



EINFÜHRUNG

Energie- und Ökologieprobleme sind einige der großen Themen der Zeit. Die Innovationen bei Energietechnologien, darunter bei den Verbrennungsmaschinen, stehen deshalb im Fokus. Zwei Gattungen der Verbrennungsmotoren haben bisher die größte Verbreitung gefunden: traditionelle Kolbenmotoren und Turbomotoren als eine Art Strömungsmaschine. Beide Gattungen haben sowohl Vorzüge als auch Nachteile, genügen aber nicht mehr den ökonomischen und ökologischen Anforderungen der Gegenwart.

Kolbenmotoren haben relativ hohe Wirkungsgrade (wahrscheinlich sind bis zu 50 % möglich) und dadurch einen geringen Kraftstoffverbrauch, ihr wesentlicher Nachteil – kleine Kennwerte bei Leistungsvolumen/Leistungsgewichten – begrenzt aber ihren bisherigen Erfolg. Zum Beispiel ist in der Luftfahrt, wo Triebwerke mit konzentrierter Leistung bei kleinen Gewichten und Ausmaßen gebraucht werden, weiterer Erfolg kaum denkbar. Besonders bei Flugzeugen mit Senkrechtstart/-Landung ist ihre Verwendung gänzlich unmöglich.

Turbomotoren, die unter den Triebwerken bisher die größten Kennwerte von Leistungsvolumen/Leistungsgewicht aufweisen, haben zwei wesentliche Nachteile, die ihre ökonomische und besonders ökologische Anziehungskraft verderben: Sie haben relativ niedrige Wirkungsgrade und verbrauchen dadurch vergleichsweise mehr Kraftstoff als Kolbenmotoren. Daher erfüllen Triebwerke mit Turbomotoren als Kraftmaschinen die ökonomischen und ökologischen Erwartungen der modernen Zeit in der Luftfahrt meist nicht. Ein weiterer Nachteil besteht in ihren verglichen mit Kolbenmotoren höheren Herstellungs- und Wartungskosten.

Eine moderne, innovative Richtung im Bereich der Verbrennungsmotoren ist die Entwicklung der Rotationskolben-Verbrennungsmotoren, die verspricht, die bekannten Schranken bisheriger Verbrennungsmotoren zu überwinden. Rotationskolbenmotoren zu entwickeln, wird dadurch befeuert, dass sie theoretisch das Potenzial haben, die Leistungskennwerte von Turbomotoren zu erreichen und dabei die Wirkungsgrade und damit den Kraftstoffverbrauch von Kolbenmotoren einzuhalten.

Aber die Entwicklungsversuche stocken. Bisher konnte sich keine Art der Rotationskolbenmotoren auf dem Markt durchsetzen. Nur eine Art der Drehkolbenmotoren – der Wankelmotor – ist zurzeit marktpäsent, hat aber keine nennenswerten Vorteile gegenüber traditionellen Kolbenmotoren und kommt vor allem für spezifische Ziele, z. B. bei unbemannten Flugapparaten, zum Einsatz.

Mit dieser Publikation versuche ich, die Aufmerksamkeit der Spezialisten und der Öffentlichkeit auf die Ursachen der bisher erfolglosen Entwicklung bei Rotationskolbenmotoren zu lenken und Wege zur Überwindung der Entwicklungshürden vorzuschlagen.

Mein Wissen in diesem Bereich und meine darauf aufbauenden Forschungen mündeten in die Erfindung einer **Dreistufigen Drehkolbenkraftmaschine mit kontinuierlichem Brennprozess**. Die Rechte sind beim DPMA mit drei Patenten und einem Gebrauchsmuster anerkannt und geschützt. Ein viertes Patent (mit einem Zusatz) ist angemeldet. Ein internationales und ein europäisches Patent sind ebenfalls erteilt worden. Angemeldet ist die Erfindung einer Schraubenkraftmaschine, die man als weitere Entwicklung der Familie der Rotationskraftmaschinen mit kontinuierlichem Brennprozess betrachten kann.



Die Darstellungen und Beschreibungen der Patente verdeutlichen die Entwicklungsetappen der Maschine, die mit Computersimulationen und thermodynamischen Berechnungen realisiert wurden.

Nach vier Entwicklungsphasen zeigt sich die „Dreistufige Drehkolbenkraftmaschine mit kontinuierlichem Brennprozess“ als neuer Triebwerkstyp. Von seinem Wesen her ist er ein Hybride – eine Zusammensetzung der Teile eines Drehkolbenmotors und einer Turbine mit wertvollen Synergieeffekten.

Von Kolbenmotoren entlehnt die Drehkolbenkraftmaschine ein Verdrängungsarbeitsprinzip und dadurch geringen Kraftstoffverbrauch. Von der Turbine übernimmt sie sowohl das Prinzip separater Arbeitsräume für die Verdichtung der Luft, die Verbrennung des Kraftstoffs und die Expansionsarbeit des Gases als auch die freie, aber abgestimmte Rotation der Rotoren in den Verdichtungs- und Expansionsräumen. Diese erfolgt ohne Rotationswandler, abgesehen vom Zahngetriebe für die Übertragung des gemeinsamen Drehmoments auf die Leistungswelle. Am wichtigsten ist, dass die Drehkolbenkraftmaschine von Turbinen das ununterbrochene Brennen des Kraftstoffs in der gesamten Brennkammer übernimmt. Dank dieser Eigenschaften hat die Kraftmaschine solche hohen Leistungskennwerte (Leistung pro Gewicht- oder Volumeneinheit), wie sie bisher nur für Turbinen charakteristisch sind.

Dank geregelten ununterbrochenen Brennprozesses, vollständiger Verbrennung des Kraftstoffs bei ständigem Luftüberfluss während des Brennens und vollständiger Ausdehnung des Gases in seinen Arbeitsräumen hat die Kraftmaschine einen sehr umweltfreundlichen und geräuscharmen Ausstoß. Jeder gasförmige oder flüssige Kraftstoff ist verwendbar, Kryostoffe inklusive.

Bei organischer Zusammensetzung der Teile beider Verbrennungsmaschinen-Gattungen entsteht eine neuartige Wärmemaschine, die sowohl die ökonomischen Verdichter- und Expansionsvorgänge von Kolbenmotoren als auch den kontinuierlichen Brennprozess mit Brennkammern von Turbomaschinen realisiert. Außerdem lässt sich die Brennkammer im Hauptrotor platzieren, umgeben von einem unbeweglichen Brennrohr, das mit von der Verdichterstufe gelieferter komprimierter Luft vor dem Eintritt in die Brennkammer allseitig gekühlt wird. Das Brennrohr isoliert also die Brennkammer im Inneren der Maschine und unterbindet einen Wärmeverlust nach außen, was den Wirkungsgrad positiv beeinflusst.

Versuche in diese Richtung werden schon seit Langem unternommen, z. B. in der RWTH Aachen: Dr.-Ing. Martin Nijs und Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Pischinger vom Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen an der RWTH Aachen haben mir in ihrem Gutachten vom 18.03.2013 zu meinen Erfindungen freundlicherweise einige Information gewährt. Laut Auszug aus dem Vorlesungsdruck „Alternative und elektrifizierte Fahrzeugantriebe“ der RWTH Aachen wurde ein ähnliches IKV-Verfahren mit kontinuierlicher Verbrennung 1970 von U. Rohs am Institut für Kraftfahrwesen der RWTH Aachen entwickelt und in Experimenten untersucht. Für mich erwiesen sich die Ergebnisse dieser Experimente als große Argumentationshilfe bei meinen Ausarbeitungen. Meine Erwartungen und Vorstellungen der Drehkolbenkraftmaschine wurden durch Rohs' Bewertung des IKV-Verfahrens bestätigt, denn das IKV-Verfahren bestand gerade in Versuchen mit kontinuierlichem Brennprozess. Die Bewertung ergab im Vergleich mit konventionellen Arbeitsverfahren folgende Vor- und Nachteile (vgl. RWTH Aachen).

Vorteile

- + Wegen fehlenden Druckerhöhung bei der Verbrennung können hohe Verdichtungsverhältnisse realisiert werden. Dies bewirkt hohe Wirkungsgrade.
- + Bedingt durch die kontinuierliche Verbrennung ist der Motor vielstofffähig.
- + Der Verbrennungsablauf innerhalb der Brennkammer kann optimal gesteuert werden, wodurch die Emissionen ohne Abgasnachbehandlung minimiert werden.



- + Der Motor ist extrem schwingungs- und vibrationsarm (Axialkolbenbauweise, Verbrennung ohne Druckanstieg).
- + Einfache Zündanlage, denn nur eine Erstzündung der kontinuierlichen Verbrennung ist notwendig.
- + Weitreichende Möglichkeiten zur Wirkungsgradsteigerung (Überexpansion, regenerative Abgaswärmenutzung, Aufladung).

Nachteile

- Es liegen hohe thermische Belastungen der Brennkammer und der Ladungswechselkanäle zum Expansionstriebwerk vor.
- Steuerung des Heißgases ist problematisch.

Wie auch weitere Materialien über Drehkolbenkraftmaschinen zeigen, können alle oben genannten Vorteile bei Drehkraftmaschinen realisiert werden, einschließlich Steuerung des Heißgases. Die „hohen thermischen Belastungen der Brennkammer und der Ladungswechselkanäle“ werden bei Drehkolbenkraftmaschinen durch das Luftüberflussverfahren beim Brennen reduziert. Die Kühlung dieser Elemente erfolgt hauptsächlich durch die Eintrittsluft aus der Verdichterstufe mit niedriger Temperatur, die vor dem Eintritt in die Brennkammer das Brennrohr mit der Brennkammer im Inneren allseitig umspült und kühlt sowie die Ladungswechselkanäle mit einer Grenzluftschicht schützt. Die Anwendung standardisierter hitzebeständiger Stähle oder hochwarmfester Fe-Co- oder Ni-Legierungen wird womöglich nur an einzelnen Stellen nötig sein.

Zudem ist auch die Steuerung des Heißgases realisiert – ein Mittel oder Instrument für die nachhaltige Entwicklung des experimentellen Prototyps zur vollkommenen Kraftmaschine, indem mit der Optimierung der Kühlsysteme bei experimenteller Durcharbeitung des Prototyps die Temperatur des Arbeitsgases und die Wirkungsgrade nachhaltig erhöht werden können. Von Bedeutung ist auch, dass die Kühlung der Brennkammer durch die Eintrittsluft erfolgt. Damit wird Wärme in den Arbeitsprozess zurückgegeben und Verluste nach außen reduziert, was den Wirkungsgrad weiter steigert.

Diese Erläuterungen waren nicht Bestandteil meines bei der RWTH Aachen vorgelegten Konzepts, das dann wie folgt begutachtet wurde:

Vorteilhaft an dem Konzept ist die kontinuierliche Verbrennung, welche einen schadstoffarmen Betrieb der Maschine ermöglicht. Nachteilig ist der maximal mögliche Wirkungsgrad der Maschine zu nennen. Die Brennkammer und der Einlass des Expanders sind ständig der maximalen Prozesstemperatur ausgesetzt, was den Einsatz hochtemperaturfester, teurer Materialien erfordert und die maximale Prozesstemperatur limitiert und somit zu niedrigen Wirkungsgraden im Vergleich zum Verbrennungsmotor führt. Im Vergleich zu Gasturbinen lässt sich wahrscheinlich bei kleinen Maschinengrößen ein höherer Wirkungsgrad, speziell im Teillastbetrieb erreichen, jedoch wird die spezifische Leistung der Maschine aufgrund des höheren Leistungsgewichtes von Verdrängermaschinen im Vergleich zu Strömungsmaschinen niedriger ausfallen. Für größere Maschinen, Kraftwerksturbinen oder Luftstrahl-Triebwerke sind die Strömungsmaschinen im Wirkungsgrad besser als die Verdrängungsmaschinen und Ihre Erfindung somit nicht vorteilhaft. Für die Verdrängerverdichter und -expander setzen Sie einen Drehkolbenverdichter ein, welcher nur begrenzt bewertet werden kann, da aussagekräftige Zeichnungen und Systembeschreibungen nicht vorliegen. Jedoch stellt die Abdichtung auf der Stirnseite der Drehkolben eine Herausforderung dar.

Insgesamt sehen wir auf Grund des eher ungünstigen Verhältnisses von Vorteilen und Nachteilen wenige Chancen für die Realisierung dieses Konzepts in der Serie.



Obwohl das Gutachten nicht positiv ausfiel – ich erwartete kein sofort positives Gutachten, da die ausführlichen Materialien zur Konstruktion und die thermodynamischen Auslegungen nicht beigelegt hatten –, fühle ich mich bestätigt, auf dem richtigen Weg zu sein.

In der Tat konnten die 1970 durchgeführten Experimente mit voneinander getrennten Einzelmaschinen nicht positiv ausfallen, denn mit schweren Einzelteilen und nicht geregelter Temperaturregime sind kein Schutz der Konstruktion vor hohen Temperaturen sowie keine hohen Leistungsgewichte und Wirkungsgrade möglich. Dabei waren auch keine rationelle Wärmeabfuhr und keine Steuerung der Gastemperatur möglich. Zusammengefasst hat Rohs damals mit Maschinen experimentiert, die keine Ähnlichkeit mit der erfundenen Drehkolbenmaschine haben.

Bei der dreistufigen Drehkolbenkraftmaschine mit kontinuierlichem Brennprozess sind alle von Rohs entdeckten Probleme gelöst und die Lösungen mit thermodynamischen Berechnungen belegt. Für die thermodynamischen Begründungen wurden von mir ein thermodynamisches Modell des Arbeitsprozesses sowie ein Berechnungsalgorithmus für ein Microsoft-Excel-Arbeitsblatt ausgearbeitet. Nach Angabe der gewünschten Leistung und Drehzahlen sowie etlicher anderer Begrenzungen und Konstanten berechnet der Algorithmus zahlreiche Bauvarianten der Maschine, aus denen dann die Variante ausgewählt werden kann, die der Bestimmung der Maschine und den Limitierungen bei Material, Herstellungstechnologie usw. entspricht.

Die Berechnungsdaten ergeben alle Parameter des Förderstroms in allen Teilen der Drehkolbenkraftmaschine sowie die Charakteristiken der Maschine wie Wirkungsgrade, Kraftstoffverbrauch, Abwärme, Dimensionen etc.

Durch die Vielzahl an Anwendungsmöglichkeiten und die umweltschonenden und Ressourcen sparenden Eigenschaften ergibt sich ein äußerst diversifiziertes Marktpotenzial für die Drehkolbenkraftmaschine mit kontinuierlichem Brennprozess. Ein Einsatz der Drehkolbenkraftmaschine ist vor allem im Bereich der Automobilindustrie, Luft- und Schifffahrt, aber auch in Schienenfahrzeugen, Straßenbau und Bergbau denkbar.

Für die Anwendung in der Schwerindustrie hat die Maschine eine besondere Eigenschaft: „direkten Zug“. Nach entsprechenden Projektvorgaben konstruiert könnte sie also ein großes Anfangs-Drehmoment entwickeln, sodass bei etlichen Verwendungen kein Reduziergetriebe nötig ist.

Bedeutendes Marktpotenzial für die Drehkolbenkraftmaschine wird in der Automobilindustrie (Pkw, Lkw) gesehen, und hier nicht nur im Segment „Motoren für Neufahrzeuge“, sondern ebenfalls im Bereich der Nachrüstung.

Zurzeit gibt es einen bevorzugten Zielmarkt – sogenannte „Range Extender“ für die Versorgung eines leicht gebauten Elektrofahrzeugs. Daher würde eine Auslegung der Kraftmaschine bei 30–50 kW vermutlich Vorteil bringen.

Zweites aktuelles Einsatzgebiet wäre die Versorgung eines Mehrfamilienhauses mit einem Mini-Blockheizkraftwerk. Für diese Zwecke reicht vermutlich eine Auslegung der Kraftmaschine auf weniger als 30 kW aus.

Die vorliegende Publikation ist auch ein Versuch, Investoren und Unternehmen mit entsprechendem Equipment und Erfahrungen zum Bau des ersten experimentellen Prototyps zu finden. Die Baupläne (Generalplan und sog. Sprengzeichnungen) eines Prototyps mit einer Leistung von 100 kW habe ich bereits angefertigt.

Die Ausarbeitung der weiteren Dokumentation zum Bau und zur Herstellung wird durch die Verwendung ausschließlich frei zugänglicher, in Shops käuflicher oder auf Bestellung gefertigter Elemente und Waren (z. B. Hochleistungs-Gleitringdichtungen oder Brennkammer mit



Brennkopf) für die innere Füllung erheblich erleichtert. Auswahl bzw. Nachbesserungen bei der Füllung sind zu optimieren und an die Beschaffenheit der Kraftmaschine anzupassen.

Für einen erfolgreichen Anfang der Experimente ist aus den Berechnungsdaten die Variante mit niedrigen Wärmebelastungen auserkoren. Dadurch wird die Maschine zunächst keine hohe Effizienz zeigen (hohe Leistungskennwerte und Wirkungsgrade), da sie mit hohem Luftüberschuss beim Brennen des Kraftstoffs¹ und mit einem effizienten Kühlsystem ausgestattet ist. Aber von Anfang an besitzt die Kraftmaschine mit ihren speziellen Einrichtungen die Fähigkeit, den Luftüberschuss beim Brennprozess und damit die Gastemperatur zu verringern oder zu erhöhen. Das ermöglicht es, die Schwachstellen der Konstruktion am Anfang der Experimente zu ermitteln und Nachbesserungen beim Kühlsystem und an der gesamten Konstruktion durchzuführen. Auf diesem Weg lassen sich die Gastemperatur und damit die Effizienz nachhaltig erhöhen. Darüber hinaus ermöglichen diese Einrichtungen bei der Drehkolbenkraftmaschine entweder einen ökonomisch günstigen Dauerbetrieb oder andere nützliche Betriebseigenschaften, wie erhöhtes Beschleunigungsvermögen oder Startzugkraft. Bei Bedarf kann auch ein milderes Wärmeregime verwendet werden.

Von Beginn an besitzt die Drehkolbenkraftmaschine also die Eigenschaft, **die Gastemperatur nach Bedarf zu steuern.**

Eine großartige Besonderheit der Drehkolbenkraftmaschine mit kontinuierlichem Brennprozess besteht darin, dass mit Erhöhung der Drehzahlen und des Arbeitsdrucks sowie der Gastemperatur eine mehrfache Erhöhung der Leistung bei nicht wesentlichen Änderungen der Bau-masse möglich ist, sodass aus der Maschine mit anfänglicher Projektleistung von 100 kW eine Maschine mit etwa 300 kW entwickelt werden könnte.

¹ Gemeint ist eine Verdünnung des Mediums als Mittel zur Senkung der Gastemperatur.





TEIL I

STAND DER TECHNIK BEI VERBRENNUNGSMOTOREN

1 Kurzübersicht über die aus der Patentliteratur und dem Internet bekannten Projekte von Drehkolbenkraftmaschinen

Drehkolbenkraftmaschinen beschreiben z. B. die US-Patente WO 0022286 YAZQUEZ, Jesus, 2000, US Patent Office, Patent 3,203,406, GEORGE Dettwiller, 1965, WO 00/14390 ADAMOWSKI Victor Isaevich 1998; das schweizerische Patent WO 99/35382, CHOV, Jungkuang, 1999; das französische Patent N° 676.625 Warren Engine Company, 1929; die deutschen Patente WO 00/77363 A1 TOMCHNIK Hubert, 2000, DE 197 11 084 A1 AHREND, Jochen 1998, DE 195 20 100 A1 KUHN, Jean, 1995, das Gebrauchsmuster G 94 01 804.9 LEIBKE Klaus 1994; die russischen Patente WO 00/77365 A1 МЕССОНЖИК Семён Моисеевич 2000, WO 98/19061 Киселёв Александр Яковлевич 1997, WO 96/17161 ДРАЧКО Евгений Фёдорович etc.

Im Internet lassen sich neben Patenten auch einige Publikationen über Drehkolbenkraftmaschinen mit Schemen, Beschreibungen und Auslegungen finden, z. B. zum „Rotierenden Nasenmotor“ von Peter Varga (vgl. <http://orbitamotors.com/de>) oder über den Wolfhart-Motor (vgl. <http://www.wolfhartindustries.com/fluid.htm>).

Im russischsprachigen Bereich wurden sogenannte Schaufel-Rotor-Motoren verschiedener Art vom Wärmephysikinstitut der russischen Wissenschaftsakademie sowie dem Polytechnischen Institut in Pskow (vgl. <http://lmotor.com/>, <http://informpskov.ru/print/47037.html> – Schaufel-Rotor-Motor mit äußerer Wärmezufuhr und Hebel-Nocken-Mechanismus; <http://www.altstu.ru/structure/facultyf/fitm/> – Vier-Takt-Turbo-Rotor-Motor der Fakultät für Energie-Maschinenbau und der Autotransportindustrie FEAT) beschrieben. Von W. A. Romanow liegt eine Publikation über einen „Adiabatischen Gas-Dampf-Turbomotor“ vor (vgl. <http://ro-vlan.narod.ru/>).

Alle oben genannten Patente und Projekte zu Drehkolbenkraftmaschinen beschreiben Maschinen, die meist nicht gebaut wurden, oder – falls schon gebaut – einfachen Prüfungen nicht standhalten. Deshalb ist keine von ihnen auf dem Markt präsent, auch wenn alle Arten dieser Drehkolbenkraftmaschinen stets eigene Vorteile reklamieren und Hoffnungen äußern – die Erfolge bleiben aber aus.

Wie folgende Analyse zeigen wird, sind solche Erfolge bei der aktuellen Lage in diesem Bereich der Technik auch nicht zu erwarten. Dabei sind fast alle Nachteile und ihre Ursachen längst bekannt. Die Entwickler sehen aber nicht die Wege zur Überwindung der Hindernisse und folgen der ruhmreichen Tradition des Kolbenmotors.



2 Mängel in den konstruktiven Schemata von Verbrennungsmotoren

Die bisher vorgestellten Drehkolbenkraftmaschinen, wie übrigens die ganze Gattung der Kolbenmaschinen, haben den gemeinsamen „Ur-Mangel“, der allen Kraftmaschinen mit **diskontinuierlichem** Arbeitsprozess anhaftet. Dies stört ihre weitere Entwicklung zu vollkommenen Kraftmaschinen. Die Analyse zeigt, dass dabei ein Irrweg beschritten wird: Man forscht mit einem von Tradition umwehten prinzipiellen Schema. Doch gerade dieses hat „angeborene“ Nachteile, und zwar folgende:

1. Es sieht vor, dass alle sich abwechselnden, diskreten Arbeitsvorgänge – Ansaugen, Komprimierung, Arbeitsgang, Ausstoß (sogenannte Takte) – bei traditionellen Kolbenmaschinen oder Drehkolbenkraftmaschinen in den verschiedenen Entwicklungsprojekten immer in eben jenen einzigen Räumen erfolgen – in Zylindern oder in Kammern mit anderer Konfiguration. Aber darin ist nicht genügend Raum für eine vollständige Ausdehnung des Gases – der Ausdehnungsraum für Gas gleicht dort dem Ansaug- und Verdichtungsraum für Luft, wogegen er thermodynamisch betrachtet ungefähr zweimal größer sein sollte. Dadurch wird ein Teil des Gases mit großem restlichen Druck abgelassen. Jeder kann sich von diesem Fakt überzeugen, wenn er das Abgasrohr vom Flansch auf dem Gehäuse des laufenden Motors trennt und vom Lärm des Gasdrucks betäubt wird. Das bedeutet, das Arbeitsgas ist weitgehend nicht abgearbeitet, d. h., Leistung (Wirkungsgrade, Wirtschaftlichkeit) und Ökologie (Auspufflärm, schädliche Abgase nicht vollständig verbrannten Kraftstoffs) leiden. Und durch die Abgasmachbehandlung steigen die Herstellungspreise.
2. Es leidet der Schnelllauf (Drehzahl pro Zeiteinheit) infolge der erzwungenen Reihenfolge diskreter Arbeitsvorgänge (Takte) sowie durch Anhalten der Teile, die diese Arbeitsvorgänge regulieren (Kurbelgetriebe und Getriebe zur Steuerung der Ein- und Auslassklappen bei traditionellen Kolbenmotoren sowie verschiedene Synchronisierungs- und Übertragungseinrichtungen bei Drehkolbenmotoren). Als Folge ist eine radikale Steigerung der Drehzahlen n und damit der Leistung P solcher Kraftmaschinen problematisch, denn die Leistung $P = 2\pi n M$ hängt unmittelbar von der Drehzahl ab.
3. Die Umwandlung der Expansionsenergie des Gases in die mechanische Energie der Rotation der Welle erfolgt bei allen diesen Maschinen auf uneffektive Weise entweder durch die Kurbelgetriebe bei Kolbenmotoren oder durch irgendeinen anderen komplizierten Mechanismus bei Drehkolbenmotoren, der die nach einer Gemischexplosion wuchtenden Kolben (oder beide Schaufeln bei Schaufel-Rotor-Motoren) mit der Leistungswelle verbindet. Diese Mechanismen führen zur Unterbenutzung des Gasdruckeffekts, denn ihr Dreharm ist nicht so konstant wie erforderlich und ändert sich von Null bis zum Maximum, wobei er insbesondere bei größtem Gasdruck die kleinsten Werte annimmt. Diese Mechanismen sind Quelle großer Massenkräfte und Konstruktionsunsicherheiten sowie die Ursache der großen Masse bei Kraftmaschinen.
4. Niedriger Schnelllauf und Präsenz verschiedener Bewegungswandler und Getriebe sind die Ursachen für die kleinen Kennwerte des Leistungsvolumens $\rightarrow K_L = P / \sum V$ (d. h. der Leistung in der Einheit des Bauvolumens). Für herkömmliche Kolbenmotoren beträgt dieser Kennwert etwa 200 kW/m^3 . Für verschiedene Arten von Drehkolbenkraftmaschinen ist er womöglich etwas höher. Dadurch und angesichts ihrer Vorteile bleiben Drehkolbenkraftmaschinen Objekte für weitere Ausarbeitungen.



5. Darüber hinaus wird die Entwicklung von Drehkolbenkraftmaschinen durch zusätzliche Mängel erschwert, darunter Schwierigkeiten bei Kühlung und Schmierung der oszillierenden bzw. wuchtenden Kolben und bei Verdichtung und folgendem Verschleiß sowie geringer Sicherheit.
6. Ein weiterer Nachteil bei Verbrennungsmotoren mit **diskontinuierlichem** Arbeitsprozess besteht darin, dass manche Regimes die sogenannte stöchiometrische Verbrennung des Kraftstoffs anwenden. Darunter versteht man einen Prozess, bei dem nur die Menge Luft beim Brennen anwesend ist, die für die völlige Verbrennung des zugestellten Kraftstoffs ausreicht. Dabei ist der Luftüberschuss $\omega = V_V/V_{\min} = 1$ und die Temperatur des Gases steigt bei einem solchen Brennprozess auf $t = 2000 \text{ }^\circ\text{C}$ ($T = 2273 \text{ K}$). Mehr noch, es gibt oft einen Kraftstoffüberschuss beim Brennen. Ein Teil des Kraftstoffs wird nicht verbrannt, mit den Abgasen ausgestoßen und hier endgültig verbrannt. Bei so hohen Temperaturen und dem explosionsartigen Charakter der Prozesse entstehen schädliche Verbindungen (CO , CO_2 , C_xH_y , NO_x , Benzol, Ruß und andere), die dann mit den Abgasen in die Atmosphäre gelangen können und die Ökologie stören. Man ist deshalb gezwungen, ein System der Lärmbekämpfung und Gasreinigung mit Katalysatoren und Filtern einzusetzen. Jedoch bleiben dabei die ökologischen Belastungen und ein erhöhter Verbrauch an Naturressourcen. Einen solchen oder ähnlichen Prozess verrichten manche herkömmlichen Kolben-, Wankel- und verschiedene Arten der Drehkolben- und Schaufel-Rotor-Motoren – übrigens wird bei allen Motoren das Kraftstoffgemisch periodisch gezündet und der Ausdehnungsraum entspricht dem Ansaugraum. Bei Turbo-Gas- und Strahltriebwerken in der Luftfahrt, wo bei der Verbrennung des Kraftstoffs ebenso hohe Temperaturen entstehen, ist eine Nachbehandlung der Abgase schwer vorstellbar. Dadurch und wegen der großen Menge der Ausstoßgase fügen herkömmliche Luftfahrttriebwerke der Ökologie gewaltigen Schaden zu. Hier ist eine Verwendung von Antrieben mit sauberem Ausstoß besonders notwendig.
7. Die Wirtschaftlichkeit, d. h. die Wirkungsgrade der Kraftmaschinen mit **diskontinuierlichem** Arbeitsprozess, darunter alle bekannten Arten von Drehkolbenkraftmaschinen, könnte besser ausfallen: Sie übersteigt kaum 40 %, denn erstens übersteigen die Wirkungsgrade der thermodynamischen Prozesse 60–65 % nicht und zweitens bestehen die oben beschriebenen Mängel beim Ausdehnungsraum. Ferner gibt es große mechanische Verluste, Verluste bei der Nachbehandlung der Abgase sowie bei zusätzlichen Wärmeübergängen und der Kühlung.

Drehkolbenkraftmaschinen sind als Wärmemaschinen oft wegen ihrer Konfiguration der Arbeitskammer (z. B. bei einer sichelförmigen Kammer) nicht optimal. Die Außenflächen der Kammer sind dabei zu groß im Verhältnis zu ihrem Volumen, wodurch die Wärmeverluste durch die Wände steigen.

Alle Kolben- und Drehkolbenkraftmaschinen stören die **diskontinuierliche** Arbeitsweise durch eine nicht vollständige Ausdehnung des Gases, eine nicht vollständige Verbrennung des Kraftstoffs, Verluste von Reibung und Anhalten der taumelnden und wuchtenden Teile durch diverse Synchronisierungs- und Übertragungsmechanismen, die viel Raum beanspruchen sowie Unsicherheit und große Massen verursachen. Daher verwundert es nicht, dass nach fast einem halben Jahrhundert der Entwicklungsversuche bei Drehkolbenkraftmaschinen der Erfolg ausbleibt. Die einzige positive Folge des unterbrochenen Arbeitsprozesses ist die erleichterte Kühlung der Kolben und Arbeitskammerseiten durch die Unterbrechung der Wärmezufuhr. Gerade dieser Umstand hat die hundertjährige Erfolgsgeschichte ermöglicht.

Turbomaschinen haben einen großen Nachteil als Strömungsmaschinen, denn ihre Wirkungsgrade übersteigen 20 % üblicherweise nicht. Wenn sie höher ausfallen, dann wegen einer intensiven Verwertung der Abgaswärme in zusätzlich angebauten Anlagen. Deshalb erweisen



sich die ökonomischen Kennwerte der Kolbenmotoren (Wirkungsgrade bis 40 %) noch als günstig im Vergleich mit Turbomaschinen, die ihrerseits das höchste Leistungsvolumen erreichen – nämlich bis $K_L = 8000 \text{ kW/m}^3$ – und dadurch breite Verwendung in der Industrie, besonders in der Luftfahrt, gefunden haben. Weitere Nachteile neben den niedrigen Wirkungsgraden bestehen in ihren hohen Herstellungskosten, ihrem großen Lärmpegel und der bereits erwähnten erheblichen Menge giftiger Abgase.

Somit erweisen sich herkömmliche Kolbenkraftmaschinen mit ihrem diskontinuierlichen Arbeitsprozess und der nicht vollständigen Ausdehnung des Arbeitsgases trotzdem als relativ wirtschaftlich im Vergleich zu Turboaggregaten. Für sie sind wirkungsvolle Methoden zur Senkung des Lärmpegels und Toxizität ausgearbeitet, allerdings zulasten der Wirkungsgrade und Herstellungskosten. Für beide Typen der Kraftmaschinen existieren Methoden zur Steigerung der Wirkungsgrade, darunter die schon erwähnte Anwendung des Dampf-Gas-Prozesses für eine zusätzliche Auswertung der Energie des Auspuffgases, auch wenn diese Errungenschaften ihrerseits zu Komplikationen führen.

Das zusammengefasste Ergebnis dieser Analyse lautet: Weiterer Progress bei Verbrennungsmotoren ist nur mit der Entwicklung einer Wärmemaschine möglich, die getrennte Arbeitsräume für die Verdichtung der Luft, die Expansionsarbeit des Gases sowie das ständige Brennen des Kraftstoffs in separaten Brennkammern wie bei Turbomaschinen hat, aber auch einen Kolbenverdrängungsprozess wie Kolbenmotoren und die vollständige Gasausdehnung in den Expansionskammern realisiert. Solche Kraftmaschinen könnten die Vorteile sowohl der Diesel- und Ottomotoren als auch der Gasturbinen vereinen und wären frei von einigen hier besprochenen Nachteilen.

3 Innovationen und Erfindungen

Eine solche Kraftmaschine wurde vom Autor erfunden und beim DPMA mit folgenden Patenten und Anmeldungen geschützt.

- [1] **Patent DE 10 2006 038 957 Drehkraftmaschine mit drei rotierenden Verdrängern.** Tag der Anmeldung: 18.08.2006, Offenlegungstag: – Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 03.01.2008.
- [2] **Patent DE 10 2009 005 107 Drehkraftmaschine mit drei rotierenden Verdrängern mit Eintrittsdruckklappen und einer Steuerung der Einlassöffnung in das Brennrohr.** Tag der Anmeldung: 19.01.2009, Offenlegungstag: – Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 23.09.2010.
- [3] **Patent DE 10 2010 006 487.4 Drehkraftmaschine mit drei rotierenden Verdrängern, Eintrittsdruckklappen und einer Steuerung der Einlassöffnung in das Brennrohr, zusätzlicher Expansionsvorstufe, einziehbaren Dichtleisten und einer äußeren Verzahnung aller Rotoren.** Tag der Anmeldung: 02.02.2010, Offenlegungstag: – Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 01.03.2012.
- [4] **Internationales Patent WO 2010/081469; PCT/DE 2010/000030.** Tag der Anmeldung: 19.01.2010, Patenterteilung: 22.07.2010, Priorität: 19.01.2009, Patent-Nr.: 10718430.1-2315 PCT/DE2010000030 – die europäische Phase.