

Abbildung 1: Blohm & Voss Wasserflugzeug mit 4 Jumo 205 Flugdieselmotoren über New York

## Gegenkolbenflugdiesel – zurück in die Zukunft

Der ein oder andere Leser meint vielleicht, die Entwicklung von Flugdieselmotoren stamme aus jüngster Zeit, doch dem ist nicht so. Die damaligen Flugmotorenbauer BMW, Siemens und Junkers haben bereits in den Zwanziger und Dreißiger Jahren des vorigen Jahrhunderts eine ganze Reihe von Flugdieselmotoren entwickelt, darunter u. a. der BMW R12 Versuchsmotor, ein 4-Zylinder-Stern-Zweitaktdieselmotor mit 80 PS aus 3-Liter Hubraum und der BMW 114, ein 9-Zylinder-Dieselmotor mit Wasserkühlung und 625 PS (auf der Basis des BMW 132A). Ein Grund für die Entwicklung von Flugdieselmotoren bestand in den Problemen, die man bei Ottomotoren mit

der Zuverlässigkeit der damaligen Zündanlagen in großer Höhe hatte. Die meisten Entwicklungen sind in Vergessenheit geraten, mit Ausnahme der Jumo 205 Flugdieseltriebwerke, die von Prof. Junkers entwickelt wurden. Der Grund für ihren Bekanntheitsgrad liegt in der Tatsache begründet, dass die Jumo Flugdieseltriebwerke in beachtlicher Stückzahl in Serie gebaut und in etlichen Flugzeugen der damaligen Zeit eingesetzt wurden.

Die Entwicklung der Jumo Flugdieselmotoren begann bei Junkers im Jahr 1922. Grundlage war ein Patent von Hugo Junkers aus dem Jahr 1907 für einen „Doppelkolben-Schwerölmotor“. Bei dieser Motorbauart laufen jeweils zwei Kolben pro Zylinder gegeneinander, sodass der Brennraum direkt zwischen den Kolben entsteht. Die Bauart macht die Verwendung von zwei Kurbeltrieben erforderlich,

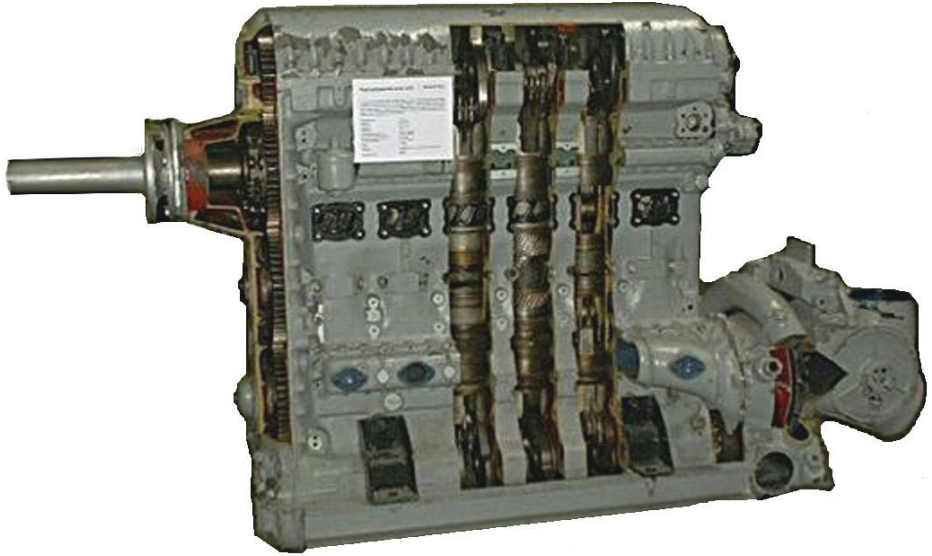


Abbildung 2a: aufgeschnittener Jumo 205 Gegenkolbenmotor (16,6 Liter Hubraum, 600 PS)

die sich an den Außenseiten des Triebwerks gegenüber liegen. Der Motor arbeitet im Zweitaktverfahren, wobei die Spüllader geringem Druck arbeitenden Spülladertete im Zweitaktverfahren, wobei die Spü-

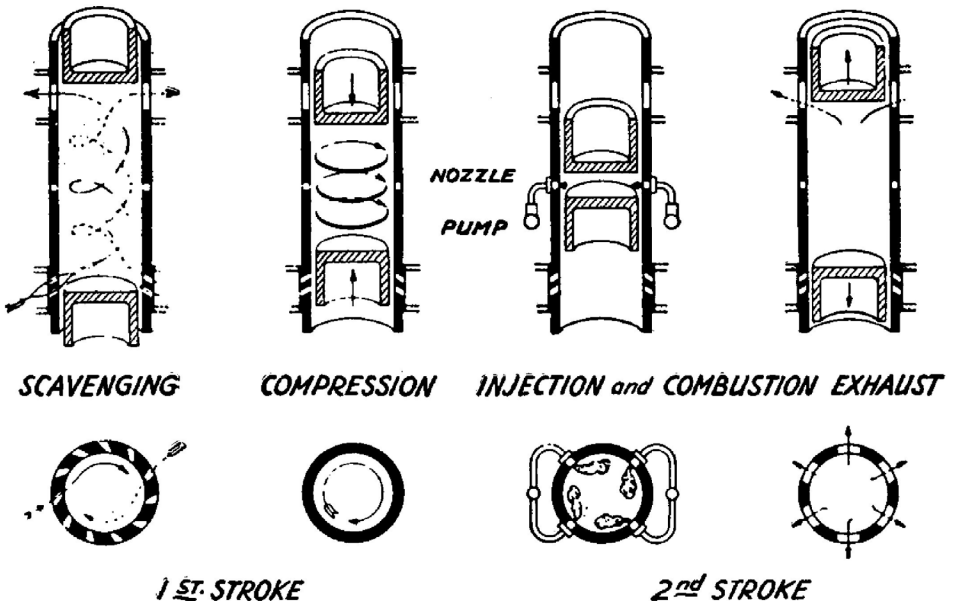


Abbildung 2b: Arbeitsprinzip des Jumo Gegenkolbenmotors

Arbeitsprinzip des Triebwerks. Im ersten Arbeitstakt spült der Spüllader den Brennraum und versorgt in mit frischer Luft, die dann komprimiert wird. Im zweiten Arbeitstakt erfolgt die tangentielle Hochdruck-Direkteinspritzung mit bis zu 500 bar, die dann zur Verbrennung des Gemischs führt. Beim Abwärtsgang der Kolben werden die Auspuffschlitze geöffnet und die Abgase können entweichen. Der Abtrieb zum Propeller erfolgte über ein Untersetzungsgetriebe.

Es wurden eine Reihe von Versuchsmotoren gebaut. 1928 entstand zunächst der Sechszylinder-Doppelkolbenmotor FO4 mit 28,6 Liter Hubraum, aus dem später der Jumo 204 mit 750 PS Startleistung wurde. Es vergingen weitere sieben Jahre bis der Jumo 204 seine Betriebssicherheit erreichte und in Verkehrsflugzeuge eingebaut werden konnte. Erst die Verwendung eines ungeteilten Feuerringes, der durch eine auf den Kolbenboden aufgeschraubte Wärmeschutzplatte vor den heißen Abgasen geschützt war und durch besondere Kühlung des Brennraums konnten die anfänglichen Schwierigkeiten beseitigt werden.

Da die Bauhöhe des Jumo 204 für mehrmotorige Flugzeuge zu hoch war, begann man 1932 mit der Entwicklung des Jumo 205 (siehe Abb. 2a) mit kleineren Ab-



Abbildung 2c: Spezialkolben mit Feuerring

messungen und höherer Drehzahl. Der erste Versuchsmotor leistete 500 PS und wog 500 kg, hatte also ein Leistungsgewicht von exakt 1 kg/PS.

Der Jumo 205 wurde insbesondere für die Lufthansa und deren Flugboote Do 18 (siehe Abb. 5) und Do 26 (siehe Abb. 3) entwickelt, die auf den Nord- und Südatlantikrouten eingesetzt wurden.

Bereits im Frühjahr 1933 konnte der Jumo 205, der Motor leistete nun 600 PS bei 2.200 U/min, die Musterprüfung abschließen. Es folgte die Flugerprobung in einer Focke-Wulf Möwe, in zwei Ju 52 und in mehreren Ju 86.

Die Lufthansa sah damals im Jumo 205 den idealen Motor für die Langstrecke wegen der günstigen Brennstoffkosten, dem günstigen Verbrauch, verminderter Brandgefahr und einfacherer Wartung durch Wegfall von Ventilen, Ventilsteuerung, Vergaser, Zündkerzen und Zündmagneten.



Abbildung 3: Dornier Do 26 Flugboot



Abbildung 4: B&V Ha 139 im Atlantik-Postdienst

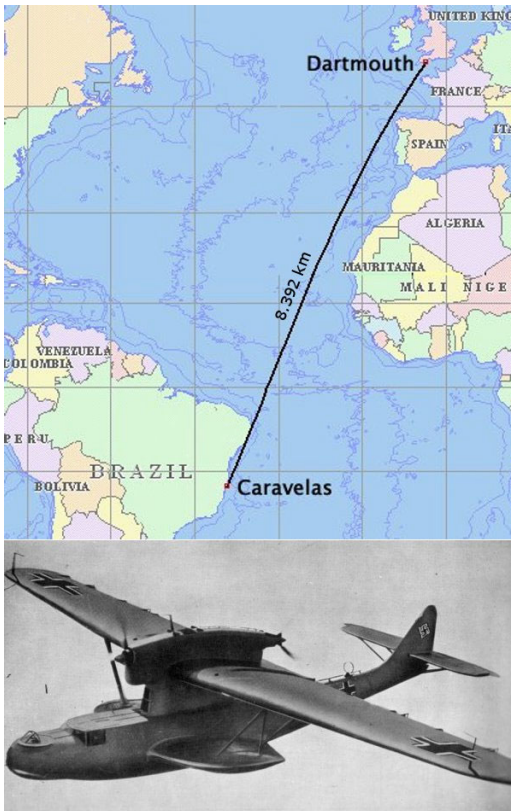


Abbildung 5: Rekordflug mit Jumo 205

Im Jahr 1937 flogen bereits 21 Flugzeuge der Lufthansa mit Flugdieselmotoren. Im Atlantikpostdienst wurden Do 18, Do 26 und Blohm & Voss Ha 139 mit Jumo Flugdieseln ausgerüstet.

Flugzeuge mit Jumo 205 Flugdieselmotoren stellten eine ganze Reihe von Langstreckenrekorden auf, darunter unter anderem ein Langstreckenrekord für Flugboote, aufgestellt von einer Do 18 am 27. März 1938 mit einem Flug von Dartmouth am englischen Kanal nach Caravelas in Brasilien. Flugzeit rund 43 Stunden, Großkreisentfernung 8.392 km (siehe Abbildung 5). Das Jumo 205 Triebwerk hatte normalerweise einen spezifischen Treibstoffverbrauch zwischen 160 und 170 g/PS<sub>h</sub>, bei den Rekordversuchen kam man

bis auf 155 g/PS<sub>h</sub>, ein Wert, der sich auch heutzutage kaum unterbieten lässt. Der Motor wurde in den Dreißiger Jahren von Lufthansa, Swissair und anderen Fluggesellschaften neben dem Postdienst auch bevorzugt im Personenverkehr mit Ju 86 (siehe Abb. 6) eingesetzt.

Der Jumo 205 war bis vor kurzem d.h. bis vor dem Aufkommen des heutigen Trends neuer Flugdieselmotoren von Thielert (Centurion Engines) und SMA (SR 305) der einzige Flugdieselmotor, der mit einer Musterzulassung in Serie gebaut wurde. Insgesamt wurden etwas über 900 Triebwerke produziert.

Die militärische Version des Jumo 205 D, hatte eine maximale Leistung von 880 PS (max. 1 Minute) bei 2.800 U/min und die weiter entwickelten nichtmilitärischen Versionen E und G hatten eine Startleistung von 700 PS bei 2.500 U/min. Alle diese Leistungen wurden beim Jumo 205 ohne Aufladung erzielt.

Die spätere militärische Version 207 C, sozusagen die Endstufe der Entwicklung des 16,6 Liter Triebwerks, leistete kurzzeitig max. 1.000 PS bei 3.000 U/min. Diese Version erzielte eine Volldruckhöhe von 12.000 m mittels kombiniertem Spülader plus Abgasturbolader. Die Literleistung betrug 60 PS/L und das Leistungsgewicht lag bei 0,78 kg/PS (zum Vergleich



Abbildung 6: Ju 86 Verkehrsflugzeug der Swissair mit Jumo 205

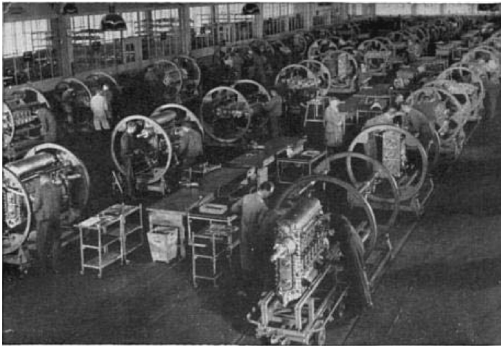


Abbildung 7: Jumo 205 Massenproduktion

Thielert Centurion 4.0: 87,5 PS/L bei 0,78 kg/PS).

Der Jumo 205 war beim Einsatz in Postdienst und Passagierflug angeblich ohne nennenswerte Marotten und funktionierte zuverlässig. Bei der militärischen Verwendung stellte sich allerdings heraus, dass er die häufigen Gaswechsel nicht sehr mochte, was dort zum vermehrten Austausch von Triebwerken führte.

Es wurden des Weiteren bei Junkers größere Gegenkolbendieselflugmotoren (Jumo 208, 223) gebaut, auf die wir hier nicht weiter eingehen wollen.

Es ist übrigens nicht so, dass Gegenkolbenmotoren nur von Junkers gebaut wurden, auch Gobron-Brillié, Doxford, Napier, Fairbanks-Morse, Compagnie Lilleoise des Moteurs, Sulzer, Commer, Rolls Royce und Leyland stellten Gegenkolbentriebwerke her. Manche wurden erst in den Fünfziger Jahren entwickelt. Besonders interessant erscheint dabei die Ausführung von Napier, wo man im Napier Deltic (siehe Abb. 7b) drei Kurbelwellen in einem Dreieck anordnete. Das Triebwerk hatte eine Höchstleistung von 3.140 PS bei 2.100 U/min und wurde u.a. in Torpedoschnellbooten und Diesel-Lokomotiven eingesetzt.

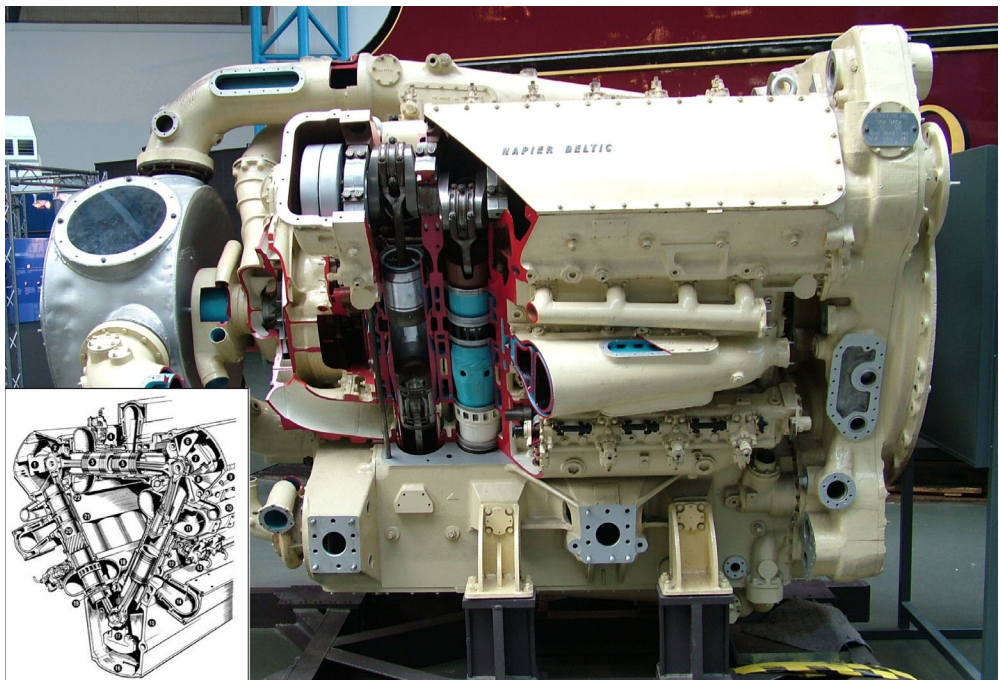


Abbildung 7b: Napier Deltic Gegenkolbendieselmotor in Dreieckanordnung (Foto: Wikipedia)

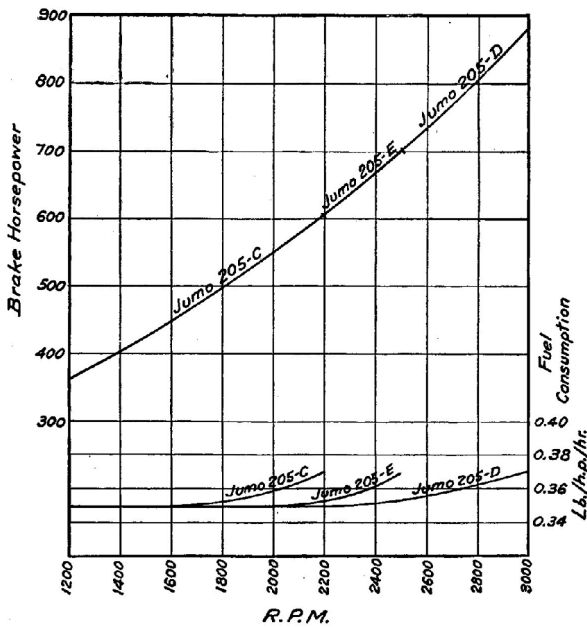


Abbildung 8a: Leistung und SFC der Jumo 205 Triebwerke

Stellen wir einmal die Frage, wie sich der geringere Treibstoffverbrauch von 160 g/PSh (0,35 lbs/hp/hr) beim Jumo 205 eigentlich im Vergleich zum Ottoflugmotor und zum Turbo-prop-Triebwerk verhält.

Dazu folgende einfache Vergleichsrechnung.

Als Ottoflugmotor nehmen wir den Pratt & Whitney Hornet mit 525 PS (200 g/PSh) zum Vergleich und als Turboprop-Triebwerk das PT6A-21 mit 550 PS (300 g/PSh) maximaler Leistung. Berechnet wird das Gewicht für Motor und benötigtem Treibstoff bei konstanter Leistung aller drei Triebwerke von 380 PS und konstanter Geschwindigkeit von 200 KTAS.

Die Grafik in Abb. 8b zeigt das

**Berechnet mit konstanter Leistung und Geschwindigkeit (380 PS, 200 KTS)**

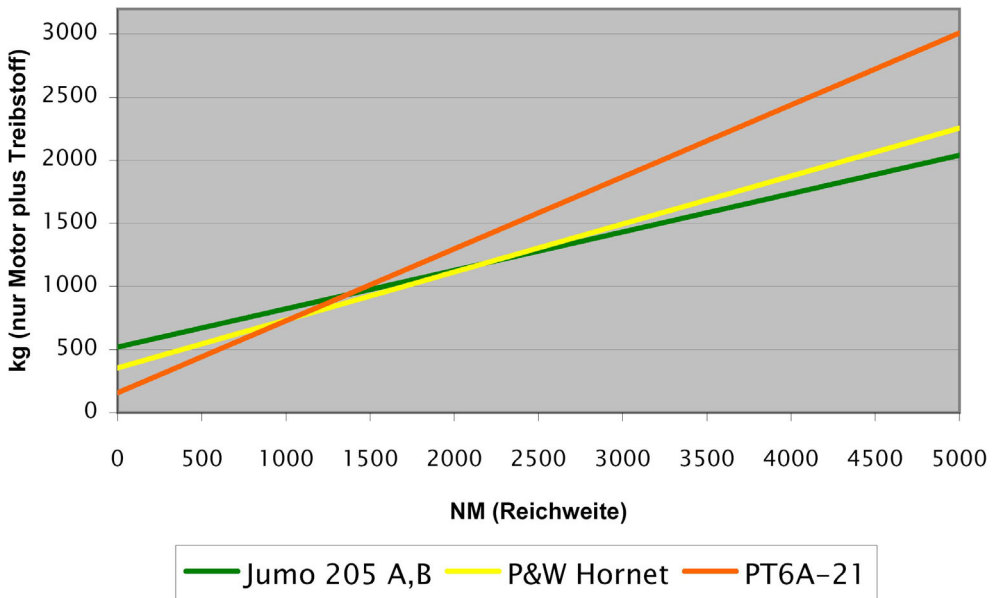


Abbildung 8b: Reichweitenvergleich von Jumo 205, P&W Hornet und PT6A-21 (Grafik: KLSP)

Ergebnis. Aufgrund des hohen Gewichtes des Jumo 205 A,B von 520 kg schneiden sich die Kurven von Jumo 205 und PT6A-21 erst bei 1.360 NM d.h. erst ab dieser Entfernung ist die Summe von Triebwerk und mitzuführendem Treibstoffgewicht beim Jumo 205 günstiger.

Noch drastischer fällt der Vergleich mit dem Ottoflugmotor aus. Erst ab einer Entfernung von 2.170 NM wird die Bilanz beim Jumo 205 günstiger.

Fazit: Der Flugdieselmotor hat aufgrund seines geringeren spezifischen Verbrauchs einen Reichweitenvorteil. Dieser wirkt sich allerdings erst dann aus, wenn der Treibstoff der Gewichts Differenz von einem ggf. leichteren Triebwerk verbraucht ist. Das Dieselmotor ist folglich umso eher brauchbar, wenn es – falls überhaupt – nicht sehr viel mehr wiegt als ein Ottoflugmotor.

Anders sieht es natürlich beim Kostenvergleich aus. In diesem Fall hat der Flugdiesel natürlich direkt ab der ersten nautischen Meile den deutlichen Kostenvorteil. In diesem Beispiel lägen die reinen Treibstoffkosten bei Preisen von 2,32 € (Avgas) und 2,03 € (Jet A1) für den Jumo 205 bei 154 €/h, für den Hornetmotor bei 242 €/h und für die PT6A-21 bei 289 €/h für die kontinuierlich abgeforderten 380 PS an Leistung.

Kein Zweifel, dass die Jumo Flugdieselmotoren ein hochinteressantes Kapitel in der Luftfahrtgeschichte darstellen. Jan Brills Spruch ‚unterschätzt mir die alten Indianer nicht‘ lässt sich auch hier anwenden. Hut ab vor dem, was Hugo Junkers und seine Mannschaft damals geleistet haben, auch wenn es immer ein wenig den braunen Beigeschmack hat.

Es ist eigentlich nicht weiter verwunderlich, wenn im Umfeld des neuen Dieseltrends zwei britische Unternehmen die Technologie des Gegenkolbenflugdieselmotors seit einiger Zeit erneut aufgreifen.

### **Der Gemini 100/125 Flugdiesel**

Powerplant Developments Ltd. ist in West Sussex, England, zu Hause und wurde als Joint Venture zweier bei Entwicklung und Wartung von Flugmotoren erfahrenen Unternehmen, nämlich Weslake Air Services (Entwicklung) und JadeAir Plc. (Wartung), ins Leben gerufen.

Ihr neu entwickeltes Flugdieselmotor wurde zuerst in Oshkosh auf der AirVenture 2007 vorgestellt. Es ist ein Dreizylinder-Sechskolben-Dieselmotor nach dem Gegenkolbenprinzip von Prof. Junkers. Im Unterschied zu den Jumo Triebwerken handelt es sich allerdings um ein sehr kleines Triebwerk mit gerade einmal 1,6 Liter Hubraum, das zunächst auf den Einsatz im amerikanischen LSA-Markt zielt. Das erstaunliche daran ist sein Gewicht von gerade einmal 70,5 kg inklusive Anlasser und Generator (75,3 kg inkl. Kühler). Mit einer Maximalleistung von 100 PS ist es ein direkter Konkurrent zum marktführenden Rotax 912 S.

Seine Entwickler versprechen eine Reihe von Vorzügen gegenüber dem Rotax-Triebwerk. Genannt wird der günstige spezifische Verbrauch von ca. 180 g/PS<sub>h</sub>, die geringe Wartung wegen der Einfachheit der Konstruktion und natürlich die geringeren Verbrauchskosten, da das Gemini 100 sowohl Dieseltreibstoff als auch Jet A verdauen kann. Letzteres wird dabei sicherlich der ausschlaggebende

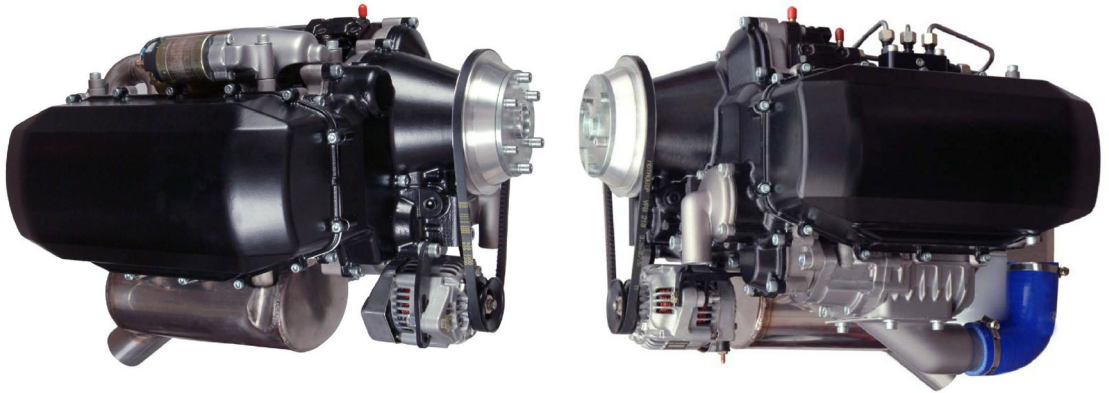


Abbildung 9: Gemini 100 Gegenkolbenflugdiesel  
(Fotos: Powerplant Developments)

Punkt sein, denn im Verbrauch dürfte der Unterschied zum Rotax nur marginal ausfallen.

Auch beim zweiten Punkt, der Einfachheit des Designs kann das Triebwerk ohne Zweifel Punkte sammeln, denn es besitzt weder Vergaser, Zündanlage noch einen Ventiltrieb. Ferner bleibt der Massenschwerpunkt bei der Bewegung der Kolben gegen- und auseinander stets in der Mitte, sodass das Triebwerk einen guten Massenausgleich bietet und auf diese Weise nur geringe Vibrationen erzeugt.

Der Motor ist darüber hinaus sehr kompakt, da es ja eigentlich ein Reihensechszylinder ist, bei dem die zweite Zylinderhälfte samt halber Kurbelwelle herumgebogen wird. Die kurzen Kurbelwellen sind dabei aus EN40-Stahl geschmiedet, der unter anderem auch für die Kurbelwellen in Formel 1 Rennmotoren verwendet wird. Die Zweitaktspülung erfolgt nicht wie bei Moped- und Motorradmotoren als Umkehrspülung über das Kurbelgehäuse sondern ist wie beim Jumo eine Direktspülung

(Gleichstromspülung). Beim Gemini 100 erfolgt die Frischluftzufuhr ohne Aufladung durch einen zentrifugalen Spüllader, beim Gemini 125 kommt zusätzlich ein Turbolader zum Einsatz.

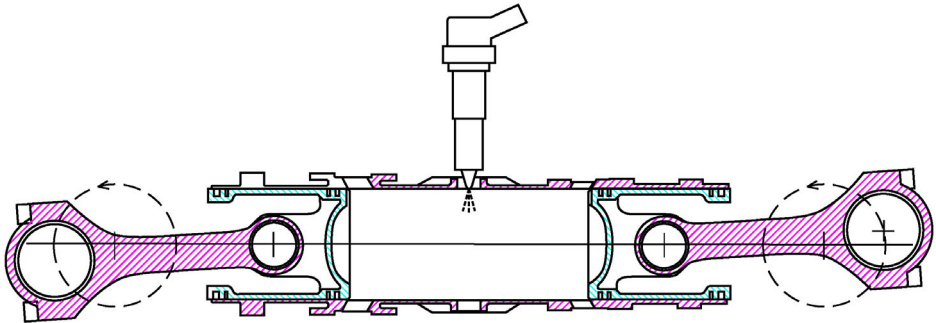
Die Motorschmierung erfolgt durch einen Hochdruckölkreislauf mit externem Öltank als Trockensumpfschmierung. Das Einspritzsystem arbeitet mechanisch, hier hätte man vielleicht besser elektronische gesteuerte Injektoren verwendet. Wahrscheinlich hat man diese Entscheidung so getroffen, um den Motor elektronisch einfacher zu halten und ohne FADEC auszukommen.

Beim Verbrauch geben die Entwickler 4,75 Gal/h bei 75 % in 5.000 ft an, wobei für den Rotax 912 S 6,6 Gal/h genannt wird. Der tatsächliche Unterschied dürfte nach Einschätzung des Autors statt 30 % eher etwas geringer bei vielleicht 10 % zugunsten des Gemini ausfallen.

Ein weiterer Vorteil für den Gemini Diesel wäre die angestrebte TBO von 2.000 h versus 1.200 h beim Rotax Triebwerk.



# Gemini 100



SCHEMATIC VIEW ONLY

Abbildung 10: Schema des Gemini 100 (Grafik: Powerplant Developments Ltd.)

Die FAA Zertifizierung nach S-LSA ist für November 2008 geplant.

Tecnam hat Interesse an diesem Triebwerk bekundet und evaluiert den Einsatz. Insbesondere für den Tecnam Twin 2006T dürfte das Gemini 125 Triebwerk mit Turbolader vorteilhaft sein, denn die 50 PS mehr und auch die verbesserte Höhenleistung durch den Turbolader wären ein Segen. Damit ließen sich die doch recht bescheidenen Flugleistungen der Twin von max. 145 KTAS in 7.000 ft um Einiges verbessern lassen und auch die Reichweite könnte man ggf. steigern.

## Problemzonen des Motorkonzepts

Die Konstruktion von Hugo Junkers ist wirklich genial, aber auch dieses Motorkonzept hat Problemzonen. Die erste Herausforderung besteht darin, den Motor thermisch in den Griff zu bekommen. Insbesondere die Lebensdauer der hochbelastenden Kolben ist problematisch. Man darf aber davon ausgehen, dass die Entwickler auf den damaligen Erfahrungen aufbauen konnten. Ferner steuern die

Kolben die Auslassschlitze, wodurch die Neigung zu höherem Ölverbrauch besteht. Last but not least neigt der Gegenkolben-diesel zu erhöhten Partikelemissionen.

## Der Diesel Air 100

Der Vollständigkeit halber wollen wir auch den zweiten ebenfalls aus England stammende Gegenkolbenflugdiesel vorstellen, den Diesel Air 100, der sich bei näheren Hinsehen als der Urvater des Gemini entpuppt. Bei Diesel Air war man bereits seit den Neunziger Jahren aktiv und hat ein Gegenkolben-Dieseltriebwerk als Proof-



Abbildung 11: Diesel Air 100 ohne Kurbelwellenabdeckung (Foto: Diesel Air)

of-Concept entwickelt, mit dem Ziel, Lycoming O-200 und O-235 Ottomotoren in gängigen Schulflugzeugen gegen einen im Verbrauch kostengünstigeren Diesel austauschen zu können.

Das Motorkonzept des Diesel Air 100 ist nahezu identisch mit dem des Gemini 100, nicht jedoch die Basisdaten. So hat der Diesel Air 100 nur zwei Zylinder mit 4 Kolben. Sein Hubraum ist mit 1.810 ccm geringfügig größer und er leistet wie der Gemini 100 maximal 100 PS.

Als Einspritzsystem kommt ein modifiziertes mechanisches Einspritzsystem aus dem Automobilbau zum Einsatz, das allerdings keinerlei Höhenkompensation leistet. Der Diesel Air 100 (kurz DAIR 100) verwendet wie das Jumo Triebwerk einen mechanischen Zentrifugallader (Getriebelader). Ein Turbolader kann in Serie ge-

schaltet werden.

Im direkten Vergleich zum Gemini 100 fällt der Gewichtsnachteil auf. Das Triebwerk hat ein Trockengewicht von 92,7 kg, wiegt also etwa 22 kg mehr als das Gemini 100.

Der erste Prototyp flog mit dem DAIR 100 bereits ab 1999 in einer Luscombe 8A und hat dort 125 Stunden in der Luft verbracht, bevor es zur Analyse zerlegt wurde. Seit 2002 treiben zwei Diesel Air Triebwerke einen AT-10 Zeppelin an. Diesel Air hat die Technologie an Weslake vermarktet, die nun die Gemini Triebwerke unter Lizenz fertigen. Diesel Air ist in diesem Zusammenhang ausschließlich noch als Dienstleistungsunternehmen tätig, bei Entwicklung und insbesondere bei der EASA Zulassung des Gegenkolbendiesels.



Abbildung 12: Tecnam 2006T bald auch optional mit Gemini 125? (Foto: Tecnam)

## Fazit

Das Motorkonzept mit gegenläufigen Kolben kombiniert mit dem Zweitakt-Dieserverfahren geht auf ein Patent von Prof. Hugo Junkers aus dem Jahr 1907 zurück. Der Gegenkolbendieselmotor hatte seine Blütezeit in den Dreißiger Jahren des vorigen Jahrhunderts und überzeugte bereits damals durch geringen Verbrauch, sparsame Wartung und hohe Zuverlässigkeit. Er war in seiner Zeit eins der Arbeitstiere der Luftfahrt für Postdienst und Passagierverkehr. Nach dem Zweiten Weltkrieg geriet er in Vergessenheit. Mit den Leistungen der Turbinentriebwerke konnte er nicht mithalten und für kleinere Flugzeuge erschien er zu schwer.

Die britischen Unternehmen Powerplant Developments und Diesel Air haben dieses geniale wie radikale Motorkonzept neu aufgegriffen. Powerplant Developments bringt mit dem Gemini 100 einen kleinen Gegenkolbendiesel heraus, der wie es aussieht endlich auch das Gewichtsproblem löst. Insbesondere die turboaufgeladene Version Gemini 125 und die weiterhin geplanten Triebwerke mit 200 und mehr PS könnten eine Marktlücke füllen.

Doch noch ist keines der Triebwerke zugelassen und man wird sicher zunächst im Experimental- und LSA-Markt ausreichende Erfahrungen sammeln wollen. Wer an eine Tecnam 2006T mit Geminidiesel denkt, wird wohl noch einige Zeit warten müssen, sofern sie denn überhaupt kommt. Doch das Motto ist bereits vorhanden, mit dem Gegenkolbendiesel zurück in die Zukunft, heißt es....

## Quellen:

### Literatur:

Kyrill von Gersdorff, Helmut Schubert, Kurt Grasmann: Flugmotoren und Strahltriebwerke 4. Auflage 2007, Bernard & Graefe Verlag, ISBN 3763761284.

Paul H. Wilkinson, Diesel Aviation Engines, 1940.

Prof. Stefan Zima, FH Gießen: Gescheiterte Motorkonzeptionen – ungeeignete Konstruktionen oder Wandel der Randbedingungen?, MTZ 11/1997.

Joe Escobar, A new piston engine for the Light Sport aircraft market , Artikel in Aircraft Maintenance Technology

### Internet:

zum Gemini 100  
<http://ppdgemini.com/>

zum Diesel Air 100  
<http://www.dair.co.uk/>

Geschichte des Zweitakt-Gegenkolbenmotors  
<http://www.gollemotor.ag/geschichte.htm>

PDF zum Jumo 205  
<http://www.enginehistory.org/Diesels/CH4.pdf>

Wikipedia Eintrag zum Jumo 205  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Junkers\\_Jumo\\_205](http://en.wikipedia.org/wiki/Junkers_Jumo_205)

Fotos historischer Flugzeuge  
<http://HistoricAircraft.org>

[Klaus.L.Schulte@klspublishing.de](mailto:Klaus.L.Schulte@klspublishing.de)

30. Oktober 2008



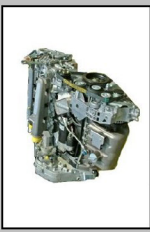


Typ	Hersteller	Motorbild	Motorbild	Motorbild	Motorbild	Motorbild
<b>Flugdiesel-triebwerke</b> Stand: Nov. 2008						
	<b>Gemini 100/125</b> Powerplant Develop. Ltd., U.K.	<b>Centurion 2.0</b> Thielert Aircraft Engines *)	<b>AE 300</b> Austro Engines, Austria	<b>DH 160A4</b> Deltahawk, USA	<b>SMA SR 305-230</b> SMA Safran Group, Fr.	
	100 / 125 Jet A1, Diesel 0,181 / k.A. 0,753 / k.A.	135 @ 3.900 rpm Jet A1, Diesel 0,163 0,993	168 @ 3.880 rpm Jet A1 0,146 (laut AE Datenblatt) 1,101	160 @ 2.700 rpm Jet A, Jet-A1, JP-5, JP-8, Diesel, Biodiesel 0,177 0,927	230 @ 2.200 rpm Jet A, Jet A1 k.A. 0,848	
	Gegenkolbentriebwerk, liegend Arbeitsverfahren Zweitakt-Diesel 3 (6 Kolben) 68,7 x 72	Reihenmotor Viertakt-Diesel 4 83 x 92 1.991	Reihenmotor Viertakt-Diesel 4 83 x 92 1.991	V4-Motor, hängend od. stehend Zweitakt-Diesel 4 101,6 x 101,6 3.310 (202 cu in.)	Boxermotor Viertakt-Diesel 4 126 x 100 4.988 (304,39 cu in.)	
	Verdichtungsverhältnis k.A.	18:1 k.A.	18:1 k.A.	19:1 k.A.	15:1 k.A.	
	<b>Abmessungen und Gewicht</b>					
	Breite [cm] 57,6	79,6	k.A.	59,5	92,9	
	Höhe [cm] 40,0	63,6	k.A.	52,6	75	
	Länge [cm] 55	81	k.A.	81,8	82	
	Trockengewicht [kg] 75,3 / k.A.	134	165 (nass)	148	195	
	<b>Motorsysteme</b>					
	Elektrisches System 12V / 45A (Standard) (24V opt.)	14V (28V opt.) elektr. Common Rail Hochdruck	14V (28V opt.) elektr. Common Rail Hochdruck	28V / 60A (opt. 100A, 200A) mechanisch, Hochdruck	k.A. k.A.	
	Motor Kühlung Wasserkühlung	Wasserkühlung	Wasserkühlung	Wasserkühlung	Luft/Öl-Kühlung	
	Motor schmierung Trockensumpf	Trockensumpf	Trockensumpf	k.A.	k.A.	
	Aufladung Getriebelader/ Turbolader	Abgasbolader	Abgasbolader	Abgasbolader	Abgasbolader	
	<b>Propellerantrieb</b>					
	Getriebeunterzung 1,60	1,69	1,69	1 (direct drive)	1 (direct drive)	
	Max. Propellerdrehzahl [U/min] 2.500	2.300	2.296	2.700	2.200	
	<b>Anschaffungskosten</b>					
	Preise soweit verfügbar Gemini 100: ca. 18.000 US\$ Gemini 125: ca. 23.500 US\$	Triebwerk: ca. 26.000 € (2006) Retröfitkit: ca. 40.000 € (2006)	noch nicht bekannt	Triebwerk: 23.500 US\$ (2005) in USA ca. 85.000 US\$	Komplettumbaupreis: ca. 80.000 €, in USA ca. 85.000 US\$	
	<b>TBO-Zulassung</b>					
	TBO [h] 2000 (Plan)	1.000 h list (2.400 h Plan) zurzeit Getriebeinspektion alle 300 h	1.000 h (Start) 2.400 h (Plan)	2.000 (Plan)	2.000 (3.000 h Plan)	
	Zulassung EASA k.A.	August 2006 (Centurion 2.0)	Dezember 2008 (Plan)	k.A.	April 2001	
	Zulassung FAA November 2008 (S-LSA)	November 2003 (Centurion 1.7)	k.A.	k.A.	April 2001	
	Anzahl zert. Triebwerke geliefert 0	ca. 2.000	0	0	ca. 50 (16 in USA)	
	Anwendungen und sonstige Bemerkungen für LSA-Markt z.B. Evaluierungen: für Tecnam Eaglet, turboaufgeladener Gemini 125 für Tecnam Twin 2006T, ferner 200 PS und noch stärkere Versionen in Zukunftsplanung	einzig in großen Stückzahlen produzierter Flugdiesel weltweit, eingesetzt bei DA40 und DA42, Robin 135 CDI, retröfits für C172, PA28 und DR 400 *) Zukunft unklar wg. Insolvenz	geplanter Ersatz von Diamond Aircraft für Centurion Triebwerke bei DA40 und DA42. Triebwerk steht kurz vor der EASA Zulassung	zurzeit in der Entwicklung für den Kiplane Markt, z.B. für Velocity, RV u.a.; Triebwerk soll 2008 verfügbar werden, FAA Zertifizierung erst später geplant, weitere Versionen mit 180 und 200 PS	Maule M9-230, Cessna 182 retröfits, Cessna 182 Q und R mit SR305 FAA- Zertifiziert seit Juli 2006	

Abbildung 13: Flugdieselmotoren im Vergleich (Tabelle: KLSP)



Abbildung 1: Gegenkolbendiesel mit Karbon-Aluminium-Kolben (Fotos: 3sat Sreenshots)

## Zwei Gegenkolbendiesel aus deutschen Landen im Entwicklungsstadium

Im Rahmen unserer Recherchen zum Thema Gegenkolbenflugdiesel stießen wir auf zwei weitere Gegenkolbenmotoren aus deutschen Landen. Allerdings sind beide Motoren noch ein Stück weit weg von Zulassung und Serienproduktion, weshalb wir sie hier in einem getrennten Beitrag behandeln wollen.

### Laukötter GKM 1200/1400

Einen interessanten Einstieg zum Laukötter Gegenkolbendiesel findet man bei YouTube (siehe YouTube-Beitrag unter Quellen). Tatsächlich handelt es sich bei diesem Bericht um einen etwa fünfminütigen Beitrag der Techniksendung NANO in 3sat vom Oktober 2007. Vorgestellt wird ein Gegenkolbendiesel nach dem Junkers-Prinzip mit zwei Zylindern und 4 Kolben, mit 1.200 cm<sup>3</sup> und ca. 95 PS (70 kW) mit einem Gewicht von etwa 80 kg.

Das Triebwerk mit Namen GKM 1200 entstand im Rahmen eines Joint Ventures zwischen IVM Automotive und der Laukötter Dessau GmbH, wobei IVM Automotive als Unternehmen, das hauptsächlich von Entwicklungsaufträgen aus der Automobilindustrie lebt, Ende der Neunziger Jahre mit einigen Praktikanten und Diplomanden an einem Kleinwagenprojekt für den asiatischen Markt arbeitete. Laukötter entwickelte hierfür das kostengünstige und sparsame Triebwerk und entschied sich damals für die Bauweise als Gegenkolbendieselmotor. Die in Dessau be-



Abbildung 2: GKM 1200 (Foto: Laukötter GmbH)

heimatete Laukötter GmbH, die im Internet gelegentlich auch als Laukötter / Diesel Air GmbH auftaucht, hat übrigens mit der englischen Firma Diesel Air absolut nichts zu tun.

Hergestellt wurden zunächst wohl nur zwei Prototypen. Die Laukötter GmbH ist spezialisiert auf Druckgussverfahren insbesondere beim Magnesiumdruckguss und stellt hierfür Produktionsmaschinen her. Die Firma hat bei der Herstellung der Prototypen ihr Wissen in Sachen Leichtbau eingebracht. Entstanden ist für den GKM 1200 ein sehr leichtes Motorgehäuse aus Magnesiumdruckguss. Bei einem weiteren Punkt war man innovativ, nämlich in puncto Kolbenherstellung. Wie bereits im Beitrag "Gegenkolbenflugdiesel – zurück in die Zukunft" dargelegt, ist einer der Problemzonen des Gegenkolbendiesels die extrem hohe thermische Beanspruchung der Kolben, insbesondere der Kolben auf der Auslassseite.

Man beschritt deshalb bei der Kolbenherstellung neue Wege und verbaute statt der herkömmlichen Kolben aus einer Aluminiumlegierung solche aus Karbon-Aluminium. Lieferant war die Firma CARMAG ebenfalls aus Dessau, wo man sich den Themen der Veredlung von Kohlenstoff und der Materialherstellung von Kolben verschrieben hat. Carmags Kolben werden unter anderem auch im Rennsport z.B. bei KTM verwendet. Abb. 1 zeigt den Unterschied. Dort wo ein traditioneller Kolben bereits wegschmilzt, bleibt der Karbon-Aluminium-Kolben ungerührt in seiner Form.

Rudi Hackel ist Geschäftsführer von Fläming-Air am Flugplatz Oehna, Hersteller des Ultra-

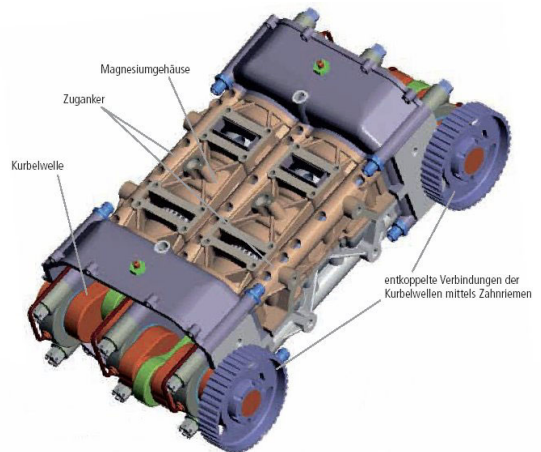


Abbildung 3: CAD-Entwurf des GKM 1200



Abbildung 4: GKM 1200 im Ultraleichtflugzeug Smaragd (Foto: 3sat Screenshot)

leichtflugzeuges Smaragd. Im Rahmen der Entwicklung des GKM 1200 hatte sich Hackel damals bereit erklärt, bei den Flugtests des Gegenkolbendiesels zu unterstützen. Hierbei war sicherlich auch das Interesse für die mögliche spätere Nutzung in der Smaragd als besonders kostensparendes Triebwerk entscheidend. Wie man im Nanobeitrag verfolgen kann, hat Hackel im Jahr 2007 erste Taxitests mit dem in einer Smaragd eingebauten GKM 1200 unternommen. Es kam allerdings nie zu richtigen Flugtests, da das Ultraleichtflugzeug Smaragd wegen etlicher Flugunfälle stark in

die Kritik geriet. Dies führte in der Folge auch dazu, dass Laukötter das GKM-1200-Projekt auf Eis legte und der damalige Projektleiter Gerhard Heinz das Unternehmen verließ. Auch das Projekt von IVM Automotive wurde nach der Übernahme durch Semcon AB (Schweden) im April 2007 nicht weiter verfolgt und damit erloschen auch die Aktivitäten an diesem Triebwerk.

Solange es kein neues Interesse seitens eines anderen Flugzeugherstellers gibt, wird das Triebwerk als Flugzeugdiesel wohl nicht mehr weiter entwickelt werden. Die letzte Entwicklungsstufe hatte übrigens 1.400 ccm und leistete mit einem Eaton Getriebelader immerhin 112 PS bei 4.000 U/min.

Der Entwurf enthält ein paar gute Ideen, darunter das leichte Magnesiumgehäuse und die Karbonkolben. Die beiden Kurbelwellen über Zahnriemen mittelbar über die Abtriebswelle zu koppeln, erscheint dem Autor zumindest für einen Flugmotor doch ein wenig gewagt zu sein. Hier würde man sich eine konservativere Lösung mit einem thermisch stabilen und ölversorgten Untersetzungsgetriebe im Motorgehäuse wie beim Jumo wünschen.

Es gibt weiterhin Aktivitäten z. B. bei der Nutzung dieses Triebwerks als kleines Blockheizkraftwerk. Angeblich gibt es hierfür neue Interessenten. Der kleine Gegenkolbendiesel aus Dessau hat geschichtlichen Bezug, denn Dessau war früher auch Standort der Junkers Werke. Ob es das Triebwerk wie früher die Jumo-Gegenkolbendiesel jemals in die Luft schaffen wird, steht allerdings heute in den Sternen.

### Golle GKM 1000

Ein weiteres Gegenkolbendieselmotortriebwerk, das unter anderem auch zur Verwendung als Flugmotor in Ultraleichtflugzeugen konzipiert



Abbildung 5: Golle GKM 1000  
(Foto: Golle Motor AG)

wurde, ist der GKM 1000 der Golle Motor AG aus Dresden. Auch wenn die Namensgebung und die Bauweise als Zweizylinder-Gegenkolbendiesel ähnlich zum Laukötter-Triebwerk ist, handelt es sich um eine vollkommen andere Motorentwicklung.

Zunächst zu den Basisdaten. Der GKM 1000 hat zwei Zylinder, vier Kolben, einen Hubraum von 988 ccm und arbeitet nach dem Dieselmotortyp mit Gleichstromspülung. Es gibt einen Saugmotor und einen rein turboaufgeladenen Motor in der Entwicklung. Der Saugmotor soll 73 kW (99 PS), der Turbomotor 90 kW (122 PS) leisten. Der GKM 1000 soll als Entwicklungsziel ein Gewicht von ca. 50 kg (ohne Nebenaggregate) aufbringen. Neben den Prototypen aus Grauguss sind die Motoren nun auf Aluguss umgestellt. Dabei besteht das Gehäuse aus zwei einfachen Halbschalen, was einfache Gussstücke und einfache Montage ergibt.

Wie der Laukötter-Motor auch, verwendet man Karbon-Kolben, die man in diesem Fall von SGL Carbon aus Bonn bezieht. Der feine Unterschied besteht allerdings in der Tatsache, dass die Kolben des GKM 1000 trocken d.h. ohne Schmieröl laufen. Hierzu besitzt der Motor Kreuzgelenke (man kennt das von Dampfmaschinen), die gleichzeitig den per Hochdruck ölgeschmierten Kurbeltrieb von den Zylindern abdichten. Sie verhindern auch,

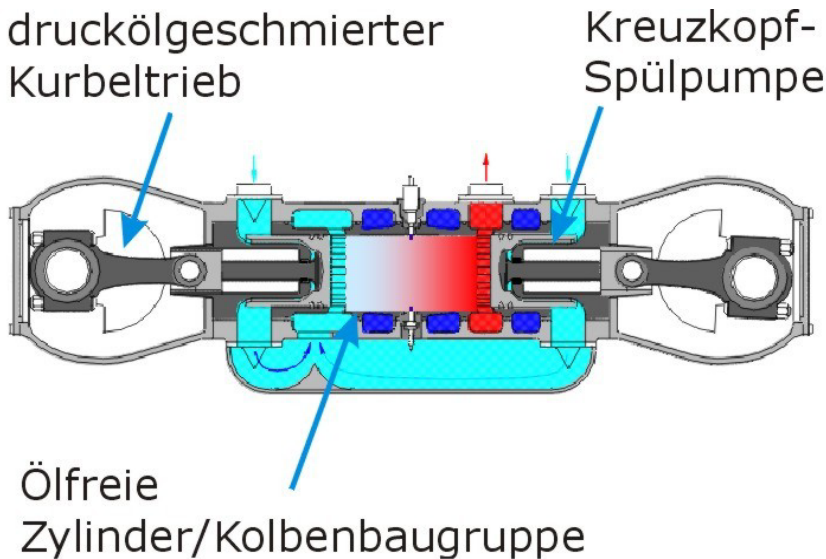


Abbildung 6: GKM 1000 Motorkonzept (Grafik: Dr. Weiss, Golle Motor AG)

dass an den Kolben seitliche Kräfte wirken. Die Kolben halten Temperaturen bis 2500 °C aus. Der Vorteil des Trockenlaufs liegt im vollkommen fehlenden Ölverbrauch. Zudem entfällt der typische Blaurauch des Zweitakters, der normalerweise durch die Mitverbrennung des Schmieröls im Zylinder entsteht. Der Golle-Motor verzichtet auf einen mechanischen Spüllader und nutzt stattdessen die Kolbenunterseiten als Spülpumpe für die Ladung der Zylinder. Für eine hohe Leistungsabforderung kommt ein Turbolader hinzu.

Als spezifischer Kraftstoffverbrauch wird 191 g/PS<sub>h</sub> bei der Saugmotorvariante und 184 g/PS<sub>h</sub> für die turbogeladene Variante genannt, beides bei 75 % Leistung. Das entspricht etwa einem Verbrauch von 21 Liter Jet A1 bei ca. 91 PS Dauerleistung (Turbo-motor).

Der GKM 1000 ist nicht primär als Flugmotor konzipiert sondern soll für ein weites Anwendungsspektrum taugen. Er ist deshalb für den Allstoffbetrieb ausgelegt und wurde

bereits mit Gas betrieben und auch mit Rapsöl getestet. In dem Zusammenhang kann es nicht wundern, zu erfahren, dass auch dieses Triebwerk als Herz eines Blockheizkraftwerks für Einfamilienhäuser erprobt wird (TU Ilmenau).

Auch der Golle-Motor hat bislang noch keinen Hersteller gefunden, der das Triebwerk als Flugmotor bis zur Serienreife bringen und zulassen will.

Vielleicht ist es auch ein wenig zu mutig, das innovative Konzept des Trockenlaufs als Erstes bei einem Flugmotor testen zu wollen.

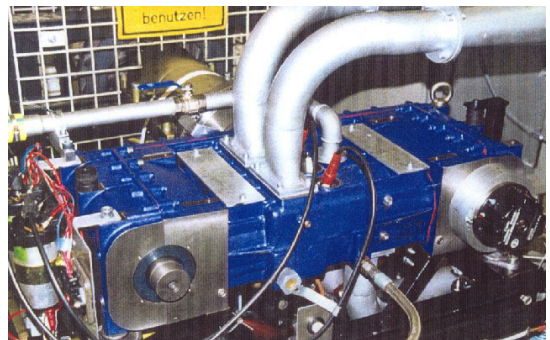


Abbildung 7: Golle Motor als BHKW (Foto: Dr. Weiss, Golle Motor AG)



Beide Motoren, Laukötter- und Golle-Motor, sind noch weit von irgendeiner Luftfahrtzulassung entfernt. Trotzdem ist es gut, dass es sie gibt. Man weiß ja nicht, was einem bei wieder steigenden Treibstoffpreisen so alles aus der Not helfen kann.

Vorausgesetzt, die Motoren sind irgendwann zugelassen und zuverlässig, ggf. auch etwas größer und leistungsstärker, dann sind diese Gegenkolbendiesel mit ihrer Sparsamkeit allemal eine Überlegung wert.

*Klaus.L.Schulte@klspublishing.de*

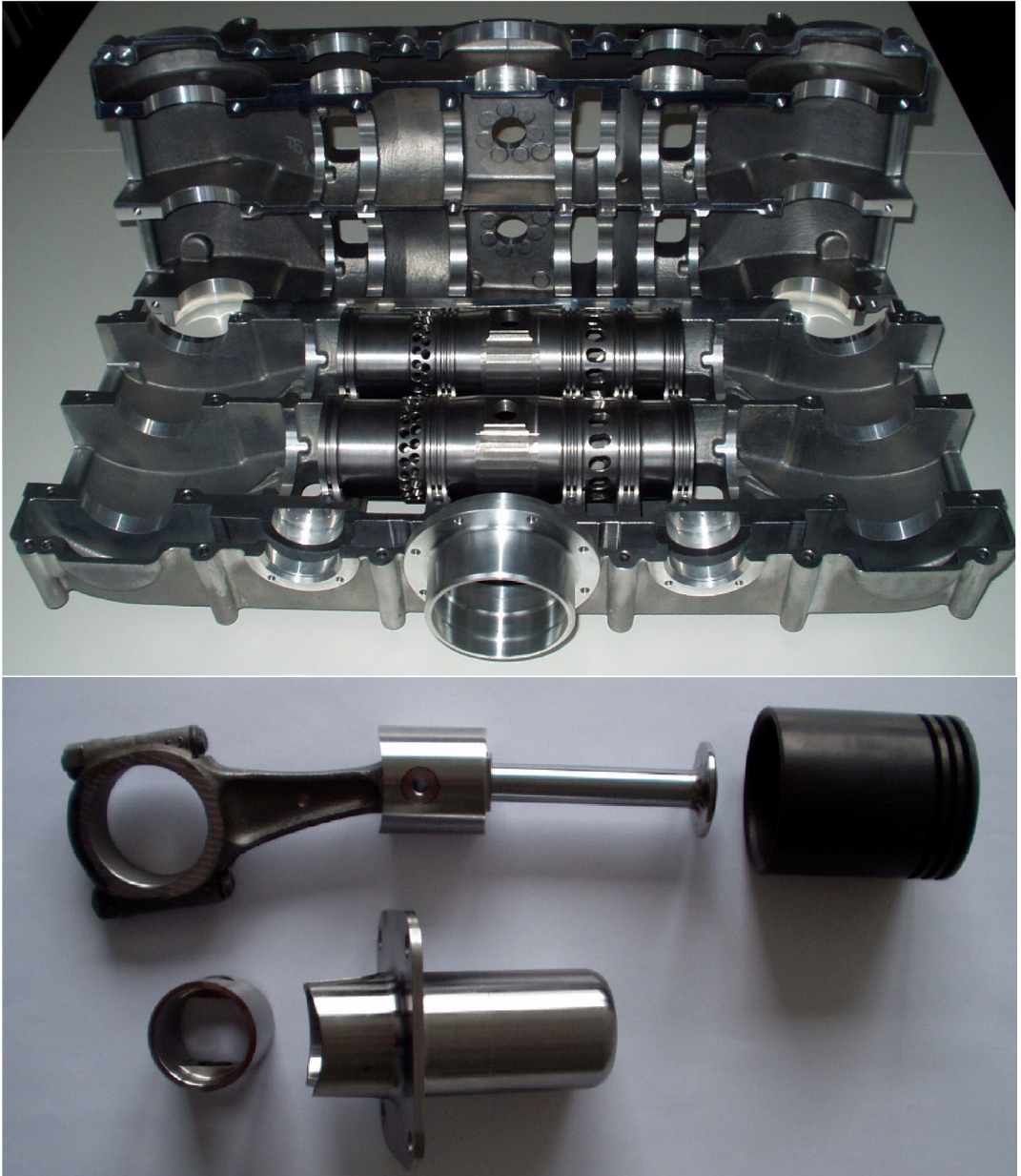


Abbildung 8a, 8b: Bauteile des Golle-Motors im Detail

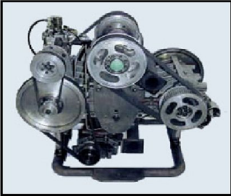
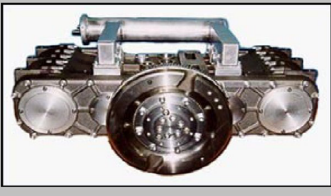
<b>Flugdiesel- triebwerke (Projekte)</b> Stand: Nov. 2008		
Typ	<b>GKM 1400 *)</b>	<b>GKM 1000-S1/S2</b>
Hersteller	<b>Laukötter Dessau GmbH</b>	<b>Golle Motor AG, Dresden</b>
Basisdaten		
Max. Leistung [PS (kW)]	112 (82) @ 4.000 U/min	99 (73) @ 5.000 / 122 (90) @ 5.800
Treibstoffsorten	Jet A1, Diesel	Jet A1, Diesel, u. a. (Allstoff-Motor)
Beste spez. Verbrauch [kg/PS <sub>h</sub> ]	0,188	0,191 / 0,184
Spez. Leistungsmasse [kg/PS]	ca. 0,71 (m. Nebenaggr.)	0,5 / 0,37 (ohne Nebenaggr.)
Motorleistungsdaten		
Motorbauart	Gegenkolbentriebwerk, liegend	Gegenkolbentriebwerk, liegend
Arbeitsverfahren	Zweitakt-Diesel	Zweitakt-Diesel
Anzahl Zylinder	2 ( 4 Kolben)	2 ( 4 Kolben)
Bohrung/Hub [mm x mm]	80 x 70	68 x 68
Hubraum [cm <sup>3</sup> ]	1.400	988
Verdichtungsverhältnis	k.A.	16:1
Abmessungen und Gewicht		
Breite [cm]	93	73
Höhe [cm]	71	25
Länge [cm]	69	30
Trockengewicht [kg]	ca. 80 (m. Nebenaggr.)	50 / 45 (ohne Nebenaggr.)
Motorsysteme		
Motorgehäuse	Magnesiumdruckguss	Aluminiumdruckguss
Einspritzsystem	Direkteinspritzung	elektr., Common Rail Technik
Motorkühlung	Wasserkühlung	Wasserkühlung
Motorschmierng	k.A.	Nasssumpfschmierung
Aufladung	Eaton M45 Getriebelader	ohne / Turbolader
Propellerantrieb		
Getriebeübersetzung	1,82	zurzeit 1:1 (anpassbar)
Max. Propellerdrehzahl [U/min]	2.200	anpassbar
Anschaffungskosten		
Preise soweit verfügbar	kein Verkauf	kein Verkauf
TBO, Zulassung		
TBO [h]	k.A.	k.A.
geplante Zulassung	UL/LSA (vorläufig eingestellt)	UL/LSA (offen)
Anzahl zert. Triebwerke geliefert	0	0
Anwendungen und sonstige Bemerkungen	Entwicklungsmotor, Flugmotor-Projekt wurde 2007 eingestellt, Aktivitäten bei anderen Anwendungen z.B. BHKW, *) Daten der letzten Entwicklungsstufe mit Getriebelader	Entwicklungsmotor, als Flugmotor und für andere Anwendungen konzipiert, derzeit noch kein Projekt für den Einsatz als Flugmotor vorhanden, Testläufe als BHKW

Abbildung 9: Die zwei Gegenkolben-Entwicklungstriebwerke im direkten Vergleich

**Quellen:**

Tom Sauerzapf: Junkers für Asien  
in edwin 02/2003 S.16-17.

<http://www.youtube.com/watch?v=Eoi7VIZfpg>

<http://www.laukoetter-dessau.de/>

<http://www.flaemingair.de/>

<http://www.ivm-automotive.de/>

<http://www.gollemotor.ag/>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Gegenkolbenmotor>

**Was ist ein e-Journ?**

Ein e-Journ ist ähnlich wie ein e-Book eine elektronische Publikation, nur dass es sich dabei wegen der geringeren Größe (minimal 2, maximal 30 Seiten) nicht um vollständige Bücher handelt, sondern um einzelne Bausteine ähnlich einem Kapitel in einem Buch oder einem journalistischen Beitrag in einer Zeitschrift.

K.L.S. Publishing e-Journs sind allesamt als Fachartikel für Luftfahrtmagazine oder als abgeschlossene Kapitel für Luftfahrtbücher entstanden.

K.L.S. Publishing bietet e-Journs als Einzelwerke zum Kauf an. So hat jeder Leser die Möglichkeit, einzelne Bausteine oder einzelne Artikel jeweils frei nach Interesse selbst zusammenzustellen. Hiermit kann der Leser flexibel eine eigene Wissensbibliothek aufbauen. Die Preise der E-Journs werden auf der Basis eines geringen Seitenpreises errechnet und sind damit kostengünstig im Vergleich zu Büchern.

K.L.S. Publishing, Köln

<http://klspublishing.de/>