



(10) **DE 10 2016 100 471 A1** 2016.08.04

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 100 471.5**
(22) Anmeldetag: **13.01.2016**
(43) Offenlegungstag: **04.08.2016**

(51) Int Cl.: **F02B 75/18 (2006.01)**
F02B 75/40 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
14/610,393 **30.01.2015** **US**

(71) Anmelder:
**GM Global Technology Operations LLC (n. d. Ges.
d. Staates Delaware), Detroit, Mich., US**

(74) Vertreter:
**Manitz, Finsterwald & Partner GbR, 80336
München, DE**

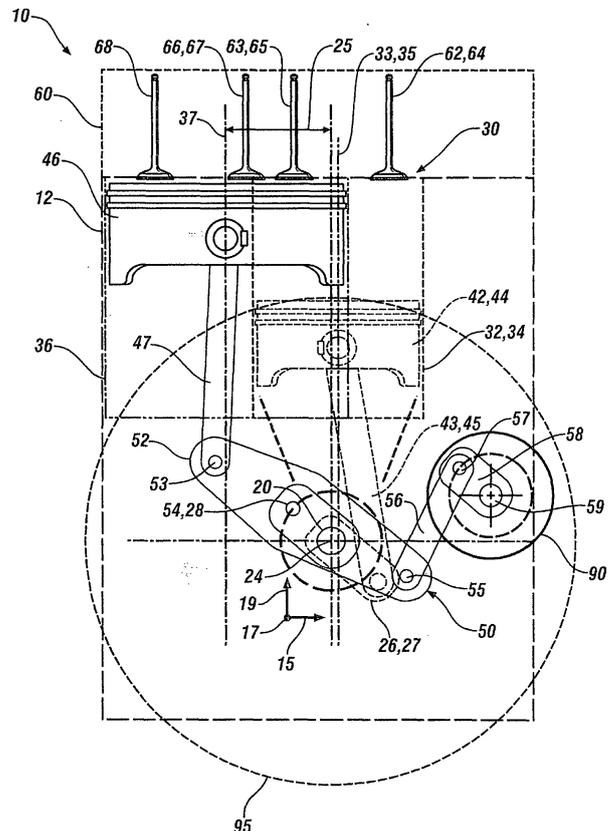
(72) Erfinder:
**Durrett, Russell P., Bloomfield Hills, Mich.,
US; Najt, Paul M., Bloomfield Hills, Mich., US;
Andruskiewicz, Peter, Ann Arbor, Mich., US;
Miller, Steve, Brixworth, Northamptonshire, GB;
Whiteside, Ian, Brixworth, Northamptonshire, GB;
Anstey, Steve, Brixworth, Northamptonshire, GB**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **VERBRENNUNGSMOTOR MIT EINZELNER WELLE UND DOPPELTER EXPANSION**

(57) Zusammenfassung: Ein Verbrennungsmotor mit einzelner Welle und doppelter Expansion weist einen ersten und einen zweiten Arbeitszylinder sowie einen Expanderzylinder auf. Der Zylinderkopf koppelt den ersten und den zweiten Arbeitszylinder sowie den Expanderzylinder fluidtechnisch miteinander. Ein erster und ein zweiter Arbeitskolben führen in dem ersten und in dem zweiten Arbeitszylinder eine Hubbewegung aus und sind mit einem ersten Pleuelzapfen der Pleuelstange verbunden. Eine Pleuelstangenbaugruppe mit mehreren Verbindungen umfasst einen starren Haupthebel, der einen ersten Gelenkzapfen, einen zweiten Gelenkzapfen und einen dritten Gelenkzapfen trägt. Der erste Gelenkzapfen ist mit einem Expanderkolben verbunden, der in dem dritten Zylinder eine Hubbewegung ausführt. Der dritte Gelenkzapfen ist mit einem ersten Ende eines Schwinghebels gekoppelt, und ein zweites Ende des Schwinghebels ist mit einem vierten Gelenkzapfen drehbar gekoppelt, der mit einem distalen Ende eines rotierenden Hebels gekoppelt ist, der an einer rotierenden Welle befestigt ist, die mit der Drehung der Pleuelstange verbunden ist.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegenden Lehren umfassen allgemein eine Verbrennungsmotorbaugruppe.

HINTERGRUND

[0002] Verbrennungsmotoren verbrennen Gemische aus Luft und Kraftstoff, um mechanische Leistung zum Arbeiten zu erzeugen. Die Basiskomponenten eines Verbrennungsmotors sind in der Technik wohlbekannt und umfassen vorzugsweise einen Motorblock, einen Zylinderkopf, Zylinder, Kolben, Ventile, eine Pleuelwelle und eine oder mehrere Pleuelwellen. Die Zylinderköpfe, die Zylinder und die Oberseiten der Pleuelwellen bilden typischerweise Verbrennungskammern mit variablem Volumen, in die Kraftstoff und Luft eingeleitet werden, und die Verbrennung tritt als Teil eines thermodynamischen Zyklus der Einrichtung auf. Bei allen Verbrennungsmotoren wird verwendbare Energie mittels heißer, gasförmiger Verbrennungsprodukte erzeugt, welche direkt auf bewegbare Motorkomponenten wirken, wie beispielsweise auf die Oberseite oder den Boden eines Pleuels. Im Allgemeinen wird die Pleuelbewegung der Pleuelwellen mittels Pleuelstangen in eine Drehbewegung einer Pleuelwelle übertragen. Ein bekannter Verbrennungsmotor arbeitet in einem Viertakt-Verbrennungszyklus, wobei ein Takt als eine vollständige Bewegung eines Pleuels von einer oberen Totpunktposition (TDC-Position) zu einer unteren Totpunktposition (BDC-Position) oder umgekehrt definiert ist, und die Takte umfassen einen Einlasstakt, einen Pleuelstakt, einen Pleuelstakt und einen Auslasstakt. Dementsprechend ist ein Viertaktmotor hierin als ein Motor definiert, der vier vollständige Takte eines Pleuels für jeden Pleuelstakt einer Zylinderladung erfordert, d. h. für jeden Takt, der einer Pleuelwelle Leistung zuführt.

[0003] Die Gesamteffizienz eines Verbrennungsmotors hängt von dessen Fähigkeit ab, die Effizienz der gesamten Prozesse zu maximieren, indem die Kompromisse minimiert werden, die zu Energieverlusten an die Umgebung führen. Das Aufteilen des herkömmlichen Viertaktzyklus auf fest zugeordnete Komponenten ermöglicht, dass der Pleuelprozess effizienter ausgeführt wird, indem eine Annäherung an eine isotherme Pleuelkompression einer Zylinderladung durch eine Wärmeentnahme während der Pleuelkompression versucht wird, beispielsweise unter Verwendung eines Wärmetauschers. Auf ähnliche Weise kann eine größere Energiemenge während der Expansion einer Zylinderladung erhalten werden, indem man sich in Richtung einer adiabatischen Pleuelexpansion bewegt und diese Pleuelexpansion weiter ausdehnt, um die Pleuelgase herunter auf Atmosphärendruck zu bringen. Zusätzlich ermöglicht das Maxi-

mieren des Verhältnisses der spezifischen Wärmen des Pleuelgases, während jede spezifische Wärme einzeln verringert wird, eine größere Energieentnahme über die Pleuelexpansion, während die mechanischen Verluste und die Pleuelverluste minimiert werden, die mit jeder fest zugeordneten Komponente verbunden sind.

[0004] Ein bekannter Ansatz zum Behandeln dieser Herausforderungen ist ein Pleuelmotor mit Pleuelverbrennung bei niedriger Temperatur (LTC-Pleuelmotor-Dieselmotor). Der LTC-Pleuelmotor-Dieselmotor beruht auf einem Pleuelkompressionsprozess mit zwei Stufen, die durch eine Pleuelkühlung zur Annäherung an eine isotherme Pleuelkompression getrennt sind, wodurch die Pleuelarbeit verringert wird, die zum Erreichen einer gegebenen Pleueldichte erforderlich ist, auf einer mageren Pleuelverbrennung bei niedriger Temperatur, um Pleuelverluste zu minimieren, während die Pleuelgaseigenschaften verbessert werden, und auf einem Pleuelexpansionsprozess mit zwei Stufen, um die Energiegewinnung mittels der heißen Nachpleuelverbrennungsgase zu erhöhen. Thermodynamisch ist der Pleuelmotor ein Motor mit mehreren Pleuelwellen und einer doppelten Pleuelkompression sowie einer doppelten Pleuelexpansion, welcher auf einer Kombination einer Pleuelmaschine und einer Pleuelpleuelmaschine beruht, um zwei Pleuelkompressionen vor der Pleuelverbrennung und zwei Pleuelexpansionen nach der Pleuelverbrennung auszuführen. Die Gesamteffizienz kann jedoch durch die Fähigkeit begrenzt sein, die Leistung dieser Komponenten über den Pleuelbereich abzustimmen und zu optimieren. Pleuelbehandlungssysteme, die zum Bereitstellen einer Pleuelaufladung bei von außen aufgeladenen Motoren mit mehreren Pleuelwellen verwendet werden, können komplexere Pleuelaufladungssysteme umfassen, die zwei und drei Stufen der Pleuelaufladung oder Kombinationen von Pleuelmotoren und mechanisch angetriebenen Pleuelkompressoren verwenden. Zusätzlich zu den Pleuelaufladungseinrichtungen erfordern die Systeme Pleuelwärmetauscher, Pleuelbypassventile und Steuerungen.

ZUSAMMENFASSUNG

[0005] Es wird ein Verbrennungsmotor mit einzelner Pleuelwelle und doppelter Pleuelexpansion beschrieben, und er umfasst einen Motorblock, einen Zylinderkopf, eine Pleuelpleuelwelle und eine Pleuelpleuelstangenbaugruppe mit mehreren Pleuelverbindungen. Der Motorblock weist einen ersten und einen zweiten Pleuelarbeitszylinder sowie einen PleuelExpanderzylinder auf. Der Zylinderkopf ist fluidtechnisch mit dem ersten und dem zweiten Pleuelarbeitszylinder sowie mit dem PleuelExpanderzylinder gekoppelt. Der erste und der zweite Pleuelarbeitspleuelkolben führen jeweils in dem ersten bzw. dem zweiten Pleuelarbeitszylinder eine Pleuelpleuelbewegung aus und sind mit einem jeweiligen ersten und zweiten Pleuelpleuelzapfen der Pleuelpleuelwelle verbunden. Die Pleuelpleuelstangenbaugruppe mit mehreren Pleuelverbindungen umfasst einen starren Pleuelpleuelhauptpleuel, der sich rechtwinklig zu einer PleuelpleuelLängsachse der

Kurbelwelle erstreckt und einen ersten Gelenkzapfen, der an einem ersten Ende des Haupthebels angeordnet ist, einen zweiten Gelenkzapfen, der an einem zentralen Abschnitt des Haupthebels angeordnet ist, und einen dritten Gelenkzapfen trägt, der an einem zweiten Ende des Haupthebels angeordnet ist. Der erste Gelenkzapfen ist mittels einer Pleuelstange mit einem Expanderkolben verbunden, der eine Hubbewegung in dem dritten Zylinder ausführt. Ein dritter Kurbelzapfen der Kurbelwelle wirkt als der zweite Kurbelzapfen und weist einen Hub auf, der bezüglich eines Hubs des ersten Kurbelzapfens um 180 Grad um die Längsachse der Kurbelwelle gedreht ist. Der dritte Gelenkzapfen ist mit einem ersten Ende eines Schwinghebels gekoppelt, und ein zweites Ende des Schwinghebels ist drehbar mit einem vierten Gelenkzapfen gekoppelt, der mit einem distalen Ende eines rotierenden Hebels gekoppelt ist, der an einer rotierenden Welle befestigt ist, die mit der Drehung der Kurbelwelle gekoppelt ist.

[0006] Die vorstehenden Merkmale und Vorteile sowie andere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Lehren werden anhand der nachfolgenden ausführlichen Beschreibung der besten Weisen zum Ausführen der vorliegenden Lehren leicht offensichtlich, wenn die Beschreibung mit den begleitenden Zeichnungen in Verbindung gebracht wird.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0007] Fig. 1 stellt schematisch eine Seitenansicht einer Ausführungsform eines Verbrennungsmotors mit einzelner Welle und doppelter Expansion gemäß der Offenbarung dar;

[0008] Fig. 2 stellt schematisch eine Draufsicht eines Abschnitts einer Ausführungsform eines Verbrennungsmotors mit einzelner Welle und doppelter Expansion gemäß der Offenbarung dar;

[0009] Fig. 3 zeigt graphisch ein Druck-Volumen-Diagramm (PV-Diagramm) gemäß der Offenbarung, welches dem Betrieb einer Ausführungsform eines Verbrennungsmotors mit einzelner Welle und doppelter Expansion zugeordnet ist;

[0010] Fig. 4-1 bis Fig. 4-5 stellen skizzenhaft den Betrieb einer Ausführungsform des Verbrennungsmotors mit einzelner Welle und doppelter Expansion, welcher einen optionalen Turbokompressor aufweist, während nacheinander ausgeführter Motortakte, die dessen Betrieb zugeordnet sind, gemäß der Offenbarung dar; und

[0011] Fig. 5 zeigt graphisch den Betrieb des Verbrennungsmotors mit einzelner Welle und doppelter Expansion über den Verlauf eines einzelnen Verbrennungszyklus anhand des Öffnens und Schließens der verschiedenen Einlass- und Auslassventile bezogen

auf den Kurbelwinkel und Hubvolumina der Zylinder sowie entsprechende Funkenzündungsereignisse gemäß der Offenbarung;

[0012] Fig. 6 zeigt graphisch den Betrieb einer Ausführungsform des Verbrennungsmotors mit einzelner Welle und doppelter Expansion, der hierin beschrieben ist, über den Verlauf eines einzelnen Verbrennungszyklus bei zwei unterschiedlichen Drehphaseneinstellungspositionen eines rotierenden Hebels bezogen auf eine Drehposition der Kurbelwelle und umfasst gemäß der Offenbarung die Kolbenposition (mm) des Expanderkolbens bezogen auf den Motor-kurbelwinkel; und

[0013] Fig. 7 zeigt graphisch Ergebnisse gemäß der Offenbarung, welche dem Betrieb einer Ausführungsform des Verbrennungsmotors mit einzelner Welle und doppelter Expansion zugeordnet sind, und umfasst Kolbenpositionen am TDC und BDC bezogen auf eine Phaseneinstellung des Phaseneinstellungselements über einen Einflussbereich des Phaseneinstellungselements zwischen einer minimalen Phaseneinstellungsposition und einer maximalen Phaseneinstellungsposition.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0014] Unter Bezugnahme auf die Zeichnungen, in denen gleiche Bezugszeichen verwendet werden, um in den verschiedenen Ansichten gleiche oder identische Komponenten zu identifizieren, stellt Fig. 1 schematisch eine Seitenansicht einer Ausführungsform eines Verbrennungsmotors mit einzelner Welle und doppelter Expansion (Motor) **10** dar, und Fig. 2 stellt schematisch eine Draufsicht eines Abschnitts der Ausführungsform des Motors **10** gemäß dieser Offenbarung dar. Gleiche Bezugszeichen bezeichnen überall in den verschiedenen Figuren gleiche Elemente. Der Motor **10** umfasst einen Motorblock **12**, der eine zusammengesetzte Zylinderkonfiguration mit Zylinder-Dreiergruppen **30** aufweist, wie sie hierin beschrieben sind, eine Kurbelwellen-Hauptlagerbefestigung für eine Kurbelwelle **20** und einen Zylinderkopf **60**. Obgleich lediglich eine Zylinder-Dreiergruppe **30** gezeigt ist, kann der Motorblock **12** mehrere Zylinder-Dreiergruppen **30** definieren, wie sie hierin beschrieben sind. Die physikalische Beschreibung wird unter Bezugnahme auf ein dreidimensionales Achsensystem ausgeführt, welches eine Längsachse **15**, eine horizontale Achse **17** und eine vertikale Achse **19** umfasst, wobei die Längsachse **15** durch eine Kurbelwellen-Mittelachse **24** der Kurbelwelle **20** definiert ist, die vertikale Achse **19** durch parallele Längsachsen der Motorzylinder **32**, **34**, **36** definiert ist, die eine der Zylinder-Dreiergruppen **30** bilden, und die horizontale Achse **17** derart definiert ist, dass sie senkrecht zu der Längsachse **15** und der vertikalen Achse **19** verläuft. Ein scheibenförmiges

Schwungrad **95** ist koaxial zu der Kurbelwelle **20** angeordnet und mit dieser drehbar gekoppelt.

[0015] Jede zusammengesetzte Zylinderkonfiguration umfasst eine der Zylinder-Dreiergruppen **30**, die einen ersten bzw. zweiten Arbeitszylinder **32, 34**, und einen dritten Expanderzylinder **36** umfasst. Im ersten Arbeitszylinder **32** ist ein erster Arbeitskolben **42** untergebracht, der mit einem ersten Kurbelzapfen **26** der Kurbelwelle **20** über eine erste Pleuelstange **43** drehbar gekoppelt ist und darin bewegbar ist, um in Verbindung mit der Drehung der Kurbelwelle **20** aufwärts und abwärts verschoben zu werden, und er definiert auch eine erste Arbeitszylinder-Mittelachse **33**. Auf ähnliche Weise ist im zweiten Arbeitszylinder **34** ein zweiter Arbeitskolben **44** untergebracht, der mit einem zweiten Kurbelzapfen **27** der Kurbelwelle **20** über eine zweite Pleuelstange **45** drehbar gekoppelt ist und darin bewegbar ist, um in Verbindung mit der Drehung der Kurbelwelle **20** aufwärts und abwärts verschoben zu werden, und er definiert auch eine zweite Arbeitszylinder-Mittelachse **35**. Der erste und der zweite Arbeitszylinder **32, 34**, der erste und der zweite Arbeitskolben **42, 44** sowie die zugeordneten Komponenten sind bezüglich der Abmessungen äquivalent, und der erste sowie der zweite Kurbelzapfen **26, 27** sind radial koinzident, d. h., dass sie unter dem gleichen Drehwinkel drehbar mit der Kurbelwelle **20** gekoppelt sind. Bei einer Ausführungsform definieren die erste und die zweite Arbeitszylinder-Mittelachse **33, 35** eine Ebene, welche die Kurbelwellen-Mittelachse **24** schneidet. Alternativ und wie es gezeigt ist, definieren die erste und die zweite Arbeitszylinder-Mittelachse **33, 35** eine Ebene, die bezüglich der Kurbelwellen-Mittelachse **24** verschoben ist.

[0016] Der Expanderzylinder **36** ist dem ersten und dem zweiten Arbeitszylinder **32, 34** benachbart und weist eine Mittelachse **37** auf, die parallel zu der ersten und der zweiten Arbeitszylinder-Mittelachse **33, 35** verläuft. Ein Expanderkolben **46** ist in dem Expanderzylinder **36** untergebracht und darin bewegbar, um aufwärts und abwärts verschoben zu werden, und er ist mit einer dritten Pleuelstange **47** gekoppelt, die mittels einer Pleuelstangenbaugruppe **50** mit mehreren Verbindungen drehbar mit der Kurbelwelle **20** gekoppelt ist. Der Expanderzylinder **36** ist vorzugsweise bezüglich des Volumens beträchtlich größer als die einzelnen Arbeitszylinder **32, 34**, und er liegt vorzugsweise in einem Bereich zwischen dem 1,5-fachen und dem 4,0-fachen des Hubvolumens eines der einzelnen Arbeitszylinder **32, 34**. Der Zylinderhubraum für den Expanderzylinder **46**, wie er basierend auf der Kolbenbewegung zwischen einer TDC-Position und einer BDC-Position definiert ist, ist anwendungsspezifisch und wird ermittelt, wie es hierin beschrieben ist. Darüber hinaus können die TDC-Position und die BDC-Position für den Expanderzylinder **36** variieren, wie hierin beschrieben ist.

[0017] Der Zylinderkopf **60** ist eine integrierte Einrichtung, die gegossene Abschnitte, maschinell bearbeitete Abschnitte und zusammengebaute Abschnitte aufweist, um Strömungen der Einlassluft, des Kraftstoffs und der Verbrennungsgase in den ersten und den zweiten Arbeitszylinder **32, 34** sowie den Expanderzylinder **36** und aus diesen zu steuern und zu leiten, um den Motorbetrieb zum Erzeugen mechanischer Leistung zu bewirken. Der Zylinderkopf **60** weist strukturelle Lagerhalterungen für eine Nockenwelle bzw. Nockenwellen der Arbeitszylinder und eine Nockenwelle bzw. Nockenwellen des Expanderzylinders auf. Der Zylinderkopf **60** weist einen ersten bzw. zweiten Arbeitszylinder-Einlasskanal **70, 74** auf, die fluidtechnisch mit einer ersten bzw. zweiten Arbeitszylinder-Einlassöffnung **71, 75** gekoppelt sind, wobei die Motor-Einlassluftströmung durch erste bzw. zweite Arbeitszylinder-Einlassventile **62, 64** gesteuert wird. Wie gezeigt ist, gibt es zwei Einlassventile pro Zylinder, obwohl eine beliebige geeignete Anzahl, z. B. ein Einlassventil oder drei Einlassventile pro Zylinder, verwendet werden kann. Die Motoreinlassluft stammt aus einer Umgebungsluftquelle und kann durch eine Einrichtung zur Druckbeaufschlagung hindurchtreten, wie beispielsweise durch einen Turbolader oder einen Turbokompressor, bevor sie in den ersten und zweiten Arbeitszylinder-Einlasskanal **70, 74** eintritt. Der Zylinderkopf **60** weist auch eine erste und eine zweite Arbeitszylinder-Auslassöffnung **72, 76** auf, wobei die Motor-Auslassluftströmung durch erste bzw. zweite Arbeitszylinder-Auslassventile **63, 65** gesteuert wird. Wie gezeigt ist, gibt es zwei Auslassventile pro Zylinder, obwohl eine beliebige geeignete Anzahl, z. B. ein Auslassventil oder drei Auslassventile pro Zylinder, verwendet werden kann. Die ersten und die zweiten Arbeitszylinder-Einlassventile **62, 64** sowie -Auslassventile **63, 65** sind normalerweise geschlossene, durch eine Feder vorgespannte Tellerventile, die bei einer Ausführungsform durch die Drehung der Arbeitszylinder-Nockenwellen aktiviert werden, und sie können alternativ eine beliebige andere geeignete Ventil- und Ventilaktivierungskonfiguration aufweisen.

[0018] Der Zylinderkopf trägt Elemente, die zum Auslösen der Verbrennung notwendig sind, z. B. bei einer Ausführungsform eine Zündkerze und eine Kraftstoffeinspritzeinrichtung, für jeden von dem ersten und dem zweiten Arbeitszylinder **32, 34**.

[0019] Die erste Arbeitszylinder-Auslassöffnung **72** ist fluidtechnisch über einen ersten Expanderzylinder-Einlasskanal **73** mit einer ersten Expanderzylinder-Einlassöffnung **79** gekoppelt, wobei die Strömung durch ein erstes Expanderzylinder-Einlassventil **66** und das erste Arbeitszylinder-Auslassventil **63** gesteuert wird. Die zweite Arbeitszylinder-Auslassöffnung **76** ist fluidtechnisch über einen zweiten Expanderzylinder-Einlasskanal **72** mit einer zweiten Expanderzylinder-Einlassöffnung **80** gekoppelt, wo-

bei die Strömung durch ein zweites Expanderzylinder-Einlassventil **67** und das zweite Arbeitszylinder-Auslassventil **65** gesteuert wird. Der Zylinderkopf **60** weist auch eine oder mehrere Expanderzylinder-Auslassöffnung(en) **78** auf, von denen zwei gezeigt sind, mit einem entsprechenden Expanderzylinder-Auslassventil bzw. entsprechenden Expanderzylinder-Auslassventilen **68**, die fluidtechnisch mit einem Expanderzylinder-Auslasskanal **81** verbunden sind, der zu einem Abgassystem führt, das Abgasreinigungseinrichtungen, einen Turbolader, Abgasschalldämpfereinrichtungen usw. umfassen kann. Das erste Expanderzylinder-Einlassventil **66**, das zweite Expanderzylinder-Einlassventil **67** und das bzw. die Expanderzylinder-Auslassventile) **68** können normalerweise geschlossene, durch eine Feder vorgespannte Tellerventile sein, die bei einer Ausführungsform durch die Drehung der Expanderzylinder-Nockenwelle aktiviert werden können, und sie können alternativ eine beliebige andere geeignete Nockenwellenkonfiguration umfassen. Die Drehungen der Arbeitszylinder-Nockenwellen und der Expanderzylinder-Nockenwellen sind vorzugsweise mit der Drehung der Kurbelwelle **20** indiziert und verbunden. Der erste und der zweite Kurbelzapfen **26**, **27** der Kurbelwelle **20** sind über die erste und die zweite Pleuelstange **43**, **45** drehbar mit dem ersten und dem zweiten Arbeitskolben **42**, **44** gekoppelt.

[0020] Die Pleuelstangenbaugruppe **50** mit mehreren Verbindungen bildet ein Mehrfachgestänge, das eine lineare Hubbewegung des Expanderkolbens **46**, der bezogen auf die Kurbelwellen-Mittelachse **24** verschoben ist, in eine Drehbewegung der Kurbelwelle **20** übersetzt, während eine Seitenbelastung des Expanderkolbens **46** minimiert wird. Eine Verschiebung **25** zwischen der Kurbelwellen-Mittelachse **24** und der Mittelachse **37** des Expanderzylinders **36** ist unter Bezugnahme auf **Fig. 2** gezeigt. Die Pleuelstangenbaugruppe **50** mit mehreren Verbindungen umfasst einen starren Hauptverbindungshebel **52**, der eine Platte mit drei Zapfen ist, die einen ersten Gelenkzapfen **53**, einen zweiten Gelenkzapfen **54** und einen dritten Gelenkzapfen **55** aufweist. Der erste Gelenkzapfen **53** des Hauptverbindungshebels **52** ist drehbar mit der dritten Pleuelstange **47** gekoppelt, die mit dem Expanderkolben **46** gekoppelt ist. Der zweite Gelenkzapfen **54** des Hauptverbindungshebels **52** ist drehbar mit dem dritten Kurbelzapfen **28** der Kurbelwelle **20** gekoppelt. Der dritte Kurbelzapfen **28** der Kurbelwelle **20** ist zusammen mit dem zweiten Gelenkzapfen **54** an der Pleuelstangenbaugruppe **50** mit mehreren Verbindungen angeordnet und bezüglich des ersten und des zweiten Kurbelzapfens **26**, **27** um 180° gedreht. Der dritte Gelenkzapfen **55** des Hauptverbindungshebels **52** ist drehbar mit einem ersten Ende eines Schwinghebels **56** gekoppelt, und ein zweites Ende des Schwinghebels **56** ist drehbar mit einem vierten Gelenkzapfen **57** gekoppelt, der ein rotierender Ankerpunkt ist, welcher

mit einem distalen Ende eines rotierenden Hebels **58** gekoppelt ist, der an einer zweiten rotierenden Welle **59** fest angebracht ist, um sich mit dieser zu drehen. Bei einer Ausführungsform, und wie es gezeigt ist, ist eine Einrichtung zur variablen Phaseneinstellung (ein Phasensteller) **90** zwischen dem rotierenden Hebel **58** und der zweiten rotierenden Welle **59** eingefügt, und er koppelt den rotierenden Hebel **58** drehbar mit der zweiten rotierenden Welle **59**, um eine Steuerung der Phaseneinstellung des rotierenden Hebels **58** und des rotierenden Ankerpunkts an dem vierten Gelenkzapfen **57** zu bewirken. Die Mechanisierung und die Steuerung von Einrichtungen zur Phaseneinstellung, wie beispielsweise des Phasenstellers **90**, sind bekannt und werden nicht im Detail beschrieben. Die zweite rotierende Welle **59** ist bei einer vorbestimmten Distanz bezogen auf die Kurbelwellen-Mittelachse **24** drehbar mit der Kurbelwelle **20** gekoppelt und dreht sich mit der gleichen Drehzahl, und der Phasensteller **90** wird derart gesteuert, dass die Drehphaseneinstellung des rotierenden Hebels **58** bezogen auf die Drehposition der Kurbelwelle **20** gesteuert wird.

[0021] Bei einer Ausführungsform liegt der Einflussbereich für die Phaseneinstellung mittels des Phasenstellers **90** zwischen 0° (Position 1) und 180° der Drehung (Position 2). Die Auswirkung der Steuerung der Phaseneinstellung des Phasenstellers **90** ist, dass die Drehphaseneinstellung des rotierenden Hebels **58** bezogen auf die Drehposition der Kurbelwelle **20** gesteuert wird, und dies wird unter Bezugnahme auf **Fig. 6** und **Fig. 7** beschrieben. Die Pleuelstangenbaugruppe **50** mit mehreren Verbindungen steuert vorzugsweise die Hubbewegung des Expanderkolbens **46** derart, dass diese bezogen auf die Hubbewegung des ersten und zweiten Arbeitskolbens **42**, **44** um 180° außer Phase ist. Wenn sich der Expanderkolben **46** an einem oberen Totpunkt (TDC) befindet, befinden sich der erste und der zweite Arbeitskolben **42**, **44** an den unteren Totpunkten (BDC). Darüber hinaus beeinflusst die Anordnung der Elemente der Pleuelstangenbaugruppe **50** mit mehreren Verbindungen den Hub des Expanderkolbens **46** und daher die Hubvolumina und das geometrische Kompressionsverhältnis des Expanderzylinders **36**.

[0022] Die Pleuelstangenbaugruppe **50** mit mehreren Verbindungen koppelt die Verschiebung des ersten und des zweiten Arbeitskolbens **42**, **44** im Zylinder mit der Verschiebung des Expanderkolbens **46** im Zylinder während der Drehung der Kurbelwelle **20** über den ersten, zweiten und dritten Kurbelzapfen **26**, **27** und **28**.

[0023] Der erste Gelenkzapfen **53** und der zweite Gelenkzapfen **54** des starren Hauptverbindungshebels **52** definieren eine erste lineare Distanz. Der zweite Gelenkzapfen **54** und der dritte Gelenkzapfen **55** definieren eine zweite lineare Distanz. Diese Kon-

figuration mit dem Hauptverbindungshebel **52** ermöglicht, dass sich der Hub des Expanderkolbens **46** von einer dritten Kurbelhublänge unterscheidet, die durch den dritten Kurbelzapfen **28** der Kurbelwelle **20** definiert ist. Vorzugsweise verstärkt die Pleuelstangenbaugruppe **50** mit mehreren Verbindungen den Hub des Expanderkolbens **46** bezogen auf die Kurbelhublänge des dritten Kurbelzapfens **28**, wobei der Verstärkungsfaktor durch die Geometrie der Baugruppe festgelegt ist, welche die erste und die zweite lineare Distanz zwischen den Gelenkzapfen umfasst. Ein Betrag einer linearen Hubdistanz des Expanderkolbens **46** zwischen einem TDC-Punkt und einem BDC-Punkt wird basierend auf dem folgenden ermittelt: der Hebelarm, d. h. eine erste lineare Distanz und die zweite lineare Distanz zwischen den Gelenkzapfen, der dritte Kurbelhub, der Hub des rotierenden Ankerhebels und des vierten Gelenkzapfens **57** sowie die Phaseneinstellung des rotierenden Hebels **58** bezogen auf die Kurbelwelle **20** beeinflussen alle den Hub des Expanderkolbens **46**.

[0024] Der Betrieb des Motors **10**, wie er hierin beschrieben ist, umfasst das Folgende. Der erste und der zweite Arbeitszylinder **32**, **34** arbeiten beide in Viertaktzyklen, welche wiederholt ausgeführte Einlass-, Kompressions-, Expansions- und Auslasstakte über 720° der Kurbelwellendrehung umfassen. Der Viertaktzyklus, der dem zweiten Arbeitszylinder **34** zugeordnet ist, ist bezogen auf den Zyklus, der dem ersten Arbeitszylinder **32** zugeordnet ist, um 360° der Kurbelwellendrehung außer Phase. Wenn sich der erste Arbeitszylinder **32** in dem Einlasstakt befindet, befindet sich somit der zweite Arbeitszylinder **34** in dem Expansionstakt, und wenn sich der zweite Arbeitszylinder **34** in dem Einlasstakt befindet, befindet sich der erste Arbeitszylinder **32** in dem Expansionstakt. Der Expanderzylinder **36** arbeitet in einem Zweitaktzyklus, der einen Einlasstakt und einen Auslasstakt umfasst, wobei der Einlasstakt abwechselnd mit den Auslasstakten des ersten und des zweiten Arbeitszylinders **32**, **34** abgestimmt ist. Somit verschiebt jeder der Arbeitszylinder **32**, **34** sein Abgas auf eine abwechselnde Weise in den Expanderzylinder **42**. Dieser Betrieb ist graphisch unter Bezugnahme auf **Fig. 4** gezeigt.

[0025] **Fig. 4-1** bis **Fig. 4-5** stellen zeichnerisch den Betrieb einer Ausführungsform des Verbrennungsmotors **410** mit einzelner Welle und doppelter Expansion, welcher einen optionalen Turbokompressor zur Druckbeaufschlagung der Einlassluft, einen ersten und zweiten Arbeitszylinder **432** und **434** sowie einen Expanderzylinder **436** aufweist, während nacheinander ausgeführter Arbeitstakte dar, die dessen Betrieb zugeordnet sind. **Fig. 3** zeigt graphisch ein entsprechendes Druck-Volumen-Diagramm (PV-Diagramm), das dem Betrieb in den Takten von **Fig. 4-1** bis **Fig. 4-5** zugeordnet ist. Das PV-Diagramm umfasst den Zylinderinnendruck (in bar) **310**, der an der

vertikalen Achse aufgetragen ist, bezogen auf das Zylinderhubvolumen (in l) **320**, das an der horizontalen Achse aufgetragen ist, und es umfasst PV-Linien, welche die Arbeit angeben, die dem ersten Arbeitszylinder **432** (**340**) und dem Expanderzylinder **436** (**350**) zugeordnet ist. Die verschiedenen Pfeile geben die Richtungen der Bewegung der Kolben an, die den verschiedenen Zylindern zugeordnet sind.

[0026] **Fig. 4-1** zeigt einen Takt mit erstem Einlass und zweiter Expansion, der umfasst, dass sich der erste Arbeitszylinder **432** in einem Einlasstakt befindet, dass sich der zweite Arbeitszylinder **434** in einem Arbeitstakt befindet, und dass sich der Expanderzylinder **436** in einem Auslasstakt befindet. Das entsprechende Liniensegment **341** der Linie **340**, welche in **Fig. 3** die Arbeit angibt, die dem ersten Arbeitszylinder **432** zugeordnet ist, gibt eine leichte Abnahme im Druck mit erhöhtem Arbeitszylindervolumen an.

[0027] **Fig. 4-2** zeigt einen Takt mit erster Kompression und zweitem Auslass, der umfasst, dass sich der erste Arbeitszylinder **432** in einem Kompressionsstakt befindet, dass sich der zweite Arbeitszylinder **434** in einem Auslasstakt befindet und dass sich der Expanderzylinder **436** in einem Expansionstakt befindet, der die Eingangsströmung aus dem zweiten Arbeitszylinder **434** verwendet. Das entsprechende Liniensegment **342** der Linie **340**, welche in **Fig. 3** die Arbeit angibt, die dem ersten Arbeitszylinder **432** zugeordnet ist, gibt eine wesentliche Zunahme im Druck mit verringertem Arbeitszylindervolumen an.

[0028] **Fig. 4-3** zeigt einen Takt mit erster Expansion und zweitem Einlass, der umfasst, dass sich der erste Arbeitszylinder **432** in einem Expansionstakt befindet, dass sich der zweite Arbeitszylinder **434** in einem Einlasstakt befindet und dass sich der Expanderzylinder **436** in einem Auslasstakt befindet. Das entsprechende Liniensegment **343** der Linie **340**, welche in **Fig. 3** die Arbeit angibt, die dem ersten Arbeitszylinder **432** zugeordnet ist, gibt eine wesentliche Abnahme im Druck mit erhöhtem Arbeitszylindervolumen an.

[0029] **Fig. 4-4** zeigt einen Takt mit erstem Auslass und zweiter Kompression, der umfasst, dass sich der erste Arbeitszylinder **432** in einem Auslasstakt befindet, dass sich der zweite Arbeitszylinder **434** in einem Kompressionsstakt befindet und dass sich der Expanderzylinder **436** in einem Expansionstakt befindet, der die Eingangsströmung aus dem ersten Arbeitszylinder **432** verwendet. Das entsprechende Liniensegment **344** der Linie **340**, welche in **Fig. 3** die Arbeit angibt, dass die dem ersten Arbeitszylinder **432** zugeordnet ist, gibt eine kontinuierliche Abnahme im Druck mit verringertem Arbeitszylindervolumen an und vervollständigt die Zyklusschleife für den ersten Arbeitszylinder **432**. Das entsprechende Liniensegment **354** der Linie **350**, welche die Arbeit

angibt, die dem Expanderzylinder **436** zugeordnet ist, gibt eine kontinuierliche Abnahme im Druck mit erhöhtem Expanderzylindervolumen an.

[0030] Fig. 4-5 zeigt einen zweiten Zyklus des Takts mit erstem Einlass und zweiter Expansion, der umfasst, dass sich der erste Arbeitszylinder **432** in einem Einlasstakt befindet, dass sich der zweite Arbeitszylinder **434** in einem Arbeitstakt befindet und dass sich der Expanderzylinder **436** in einem Auslasstakt befindet. Das entsprechende Liniensegment **341** der Linie **340**, welche in Fig. 3 die Arbeit angibt, die dem ersten Arbeitszylinder **432** zugeordnet ist, gibt eine leichte Abnahme im Druck mit erhöhtem Arbeitszylindervolumen an. Das entsprechende Liniensegment **355** der Linie **350**, welche die Arbeit angibt, die dem Expanderzylinder **436** zugeordnet ist, gibt an, dass der Zylinderinnendruck mit der Abnahme im Zylindervolumen anfänglich unverändert ist und anschließend stark zunimmt, wenn die Ventile schließen.

[0031] Fig. 5 zeigt graphisch den Betrieb einer Ausführungsform des Verbrennungsmotors **10** mit einzelner Welle und doppelter Expansion, der hierin beschrieben ist, über den Verlauf eines einzelnen Verbrennungszyklus anhand des Öffnens und Schließens der verschiedenen Einlass- und Auslassventile bezogen auf den Kurbelwinkel sowie anhand der Hubvolumina der Zylinder und der entsprechenden Funkenzündungsereignisse. Insgesamt arbeiten sowohl der erste als auch der zweite Arbeitszylinder **32**, **34** in einem Viertaktzyklus, der wiederholt ausgeführte Einlass-, Kompressions-, Expansions- und Auslasstakte über 720° der Kurbelwellendrehung umfasst, wobei der Zyklus, der dem zweiten Arbeitszylinder **34** zugeordnet ist, bezogen auf den Zyklus, der dem ersten Arbeitszylinder **32** zugeordnet ist, um 360° der Kurbelwellendrehung außer Phase ist. Der Expanderzylinder **36** arbeitet in einem Zweitaktzyklus, der einen Einlasstakt und einen Auslasstakt umfasst, wobei der Einlasstakt abwechselnd mit den Auslasstakten des ersten und des zweiten Arbeitszylinders **32**, **34** abgestimmt ist. Somit verschiebt jeder der Arbeitszylinder **32**, **34** sein Abgas auf eine abwechselnde Weise in den Expanderzylinder **36**. Der Expanderzylinder **36** ist vorzugsweise bezüglich des Volumens erheblich größer als die einzelnen Arbeitszylinder **32**, **34**, und er liegt vorzugsweise in einem Bereich zwischen dem 1,5-fachen und dem 4,0-fachen des Hubvolumens eines der einzelnen Arbeitszylinder **32**, **34**.

[0032] Die Daten umfassen das Hubvolumen für den Expanderzylinder **36** (**560**), die Hubvolumina für den ersten und zweiten Arbeitszylinder **32**, **34** (**540**, **550**), den Betrieb des ersten Arbeitszylinders **32** (**510**) mit Öffnen (1) und Schließen (0) der Einlassventile **512** und der Auslassventile **514** und einem zugeordneten Verbrennungsereignis **515**, den Betrieb des zweiten Arbeitszylinders **34** (**520**) mit Öffnen (1) und Schlie-

ßen (0) der Einlassventile **522** und der Auslassventile **524** sowie mit einem zugeordneten Verbrennungsereignis **525**, den Betrieb des ersten Expanderzylinders **36** (**530**) mit Öffnen (1) und Schließen (0) des ersten Einlassventils **532**, des zweiten Einlassventils **531** und der Auslassventile **534**, wobei alles graphisch gleichzeitig bezogen auf den Motorkurbelwinkel **505** zwischen einem nominellen Kurbelwinkel von -360° und einem nominellen Kurbelwinkel von $+720^\circ$ dargestellt ist.

[0033] Die Konfiguration, wie sie dargestellt ist und eine zusammengesetzte Zylinderkonfiguration verwendet, umfasst eine der Zylinder-Dreiergruppen, die einen ersten bzw. zweiten Arbeitszylinder **32**, **34** und einen dritten Expanderzylinder **36** umfasst, und die Pleuelstangenbaugruppe **50** mehreren Verbindungen umfasst einen starren Hauptverbindungshebel **52** mit einem ersten Gelenkzapfen **53**, einem zweiten Gelenkzapfen **54** und einem dritten Gelenkzapfen **55** sowie einen Schwinghebel **56**, der mechanisch über einen rotierenden Hebel **58** mit einem rotierenden Phasensteller **90** gekoppelt ist. Die Pleuelstangenbaugruppe **50** mit mehreren Verbindungen koppelt die Verschiebung des ersten und des zweiten Arbeitskolbens **42**, **44** im Zylinder mechanisch mit der Verschiebung des Expanderkolbens **46** im Zylinder.

[0034] Die Auswirkung des Steuerns der Phaseneinstellung unter Verwendung des Phasenstellers **90** zum Steuern der Drehphaseneinstellung des rotierenden Hebels **58** bezogen auf die Drehposition der Kurbelwelle **20** wird unter Bezugnahme auf Fig. 6 und Fig. 7 für eine Ausführungsform des Verbrennungsmotors **10** mit einzelner Welle und doppelter Expansion beschrieben. Fig. 6 zeigt graphisch den Betrieb einer Ausführungsform des Verbrennungsmotors **10** mit einzelner Welle und doppelter Expansion, der hierin beschrieben ist, über den Verlauf eines einzelnen Verbrennungszyklus bei zwei unterschiedlichen Drehphaseneinstellungspositionen des rotierenden Hebels **58** bezogen auf die Drehposition der Kurbelwelle **20**. Die Daten umfassen das Zylindervolumen des Expanderzylinders **36** an der vertikalen Achse **610** bezogen auf den Motorkurbelwinkel an der horizontalen Achse **620**. Wenn der Phasensteller **90** in eine erste Position der Phasenstellerdrehung gesteuert wird, führt der Expanderkolben **46** eine Hubbewegung bei seiner maximalen linearen Distanz zwischen einem TDC-Punkt und einem BDC-Punkt aus, was zu dem maximalen Hubvolumen führt, das durch die Linie **625** dargestellt ist. Wenn der Phasensteller **90** in eine zweite Position der Phasenstellerdrehung gesteuert wird, führt die Position des Expanderkolbens **46** eine Hubbewegung bei seiner minimalen linearen Distanz zwischen dem TDC- und einem BDC-Punkt aus, was zu dem minimalen Hubvolumen führt, das durch die Linie **615** dargestellt ist.

[0035] Fig. 7 zeigt graphisch Ergebnisse, die dem Betrieb einer Ausführungsform des Verbrennungsmotors **10** mit einzelner Welle und doppelter Expansion zugeordnet sind, und umfasst Kolbenpositionen für den Expanderkolben **46** am TDC **715** und am BDC **725** an der vertikalen Achse **710**, welche bezogen auf die Phaseneinstellungs-Drehposition des Phasenstellers **90** an der horizontalen Achse **720** gezeigt sind. Die Phaseneinstellungs-Drehpositionen umfassen eine Position 1 **722** und eine Position 2 **724**, die einen Einflussbereich der Phaseneinstellung mittels des Phasenstellers **90** repräsentieren. Die Kolbenpositionen am TDC **715** und am BDC **725** sind über einen Einflussbereich des Phaseneinstellungselements **90** zwischen der Position 1 **722** mit der maximalen linearen Hubdistanz des Expanderkolbens **46** und der Position 2 **724** mit der minimalen linearen Hubdistanz des Expanderkolbens **46** zwischen einem TDC-Punkt und einem BDC-Punkt gezeigt. Die Ergebnisse geben an, dass der Einflussbereich der Steuerung mittels des Phaseneinstellungselements **90** über den Einflussbereich des Phaseneinstellungselements **90** zwischen der ersten Position der Phasenstellerdrehung und der zweiten Position der Phasenstellerdrehung unbegrenzt variabel ist.

[0036] Diese Anordnung ermöglicht, dass der Expanderzylinder **36** und der zugeordnete Expanderkolben **46** bezogen auf die Kurbelwellen-Mittelachse **24** signifikant verschoben sind, ohne dass Betriebsprobleme auftreten, die mit einer Seitenbelastung des Kolbens verbunden sind. Diese Anordnung ermöglicht, dass der Hub des Expanderkolbens **46** bezogen auf den Kurbelhub ausgewählt wird, sie beschränkt den Hub jedoch nicht darauf, dass dieser zu dem Kurbelhub äquivalent ist.

[0037] Solche Konfigurationen ermöglichen kompaktere Konstruktionen einer Ausführungsform des Verbrennungsmotors **10** mit einzelner Welle und doppelter Expansion, einschließlich einer insgesamt kürzeren Motorlänge, einer geringeren Motorhöhe und einer besseren Motorleistung durch geringere Gasübertragungsverluste aufgrund der Minimierung der Längen der Einlasskanäle **73**, **77** für den Expanderzylinder **36**.

[0038] Obgleich die besten Weisen zum Ausführen vieler Aspekte der vorliegenden Lehren im Detail beschrieben wurden, werden Fachleute, die diese Lehren betreffen, verschiedene alternative Aspekte zum Ausüben der vorliegenden Lehren erkennen, welche innerhalb des Umfangs der beigefügten Ansprüche liegen.

Patentansprüche

1. Verbrennungsmotor mit einzelner Welle und doppelter Expansion, umfassend:

einen Motorblock, einen Zylinderkopf, eine einzelne Pleuelstangenbaugruppe mit mehreren Verbindungen; wobei der Motorblock einen ersten und zweiten Arbeitszylinder sowie einen Expanderzylinder aufweist; wobei der Zylinderkopf fluidtechnisch mit dem ersten und dem zweiten Arbeitszylinder sowie mit dem Expanderzylinder gekoppelt ist; einen ersten und einen zweiten Arbeitskolben, die in dem ersten bzw. in dem zweiten Arbeitszylinder eine Hubbewegung ausführen und mit einem jeweiligen ersten und zweiten Pleuelzapfen der Pleuelstange verbunden sind; wobei die Pleuelstangenbaugruppe mit mehreren Verbindungen einen starren Haupthebel aufweist, der sich rechtwinklig zu einer Längsachse der Pleuelstange erstreckt und einen ersten Gelenkzapfen, der an einem ersten Ende des Haupthebels angeordnet ist, einen zweiten Gelenkzapfen, der an einem zentralen Abschnitt des Haupthebels angeordnet ist, sowie einen dritten Gelenkzapfen trägt, der an einem zweiten Ende des Haupthebels angeordnet ist; wobei der erste Gelenkzapfen mittels einer Pleuelstange mit einem Expanderkolben gekoppelt ist, der in dem dritten Zylinder eine Hubbewegung ausführt; wobei der zweite Gelenkzapfen mit einem dritten Pleuelstange der Pleuelstange gekoppelt ist, wobei der dritte Pleuelstange einen Hub aufweist, der bezogen auf einen Hub des ersten und des zweiten Pleuelstanges um 180 Grad um die Längsachse der Pleuelstange gedreht ist; und wobei der dritte Gelenkzapfen mit einem ersten Ende eines Pleuelhebels gekoppelt ist und ein zweites Ende des Pleuelhebels mit einem vierten Gelenkzapfen drehbar gekoppelt ist, der mit einem distalen Ende eines rotierenden Hebels gekoppelt ist, der an einer rotierenden Welle befestigt ist, die mit der Drehung der Pleuelstange gekoppelt ist.

2. Verbrennungsmotor mit einzelner Welle und doppelter Expansion nach Anspruch 1, ferner einen Phasensteller umfassend, der zwischen dem rotierenden Hebel und der rotierenden Welle eingefügt ist, wobei der Phasensteller eine Phaseneinstellungssteuerung des rotierenden Hebels bezogen auf die rotierende Welle bewirkt, die mit der Drehung der Pleuelstange gekoppelt ist.

3. Verbrennungsmotor mit einzelner Welle und doppelter Expansion nach Anspruch 2, wobei der Expanderkolben während jeder Umdrehung eine Hubbewegung in dem dritten Zylinder bei einer maximalen Distanz zwischen TDC und BDC ausführt, wenn der Phasensteller das rotierende Element auf eine erste relative Phaseneinstellung steuert, und wobei der Expanderkolben während jeder Umdrehung eine Hubbewegung in dem dritten Zylinder bei einer minimalen Distanz zwischen TDC und BDC ausführt, wenn der Phasensteller das rotierende Element auf eine zweite relative Phaseneinstellung steuert.

4. Verbrennungsmotor mit einzelner Welle und doppelter Expansion nach Anspruch 1, wobei der erste Gelenkzapfen und der zweite Gelenkzapfen der Pleuelstangenbaugruppe mit mehreren Verbindungen eine erste lineare Distanz definieren, wobei der zweite Gelenkzapfen und der dritte Gelenkzapfen der Pleuelstangenbaugruppe mit mehreren Verbindungen eine zweite lineare Distanz definieren und wobei eine Größe eines linearen Hubs des Expanderkolbens, der in dem dritten Zylinder eine Hubbewegung ausführt, basierend auf der ersten linearen Distanz und der zweiten linearen Distanz definiert ist.

5. Verbrennungsmotor mit einzelner Welle und doppelter Expansion nach Anspruch 1, wobei der erste und der zweite Arbeitskolben eine synchrone Hubbewegung in dem ersten bzw. in dem zweiten Arbeitszylinder ausführen und wobei der Expanderkolben eine Hubbewegung in dem Expanderzylinder ausführt, die bezogen auf den ersten und den zweiten Arbeitskolben um 180° außer Phase ist.

6. Verbrennungsmotor mit einzelner Welle und doppelter Expansion nach Anspruch 1, wobei der erste Gelenkzapfen und der zweite Gelenkzapfen der Pleuelstangenbaugruppe mit mehreren Verbindungen eine erste lineare Distanz definieren, wobei der zweite Gelenkzapfen und der dritte Gelenkzapfen der Pleuelstangenbaugruppe mit mehreren Verbindungen eine zweite lineare Distanz definieren und wobei eine Größe eines linearen Hubs des Expanderkolbens, der eine Hubbewegung in dem dritten Zylinder ausführt, basierend auf der ersten linearen Distanz, der zweiten linearen Distanz und einer linearen Länge des Schwinghebels, der zwischen dem dritten Gelenkzapfen und dem Motorblock verbunden ist, definiert ist.

7. Verbrennungsmotor mit einzelner Welle und doppelter Expansion nach Anspruch 1, wobei der erste und der zweite Arbeitszylinder sowie der Expanderzylinder zentrale Längsachsen aufweisen, die parallel verlaufen, und wobei die zentrale Längsachse des Expanderzylinders bezüglich einer Ebene verschoben ist, die zwischen den zentralen Längsachsen des ersten und zweiten Arbeitszylinders gebildet ist.

8. Verbrennungsmotor mit einzelner Welle und doppelter Expansion nach Anspruch 1, wobei der Zylinderkopf eine erste Auslassöffnung, einen ersten Auslasskanal und eine erste Expanderzylinder-Einlassöffnung, die den ersten Arbeitszylinder fluidtechnisch mit dem Expanderzylinder verbindet, sowie eine zweite Auslassöffnung, einen zweiten Auslasskanal und eine zweite Expanderzylinder-Einlassöffnung, die den zweiten Arbeitszylinder fluidtechnisch mit dem Expanderzylinder verbindet, umfasst.

9. Verbrennungsmotor mit einzelner Welle und doppelter Expansion nach Anspruch 1, wobei der erste Arbeitszylinder in einem Viertakt-Verbrennungszyklus arbeitet und der zweite Arbeitszylinder in einem Viertakt-Verbrennungszyklus arbeitet.

10. Verbrennungsmotor mit einzelner Welle und doppelter Expansion nach Anspruch 1, wobei der Expanderzylinder in einem Zweitakt-Verbrennungszyklus arbeitet.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

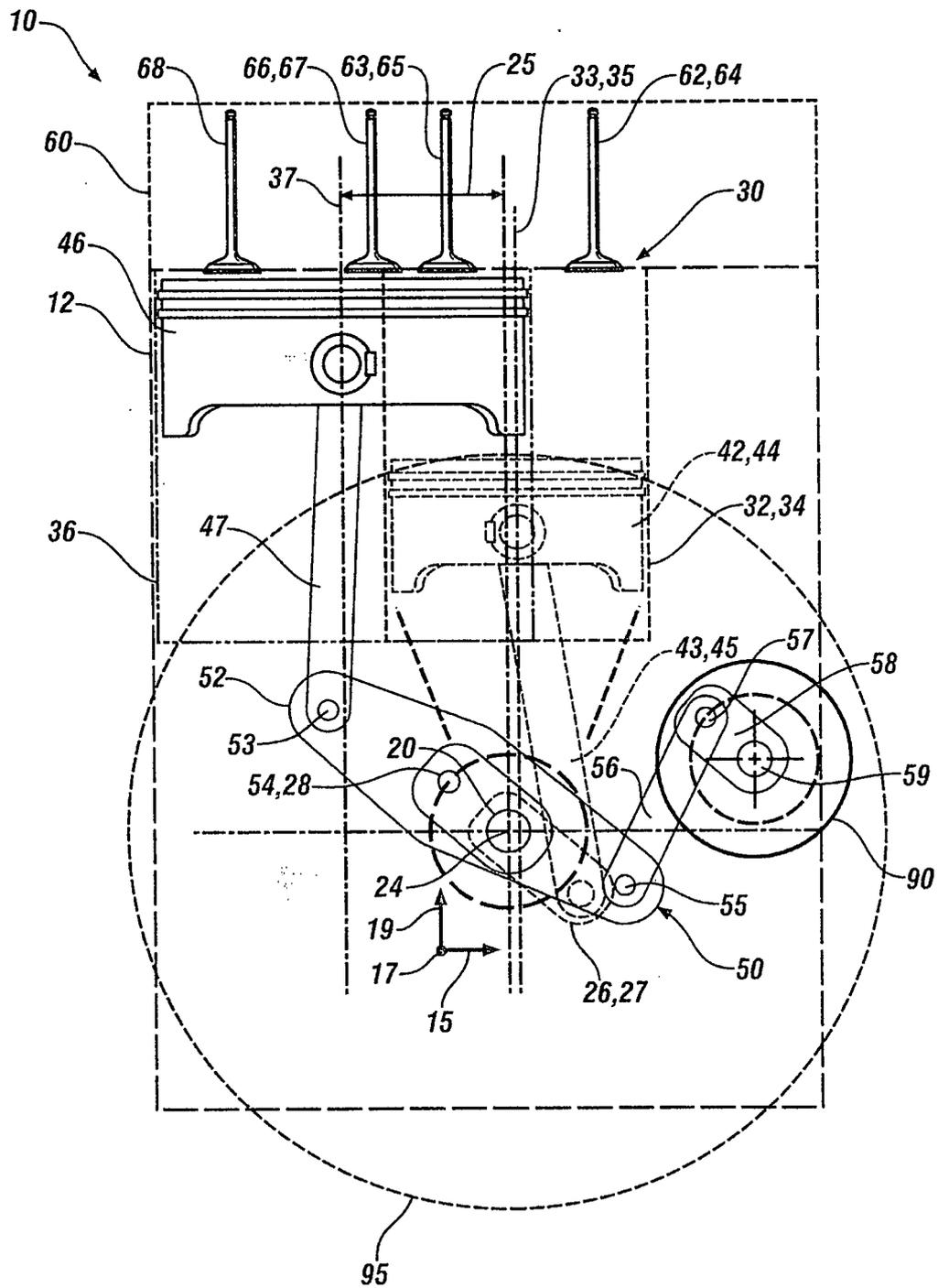


FIG. 1

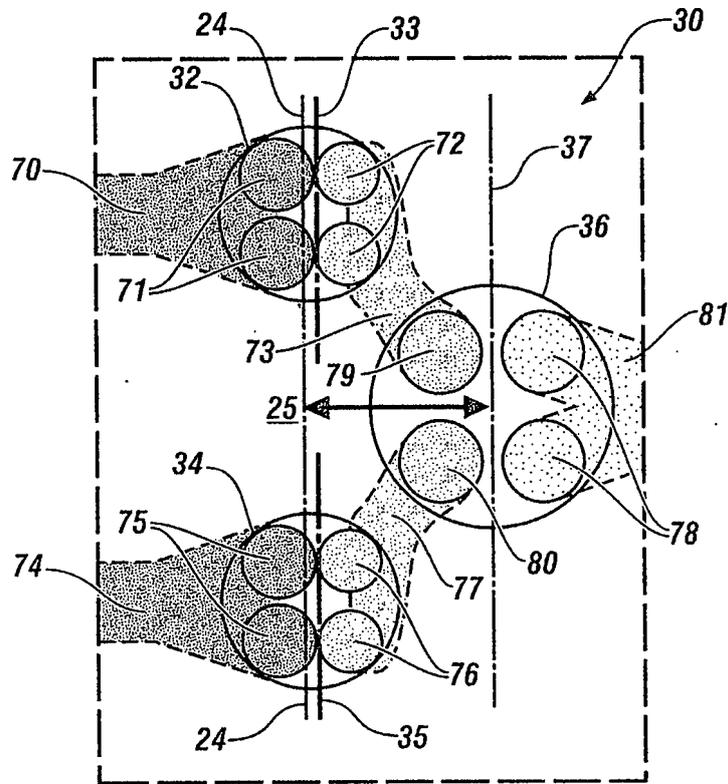


FIG. 2

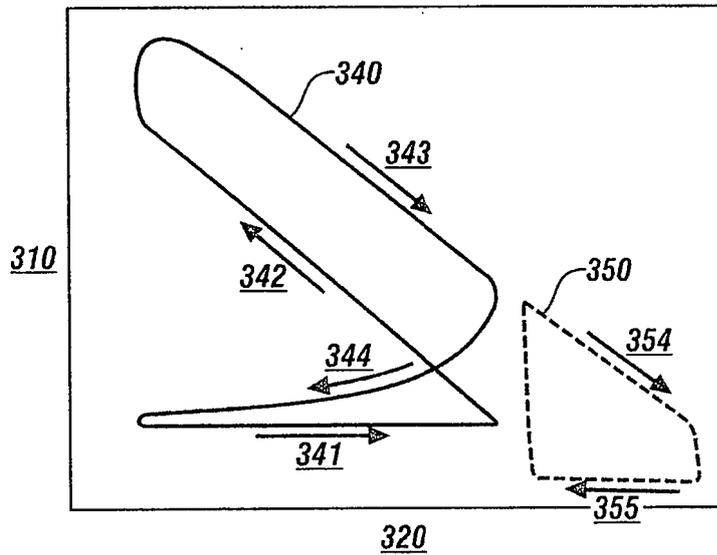


FIG. 3

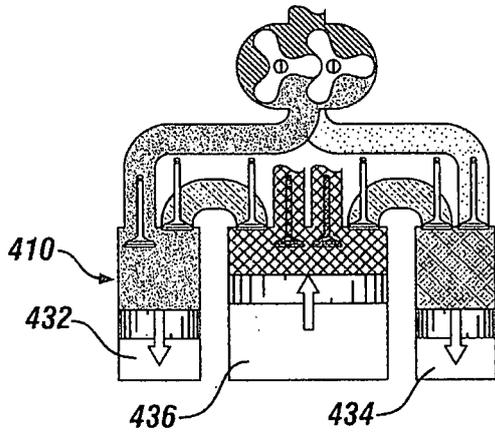


FIG. 4-1

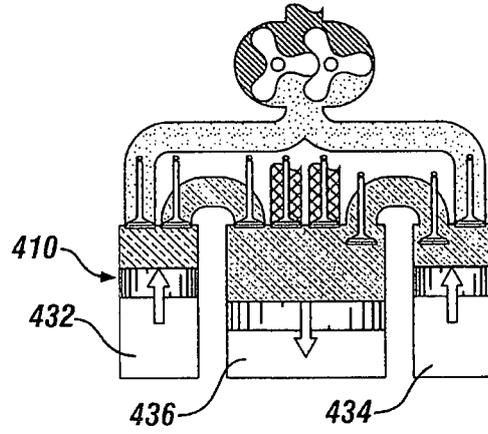


FIG. 4-2

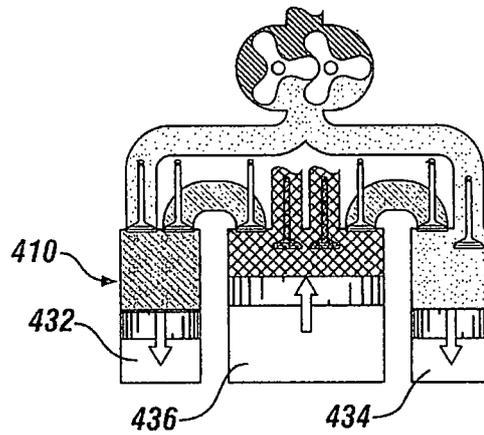


FIG. 4-3

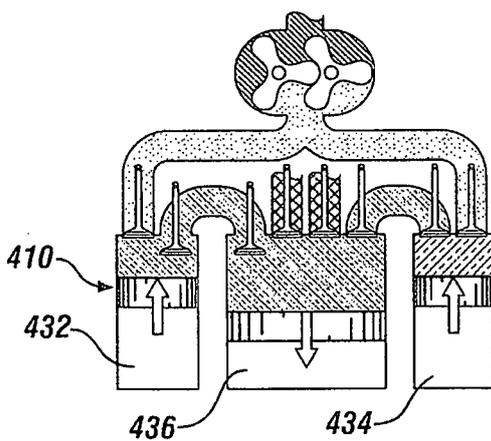


FIG. 4-4

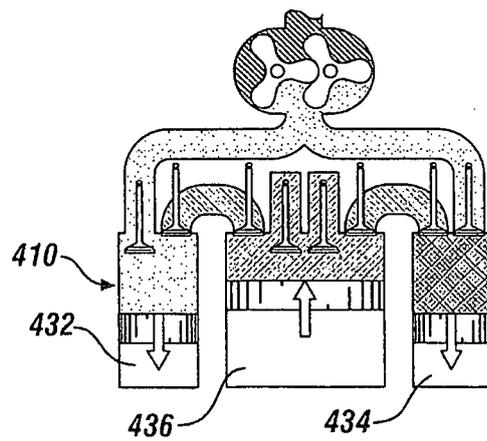


FIG. 4-5

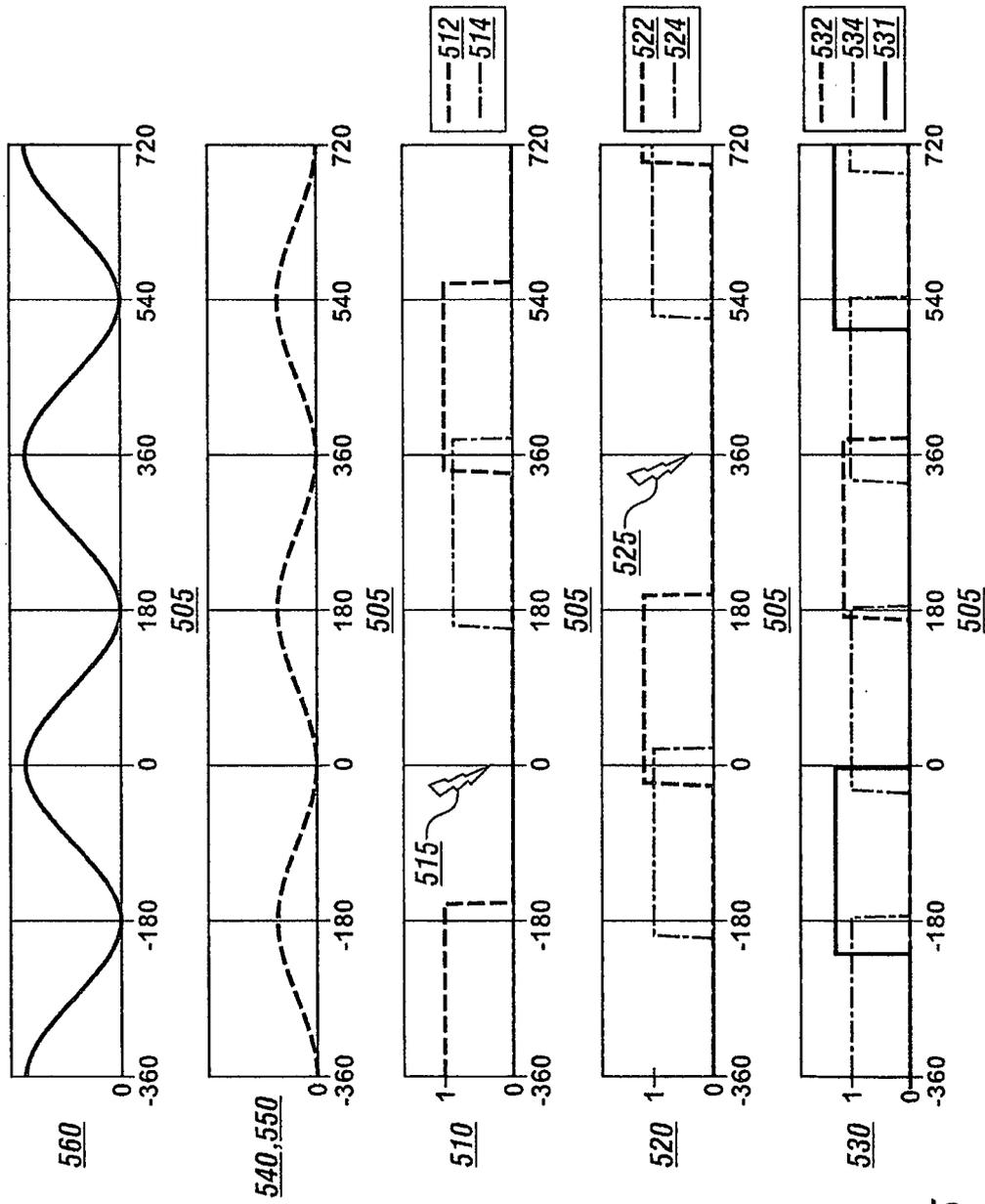


FIG. 5

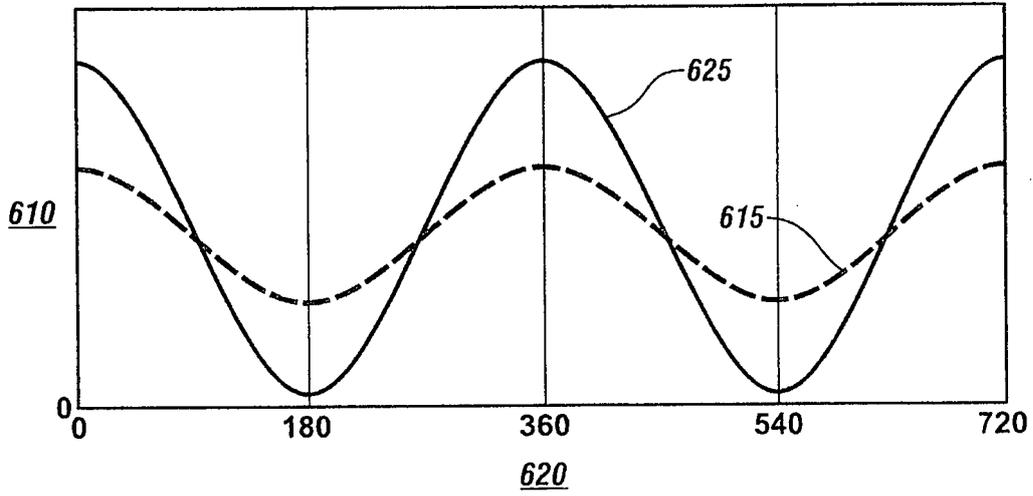


FIG. 6

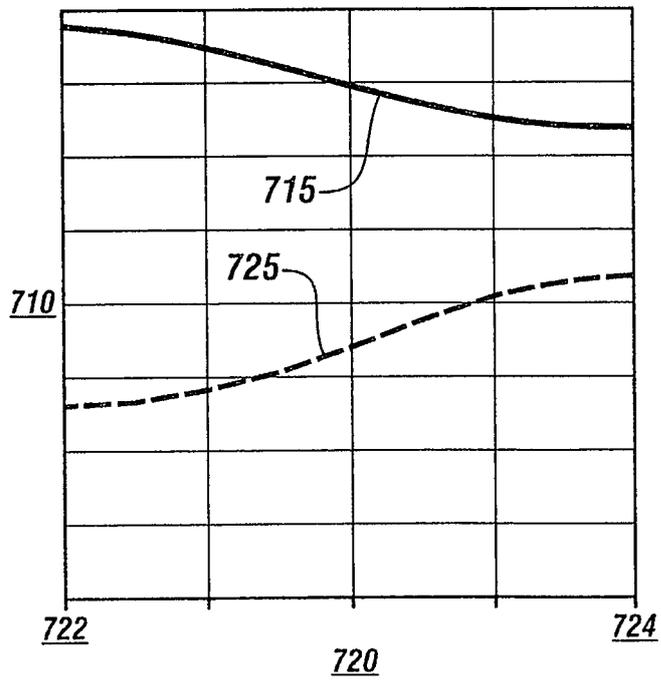


FIG. 7