

Verschiedene Hochdruckbrennkammern für Turbinen- und Strahltriebwerke vom Standpunkt des Wirkungsgrades aus

Von Franz Neugebauer

(Auszug)

Vor Jahrzehnten war es einer der Pläne von Professor Junkers, Freikolbenmaschinen als Brennkammern für Turbinentriebwerke auszubilden. Abbildung 1 zeigt das allgemeine Schema einer solchen Anlage.

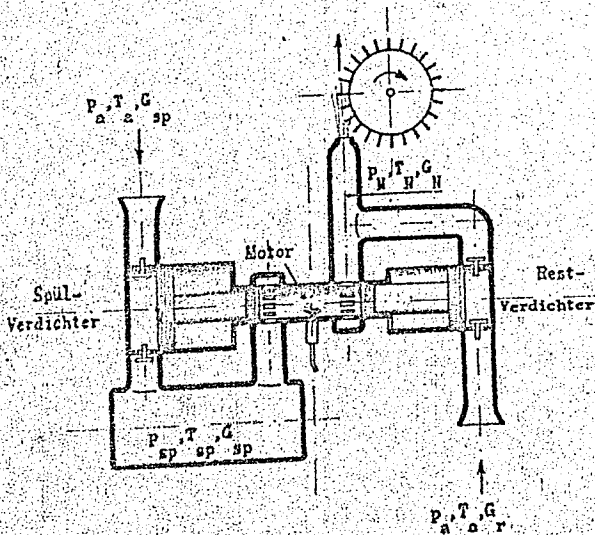


Abb. 1

Schema einer Freikolben-Hochdruck-Brennkammer

Junkers versprach sich von einem derartigen Triebwerk einen hohen Wirkungsgrad wegen des Fortfalls von Pleuelstangen und Pleuellagern mit ihren Lagern, wegen der durch keinerlei Rücksichten auf hochbelastete Triebwerksteile beschränkten hohen Verdichtungsmöglichkeit im Motorteil und wegen gewisser Eigentümlichkeiten des Bewegungsgesetzes solcher Maschinen.

Die anfangs in den bewährten Händen der Herren Mader und Gasterstädt liegenden Arbeiten, welche naturgemäß mit dem Versuchsbau möglichst einfacher, zunächst nur für Druckluftherzeugung ausgelegter Motorkompressoren begannen, zeitigten auch in verhältnismäßig kurzer Zeit einen Druckluftherzeuger, welcher an Gewicht, Raumbedarf, Aufwand an Baustoffen und Werkstattarbeit die normale Pleuel-

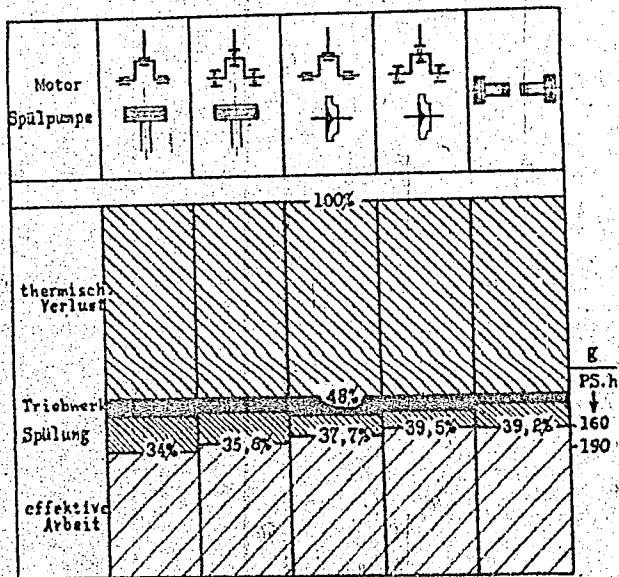


Abb. 2
Wirkungsgrade verschiedener Motorbauarten ($c = 6 \text{ m/sec}$)

bauart wesentlich unterbietet und daher auch an wichtigen Stellen zur Anwendung gelangt ist. Die Wirkungsgrade lagen höher als die normaler Kurbelkompressoren, besonders wenn die Maschinen für hohe Drucke ausgelegt waren.

Nunmehr galt es, festzustellen, ob diese auf dem Gebiet des Kompressorenbaus vorhandene wirkungsgradmäßige Überlegenheit die Anwendung der Freikolbenmaschine auch als Brennkammer für Turbinen- und Strahltriebwerke für Flugzeuge empfehlen würde.

Die Untersuchung ergab, daß dies nicht der Fall sein dürfte. Die genannten Triebwerke erfordern nämlich die Erzeugung großer Druckgas-mengen bei verhältnismäßig niedrigen Drucken; für diesen Zweck eignen sich Kreiselkompressoren besser als die Kolbenkompressoren, auf welche das Freikolbenverfahren angewiesen ist.

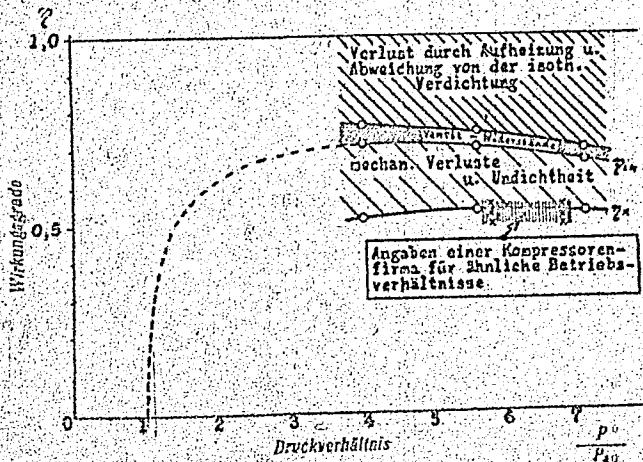


Abb. 3

Wirkungsgrade eines Kurbel-Kompressors mit kleinem Totraum
nach Versuchen vom 31. 7. und 1. 8. 42

Totraum 8,6%

Lagerung: Wälzlager

Kolbengeschwindigkeit 6 m/sec

mittlere Betriebstemperatur 20° C (Wasserkühlung)

Ausgangsdruck ~ 1 at

Zur Untersuchung des Motorteils wurden die Arbeiten mit herangezogen, welche in der Technischen Hochschule Dresden von Herrn K. Ullmann durchgeführt worden sind [1, 2, 3]. Es ergab sich für die Wirkungsgrade von Dieselmotoren der normalen Junkersbauart die Abbildung 2.

Die Untersuchung eines normalen Kurbel-Kolben-Kompressors führte auf Abbildung 3, welche sich in guter Übereinstimmung mit aus der Praxis bekannten Werten befindet.

Nun muß bei einer Freikolbenmaschine der Kompressorteil entweder einen ziemlich großen Totraum besitzen oder mit einem Gaspuffer kombiniert sein; da die zur Erzeugung der Motorkompression erforderliche

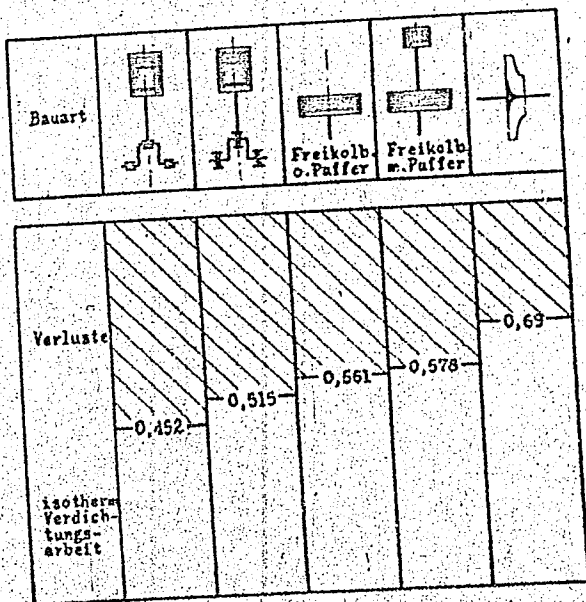


Abb. 4

Wirkungsgrade verschiedener Kompressorbauarten ($\epsilon = 6$ m/tek)

»Rückführbarkeit« mangels umlaufender Schwungmassen im Totraum oder Puffer gespeichert wird. Die wirkungsgradmindernden Einflüsse dieser baulichen Eigenart wurden versuchsmäßig geklärt. Ferner wurden den Arbeiten von Herrit v. d. Nüll bei der DVL [4, 5] Anhaltspunkte für die Wirkungsgrade von Kreisellkompressoren entnommen. Auf diese Weise entstand Abbildung 4 für die Wirkungsgrade verschiedener Kompressorbauarten.

Die Vereinigung der Abbildungen 2 und 4 führt schließlich auf Abbildung 5, welche die Wirkungsgrade verschiedener Bauarten von Motorkompressoren angibt.

Motor					
Spül-pumpe					
Kompressi- on					
Variante im Motor					
Verluste im Kompressi- on isotherm- Verdich- tungsarb.	0,1535	0,198	0,223	0,25	0,272

Abb. 5

Wirkungsgrade von Motorkompressoren mit Zweitakt-Dieselmotor ($n = 6$ U/min)

Die besten Wirkungsgrade verspricht also die Kombination Kurbel-Motor-Kreiselpressor. Da, wo der Kreiselpressor wegen zu hoher Lieferdrücke oder zu kleiner Luftmengen nicht ausführbar ist, beginnt das Gebiet, in welchem der Freikolbenkompressor überlegen erscheint. Die Druckgaszerzeugung für Turbinen- und Strahltriebwerke zum Flugzeugantrieb liegt aber, wie die weitere Betrachtung zeigen wird, außerhalb dieses Gebiets.

Bei der Berechnung des Druckgaszerzeugers wurden verschiedene chemische Luftüberschüsse im Motorteil zugrunde gelegt. Es zeigte sich im Gesamtergebnis meist ein schwaches Optimum bei einem Luftgehalt

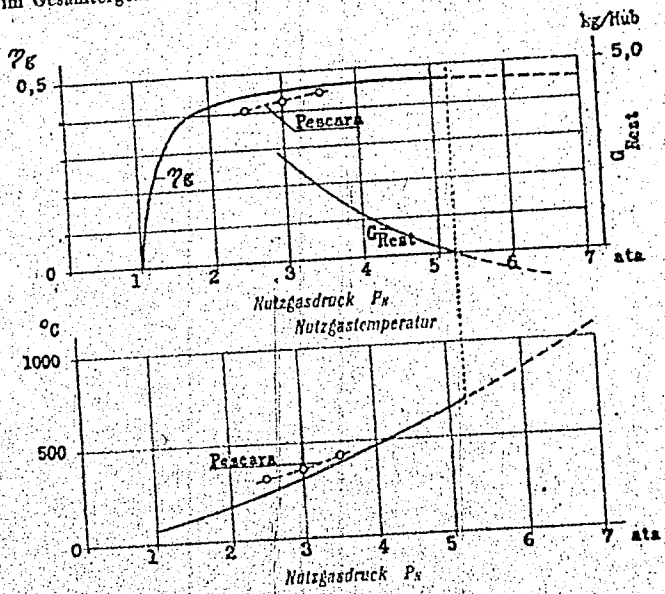


Abb. 6
 Generator-Wirkungsgrad, und Nutzgastemperatur der Freikolbenbauart
 Luftgehalt 0,8
 Kollengeschwindigkeit 6 m/sek

des Verbrennungsgases vor Mischung mit Spülluft von 0,4. Verlängerte Expansion wurde nicht in Betracht gezogen.

Abbildung 6 zeigt die errechneten Wirkungsgrade und Nutzgas Temperaturen. Die an einer von Pescara ausgeführten und im Institut von Herru Kamm durchgemessenen Anlage erreichten Wirkungsgrade sind in der Abbildung aufgenommen.

Bis zu diesem Punkt wurde allen Untersuchungen eine mittlere Kolbengeschwindigkeit von 6 m/sec zugrunde gelegt, weil die praktisch zur Verfügung stehenden Vergleichsobjekte sämtlich in dieser Gegend

$c = 12 \text{ m/sec}$
Generator-Wirkungsgrade

Luftgehalt 0,4

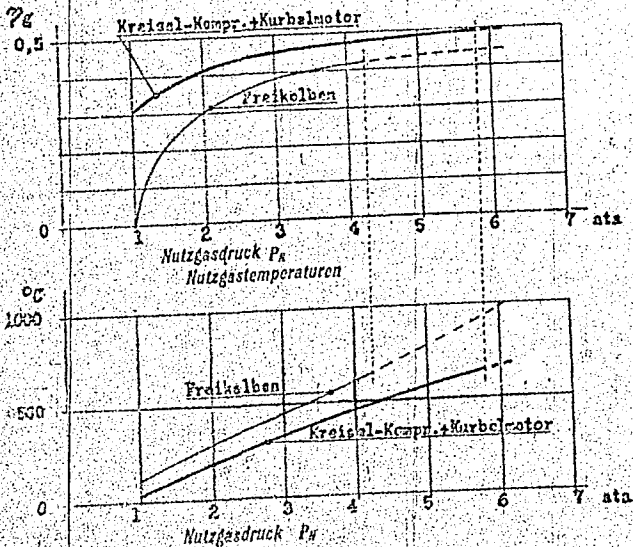


Abb. 7

Wirkungsgrad- und Temperaturvergleich bei erhöhter Kolbengeschwindigkeit

liegen. Für Hochleistungstriebwerke geringen Gewichts und Raumbedarfs, wie die Fliegererei sie benötigt, ist aber diese Kolbengeschwindigkeit viel zu klein. Erhöht man sie auf das Doppelte, so ist beim Kolbenkompressor eine erhebliche Abnahme des Wirkungsgrads zu erwarten, da es schwerlich gelingen wird, die Ventilquerschnitte in entsprechendem Maße zu vergrößern. Die rechnerische Untersuchung führte zu Abbildung 7, in welcher Wirkungsgrade und Nutzgastemperaturen der Freikolbenbauart und der Kombination Kreisell-Kompressor + Kurbelmotor bei 12 m/sek mittlerer Kolbengeschwindigkeit einander gegenübergestellt sind.

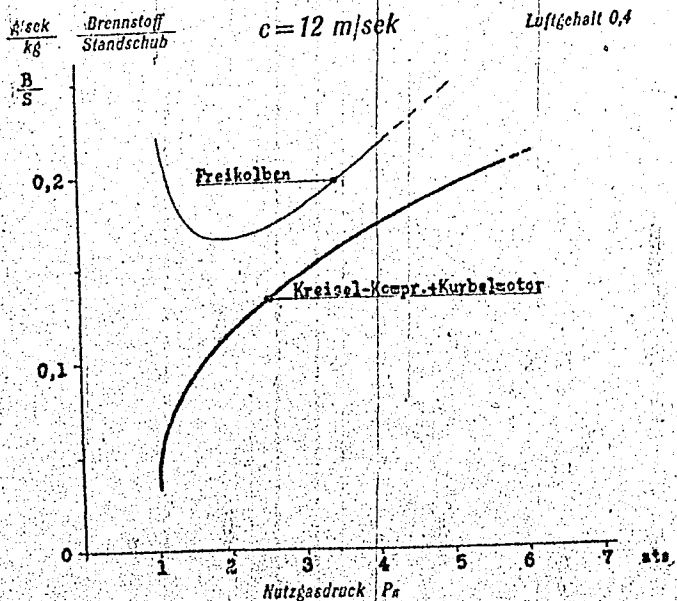


Abb. 8
Stand Schubverbrauch bei erhöhter Kolbengeschwindigkeit

Die Überlegenheit der Bauart mit Kreisellkompressor tritt noch deutlicher hervor in Abbildung 8, welche den erzielbaren Brennstoffverbrauch zeigt, wenn man das gewonnene Druckgas in einer Schubdüse ausnutzt.

Die Abbildungen 9 und 10 zeigen schließlich rohe Vergleiche des Brennstoffverbrauchs und des Schubs von Strahltriebwerken, welche in der beschriebenen Art aus Motor und Kreisellkompressor bestehen, mit den durch normale Luftschraubentriebwerke erzielbaren Werten.

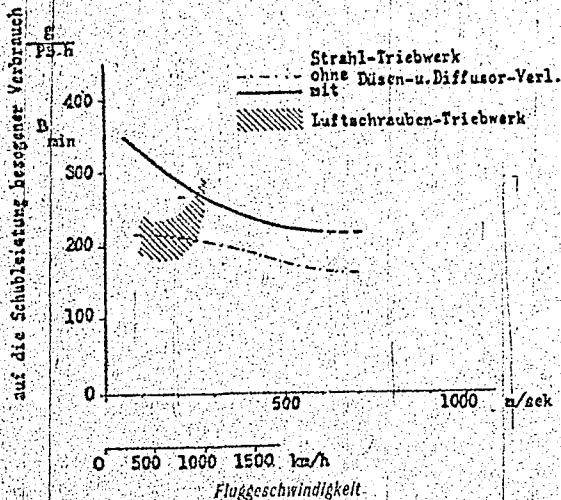


Abb. 9
Rohrer Vergleich von Brennstoffverbräuchen

Erörterungen über die Wirkungsgrade verwickelter Maschinenkombinationen fußen stets auf Voraussetzungen, von denen zum mindesten ein Teil nicht absolut feststeht, sondern aus gewissen Annahmen über zahlreiche konstruktiv und verfahrenmäßig bedingte Variable hervorgeht. Es ist nicht immer leicht, sich Klarheit darüber zu verschaffen, welche Bedingungen besonders wichtig, einflußreich und daher eingehend zu

Konstanter Brennstoff-Verbrauch

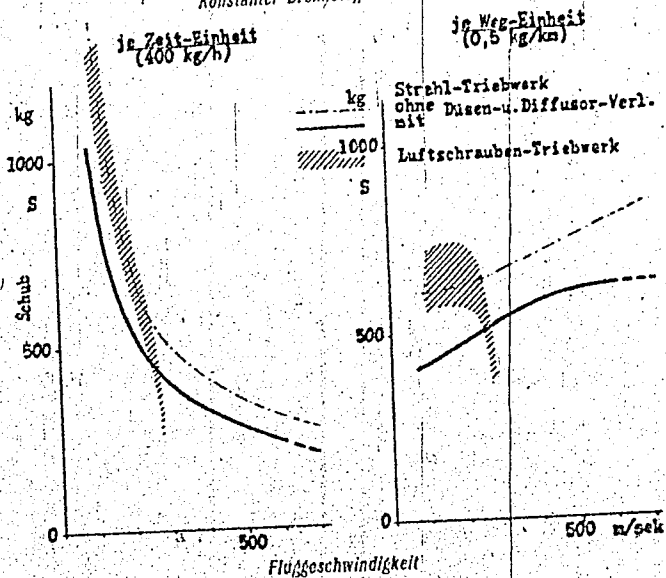


Abb. 10
Rohrer Schubvergleich

untersuchen sind, und welche nur geringerer Beachtung wert sind. Durch zahlreiche Durchrechnungen unter immer wieder veränderten Voraussetzungen und vor allem durch den Vergleich mit möglichst vielen praktischen Ergebnissen kann man sich aber an ein wahrscheinliches Bild der Dinge heranzuarbeiten. Von diesem Gesichtspunkt aus läßt sich zusammenfassen:

Es ist äußerst wahrscheinlich, daß ein aus Kreisel-Kompressor und Kurbelmotor bestehender Druckgaserzeuger wirkungsgradmäßig gesehen den Vorzug verdient vor jeder Bauart, welche einen Kolbenkompressor benutzt, einschließlich der Freikolbenbauart. Bei extremem Leichtbau mit seinen hohen Kolbengeschwindigkeiten dürfte die Überlegenheit des

Kreiselpressoren besonders deutlich hervortreten. Die errechnete absolute Höhe der Wirkungsgrade dürfte bei aller Dehnbarkeit der Voraussetzungen wenigstens annähernd richtig gefunden sein. — Es drängen sich nunmehr zahllose Fragen auf über räumliche Anordnung und Größe des Triebwerks, Regelung, Kühlung, Start, Höhenanpassung usw. Bevor aber diese Punkte in Angriff genommen werden, wäre es nützlich, die Wirkungsgradaussichten mit denen von Strahltriebwerken grundsätzlich anderer Bauart zu vergleichen. Dazu Gelegenheit zu geben ist der Zweck dieser Arbeit.

Schrifttum

- [1] Ullmann, Deutsche Kraftfahrtforschung. Techn. Forschungsher., Zwischenber. Nr. 21, S. 61 ff.
- [2] Ullmann, Deutsche Kraftfahrtforschung, H. 31.
- [3] Ullmann, ATZ 1939, H. 14, S. 397 ff.
- [4] v. d. Nüll, Zs. VDI 1941 Nr. 51/52 S. 981 ff.
- [5] v. d. Nüll, Zs. VDI 1941 Nr. 37/38 S. 763 ff.
- [6] Pflaum, IS-Diagramme für Verbrennungsgase. VDI-Verlag 1932.
- [7] Bock: Die gegenläufige Luftschraube und ihre Bedeutung für den Schnellflug. Heft 45 der »Schriften d. Dt. Akad. d. Luftfahrtforschg«.