



## Verbund-Flugtriebwerke



Dipl.-Ing. Benno BUCHELT, Jahrgang 1939, 1965 Abschluß des Maschinenbaustudiums an der TU Graz. Tätigkeit in der Konstruktion bei AVL-Prof. List Graz und bei AVCO Lycoming USA. Seit 1972 neben anderen Tätigkeiten Lehrer an der HTL Klagenfurt.

Im Zuge der Debatte um Naturerhaltung und um besseren Einklang von Wirtschaft und Sozialwesen wird immer wieder pathetisch an die Gesamtverantwortung der Ingenieure appelliert. Um diese zu fördern, müßten viele Hemmungen abgebaut werden. Technische Schulen könnten dadurch effektiv zur Bildung von Gesamtverantwortung beitragen, daß sie zusätzlich zum rein abstrahierten Grundlagenunterricht von ihren geistigen Freiheitsgraden Gebrauch machen, sich selber anspruchsvolle umfassende Aufgaben auf dem Sektor der Konstruktion neuartiger Maschinen zu stellen. Durch das Erlebnis einer interessanten umfassenden Arbeit mit Neuheitsgehalt und die dazugehörige Auseinandersetzung mit kompetenten Fachleuten (MTU — München und Friedrichshafen, Wankel-Forschungsinstitut Lindau, Institut für thermische Turbomaschinen der TU-Wien in den nachfolgenden Beispielen) mit der konkreten Hardware-Zeichnung als Mittelpunkt aller Arbeiten, werden nicht nur Grundlagenfächer, wie Thermodynamik, Strömungslehre, allgemeine Mechanik u.a. aus der Einordnung in einen Gesamtorganismus heraus vertieft verstanden, sondern es kommt aus der unvermeidlichen Diskussion zwischen Lehrer und Studenten im Zuge der Arbeit über den Sinn und Wert der Konstruktion als Nebeneffekt auch zur Beachtung wirtschaftlicher und moralischer Kriterien ganz im Sinne der geforderten Gesamtverantwortung der Ingenieure. Kurz: Gelegenheit zur Demonstration humanistischer und wirtschaftlicher Kriterien gibt es reichlich innerhalb technischer Arbeit mit Umfang und Schwierigkeitsgrad.

### 1. Beispieltypen

Es gibt zwei Extrempositionen:

a) Beispiele, die über Vorentwürfe hinausgehend vollständig detailliert geplant und schließlich gebaut werden und sich überprüfbar bewähren müssen. Diesem Idealfall stellen sich im HTL-Schulwesen Schwierigkeiten finanzieller Natur, ein unnötig zersplittertes Lehrplanschema (Tendenz: Eine Wochenstunde pro Gegenstand, daher Zwang zu Oberflächlichkeit), Mißtrauen von Schulbehörden und Abhängigkeit von diesen beim notwendigen Konsens mit den Werkstätten entgegen. Ohne Budgetunterstützung, mit Finanzierung von außen, gelang es trotzdem einige Vorhaben zu realisieren.

Außerhalb der HTL konnte ich mit Hilfe ehemaliger HTL-Schüler, die vorher in ihrer Schulzeit an Beispielen vom nachstehend geschilderten Typus mitgearbeitet hatten, im Rahmen einer neugegründeten Firma für Wasserturbinen und Regler einiges so realisieren, daß derartige Geräte gegen Konkurrenz und mit staatlichen Abnahmeprüfungen in Malaysia in Betrieb gehen, während von uns konstruierte und gebaute Sicherheitsregler für die 500 kW-Windturbinen von Villas in Kalifornien stehen, mit Abnahme durch den Germanischen Lloyd.

b) Das andere Extrem sind die reinen »Papier-tiger«, technisch schöngeistige Neukonstruktionen beliebiger Komplexität auf Pa-

pier, von welchen höchstens Modelle von Einzelteilen im Schulbereich in Hardware für Versuchszwecke umgesetzt werden. Dieser Gruppe von Vorentwurfs-Denkübungen gehören die nachstehend angeführten Beispiele an. Neben noch größeren Entwürfen wurden im Rahmen dieser Kategorie auch kleine Maschinen bescheidener Leistung durchdacht, z.B. ein energie-sparender 1 Zyl. 2 Takt Motor mit extrem langem Hub, Ventilsteuerung und elliptischem Kurbeltrieb für radikal sparsame Kfz-Antriebe, Radikal-Sparmotoren, die zur Zeit noch unpopulär sind, vom Üblichen weit abweichende Motorradmotoren und anderes. Gerade durch das ständige Infragestellen des Standes der Technik und durch die Begründung der Abweichungen werden gute traditionelle Maschinenstrukturen besser gewürdigt und verstanden als durch bloßes Nachempfinden.

### 2. Verbund-Flugtriebwerke

Darunter versteht man im Motorenbau die Kombination von Kolbenmotor und Gasturbine. Trotz einiger Einbußen steigt dadurch der Wirkungsgrad des kombinierten thermodynamischen Kreisprozesses, weil man weiter auseinanderliegende Temperatur- und Druckgrenzen ausnützen kann. Der Kolbenmotor bringt größere Höchsttemperaturen in den Prozeß als eine Turbineneinlaßtemperatur zulassen könnte, die Turbine, die mit einem Getriebe mit dem Motor verbunden ist, kann dadurch im Gegensatz zu einem Turbo-

lader die Gasenthalpie bis fast auf den Druck der Umgebung ausnützen, was ein Kolbenmotor für sich alleine nicht vermag.

Der Weg der Luft entspricht dem von bekannten Motoren mit Turboladern, nur wird hier die Gasturbine, deren Brennkammer der Motor ersetzt, zu einem wesentlich größeren Gerät, mit höheren Ladedrücken, das selber Wellenleistung über ein Getriebe an die Kurbelwelle des Kolbenmotors abgibt.

Die vorgenannten Einbußen entstehen in den Überströmkanälen zwischen Kolbenmotor und Gasturbine. Da die Ein- und Auslaßöffnungen des Motors eine beträchtliche Zeit lang gleichzeitig offen sind, kommt es ähnlich wie bei einem einfachen Saugmotor zu einer Drosselung des vom Motor ausgeschobenen Gases auf den Druck der eintretenden Luft, das ist der Kompressoraustrittsdruck. Der Turbineneintrittsdruck kann daher nicht größer sein als der Kompressoraustrittsdruck. Im pv-Diagramm entsteht eine Verlustfläche, die wie alle sonstigen Berechnungen der Thermodynamik nachstehender Beispiele mit Berücksichtigung der Veränderlichkeit der Stoffwerte nach A.F. Schmidt [1] berechnet wurde. Der Verlust an Arbeitsfläche im pv-Diagramm durch Überströmdrosselung ist ohne andere Einbußen kaum zu vermeiden.

**Der einmalige Vorteil der Kombination von Kolbenmaschine und Gasturbine besteht in der günstigen Paarung zweier sonst schwer gleichzeitig vorteilhaft vereinbarer Kennzahlen: Der spezifische Verbrauch der am meisten extrem ausgelegten Variante III geht auf 176 gr/kWh (130 gr/PS) herunter — mit eher ungünstiger Schätzung der unvermeidlichen freien Annahmen, während gleichzeitig die Leistungsmasse nur 0,136 kg/kW (0,1 kg/PS) beträgt. Diese Kombination zu erzielen, war das Motiv für das Ausdenken der relativ komplizierten Strukturen.**

Am Ende des 2. Weltkrieges hatte die britische Firma Napier einen 12 Zyl. 2 Takt Boxermotor als schlitzgesteuerten Diesel mit einer unterhalb parallel liegenden Gasturbine gekoppelt, dessen spezifischer Verbrauch 155 gr/PS betrug, bei einer Leistungsmasse von 0,4 kg/PS. Dieses Modell »Nomad« (sinnvolle Bezeichnung für sparsame Langstreckenflüge) ging wegen des stürmischen Vordringens der Gasturbine nach 1945 nicht mehr in Serie.

Die einzige erfolgreich im Flugdienst verwendete Compound-Maschine war der Doppelsternmotor Curtiss Wright R 3350 DA3/EA2 in der legendären Lockheed-Super Constellation/Star Liner in den fünfziger Jahren. Der CW 3350 EA2 leistete 3400 PS.

Durch das Vordringen der Strahltriebwerke, vor allem der relativ sparsamen Fan-Triebwerke im Unterschallflug, geriet das Verbund-Konzept in Vergessenheit.

Im Zeitalter steigenden Umweltbewußtseins und sinkender Treibstoffvorräte ist es ange-

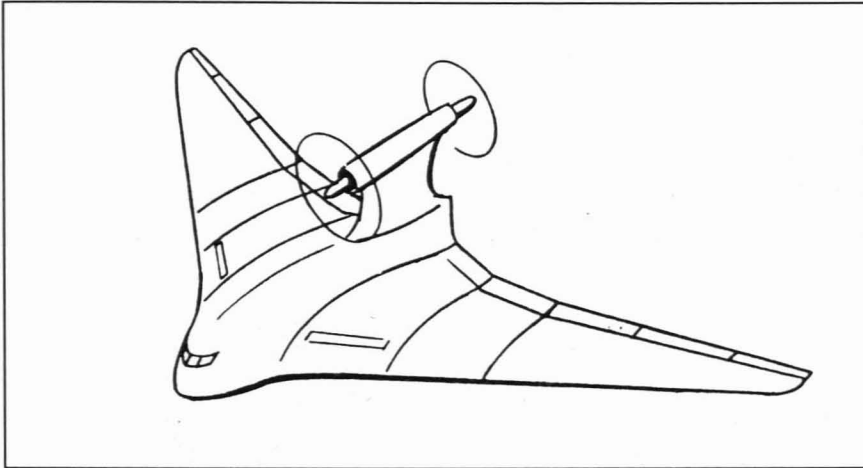


Abb. 1: Typisches Leichtbauflugzeug für sparsames Fliegen mit 500 km/h

bracht, das Konzept mit neuartigen Komponenten (Wankel-Prinzip) und neuartigen Technologien (Feinguß, Elektronenstrahlschweißen, CNC-Bearbeitung) noch einmal zu durchdenken.

Mit den neuen Möglichkeiten, wo nachstehende Studien einhakten, stieg aber auch die Konkurrenz der Fan-Strahltriebwerke mit großem Bypass-Verhältnis bis  $b = 20$  und die der Wellengasturbinen für Propellerantrieb.

Derartige Fan-Triebwerke mit Bypassverhältnis bis zu 20 wurden gleichfalls im Konstruktionsunterricht behandelt.

Die Achillesferse der Verbund-Flugtriebwerke — ihr entscheidender Nachteil gegenüber den Gasturbinen — ist die relativ geringe Lebensdauer eines Kolbenmotors mit seinen zahlreichen Reibungs-Verschleißstellen. Es müßten große technologische Anstrengungen unternommen werden auf dem Sektor der Werkstoffauswahl, der Wärmebehandlung, der Bearbeitung, der Konstruktion gezielter Kühlung und Schmierung an kritischen Stellen, um diesen Nachteil zu mildern.

Nach Dr. Ing. Hubert Grieb, Entwicklungsleiter der MTU-München, mit dem die Varianten I und II im Beisein der beteiligten Studenten mehrstündig diskutiert wurden, machen von den Gesamtkosten während der Lebensdauer eines Triebwerkes 80% die Treibstoffkosten aus, während sich die restlichen 20% auf Anschaffungspreis und Betriebswartung aufteilen. Aufgrund der hohen Treibstoffkosten — von der Umweltauswirkung abgesehen — ist es auf jeden Fall empfehlenswert, über Sparkonstruktionen, auch um den Preis eines höheren Verschleißes, nachzudenken.

Wenn es um Energiesparen in der Luft geht, dann muß man bereits in der Wahl der Flugeschwindigkeitsbereiche, der dazugehörigen Vortriebsmittel und Flugzeuge anfangen, bevor man überhaupt eine Triebwerksart bevorzugt. Für den europäischen Kontinentalluftverkehr würden 500 bis 600 km/h (Abb. 1) bei weitem genügen, anstatt mit hohen Flächenbelastungen von 500 bis über 1000 kg/m<sup>2</sup> in Schallnähe zu fliegen. Eine entsprechende Vereinbarung der Länder Europas zum Beispiel würde mehr als ein Drittel Treibstoff-Er-

sparnis allein durch die Geschwindigkeitsbeschränkung bringen. Flugzeuge mit großer Flügelfläche und Spannweite würden mit der Zeit aktuell werden, der Propeller als wirtschaftlichste Vortriebsart für diesen Geschwindigkeitsbereich dominieren.

Alle Entwürfe I bis III sind daher Propellertriebwerke für 500 bis 650 km/h.

Eine der Hauptentscheidungen beim Entwurf der Verbundtriebwerke ist die Aufteilung der Leistung zwischen Gasturbine und Kolbenmotor. Eine thermodynamische Optimierung zeigt, daß der Leistungsanteil der Gasturbine möglichst groß sein soll, das heißt möglichst hohe Drücke und Temperaturen zwischen Kolbenmotor und Gasturbine.

Die verträgliche Turbineneinlaßtemperatur, die wegen des geringen Luftüberschusses des Kolben-Diesels leider die Tendenz hat, hoch zu liegen, begrenzt den Leistungsanteil der Gasturbine. Für alle drei Entwürfe I bis III wurde das Dieselfahren gewählt, mit Pumpdüsen im Fall III und mit zusätzlichen Benzin-Einspritzdüsen und Zündkerzen für den Start als Ottomotor mit Benzineinspritzung am Beginn der Verdichtung, da die Kolbenmaschinen allein im Falle II und III ein Verdichtungsverhältnis von nur knapp über 3 besitzen und die Turbine bei Niedrigdrehzahlen nur geringen Druck aufbaut.

#### Variante I (beteiligter Student: Hans Tillian)

Wegen des Fortfalles hin- und hergehender Massen und wegen der Gewichts- und Volumsreduktion im Vergleich zu einem Hubkolbenmotor wurde das bekannte Wankel 3:2-Viertaktverfahren gewählt mit dreieckigen Kolben. Den bekanntesten Nachteilen der Wankel-Einfachausführungen wurde mit entsprechend konstruktivem Aufwand begegnet. Die ungünstige Brennraumform des Wankels wurde durch eine entsprechend große Brennraummulde in eine brauchbar günstige umgewandelt. Bei einem Saugmotor würde dies Verlust an Verdichtungsverhältnis bedeuten, hier existiert aber die Vorverdichtung des Turbinencompressors. Die Kolben sind mit einer steuerbaren Kühlölmenge zwangsdurchflossen mit hohen Kühlöl-Strömungsgeschwindigkeiten rund um die Nuten für die Dichtlei-

sten. Derartige Maßnahmen gab es bei den negativ verlaufenen Wankel-Dieselsversuchen bei Rolls Royce und MAN nicht. Ich finde, daß man sich zu wenig angestrengt hat. Diese Meinung teilt indirekt Daimler-Benz Entwicklungschef Dr. Bensinger im Vorwort seines Buches »Rotationskolbenmaschinen«, der damit im Gegensatz zu seiner eigenen Firmenleitung steht. Dies zu den bekannten Vorurteilen gegen den Wankel als Dieselmotor.

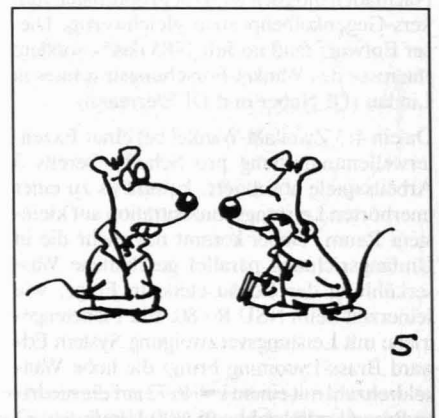
Der Wärmeeinfall auf dem Verbrennungsdrittel der Trochoide wird durch einen Kühlwasserring mit 16 b Innendruck auf dem Gesamtvolumen verteilt, damit der Kühlrippenstern annähernd ausgelastet ist. Trotz großen Kühlrippensternes der integrierten Luftkühlung ergab sich ein Kühlgebläsebedarf von 400 kW — das bekannte Problem direkt luftgekühlter Motoren.

Die Auslegedaten für die Variante I wurden relativ »zahn« gewählt, unterhalb machbarer Grenzen, wie der Tabellen-Auszug aus den Motordaten zeigt. Der mittlere effektive Druck beträgt nur 14,7 b allerdings als Differenz hoher Drücke.

Als Gasturbine wurde eine ungekühlte Einfachmaschine gewählt mit Turbineneintrittstemperatur unter 1000° C. Daher rührt der relativ niedrige Leistungsanteil der Gasturbine von 18% an der Gesamtleistung von 5.400 kW her und der trotz hohen Gesamtverdichtungsverhältnisses von 26,4 relativ schlechtere Gesamtwirkungsgrad im Vergleich zu den Konfigurationen II und III, die allerdings gewagte Grenzwertdaten aufweisen.

#### Variante II (beteiligte Studenten: W. Prokopp und J. Weithaler)

Mit Zustimmung von Dr. Ing. Grieb, MTU-München wurde diese Maschine auf extreme Daten, d.h. vor allem auf eine Turbineneinlaßtemperatur von 1500° C ausgelegt. Die Verbindungskanäle Motor — Turbine sind keramikbeschichtet. Die Dreifach-Einlaßspirale der Turbine erzeugt den Drall, den sonst das erste Leitgitter erzeugen würde, das daher weggelassen wurde. Dadurch und durch niederen Reaktionsgrad der ersten Turbinenstufe beträgt die höchste statische Temperatur in der Turbine nur 1420° C. Die Turbinenschaukeln sind nach dem »splash-cooling system« innen gekühlt.



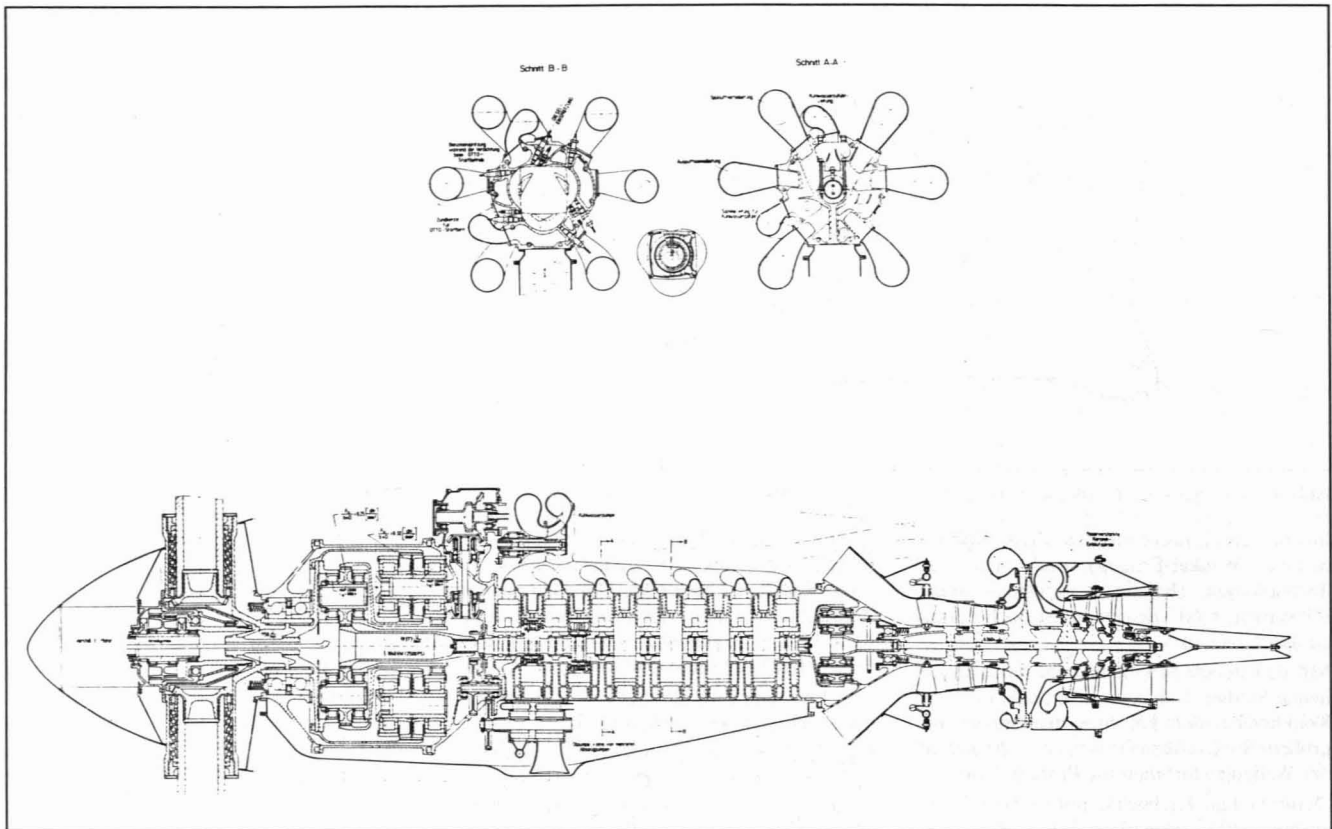


Abb. 2: Variante II: Ausschnitte aus der Konstruktion eines sparsamen 1800-kW-Flugtriebwerkes

Die Besonderheit der Variante II ist der 4:3 Zweitakt-Wankel-Motor mit viereckigem Kolben mit Ölzwanglaufkühlung wie in Variante I und mit Spülschlitzen in den Kammerseitenwänden, Gleichstromspülung quer zur Drehrichtung des Kolbens und mit voreilenden Auslaßzeiten, was bei Hubkolbenzweitakttern nur mit umständlichen Schiebern und Ventilen zu erzielen ist.

Eine vorteilhafte Ausnahme bei den Hubkolben-Zweitaktmotoren stellt das Junkers Gegenkolbenprinzip dar, mit seiner Gleichstromspülung und seinen vorauselenden Auslaßzeiten, erzielt durch voreilenden Gegenkolben. Mit diesem Prinzip ist der konzipierte 4:3 Zweitakt-Wankel in der Qualität des Ladungswechsels und in den voreilenden Auslaßzeiten (d.h. der Auslaß öffnet früher und schließt früher als der Einlaß, wodurch Nachladen möglich wird) dem optimalen Junkers-Gegenkolbenprinzip gleichwertig. Dieser Entwurf fand im Juli 1985 das besondere Interesse des Wankel-Forschungsinstitutes in Lindau (DI Nuber und DI Eiermann).

Da ein 4:3 Zweitakt-Wankel bei einer Exzenterwellenumdrehung pro Scheibe bereits 3 Arbeitsspiele absolviert, kommt es zu einer unerhörten Leistungskonzentration auf kleinstem Raum. Dabei kommt nur mehr die in Umfangsrichtung parallel geschaltete Wasserkühlung der Gehäuse Teile in Frage, wie seinerzeit beim NSU Ro 80. Ein Planetengetriebe mit Leistungsverzweigung System Edward Brass-Lycoming bringt die hohe Wankeldrehzahl mit einem  $i = 16,72$  auf die niedrige Propellerdrehzahl von 1100 U/min.

**Variante III** (beteiligte Studenten: Alex Legat und Erich Dürnwirth)

Hier wurde das als sparsamer Flugdiesel (Jumo 205/207) bewährte Gegenkolbenprinzip in der Art des von Junkers 1942 gebauten Prototyps Jumo 223 im Viereckverband mit 24 Zylinderröhren und 48 Kolben bei einer Leistung von 2500 PS mit Berücksichtigung neuester Technologien (Feinguß, Elektronenstrahlschweißen) als grundsätzliches Vorbild genommen. Der vorliegende Entwurf III umfaßt  $8 \times 4 = 32$  Zylinderröhren. Die Vorteile des Gegenkolbenprinzips sind:

- Guter thermischer Wirkungsgrad durch Fortfall wärmeabgebender Brennraumbodenflächen der zueinander gestülpten Zylinder.
- Verlustarme Gleichstromspülung.
- Vorauselende Auslaßzeiten durch Phasenverschiebung des Auslaßkolbens gegenüber einer rein spiegelbildlichen Bewegung, 30 -7-o im Beispiel.
- Günstiger Massenausgleich, ähnlich wie beim Boxerprinzip.

Der Nachteil dieser Bauweise ist die schwere Zugänglichkeit der im Inneren des Vierecks liegenden Teile (ein Teil der Einspritzpumpen, ausgebildet als Pumpdüsen im Beispiel), die daher betreffend Zuverlässigkeit und Lebensdauer hohen Anforderungen genügen müssen. Für ein Kolbenservice muß der Motor total zerlegt werden. Weitere bekannte Nachteile der Bauweise wurden studiert und konstruktiv berücksichtigt. Es würde zu weit führen, an dieser Stelle die Verkettung aller konstruktiven Überlegungen und alle Daten zu schildern.

Bei Napier gab es in den 60iger Jahren einen 6000 PS Lok-Diesel im Dreiecksverband nach dem Junkers-Prinzip in Produktion. 1970 erwog man bei AVCO Lycoming eine Neuauflage des Gegenkolbenprinzips mit Hilfe neuer Technologien.

Zahlreiche Einzeldaten, zusätzliche Schnittzeichnungen und Diagramme sind wegen des Überblickzieles dieses Beitrages hier nicht gezeigt, ebenso unterblieb die Schilderung zahlreicher konstruktiver Einzelmaßnahmen.

Eine hier nicht im Bild gezeigte Arbeit soll erwähnt werden: Der auch durch VDI-Artikel bekannte Stelzer-Linearkolbenmotor mit seiner eigentümlichen Gasdynamik wurde konstruktiv und rechnerisch als Gaserzeuger mit einer Gasturbine kombiniert, deren Kompressor als Spül- und Ladegebläse für einen Vierröhren-Stelzer-Leichtbaumotor diente mit Luftinnenkühlung der hohlen Kolben (beteiligte Schüler: Wanderer und Gruber). Die Schwingungsfrequenz des Motors und das sich frei einstellende Verdichtungsverhältnis wurden mittels umfangreicher grafischer Näherungsverfahren in pv- und hs-Darstellung ermittelt. Es ergab sich zwar ein sehr niedriger spezifischer Verbrauch, aber eine so geringe Schwingungsfrequenz, daß der Motor im Vergleich zur Gasturbine sehr groß und schwer wurde. Die Ermittlung von Frequenz und sich frei einstellendem Verdichtungsverhältnis erforderte aus der Konstruktionsarbeit heraus mehr lebhaftes Grundlageneinanderdersetzung, als dies ein bloßer Einführungsunterricht vermag.



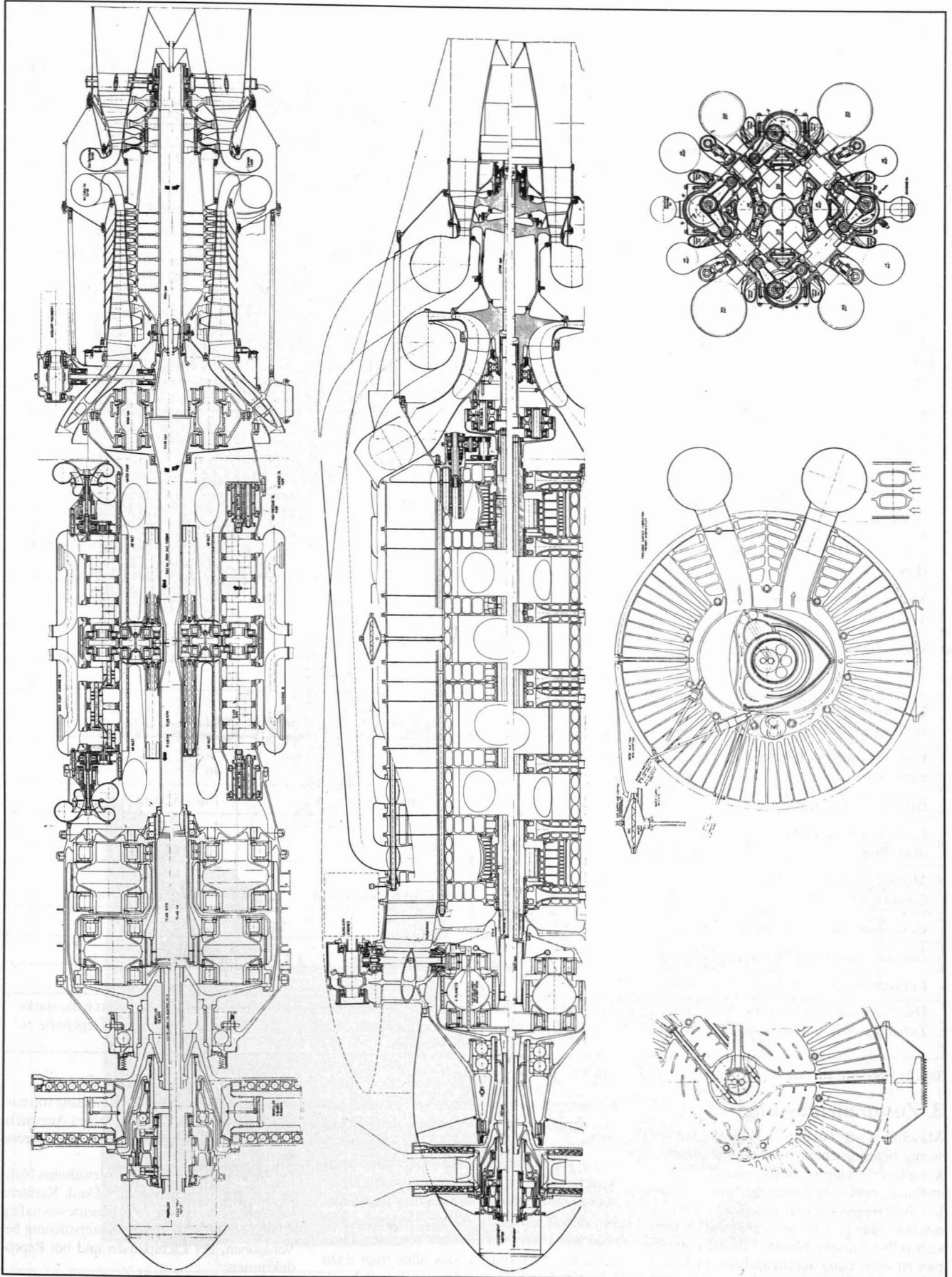


Abb. 3: Längsschnitt der Gegenkolbenvariante III und der Wankelvariante I



Konstruierte Compoundvarianten	I	II	III
Kurzbeschreibung	Winkel, 3:2, 4-Takt mit 6 Scheiben und integrierter Kühlung mit ungekühlter, einfacher Gasturbine, Eintrittstemp. 1000 ° C, mäßige Annahmen der spezifischen Werte.	Winkel, 4:3, 2-Takt mit 6 Scheiben und gesonderter Kühlung mit gekühlter Gasturbine, Eintrittstemp. 1500 ° C, hohe spezifische Zahlenwerte.	Hubkolbenmotor nach Junkers-Gegenkolbenprinzip und gesonderter Kühlung mit gekühlter Gasturbine, Eintrittstemp. 1500 ° C, höchste spezifische Zahlenwerte.
Spezifischer Verbrauch	165 gr/PSh 224 gr/kWh	150 gr/PSh 203 gr/kWh	130 gr/PSh 176 gr/kWh
Leistungsgewicht	0,28 kg/PS 0,38 kg/kW mit integrierter Kühlung	0,10 kg/PS 0,136 kg/kW ohne Kühler	0,10 kg/PS 0,136 kg/kW ohne Kühler
Mittlerer effektiver Druck im Kolbenmotor	14,7 b	18 bis 20 b	24 b
Gesamtverdichtungsverhältnis $\epsilon$ Motor x $\epsilon$ Gasturbine	$7 \times 3,77 = 26,39$	$3,125 \times 5,9 = 18,44$	$3,5 \times 6,2 = 21,7$
Gesamtwirkungsgrad	0,38	0,42	0,48
Wirkungsgrad des theoretischen Vergleichsprozesses mit angenähert realen Stoffwerten nach A. F. Schmidt, TU Aachen	0,53	0,583	0,69
»Gütegrad«-Annahme zum Übergang vom theoretischen auf den wirklichen Kreisprozeß (Ber. v. Wärme und Str. Verl.)	0,84	0,84	0,87 (Gegenkolben — weniger wärmeabg. Oberfl.!)
Mechanischer Wirkungsgrad — Annahme	0,85	0,85	0,83
Gesamtnutzleistung	4.944 kW bei 500 km/h in 5 km Höhe 5.400 kW beim Start am Boden	1.832 kW am Boden	15.700 kW am Boden in 6 km Höhe bei 600 km/h
Leistungsanteil der Gasturbine an der Gesamtleistung	18 %	61 %	54 %
Leistungsanteil des Kolbenmotors	82 %	39 %	46 %
Größter Durchmesser/Länge	1,43 m / 5,1 m	0,535 m / 2,4 m	1 m / 5,06 m
Gewicht mit Getriebe, ohne Prop.	1.835 kg	248 kg	2.050 kg
Motordrehzahl / Gasturb.-Drehzahl	5.320 / 23.760 U/min.	19.373 / 63.604 U/min.	13.682 / 19.014 U/min.
Gasturbinendruckverhältnis	3,1	12	12
Gasturb.-Eintrittstemperatur	1.000 ° C	1.500 ° C	1.500 ° C
Luftdurchsatz	6,88 kg/s	2,26 kg/s	18,5 kg/s
Die Zunahme des Gesamtwirkungsgrades von I nach III, trotz Abnahme des Gesamtverdichtungsverhältnisses, erklärt sich durch die starke Zunahme des mittleren effektiven Druckes, der bei Verbundtriebwerken von großem Einfluß auf den Wirkungsgrad ist, im Gegensatz zu herkömmlichen Motoren.			

Tab. 1: Übersicht über die wichtigsten Daten der Entwürfe I bis III

### 3. Zusammenfassung

Maschinen der Zukunft, welche die Umwelt wenig beanspruchen, werden unvermeidlich komplexe Strukturen aufweisen, deren Herstellung großer Anstrengung bedarf. Selbst bei Nullbudgets soll man innerhalb einer technischen Schule von der geistigen Freiheit, sich selber entsprechende Aufgaben auf Papier zu stellen und durchzuführen, Gebrauch machen, mit Einholung fachkompetenter Kritik von außen. Der Lehrer muß natürlich sel-

ber intensiv mitarbeiten, bekommt aber dadurch umso mehr Reaktionen von den Studenten zurück. Das Erlebnis einer umfassenden technischen Arbeit noch innerhalb einer Schule mit der Verknüpfung technischer, wirtschaftlicher und moralischer Probleme, mit dem Zwang des »Zuendebringens«, mit z.B. lebhaften Diskussionen über den Grad erlaubter Näherungen, das alles trägt dazu bei, daß der Student im Berufsleben sich selber die Weiche in Richtung Gesamtverant-

wortung stellt, auch bei der Ablegung von parteipolitischen Hemmnissen, eines Auswuchses, in dem Österreich unnötig weltführend ist.

Im Zusammenhang mit dem erwähnten Nullbudget gilt mein besonderer Dank Kärntens größten Ingenieur-Arbeitsgemeinschaften ÖDK und KELAG für die Unterstützung bei Versuchen, bei Lichtpausen und bei Reproduktionen.

