



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 662 391 A5

⑤① Int. Cl.4: F 02 B 27/00  
F 02 B 33/42

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**  
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

## ⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑮① Gesuchsnummer: 6105/82

⑮② Anmeldungsdatum: 20.10.1982

⑮③ Priorität(en): 20.10.1981 HU 3051/81

⑮④ Patent erteilt: 30.09.1987

⑮⑤ Patentschrift  
veröffentlicht: 30.09.1987

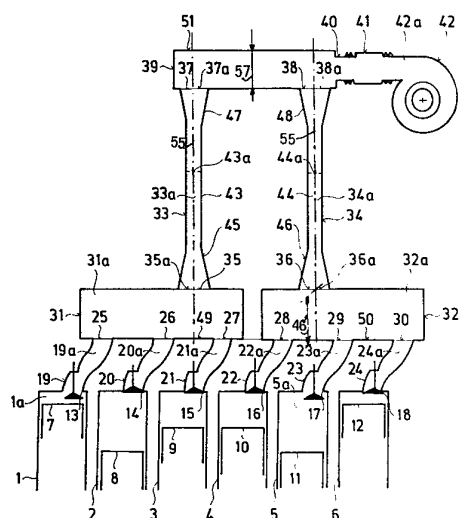
⑮⑦ Inhaber:  
Autoipari Kutato Intézet, Budapest II (HU)

⑮⑦② Erfinder:  
Cser, Gyula, Dr., Budapest (HU)

⑮⑦④ Vertreter:  
Rottmann Patentanwälte AG, Zürich

### ⑮⑤④ Verbrennungskolbenmotor.

⑮⑦ Die Einbaumassen des Resonanzsystems werden vermindert, indem der Querschnitt des Resonanzrohres (33, 34) verkleinert wird. Die Querschnittsverkleinerung erfolgt nicht gleichmässig, sondern nimmt mit der Entfernung von den Rohrenden (35, 36) zu. Die sich im Resonanzrohr (33, 34) entwickelnde Gasgeschwindigkeit verlangsamt sich gegen das Rohrende, so dass ein bedeutender Teil der kinetischen Energie der Gassäule zurückgewonnen werden kann. Der Verbrennungskolbenmotor eignet sich in erster Linie für Lastwagen, kann aber auch für Schiffsantriebe oder für stationäre Anlagen gebraucht werden.



## PATENTANSPRÜCHE

1. Verbrennungskolbenmotor mit einer Resonatorbehälter (31, 32) aufweisenden Resonanzeinrichtung, an welche Resonatorbehälter (31, 32) Frischgasleitungen (19 bis 24) angeschlossen sind, die zu den Saugöffnungen (13 bis 18) von einer Gruppe von Zylindern (1 bis 6) führen, deren gegenseitige Ansaugperioden sich im wesentlichen nicht überdecken, welche Frischgasleitungen (19 bis 24) einzeln an die Saugöffnungen (13 bis 18) angeschlossen sind und bei welchem Kolbenmotor an die Resonatorbehälter mindestens je ein Frischgas führendes Resonanzrohr (33, 34) angeschlossen ist, dadurch gekennzeichnet, dass

a) jedes Resonanzrohr (33, 34) mindestens im Bereich seines dem Resonatorbehälter (31, 32) zugekehrten Rohrendes (35, 36) einen in Richtung zum Resonatorbehälter (31, 32) sich konisch erweiternden Abschnitt (45, 46) besitzt;

b) der in der zur Mittellinie (55) des Resonanzrohres (33, 34) senkrechten Ebene liegende Mündungsquerschnitt (35a, 36a) des Rohrendes (35, 36) mindestens das 1,2-fache des kleinsten Rohrquerschnittes (43a, 44a) des Resonanzrohres (33, 34) beträgt;

c) der Abstand (46) zwischen dem am Resonatorbehälter angeschlossenen Rohrende (35, 36) und der gegenüberliegenden Wand (49, 50) des Resonatorbehälters (31, 32), in der Mittellinie (55) des Resonanzrohres (33, 34) gemessen, grösser ist als der Durchmesser eines Kreises, welcher dem Querschnitt (35a, 36a) des sich anschliessenden Rohrendes (35, 36) entspricht;

d) das Volumen des resonierenden Raumes mindestens das 2,5-fache des Volumens der Resonanzrohre (33, 34) beträgt, wobei der resonierende Raum aus den Resonatorbehältern (31, 32) den daran angeschlossenen Frischgasleitungen (19, 20, 21, 22, 23, 24) und aus dem auf einen Schwingungszyklus bezogenen durchschnittlichen Volumen (1a, 5a) der Zylinder (1, 5) gebildet ist, die durch die während der Zeitdauer des Frischgasschwingungszyklus offenen Saugöffnung(en) (13, 17) kommunizieren.

2. Verbrennungskolbenmotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das dem Resonatorbehälter (31, 32) abgekehrte Ende (37, 38) des Resonanzrohres (33, 34) einen sich gegen die Rohrmündung konisch erweiternden Abschnitt (47, 48) aufweist und der in der zur Mittellinie (55) des Resonanzrohres (33, 34) senkrechten Ebene liegende Mündungsquerschnitt (37a, 38a) des dem Resonatorbehälter (31, 32) abgekehrten Rohrendes (37, 38) mindestens das 1,2-fache des kleinsten Querschnittes (43a, 44a) des Resonanzrohres (33, 34) beträgt.

3. Verbrennungskolbenmotor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die dem Resonatorbehälter (31, 32) abgekehrten Enden (37, 38) der an die Resonatorbehälter (31 bzw. 32) der einzelnen Zylindergruppen (1, 2, 3 bzw. 5, 6, 7) angeschlossenen einzelnen Resonanzrohre (33, 34) in einem Ausgleichsbehälter (39) münden, wobei der Abstand (57) zwischen dem in den Ausgleichsbehälter (39) mündenden Rohrende (37, 38) und der diesem gegenüberliegenden Behälterwand (51), in der Verlängerung der Mittellinie (55) des Resonanzrohres (33, 34) gemessen, grösser ist als der Durchmesser eines Kreises, dessen Fläche dem Querschnitt (37a, 38a) des einmündenden Rohrendes (37, 38) entspricht.

4. Verbrennungskolbenmotor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgleichsbehälter (39) an die Druckseite (42a) einer Aufladeeinrichtung (42) angeschlossen ist.

Verbrennungskolbenmotor. Die Erfindung bezieht sich auf einen Verbrennungskolbenmotor, welcher im Oberbegriff des Anspruches 1 definiert ist.

Bekannt sind Verbrennungskolbenmotoren, deren Frischgasversorgungssystem zur Erhöhung der Zylinderladung die Energie der durch das periodische Saugen der Motorzylinder erregten Gasschwingungen verwertet. Eine übliche Lösung bildet die sogenannte Saugrohraufladung, bei der an die Saugöffnung jedes Motorzylinders ein Saugrohr mit festgelegtem Querschnitt und festgelegter Länge, ein sog. Resonanzrohr angeschlossen ist. Dies ist z.B. im Artikel «Saugrohraufladung» [Induction Ram] von D. Broome in der Zeitschrift Automobile Engineer [London] Jahrgang 1969, Nr. 4–6 beschrieben. Bei diesen Frischgasversorgungssystemen verläuft die durch die Saugwirkung des Motorzylinders hervorgerufene Depressionswelle bekanntlich mit annähernder Schallgeschwindigkeit entlang der Länge des Rohres und wird von dessen offenem Ende als Druckwelle reflektiert. Eine Reflexion kommt natürlich auch am mit der Saugöffnung des Zylinders in Berührung kommenden Ende des Rohres zustande, wobei jedoch die Amplitude der reflektierten Welle von dem momentanen Durchlassvermögen der Saugöffnung abhängt. Wird die Hin- und Rücklaufzeit der Welle, d.h. die Selbstschwingungszahl der Gassäule mit der Bewegung des Motorkolbens günstig in Einklang gebracht, so erreicht die Druckwelle am Ende des Ansaugtaktes den Zylinder, so dass mit höherem Druck mehr Luft in den Zylinder geladen wird. Die Wellenlaufzeit (Selbstschwingungszahl) wird neben der Verbreitungsgeschwindigkeit (annähernder Schallgeschwindigkeit) durch die zum Hin- und Zurücklauf erforderliche Entfernung, d.h. durch die Rohrlänge bestimmt. Die Abstimmung der Rohrlänge ist somit eines der wesentlichen Mittel zur Verbesserung der Frischgasversorgung. Der Rohrquerschnitt beeinflusst in erster Linie die sich entwickelnde Geschwindigkeit, und ist im Verlaufe des instationären Schwingungsvorganges auf dem Pegel der im Rohr hervorgerufenen kinetischen Energie wirksam, der in Abhängigkeit von der gegebenen Aufgabe ebenfalls ein bestimmtes Optimum besitzt.

Zum günstigen Ablauf des Vorganges ist natürlich ein im wesentlichen konstanter Rohrquerschnitt erforderlich, da die Druckwellen nicht nur von dem offenen oder den sich an die Saugöffnung des Zylinders anschliessenden sogenannten geschlossenen oder zum Teil geschlossenen Ende reflektiert werden, sondern es kommt an sämtlichen Stellen eine Reflexion zustande, wo sich der Rohrquerschnitt verändert, d.h. sich erweitert oder einengt. Auf diese Erscheinung wird z.B. in der Arbeit von Dr. Ing. H. Seifert «Instationäre Strömungsvorgänge in Rohrleitungen an Verbrennungskraftmaschinen» [Springer Verlag 1962] auf Seite 41 hingewiesen. Die durch die Forderungen einer günstigen Arbeitsweise bestimmte Rohrlänge ist demgemäss bei konstantem Rohrquerschnitt zu sichern.

Die Geschwindigkeit der in den einzelnen Abschnitten des Schwingungsvorganges im Saugrohr (Resonanzrohr) strömenden Mediums ändert die Richtung und das Medium strömt am offenen Ende des Rohres heraus. Dadurch geht die kinetische Energie des ausströmenden Luftstrahles verloren. In der Praxis bestand bisher keine Möglichkeit zur Verminderung dieser Verluste.

Es ist zwar theoretisch möglich, an den Saugrohrabschnitt mit konstantem Querschnitt als Verlängerung einen derartigen, sich in Richtung des offenen Rohrendes erweiternden Rohrabschnitt, einen Diffusor anzuschliessen, der die Rückgewinnung eines Teiles der sonst verlorenen kinetischen Energie ermöglicht, diese Verlängerung würde jedoch die auch ohne Verlängerung unangenehm grosse Länge des Saugrohres weiter vergrössern. Die Längenzunahme durch den

sich erweiternden Rohrabchnitt würde die konstruktionsmässige Anordnung der Saugrohre bzw. des ganzen Frischgas-Versorgungssystems in dem neben dem Motor zur Verfügung stehenden Raum unmöglich machen. In der Praxis können deshalb derartige Konstruktionslösungen nicht verwirklicht werden.

Bekannt sind weiterhin auch solche Verbrennungskolbenkraftmaschinen, bei denen das die Frischgasversorgung verbessernde Frischgassystem so ausgebildet ist, dass zwischen die Saugöffnung einer bestimmten Gruppe der Zylinder und das Resonanzrohr ein bestimmtes Volumen aufweisender Behälter – Resonatorbehälter – eingebaut ist. Solche Lösungen zeigt die ungarische Patentschrift Nr. 161 323 und die bundesdeutsche Patentschrift Nr. 1 935 155. Ein derartiges Frischgassystem wird als Resonanzsystem, das Aufladungsverfahren selbst als Resonanzaufladung bezeichnet. Die Resonanzaufladung kann nicht nur an saugenden Motoren vorteilhaft eingesetzt werden, da das Resonanz-Frischgassystem auch zwischen eine entsprechende Ladeeinrichtung und den Motor eingebaut werden kann und wirksam ist. Letztere Lösung wurde unter der Bezeichnung «kombinierte Aufladung» bekannt. Das im Resonanzsystem strömende Medium wird durch das periodische Ansaugen durch die Gruppe von Motorzylindern erregt, die an den Resonatorbehälter angeschlossen sind und deren Ansaugarbeitstakte einander nicht wesentlich überdecken. Stimmt die Erregungsfrequenz mit der Selbstschwingungszahl des Resonanzsystems überein, so entsteht im Frischgassystem eine Resonanz und es findet eine wesentliche Aufladung der Zylinder durch verstärkte Gasschwingungen statt.

Bei bestimmten Massverhältnissen der einzelnen Elemente des Resonanzsystems erhöhen die Gasschwingungen die Aufladung der Zylinder nicht nur bei jener Motordrehzahl, bei der sich die Resonanz ergibt, sondern sind in einem weiteren breiten Motordrehzahlbereich wirksam, z.B. bei den Konstruktionslösungen gemäss der österreichischen Patentschrift Nr. 330 506 und der englischen Patentschrift Nr. 1 400 059, obwohl die grösste Aufladungswirkung bei der Resonanz in Erscheinung tritt. Eine vorteilhafte Eigenschaft des Systems besteht darin, dass die Resonanz nicht nur bei hohen Motordrehzahlen erreicht werden kann, sondern dass durch entsprechende Wahl der Eigenschwingungszahl des Resonanzsystems die Frischgasversorgung auch bei ganz niedrigen Motordrehzahlen verbessert werden kann, ohne dass das System die Arbeitsweise des Motors bei hohen Drehzahlen schädlich beeinflussen würde.

Die Eigenschwingungszahl des im Resonanzsystem strömenden Mediums ist – von der Saugrohraufladung abweichend – nicht nur von der Länge des Resonanzrohres mit konstantem Querschnitt, sondern auch von diesem Querschnitt und dem Volumen des resonierenden Raumes abhängig, wie dies von F. Anisits und F. Spinnler in ihrer Arbeit «Entwicklung der kombinierten Aufladung am neuen Saurer-Fahrzeug-Dieselmotor D 4KT in der Zeitschrift MTZ, Jahrgang 1978, Nr. 10 dargelegt wird. Die Einhaltung der zur Verwirklichung der gewünschten Eigenschwingungszahl erforderlichen sowie der durch die günstige Arbeitsweise bedingten Abmessungen bzw. Massverhältnisse (siehe z.B. die österreichische Patentschrift Nr. 330 506) ist jedoch mit derartigen Auflagen verbunden, die die konstruktionsmässige Ausgestaltung des Resonanzsystems und dessen Anordnung in dem in der Umgebung des Motors zur Verfügung stehenden Raum erschweren. Die konstruktionsmässige Anordnung der bestimmte Abmessungen aufweisenden Resonatorbehälter insbesondere jedoch der Resonanzrohre bilden die Grundvoraussetzung der praktischen Verwendung, zu deren Lösung zweifellos nützliche Vorstellungen entwickelt wurden, z.B. gemäss der ungarischen Patentschrift Nr.

173 034 und Nr. 175 875 sowie der USA-Patentschrift Nr. 4 064 696 oder der diesen ähnlichen bundesdeutschen Offenlegungsschrift DE 2 831 985. Obwohl die erwähnten Konstruktionen den neben einem Sechszylinder-Reihenmotor zur Verfügung stehenden Raum günstig ausnutzen, kann keine dieser Lösungen an der Tatsache ändern, dass die durch eine günstige Arbeitsweise bedingten Abmessungen ziemlich gross sind.

Demzufolge ist auch der Platzbedarf bei den sonst günstig ausgelegten Konstruktionen gross, was in zahlreichen Fällen ein Hindernis der praktischen Anwendung bildet.

Ziel vorliegender Erfindung ist deshalb die Beseitigung der genannten Einbau- bzw. Anordnungsschwierigkeiten des Frischgasversorgungs-Resonanzsystems von Verbrennungskolbenmotoren bzw. die Ausgestaltung eines derartigen Verbrennungskolbenmotors, dessen Resonanz-Frischgassystem auch bei verminderten Einbaumassen die Frischgasversorgung des Motors wirksam verbessert. Ein weiteres Ziel der Erfindung ist die Verminderung des Resonanzsystems und hiermit des Motorgewichtes sowie der Herstellungskosten.

Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass die Einbaumasse des Resonanzsystems bei Einhaltung der vorstehend genannten Massverhältnisse am wirksamsten in dem Falle vermindert werden können, wenn der Querschnitt des Resonanzrohres vermindert wird. Dadurch wird nicht nur der Querschnitt selbst geringer, sondern es reicht zur Einhaltung der durch die wirksame Arbeitsweise bedingten Massverhältnisse auch eine geringere Rohrlänge und/oder ein geringeres resonierendes Volumen aus. Der Querschnittsverminderung werden aber durch die Geschwindigkeit des aus dem Rohr ausströmenden Gases bzw. durch die Grösse der kinetischen Energie Grenzen gesetzt. Diese Energie geht beim Ausströmen aus dem Rohr in den Behälter im wesentlichen verloren, was gegebenenfalls die Strömungsverluste des Resonanzsystems in unvermeidbarem Masse erhöht.

Die Zielsetzung der Erfindung wird durch die im Anspruch 1 aufgeführten Merkmale erreicht. In dieser Weise wird der durchschnittliche Querschnitt des Resonanzrohres und hiermit sämtliche bestimmende und hinsichtlich der Einbaubarkeit wesentliche Abmessungen des Resonanzsystems auch ohne Erhöhung der Strömungsverluste des im Resonanzrohr mit grosser Geschwindigkeit hin und her strömenden Frischgases in bedeutendem Masse vermindert. Daher wird der Querschnitt des Resonanzrohres in einem entlang der ganzen Länge des Rohres nicht gleichen sondern von den Rohrenden sich entfernend zunehmenden Masse vermindert. Der Querschnitt wird in Richtung der Rohrenden – mindestens jedoch in Richtung zum an den Resonatorbehälter angeschlossenen Rohrende – im Vergleich zum kleinsten Rohrquerschnitt erweitert. Mit dem sich erweiternden Rohrquerschnitt wird die sich im Resonanzrohr entwickelnde Gasgeschwindigkeit verlangsamt, so dass ein bedeutender Teil der kinetischen Energie der Gassäule noch im Rohr zurückgewonnen werden kann. Weiterhin kann der aus dem Rohrende in den Behälter austretende Gasstrahl ohne Hinderung auch in die entfernter gelegenen Teile des Behälters gelangen, wobei zu dieser Bewegung der bei dem Austritt noch zur Verfügung stehende Anteil an kinetischer Energie verwendet wird. Die störende Wirkung der Wellenreflexion, bedingt durch den sich in Richtung der Rohrenden erweiternden Querschnitt, wird beseitigt, indem das Volumen des resonierenden Raumes wesentlich grösser als das Volumen des Resonanzrohres ausgelegt wird. Eine Notwendigkeit der Erhöhung der Abmessungen der Resonanzrohrwelle entfällt ebenfalls. Ein verhältnismässig grosses resonierendes Volumen kann nämlich die auf dem Resonanzrohr einströmende Gasmenge ohne wesentliche Beschränkung, Kollision oder Drosselung, d.h. ohne einen plötzlichen

Druckanstieg aufnehmen. So kommt es am Rohrende zu keiner derartigen kraftvollen und einen bestimmenden Charakter tragenden Wellenreflexion, wie z.B. bei der Saugrohraufladung, wo die im Rohr strömende Gassäule unmittelbar ohne Zwischenschaltung eines Resonatorbehälters mit der Saugöffnung des Zylinders in Berührung kommt. Die geringfügige Wellenreflexion übt auch im Falle eines veränderlichen Rohrquerschnittes keine bestimmende Wirkung auf die Eigenschwingungszahl des Systems aus, die so auch weiterhin von der ganzen Rohrlänge – einschliesslich der Länge der Rohrabsschnitte mit sich erweiterndem Querschnitt – dem durchschnittlichen Rohrquerschnitt und dem resonierenden Volumen abhängig bleibt. Im Gegensatz zu den bisher bekannten Lösungen muss die durch die günstige Arbeitsweise bestimmte Rohrlänge nicht um die Länge der der sich in Richtung der Rohrenden erweiternden Rohrabsschnitte erhöht werden. Bei einer zweckdienlichen Ausführungsform des erfindungsgemässen Verbrennungskolbenmotors sind die Merkmale des Anspruchs 2 verwirklicht.

Bei einer weiteren zweckdienlichen Ausführungsform des erfindungsgemässen Verbrennungskolbenmotors sind auch die Merkmale nach den Ansprüchen 3 und 4 vorhanden.

Die Erfindung wird detailliert anhand des Ausführungsbeispiels eines Sechszylinder-Viertaktverbrennungsmotors mit Turboaufladung und die Frischgasversorgung verbesserndem Resonanzsystem mit Hilfe der Fig. 1, 2 und 3 erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen Sechszylinder-Viertakt-Reihenmotor mit Turboaufladung und einem die Ladung der Zylinder verbesserndem bzw. verstärkendem Frischgas-Resonanzsystem im Schnitt;

Fig. 2 eine Einzelheit des Frischgas-Resonanzsystems des Verbrennungsmotors nach Fig. 1, mit Anschluss des Resonatorbehälters und des Resonanzrohrs aneinander im Schnitt und in vergrösserter Darstellung;

Fig. 3 eine Einzelheit des Frischgas-Resonanzsystems des Verbrennungsmotors nach Fig. 1, mit Anschluss des Resonanzrohrs und des Ausgleichbehälters aneinander im Schnitt in vergrösserter Darstellung.

Der Verbrennungskolbenmotor nach Fig. 1 ist ein Sechszylinder-Viertakt-Reihenmotor in dessen Zylinder 1–6 die Kolben 7–12 der üblichen Zündfolge 1–5–3–6–2–4 entsprechend arbeitend angeordnet sind. Die Zylinder 1–6 sind der Reihe nach mit den Ansaugöffnungen (Einlassventilen) 13–18 versehen, an die das die Frischgasversorgung der Zylinder 1–6 verbessernde Resonanzfrischgassystem angeschlossen ist. Der Gesamthubraum des Motors beträgt 12 l, und so ist das Volumen jedes Zylinders 1–6 2 Liter. Die Motornenn Drehzahl beträgt 2200 U/Min. Infolge der Viertakt-Arbeitsweise und der vorgenannten Zündfolge entspricht innerhalb der auf den Zylindern 1, 2 und 3 sowie 4, 5 und 6 gebildeten beiden Gruppen die Zündungsstrecke einem Kurbelwellenverdrehungswinkel von 240°. Der Öffnungswinkel der Ansaugöffnungen 13–18 beträgt 240°. In dieser Weise findet keine Überdeckung der Ansaugperioden in den Zylindern 1–3 bzw. 4–6 statt. In dieser Weise wird ermöglicht, die Ansaugöffnungen 13–15 der Zylinder 1–3 der Reihe nach mittels der Frischgasleitungen 19–21 an den Resonatorbehälter 31 und die Ansaugöffnungen 16–18 der Zylinder 4–6 der Reihe nach mittels der Frischgasleitungen 22–24 an den Resonatorbehälter 32 anzuschliessen. Die Länge der Frischgasleitungen 19–24 von den Ansaugöffnungen 13–18 bis zu ihrem sich an den Resonator 31 bzw. 32 anschliessenden Querschnitt 25–30 beträgt 0,2 m, und ist demgemäss kleiner als der sich aus der Bedingung  $n/1500 = 1,46$  m ergebende Wert, wobei  $n = 2200$  U/Min die Nenn-

drehzahl des Motors und 1500 eine Versuchskonstante ist.

Gegenüber der die Anschlussquerschnitte 25–27 der Frischgasleitungen 19–21 aufnehmenden Behälterwand 49 des Resonatorbehälters 31 ist das sich anschliessende Rohrende 35 des Resonanzrohrs 33 angeordnet. Gegenüber der die Anschlussquerschnitte 28–30 aufnehmenden Behälterwand 50 des Resonatorbehälters 32 ist das sich anschliessende Rohrende 36 des Resonanzrohrs 34 angeordnet. An den Resonatorbehälter 31 ist über das Resonatorbehälter-Rohrende 35 das Resonanzrohr 33, und an den Resonatorbehälter 32 über das resonatorseitige Rohrende 36 das Resonanzrohr 34 angeschlossen. Die von den Resonatorbehältern 31, 32 abgekehrten Rohrenden 37 und 38 münden in einen Ausgleichbehälter 39, der über eine Eintrittsöffnung 40 und ein Verbindungsrohr 41 an die Druckseite 42a einer Aufladeeinrichtung 42 angeschlossen ist. Gemäss Fig. 1 ist die Aufladeeinrichtung 42 als ein Abgas-Turbolader ausgebildet. Ähnlicherweise können jedoch auch Aufladeeinrichtungen sonstigen Systems und anderer Arbeitsweise verwendet werden.

Die periodische Saugwirkung der Zylinder 1–3 versetzt das Frischgas in Schwingungen, welches aus dem Resonanzfrischgassystem strömt, das im über die Frischgasleitungen 19–22 an ihre Ansaugöffnungen 13–15 angeschlossenen Resonatorbehälter 31 und im an diesen angeschlossenen Resonanzrohr 33 gebildet wird. Da die Zündstrecke der an den Resonatorbehälter 31 angeschlossenen Zylinder 1–3 einem Kurbelwellen-Drehwinkel von 240° entspricht, folgt auch die Ansaugwirkung der Kolben 7–9 alle 240° aufeinander. Bei den erregten Gasschwingungen entspricht die Zeitdauer eines Schwingungszyklus einer Winkeldrehung von 240° und zwar unabhängig von der momentanen Motordrehzahl. Die während der Zeitdauer der Winkeldrehung von 240° offenen Ansaugöffnungen 13–14 sind also während eines vollständigen Schwingungszyklus offen, so dass in diesen Fällen im Verlaufe je eines Schwingungszyklus immer nur einer von den drei Zylindern 1–3 mit dem Resonatorbehälter 31 kommuniziert. Im dargestellten Zeitpunkt z.B. kommuniziert der Zylinder I mit dem Resonatorbehälter 31 über die geöffnete Ansaugöffnung 13.

In diesem Falle entspricht z.B. das auf einen ganzen Schwingungszyklus bezogene durchschnittliche Volumen 1a des mit dem Resonatorbehälter 31 über die gerade offene Ansaugöffnung 13 kommunizierenden Zylinders I dem einfachen algebraischen Mittelwert der im Verlaufe der vom Öffnen bis zum Schliessen der Ansaugöffnung 13 reichenden Winkeldrehung von 240° sich bildenden momentanen Zylindervolumen.

Bleibt die Ansaugöffnung 13 kürzer als eine Schwingungsperiode offen, indem z.B. in vorliegendem Falle die Ansaugöffnung 13 anstelle der Dauer einer Winkeldrehung von 240° nur für die Dauer einer Winkeldrehung von 200° offenbleibt, so müsste der sich während der Zeitdauer vom Öffnen bis zum Schliessen der Ansaugöffnung 13 im Verlaufe einer Winkeldrehung von 200° ergebende momentane Zylindervolumen berücksichtigt werden, da während der übrigbleibenden Zeitdauer der Winkeldrehung von 40° der Zylinder I über die Saugöffnung 13 mit dem Resonatorbehälter 31 nicht kommuniziert. Im dargestellten Zeitpunkt kommuniziert der Zylinder 5 über die offene Ansaugöffnung 17 mit dem Resonatorbehälter 32. In diesem Falle entspricht das auf einen ganzen Schwingungszyklus bezogene durchschnittliche Volumen 5a des mit dem Resonatorbehälter 32 durch die eben offene Ansaugöffnung 17 kommunizierenden Zylinder dem einfachen algebraischen Mittelwert der im Verlaufe vom Öffnen bis zum Abschliessen der Ansaugöffnung 17 reichenden Winkeldrehung von 240° bildenden momentanen Zylindervolumina.

Im praktischen Falle kann es auch vorkommen, dass die

Ansaugöffnungen 13–18 länger als ein Schwingungszyklus offengehalten werden. Bei dem Ausführungsbeispiel würde dies dann eintreten, wenn die Ansaugöffnungen 13–18 über die Zeitdauer der Winkeldrehung von 240° geöffnet werden. Wird z.B. eine Offenhaltungsdauer von 260° gewählt, so kommt eine 20° erreichende Überdeckung zwischen den Ansaugperioden der einzelnen Zylinder 1–6 zustande. Bei der Bestimmung des durchschnittlichen Zylindervolumens ist in diesen Fällen zu berücksichtigen, dass im Verlaufe der 20°igen Überdeckung, da von den Ansaugöffnungen 13–15 bzw. 16–18 gleichzeitig je zwei geöffnet sind, von den Zylindern 1–4 bzw. 4–6 je zwei gleichzeitig mit dem Resonatorbehälter 31 bzw. 32 kommunizieren.

Das wie vorstehend beschriebene durchschnittliche Zylindervolumen 1a, das Volumen 19a der Frischgasleitung 19, weiterhin die Volumina 20a und 21a der auch bei eben geschlossenen Ansaugöffnungen 14 und 15 mit dem Resonatorbehälter 31 kommunizierenden Frischgasleitungen 20 und 21, sowie das Volumen 31a des Resonatorbehälters 31 bilden zusammen einen resonierenden Raum. Das Volumen V des als Summe der Volumina 1a, 19a, 20a, 21a und 31a betrachteten resonierenden Raumes beträgt in vorliegendem Ausführungsbeispiel 10 Liter.

Auf ähnliche Weise bilden das durchschnittliche Zylindervolumen 5a, das Volumen 23a der Frischgasleitung sowie die Volumina 22a und 24a der auch bei eben geschlossenen Ansaugöffnungen 16 und 18 mit dem Resonatorbehälter 32 kommunizierenden Frischgasleitungen 22 und 24 sowie das Volumen 32a des Resonatorbehälters 32 gemeinsam einen resonierenden Raum. Das Volumen V des als Summe der Volumina 5a, 22a, 23a, 24a und 32a betrachteten resonierenden Raumes beträgt dem vorstehenden entsprechend 10 Liter.

Das mit dem Resonatorbehälter 31 verbundene Resonanzrohr 33 sowie das mit dem Resonatorbehälter 32 verbundene Resonanzrohr 34 sind so ausgebildet, dass sie einen mittleren minimalen Querschnitt aufweisenden Rohrabschnitt 43 bzw. 44 besitzen, wobei der zahlenmässige Wert des minimalen Rohrquerschnittes 43a bzw. 44a in vorliegendem Beispiel 46 cm<sup>2</sup> beträgt. Die Resonanzrohre 33 und 34 haben an ihren beiden Enden in Richtung der Rohrenden 35 bzw. 37 bzw. 36, 38 sich erweiternd angeordnete Rohrabschnitte 45, 47 bzw. 46, 48 mit sich erweiterndem Querschnitt. Auf diese Weise ist an den minimalen Querschnitt aufweisenden Rohrabschnitt 43 des Resonanzrohres 33 der einen sich erweiternden Querschnitt aufweisende Rohrabschnitt 45 angeschlossen. Demzufolge ist der Querschnitt 35a des mit dem Resonatorbehälter 31 verbundenen Rohrendes 35 grösser als der Querschnitt 43a des den minimalen Querschnitt aufweisenden Rohrabschnittes 43. In der Nähe des dem Resonatorbehälter 31 gegenüberliegenden Rohrendes 37 ist die Rohrausbildung ähnlich. An den Rohrabschnitt 43 ist in der sich vom Resonatorbehälter 31 entfernenden Richtung ein Rohrabschnitt mit sich erweiterndem Querschnitt 47 angeschlossen. Demzufolge ist der Querschnitt 37a des Rohrendes 37 grösser als der Querschnitt des Rohrabschnittes 43 mit dem minimalen Querschnitt.

Die Wirkung der Erweiterung des Querschnittes des Resonanzrohres 31 tritt dann auf, wenn die Grösse der Querschnitte 35a bzw. 37a mindestens das 1,2-fache des minimalen Rohrquerschnittes 43a ausmacht. Um die günstigste Wirkung zu erreichen, ist es jedoch zweckdienlich, eine dies überschreitende Querschnittserweiterung zu wählen. In vorliegendem Beispiel sind die Querschnitte 35a bzw. 37a 1,6× grösser als der Querschnitt 43a und ihr zahlenmässiger Wert beträgt 25,6 cm<sup>2</sup>. Über die gleichen Masse bzw. Massverhältnisse verfügt der Querschnitt 36a bzw. 38a des Rohrendes 36 und des Rohrendes 38 der Resonanzröhre 34, die durch die

erweiterte Querschnitte aufweisende Rohrabschnitte 46 bzw. 48 mit dem über den minimalen Rohrquerschnitt 44a verfügenden Rohrabschnitt 44 verbunden ist.

Die Länge der Resonanzrohre 43 und 34 zwischen den Rohrenden 35 und 37 bzw. 36 und 38 (einschliesslich der Längen der erweiternden Querschnitt aufweisenden Rohrabschnitte 45 und 47 bzw. 36 und 38) wurden so gewählt, dass das Resonanzfrischgas-System eine die Aufladung verbessernde grösste Wirkung bei einer die Hälfte der Motornenn-drehzahl unterschreitenden Motordrehzahl liefert, was bei vorliegendem Ausführungsbeispiel 1000 U/Min. ist. Mit der Erregungsfrequenz der Ansaugperioden der Zylinder 1–3 bzw. 4–6 kommt demgemäss bei dieser ausgewählten Motordrehzahl die Resonanz im Frischgassystem zustande.

Zu dieser Forderung ergibt sich die Länge des Resonanzrohres 33 bzw. 34 zu 0,73 m bzw. ihr Volumen 33a bzw. 34a bei den genannten Querschnitten von 43a bzw. 44a, 35a, 37a bzw. 36a, 38a zu 1,2 Liter. Die einen sich erweiternden Querschnitt aufweisenden Rohrabschnitte 45, 47 bzw. 46, 48 sind kegelförmig mit einer geraden Mantellinie. Auf diese Weise ist das Volumen V des resonierenden Raumes 8,4× grösser als das Volumen 33a bzw. 34a des Resonanzrohres 33 bzw. 34.

Im Interesse der Sicherung der günstigen Frischgasströmung ist der Resonatorbehälter 31 bei der Einmündung des Rohrendes 35 des Resonanzrohres 33 so ausgebildet, dass in der Verlängerung der Mittellinie 55 des Resonanzrohres 33 gemessen, der Abstand 56 zwischen der gegenüberliegenden Behälterwand 49 und dem zur Mittellinie 55 senkrechten kreisförmigen Querschnitt 35a des Rohrendes 35 grösser ist als der Durchmesser des Querschnittes 35a, im vorliegenden Beispiel 0,08 m.

In ähnlicher Weise ist der Resonanzbehälter 32 so ausgebildet, dass in der Verlängerung der Mittellinie 55 des Resonanzrohres 34 gemessen, der Abstand 56 zwischen der gegenüberliegenden Behälterwand 50 und dem zur Mittellinie 55 senkrechten kreisförmigen Querschnitt 36a des Rohrendes 36 grösser ist als der Durchmesser des Querschnittes 36a, im vorliegenden Beispiel 0,08 m.

Im Interesse der Sicherung einer günstigen Frischgasströmung ist der Ausgleichbehälter 39 bei dem Anschluss des Rohrendes 37 des Resonanzrohres 33 so ausgebildet, dass in der Verlängerung der Mittellinie 55 des Resonanzrohres 33 gemessen, der Abstand 57 zwischen der gegenüberliegenden Behälterwand 51 und dem zur Mittellinie 55 senkrechten kreisförmigen Querschnitt 37a des Rohrendes 37 grösser ist als der Durchmesser des Querschnittes 37a, im vorliegenden Beispiel 0,08 m. Ähnlich ausgebildet ist der Ausgleichbehälter bei der Einmündung des Rohrendes 38 des Resonanzrohres 34, so dass in der Verlängerung der Mittellinie 55 des Resonanzrohres 34 gemessen, der Abstand 57 zwischen der gegenüberliegenden Behälterwand 51 und dem zur Mittellinie 55 senkrechten kreisförmigen Anschlussquerschnitt 38a des Rohrendes 38 grösser ist als der Durchmesser des Querschnittes 38a, welcher im vorliegenden Beispiel 0,08 m beträgt.

Fig. 2 zeigt den Anschluss des Resonanzrohres 33 und des Resonatorbehälters 31 vergrössert mit einer von der in Fig. 1 abweichenden Behälterform. Weder das Rohrende 35 noch die gegenüberliegende Behälterwand 49 verlaufen senkrecht zur Mittellinie 55 des Resonanzrohres 33. Das Rohrende 35 ist mit einer Abrundung 54 ausgebildet, die bei der Festlegung der Abmessungen ausser acht gelassen und das Rohrende 35 bis zur erzeugenden Linie der Wand des das Rohrende aufnehmenden Resonatorbehälters und des den sich erweiternden Querschnitt aufweisenden Rohrabschnittes 45 verstanden wird, deren extreme Randpunkte durch die Schnittpunkte 52 und 53 gebildet werden. Mit Querschnitt des Rohrendes 35 wird der zur Mittellinie 55 senkrechte, in

der durch den Schnittpunkt 52 laufenden Ebene liegende Querschnitt 35a bezeichnet. Der Abstand 56 zwischen den Rohrenden 35 und der Behälterwand 59 wird als Abstand zwischen den mit der Behälterwand 49 und der die Schnittpunkte 52 und 53 verbindenden Graden gebildeten Schnittpunkte der Mittellinie 55 des Resonanzrohres 33 definiert.

Fig. 3 stellt den Anschluss des Ausgleichbehälters 39 und des Resonanzrohres 33 vergrößert dar. Das Rohrende 37 ist mit einer Abrundung 58 ausgebildet, die bei der Feststellung der Masse ausser acht gelassen wird. Das Rohrende 37 liegt bei der Durchdringung der das Rohrende 37 aufnehmenden Ausgleichsbehälterwand durch den einen sich erweiternden Querschnitt aufweisenden Rohrabschnitt 47, was durch den Schnittpunkt 59 angezeigt wird.

Die Verwendung der Frischgasleitungen 19–24 ist keine zwangsläufige Voraussetzung der Arbeitsweise des Systems, da auch eine Ausführung möglich ist, wo die Ansaugöffnungen und Querschnitte 13 und 25 bzw. 14 und 26 bzw. 15 und 27 zusammenfallen, so dass der Resonatorbehälter 31 unmittelbar an die Ansaugöffnungen 13–15 der Zylinder 1–3 und genauso der Resonatorbehälter 32 unmittelbar an die Ansaugöffnungen der Zylinder 4–6 angeschlossen ist.

Es ist nicht unbedingt erforderlich, dass der Querschnitt der Rohrabschnitte mit sich erweiterndem Querschnitt 45, 46, 47 und 48 kontinuierlich weiter wird. Eine vorteilhafte Lösung kann sich auch ergeben, wenn die gesamte Zunahme des Querschnittes aus mehreren sich erweiternden Abschnitten zustande kommt, zwischen welche Abschnitte mit konstanten Querschnitten zwischengefügt sind. Ebenfalls vorteilhaft kann sein, wenn die Querschnittserweiterung der Rohrabschnitte mit sich erweiterndem Querschnitt 45, 46, 47 und 48 nicht unmittelbar bis zu den Rohrenden 35, 36, 37 bzw. 38 erreicht, sondern in deren unmittelbarer Nähe der erweiterte Querschnitt auf einem annähernd konstanten Wert bleibt, wodurch die Verbindung des Resonanzrohres 33 und 34 und des Resonatorbehälters 31 bzw. 32 bzw. des Ausgleichbehälters 39 sowohl hinsichtlich der Konstruktion als auch der Technologie einfacher wird.

Bei den von vorliegendem Beispiel abweichenden ohne Ladevorrichtung mit Ansaugung arbeitenden Motoren ist es unbedingt erforderlich, dass beide Rohrenden 35 und 37 bzw. 36 und 38 der Resonanzrohre 33 und 34 die gleiche Ausgestaltung haben, denn wo das vom Resonatorbehälter 31 bzw. 32 weiterliegende Rohrende 37 bzw. 38 der Resonanzrohre 33 und 34 unmittelbar in die Umgebung übergehen, kann auch eine Ausführung vorteilhaft sein, bei der der sich erweiternden Querschnitt aufweisende Rohrabschnitt 45 bzw. 46 nur an das sich an den Resonatorbehälter 31 bzw. 32 anschliessende Rohrende 35 bzw. 36 der Resonanzrohre angeschlossen wird.

Ein mit einem Resonanzfrischgas-System versehener Verbrennungskolbenmotor mit Aufladung gemäss dem Ausführungsbeispiel arbeitet wie folgt: Infolge der durch die periodische Ansaugwirkung der Zylinder 1–3 hervorgerufenen Erregung entstehen periodische Druckänderungen und somit Druckschwingungen im resonierenden Raum. Diese entsprechen der Summe des Volumens 31a des Resonatorbehälters, der Volumina 19a, 20a und 21a der Frischgasleitungen 19, 20 und 21 und des auf einen Schwingungszyklus bezogenen durchschnittlichen Volumens 1a des während der Zeitdauer des Frischgas-Schwingungszyklus – in der auf Fig. 1 gezeigten momentanen Stellung – durch die offene Saugöffnung 13 kommunizierenden Zylinders 1. Da die entferntesten Punkte des resonierenden Raumes – der Resonatorbehälter 31 und der Zylinder 1a – mit den höchstens eine Länge von  $n/1500$  aufweisenden Frischgasleitungen 19–21 verbunden sind, verändert sich der Druck im ganzen resonierenden Raum zeitlich in der gleichen Weise, so dass darin

keine wesentlichen Phasenverschiebungen zustandekommen können. Die periodischen Druckänderungen im Resonatorbehälter beschleunigen und verlangsamen das im Resonanzrohr 33 strömende Frischgas. Unter Einwirkung der Schwingungserregung wird das Frischgas in der ersten Hälfte des Ansaugvorganges in Richtung des Resonanzbehälters 31 beschleunigt und die Arbeit der Schwingungserregung erhöht im Resonanzrohr 33 die kinetische Energie des strömenden Frischgases. Die im Resonanzrohr 33 auf eine grosse Geschwindigkeit beschleunigte Frischgassäule füllt in der zweiten Hälfte des Ansaugvorganges den resonierenden Raum in einem Ausmasse auf, dass darin der Druck und hiermit auch die Frischgasladung des Zylinders 1 wesentlich ansteigt. In dem Rohrabschnitt 43 mit minimalem Querschnitt des Resonanzrohres 33 entwickeln sich zufolge der im Vergleich zu den bekannten Ausführungen um 30–70% kleineren Rohrquerschnitt sehr hohe Geschwindigkeiten und deshalb kann auch mit einem verhältnismässig kurzen Resonanzrohr 33 der zur entsprechenden Arbeitsweise erforderliche kinetische Energiepegel erreicht werden. Die in dem minimalen Querschnitt aufweisenden Rohrabschnitt 43 entstehende Gasgeschwindigkeit wird bei dem Rohrende 35 in dem sich erweiternden Querschnitt aufweisenden Rohrabschnitt 45 erneut vermindert und so die sehr bedeutende Gasgeschwindigkeit noch vor dem Eintreten in den Resonatorbehälter 31 wieder in Druck umgewandelt. Die zur Erzeugung von grossen Schwingungsenergien erforderliche Gasgeschwindigkeit geht deshalb beim Eintritt in den Resonatorbehälter 31 nicht verloren, sondern kann zum grössten Teil zurückgewonnen werden, so dass der Strömungsverlust des Resonanz-Frischgassystems nicht zunimmt. Die störende Wirkung der bei den sich erweiternden Querschnitt aufweisenden Rohrabschnitten 45 und 47 auftretenden Wellenreflexion wird dadurch beseitigt, dass man das Volumen V des resonierenden Raumes wesentlich grösser als das Volumen des im Resonanzrohr 31 strömenden Frischgases wählt. Im vorliegenden Beispiel ist das Volumen V des resonierenden Raumes  $8,4 \times$  grösser. Infolge der im resonierenden Raum befindlichen bzw. strömenden grossen Frischgasmenge kommt es zu keiner sprungartigen Druckänderung und bei den Rohrenden 35 bzw. 37 – hiermit auch bei den sich erweiternden Querschnitt aufweisenden Rohrabschnitten 45 bzw. 47 – tritt eine hinsichtlich ihrer Wirkung zu vernachlässigende Reflexion auf. So kann mit dem keinen konstanten Querschnitt aufweisenden Resonanzrohr 31 eine hinsichtlich der Schwingungen annähernd gleiche Wirkung wie mit den früher bekannten konstanten Querschnitt aufweisenden Rohren erreicht werden. Die übrigbleibende kinetische Energie des durch das Rohrende 35 austretenden jedoch bereits verzögerten Frischgases wird zur Ausfüllung des resonierenden Raumes ebenfalls in der Weise genutzt, indem die dem Rohrende 35 gegenüberliegende Behälterwand 49 in einen entsprechenden Abstand vom Rohrende 35 angeordnet ist. Auf diese Weise reicht die kinetische Energie des aus dem Rohrende 35 austretenden freien Strahles aus, Frischgas auch in die entfernter gelegenen Teile des Resonatorbehälters 31 zu bringen, so dass hierzu keine weiteren – als Verlust auftretenden – Energieaufwendungen erforderlich sind. Die erzielte Wirkung wird durch die Verminderung des minimalen Querschnittes des Resonanzrohres 31 weiter erhöht. Die Möglichkeit dazu ist umso grösser, je grösser die Querschnittserweiterung in dem sich erweiternden Rohrabschnitt 45 ist. Wie dies durch zahlreiche praktische Messungen nachgewiesen werden konnte, kann eine gute Arbeitsweise in dem Falle erwartet werden, wenn der Querschnitt 35a des in den Resonatorbehälter 31 mündenden Rohrendes 35 mindestens das 1,2-fache des minimalen Rohrquerschnittes 43a ausmacht oder noch grösser ist. Im vorliegenden Ausführungs-

beispiel konnte bei 1,6-facher Querschnittserweiterung der minimale Querschnitt 43a des Resonanzrohres 31 in dem Masse vermindert werden, dass er zum Erreichen der auf eine ganz niedrige Motordrehzahl (1000 U/Min) abgestimmten Resonanz lediglich ein 0,73 m langes Resonanzrohr 33 benötigt. Ein ähnliches Ergebnis könnte mit den bisher bekannten Resonanz-Frischgassystemen nur mit einer um etwa 50% grösseren Rohrlänge erreicht werden. Die bei dem Resonanzrohr 31 erreichte Massverminderung ermöglicht auch die Herabsetzung des Volumens 31a des Resonatorbehälters 31 um etwa 30–40% im Vergleich zu den bisher bekannten Lösungen. Die Volumenverminderung darf jedoch kein derartiges Ausmass annehmen, dass das Volumen V des resonierenden Raumes kleiner als das 2,5-fache des Volumens des angeschlossenen Resonanzrohres 15

31 wird, da in diesem Falle die störende Wirkung der bei dem sich erweiternden Querschnitt aufweisenden Rohrabschnitt 45 zustandekommende Wellenreflexion bereits nicht mehr vermieden werden kann. Ein ähnlicher Prozess verläuft auch 5 infolge der durch die periodische Ansaugwirkung der Zylinder 4–6 hervorgerufenen Schwingungserregung in den Frischgasleitungen 22–24, im Resonatorbehälter 32 und im Resonanzrohr 34.

Das Frischgas gelangt aus dem Ausgleichsbehälter 39 kommend durch das Rohrende 37 bzw. 38 in das Resonanzrohr 33 bzw. 34. Das Gas wird durch den Turbolader 42 über das Verbindungsrohr 41 durch die Eintrittsöffnung 40 in den Ausgleichsbehälter gefördert, wobei der Ausgleichsbehälter 39 mit seinem grossen Volumen die auftretenden Druckschwankungen dämpft.

