein besonders hoher Spüldruck erforderlich ist. In den nachfolgenden Skizzen zum jeweiligen Verfahrensablauf werden die Kolbenpositionen (ohne Pleuel und Kurbelwelle/Kurbelgehäuse) und die Ventilstellungen (ohne Nockenwelle) dargestellt.

**[0052]** Die Erfindung basiert maßgeblich auf einem Kolbenmotor 6, bei dem das Expansionsvolumen deutlich größer ist als das Kompressionsvolumen (bevorzugt mindestens 2-mal, besser mindestens 3-mal). Dadurch wird eine erweiterte Expansion des heißen Gases bis auf Umgebungsdruck-, bis fast auf Umgebungsdruck- oder bis in den Unterdruckbereich realisiert. Das Expansionsvolumen VE wird vom Gesamthub des Kolbens 11 vom oberen Totpunkt (OT) bis zum unteren Totpunkt (UT) erzeugt. Das deutlich kleinere Kompressions- oder Füllvolumen VK wird durch eine Teilbefüllung des Zylinders 7 erreicht.

**[0053]** Bei der Ausführungsform als Kolbenmotor 6 mit einer internen Verbrennung wird diese Teilbefüllung des Zylinders 7 durch einen späten Kompressionsbeginn in der oberen Hälfte des Kolbenhubs (z.B. bei ca. 60° vor OT) realisiert. Bei der Ausführung als Kolbenmotor mit externer Verbrennung/Wärmezufuhr findet die Kompression außerhalb des Zylinders 7 statt und die Teilbefüllung des Zylinders 7 erfolgt durch Schließen des Einlassventils 13/der Einlassventile während der Abwärtsbewegung des Kolbens 11 in der oberen Hälfte des Kolbenhubs (z.B. bei ca. 60° nach OT). Anhand der Fig. 3a-c ist zu erkennen, dass für das Verdichtungsverhältnis bei der Ausführung mit interner Verbrennung gilt: Verdichtungsverhältnis = (VK + VV)/VV (z.B. 10:1).

**[0054]** Für das Expansionsverhältnis gilt: Expansionsverhältnis (VE + VV)/VV (z.B. 30:1).

**[0055]** Das in Fig. 1 dargestellte Ts-Diagramm (Temperatur-Entropie-Diagramm) von dem Kolbenmotor 6 beschreibt die Zustandsänderungen eines Gaspaketes als geschlossenen Kreisprozess ohne Masse austausch mit der Umgebung.

[0056] Diese Zustandsänderungen sind:

- (adiabatische) Kompression,
- (isotherme, isochore, isobare) Wärmezufuhr,
- 5 - (adiabatische) Expansion,
- (isotherme, isochore oder isobare) Wärmeabfuhr.

[0057] Ein wesentlicher Kern der Erfindung besteht darin, dass diese Zustandsänderungen teilweise zeitgleich, aber örtlich getrennt ablaufen.

10 [0058] Der erfindungsgemäße Kolbenmotor 6 umfasst im Anschluss an das mindestens eine Auslassventil 12 ein Hauptabgaskühlsystem 17, an dessen Ausgang eine gesteuerte Ventileinrichtung 18 angeordnet ist. Bei der gesteuerten Ventileinrichtung 18 handelt es sich bevorzugt um ein Rückschlagventil, das in der bevorzugten einfachsten Version bei Erreichen des Umgebungsdrucks im Inneren des Hauptabgaskühlsystems 17 öffnet.

15 [0059] Die Wärmeabfuhr im Hauptabgaskühlsystem 17 findet permanent statt. Insbesondere dieses Hauptabgaskühlsystems 17 ermöglicht eine isochore Abkühlung des Heißabgases, solange das Auslassventil 12/die Auslassventile des Kolbenmotors 6 geschlossen sind. Diese isochore Abkühlung erzeugt einen Unterdruck im Hauptabgaskühlsystem 17, welcher durch das Öffnen des Auslassventils 12 auch im Zylinder 7 wirksam wird. Wenn durch die Aufwärtsbewegung des Kolbens 11 im Zylinder 7 und somit auch im Hauptabgaskühlsystem 17 Umgebungsdruck herrscht, öffnet die Ventileinrichtung 18. Bei geeigneter Auslegung dieser Abgaskühlung erfolgt die restliche Wärmeabfuhr näherungsweise 20 isotherm, was die Ausschiebearbeit und die Wärmeabfuhr an die Umgebung minimiert und damit den Wirkungsgrad maximiert.

25 [0060] Durch die erfindungsgemäße Anordnung von Hauptabgaskühlsystem 17 und gesteuerter Ventileinrichtung 18 erfolgt die (isochore) Abkühlung also zeitgleich, aber örtlich getrennt, von den Zustandsänderungen im Zylinder 7. Dadurch steht bei gegebener Drehzahl mehr Zeit für die Wärmeabfuhr zur Verfügung, und dadurch werden erst eine 30 isochore Wärmeabfuhr und damit die Erzeugung eines erheblichen Unterdrucks im Hauptabgaskühlsystem 17 (und damit eine Verringerung der an die Umgebung abzugebenden Wärme) ermöglicht.

[0061] Im Folgenden wird anhand der Fig. 4a-f eine erste Ausführungsform des Kolbenmotors 6 und des zugehörigen Verfahrens näher erläutert. Es handelt sich um einen Kolbenmotor 6 in der Ausführung als Zweitaktmotor mit interner Verbrennung, mit einem Einlassventil 13 und einem Auslassventil 12 pro Zylinder 7 und mit dem Hauptabgaskühlsystem 17 und der zugehörigen gesteuerten Ventileinrichtung 18, bevorzugt einem Rückschlagventil. Es werden die folgenden 35 Symbole in den zugehörigen Figuren verwendet:

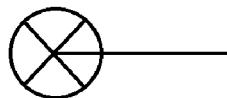
35

40

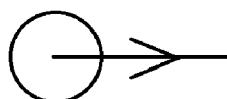
45

50

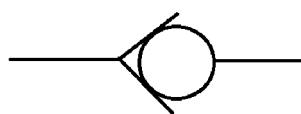
55



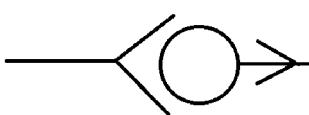
5

**Motorventil geschlossen**

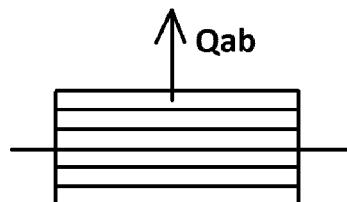
10

**Motorventil offen**

15

**Rückschlagventil geschlossen**

20

**Rückschlagventil offen**

25

**Abgaskühlung**

Wärmeübertrager, welcher das Abgas bis auf Umgebungstemperatur oder bis fast auf Umgebungstemperatur abkühlt ( $Q_{ab}$  = Wärmeabfuhr)

30

**[0062]** In Fig. 4a befindet sich der Zylinder 7 am Kreislaufstartpunkt 1. Das Einlassventil 13 und das Auslassventil 12 sind geschlossen und das System befindet sich am Beginn der Kompression. Das Hauptabgaskühlungssystem 17 befindet sich im Abschnitt 4'-5. Das heißt, im Hauptabgaskühlungssystem 17 sinkt durch die Abgaskühlung der Druck unter Umgebungsdruck. Aufgrund des geschlossenen Auslassventils 12 und der geschlossenen Ventileinrichtung 18 findet eine isochore Abkühlung statt.

**[0063]** Im Anschluss liegt bei Erreichen des oberen Totpunkts (OT) durch den Kolben 11 der Zustandspunkt 2 vor (siehe Fig. 1 und Fig. 4b). Je nach Art der internen Wärmezufuhr erfolgt die Einspritzung des Treibstoffs (z.B. Diesel) oder die Zündung des Gemischs. Fig. 4b bezieht sich auf die unterschiedlichsten Varianten dieser internen Wärmezufuhr, weshalb alternativ hier auf die Zustandsänderung von 2 nach 3 (isochore Wärmezufuhr) oder 2 nach 3" (isobare Wärmezufuhr) oder 2 nach 2' nach 3' (gemischte Wärmezufuhr) Bezug genommen wird. Im Hauptabgaskühlungssystem 17 sinkt durch die Abgaskühlung der Druck weiter im Bereich 4'-5.

**[0064]** Bezugnehmend auf Fig. 4c erfolgt nun die erweiterte Expansion bis zur isobaren (d.h. von 3, 3' oder 3" nach 4'). Hierbei ist das Expansionsvolumen VE ca. drei- bis viermal größer als das Kompressionsvolumen VK. Derweil sinkt der Druck im Hauptabgaskühlungssystem 17 weiter isochor von 4' nach 5.

**[0065]** Durch das Öffnen des Auslassventils 12 (siehe Fig. 4d) nahe des UT wird der Unterdruck durch die vorherige isochore Abkühlung im Hauptabgaskühlungssystem 17 im Zylinder 7 wirksam. Im Zylinder 7 und im Hauptabgaskühlungssystem 17 herrscht nun Unterdruck. Die isochore Wärmeabfuhr (4'-5) und insbesondere die nachfolgende isotherme Abkühlung (5-1) betrifft nun den Zylinder 7 und das Hauptabgaskühlungssystem 17 näherungsweise gleichermaßen.

**[0066]** Aus Fig. 4e geht nun mehr hervor, dass der Unterdruck im Zylinder 7 zuerst die Ausschiebearbeit verringert (isotherme Wärmeabfuhr bzw. Kompression 5-1). Des Weiteren wird nach dem Öffnen des Einlassventils 13 die Spülung/der Ladungswechsel unterstützt. Die Ventileinrichtung 18 öffnet erst, wenn im Zylinder 7 bzw. im Hauptabgaskühlungssystem 17 Umgebungsdruck erreicht wird.

**[0067]** Im nächsten Schritt (Fig. 4f) beginnt die Kompression, wenn das Auslassventil 12 und das Einlassventil 13 schließen (Kreislaufstartpunkt 1). Wenn das Einlassventil 13 nach dem Auslassventil 12 schließt, erfolgt eine Aufladung mit Spüldruck (wie in Fig. 4f dargestellt). Im Hauptabgaskühlungssystem 17 beginnt nach dem Schließen des Auslassventils 12 und der Ventileinrichtung 18 wieder die isochore Abkühlung (4'-5).

**[0068]** Diese Motorbauart ist insgesamt für Dieselmotoren geeignet, da Diesel (oder andere selbstzündende Treibstoffe) im oder nach OT selbst zündet - also vor oder während der Kompression kein Gemisch gebildet werden muss.

**[0069]** Bei allen Treibstoffen, die sehr rasch ein gutes Luft-Treibstoff-Gemisch bilden, insbesondere bei gasförmigen Treibstoffen wie Methan oder Wasserstoff, kann alternativ der Treibstoff während der Kompression direkt in den Zylinder 7 eingespritzt werden und das im Zylinder 7 entstehende Gemisch im oder nahe OT mittels einer Zündkerze 14 gezündet werden. Wenn ein Treibstoff kurz vor Verschließen des Auslassventils 12 eingespritzt wird, erfolgt keine Aufladung.

5 Wenn der Treibstoff nach Schließen des Auslassventils 12 eingespritzt wird, erfolgt eine Aufladung durch den Einspritzdruck des Treibstoffes bzw. durch das eingespritzte Treibstoffvolumen. Eine solche Variante eines Kolbenmotors 6 ist nachfolgend anhand der Fig. 5a-b dargestellt. Da hier nur auf die wesentlichen Unterschiede zum vorangegangenen Ausführungsbeispiel (Fig. 4a-f) eingegangen werden soll, wird bezüglich des Weiteren, hier nicht explizit angesprochenen Ablaufs ergänzend auf die Erläuterung zur vorangegangenen Verfahrensvariante und Motorbauart Bezug genommen.

10 **[0070]** In Fig. 5a befindet sich der Zylinder 7 am Kreislaufstartpunkt 1. Das Hauptabgaskühlungssystem 17 unterzieht das darin eingeschlossene Abgas einer isochoren Abkühlung (4'-5). Das Einlassventil 13 und der Auslassventil 12 sind nun geschlossen und die Kompression beginnt. (Gasförmiger) Treibstoff wird von der Einspritzdüse 15 in den Zylinder 7 eingespritzt. Der Einspritzdruck/das eingespritzte Treibstoffvolumen erhöht den Zylinderdruck vor oder bei Beginn der Kompression (Aufladung). In Fig. 5b befindet sich der Kolben 11 im oder nahe OT (Zustandspunkt 2 in Fig. 1). Es erfolgt die Zündung des Gemischs. Je nach Verfahrensführung erfolgt vorzugsweise eine isochore (2-3), isobare (2-3") oder gemischte (2-2'-3') Wärmezufuhr.

**[0071]** Die Ausführungsformen aus den Fig. 4a-f und 5a-b kommen mit nur einem Auslassventil 12 aus, wenn das Expansionsvolumen (VE) geeignet ist, das heiße Gas bis auf oder unter Umgebungsdruck expandieren zu lassen.

20 **[0072]** Im Folgenden wird eine dritte Ausführungsform des erfundungsgemäßen Kolbenmotors 6 anhand der Fig. 6a-b näher erläutert. Es soll nur auf die wesentlichsten Unterschiede zu den vorangegangenen Ausführungsbeispielen Bezug genommen werden, weshalb ergänzend auf den Verfahrensablauf hinsichtlich der Fig. 4a-f und 5a-b Bezug genommen wird.

25 **[0073]** Falls das Expansionsvolumen (VE) nicht ausreicht, um das heiße Gas bis auf Umgebungsdruck expandieren zu lassen und nach der Expansion noch ein Druck im Zylinder 7 herrscht, der über dem Umgebungsdruck liegt, so sieht diese Ausführungsform ein zweites Auslassventil 12' vor, welches nach der Expansion öffnet und den Zylinderdruck auf Umgebungsdruck absenkt, bevor das erste Auslassventil 12 öffnet. Das zweite Auslassventil 12' sollte in einen Abgasstrang münden, der ebenfalls mittels einer zweiten gesteuerten Ventileinrichtung 18' von der Umgebung entkoppelbar ist. Bevorzugt handelt es sich bei der zweiten gesteuerten Ventileinrichtung 18' ebenfalls um ein Rückschlagventil, das bevorzugt im Wesentlichen bei Umgebungsdruck öffnet. Hierdurch kann ein Rückfluss von Umgebungsluft in den Zylinder 30 7, insbesondere, wenn im Zylinder 7 (etwa bei Teillast) bereits Unterdruck herrscht, verhindert werden. Darüber hinaus kann auch an dem zweiten Auslassventil 12' ein Hilfsabgaskühlungssystem 17' angeschlossen sein, so dass durch das Öffnen des zweiten Auslassventils 12' bereits ein Unterdruck im Zylinder 7 erzeugbar ist, bevor das erste Auslassventil 12 öffnet. Die Verwendung von den beschriebenen zwei Auslassventilen 12 und 12' sowie dem Hauptabgaskühlungssystem 35 17 und dem Hilfsabgaskühlungssystem 17' mit jeweils daran anschließenden steuerbaren Ventileinrichtungen 18 und 18' ist in den Fig. 6 a-b dargestellt. Entsprechend wird nach der erweiterten Expansion der Restdruck im Zylinder 7 nahe des unteren Totpunkts (UT) durch kurzes Öffnen des zweiten Auslassventils 12' abgebaut, um den Zustandspunkt 4' (siehe Fig. 1) zu erreichen. Ein eventuell vorhandener Überdruck (über Umgebungsdruck) baut sich mittels der Ventileinrichtung 18' ab. Das Hauptabgaskühlungssystem 17 befindet sich in diesem Zeitabschnitt noch bei der isochoren Abkühlung (siehe Fig. 6a). Aus Fig. 6b ergibt sich, dass durch das Öffnen des ersten Auslassventils 12 nahe des unteren Totpunkts (UT) 40 die vorherige isochore Abkühlung im Hauptabgaskühlungssystem 17 hinter dem ersten Auslassventil 12 nunmehr im Zylinder 7 wirksam wird. Hierdurch herrscht im Zylinder 7 dann ein Unterdruck.

**[0074]** Die restlichen Abläufe sind die gleichen wie bei den vorangegangenen Ausführungsformen des Kolbenmotors 6.

45 **[0075]** Die zuvor beschriebenen Ausführungsformen sind im Besonderen für Treibstoffe geeignet, welche nur eine kurze Zeit für die Gemischbildung mit Luft benötigen (z.B. Diesel und gasförmige Treibstoffe). Für Treibstoffe, welche eine längere Zeit für die Gemischbildung benötigen (z.B. Benzin) kann gegenüber den vorangegangenen Ausführungsformen ein zweites Einlassventil 13' vorgesehen werden, welches während der Aufwärtsbewegung des Kolbens 11 die Spülung des Zylinders 7 mit Luft ermöglicht, und das erste Einlassventil 13 kann nunmehr über eine Einspritzdüse 16 für den Treibstoff (Saugrohreinspritzung) verfügen. Nach der Spülung mit Luft über das zweite Einlassventil 13' wird über das erste Einlassventil 13 das Gemisch kurz vor oder kurz nach Schließen des Auslassventils 12/der Auslassventile 50 12, 12' in den Zylinder 7 eingebracht. Dazu muss einerseits das erste Einlassventil 13 mit einem höheren Spüldruck beaufschlagen sein. Hierzu ist vor dem ersten Einlassventil 13 eine Kompressoreinrichtung 19 angeordnet. Das Gemisch wird bereits im Ansaugtrakt vor dem ersten Einlassventil 13 gebildet, vorzugsweise unmittelbar nach Schließen des ersten Einlassventils 13 bzw. in der Nähe des oberen Totpunkts, um eine möglichst lange Zeit für die Gemischbildung zu ermöglichen.

55 **[0076]** Die Gasführung an den beiden Einlassventilen 13, 13' sollte sich nun grundsätzlich unterscheiden. Am zweiten Einlassventil 13', welches nur für die Spülung mit Luft zuständig ist, sollte eine Einblasrichtung verwirklicht sein, welche eine Umkehrspülung des gesamten Zylinders 7 zum Auslassventil 12 ermöglicht, so dass das gesamte Abgas aus dem Zylinder 7 verdrängt wird. Am ersten Einlassventil 13, welches das Gemisch in den Zylinder einbringt, sollte eine Ein-

blasrichtung verwirklicht sein, welche das Gemisch möglichst zentral in den Zylinder 7 einbringt.

**[0077]** Die thermodynamischen Vorgänge sind im Prinzip die gleichen wie bei der ersten Ausführungsform (Fig. 4a-f). Nachfolgend werden daher nur jene Vorgänge dargestellt, in denen sich eine vierte Ausführungsform (mit zwei Einlassventilen 13, 13') von der ersten Ausführungsform (mit einem Einlassventil 13) unterscheidet. Das Verfahren umfasst kurz erläutert folgende Schritte:

- Gemischbildung von dem ersten Einlassventil 13, bevorzugt nahe des OT beginnend
- Spülung mit Luft über das zweite Einlassventil 13' während der Aufwärtsbewegung des Kolbens 11 bei gleichzeitig geöffnetem, ersten Auslassventil 12 (das in den Fig. 7a-c auch vorhandene zweite Auslassventil 12' zur Absenkung eines allfällig vorhandenen Restdrucks im Zylinder nach der erweiterten Expansion spielt für diese Erläuterungen keine Rolle).
- Einbringen des Gemisches mit erhöhtem Spüldruck kurz vor Schließen des Auslassventils 12 (keine Aufladung) oder kurz nach dem Schließen des Auslassventils 12 (Aufladung mit Spüldruck - wie in Fig. 7a-c dargestellt).

**[0078]** Die vierte Ausführungsform bezieht sich demnach auf einen Kolbenmotor 6 im Zweitaktbetrieb mit zwei Einlassventilen 13, 13', insbesondere für Treibstoffe, welche eine längere Zeit für die Gemischbildung mit Luft brauchen. In Fig. 7a ist dargestellt, dass im Ansaugtrakt vor dem ersten Einlassventil 13 - vorzugsweise nahe des OT - über eine Einspritzdüse 16 Treibstoff eingespritzt wird, so dass sich bis zum Öffnen des ersten Einlassventils 13 ein gutes Luft-Treibstoff-Gemisch bilden kann. Das Hauptabgaskühlssystem 17 (und auch das Hilfsabgassystem 17') befinden sich wie immer bei geschlossenen Auslassventilen 12 und 12' in der isochoren Abkühlung (4'-5 in Fig. 1).

**[0079]** Während der Aufwärtsbewegung des Kolbens 11 erfolgt die Spülung mit Luft über das zweite Einlassventil 13' (Fig. 7b).

**[0080]** Nach der Spülung mit Luft (wird über das erste Einlassventil 13 das Gemisch kurz vor Schließen des Auslassventils 12 (keine Aufladung) oder kurz nach Schließen des Auslassventils 12 (Aufladung mit Spüldruck - wie in Fig. 7c dargestellt) in den Zylinder 7 eingeleitet. Der Zylinder 7 befindet sich nun am Kreislaufstartpunkt 1, während sich das Hauptabgaskühlssystem 17 und, wenn wie in den Fig. 7a-c vorhanden, auch das Hilfsabgassystem 17' in der isochoren Abkühlung (von Zustandspunkt 4' nach 5 in Fig. 1) befinden.

**[0081]** Die restlichen Abläufe sind nicht weiter dargestellt, weil sie den Abläufen der ersten Ausführungsform (Fig. 4a-f) entsprechen, worauf ergänzend Bezug genommen wird.

**[0082]** Bei Kolbenmotoren 6 im Zweitaktbetrieb, bei welchem die Spülung/der Ladungswechsel während der Aufwärtsbewegung des Kolbens 11 bei (teilweise) gleichzeitig geöffneten Einlassventil 13 und Auslassventil 12 erfolgt, ist es vorteilhaft, wenn die Einströmrichtung am Einlassventil 13 zu Beginn des Ladungswechsels Richtung Zylinderwand bzw. nicht in Richtung Auslassventil 12 gerichtet ist. Insbesondere, um einen vollständigen Ladungswechsel zu erzielen, und ein Überströmen der frischen Ladung in das Hauptabgaskühlssystem 17 zu vermeiden. Mit Fortschritt des Ladungswechsels kann und sollte die Einströmrichtung am Einlassventil 13 auch mittig Richtung Zylinderachse gerichtet sein. Dies kann durch eine spezielle Geometrie am Einlassventil 13 realisiert werden, welche einen variablen Strömungsquerschnitt/Öffnungsquerschnitt und damit eine variable Einströmrichtung in Abhängigkeit vom Ventilhub ermöglicht.

**[0083]** Dieses wird nachfolgend anhand der Fig. 8a-e näher erläutert. In Fig. 8a ist zu erkennen, dass der Ventilsitz 20 einen Absatz 21 in Richtung Zylindermitte aufweist. Der Absatz 21 ist Richtung Zylinderwand abgeschrägt. Fig. 8b zeigt die Situation bei geschlossenem Ventil. Aus Fig. 8c ist zu erkennen, dass das Einlassventil 13 leicht öffnet. Der geöffnete Querschnitt (in den oberen linken Bildern dunkel eingezeichnet) am Einlassventil 13 weist Richtung Zylinderwand. In Fig. 8d ist das Einlassventil 13 etwa halb geöffnet. Der geöffnete Querschnitt bildet etwa einen Halbkreis bis zur Ventilachse. In Fig. 8e ist das Einlassventil 13 ganz geöffnet. Der geöffnete Querschnitt entspricht nun dem Öffnungsquerschnitt des Ventilsitzes 20. Luft/Frischgas kann nun über den gesamten Umfang des zugehörigen Einlassventils 13 einströmen.

**[0084]** Bei Kolbenmotoren 6 im Zweitaktbetrieb, bei welchen die Spülung/der Ladungswechsel während der Aufwärtsbewegung des Kolbens 11 bei (teilweise) gleichzeitig geöffnetem Einlassventil 13 und Auslassventil 12 erfolgt, steht bei gegebener Drehzahl nur eine kurze Zeit für die Gemischbildung zur Verfügung. Daher ist es vorteilhaft, ein Einlassventil 13 zur Einbringung des Gemisches vorzusehen, vor welchem das Gemisch bereits gebildet wird, bevor dieses Einlassventil 13 öffnet. Dieses wird erreicht, indem Luft in den Ansaugtrakt vor dem Einlassventil 13 vorzugsweise tangential eingebracht wird. So wird ein Luftwirbel erzeugt, der auch nach Schließen des Einlassventils 13 aufrechterhalten bleibt, und in welchem der Treibstoff möglichst frühzeitig (nach Schließen dieses Einlassventils 13 bzw. nahe dem OT) eingespritzt werden kann. Eine solche Anordnung ist in den Fig. 9a-c dargestellt. In Fig. 9a ist zu sehen, dass im Ansaugtrakt eine Einspritzdüse 16 für flüssige oder gasförmige Treibstoffe, vorzugsweise auf dem Ventilteller des Einlassventils 13, gerichtet ist. Die Zufuhr der Luft in den Ansaugtrakt vor dem Einlassventil 13 erfolgt tangential bzw. versetzt zur Achse des Ansaugtraktes. Wenn das Einlassventil 13 öffnet und das Gemisch in den Zylinder 7 eindringt, erzeugt die nachströmende Luft durch die tangentiale Anordnung einen Luftwirbel bzw. Drall im Ansaugtrakt (siehe Fig. 9b). Nach dem Schließen des Einlassventils 13 bleibt dieser Luftwirbel einige Zeit aufrecht. Der Treibstoff wird vorzugsweise unmittelbar

nach Schließen des Einlassventils 13 bzw. nahe des OT in diesen Luftwirbel eingespritzt. Durch den Luftwirbel und eine möglichst frühe Einspritzung wird bei gegebener Drehzahl ein möglichst gutes Gemisch vor dem Einlassventil 13 erzeugt (siehe Fig. 9c).

**[0085]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich aber auch auf Ausführungsformen von Kolbenmotoren 6, bei denen sowohl eine externe Kompression, als auch eine externe Wärmezufuhr erfolgt. In Fig. 10 ist eine Prinzipskizze einer fünften Kolbenmotorausführungsform mit externer Kompression und Wärmezufuhr dargestellt. Vor dem Einlassventil 13 befindet sich zunächst eine Kompressoreinrichtung 19 und daran anschließend eine externe Heizeinrichtung 22. Die restlichen Bestandteile sind aus den vorangegangenen Ausführungsbeispielen bekannt.

**[0086]** In der Kompressoreinrichtung 19 wird die Luft adiabatisch komprimiert (Kreislaufstartpunkt 1 nach Zustandspunkt 2 in Fig. 1). Nach der Kompressoreinrichtung 19 herrscht annähernd konstanter Druck. Wenn das Einlassventil 13 öffnet, durchströmt die Luft die externe Heizeinrichtung 22 und wird isobar erwärmt (Zustandspunkt 2 nach Zustandspunkt 3" in Fig. 1). Im Hauptabgaskühlungssystem 17 wird das heiße Abgas bei geschlossenem Auslassventil 12 permanent isochor abgekühlt (von Zustandspunkt 4' nach Zwischenpunkt 5 in Fig. 1) (siehe Fig. 10a).

**[0087]** Solange das Einlassventil 13 geöffnet ist, erfolgt eine isobare Erwärmung in der externen Heizeinrichtung 22 bzw. eine isobare Expansion im Zylinder 7 (von Zustandspunkt 2 nach 3" in Fig. 1) (siehe Fig. 10b).

**[0088]** Aus Fig. 10c ist zu entnehmen, dass durch Schließen des Einlassventils 13 die isobare Erwärmung/Expansion abgeschlossen wird. Der Zylinder 7 ist nun mit dem Füllvolumen VK gefüllt, was einer Teilbefüllung des Zylinders 7 entspricht. Im Zylinder 7 herrscht nun der Zustandspunkt 3" (siehe Fig. 1). Anschließend erfolgt die weitere Expansion im Zylinder 7 adiabatisch (siehe Fig. 10c).

**[0089]** Die adiabatische Expansion im Zylinder 7 erfolgt bis zum unteren Totpunkt UT (von Zustandspunkt 3" nach 4' in Fig. 1). Alternativ kann die adiabatische Expansion auch bis in den Unterdruckbereich (Zustandspunkt zwischen 4' und 4" in Fig. 1) erfolgen (siehe Fig. 10d).

**[0090]** Im Hauptabgaskühlungssystem 17 wurde während der gesamten Zeit das Abgas permanent isochor abgekühlt (von Zustandspunkt 4' nach 5 in Fig. 1). Im Hauptabgaskühlungssystem 17 herrscht dadurch Unterdruck. Durch das Öffnen des Auslassventils 12 im unteren Totpunkt UT herrscht nun auch im Zylinder 7 Unterdruck (siehe Fig. 10e), und es erfolgt anfangs im Zylinder 7 ungefähr der gleiche Vorgang wie im Hauptabgaskühlungssystem 17 (von Zustandspunkt 4' nach 5 in Fig. 1).

**[0091]** Aus Fig. 10f ist zu entnehmen, dass während der Aufwärtsbewegung des Kolbens 11 das Abgas in das Hauptabgaskühlungssystem 17 ausgeschoben wird. Dabei erfolgt im Hauptabgaskühlungssystem 17 eine isotherme Abkühlung/Kompression (von Zwischenpunkt 5 nach Kreislaufstartpunkt 1 in Fig. 1). Erst wenn im Zylinder 7 und im Hauptabgaskühlungssystem 17 kurz vor dem oberen Totpunkt OT Umgebungsdruck erreicht wird, öffnet die gesteuerte Ventileinrichtung 18 und entlässt das abgekühlte Abgas in die Umgebung. Bei perfekter Kühlung des Abgases auf Umgebungstemperatur resultiert ein kleinstmögliches Volumen des auszuschiebenden Gaspaketes, was zugleich zu einer Minimierung der Ausschiebearbeit und zu einer Minimierung der abzuführenden Wärme führt (subisobare Wärmeabfuhr gemäß dem Linienzug 4'-5-1 in Fig. 1). Im Idealfall hat dann das auszuschiebende Gas dasselbe Volumen wie das Eingangs-Gasvolumen vor Beginn der Kompression.

**[0092]** Hierzu ist anzumerken, dass nach dem Öffnen des Auslassventils 12 im Zylinder 7 und im Hauptabgaskühlungssystem 17 Bedingungen herrschen, welche sich nicht exakt im Ts-Diagramm (Fig. 1) darstellen lassen, da sie örtlich getrennt und teils hintereinander ablaufen. So herrscht z.B. im Zylinder 7 immer die Temperatur gemäß Zustandspunkt 4', da die Abkühlung erst in dem Hauptabgaskühlungssystem 17 stattfindet. Dennoch herrscht im Zylinder 7 der gleiche Unterdruck wie im Hauptabgaskühlungssystem 17. Entscheidend für die Reduktion der abgeführten Wärme (und damit für die Maximierung des Wirkungsgrades) ist, dass nach Öffnen des Auslassventils 12 im Zylinder 7 ein Unterdruck herrscht, und dass das Abgas nach der Expansion im Zylinder 7 auf den Zustand 4' noch im System (bei geschlossener Ventileinrichtung 18) bevorzugt bis auf Umgebungstemperatur abgekühlt wird, bevor es in die Umgebung ausgeschoben wird.

**[0093]** Bei Kolbenmotoren 6 dieser Bauart muss das Einlassventil 13 gegenüber dem Druck der Kompressoreinrichtung 19 bzw. den Druck in der externen Heizeinrichtung 22 abdichten. In den Fig. 10a-f ist dies durch ein verkehrt wirkendes Einlassventil 13 symbolisiert.

**[0094]** Diese Ausführungsform ermöglicht eine Minimierung der abzuführenden Wärmeenergie nach erfolgter Expansion bis zur isobaren (Zustandspunkt 4' in Fig. 1) oder bis unter die Isobare - im Extremfall bis zur Isotherme (Zustandspunkt 4" in Fig. 1) durch eine Abgaskühlung bis auf Umgebungstemperatur und eine Ventileinrichtung 18 nach dem Hauptabgaskühlungssystem 17, welches erst öffnet, wenn im Zylinder 7 und im Hauptabgaskühlungssystem 17 im Wesentlichen Umgebungsdruck herrscht.

**[0095]** Im Folgenden wird anhand der Fig. 11 und der Fig. 11a-h eine sechste Ausführungsform eines Kolbenmotors 6 näher erläutert. Diese Ausführungsform ermöglicht zusätzlich eine Wärmezufuhr oberhalb der Isobaren 2-3", welche zu einer Erhöhung der technischen Arbeit entsprechend der Fläche 2-2'-2" im Ts-Diagramm (Fig. 1) führt, damit sich der Wirkungsgrad gegenüber der isobaren Wärmezufuhr weiter erhöht. Hierzu ist vorgesehen, dass sich zwischen der Kompressoreinrichtung 19 und der externen Heizeinrichtung 22 ein Pufferspeicher 23 und eine daran anschließende gesteuerte Zuführventileinrichtung 24 (bevorzugt ein Rückschlagventil) befindet.

**[0096]** Diese Ausführungsform wird anhand der Fig. 11 kurz erläutert, wobei nur auf die Unterschiede zum vorangegangenen Ausführungsbeispiel eingegangen wird.

**[0097]** Im Folgenden wird der Verfahrensablauf anhand der Fig. 11a-h kurz erläutert. Gemäß Fig. 11a wird die Luft in der Kompressoreinrichtung 19 adiabatisch komprimiert (vom Kreislaufstartpunkt 1 nach Zustandspunkt 2 in Fig. 1).

5 Im Pufferspeicher 23 herrscht ein annähernd konstanter Druck (Zustandspunkt 2 in Fig. 1). Bevor das Einlassventil 13 öffnet, findet in der externen Heizeinrichtung 22 eine isochore Erwärmung statt (Zustandspunkt 2 nach Zwischenpunkt 2'). Die Luft ist quasi in dem Raum zwischen der gesteuerten Zuführventileinrichtung 24 und dem Einlassventil 13 eingeschlossen.

10 **[0098]** Nach Fig. 11b herrscht, wenn das Einlassventil 13 im oberen Totpunkt OT geöffnet wird, im Zylinder 7 der Zustand wie in der externen Heizeinrichtung 22 nach isochorer Erwärmung (Zwischenpunkt 2' in Fig. 1). Nach Fig. 11c wird durch eine Abwärtsbewegung des Kolbens 11 in der externen Heizeinrichtung 22 und im Zylinder 7 eine annähernd isotherme Wärmezufuhr bzw. Expansion durchgeführt (Zwischenpunkt 2' nach Zwischenpunkt 2'') bis der Druck der Isobaren (von Zustandspunkt 2 nach 3'' in Fig. 1) erreicht ist.

15 **[0099]** Wenn im Zylinder 7 und in der externen Heizeinrichtung 22 der Druck des Pufferspeichers 23 erreicht wird (entsprechend der Isobaren von Zustandspunkt 2 nach 3'' in Fig. 1), öffnet die gesteuerte Zuführventileinrichtung 24 zwischen Pufferspeicher 23 und externer Heizeinrichtung 22. Im Anschluss erfolgt eine isobare Wärmezufuhr bzw. Expansion (Zwischenpunkt 2'' nach 3'' in Fig. 1) (siehe Fig. 11d).

20 **[0100]** Durch Schließen des Einlassventils 13 ist die isobare Erwärmung/Expansion abgeschlossen. Der Zylinder 7 ist nun mit dem Füllvolumen VK gefüllt, was einer Teilbefüllung des Zylinders 7 entspricht (siehe Fig. 11e). Nach Schließen des Einlassventils 13 erfolgt die erweiterte Expansion im Zylinder 7 adiabatisch von (Zustandspunkt 3'' nach 4' in Fig. 1). Wenn das Einlassventil 13 geschlossen ist, beginnt in der externen Heizeinrichtung 22 wieder die isochore Erwärmung (Zustandspunkt 2 nach 2' in Fig. 1).

25 **[0101]** Und wie immer, wenn das Auslassventil geschlossen ist, wird im Hauptabgaskühlsystem 17 das heiße Abgas permanent isochor abgekühlt (von Zustandspunkt 4' nach 5 in Fig. 1). Die isochore Erwärmung in der externen Heizeinrichtung 22 bei geschlossenem Einlassventil 13 und die isochore Abkühlung im Hauptabgaskühlsystem 17 bei geschlossenem Auslassventil 12 finden räumlich und zeitlich getrennt von den Zustandsänderungen im Zylinder 7 ab. Dadurch durchläuft ein Gaspaket Zustandsänderungen im Ts-Diagramm, welche eine größere Fläche umschließen. Diese Fläche entspricht der technischen Arbeit des Kreisprozesses, daher werden erfindungsgemäß die technische Arbeit und damit der Wirkungsgrad bei gegebener zugehöriger Wärme maximiert.

30 **[0102]** Im unteren Totpunkt UT ist die adiabatische Expansion abgeschlossen. Im Zylinder 7 herrscht nun der Zustandspunkt 4' (siehe Fig. 1 und Fig. 11f). Im Hauptabgaskühlsystem 17 wurde das heiße Gas permanent isochor abgekühlt (Zustandspunkt 4' nach 5 in Fig. 1). Im Hauptabgaskühlsystem 17 herrscht dadurch Unterdruck. Durch das Öffnen des Auslassventils 12 im unteren Totpunkt (UT) herrscht nun im Zylinder 7 Unterdruck (siehe Fig. 11g), und es erfolgt anfangs im Zylinder 7 ungefähr der gleiche Vorgang wie im Hauptabgaskühlsystem 17 (von Zustandspunkt 4' nach 5 in Fig. 1).

35 **[0103]** Aus Fig. 11h ist zu erkennen, dass während der Aufwärtsbewegung des Kolbens 11 das heiße Abgas in das Hauptabgaskühlsystem 17 ausgeschoben wird und im Hauptabgaskühlsystem 17 isotherm abgekühlt/komprimiert wird (von Zwischenpunkt 5 nach Kreislaufstartpunkt 1). Erst wenn im Zylinder 7/im Hauptabgaskühlsystem 17 kurz vor dem oberen Totpunkt OT Umgebungsdruck erreicht wird, öffnet die gesteuerte Ventileinrichtung 18 und entlässt das abgekühlte Abgasvolumen in die Umgebung. Die Erwärmung in der externen Heizeinrichtung 22 kann auf unterschiedlichste Weise erfolgen. Auch eine solare Erwärmung ist möglich.

#### Bezugszeichenliste

45 **[0104]**

- |     |   |
|-----|---|
| 1   | Kreislaufstartpunkt   |
| 2   | Zustand nach adiabatischer Kompression  |
| 2'  | Zwischenpunkt nach isochorer Wärmezufuhr                                      |
| 50  | 2'' Zwischenpunkt nach isothermer Wärmezufuhr von 2' zur Isobaren (2-3')      |
| 3   | Zustandspunkt nach isochorer Wärmezufuhr                                      |
| 3'  | Zustandspunkt nach isobarer Wärmezufuhr nachfolgend 2'                        |
| 3'' | Zustandspunkt nach isobarer Wärmezufuhr nachfolgend 2                         |
| 4   | Zustandspunkt nach adiabatischer Expansion zur Isochoren (1-4)                |
| 55  | 4' Zustandspunkt nach adiabatischer erweiterten Expansion zur Isobaren (1-4') |
| 4'' | Zustandspunkt nach adiabatischer erweiterter Expansion zur Isothermen (1-4'') |
| 5   | Zwischenpunkt nach isochorer Abkühlung von 4' bis auf die Isotherme (1-4'')   |
| 6   | Kolbenmotor   |

7	Zylinder
8	Kurbelgehäuse
9	Kurbelwelle
10	Pleuel
5	11 Kolben
	12 Auslassventil
	12' Auslassventil
	13 Einlassventil
	13' Einlassventil
10	14 Zündkerze
	15 Einspritzdüse (Direkteinspritzung)
	16 Einspritzdüse (Saugrohreinspritzung)
	17 Hauptabgaskühlsystem
	17' Hilfsabgaskühlsystem
15	18 gesteuerte Ventileinrichtung
	18' gesteuerte Ventileinrichtung
	19 Kompressoreinrichtung
	20 Ventilsitz
	21 Absatz
20	22 externe Heizeinrichtung
	23 Pufferspeicher
	24 gesteuerte Zuführventileinrichtung
OT	oberer Totpunkt
UT	unterer Totpunkt
25	VK Kompressionsvolumen
	VE Expansionsvolumen
	VV Verdichtungsvolumen (Restvolumen im Zylinder bei OT)

### 30 Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines getaktet angetriebenen Kolbenmotors (6), der mindestens einen Zylinder (7), mindestens ein im Bereich des Zylinderkopfs angeordnetes Einlassventil (13, 13') und mindestens ein im Bereich des Zylinderkopfs angeordnetes Auslassventil (12, 12') und einen in dem mindestens einen Zylinder (7) zwischen einem unteren Totpunkt (UT) und einem oberen Totpunkt (OT) Hubbewegungen ausführbaren Kolben (11) aufweist, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

Durchführen eines Ladungswechsels im Zylinder (7) mittels des mindestens einen Einlassventils (13, 13') und des mindestens einen Auslassventils (12, 12'), wobei eine Teilbefüllung des Zylinders (7) mit einem bevorzugt von den Ventilsteuzeiten vorbestimmten resultierenden Kompressions- oder Füllvolumen erzielt wird, Durchführen einer erweiterten Expansion während des Abwärthubs des Kolbens (11) vom oberen zum unteren Totpunkt (OT, UT), wobei das Expansionsvolumen (VE) im Zylinder (7), bevorzugt mindestens zweimal größer ist als das vorbestimmte, resultierende Kompressions- oder Füllvolumen (VK), Abgeben des Abgases nach erfolgter erweiterter Expansion aus dem Zylinder (7) mittels des einen Auslassventils (12) oder eines der Auslassventile (12) in ein Hauptabgaskühlsystem (17), das mittels einer gesteuerten Ventileinrichtung (18) gekühltes Abgas, bevorzugt an die Umgebung, abgibt, und Abkühlen des Abgases in dem Hauptabgaskühlsystem (17), wobei gekühltes Abgas erst dann mittels der gesteuerten Ventileinrichtung (18) abgegeben wird, wenn der Druck im Zylinder (7) und/oder im Hauptabgaskühlsystem (17) im Wesentlichen den Umgebungsdruck erreicht oder einen Wert erreicht, der bevorzugt maximal 0,5 bar und weiter bevorzugt maximal 0,25 bar vom Umgebungsdruck abweicht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Abgas im Hauptabgaskühlsystem (17) im Wesentlichen isochor auf einen Druck unterhalb des Umgebungsdrucks derart abgekühlt wird, dass ein Ausstoßen von Abgas aus dem Zylinder (7) in das Hauptabgaskühlsystem (17) vorrangig bei einem Druck erfolgt, der geringer ist als der Umgebungsdruck.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die gesteuerte Ventileinrichtung (18) beim Öffnen des einen Auslassventils (12) oder des einen der Auslassventile (12) das Hauptabgaskühlsystem (17) von

der Umgebung zumindest solange trennt, wie der Druck im Zylinder (7) und/oder im Hauptabgaskühlsystem (17) im Wesentlichen unterhalb des Umgebungsdrucks liegt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Hilfsabgassystem (17') vorgesehen ist, in das zumindest ein Teilstrom des Abgases zum Abbau eines gegebenenfalls vorhandenen Überdrucks, der im Wesentlichen oberhalb des Umgebungsdrucks liegt, eingeleitet wird und das bevorzugt mittels einer gesteuerten Ventileinrichtung (18') den Teilstrom des Abgases, bevorzugt an die Umgebung, abgibt, wobei der Druckabbau im Wesentlichen erfolgt, bevor das restliche Abgas in das Hauptabgaskühlsystem (17) abgegeben wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kolbenmotor im Zwei-Taktbetrieb läuft.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das eine Auslassventil (12) oder das eine der Auslassventile (12) zumindest solange bei der Aufwärtsbewegung des Kolbens (11) zwischen unterem Totpunkt (UT) und oberem Totpunkt (OT) geöffnet bleibt, bis der Druck im Zylinder (7) oder im Hauptabgaskühlsystem (17) den Öffnungsdruck der gesteuerten Ventileinrichtung (18) erreicht.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ladungswechsel während der Aufwärtsbewegung des Kolbens (11) vom unteren zum oberen Totpunkt (UT, OT) bei geöffnetem Einlassventil (13) oder einem der geöffneten Einlassventile (13, 13') und geöffnetem Auslassventil (12) oder einem geöffneten der Auslassventile (12, 12') erfolgt, wobei anschließend durch Schließen des Auslassventils (12) oder des einen der Auslassventile (12, 12') und des Einlassventils (13) oder des einen der Einlassventile (13, 13') die Kompression mit dem vorbestimmten, resultierenden Kompressionsvolumen (VK) in der oberen Hälfte des Kolbenhubs beginnt, und wobei bevorzugt die Schließzeiten und/oder Schließzeitpunkte des einen Einlassventils (13) oder der Einlassventile (13, 13') und/oder des einen Auslassventils (12) oder der Auslassventile (12, 12') veränderbar sind, um das Verdichtungsverhältnis zu ändern.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** Gas, bevorzugt Luft, vor dem Ladungswechsel außerhalb des mindestens einen Zylinders (7) mittels einer Kompressoreinrichtung (19) auf einen vorbestimmten Druck komprimiert wird, anschließend das komprimierte Gas mittels einer Heizeinrichtung (22) erwärmt wird und mittels des einen Einlassventils (13) oder eines der Einlassventile (13) das komprimierte und erwärmte Gas im Wesentlichen bei der Abwärtsbewegung des Kolbens (11) vom oberen zum unteren Totpunkt (OT, UT) in den Zylinder (7) eingeleitet wird, wobei durch Schließen des einen Einlassventils (13) oder eines der Einlassventile (13) vorzugsweise in der oberen Hälfte des Kolbenhubs ein vorbestimmtes, resultierendes Füllvolumen (VK) erzielt wird, welches kleiner ist als das Expansionsvolumen (VE), und wobei bevorzugt die Schließzeiten und/oder Schließzeitpunkte des Einlassventils (13) oder der Einlassventile (13) veränderbar sind, um das Füllvolumen (VK) zu ändern.
25. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass**, wenn das eine Einlassventil (13) oder das eine der Einlassventile (13) geöffnet ist, das Gas die Heizeinrichtung (22) durchströmt und in dieser beim Durchströmen, bevorzugt im Wesentlichen bei dem von der Kompressoreinrichtung (19) bereitgestellten Druck, erwärmt wird.
30. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das komprimierte Gas in einem optionalen Pufferspeicher (23) zwischengespeichert wird und mittels einer gesteuerten, bevorzugt druckgesteuerten, Zuführventileinrichtung (24) der Heizeinrichtung (22) zugeführt wird und in der Heizeinrichtung (22) im Wesentlichen isochor erwärmt wird.
35. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** zunächst das erwärmte Gas aus der Heizeinrichtung (22) bei geöffnetem Einlassventil (13) oder bei dem einen geöffneten der Einlassventile (13) in den Zylinder (7) strömt, anschließend bei Erreichen eines vorbestimmten Drucks die gesteuerte Zuführventileinrichtung (24) öffnet und weiteres Gas aus dem Pufferspeicher (23) die Heizeinrichtung (22) durchströmt und im Wesentlichen bei dem von dem Pufferspeicher (23) bereitgestellten Druck erwärmt wird und ebenfalls in den Zylinder (7) strömt.
40. Kolbenmotor (6) zum Durchführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **gekennzeichnet durch** mindestens einen Zylinder (7), mindestens ein im Bereich des Zylinderkopfs angeordnetes Einlassventil (13, 13') und mindestens ein im Bereich des Zylinderkopfs angeordnetes Auslassventil (12, 12'), einen in dem mindestens einen Zylinder (7) zwischen einem unteren Totpunkt (UT) und einem oberen Totpunkt (OT) Hubbewegungen ausführbaren Kolben (11) und einen mit dem mindestens einen Auslassventil (12) strömungsverbundenen Hauptab-

gaskühlsystem (17), das mittels einer gesteuerten Ventileinrichtung (17) von der Umgebung derart trennbar, dass ein Ausstoßen des Abgases aus dem Zylinder (7) in das Hauptabgaskühlsystem (17) bei geschlossener gesteuerten Ventileinrichtung (18) bei einem ersten Druckniveau erfolgt, das im Wesentlichen unterhalb des Umgebungsdrucks liegt, und das ein Ausstoßen des Abgases aus dem Hauptabgaskühlsystem (17) bei geöffneter gesteuerten Ventileinrichtung (18) bei einem höheren Druckniveau als das erste Druckniveau erfolgt.

- 5      13. Kolbenmotor (6) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das eine Einlassventil (13) oder das eine der Einlassventile (13, 13') mit zunehmendem Ventilhub einen veränderlichen Strömungsquerschnitt derart aufweist, dass ein Einströmen in den Zylinder (7) anfangs in Richtung der auf die Zylinderwand und bei zunehmendem Ventilhub vermehrt auch in Richtung auf die Zylindermitte erfolgt.
- 10     14. Kolbenmotor (6) nach einem der Ansprüche 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens zwei Einlassventile (13, 13') vorgesehen sind, wobei das eine der Einlassventile (13') zum Einströmen der Frischluft in den Zylinder (11) ausgebildet ist und das andere Einlassventil (13) zum Einströmen von einem, bevorzugt gasförmigen, Treibstoff oder einem zündfähigen Gemisch mit einem vorbestimmten Überdruck ausgebildet ist.
- 15     15. Kolbenmotor (6) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem einen Einlassventil (13) oder dem einen der Einlassventile (13) eine Kompressoreinrichtung (19) und eine Heizeinrichtung (22) vorgeschaltet sind, wobei die Kompressoreinrichtung (19) und die Heizeinrichtung (22) derart ausgestaltet sind, dass mittels dieser zumindest zeitweise eine im Wesentlichen isobare Wärmezufuhr bewirkbar ist.
- 20     16. Kolbenmotor (6) nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen der Kompressoreinrichtung (19) und dem einen Einlassventil (13) oder dem einen der Einlassventile (13) ein optionaler Pufferspeicher (23) und eine gesteuerte Zuführventileinrichtung (24) vorgesehen ist, wobei die gesteuerte Zuführventileinrichtung (24) zumindest zeitweise die Heizeinrichtung (22) von der Kompressoreinrichtung (19) und ggf. dem optionalen Pufferspeicher (23) trennt und bei geschlossenem einen Einlassventil (13) oder dem geschlossenen der Einlassventile (13) eine im Wesentlichen isochore Erwärmung in der Heizeinrichtung (22) ermöglicht ist.

### 30    Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ.

- 1. Verfahren zum Betreiben eines getaktet angetriebenen Kolbenmotors (6), der mindestens einen Zylinder (7), mindestens ein im Bereich des Zylinderkopfs angeordnetes Einlassventil (13, 13') und mindestens ein im Bereich des Zylinderkopfs angeordnetes Auslassventil (12, 12') und einen in dem mindestens einen Zylinder (7) zwischen einem unteren Totpunkt (UT) und einem oberen Totpunkt (OT) Hubbewegungen ausführbaren Kolben (11) aufweist, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:
 

Durchführen eines Ladungswechsels im Zylinder (7) mittels des mindestens einen Einlassventils (13, 13') und des mindestens einen Auslassventils (12, 12'), wobei eine Teilbefüllung des Zylinders (7) mit einem bevorzugt von den Ventilsteuzeiten vorbestimmten resultierenden Kompressions- oder Füllvolumen erzielt wird, Durchführen einer erweiterten Expansion während des Abwärthubs des Kolbens (11) vom oberen zum unteren Totpunkt (OT, UT), wobei das Expansionsvolumen (VE) im Zylinder (7), bevorzugt mindestens zweimal größer ist als das vorbestimmte, resultierende Kompressions- oder Füllvolumen (VK), Abgeben des Abgases nach erfolgter erweiterter Expansion aus dem Zylinder (7) mittels des einen Auslassventils (12) oder eines der Auslassventile (12) in ein Hauptabgaskühlsystem (17), das mittels einer von dem Abgas aus dem Zylinder (7) abgebenden Auslassventil (12) separat ausgebildeten, gesteuerten Ventileinrichtung (18) gekühltes Abgas, bevorzugt an die Umgebung, abgibt, und Abkühlen des Abgases in dem Hauptabgaskühlsystem (17), wobei gekühltes Abgas erst dann mittels der gesteuerten Ventileinrichtung (18) abgegeben wird, wenn der Druck im Zylinder (7) und/oder im Hauptabgaskühlsystem (17) den Umgebungsdruck erreicht oder einen Wert erreicht, der maximal 0,5 bar und bevorzugt maximal 0,25 bar vom Umgebungsdruck abweicht.
- 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Abgas im Hauptabgaskühlsystem (17) im Wesentlichen isochor auf einen Druck unterhalb des Umgebungsdrucks derart abgekühlt wird, dass ein Ausstoßen von Abgas aus dem Zylinder (7) in das Hauptabgaskühlsystem (17) vorrangig bei einem Druck erfolgt, der geringer ist als der Umgebungsdruck.
- 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die gesteuerte Ventileinrichtung (18) beim

Öffnen des einen Auslassventils (12) oder des einen der Auslassventile (12) das Hauptabgaskühlsystem (17) von der Umgebung zumindest solange trennt, wie der Druck im Zylinder (7) und/oder im Hauptabgaskühlsystem (17) im Wesentlichen unterhalb des Umgebungsdrucks liegt.

- 5      4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Hilfsabgassystem (17') vorge-  
sehen ist, in das zumindest ein Teilstrom des Abgases zum Abbau eines gegebenenfalls vorhandenen Überdrucks,  
der im Wesentlichen oberhalb des Umgebungsdrucks liegt, eingeleitet wird und das bevorzugt mittels einer gesteu-  
erten Ventileinrichtung (18') den Teilstrom des Abgases, bevorzugt an die Umgebung, abgibt, wobei der Druckabbau  
im Wesentlichen erfolgt, bevor das restliche Abgas in das Hauptabgaskühlsystem (17) abgegeben wird.
- 10     5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kolbenmotor im Zwei-Taktbetrieb läuft.
- 15     6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das eine Auslassventil (12) oder das eine der Auslassventile (12) zumindest solange bei der Aufwärtsbewegung des Kolbens (11) zwischen unterem Totpunkt (UT) und oberem Totpunkt (OT) geöffnet bleibt, bis der Druck im Zylinder (7) oder im Hauptabgaskühlsystem (17) den Öffnungsdruck der gesteuerten Ventileinrichtung (18) erreicht.
- 20     7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ladungswechsel während der Aufwärtsbewegung des Kolbens (11) vom unteren zum oberen Totpunkt (UT, OT) bei geöffnetem Einlassventil (13) oder einem geöffneten der Einlassventile (13, 13') und geöffnetem Auslassventil (12) oder einem geöffneten der Auslassventile (12, 12') erfolgt, wobei anschließend durch Schließen des Auslassventils (12) oder des einen der Auslassventile (12, 12') und des Einlassventils (13) oder des einen der Einlassventile (13, 13') die Kompression mit dem vorbestimmten, resultierenden Kompressionsvolumen (VK) in der oberen Hälfte des Kolbenhubs beginnt.
- 25     8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schließzeiten und/oder Schließzeitpunkte des einen Einlassventils (13) oder der Einlassventile (13, 13') und/oder des einen Auslassventils (12) oder der Auslass-  
ventile (12, 12') veränderbar sind, um das Verdichtungsverhältnis zu ändern.
- 30     9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** Gas, bevorzugt Luft, vor dem Ladungswechsel außerhalb des mindestens einen Zylinders (7) mittels einer Kompressoreinrichtung (19) auf einen vorbestimmten Druck komprimiert wird, anschließend das komprimierte Gas mittels einer Heizeinrichtung (22) erwärmt wird und mittels des einen Einlassventils (13) oder eines der Einlassventile (13) das komprimierte und erwärmte Gas im Wesentlichen bei der Abwärtsbewegung des Kolbens (11) vom oberen zum unteren Totpunkt (OT, UT) in den Zylinder (7) eingeleitet wird, wobei durch Schließen des einen Einlassventils (13) oder eines der Ein-  
lassventile (13) vorzugsweise in der oberen Hälfte des Kolbenhubs ein vorbestimmtes, resultierendes Füllvolumen (VK) erzielt wird, welches kleiner ist als das Expansionsvolumen (VE), und wobei bevorzugt die Schließzeiten und/oder Schließzeitpunkte des Einlassventils (13) oder der Einlassventile (13) veränderbar sind, um das Füllvolu-  
men (VK) zu ändern.
- 40     10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass**, wenn das eine Einlassventil (13) oder das eine der Einlassventile (13) geöffnet ist, das Gas die Heizeinrichtung (22) durchströmt und in dieser beim Durchströmen, bevorzugt im Wesentlichen bei dem von der Kompressoreinrichtung (19) bereitgestellten Druck, erwärmt wird.
- 45     11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das komprimierte Gas in einem Pufferspeicher (23) zwischengespeichert wird und mittels einer gesteuerten, bevorzugt druckgesteuerten, Zuführventileinrichtung (24) der Heizeinrichtung (22) zugeführt wird und in der Heizeinrichtung (22) im Wesentlichen isochor erwärmt wird.
- 50     12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** zunächst das erwärmte Gas aus der Heizeinrichtung (22) bei geöffnetem Einlassventil (13) oder bei dem einen geöffneten der Einlassventile (13) in den Zylinder (7) strömt, anschließend bei Erreichen eines vorbestimmten Drucks die gesteuerte Zuführventileinrichtung (24) öffnet und weiteres Gas aus dem Pufferspeicher (23) die Heizeinrichtung (22) durchströmt und im Wesentlichen bei dem von dem Pufferspeicher (23) bereitgestellten Druck erwärmt wird und ebenfalls in den Zylinder (7) strömt.
- 55     13. Kolbenmotor (6) zum Durchführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **gekennzeichnet durch** mindestens einen Zylinder (7), mindestens ein im Bereich des Zylinderkopfs angeordnetes Einlassventil (13, 13') und mindestens ein im Bereich des Zylinderkopfs angeordnetes Auslassventil (12, 12'), einen in dem mindestens einen Zylinder (7) zwischen einem unteren Totpunkt (UT) und einem oberen Totpunkt (OT) Hubbewegungen aus-

führbaren Kolben (11) und einen mit dem mindestens einen Auslassventil (12) strömungsverbundenen Hauptabgaskühlsystem (17), das mittels einer gesteuerten Ventileinrichtung (17) von der Umgebung derart trennbar, dass ein Ausstoßen des Abgases aus dem Zylinder (7) in das Hauptabgaskühlsystem (17) bei geschlossener gesteuerten Ventileinrichtung (18) bei einem ersten Druckniveau erfolgt, das im Wesentlichen unterhalb des Umgebungsdrucks liegt, und das ein Ausstoßen des Abgases aus dem Hauptabgaskühlsystem (17) bei geöffneter gesteuerten Ventileinrichtung (18) bei einem höheren Druckniveau als das erste Druckniveau erfolgt.

- 5      14. Kolbenmotor (6) nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das eine Einlassventil (13) oder das eine der Einlassventile (13, 13') mit zunehmendem Ventilhub einen veränderlichen Strömungsquerschnitt derart aufweist, dass ein Einströmen in den Zylinder (7) anfangs in Richtung der auf die Zylinderwand und bei zunehmendem Ventilhub vermehrt auch in Richtung auf die Zylindermitte erfolgt.
- 10     15. Kolbenmotor (6) nach einem der Ansprüche 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens zwei Einlassventile (13, 13') vorgesehen sind, wobei das eine der Einlassventile (13') zum Einströmen der Frischluft in den Zylinder (11) ausgebildet ist und das andere Einlassventil (13) zum Einströmen von einem, bevorzugt gasförmigen, Treibstoff oder einem zündfähigen Gemisch mit einem vorbestimmten Überdruck ausgebildet ist.
- 15     16. Kolbenmotor (6) nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem einen Einlassventil (13) oder dem einen der Einlassventile (13) eine Kompressoreinrichtung (19) und eine Heizeinrichtung (22) vorgeschaltet sind, wobei die Kompressoreinrichtung (19) und die Heizeinrichtung (22) derart ausgestaltet sind, dass mittels dieser zumindest zeitweise eine im Wesentlichen isobare Wärmezufuhr bewirkbar ist.
- 20     17. Kolbenmotor (6) nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen der Kompressoreinrichtung (19) und dem einen Einlassventil (13) oder dem einen der Einlassventile (13) ein Pufferspeicher (23) und eine gesteuerte Zuführventileinrichtung (24) vorgesehen ist, wobei die gesteuerte Zuführventileinrichtung (24) zumindest zeitweise die Heizeinrichtung (22) von der Kompressoreinrichtung (19) und ggf. dem Pufferspeicher (23) trennt und bei geschlossenem einen Einlassventil (13) oder dem geschlossenen der Einlassventile (13) eine im Wesentlichen isochore Erwärmung in der Heizeinrichtung (22) ermöglicht ist.

30

35

40

45

50

55

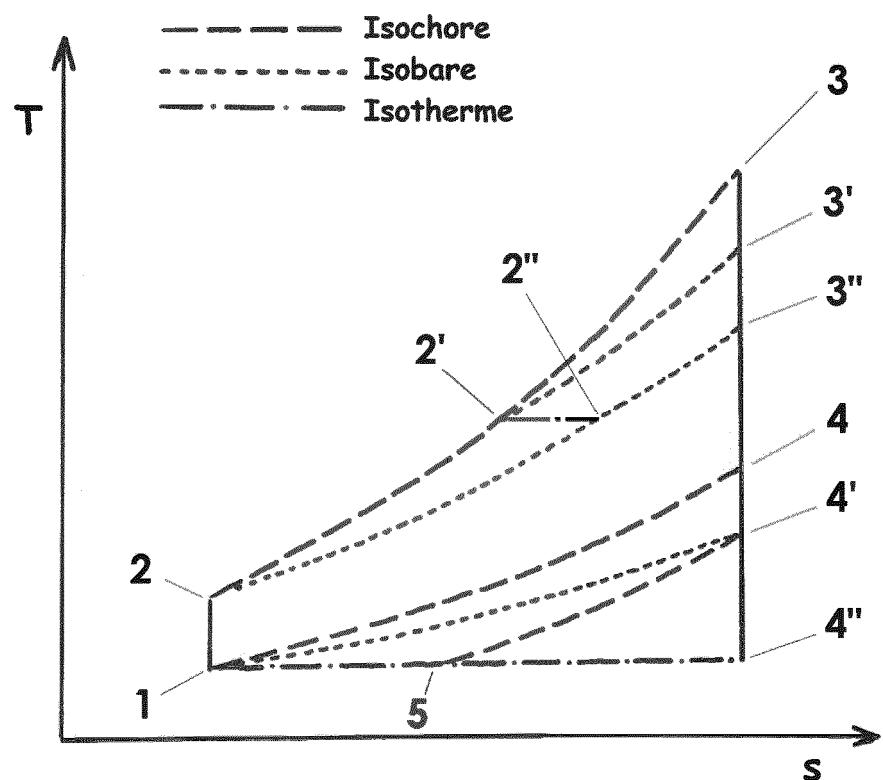


Fig. 1

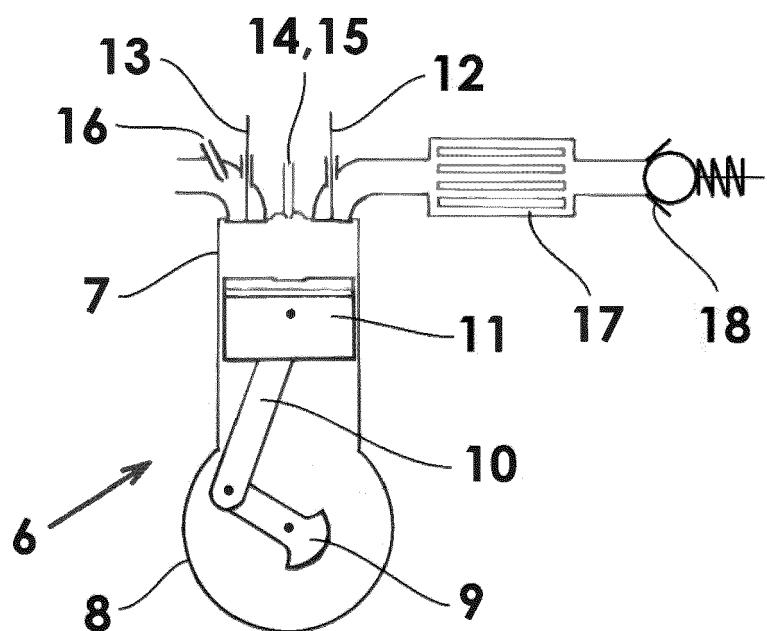


Fig. 2

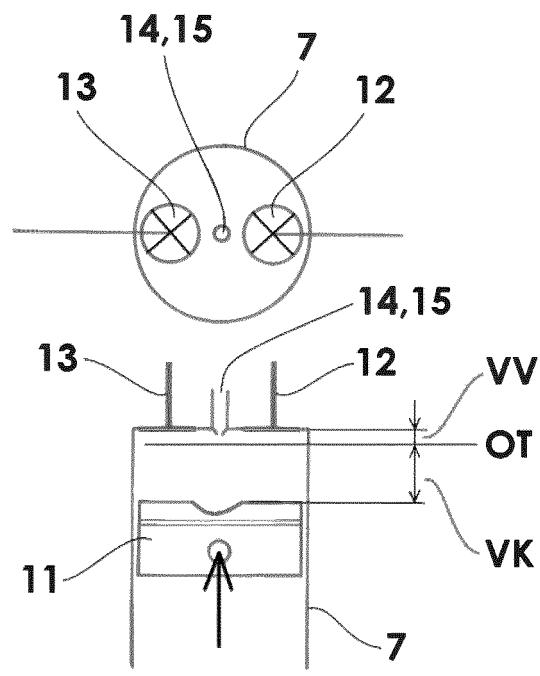


Fig. 3a

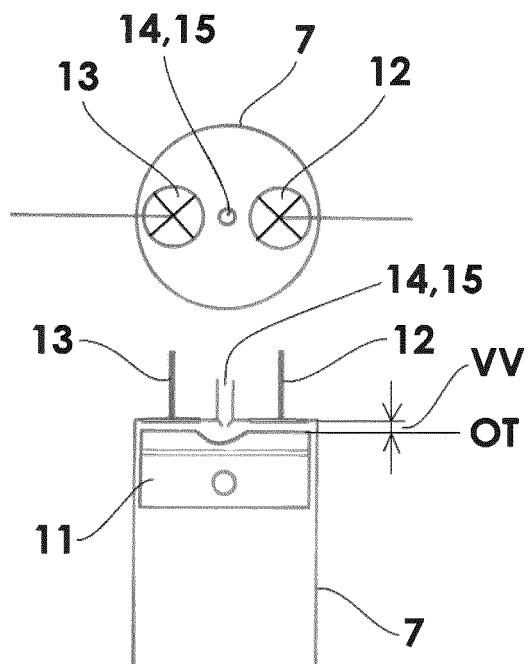


Fig. 3b

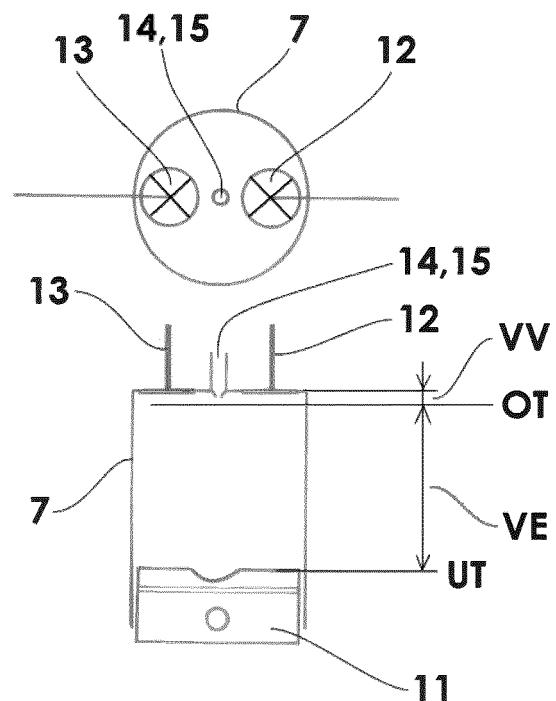


Fig. 3c

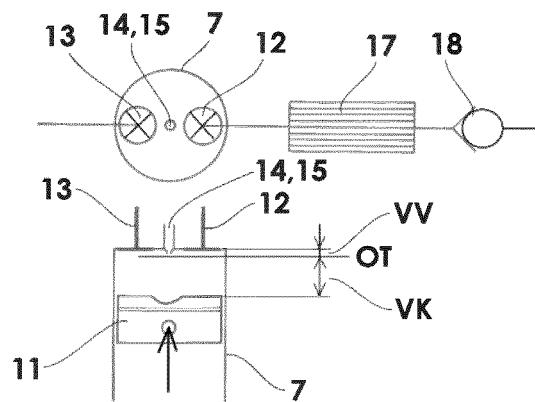


Fig. 4a

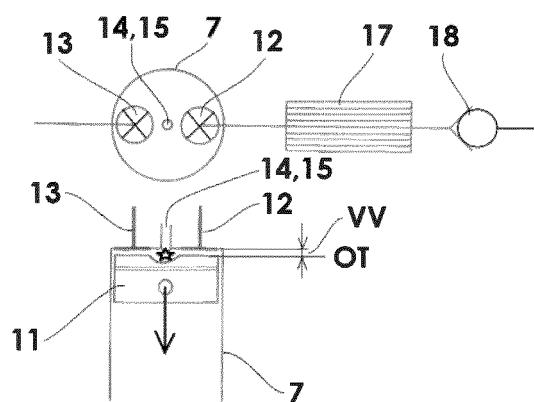


Fig. 4b

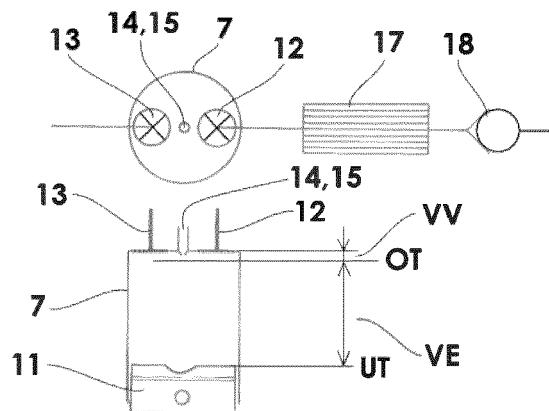


Fig. 4c

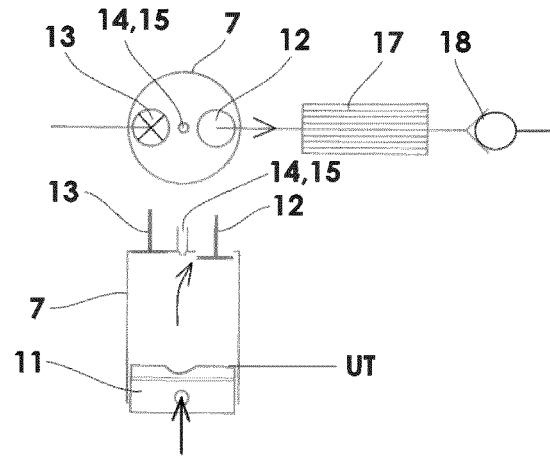


Fig. 4d

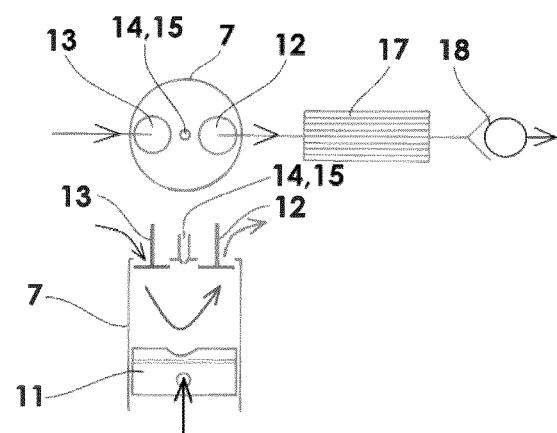


Fig. 4e

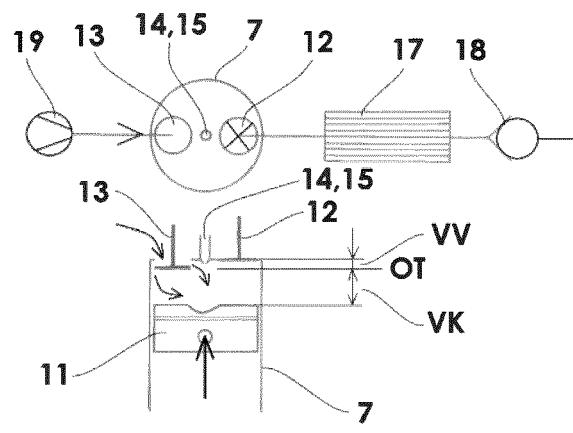


Fig. 4f

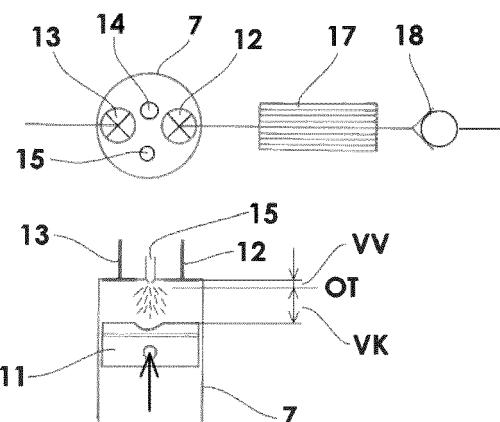


Fig. 5a

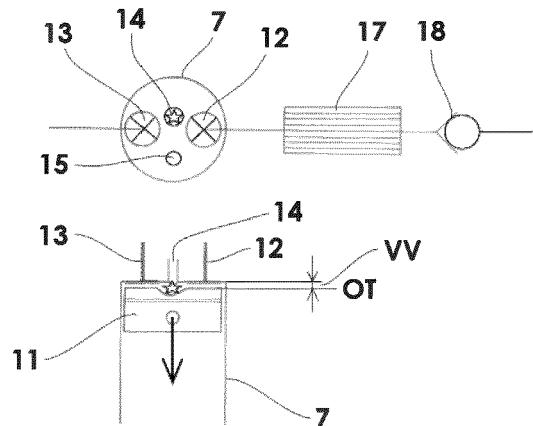


Fig. 5b

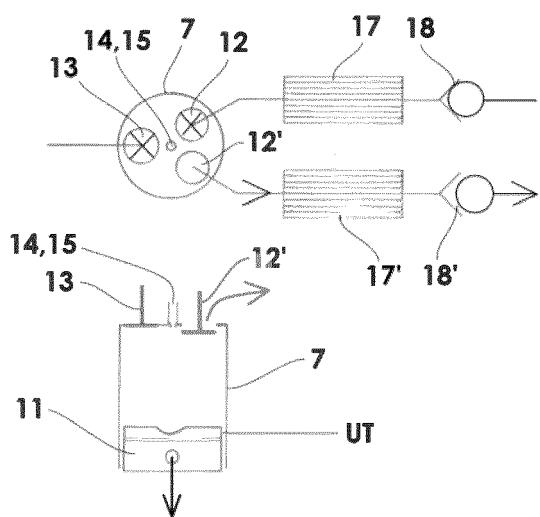


Fig. 6a

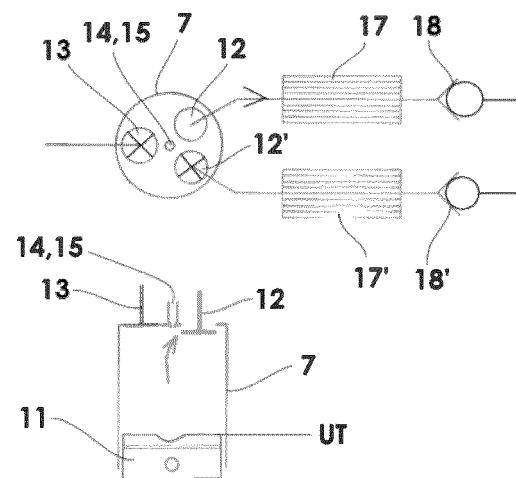


Fig. 6b

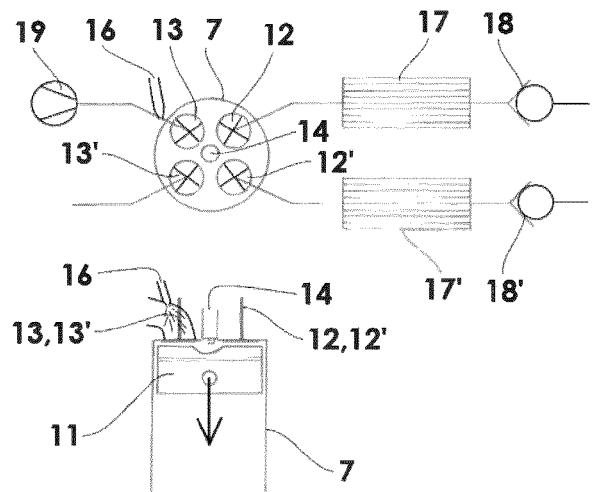


Fig. 7a

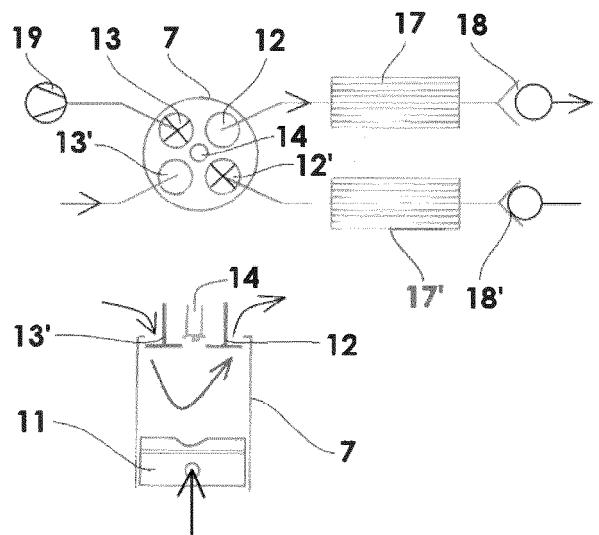


Fig. 7b

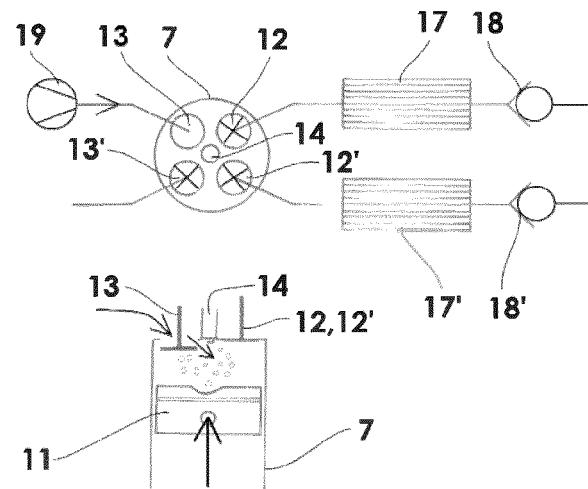


Fig. 7c

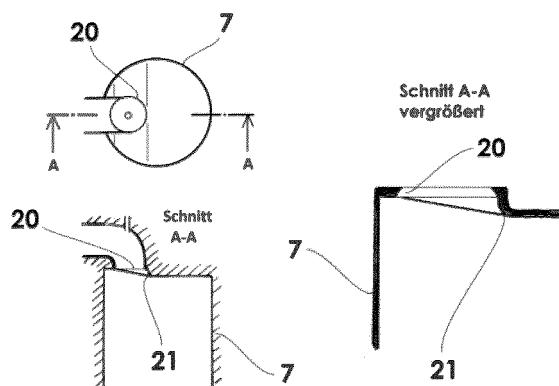


Fig. 8a

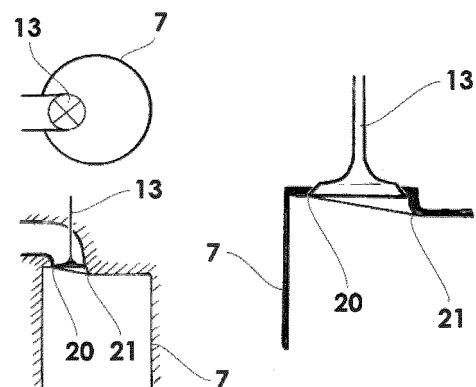


Fig. 8b

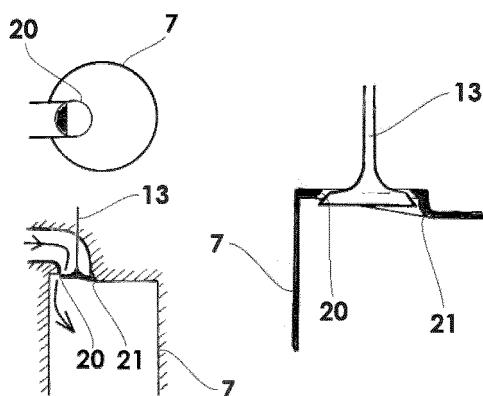


Fig. 8c

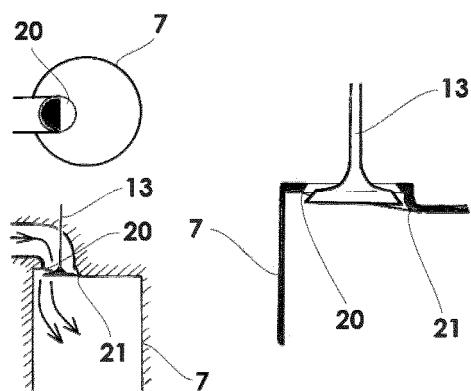


Fig. 8d

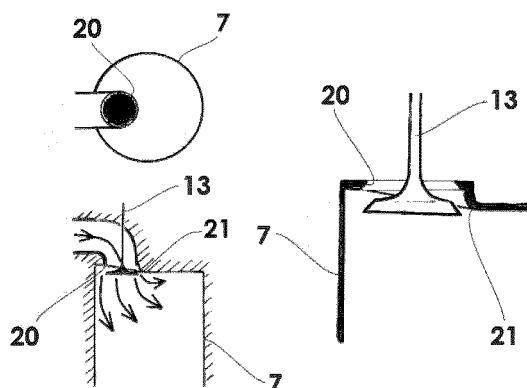


Fig. 8e

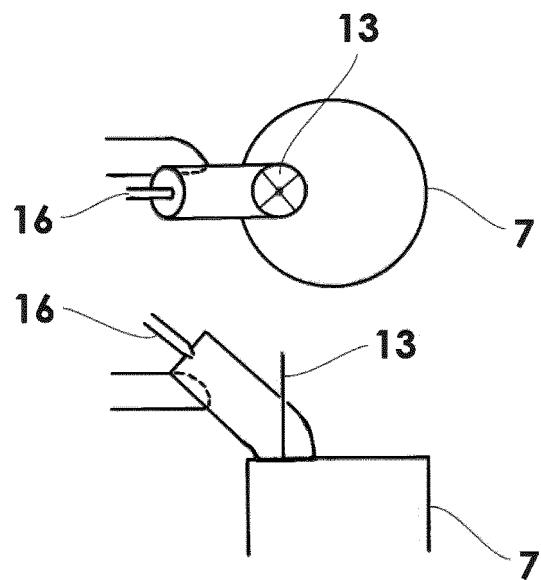


Fig. 9a

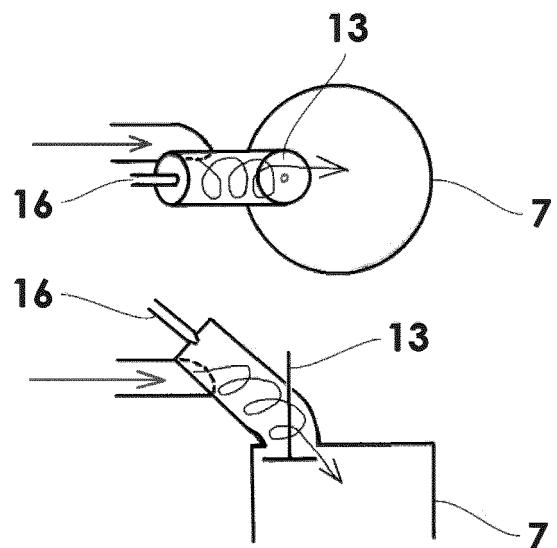


Fig. 9b

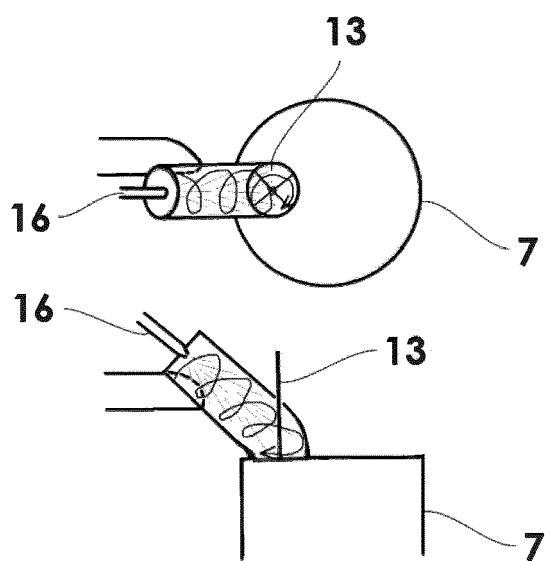


Fig. 9c

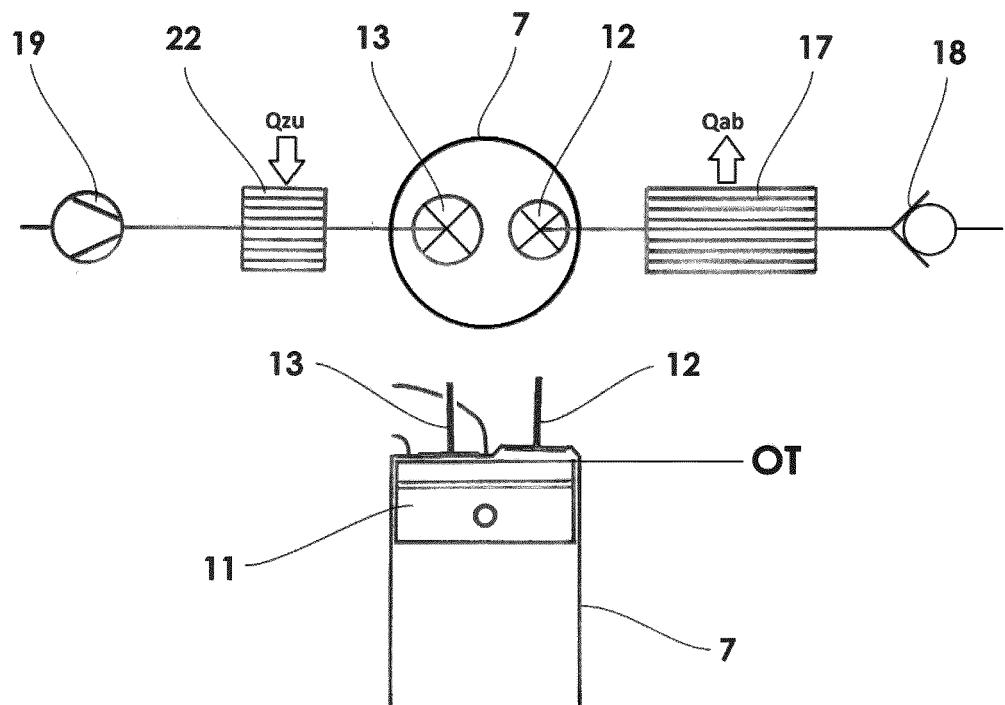


Fig. 10

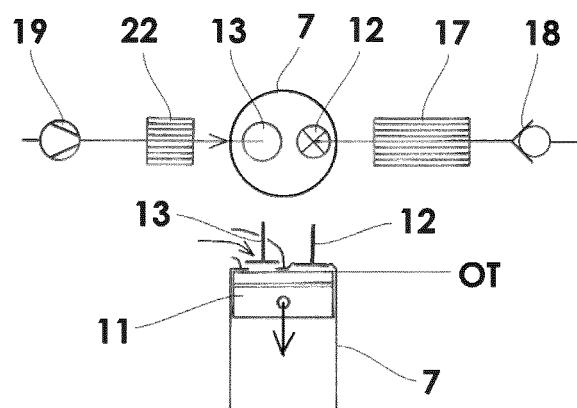


Fig. 10a

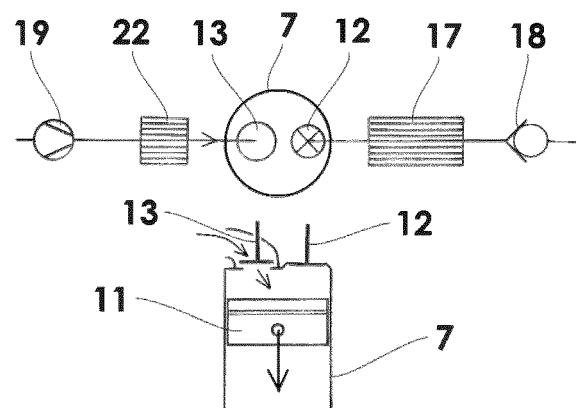


Fig. 10b

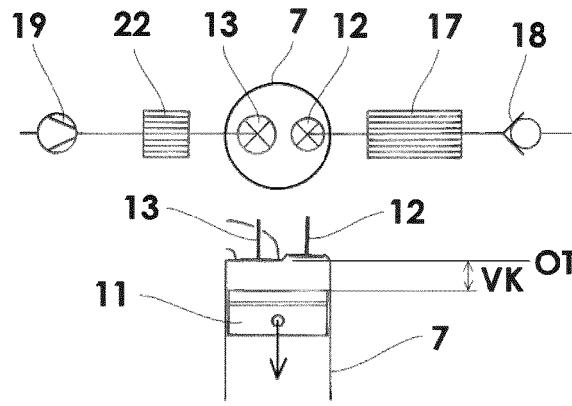


Fig. 10c

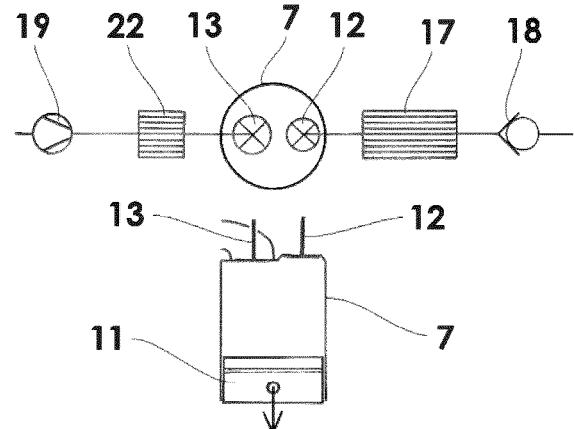


Fig. 10d

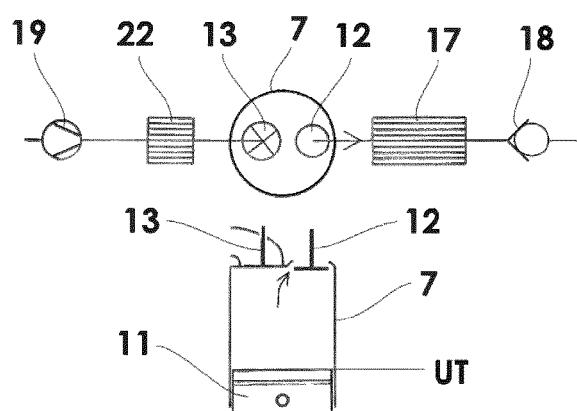


Fig. 10e

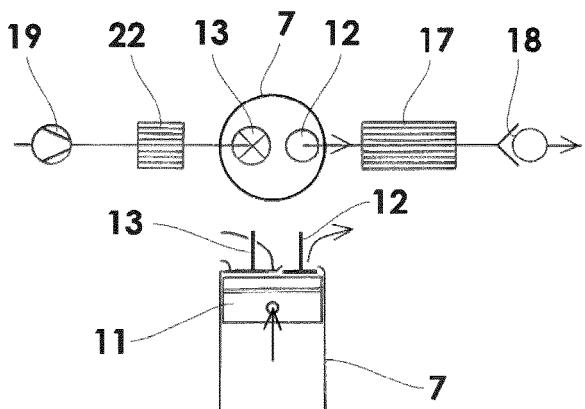


Fig. 10f

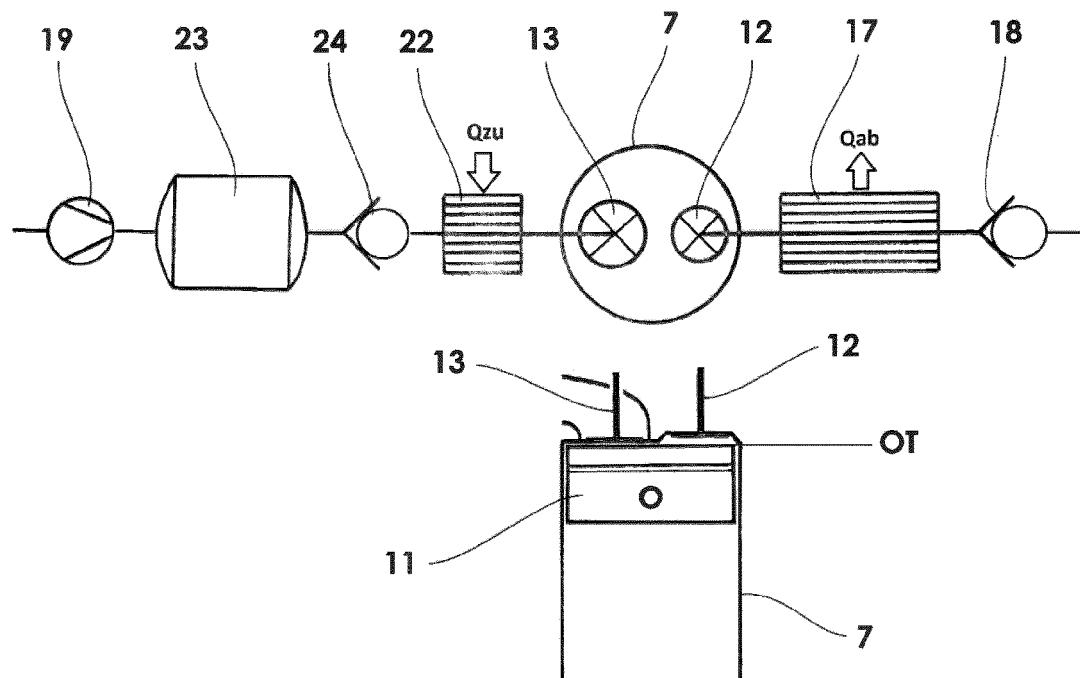


Fig. 11

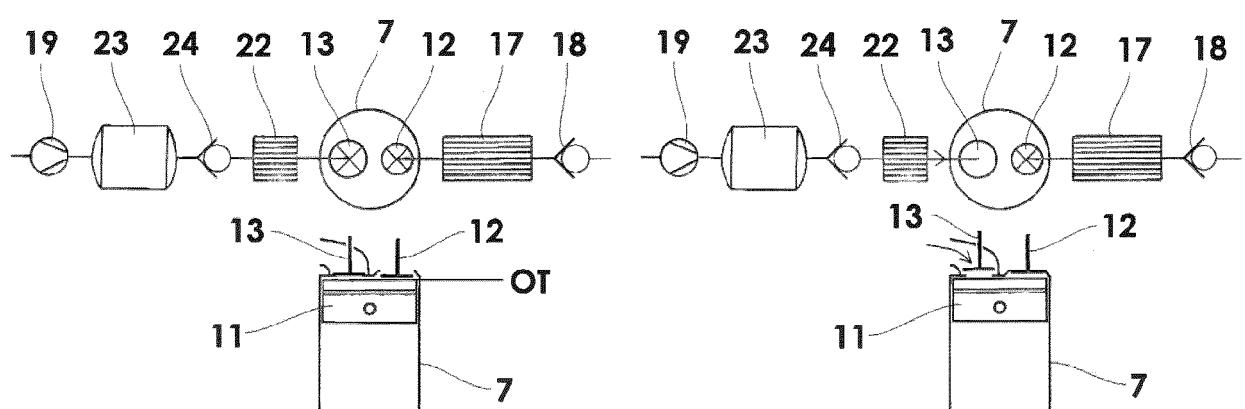


Fig. 11a

Fig. 11b

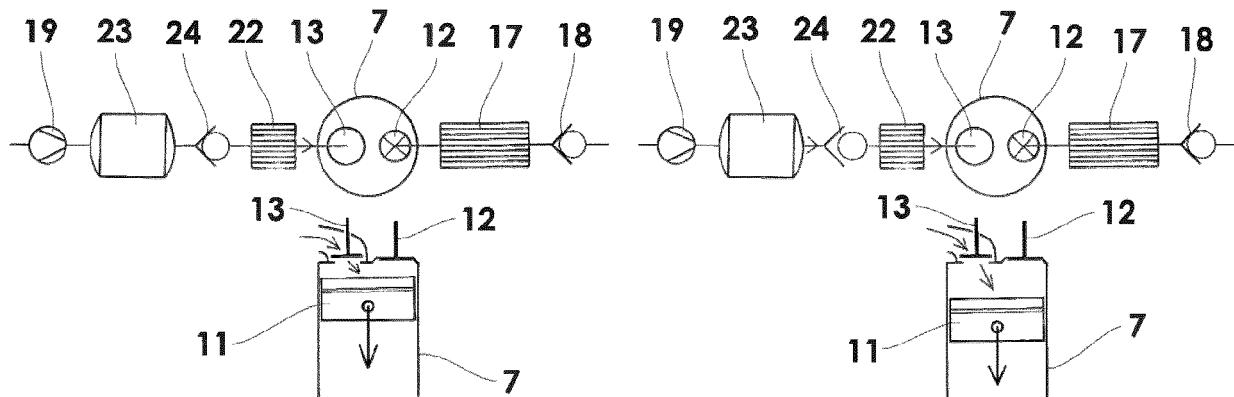


Fig. 11c

Fig. 11d

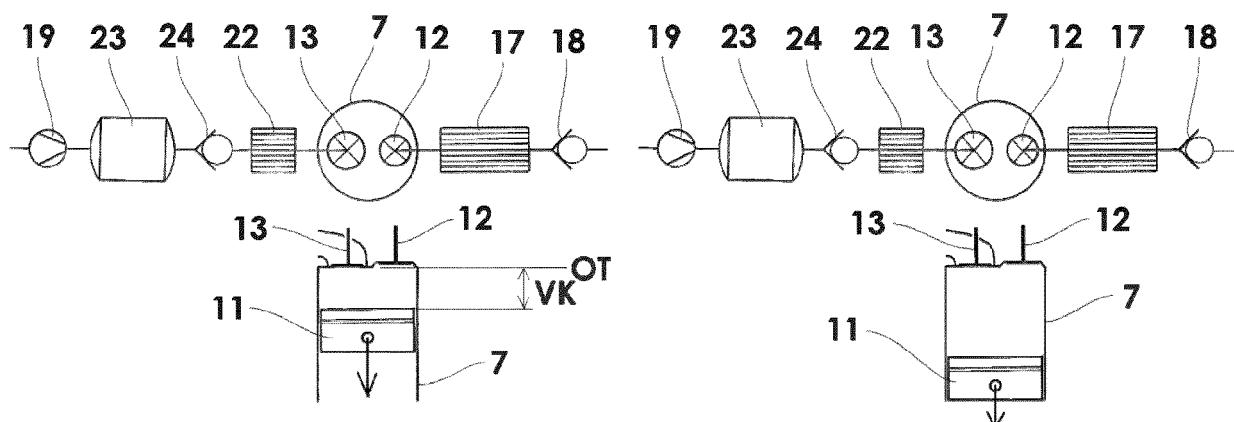


Fig. 11e

Fig. 11f

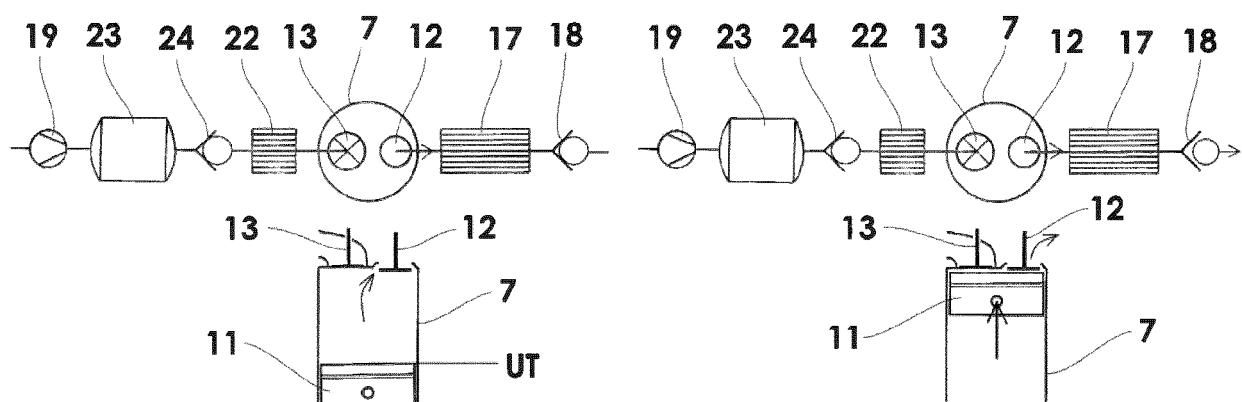


Fig. 11g

Fig. 11h



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 16 6029

5

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE				
	Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betreift Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
10	X	DE 31 30 667 A1 (LINDE AG [DE]) 17. Februar 1983 (1983-02-17) * Seite 6, Zeile 29 – Seite 7, Zeile 34; Abbildungen 1-9 *	1-16	INV. F02B41/04 F01N3/02 F02M31/02 F01N5/02 F02G5/00
15	X	US 8 851 043 B1 (LIGHTSAIL ENERGY INC [US]) 7. Oktober 2014 (2014-10-07) * Spalte 38, Zeile 52 – Spalte 41, Zeile 13; Abbildungen 1,31-34 *	1-16	ADD. F02B7/06 F02B33/00
20	A	US 2017/167365 A1 (GUO YUANJUN [CN]) 15. Juni 2017 (2017-06-15) * Absatz [0052]; Abbildungen 1,6 *	1-16	F02B43/00 F02B75/02
25	A	WO 2017/091098 A1 (EGOROV BORIS LVOVICH [RU]) 1. Juni 2017 (2017-06-01) * Absatz [0031]; Abbildung 1 *	1-16	
30				RECHERCHIERTE SACHGEBiete (IPC)
35				F02B F02M F01N F02G
40				
45				
50	1	Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt		
55	EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)	Recherchenort <b>München</b>	Abschlußdatum der Recherche <b>19. Mai 2022</b>	Prüfer <b>Tietje, Kai</b>
		KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		
		X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze
		Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie		E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmelde datum veröffentlicht worden ist
		A : technologischer Hintergrund		D : in der Anmeldung angeführtes Dokument
		O : nichtschriftliche Offenbarung		L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument
		P : Zwischenliteratur		& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument

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

EP 22 16 6029

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patendokumente 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.

19-05-2022

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	DE 3130667      A1      17-02-1983      KEINE			
15	US 8851043      B1      07-10-2014      US      2014261288 A1      18-09-2014 WO      2014144290 A1      18-09-2014			
	US 2017167365      A1      15-06-2017      CN      104100365 A      15-10-2014 US      2017167365 A1      15-06-2017 WO      2016000402 A1      07-01-2016			
20	WO 2017091098      A1      01-06-2017      KEINE			
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 102008014249 A1 [0002] [0015] [0032]