



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 659 107 A5

⑤① Int. Cl. 4: F 02 B 71/04

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑫① Gesuchsnummer: 4976/85

⑦③ Inhaber:
Ernst Marcus, La Paz (BO)

⑫② Anmeldungsdatum: 21.11.1985

⑦② Erfinder:
Marcus, Ernst, La Paz (BO)

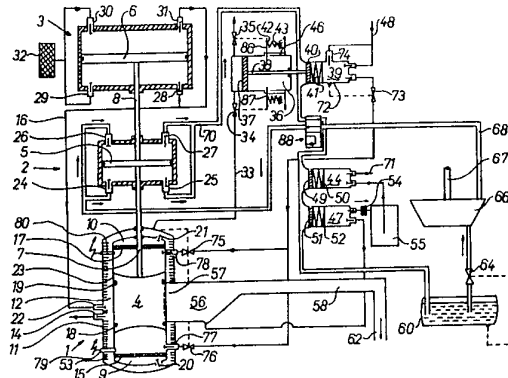
⑫④ Patent erteilt: 31.12.1986

⑫⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 31.12.1986

⑦④ Vertreter:
E. Blum & Co., Zürich

⑤④ **Freikolben-Brennkraftmaschine.**

⑤⑦ Der Arbeitskolben (4) des Zylinders (1) ist über eine Kolbenstange (7) fest mit dem Kolben (5) einer Flüssigkeitspumpe (2) verbunden. Dieser Kolben (5) ist seinerseits über eine Kolbenstange (8) fest mit dem Verdichterkolben (6) der Ladeluftpumpe (3) verbunden. Zwischen der Zylinderwand (23) und einem Aussenmantel (11) des Zylinders (1) ist ein Ladeluftspeicher (12) gebildet. Die von der Ladeluftpumpe (3) geförderte Ladeluft tritt in den Ladeluftspeicher (12) ein, um von dort über Einlassventile (20, 21) in die jeweiligen Verbrennungsräume (9, 10) einzutreten. Die von der Flüssigkeitspumpe (2) geförderte Flüssigkeit strömt in einen Windkessel (60). Von diesem strömt die Flüssigkeit weiter in eine Flüssigkeitsturbine (66), wobei die nutzbare Energie über die Turbinenwelle (67) abgegeben wird. Da die Flüssigkeit unkompressibel ist, erfolgt die Kraftübertragung von der Flüssigkeitskolbenpumpe (2) zur Turbine (66) mit nur sehr kleinen Verlusten. Damit ist ein besserer thermischer Wirkungsgrad der Brennkraftmaschine sichergestellt. Die Brennkraftmaschine ist äusserst einfach und gedrängt gebaut. Es ist nur ein Zylinder (1) notwendig um eine praktisch gleichförmige Leistung an der Turbinenwelle (67) zu erzeugen.



PATENTANSPRÜCHE

1. Freikolben-Brennkraftmaschine, mit mindestens einem Zylinder (1) mit einem darin längsverschiebbar geführten, doppelt wirkenden Arbeitskolben (4), und mit einer Ladeluftpumpe (3), dadurch gekennzeichnet, dass der Zylinder (1) zur Bildung eines Ladeluftspeichers (12) einen Aussenmantel (11) aufweist, dass die Ladeluftpumpe (3) einen doppelt wirkenden Verdichterkolben (6) aufweist, der über eine Kolbenstangenanordnung (7, 8) mit dem Arbeitskolben (4) verbunden ist, und welche Ladeluftpumpe (3) über eine Ladeluftleitung (16) mit dem Ladeluftspeicher (12) verbunden ist.

2. Freikolben-Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass im den Ladeluftspeicher (12) bildenden, zwischen dem Aussenmantel (11) und der Wand (23) des Zylinders (1) gelegenen Mantelraum den Aussenmantel (11) mit der Zylinderwand (23) verbindende Kühlrippen (53) angeordnet sind, dass im Aussenmantel (11) ein Hauptladelufteinlassventil (22) angeordnet ist, durch welches die durch die Ladeluftleitung (16) zugeführte Ladeluft in den Ladeluftspeicher (12) eintritt, dass der Zylinder (1) beim einen Ende eine erste (9) und beim entgegengesetzten Ende eine zweite Verbrennungskammer (10) aufweist, in der Zylinderwand (23) ein erstes (20), den Ladeluftspeicher (12) mit der ersten Verbrennungskammer (9) und ein zweites, den Ladeluftspeicher (12) mit der zweiten Verbrennungskammer (10) verbindendes Ladelufteinlassventil (21) angeordnet ist, und dass die Verbrennungskammern (9, 10) über Auspuffschlitze (57) mit einem Auspuffrohr (58) in Verbindung stehen.

3. Freikolben-Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kolbenstangenanordnung (7, 8) mit einem doppelt wirkenden Kolben (5) einer Flüssigkeitskolbenpumpe (2) verbunden ist, deren Auslassleitung (70) einem Windkessel (60) zugeführt ist, an welchem eine Flüssigkeitsturbिनenvorrichtung (66, 67) anschliesst, deren Auslass über eine Rückführleitung (68) mit der Flüssigkeitskolbenpumpe (2) verbunden ist.

4. Freikolben-Brennkraftmaschine nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch eine Brennstoffpumpenvorrichtung (39) mit einem federbelasteten Kolben (40) und eine Schmierstoffpumpenvorrichtung (44, 47) mit federbelasteten Kolben (49, 51), welche Kolben (40, 49, 51) über die Auslassleitung (70) von der durch die Flüssigkeitskolbenpumpe (2) geförderten Flüssigkeit beaufschlagt sind, derart, dass jede Pumpenvorrichtung (39, 44, 47) durch die Flüssigkeitskolbenpumpe (2) getrieben ist.

5. Freikolben-Brennkraftmaschine nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch eine Anfahrvorrichtung mit einem Anfahrzylinder (36) und darin längsverschiebbar angeordneten, über eine Kolbenstange (38) mit dem Kolben (40) der Brennstoffpumpenvorrichtung (39) verbundenen Anfahrkolben (37), welcher Anfahrzylinder (36) über eine Luftzufuhrleitung (33) mit einem Absperrventil (34) mit dem Ladeluftspeicher (12) verbunden ist und ein Entlüftungsventil (35) aufweist, welche Ventile (34, 35) durch eine vom Anfahrkolben (37) betätigte Steuervorrichtung (43, 86, 87) gesteuert sind.

6. Freikolben-Brennkraftmaschine nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuervorrichtung (43, 86, 87) federbelastete Schwenkarme (86, 87) aufweist, die mit dem Absperrventil (34) bzw. Entlüftungsventil (35) verbunden sind und durch Längsschlitze (46) des Anfahrzylinders (36) in dessen Innenraum ragen, welche Schwenkarme (86, 87) durch den Anfahrkolben (37) auslenkbar sind.

7. Freikolben-Brennkraftmaschine nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass in der Auslassleitung (70) der Flüssigkeitskolbenpumpe (2) ein Umschaltventil (88) angeordnet ist, welches beim Anfahren der Brennkraftma-

schine in einer Schaltstellung ist, bei welcher die Auslassleitung (70) der Flüssigkeitskolbenpumpe (2) unter flüssigkeitsseitiger Umgehung der Flüssigkeitsturbिनenvorrichtung (66, 67) unmittelbar mit der Rückführleitung (68) verbunden ist.

8. Freikolben-Brennkraftmaschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass in jeder Verbrennungskammer (9, 10) ein Katalysator (15, 17) angeordnet ist.

9. Freikolben-Brennkraftmaschine nach den Ansprüchen 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, dass im Auspuffrohr (58) ein weiterer Katalysator (90) angeordnet und das Auspuffrohr (58) einer Abgasturbine zugeführt ist, deren Turbinenrad (91) mit einem Flüssigkeitspumpenrad (92) antriebsverbunden ist, welches die der Flüssigkeitsturbine (66) ausströmende Flüssigkeit durch die Rückführleitung (68) zur Flüssigkeitskolbenpumpe (2) fördert.

20 Die vorliegende Erfindung betrifft eine Freikolben-Brennkraftmaschine, mit mindestens einem Zylinder mit einem darin längsverschiebbar geführten, doppelt wirkenden Arbeitskolben, und mit einer Ladeluftpumpe.

Freikolben-Brennkraftmaschinen sind bekannt und werden bevorzugt zur elektrischen Energieerzeugung eingesetzt.

Es ist ein Ziel der Erfindung, eine Freikolben-Brennkraftmaschine zu zeigen, die im Vergleich mit bekannten Maschinen einen erhöhten thermischen Wirkungsgrad aufweist, einfacher und gedrängter ausgebildet ist und deren Herstellung kostengünstig ist.

Die erfindungsgemässe Freikolben-Brennkraftmaschine ist durch die Merkmale des Patentanspruches 1 gekennzeichnet.

Nachfolgend wird der Erfindungsgegenstand anhand der Zeichnungen beispielsweise näher erläutert.

Fig. 1 schematisch eine Ausführung der erfindungsgemässen Freikolben-Brennkraftmaschine,

Fig. 2 eine Ausführungsvariante der in der Fig. 1 gezeigten Freikolben-Brennkraftmaschine, und

Fig. 3 schematisch einen Schnitt durch den Arbeitszylinder der Freikolben-Brennkraftmaschine,

Fig. 4 eine schematische Darstellung der Auslassschlitze, und

Fig. 5 schaubildlich einen Abschnitt des Zylinders in ausgeschnittener Darstellung.

In der Fig. 1 sind allgemein ein Zylinder 1, eine Flüssigkeitskolbenpumpe 2 und eine Ladeluftpumpe 3 gezeichnet. Die Bezugsziffer 60 zeigt einen Windkessel, und eine Turbine ist mit der Bezugsziffer 66 angedeutet. Die bevorzugte Ausführung der Freikolben-Brennkraftmaschine enthält lediglich einen Zylinder 1, jedoch sind für beispielsweise grössere Leistungen auch mehrere parallel arbeitende Zylinder 1 denkbar. Der Zylinder 1 weist eine Zylinderwand 23 und einen Aussenmantel 11 auf. Dazwischen ist ein als Ladeluftspeicher 12 dienender Mantelraum gebildet. In diesem Ladeluftspeicher 12 sind die Zylinderwand 23 mit dem Aussenmantel 11 verbindende Kühlrippen 53 angeordnet. Die bevorzugte Ausführung dieser Kühlrippen 53 ist in den Fig. 3 und 5 dargestellt. Diese Kühlrippen 53 sind ringförmige Scheiben, in denen Ausnehmungen 93 vorhanden sind. Die gezeigte Ausführung dieser Kühlrippen 53 ist die bevorzugte Ausführung, und es sind noch andere Ausgestaltungen denkbar. Das Wesentliche ist, dass diese Kühlrippen 53 die Zylinderwand 23 mit dem Aussenmantel 11 verbinden. Der Zylinder 1 ist mit Auslassschlitzen 57 ver-

sehen. Die Anordnung derselben ist schematisch in der Fig. 4 gezeigt. Die Auslassschlitze 57 verlaufen parallel zueinander und parallel zur Zylinderachse. Sie sind musterförmig angeordnet, wie in der Fig. 4 dargestellt ist. Die Auslassschlitze 57 weisen eine unterschiedliche Längsausdehnung auf. Dabei weist der mittlere Auslassschlitz 57 die grösste Längsausdehnung auf. Die beidseits vom mittleren Auslassschlitz 57 gelegenen Auslassschlitze sind progressiv kürzer ausgebildet, so dass die zwei äussersten Auslassschlitze des Musters die kleinste Längsausdehnung aufweisen.

Im Zylinder 1 ist der längsverschiebbar geführte, doppelt wirkende Arbeitskolben 4 angeordnet. Die Bezugsziffer 9 bezeichnet die erste Verbrennungskammer und die Bezugsziffer 10 bezeichnet die zweite Verbrennungskammer. Die erste Verbrennungskammer 9 ist über ein als Rückschlagventil ausgebildetes Einlassventil 20 und die zweite Verbrennungskammer 10 über ein weiteres als Rückschlagventil ausgebildetes Einlassventil 21 mit dem als Ladeluftspeicher 12 dienenden Mantelraum verbunden.

Die axiale Ausdehnung des im Zylinder 1 angeordneten Kolbens 4 ist offensichtlich länger als die Längsausdehnung des längsten der Auslassschlitze 57. Die axiale Länge des Arbeitskolbens 4 ist unter Berücksichtigung der axialen Länge des Zylinders 1, des minimalen und maximalen Kolbenhubes, der erwünschten Verdichtung in den Verbrennungskammern 9 und 10 und offensichtlich den Abmessungen dieser Verbrennungskammern gewählt. Der Arbeitskolben 4 ist bei beiden Enden durch Kolbenringe 18, 19 gegen die Zylinderwand 23 abgedichtet. Obwohl jeweils nur ein Kolbenring 18, 19 schematisch eingezeichnet ist, ist es offensichtlich, dass jeweils ein Satz Kolbenringe bekannter Anordnung vorhanden sein kann. In der Verbrennungskammer 9 ist eine allgemein mit der Bezugsziffer 15 bezeichnete Katalysator- und in der Verbrennungskammer 10 eine allgemein mit der Bezugsziffer 17 bezeichnete Katalysatoreinrichtung vorhanden. Diese Katalysatoreinrichtungen 15, 17 sind gitterförmig ausgebildet und bestehen aus «Cermet» oder einem anderen, warmfesten und chemisch trägen Stoff, auf dem ein als eigentlicher Katalysator wirkender Stoff, z.B. Platin, aufgetragen ist. Bei der gezeichneten Ausführung sind die Zylinderendabschnitte und die Stirnflächen des Kolbens gewölbt ausgebildet, können jedoch auch andere Formgebungen aufweisen.

Der Arbeitskolben 4 ist fest mit einer Kolbenstange 7 verbunden. Diese verläuft abgedichtet durch die Zylinderwand 23 und den Mantel 11 und ist mit dem Kolben 5 der Flüssigkeitspumpe 2 fest verbunden.

Diese Flüssigkeitspumpe 2 weist zwei Einlassventile 24, 26 und zwei Auslassventile 25, 27 auf. Damit ist auch der Kolben 5 der Flüssigkeitspumpe ein doppelt wirkender Kolben. Der Kolben 5 der Flüssigkeitspumpe 2 ist über eine weitere Kolbenstange 8 mit dem Verdichterkolben 6 der Ladeluftpumpe 3 fest verbunden. Offensichtlich sind auch hier die Durchtrittsstellen der Kolbenstange 8 durch die Wände der Flüssigkeitskolbenpumpe 2 und der Ladeluftpumpe 3 abgedichtet. Der Ladeluftpumpe 3 ist ein Luftfilter 32 vorgeschaltet. Die Ladeluftpumpe 3 weist zwei Einlassventile 29, 30 und zwei Auslassventile 28, 31 auf.

Die Querschnittsfläche, d.h. Arbeitsfläche des Verdichterkolbens 6 der Ladeluftpumpe 3 ist grösser als diejenige des Arbeitskolbens 4, oder in anderen Worten ausgedrückt weist der Verdichterkolben 6 einen grösseren Durchmesser als der Arbeitskolben 4 auf.

Der Hub der zwei Kolben 4, 6 ist offensichtlich derselbe. Bei einer bevorzugten Ausführung, bei der im Ladeluftspeicher 12 des Zylinders 1 im Kaltzustand ein Druck von ungefähr 5×10^5 Pa vorhanden ist, (welcher Druck im Betrieb aufgrund der entsprechend hohen Temperatur entsprechend

höher ist) weist die Zylinderwand 23 einen Innendurchmesser von 4 cm und der Aussenmantel 11 einen Innendurchmesser von ca. 5,7 cm auf, und entsprechend ist dann der Durchmesser des Verdichterkolbens 6 der Ladeluftpumpe 3 ca. 8 cm. Der Verdichterkolben 6 weist also einen grösseren Durchmesser als der Arbeitskolben 4 auf.

Die Flüssigkeitskolbenpumpe 2 fördert eine Flüssigkeit in geschlossenem Kreislauf, beispielsweise Wasser mit möglichen Zusätzen zum Korrosionsschutz, Gefrierschutz, usw.

Die durch den Kolben 5 der Flüssigkeitspumpe 2 geförderte Flüssigkeit strömt durch die Auslassventile 25, 27 in eine Auslassleitung 70. Diese Auslassleitung 70 ist mit drei kleinen Pumpen verbunden. Dabei bezeichnet die Bezugsziffer 39 die Brennstoffeinspritzpumpe und die Bezugsziffern 44, 47 bezeichnen die Schmiermittelpumpen.

Die Brennstoffeinspritzpumpe 39 weist einen Kolben 40 auf, der durch eine Feder 41 vorgespannt ist. Die Schmiermittelpumpe 44 weist einen mittels einer Feder 50 vorgespannten Kolben 49 und die Schmiermittelpumpe 47 weist einen durch eine Feder 52 vorgespannten Kolben 51 auf. Die Stirnflächen der drei Kolben 40, 49, 51 liegen gegen die Auslassleitung 70 frei. Ihre Arbeitsflächen sind somit mit dem Druck der von der Flüssigkeitskolbenpumpe 2 geförderten Flüssigkeit beaufschlagt. Damit werden bei jedem Hub des Kolbens 5 der Flüssigkeitskolbenpumpe 2 die drei Kolben 40, 49, 51 gegen die Kraft ihrer jeweiligen Federn 41, 50, 52 verschoben. Wenn der Kolben 5 einen seiner Totpunkte erreicht und damit der Druck der durch die Flüssigkeitskolbenpumpe 2 geförderten Flüssigkeit sinkt, bewegen die Federn 41, 50, 52 ihre jeweiligen Kolben 40, 49, 51 in ihre Ausgangsstellung zurück. Folglich werden die Brennstoffeinspritzpumpe 39 und die Schmiermittelpumpen 44, 47 von der Flüssigkeitskolbenpumpe 2 getrieben. Bei einer in der Fig. 1 nach der Brennstoffeinspritzpumpe 39 gelegenen Stelle ist in der Auslassleitung 70 ein Umschaltventil 88 angeordnet, dessen Zweck weiter unten erläutert sein wird. Die Auslassleitung 70 verläuft nach den Schmiermittelpumpen 44, 47 zu einem Windkessel 60. Im Windkessel 60 ist unter Druck stehende Luft oder ein sonstiges unter Druck stehendes Gas vorhanden. Die aus dem Windkessel 60 hinausführende Leitung ist einem Drosselventil 64 zugeführt, dessen Stellung durch einen im Windkessel 60 angeordneten Druckmessfühler 63 gesteuert ist. Vom Drosselventil 64 strömt dann die Flüssigkeit in eine Flüssigkeitsturbine 66. Diese Turbine 66 kann eine Pelton-Turbine, eine Flügelradturbine oder eine Kaplan-Turbine sein. Die Turbine 66 ist mit der Turbinenwelle 67 verbunden. Folglich wird im Betrieb die lineare Hubbewegung des Kolbens der Freikolben-Brennkraftmaschine in Drehbewegung der Turbinenwelle umgewandelt. An dieser Turbinenwelle 67 kann nun beispielsweise ein Stromerzeuger angeschlossen sein. An der Turbine 66 schliesst endlich eine Rückführleitung 68 an, durch welche die Flüssigkeit durch das Umschaltventil 88 zur Flüssigkeitskolbenpumpe 2 zurückströmt, um dort wieder durch die Einlassventile 24, 26 hindurch in die jeweiligen Arbeitskammern einzuströmen. Somit ist also ein geschlossener Flüssigkeitskreislauf vorhanden, aufgrund dessen grundsätzlich die Kolbenbewegung der Flüssigkeitskolbenpumpe 2 in eine Rotationsbewegung der Turbine 66 umgesetzt wird.

Die Ladeluftpumpe 3 saugt Luft durch den Luftfilter 32 an, welche Luft durch die Einlassventile 29, 30 in die Arbeitskammern eintritt. Darauf wird die Luft durch die Bewegung des Verdichterkolbens 6 durch die zwei Auslassventile 28, 31 hindurch in die Ladeluftleitung 16 gefördert. Diese Ladeluftleitung 16 ist dem als Rückschlagventil ausgebildeten Hauptladelufteinlassventil 22 zum Ladeluftspeicher 12, d.h. dem Mantelraum des Zylinders 1 zugeführt. Somit tritt die durch den Verdichterkolben 6 verdichtete und geförderte Luft in

den Ladeluftspeicher 12 ein. Dieser ist mit einem Sicherheitsventil 14, einem Überdruckventil ausgerüstet, das bei zu hohem Ladeluftdruck den Ladeluftspeicher entlastet.

Die Abgase strömen durch die Auslassschlitze 57 über die Ölwanne 56 in das Auspuffrohr 58, und durch den Auspuff 62 ins Freie.

Die Schmiermittelpumpe 47 saugt das Schmiermittel von der Ölwanne 56 an und fördert es durch den Schmiermittelfilter 54, also den Ölfilter zum Schmiermittelspeicherbehälter 55. Die Schmiermittelpumpe 44 saugt ihrerseits das Schmiermittel aus dem Schmiermittelspeicherbehälter 55 und fördert es durch die Leitung 71 zu den verschiedenen zu schmierenden Stellen der Freikolben-Brennkraftmaschine.

Die Brennstoffeinspritzpumpe 39 saugt den Brennstoff über das Brennstoffzufuhrrohr 48 vom nicht gezeichneten Brennstoffspeicherbehälter an. Die Brennstoffeinspritzpumpe 39 ist mit einem Sicherheitsventil 74 ausgerüstet, durch welches bei zu hohem Förderdruck der Brennstoffeinspritzpumpe 39 Brennstoff zurück zum Brennstoffzufuhrrohr 48 oder zum Brennstoffspeicherbehälter strömt.

Beim Auslass der Brennstoffeinspritzpumpe 39 ist ein Drosselventil 73 angeordnet. Dieses Drosselventil wird entweder durch manuelle Betätigung oder für vollständig automatischen Betrieb mit einem Druckfühler 72 gesteuert, welcher den in der Zylinderkammer der Brennstoffeinspritzpumpe 39 vorherrschenden Druck abtastet. Die vom Brennstoff-Drosselventil 73 aus verlaufende Brennstoffzufuhrleitung verzweigt sich und erstreckt sich zu den Brennstoffeinspritzventilen 75, 76. Diese Einspritzventile 75, 76 sind vom Einlassventil 21 gesteuert, welches den Mantelraum 12, der Ladeluftspeicher mit der zweiten Verbrennungskammer 10 verbindet. Ist das Einlassventil 21 offen, ist das Einspritzventil 76 offen und der Brennstoff wird durch das Rückschlagventil 77 in die erste Verbrennungskammer 9 eingespritzt. Ist das Ventil 21 geschlossen, ist das Einspritzventil 75 ebenfalls geschlossen und das Ventil 75 offen, und der Brennstoff wird durch das Rückschlagventil 78 in die zweite Verbrennungskammer 10 eingespritzt. In dieser Ausführung weist die Brennkraftmaschine eine elektrische Anlage zum Zünden auf, wobei die Zündung über Glühkerzen 79, 80 erfolgt.

Neben der Brennstoffeinspritzpumpe 39 ist der Anfahrzylinder 36 angeordnet. Der im Anfahrzylinder 36 angeordnete Anfahrkolben 37 ist über eine Kolbenstange 38 mit dem Kolben 40 der Brennstoffeinspritzpumpe 39 starr verbunden. Die Stirnfläche des Anfahrkolbens 37 ist grösser als die Stirnfläche des Kolbens 40 der Brennstoffeinspritzpumpe 39. Der Anfahrzylinder 36 ist über ein Rohr 33, in welchem ein Absperrventil 34 angeordnet ist, mit dem Ladeluftspeicher 12 des Zylinders 1 verbunden. Weiter weist der Anfahrzylinder 36 ein Entlüftungsventil 35 auf. Die Kolbenstange 38 ist gegen den Boden des Anfahrzylinders 36 abgedichtet.

Zwei federbelastete Steuerarme 86, 87 ragen durch die Wand des Anfahrzylinders 36 bei einer Stelle in den Zylinderraum, die ungefähr 60% der Hubstrecke des Anfahrkolbens 37 entspricht, wenn er sich gemäss der Fig. 1 von links nach rechts bewegt. Diese Steuerarme 86, 87 sind über Federn 43 schwenkbar abgestützt, wobei die Schwenkstellen 42 ausserhalb des Anfahrzylinders 36 gelegen sind. Diese Steuerarme 86, 87 steuern die Ventile 34, 35, wie weiter unten noch näher beschrieben sein wird. Weiter ragen die Steuerarme 86, 87 durch Schlitze 46 in der Wand des Anfahrzylinders 36 in dessen Innenraum. Es ist also ersichtlich, dass wenn sich der Anfahrkolben 37 in der Fig. 1 nach rechts bewegt, dieser zur Anlage an die Steuerarme 86, 87 kommt und somit eine Auslenkung derselben bewirkt. Bewegt sich der Anfahrkolben 37 wieder nach links, werden die Steuerarme 86, 87 durch die Federn 43 wieder in ihre Ruhestellung

zurückgeschwenkt. Die Auslassleitung 70 ist bei einer Stelle nach der Brennstoffeinspritzpumpe 39 einem Umschaltventil 88 zugeführt. In der gezeichneten Betriebsstellung durchströmt die Flüssigkeit von der Brennstoffeinspritzpumpe 39 herkommend das Umschaltventil 88, um weiter gegen die Schmiermittelpumpen 44, 47 und von dort letztlich zur Turbine 66 zu strömen. Zum Anfahren ist das Umschaltventil 88 in einer Stellung bewegt, bei der die Flüssigkeit nach der Brennstoffeinspritzpumpe 39 unmittelbar wieder zur Flüssigkeitskolbenpumpe 2 zurückgeführt ist, also die Schmiermittelpumpen 44, 47 und insbesondere die Turbine 66 nicht von der Flüssigkeit getrieben werden.

Zu bemerken ist, dass die beschriebene Ausführung der Freikolben-Brennkraftmaschine über die Turbinenwelle 67 ihre nutzbare Energie abgibt.

Bei einer anderen, nicht gezeichneten Ausführung sind Windkessel und Turbine 66 weggelassen. Damit ist es möglich, die Flüssigkeitspumpe 2, deren Kolben 5 fest mit dem Kolben 4 verbunden ist, die Brennkraftmaschine als Pumpenantrieb zu verwenden, so dass durch die Pumpe 2 z.B. Flüssigkeit oder sogar Gas gefördert werden kann.

Nachfolgend wird nun das Anfahren und den Betrieb der gezeigten Ausführung erläutert. Zum Anfahren ist es notwendig, dass im Mantelraum, also Ladeluftspeicher 12 Druckluft vorhanden ist. Es wurde früher erwähnt, dass in kaltem Zustand ein Druck von etwa 4×10^5 Pa im Ladeluftspeicher 12 vorhanden sein muss. Wird die Brennkraftmaschine zum ersten Mal in Betrieb genommen oder sind Arbeiten am Zylinder 1 durchgeführt worden, die ein Entlüften desselben benötigten, so dass im Ladeluftspeicher 12 Umgebungsdruck vorherrscht, wird vorerst Druckluft in den Ladeluftspeicher 12 eingebracht, so dass die darin befindliche Luft unter einem zum Anfahren notwendigen Druck steht.

Ist die Brennkraftmaschine durch das Unterbinden der Brennstoffzufuhr zum Stehen gebracht worden, also nur relativ kurzzeitig ausser Betrieb gewesen, ist unter Druck stehende Ladeluft im Ladeluftspeicher 12 gespeichert. Unmittelbar nach dem Abstellen der Brennkraftmaschine nach vollem Betrieb ist die im Ladeluftspeicher 12 vorhandene Ladeluft zusätzlich noch erhitzt und steht somit unter einem höheren Druck. Zum Anlassen der Brennkraftmaschine genügt jedoch der oben erwähnte Druck bei kalter Ladeluft. Im abgestellten Zustand befindet sich der Arbeitskolben 4 ungefähr in der Zylindermittel.

Man nehme an, dass beim vorgängigen Abstellen der Brennkraftmaschine die letzte Brennstoffeinspritzung in die erste Verbrennungskammer 9 hinein erfolgte. Die Verbrennung in der Verbrennungskammer 9 bewirkte den letzten Arbeitshub des Arbeitskolbens 4, bewirkte ein Schliessen des Einlassventiles 21, weil sich offensichtlich der Arbeitskolben 4 in Richtung der zweiten Verbrennungskammer 10 bewegte. Dabei ist offensichtlich die in der Verbrennungskammer 10 vorhandene Ladeluft verdichtet worden. Da jedoch kein Brennstoff mehr eingespritzt worden ist, ist in der Verbrennungskammer 10 kein Verbrennen mehr erfolgt.

Die vorgängig erwähnte letzte Arbeitsbewegung des Arbeitskolbens 4 in der Zeichnung nach oben bewirkte ein Freigeben der Auslassschlitze 57. Die in der Verbrennungskammer 9 vorhandenen Gase konnten somit durch die Schlitze 57 und das Auspuffrohr 58 ausströmen, womit ein Druckabfall in der Verbrennungskammer 9 stattgefunden hat. Aufgrund dieses Druckabfalles hat sich das Einlassventil 20 kurzzeitig geöffnet, um frische Ladeluft aus dem Ladeluftspeicher 12 in die Verbrennungskammer 9 einströmen zu lassen. Jedoch kann offensichtlich der Druck der in der Verbrennungskammer 9 vorhandenen Ladeluft den der im Ladeluftspeicher 12 vorhandenen Ladeluft nicht übersteigen.

Da jedoch der Druck der in der oberen Verbrennungskammer 10 vorhandene Ladeluft aufgrund der vorgängigen Aufwärtsbewegung des Kolbens 4 etwas höher ist als der in der Verbrennungskammer 9 vorhandene Druck, wird der Arbeitskolben 4 eine kleine Strecke nach unten in Richtung zur Verbrennungskammer 9 gedrückt und damit sind die Auslassschlitze 57 wieder geschlossen worden und der Ladeluftdruck in der Verbrennungskammer 9 etwas erhöht worden. Damit hat sich auch das Einlassventil 21 geschlossen, so dass der Arbeitskolben 4, wie vorher erwähnt, ungefähr in der Mitte des Zylinders 1 zum Stillstand kommt, bei welcher Stellung des Arbeitskolbens 4 die Ladeluftdrücke in der ersten Verbrennungskammer 9 und zweiten Verbrennungskammer 10 ausgeglichen sind. Da jedoch der Verdichterkolben 6 der Ladeluftpumpe 3 und der Kolben 5 der Flüssigkeitspumpe 2 über die Kolbenstangenordnung 7, 8 starr mit dem Arbeitskolben 4 verbunden sind, erzeugen diese zwei Pumpen einen Widerstand gegenüber der Bewegung des Arbeitskolbens 4, so dass er in der Figur etwas höher zu stehen kommt, also ein wenig mehr in Richtung der zweiten Verbrennungskammer 10 zur Ruhe kommt.

Zum Anfahren ist also das Umschaltventil 88 in die Stellung geschaltet worden, bei der die umlaufende Flüssigkeit von der Brennstoffeinspritzpumpe 39 unmittelbar zur Flüssigkeitspumpe 5 zurückgeleitet wird. Darauf wird das Brennstoffdrosselventil 73, das beim Auslass der Brennstoffeinspritzpumpe 39 angeordnet ist, in seine Offenstellung gesteuert. Der Kolben 40 der Brennstoffeinspritzpumpe 39 steht unter Einwirkung der ihn vorspannenden Feder 41 in einer oberen Totpunktstellung, d.h. in der Fig. 1 in der linken Stellung, dabei ist nun die Feder 41 im vollständig ausgedehnten Zustand. Das bis anhin und bei dem Dauerbetrieb der Brennkraftmaschine offene Entlüftungsventil 35 des Anfahrzylinders 36 wird nun geschlossen und gleichzeitig das den Innenraum des Anfahrzylinders 36 über das Rohr 33 mit dem Ladeluftspeicher 12 verbindende Absperrventil 34 geöffnet. Damit strömt unter Druck stehende Ladeluft aus dem Ladeluftspeicher 12 zum Anfahrkolben 37 des Anfahrzylinders 36 und drängt diesen in der Figur nach rechts. Nach einer Hubstrecke von 60% kommt der Anfahrkolben 37 zur Anlage an die zwei Steuerarme 86, 87. Diese Steuerarme 86, 87 schwenken somit aus und bewirken, dass nun das Absperrventil 34 geschlossen und gleichzeitig das Entlüftungsventil 35 geöffnet wird.

Da der Anfahrkolben 37 über die Kolbenstange 38 mit dem Kolben 40 der Brennstoffeinspritzpumpe 39 verbunden ist, erfolgt ein erstes Fördern des Brennstoffes.

Zurückkehrend nun zur Bewegung der Steuerarme 86, 87 ist durch das Öffnen des Entlüftungsventiles bewirkt worden, dass der Anfahrkolben 37 entlastet wird und aufgrund der Feder 41 der Brennstoffeinspritzpumpe 39 wieder nach links in der Figur, in seine Ausgangsstellung zurückgeführt wird. Die Federn 43 der Steuerarme 86, 87 führen diese zurück in ihre Ausgangsstellung, so dass wiederum das Absperrventil 34 geöffnet und das Entlüftungsventil 35 geschlossen wird und die nächstfolgende Menge Druckluft aus dem Ladeluftspeicher 12 zum Anfahrkolben 37 strömen kann. Der Anfahrzylinder 36 und der Anfahrkolben 37 sind derart bemessen, dass der im Ladeluftspeicher 12 vorhandene Luftdruck ausreicht, die Brennstoffeinspritzpumpe 39 mehrfach bis zu einem Hub von 60% des Hubes im Dauerbetrieb zu betätigen.

Weiter ist zu erwähnen, dass der Zylinderinnenraum des Anfahrzylinders 36 unterhalb des Anfahrkolbens 37, also in der Fig. 1 der rechts vom Anfahrkolben 37 liegende Zylinderinnenraum über die Schlitze 46, durch welche die Steuerarme 86, 87 ragen mit der Umgebung verbunden ist. Das heisst, dass bei dem Arbeitshub des Anfahrkolbens 37 kein Luft-

kissen unter dem Anfahrkolben 37 entstehen kann.

Ist also das Absperrventil 34 geöffnet worden, der Anfahrkolben 37 und damit der Kolben 40 der Brennstoffeinspritzpumpe 39 nach rechts bewegt worden, wird von der Brennstoffeinspritzpumpe 39 her Brennstoff in die Verbrennungskammer 10 eingespritzt. Gleichzeitig mit dem Öffnen des Absperrventils 34, welches Öffnen das Einspritzen des Brennstoffes bewirkt, wird der Stromkreis zu den Glühkerzen 79 und 80 geschlossen. Also wird der in die zweite Verbrennungskammer 10 eingespritzte Brennstoff gezündet und damit der Arbeitskolben 4 gegen die erste Verbrennungskammer 9 verschoben. Damit wird die in dieser Verbrennungskammer 9 vorhandene Ladeluft verdichtet.

Durch die Bewegung des Arbeitskolbens 4 wird offensichtlich auch der Kolben 5 der Flüssigkeitspumpe 2 bewegt und die Arbeitsflüssigkeit durch das Umschaltventil 88 unmittelbar zur Flüssigkeitskolbenpumpe 2 zurückgeführt. Da die Arbeitsflüssigkeit grundsätzlich lediglich von einer Seite des Kolbens 5 zur entgegengesetzt gelegenen Seite gefördert wird und keine nützliche Arbeit leistet, übt diese Umlaufbewegung der Flüssigkeit einen sehr kleinen Widerstand auf den Arbeitskolben 4 aus.

Durch den ersten Hub des Arbeitskolbens 4 wird auch der Verdichterkolben 6 der Ladeluftpumpe 3 verschoben und Ladeluft in den Ladeluftspeicher 12 gefördert. Jedoch wird lediglich eine kleine Menge, ein kleines Volumen Ladeluft in den Ladeluftspeicher 12 befördert, weil sich der Arbeitskolben 4 nur um eine kleine Strecke bewegt hat. Hat der Arbeitskolben 4 die erste Hubbewegung durchgeführt, wird der Anfahrzylinder 36 wieder in der oben erwähnten Art betrieben. Da sich jedoch der Arbeitskolben 4 gegen die Verbrennungskammer 9 bewegt hat, werden die Auslassschlitze 57 des Zylinders 1 geöffnet und somit sinkt der Druck in der Verbrennungskammer 10. Das kleine Volumen der durch die Ladeluftpumpe 3 geförderten Ladeluft bewirkt, dass sich der Druck im Ladeluftspeicher 12 wieder erhöht. Der Arbeitskolben 4 bewegt sich nach unten, das Einlassventil 21 wird geöffnet und eine weitere Brennstoffmenge in die Verbrennungskammer 9 eingespritzt und dort gezündet. Der Arbeitskolben 4 und damit auch der Verdichterkolben 6 bewegen sich und damit strömt ein weiteres Volumen Ladeluft in den Ladeluftspeicher 12, und weil nun im Ladeluftspeicher 12 der Druck bereits höher als der Ausgangsdruck geworden ist, arbeitet der Anfahrzylinder 36 bereits besser, der Anfahrkolben 37 wird stärker gegen die Kraft der Feder 41 bewegt. Damit wird nun von Arbeitstakt zu Arbeitstakt eine jeweils grössere Brennstoffmenge eingespritzt. Die Temperatur im Zylinder 1 erhöht sich, der Motor wird heiss und der im Ladeluftspeicher 12 vorhandene Druck der Ladeluft wird ebenfalls schneller und schneller wachsen. Die Arbeitstakte, d.h. Zündungen der jeweils eingespritzten Brennstoffmenge folgen einander in zunehmend kürzeren zeitlichen Abständen und damit ist nun die Brennkraftmaschine angestrichen.

Nun kann das Umschaltventil 88 auf Dauerbetrieb umgeschaltet werden, so dass die Arbeitsflüssigkeit durch die Turbine 66 strömt, wobei auch das Absperrventil 34 geschlossen und das Entlüftungsventil 35 geöffnet wird, welche zwei Ventile während des Dauerbetriebes in diesem Zustand verbleiben. Nun läuft die Brennkraftmaschine regelmässig und die Zufuhr elektrischen Stromes zu den Glühkerzen 79, 80 wird unterbrochen. Durch ein Steuern des Drosselventiles 73 wird die Brennstoffzufuhr und damit die Arbeitsgeschwindigkeit der Brennkraftmaschine gesteuert.

Nachfolgend wird nun der frischluft- und verbrennungsgasseitige Strömungsverlauf während dem Dauerbetrieb der Brennkraftmaschine anhand der Fig. 1 beschrieben. Der doppelt wirkende Verdichterkolben 6 der Ladeluftpumpe 3 saugt

durch den Luftfilter 32 und die Einlassventile 29, 30 Frischluft an und fördert diese durch die Auslassventile 28, 31 zur Ladeluftleitung 16, welche zum Einlassventil 22 verläuft, durch welches Einlassventil 22 die Ladeluft in den Ladeluftspeicher 12 einströmt. Die Förderleistung der Ladeluftpumpe 3, welche insbesondere von der Arbeitsfläche des Verdichterkolbens 6 abhängt, wird je nach Auslegung der Brennkraftmaschine für Diesel- oder Benzinbetrieb, zweckmässiger Verdichtung bei Dauerbetrieb und der Wärmeübertragung im Ladeluftspeicher 12 bemessen. In jedem Fall muss in Betracht gezogen werden, dass der Wärmeaustausch unter anderem von der Masse der daran teilnehmenden Körper abhängig ist. Je höher diese Masse, desto wirkungsvoller verläuft der Wärmeaustausch. Da die Kolben 4, 5, 6 miteinander fest verbunden sind, kann die Förderleistung der Ladeluftpumpe 3 somit lediglich durch die Veränderung der Arbeitsfläche ihres Verdichterkolbens 6 bestimmt werden.

Die nun in den Ladeluftspeicher 12, also dem Mantelraum, der von der Zylinderwand 23 und dem Aussenmantel 11 des Zylinders gebildet ist, eintretende Ladeluft wird durch die vorherrschende Temperatur der Zylinderwand 23 und der Kühlrippen 53 erwärmt. Dadurch wirkt diese Ladeluft als Kühlmittel für die Zylinderwand 23 und damit ist eine Maximaltemperatur im Zylinder 1 ermöglicht, die weit über der Verformungsgrenze der Zylinderwand liegt. Es ist bekannt, dass je höher die Ausgangstemperatur bei thermodynamischen Maschinen ist, desto besser deren Wirkungsgrad ist. Weiter ist zu bemerken, dass durch die im Mantelraum 12 erfolgende Vorwärmung der Ladeluft ein Teil der Erwärmung derselben vorweggenommen ist, welche Erwärmung eine der durch die Verdichtung der Ladeluft im Zylinder erwünschte Auswirkung ist. Andererseits bewirkt diese Erwärmung eine Erhöhung der Eigenbewegung der Moleküle. Dadurch ist die Ladeluft, die zu Beginn des Arbeitstaktes in den Zylinder eintritt, vorgewärmt. Die weitere Erhitzung durch Kompression bis zur Zündtemperatur erfordert somit einen kürzeren Kolbenhub und damit weniger Energie, als wenn die Ladeluft mit gewöhnlicher Aussentemperatur in den Zylinder eintreten würde. Der Druck der Ladeluftpumpe 3 sorgt dafür, dass die Luftmenge, die aus dem Mantelraum 12 in den Zylinder 1 strömt, trotz Erwärmung ausreichend bemessen ist.

Die in herkömmlichen Brennkraftmaschinen erwünschte Ladeluftdicke (die in den herkömmlichen Motoren unter anderem durch eine Kühlung der Ladeluft erreicht wird) wird in der vorliegenden Brennkraftmaschine zum Teil durch eine überdimensionierte Ladeluftmenge erreicht. In der vorliegenden Brennkraftmaschine ist das Luft-Brennstoffgemisch mager. Das heisst, dass eine grössere Menge Ladeluft in den Zylinder 1 hineingefördert wird, als zur vollständigen Oxidation des Brennstoffes notwendig ist. Somit wird die bei der Verbrennung freiwerdende Wärmeenergie nicht nur auf die Verbrennungsprodukte einschliesslich dem Stickstoff, der dem verbrauchten Sauerstoff entspricht, verteilt, sondern auch auf den überschüssigen, an der Verbrennung nicht teilnehmenden Sauerstoff und der diesem entsprechende Stickstoffmenge. Damit wird bei magerem Gemisch einschliesslich der damit entstehenden Rückstände erreicht, dass die maximal zulässige Temperatur im Zylinder nicht überschritten wird. Die Katalysatoren in den Brennkammern sorgen für eine vollständigere Oxidation des Brennstoffes, d.h. seiner chemischen Komponenten. Somit entfällt der Austritt von Schadstoffen, die aufgrund einer unvollständigen Oxidation entstehen, bzw. wird die Bildung der Schadstoffe zumindest vermindert. In Dieselmotoren fördert beispielsweise Platin in der Brennkammer die Umwandlung des Kohlenstoffs im Dieselöl in Kohlendioxid (CO_2). Auch wird einer Russbildung entgegengewirkt, da Russ

freier Kohlenstoff ist. Bei Benzinmotoren bilden sich bei der Verbrennung Stickoxide. Ein entsprechender Katalysator der zur Zeit im Auspuff verwendet wird, fördert die Auflösung des Stickoxides in seine Komponenten. Wenn nun ein solcher Katalysator in der Brennkammer angeordnet wäre, würde er die Bildung von Stickoxiden behindern und bereits gebildetes Stickoxid wieder auflösen helfen. Das Katalysatormaterial ist auf Keramikgitter aufgetragen und so in der Brennkammer montiert. Die Wärmemenge, die dann in der Brennkammer verlorengehen würde, wenn endothermische Verbindungen wie Stickoxide entstehen, oder wenn Kohlenstoff nur zu Kohlenmonoxid verbrennt, bleibt nun erhalten, bzw. wird freigesetzt. Sie kann nun im Motor in kinetische Energie verwandelt werden.

Bei Benzinbetrieb der Brennkraftmaschine wird nicht-klopffestes Benzin mit niedriger Oktanzahl verwendet. Die Zündung erfolgt jedoch auch hier nach dem Dieselprinzip, die im Zylinder verdichtete Ladeluft weist aus den vorgehend genannten Gründen eine genügend hohe Temperatur auf, um beim Einspritzen des Brennstoffes die chemischen Umsetzungen, also die Verbrennung zu ermöglichen. Für den Dieselbetrieb erübrigt sich offensichtlich eine weitere Erklärung. Ein Klopfen der Brennkraftmaschine ist darum unmöglich, weil der Arbeitskolben 4 nicht mit einer Pleuellwelle verbunden ist. Das Einspritzen des Brennstoffes erfolgt nicht möglichst schnell, sondern dosiert, so dass sich der Druck in der jeweiligen Verbrennungskammer möglichst langsam senkt, um dann bei Beendigung der Brennstoffzufuhr und nachfolgendem Freigeben der Auslassschlitze 57 stark zu fallen. Der Grund dazu ist, dass ein solcher Druckverlauf in zyklischer Folge leichter auszugleichen ist.

Nach erfolgter Verbrennung und dem Freigeben der Auslassschlitze 57 strömen die Verbrennungsgase in das Auspuffrohr 58, an welchem seitlich die Schmierölwanne 56 angeordnet ist, und danach durch den Auspuff 62 ins Freie.

Bei jeder Verbrennung in einer der Verbrennungskammern 9, 10 wird der Kolben 4 jeweils gegen die entgegengesetzt gelegene Verbrennungskammer bewegt. In dieser Verbrennungskammer wird durch den Kolben die Ladeluft verdichtet. Gleichzeitig erfolgen aufgrund der Bewegung des Kolbens 4 die entsprechenden Bewegungen der mit diesem fest verbundenen Pleuellwelle 5, 6. Nachdem der Kolben 4 eine gewisse Hubstrecke durchgeführt hat, gibt er die Auslassschlitze 57 frei. Bereits vor dem Freigeben der Auslassschlitze 57 hat sich das Gas in der jeweiligen Verbrennungskammer durch abgegebene Arbeit, nämlich die Umsetzung der Wärmeenergie des Gases (Druck entstehend durch die Eigenbewegung der Gasmoleküle) in kinetische Energie (Kraft der Pleuellwellebewegung), abgekühlt und damit hat sich auch der Gasdruck gesenkt. Bei der Freigabe der Auslassschlitze 57 nun fällt der Druck, der in der jeweiligen Verbrennungskammer vorherrscht, schlagartig ab. Damit wird das jeweilige Einlassventil 20 bzw. 21, das den Ladeluftspeicher 12 mit der jeweiligen Verbrennungskammer 9, 10 verbindet, geöffnet und neue Frischluft kann in die jeweilige Verbrennungskammer strömen und die Restmenge der Verbrennungsgase durch die Auslassschlitze 57 aus dem Zylinder 1 hinausspülen.

Der Verlauf der Flüssigkeit während des Dauerbetriebes der Brennkraftmaschine ist wie folgt. Der Pleuellwellekolbenpumpe 2 fördert durch das jeweilige Auslassventil 25, 27 die Flüssigkeit in die Auslassleitung 70. Die Arbeitsflächen der Pleuellwellekolben der Brennstoffeinspritzpumpe 39 und der zwei Schmiermittelpumpen 44, 47 sind gegen die Auslassleitung 70 offen, d.h. die Flüssigkeit in der Auslassleitung 70 kann auf diese drei Pleuellwellekolben einwirken. Damit werden bei jedem Pumpenhub des Pleuellwellekolbens 5 der Pleuellwellekolbenpumpe 2 die drei Pleuellwellekolben 40, 49, 51 gegen die Kraft ihrer

jeweiligen Federn bewegt und pumpen somit den Brennstoff, bzw. das Schmiermittel. Wenn der Kolben 5 der Flüssigkeitspumpe 2 einen seiner Totpunkte erreicht und damit ein Druckabfall in der Auslassleitung 70 stattfindet, werden die drei Kolben 40, 49, 51 durch ihre jeweiligen Federn 41, 50, 52 in die Ausgangsstellung zurückbewegt und die zu pumpende Flüssigkeit angesaugt. Die Flüssigkeit in der Auslassleitung 70 strömt durch das Umschaltventil 88 und danach zum Windkessel 60. Im Windkessel 60 ist unter Druck stehende Luft vorhanden. Die von der Auslassleitung 70 herströmende Flüssigkeit wird in den unteren Bereich des Windkessels 60 eingeführt. Da die zugeführte Flüssigkeit unter Druck steht, wird der Luftdruck über derselben im Windkessel 60 erhöht. Der Flüssigkeitsauslass des Kessels 60 ist mit einem Drosselventil 64 ausgerüstet. Dieses Drosselventil 64 ist von einem Druckmessfühler 63 gesteuert, der den im Windkessel 60 vorhandenen Druck abtastet. Der Druckmessfühler 63 steuert das Drosselventil 64 derart, dass je höher der Druck im Windkessel 60 ist, desto kleiner die Ventilöffnung ist. Dadurch werden die zyklischen Änderungen des von der Pumpe 2 herrührenden Flüssigkeitsdruck zum grössten Teil ausgeglichen.

Vom Windkessel 60 strömt die Flüssigkeit durch das oben erwähnte Drosselventil 64 zur Flüssigkeitsturbine 66, in welcher in bekannter Weise der Druck, der sich aus der Bewegungsenergie der Flüssigkeit ergibt, in die Kraft der rotierenden Turbinenwelle umgewandelt wird. Nach der Flüssigkeitsturbine strömt die Flüssigkeit durch die Rückführleitung 68 zum Einlassventil 24 oder zum Einlassventil 26 der Flüssigkeitspumpe 2 zurück.

Eine Variante der Ausführung ist in der Fig. 2 dargestellt. Dabei ist davon ausgegangen, dass in den Verbrennungskammern 9, 10 keine Katalysatoren vorhanden sind.

Bei dieser Variante ist im Auspuffrohr 58 ein Katalysator 90 eingesetzt. Das Auspuffrohr 58 führt jedoch nicht unmittelbar ins Freie, sondern ist einer Abgasturbine 91 zugeführt, von welcher der Auspuff 62 ins Freie führt. Die Abgasturbine 91 ist über eine Welle 94 mit einem Pumpenrad 92 verbunden. Die durch die Auslassleitung 70 zuströmende Flüssigkeit strömt wie bei der Variante nach Fig. 1 in den Windkessel 60 und von diesem durch das Drosselventil 64 in die Turbine 66 mit der Abtriebswelle 67.

Der Auslass der Turbine 66 ist nun gemäss der Variante nach Fig. 2 über die Rückführleitung 68 dem Pumpenrad 92 zugeführt.

Von diesem Pumpenrad 92 strömt die Flüssigkeit zur Flüssigkeitskolbenpumpe 2 (siehe Fig. 1) zurück. Durch Ausnutzung von im Abgas vorhandener Energie wird somit eine Wirkungsgradverbesserung der Brennkraftmaschine erreicht.

Wird die Last der Brennkraftmaschine erhöht oder die Brennstoffzufuhr verringert, verringert sich auch der Hub des Kolbens 4 und somit verringert sich auch die Leistung der Flüssigkeitskolbenpumpe 2 und der Ladeluftpumpe 3. Um nun jedoch sicherzustellen, dass auch bei verkürztem Hub des Arbeitskolbens 4 eine genügende Menge Ladeluft gefördert wird, muss die Ladeluftpumpe 3 überdimensioniert sein. Da sich jedoch dann bei Dauerbetrieb ein zu hoher Überdruck im Ladeluftspeicher 12 einstellen würde, ist das Sicherheitsventil 14, das als Überdruckventil arbeitet, angeordnet, durch welches solche überschüssige Luftmenge ins Freie entweicht, die bei überschüssigem Luftdruck aufgrund von Störungen entsteht, z.B. durch Überhitzung des Zylinders durch Mangel an Schmieröl, durch zu hohen Winddruck auf den Ansaugstutzen der Ladeluftpumpe 3.

Bei verringerter Hubstrecke des Kolbens 5 der Flüssigkeitskolbenpumpe 2 ergibt sich jedoch auch eine entsprechend verringerte Förderleistung der Brennstoffeinspritz-

pumpe 39. Aus diesem Grund ist auch die Brennstoffeinspritzpumpe 39 überdimensioniert. Die Steuerung des Betriebes der Brennstoffeinspritzpumpe 39 erfolgt mittels des Brennstoffdrosselventils 73 und des Sicherheitsventiles 74. Damit ist es möglich, die dem Zylinder 1 zugeführte Brennstoffmenge unabhängig vom Hub des Kolbens 40 der Brennstoffeinspritzpumpe 39 zu steuern. Vermindert sich der Hub des Kolbens 40 der Brennstoffeinspritzpumpe 39, erfolgt ein Druckabfall in der Pumpe, welcher vom Druckfühler 72 abgetastet wird und entsprechend das Brennstoffdrosselventil 73 mehr öffnet. Ist der Hub grösser, bewirkt der Druckfühler 72, der den entsprechend höheren Druck abtastet, ein Schliessen des Drosselventiles 73. Steigt der Druck innerhalb der Brennstoffeinspritzpumpe 39 über einen festgelegten Wert, öffnet das Sicherheitsventil 74, so dass überschüssige Brennstoffmenge zurück zum Brennstoffzufuhrrohr 48 oder alternativ zum Brennstoffspeicherbehälter zurückgeführt wird. Wenn die Brennstoffeinspritzpumpe 39 nicht mit dem Druckfühler 72 und dem Drosselventil ausgerüstet wäre, würde bei willkürlicher z.B. manueller Drosselung der Brennstoffzufuhr der Motor aufgrund ungenügender Brennstoffmenge abstellen. Bei willkürlicher z.B. manueller Erhöhung der Brennstoffzufuhr würde die Brennkraftmaschine zu stark erhitzen. Der Druckfühler 72 mit dem Drosselventil 73 verhindern dieses Überhitzen, indem die zugeführte Brennstoffmenge automatisch vermindert wird. Das heisst, dass falls das Brennstoffdrosselventil 73 durch manuelle Betätigung in eine Stellung gesteuert wurde, die nicht die zum Dauerbetrieb der Brennkraftmaschine bemessene Brennstoffmenge dem Zylinder 1 zuführen würde, diese Falschstellung durch die aus Druckfühler 72 und Drosselventil 73 gebildete Steueranordnung unverzüglich korrigiert wird.

Die Freikolben-Brennkraftmaschine zeichnet sich durch eine Anzahl Vorteile aus. Erstens weist sie einen hohen thermischen Wirkungsgrad auf. Die Hubstrecke des Kolbens 4 ist variabel, jedoch ist die durch die Verbrennung entstehende Kraft mit der durch die Turbinenwelle 67 abgegebene Leistung unelastisch verbunden, und zwar durch die Kombination von Flüssigkeitspumpe 2 und Turbine 66. Die Energie wird durch eine Flüssigkeit übertragen, und bekanntlich sind Flüssigkeiten in der Praxis inkompressibel, währenddem Gas kompressibel und daher elastisch ist. Da die Energie durch einen Freikolbenmotor erzeugt wird, der die Flüssigkeitspumpe 2 betreibt, und da der Kolbenhub nicht durch Pleuel und Kurbelwelle vorgeschrieben ist, kann sich der Kolbenhub optimal an die Last anpassen. Bei unveränderlichem Kolbenhub und variabler Last geht Kraft verloren, wenn die Last geringer ist, als Kolben und Hub maximal verkraften könnten. Bei zu grosser Last wird bekanntlich der Motor abgewürgt, wenn im Falle eines Getriebes dasselbe nicht rechtzeitig geschaltet wird. Auch ist die Auslastung zwischen zwei Getriebestufen nie optimal. Die hier vorhandene unelastische hydraulische Kupplung zwischen der Last und dem Freikolbenmotor mit variablem Hub vermindert hingegen Energieverluste, sowie auch Verluste, die durch andere unerwünschte Nebenwirkungen entstehen, z.B. Druck-Gradienten in Gasen. Weiter muss bei dieser Brennkraftmaschine keine zusätzliche Energie zum Ausgleichen in unerwünschter Form anfallender Energie verwendet werden, welches beispielsweise bei herkömmlichen Brennkraftmaschinen aufgrund der dort notwendigen Kühlung der Fall ist. Katalysatoren sind entweder in den Verbrennungskammern angeordnet, so dass dort die chemische Energie des Brennstoffes vollständig ausgenützt wird, oder dann ist ein Katalysator im Abgasrohr angeordnet.

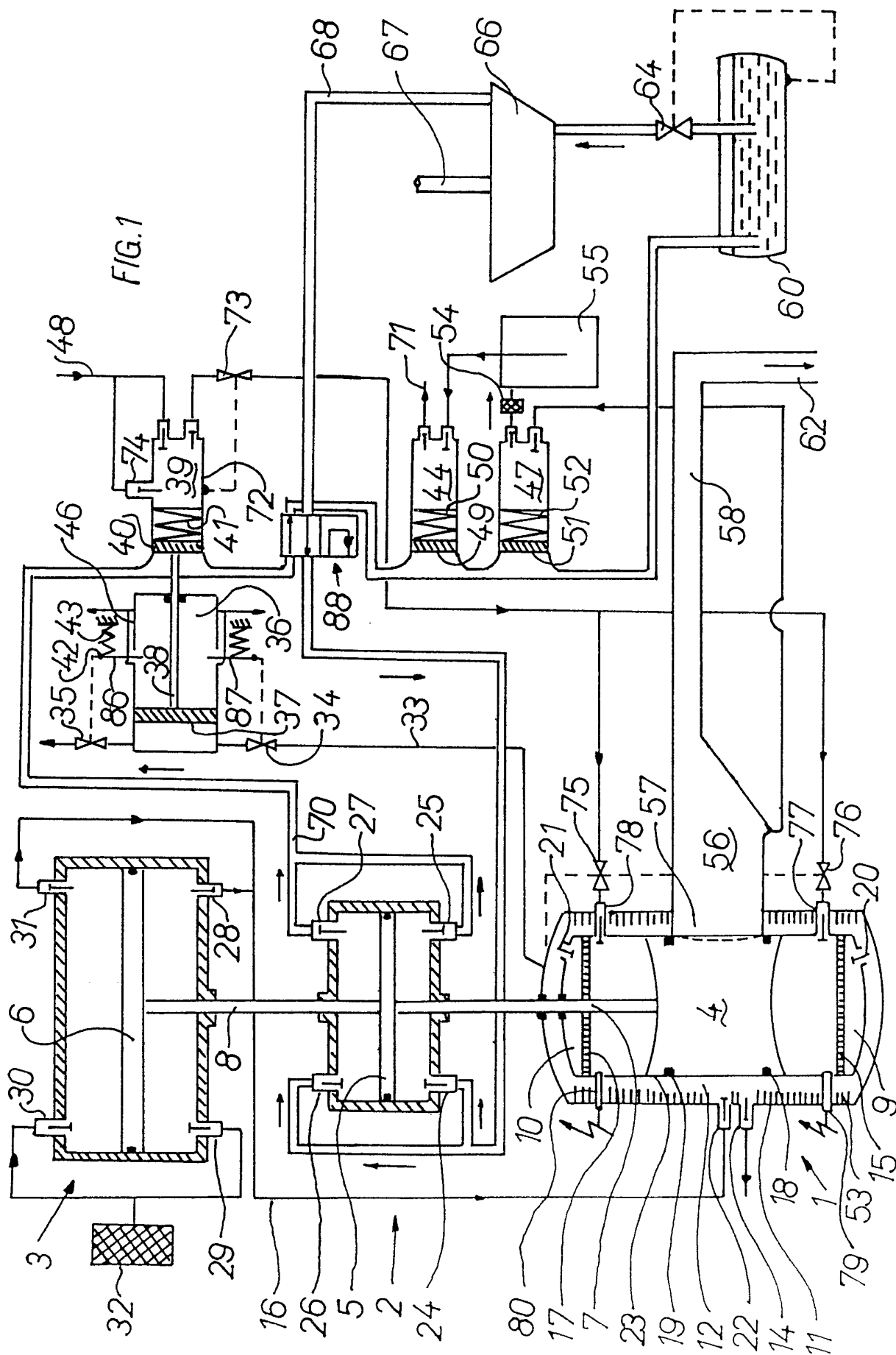
Weiter zeichnet sich die Brennkraftmaschine durch eine grosse Einfachheit der Konstruktion aus. Sie weist nur zwei

grosse bewegliche Teile auf, nämlich die aus den drei Kolben bestehende Anordnung und den Turbinenrotor. Damit lässt sich die Brennkraftmaschine kostengünstig herstellen und ist offensichtlich wenig störanfällig. Die verschiedenen Ventile sind grösstenteils selbstgesteuerte, federbelastete im Handel erhältliche Einheiten. Wo eine automatische Ventilsteuerung erfolgt, ist die entsprechende Vorrichtung so einfach wie möglich aufgebaut. Eine manuelle Steuerung ist grundsätzlich auf ein Ventil, nämlich das Brennstoffdrosselventil 73 beschränkt, d.h. beim Anfahren auf vier Ventile (zusätzlich zum Brennstoffdrosselventil 73, das Umschaltventil 88, das Entlüftungsventil 35 sowie das Absperrventil 34). Die Brennkraftmaschine kann grundsätzlich mit nur einem einzigen Zylinder gebaut sein. Der Windkessel 60 sorgt zusammen mit dem Ventil 64 dafür, dass der in die Turbine 66 eintretende Flüssigkeitsstrom keinen grösseren Druck- und Mengenänderungen unterworfen ist. Müsste zwecks Gleichförmigkeit der Rotation ein Schwungrad verwendet werden, könnte der Turbinenrotor derart schwer konstruiert werden, dass er selbst als Schwungrad dienen könnte. Falls das Gewicht der Brennkraftmaschine und die Brennstoffkosten nicht erste Priorität haben, kann die Turbine als Pelton-Turbine ausgebildet sein. Für einen langzeitigen Dauerbetrieb genügt eine Flügelrad-Turbine. Für variable Last wird eine Kaplan-Turbine eingesetzt. Mit letzterer weist dann die Brennkraftmaschine eine stufenlos regelbare Energieübertragungsvorrichtung auf.

Die Brennkraftmaschine ist kostengünstig, da nur wenige Teile derselben aus Stoffen hergestellt sein müssen, an die besondere Ansprüche gestellt werden. Der Zylinder 1 ist aus

einem hitzebeständigen, gut wärmeleitfähigen Stoff, der widerstandsfähig gegen eine elastische Verformung ist, beispielsweise aus einer SiAl-Legierung. Der Arbeitskolben 4 des Zylinders sowie die Einlassventile zum Zylinder, und insbesondere deren Federn bestehen aus einem hitzebeständigen Werkstoff. Schliesslich besteht auch der Windkessel aus einem gut wärmeleitenden Werkstoff. Alle anderen Bauteile der Brennkraftmaschine können aus Stahl und/oder Duraluminium und Grauguss sein. Weiter sind mit Ausnahme der am Zylinder 1 angeordneten Ventile alle Ventile genormte Erzeugnisse, die im Handel frei erhältlich sind. Weiter benötigt die Herstellung der Brennkraftmaschine nur einfache Fertigungsverfahren, keine teuren und schwierig zu bearbeitende Werkstoffe und auch keine Spezialwerkzeuge.

Zudem kann die Brennkraftmaschine sehr gedrängt gebaut sein. Um eine annehmbar ausgeglichene Leistung abzugeben, ist grundsätzlich lediglich ein Zylinder 1 notwendig. Jeder Takt des Freikolbens ist gleichzeitig ein Verdichtungs- und ein Arbeitstakt. Obwohl die Maschine als Zweitakter arbeitet, ergibt sich eine doppelte Leistungsabgabe pro Zeiteinheit im Vergleich mit einer herkömmlichen Einzylinder-Zweitaktmaschine und die vierfache einer Einzylinder-Viertaktmaschine. Auch bei der Flüssigkeitskolbenpumpe 2 und bei der Ladeluftpumpe 3 ist jeder Takt gleichzeitig ein Ansaug- und Arbeits(pump)takt. Durch das mit Druckluft erfolgende Spülen des Zylinders werden die Verbrennungsgase im Vergleich mit einer Viertaktmaschine vollständiger ausgestossen, denn bei den Viertaktmaschinen bleibt im Zylinderabschnitt beim Bereich der oberen Totpunktstellung des Kolbens immer ein Gasrest zurück.



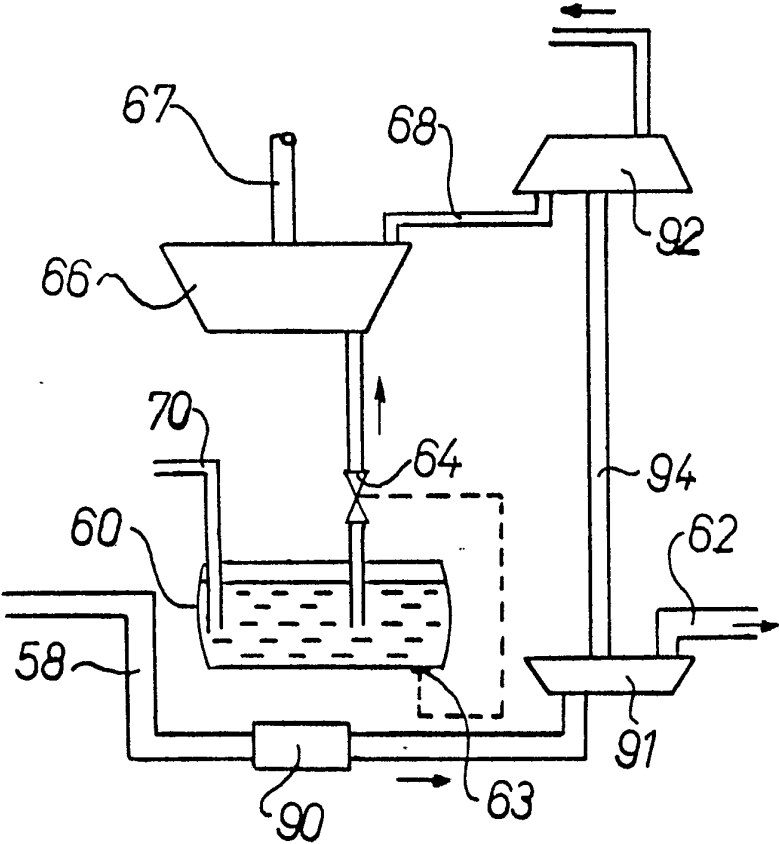


FIG. 2

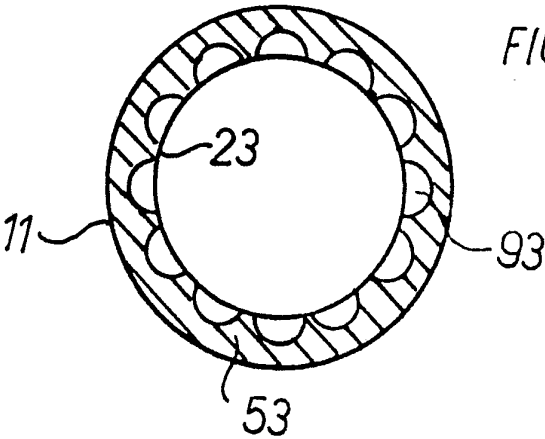


FIG. 3

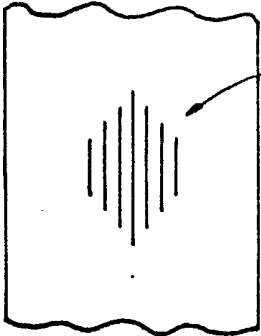


FIG. 4

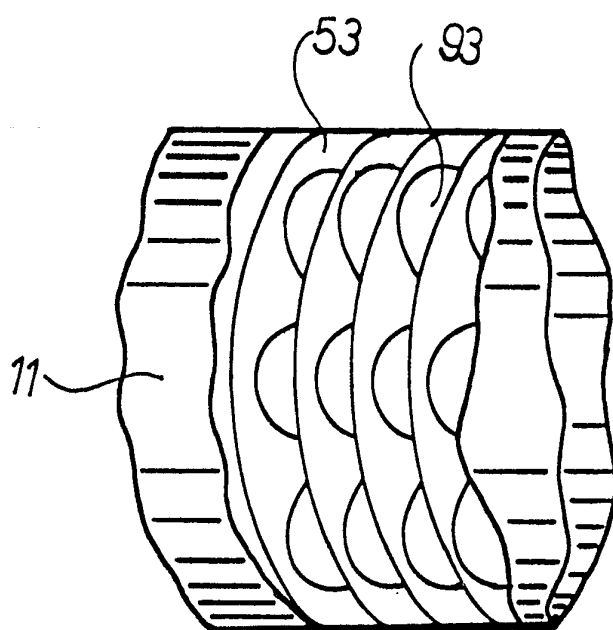


FIG. 5