



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
10.08.2011 Patentblatt 2011/32

(51) Int Cl.:
F01K 7/00 ^(2006.01) **F01K 23/06** ^(2006.01)
F01B 17/04 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10015706.4**

(22) Anmeldetag: **16.12.2010**

(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

(71) Anmelder: **MAN Nutzfahrzeuge Österreich AG**
4400 Steyr (AT)

(72) Erfinder: **Almbauer, Raimund, Prof.Dr.**
8042 Graz (AT)

(30) Priorität: **05.02.2010 AT 1602010**

(54) **Verfahren zum Betrieb eines Kolbenexpanders eines Dampfmotors**

(57) Beschrieben wird ein Verfahren zum Betrieb eines Kolbenexpanders, bei dem aus einer Dampfzuführung (8) Frischdampf durch ein Einlassventil (4) in einen Zylinderraum geleitet wird, der in den Zylinderraum eingeleitete Frischdampf im Arbeitstakt aufgrund einer Bewegung eines Kolbens (9) vom oberen zum unteren Totpunkt entspannt wird und der entspannte Dampf nach Erreichen des unteren Totpunkts aus einer verschließ-

baren Auslassöffnung (5) in eine Dampfableitung geleitet wird.

Die beschriebene technische Lösung zeichnet sich dadurch aus, dass die Auslassöffnung (5) geöffnet wird, sobald sich der Kolben (9) im Bereich des unteren Totpunkts befindet und anschließend geschlossen wird, bevor der Kolben im Ausschietakt den oberen Totpunkt erreicht.

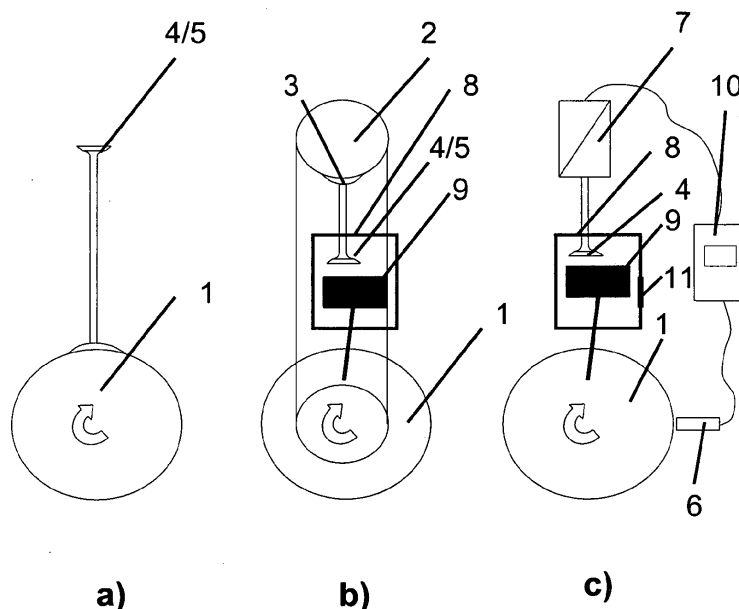


Fig. 3

Beschreibung

[0001] Verfahren zum Betrieb eines Kolbenexpanders eines Dampfmotors.

Technisches Gebiet:

[0002] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Kolbenexpanders, bei dem aus einer Dampfzuführung Frischdampf durch ein Einlassventil in einen Zylinderraum geleitet wird, der in den Zylinderraum eingeleitete Frischdampf im Arbeitstakt aufgrund einer Bewegung eines Kolbens vom oberen zum unteren Todpunkt entspannt wird und der entspannte Dampf nach Erreichen des unteren Todpunktes aus einer verschließbaren Auslassöffnung in eine Dampfabführung geleitet wird.

Stand der Technik:

[0003] Um Kraftstoffeinsparungen, insbesondere bei mobilen Verbrennungskraftmaschinen, wie etwa Kraftfahrzeugverbrennungsmotoren, realisieren zu können, werden derzeit vornehmlich zwei technische Lösungen priorisiert. Neben dem Einsatz unterschiedlicher Hybridkonzepte, die sich vor allem für den Stadt- und Verteilerverkehr aufgrund der dort vorkommenden Brems- und Beschleunigungsvorgänge anbieten, sind ferner Wärmerückgewinnungssysteme bekannt, die die Abwärme einer Verbrennungskraftmaschine nutzen, um zusätzliche Antriebsenergie bereitzustellen. Derartige Systeme zur Abwärmenutzung bieten sich bei mobilen Verbrennungskraftmaschinen vor allem für Fahrzeuge an, die im Fernverkehr betrieben werden.

[0004] In derartigen Abwärmenutzungssystemen wird die im Bereich der Verbrennungskraftmaschine und / oder in der Abgasabführung anfallende Abwärme zumindest teilweise an einen sekundären Wärmekreislauf übertragen. In dem sekundären Wärmekreislauf wird ein Wärmeträgerfluid umgewälzt und hierbei üblicherweise in einem Verdampfer zumindest teilweise verdampft, der Dampf in einer Expansionseinheit, beispielsweise in einem Kolbenexpander, entspannt und schließlich in einem Kondensator wieder verflüssigt. Die mit der Expansionseinheit erzeugte mechanische Arbeit wird als zusätzliche Arbeit dem Antriebssystem, insbesondere einem Fahrzeugantriebssystem, zugeführt. Genauso ist es denkbar, die durch Abwärmenutzung gewonnene mechanische Arbeit zum Antrieb anderer Komponenten, wie etwa eines Gebläses oder eines Verdichters, oder zur Erzeugung elektrischer Energie zu nutzen.

[0005] In diesem Zusammenhang ist aus der DE 10 2006 043 139 A1 ein Wärmerückgewinnungssystem für einen Verbrennungsmotor bekannt. Mit Hilfe des beschriebenen Systems wird dem Fahrzeug zusätzliche Antriebsenergie aus der Abwärme der Verbrennungskraftmaschine und / oder der Abgasanlage zur Verfügung gestellt. Nach Entspannung des dampfförmigen Arbeitsmediums im Expander wird das Arbeitsmedium des se-

kundären Wärmekreislaufs in einen Kondensator gefördert, in dem es unter Wärmeabgabe verflüssigt wird, so dass der entsprechende Dampfkreisprozess geschlossen ist.

[0006] Weiterhin ist aus der derzeit noch nicht veröffentlichten europäischen Patentanmeldung 09009456.6 ein Kolben einer Hubkolbenexpansionsmaschine bekannt, bei dem ein Außendurchmesser des Kolbenhalbes kleiner als ein Außendurchmesser des Kolbenkopfes und / oder des Kolbenschaftes ist und gleichzeitig die Länge des Kolbenhalbes nahezu dem Hub des Kolbens im Einbauzustand entspricht. Mit der beschriebenen technischen Lösung ist es möglich, mit Hilfe verhältnismäßig einfacher konstruktiver Mittel eine effektive Nutzung der in dem Dampf enthaltenen Energie und somit der in einer Verbrennungskraftmaschine anfallenden Verlustwärme zu realisieren. Die beschriebene Konstruktion des Kolbens gewährleistet einen sanften Anlauf einer Kolbenexpansionsmaschine und eine effektive Trennung der Öl- und Dampfkreisläufe. Die effektive Trennung der Öl- und Dampfkreisläufe verhindert zuverlässig eine gegenseitige Verunreinigung der Kreisläufe durch Übertreten des jeweiligen Mediums.

[0007] Die aus dem Stand der Technik bekannten Dampf-Kolbenexpander werden üblicherweise im Zweitaktverfahren betrieben. Hierbei wird am oberen Todpunkt der Frischdampf über ein Einlassventil in einen Zylinder der Expandereinheit eingebracht und im folgenden Arbeitstakt wird der Dampf unter Abgabe von Arbeit entspannt. Schließlich wird im unteren Todpunkt das Auslassventil geöffnet und während des Ausschiebetaktes durch Bewegung des Kolbens vom unteren zum oberen Todpunkt der entspannte Dampf aus dem Zylinder ausgeschoben. Bei Erreichen des oberen Todpunktes schließt das Auslassventil und der entsprechende Kreisprozess beginnt von neuem. In Abhängigkeit der Frischdampfparameter sowie des Gegendrucks auf der Auslassseite muss das Verdichtungsverhältnis derart ausgelegt werden, dass das Arbeitsmedium im Arbeitstakt auf ein geeignetes Niveau entspannt wird.

[0008] Bei zu geringem Verdichtungsverhältnis weist das Arbeitsmedium beim Öffnen des Auslassventils einen Überdruck gegenüber dem Gegendruck in der Auslassleitung auf, was sich aufgrund der potenziellen Möglichkeit, eine größere Entspannung zu erreichen, negativ auf den Wirkungsgrad des Kreisprozesses auswirkt. Wird das Verdichtungsverhältnis hingegen zu groß ausgelegt, wird das Arbeitsmedium auf einen Druck unterhalb des Gegendrucks in der Auslassleitung entspannt, was das Ausschieben des entspannten Dampfs erschwert und sich wiederum negativ auf den Wirkungsgrad des Kreisprozesses auswirkt.

[0009] Der Einsatz von Dampf-Kolbenexpandern bei der Nutzung von Abwärme von Verbrennungskraftmaschinen erfordert eine komplexe Konstruktion. Um allen Anforderungen bzgl. Gewicht, Kosten, Haltbarkeit sowie notwendigem Service erfüllen zu können, werden in der Regel stehende Ventile verwendet. Durch diese

Maßnahme entsteht im oberen Todpunkt ein Schadraum, der vergleichsweise groß ist und somit zu geringen geometrischen Verdichtungsverhältnissen führt. Hierdurch ergibt sich oftmals das Problem, dass nicht einmal der Schadraum hinreichend mit Frischdampf gefüllt werden darf.

[0010] Ausgehend vom bekannten Stand der Technik und dem geschilderten Problem liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betrieb einer Dampf-Kolbenexpandereinheit anzugeben, die mit einem vergleichsweise hohen Wirkungsgrad betreibbar ist. Das anzugebende Verfahren soll insbesondere die für eine Füllung des Kolbens benötigte Frischdampfmenge reduzieren, ohne dass hierdurch der Wirkungsgrad des Kreisprozesses erheblich verringert wird.

[0011] Die zuvor beschriebene Aufgabe wird mit Hilfe eines Verfahrens gemäß Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche und werden in der folgenden Beschreibung unter teilweiser Bezugnahme auf die Figuren näher erläutert.

[0012] Erfindungsgemäß ist ein Verfahren zum Betrieb eines Kolbenexpanders, bei dem aus einer Dampfzuführung Frischdampf durch ein Einlassventil in einen Zylinderraum geleitet wird, der in den Zylinderraum eingeleitete Frischdampf im Arbeitstakt aufgrund einer Bewegung eines Kolbens vom oberen zum unteren Todpunkt entspannt wird und der entspannte Dampf zumindest teilweise aus einer verschließbaren Auslassöffnung in eine Dampfabführung geleitet wird, derart weitergebildet worden, dass die Auslassöffnung bei oder nach Erreichen des unteren Todpunkts geöffnet und anschließend geschlossen wird, bevor der Kolben im Ausschubtakt den oberen Todpunkt erreicht. In diesem Zusammenhang ist es grundsätzlich denkbar, die Auslassöffnung nur während eines vergleichsweise kurzen Zeitraums, beispielsweise im unteren Todpunkt, oder über eine längere Zeitspanne, vor allem bis etwa ein Kurbelwellenwinkel von ca. 30° vor oberem Todpunkt erreicht wird, zu öffnen.

[0013] Grundsätzlich ist die Reduktion der Frischdampfmenge pro Zyklus des Arbeitsprozesses auf zwei Arten möglich. Einerseits ist es denkbar, das Einlassventil nur solange und soweit zu öffnen, dass im Zylinder nicht der Frischdampfdruck erreicht wird. In diesem Fall drosselt das Einlassventil den Frischdampf auf einen geringeren Druck als den Frischdampfdruck. Diese Reduzierung des Drucks führt allerdings zu einer entscheidenden Reduzierung des Wirkungsgrades. Aus diesem Grund macht das erfindungsgemäße Verfahren von einer zweiten Möglichkeit zur Reduktion der Frischdampfmenge pro Zyklus Gebrauch. Hierbei ist die Auslassöffnung nicht während des gesamten Ausschubtaktes, also während der Zeit, in der sich der Kolben vom unteren zum oberen Todpunkt bewegt, geöffnet, sondern die Auslassöffnung wird deutlich bevor der Kolben den oberen Todpunkt erreicht geschlossen. Durch diese Maßnahme wird erreicht, dass eine erhebliche Menge bereits entspannten Dampfs im Zylinder verbleibt und

nicht in die Dampfabführung abgeleitet wird.

[0014] Dieser im Zylinder verbleibende Restdampf wird auf vorteilhafte Weise im Ausschubtakt durch die Bewegung des Kolbens zum oberen Todpunkt komprimiert. Dies führt dazu, dass beim Öffnen des Einlassventils bereits ein deutlich erhöhter Druck im Vergleich zu dem ansonsten ohne Kompression des Restdampfes im Zylinder herrschenden Gegendrucks vorhanden ist. Aufgrund des gegenüber dem üblichen Gegendruck erhöhten Drucks innerhalb des Zylinders wird ebenfalls nur eine vergleichsweise kleine Frischdampfmenge in den Zylinder eingeleitet. Nichtsdestotrotz wird durch die Eindüsung des Frischdampfes der sich im Schadvolumen des Zylinders ausbildende Mischdampf auf einen Druck gebracht, der dem Frischdampfdruck entspricht. Der Frischdampfdruck wird hierbei durch eine weitere Kompression des bereits vorgespannten Restdampfes innerhalb des Schadvolumens des Zylinders erreicht, wobei sich der Zustand des Mischdampfs nach Eindüsung des Frischdampfes in Abhängigkeit der Zustände des vorkomprimierten Restdampfes und des Frischdampfes stellt. Dieser Mischdampfdruck lässt sich unabhängig von der Wahl eines geeigneten Verdichtungsverhältnisses erzielen.

[0015] Durch das erfindungsgemäße Verfahren zum Betrieb eines Kolbenexpanders wird auf vorteilhafte Weise erreicht, dass der Wirkungsgrad des Expanders vergleichsweise hoch ist und gleichzeitig ein moderater Druckanstieg innerhalb des Zylinders erreicht wird. Der moderate Druckanstieg ist darauf zurückzuführen, dass dieser über eine längere Zeitspanne verwirklicht wird, da zunächst der Restdampf vorgespannt und erst im Anschluss hieran durch Eindüsen von Frischdampf auf das Frischdampfdruckniveau komprimiert wird.

[0016] Wie bereits Eingangs geschildert worden ist, sind grundsätzlich zwei alternative Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens denkbar. In einer ersten Ausführungsform wird die Auslassöffnung geschlossen, sobald sich der Kolben in einem Bereich zwischen dem unteren und dem oberen Todpunkt befindet. Vorzugsweise wird die Auslassöffnung bei einem Kurbelwellenwinkel von 20° bis 60° vor dem oberen Todpunkt geschlossen. Ganz besonders geeignet ist ein Schließen der Auslassöffnung in einem Bereich von etwa 45° Kurbelwellenwinkel vor dem oberen Todpunkt.

[0017] Die zweite alternative Ausführungsform stellt quasi einen Grenzfall für das erfindungsgemäße Verfahren dar. Bei dieser Variante wird die Auslassöffnung ausschließlich geöffnet bzw. offen gehalten, sobald und solange sich der Kolben im Bereich des unteren Todpunkts befindet. Bei einer derartigen Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es weiterhin bevorzugt denkbar, im Bereich der Zylinderwand Öffnungen, insbesondere Schlitze, vorzusehen, die durch das Überstreichen der Kolbenkante während des Expansions takts freigegeben und durch das Überstreichen der Kolbenkante während des Ausschubtaktes wieder geschlossen werden. Auf diese Weise wird die Auslassöff-

nung zur Abfuhr des zumindest teilweise entspannten Dampfes freigegeben, sobald sich der Kolben in der Nähe des unteren Totpunkts befindet. Bei einer bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Öffnung in einem Kurbelwellenwinkelbereich von 20° vor bis 20° nach dem unteren Totpunkt. Eine ganz spezielle Weiterbildung der Erfindung sieht bei einem Kolbenhub von 75 bis 85 mm, insbesondere von 80 mm, einen Kurbelwellenwinkelbereich von 30° für eine Öffnung des Auslassventils vor. Bewegt sich der Kolben im Anschluss an die Öffnung der Auslassventile erneut in Richtung des oberen Totpunktes, wird die bzw. werden die Auslassöffnungen wieder geschlossen. Mit einer derartigen Ausführungsform lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren mit verhältnismäßig einfachen konstruktiven Mitteln verwirklichen. Insbesondere wird auf eine Verwendung eines zusätzlichen Auslassventils verzichtet. Die Öffnung des Auslassventils erfolgt bei der zuvor beschriebenen Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens im unteren Totpunkt. Bewegt sich der Kolben vom unteren Totpunkt in Richtung des oberen Totpunktes wird die Auslassöffnung wieder geschlossen, so dass der im Zylinder verbleibende Mischdampf komprimiert wird.

[0018] Das Einlassventil wird bevorzugt geöffnet, sobald der Kolben den oberen Totpunkt erreicht und wird bis zu einem Kurbelwellenwinkel von etwa 30° nach oberen Totpunkt geöffnet gehalten. Der große Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens beruht darauf, dass sich im Schadvolumen zwei Dämpfe mischen, nämlich der Frischdampf sowie der vorverdichtete Restdampf, die exergetisch vergleichsweise ähnlich sind.

[0019] Bei der Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird weiterhin bevorzugt sichergestellt, dass in einem Zeitraum zwischen dem Schließen der Auslassöffnung und dem darauffolgenden Schließen des Einlassventils ein Mischdampf durch die Zufuhr des Frischdampfes in den Zylinderraum, insbesondere das Schadvolumen des Zylinderraums, erzeugt wird, dessen Mischdampfdruck zumindest annähernd dem Frischdampfdruck entspricht. Der vergleichsweise hohe Mischdampfdruck Der Frischdampfdruck wird hierbei durch eine weitere Kompression des bereits vorgespannten Restdampfes innerhalb des Schadvolumens des Zylinders erreicht, wobei sich der Zustand des Mischdampfes nach Eindüsung des Frischdampfes in Abhängigkeit der Zustände des vorkomprimierten Restdampfes und des Frischdampfes einstellt. Durch das Mischen des Frischdampfes mit dem vorgespannten Restdampf wird somit ein Mischdampf mit einer gegenüber den üblichen Verhältnissen erhöhten Enthalpie erzeugt. Diese Maßnahme erhöht auf verhältnismäßig einfache Weise den Wirkungsgrad des Kreisprozesses.

[0020] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Figuren ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1: Ventilerhebungskurve der Auslassöffnung;

Figur 2: Druckverlauf im Zylinder sowie

Figur 3: Schemadarstellung eines 2-Takt-Dampfexpanders zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0021] In Figur 1 ist der Hub eines Ventils in einer Auslassöffnung des Zylinders eines Dampfexpanders dargestellt. Hierbei werden die Funktionskurven a, b, c des Ventilhubes über den Kurbelwellenwinkel in Bezug auf drei verschiedene Ventilsteuerungen angegeben. Das Erreichen des unteren sowie des oberen Totpunktes wird jeweils durch eine vertikal verlaufende Linie bei etwa 182° bzw. 361° Kurbelwellenwinkel angegeben. Die durchgezogene dünne Funktionskurve a sowie die punktierte Kurve b zeigen jeweils den Hub des Auslassventils bei bekannten Standardverfahren. Die als dicke Linie ausgeführte dritte Funktionskurve c zeigt den Ventilhub des Auslassventils bei Nutzung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Öffnen und Schließen des Auslassventils.

[0022] Deutlich zu erkennen ist, dass bei einem Ventilhub des Auslassventils gemäß der Funktionskurven a, b das Auslassventil über einen vergleichsweise weiten Bereich zwischen dem unteren und dem oberen Totpunkt des Kolbens geöffnet wird. Im Vergleich zur erfindungsgemäßen Öffnung des Auslassventils, die durch die dick gezeichnete Funktionskurve c wiedergegeben wird, wird das Auslassventil bei den Standardverfahren nicht nur länger, sondern auch weiter geöffnet. Im Gegensatz zu den bekannten Verfahren wird die Auslassöffnung bei Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens bereits deutlich vor Erreichen des oberen Totpunktes wieder geschlossen. Durch die beschriebene Maßnahme wird der im Zylinder zu diesem Zeitpunkt befindliche Restdampf aufgrund der Fortbewegung des Kolbens bei geschlossenem Auslassventil in Richtung auf den oberen Totpunkt nicht ausgeschoben sondern komprimiert. Eine ganz spezielle Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird in Figur 1 durch die Funktionskurve d verdeutlicht. Bei dieser technischen Lösung wird eine spezielle Gestaltung der Auslassöffnung verwendet. Hierbei sind in der Zylinderwand Schlitze vorgesehen, die eine Verbindung zwischen dem Zylinderinnenraum und einer Dampfabführung herstellen, sobald die Kolbenkante im Expansionstakt den Schlitz überstreicht. Im Ausschubtakt wird der wenigstens eine Schlitz wieder verschlossen, sobald die Kolbenkante den Schlitz aufgrund der entgegen gesetzten Bewegung des Kolbens erneut überstrichen hat. In dem dargestellten Fall wird der wenigstens eine Schlitz bei einem Kurbelwellenwinkel von etwa 20° vor Erreichen des unteren Totpunktes geöffnet und bei einem Kurbelwellenwinkel von etwa 20° nach dem unteren Totpunkt wieder geschlossen.

[0023] In Ergänzung zu dem in Figur 1 dargestellten Verlauf des Hubes des Auslassventils während der Bewegung eines Kolbens, werden in Figur 2 die Druckverläufe für die drei in Figur 1 dargestellten Verfahren zum Schließen der Auslassöffnung dargestellt. Deutlich zu erkennen ist, dass bei den Standardverfahren a, b ein sehr

schneller Druckanstieg kurz vor Erreichen des oberen Totpunktes erfolgt. Im Vergleich hierzu ist der Druckanstieg bei einem frühzeitigen Schließen des Auslassventils, also deutlich bevor der Kolben den oberen Totpunkt erreicht, sehr sanft. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei einem frühzeitigen Schließen des Auslassventils der Druck im Zylinder kontinuierlich durch die Kompression des Restdampfes ansteigt, während bei Einsatz der Standardverfahren a, b der Druck erst sehr kurz vor Erreichen des oberen Totpunktes, insbesondere etwa 10° Kurbelwellenwinkel vor Erreichen des oberen Totpunktes, ansteigt.

In Bezug auf die in Verbindung mit der Funktionskurve d in Figur 1 dargestellte Schlitzsteuerung der Auslassöffnung wird darauf hingewiesen, dass der Druck innerhalb des Zylinders im Ausschubtakt in Abhängigkeit der Gestaltung der Schlitzes, insbesondere ihrer geometrischen Form, ansteigt. Im Vergleich zu einer Ventilsteuerung wird der Druckanstieg in den meisten Fällen weniger sanft erfolgen, die entsprechende Druckverlaufskurve somit in diesem Bereich einen etwas steileren Verlauf aufweisen. Ausdrücklich wird in diesem Zusammenhang allerdings darauf hingewiesen, dass es für die Verwirklichung des erfindungswesentlichen Effekts unerheblich ist, ob die Auslassöffnung mittels wenigstens eines Auslassventils oder mit Hilfe einer geeigneten Schlitzsteuerung freigegeben bzw. verschlossen wird.

[0024] In Figur 3 ist schematisch der Aufbau eines Dampfexpanders, mit dem das erfindungsgemäße Verfahren ausgeführt werden kann, dargestellt. Da ein entsprechender Dampfexpander üblicherweise im Zweitaktverfahren betrieben wird, sind Kurbelwellen und Nockenwellendrehzahl gleich, so dass die Einlass- und Auslassventile mittels einer entsprechenden, an der Kurbelwelle vorgesehenen Kurbelwange betätigt werden. Eine derartige Ausführung bietet vor allem den Vorteil, dass weder eine zusätzliche Nockenwelle noch ein entsprechender Antrieb benötigt wird. Selbstverständlich ist es grundsätzlich denkbar, zusätzlich zur Kurbelwelle auch bei einem im Zweitaktverfahren betriebenen Dampfkolbenexpander eine zusätzliche Nockenwelle vorzusehen.

[0025] Wie die vorigen Ausführungen gezeigt haben, betrifft die Erfindung ein Verfahren zum geeigneten Betätigen von Ein- bzw. Auslassventilen einer Kolbenmaschine zur Dampfentspannung. Hierzu sind in Figur 3 schematisch drei technische Möglichkeiten dargestellt, mit denen die Betätigung der Ventile 4, 5 realisierbar ist. Mit jeder der drei möglichen Ventilbetätigungen kann das erfindungsgemäße Verfahren, das sich in der Hauptsache auf den Zeitpunkt des Öffnens sowie des Schließens der Ventile 4, 5 bezieht, durchgeführt werden.

Die in Figur 3 abgebildeten, für die Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens wesentlichen Bauteile eines Dampfkolbenexpanders sind die Kurbelwelle 1, die Nockenwelle 2 mit den angeformten Nocken 3, das Einlassventil 4, das Auslassventil 5, der Positionssensor 6 sowie eine Betätigungseinheit 7. Je nachdem, welche

konstruktive Ausführung für den Dampfmotor gewählt wird, erfolgt die Betätigung der Ventile über die Kurbelwelle 1 (Fig. 3a), über die Nockenwelle 2 (3b) oder die weitere Betätigungseinheit (7), die elektrisch, hydraulisch oder pneumatisch angetrieben sein kann. Bei Verwendung einer weiteren Betätigungseinheit 7, die sich vor allem dadurch auszeichnet, dass keine mechanische Verbindung zwischen der Kurbelwelle 1 und dem Einlass- bzw. Auslassventil besteht, sind ferner ein Positionssensor 6 an der Kurbelwelle sowie eine Steuereinheit 10 vorgesehen. Mit Hilfe des Positionssensors 6 wird die momentane Position der Kurbelwelle 1 ermittelt und ein entsprechender Wert als Eingangsgröße der Steuereinheit zugeleitet. In der Steuereinheit 10 wird dieser Wert verarbeitet und eine Ausgangsgröße generiert, unter deren Zugrundelegung die Betätigung des Einlass- bzw. Auslassventils 4, 5 durch die Betätigungseinheit 7 erfolgt.

[0026] Allen drei in Figur 3 dargestellten Ventilbetätigungsmechanismen ist gemein, dass Frischdampf über eine Dampfzufuhr 8 zum Einlassventil 4 gefördert wird. Das Öffnen des Einlassventils erfolgt entweder durch eine Kurbelwange der Kurbelwelle (Fig. 3a), eine Nocke 3 der Nockenwelle 2 (Fig. 3b) oder durch die Betätigungseinrichtung 7 sobald sich der Kolben 9 im oberen Totpunkt befindet. Bei Erreichen des oberen Totpunktes befindet sich innerhalb des verbliebenen Zylindervolumens, dem sogenannten Schadvolumen, komprimierter Restdampf, der nach der Entspannung nicht ausgeblasen, sondern erneut komprimiert worden ist. Nach Öffnung des Einlassventils 4 strömt Frischdampf in das Schadvolumen, wobei aufgrund des Einstromens von Frischdampf auch eine Kompression des im Schadvolumen des Zylinders befindlichen, vorgespannten Restdampfes stattfindet. Der sich im Zylinder bildende Mischdampf verfügt schließlich über einen Druck der zumindest nahezu dem Frischdampfdruck in der Dampfzuführung 8 entspricht. Der Frischdampfdruck wird hierbei durch eine weitere Kompression des bereits vorgespannten Restdampfes innerhalb des Schadvolumens des Zylinders erreicht, wobei sich der Zustand des Mischdampfes nach Eindüsung des Frischdampfes in Abhängigkeit der Zustände des vorkomprimierten Restdampfes und des Frischdampfes einstellt.

[0027] Bei einem Kurbelwellenwinkel von etwa 30° nach dem oberen Totpunkt wird das Einlassventil 4 wieder geschlossen. Aufgrund des im Zylinder befindlichen komprimierten Mischdampfes wird der Kolben 9 im Arbeitstakt nun in Richtung des unteren Totpunktes bewegt, so dass der Dampf entspannt wird. Bei Erreichen des unteren Totpunktes wird eine Auslassöffnung 5 geöffnet. Bei einer ersten Alternative ist diese als Schlitz 11 in der Zylinderwand ausgeführt, die freigegeben wird, sobald sich der Kolben 9 im Bereich des unteren Totpunktes befindet. Auf bevorzugte Weise wird der Auslassschlitz durch Überstreichen der Kolbenkante bei einem Kurbelwellenwinkel von etwa 20° vor Erreichen des unteren Totpunktes freigegeben. Durch die freigegebene Auslassöffnung 5 bzw. den Auslassschlitz 11 entweicht nunmehr

entspannter Mischdampf.

Sobald sich der Kolben 9 wieder in Richtung des oberen Totpunktes bewegt, wird die Auslassöffnung 5 geschlossen. Sofern die Auslassöffnung nicht über ein Auslassventil sondern über den bereits beschriebenen Schlitz verfügt, wird dieser aufgrund der Bewegung des Kolbens im Ausschietbetakt und dem dadurch bedingten Überstreichen der Kolbenkante erneut geschlossen. Durch das Verschließen der Auslassöffnung 5 bzw. des Auslassschlitzes 11 wird der Restdampf derart komprimiert, dass der Restdampfdruck bei Erreichen des oberen Totpunktes nur geringfügig geringer als der Frischdampfdruck ist. Der geringe Druckunterschied zwischen Rest- und Frischdampf bietet vor allem den Vorteil, dass bei der Eindüsung des Frischdampfes in das Schadvolume des Zylinders Dämpfe mit einander gemischt werden, die exergetisch sehr ähnlich sind. Darüber hinaus werden die Bauteile des Zylinders, insbesondere das Einlassventil aufgrund der Komprimierung des Restdampfes und des damit verbundenen geringen Unterschieds zwischen Restdampf- und Frischdampfdruck vergleichsweise wenig beansprucht. Außerdem wird aufgrund der beschriebenen ersten möglichen Gestaltungsform der Auslassöffnung 5 kein Ventil zusätzlich zum Einlassventil 4 benötigt.

Nach Erreichen des oberen Totpunkts wird wiederum das Einlassventil 4 geöffnet und der geschilderte Kreisprozess beginnt von neuem.

[0028] In einer zweiten Alternative zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist auch in der Auslassöffnung 5 ein Ventil vorgesehen, das über eine Kurbelwange der Kurbelwelle 1, eine Nocke 3 der Nockenwelle 2 oder eine weitere Betätigungseinheit 7 betätigt wird. Bei einer derartigen konstruktiven Gestaltung der Auslassöffnung, wird das Auslassventil geöffnet, sobald der Kolben den unteren Totpunkt erreicht hat und bei einem Kurbelwellenwinkel von etwa 45° vor dem oberen Totpunkt geschlossen. Nachdem das Auslassventil 5 geschlossen worden ist, wird der im Zylinder verbleibende Restdampf durch die Bewegung des Kolbens wiederum komprimiert, so dass hierdurch die bereits im Zusammenhang mit der Beschreibung der ersten Alternative erwähnten Vorteile erzielt werden.

[0029] Abschließend wird darauf hingewiesen, dass aufgrund des bevorzugten Betriebs einer Dampfkolbenexpansionsmaschine im Zweitaktverfahren, die Ventile auf geeignete Weise mit Hilfe einer Kurbelwange (Fig. 3a) betätigt werden. Vorteilhaft an dieser konstruktiven Gestaltung ist vor allem, dass auf den Einsatz einer zusätzlichen Nockenwelle verzichtet werden kann.

Bezugszeichenliste

[0030]

- 1 Kurbelwelle
- 2 Nockenwelle

- 3 Nocke
- 4 Einlassventil
- 5 Auslassventil
- 6 Positionssensor
- 7 Betätigungseinheit
- 8 Dampfzufuhr
- 9 Kolben
- 10 Steuereinheit
- 11 Auslassschlitz

20 Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Kolbenexpanders, bei dem aus einer Dampfzuführung Frischdampf durch ein Einlassventil in einen Zylinderraum geleitet wird, der in den Zylinderraum eingeleitete Frischdampf im Arbeitstakt aufgrund einer Bewegung eines Kolbens vom oberen zum unteren Totpunkt entspannt wird und der entspannte Dampf nach Erreichen des unteren Totpunkts aus einer verschließbaren Auslassöffnung in eine Dampfabführung geleitet wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auslassöffnung geöffnet wird, sobald sich der Kolben im Bereich des unteren Totpunkts befindet und anschließend geschlossen wird, bevor der Kolben im Aus Schubtakt den oberen Totpunkt erreicht.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auslassöffnung bei einem Kurbelwinkel von 25° bis 15°, insbesondere von 20°, vor dem unteren Totpunkt geöffnet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auslassöffnung bei einem Kurbelwinkel von 25° bis 15°, insbesondere von 20°, nach dem unteren Totpunkt geschlossen wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auslassöffnung bei einem Kurbelwellenwinkel von 20° vor Erreichen des unteren Totpunkts bis 20° nach Erreichen des unteren Totpunkts wenigstens einmal geöffnet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auslassöffnung frühestens geöffnet wird, sobald der Kolben

der unteren Todpunkt erreicht.

6. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass die Auslassöffnung im Ausschietakt in einem Bereich eines Kurbelwellenwinkels von 70° bis 100° nach dem unteren Todpunkt geschlossen wird. 5

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, dass das Einlassventil in einem Bereich einer Kurbelwellenstellung von 25° bis 35° nach Erreichen des oberen Todpunkts geschlossen wird. 10

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass in einem Zeitraum zwischen dem Schließen der Auslassöffnung und dem Schließen des Einlassventils durch die Zufuhr des Frischdampfes in den Zylinderraum ein Mischdampf erzeugt wird, dessen Mischdampfdruck nahezu dem Frischdampfdruck entspricht. 15 20

9. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8, in einem Kolbenexpander eines Dampfkreislaufs, der mit Wärme aus einem Kühlkreislauf einer Verbrennungskraftmaschine versorgt wird. 25

10. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8, in einem Kolbenexpander eines Dampfkreislaufs, der mit Wärme aus einem Kühlkreislauf einer Kraftfahrzeug-Verbrennungskraftmaschine versorgt wird. 30

35

40

45

50

55

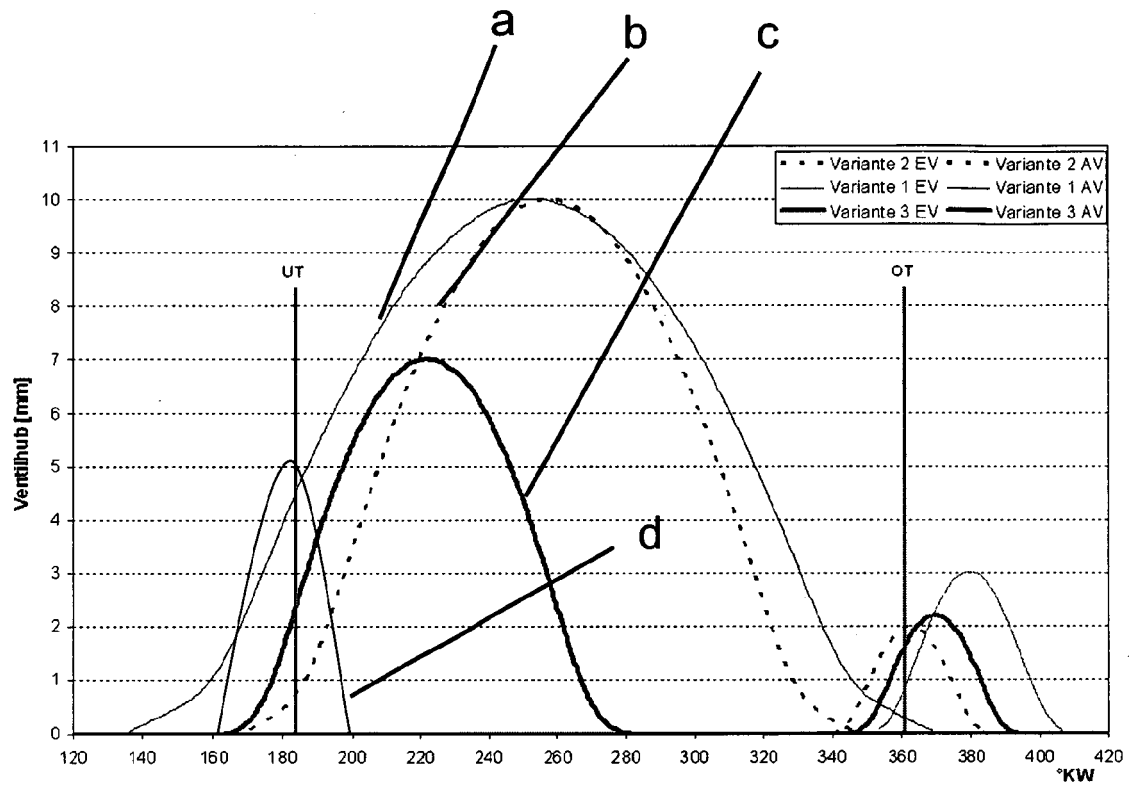


Fig. 1

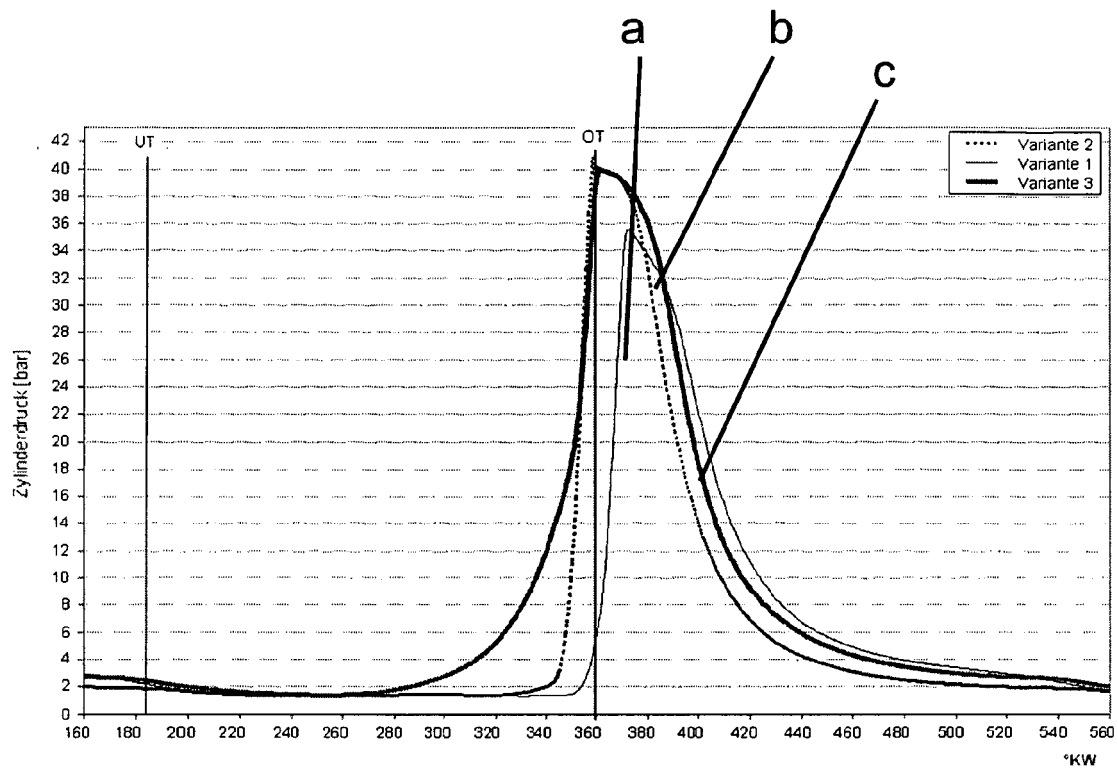


Fig. 2

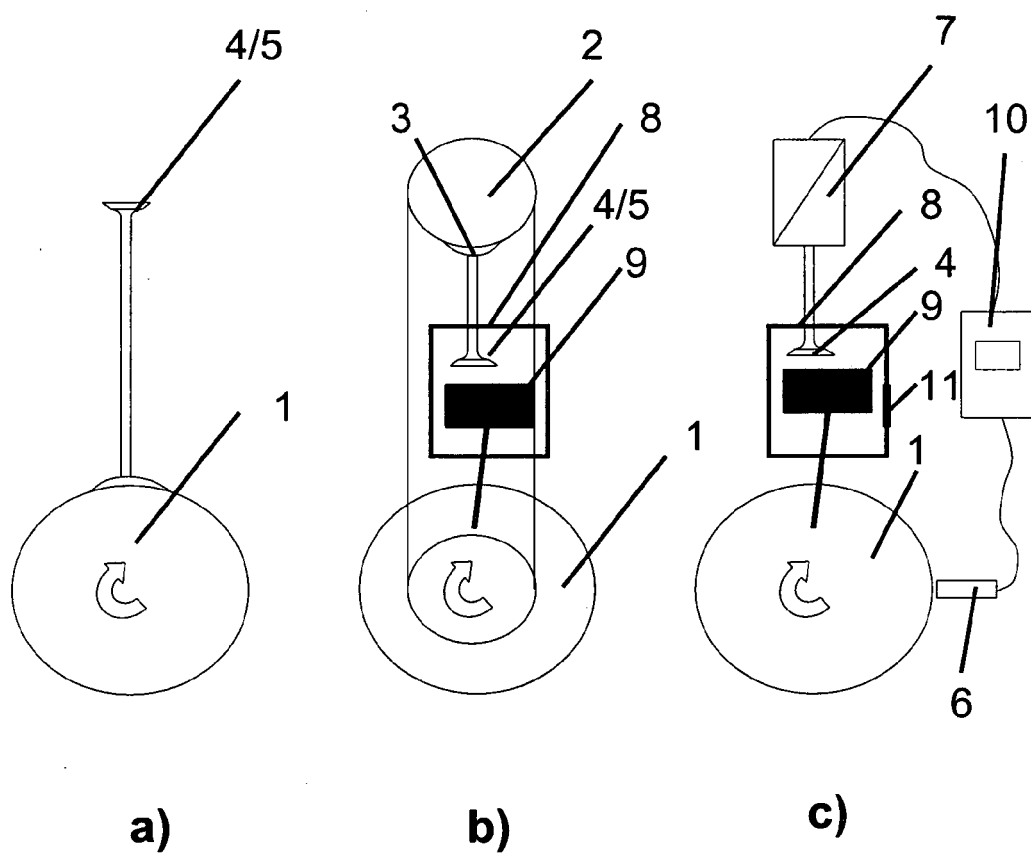


Fig. 3

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 102006043139 A1 [0005]
- EP 09009456 A [0006]