

Von der Aufspaltung in leichte und schwere Propellerturbinen

Als mit dem Reihen-Stern-Motor Jumo 222 der Gipfelpunkt der Kolbenmotor-Ära 1940 erreicht wurde, war dies zugleich der Anfang vom Ende der leistungsstarken Kolbenmotoren überhaupt. Das Strahltriebwerk machte dem Kolbenmotor ab sofort Konkurrenz. Bald darauf erschien auch

noch die Propellerturbine, die durch hohe Startschübe und geringeren Kraftstoffverbrauch wiederum eine echte Alternative zum Strahlantrieb darstellte. Manche Ingenieure wollten nun generell den Kolbenmotor durch das PTL ablösen, ein anderer Teil nur höhere PS-Zahlen erreichen.

Wenn Ingenieure am Anfang einer völlig neuen Entwicklungslinie stehen, dann stehen ihnen meistens viele Wege offen. Welcher Weg der sicherste, kürzeste oder schnellste ist, stellt sich dann oft erst im Vorwärtsschreiten heraus. So auch beim PTL.

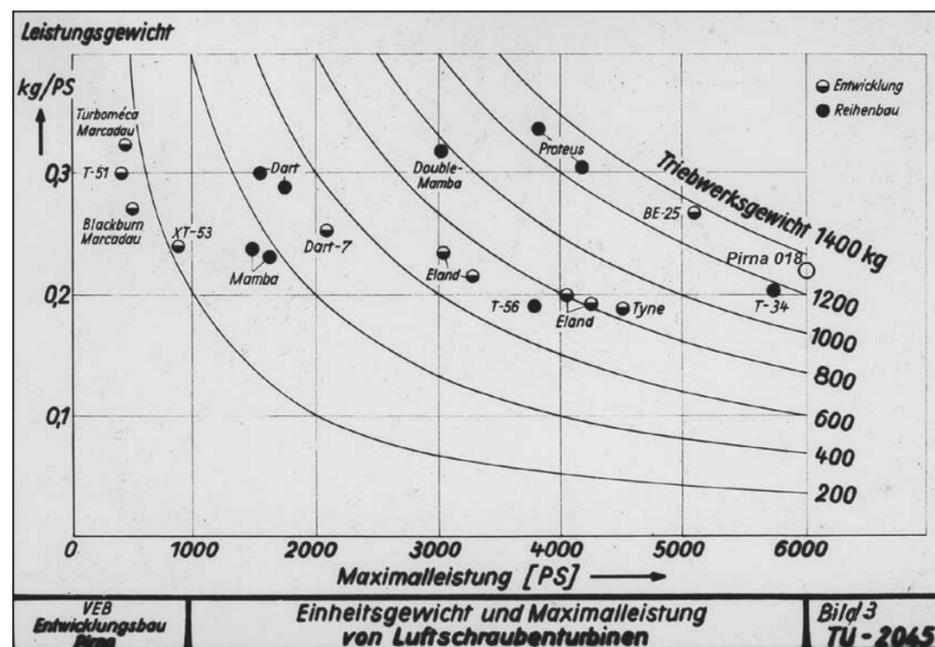
Bei Junkers und BMW in Deutschland richteten sich die Blicke 1944 auf große leistungsstarke Propellerturbinen, weil nur so völlig neuartige Flugzeugmuster entwickelt werden konnten, mit denen der Krieg vielleicht doch noch zu gewinnen war. Junkers konzipierte daraufhin das 4.600 PS starke Jumo 022 auf Basis des Jumo 012. BMW wollte mit seinem aus dem TL 018 abgeleiteten PTL BMW 028 sogar 6.570 PS erreichen.

In England dachte man zu dieser Zeit bereits an den Frieden und seine Erfordernisse. Natürlich faßte man auch hier Motoren mit mehr als 3.500 PS ins Auge. Auf der anderen Seite war man aber auch von der hohen Leistungsdichte der Propellerturbine beeindruckt. So konnte man aus einem 400 kg leichten Triebwerk die beachtliche Leistung von rund 2.000 PS herausholen. Kolbenmotoren dieser Leistungsklasse wogen mehr als 1.000 kg. Gerade für Kurzstreckenflugzeuge bot sich hier die Substitution des Kolbenmotors durch das PTL an.

In den USA und der Sowjetunion gab es 1944 noch keine PTL-Entwicklungen, und die französische Luftfahrtindustrie arbeitete zu diesem Zeitpunkt noch für die deutsche Seite.

Am Kriegsende dann setzte eine sehr stürmische Entwicklung auf dem Gebiet der Propellerturbine ein. Die Flugzeughersteller favorisierten das PTL gegenüber dem TL, weil mit dem PTL höchste PS-Zahlen schon bei geringen Verdichterteleistungen und Druckverhältnissen zu erzielen waren. Was war der Grund?

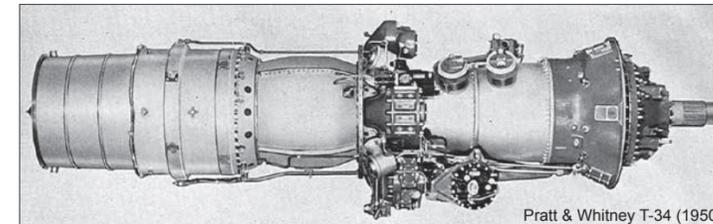
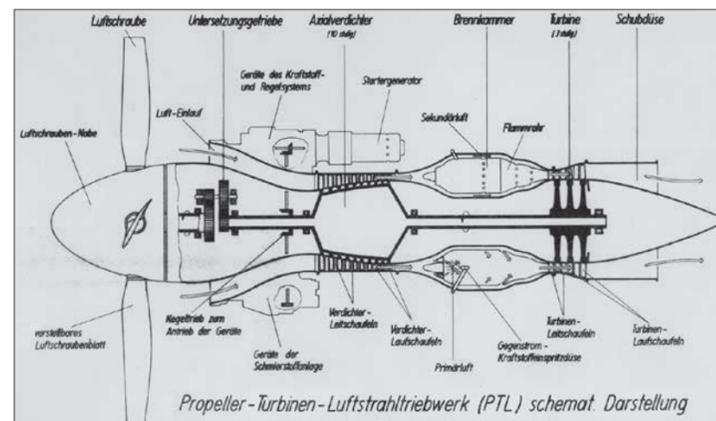
Der Luftdurchsatz pro Sekunde durch den Verdichter steht quasi für den Hubraum eines Kolbenmotors. Je größer ein Hubraum, desto größer wird das Drehmoment des Motors. So auch beim PTL. Nehmen wir wieder den besten Kolbenmotor aller Zeiten – den Jumo 222. Der war ein Viertaktmotor und besaß einen Hubraum von 46,6 l. Bei einer Drehzahl



Vom Leistungsgewicht eines Triebwerkes hängen wesentlich die späteren Flugleistungen eines neuen Flugzeugmusters ab. Um im internationalen Wettbewerb zu bestehen, befaßte sich der Entwicklungsbau in Pirna eingehend mit den Entwürfen fremder Turbinenhersteller. (Die Lehrtafeln oben und rechts entsprechen voll und ganz der Junkers-Tradition, wo bekanntlich die berühmte Junkers-Lehrschau alle Facharbeiter und Ingenieure sowie das Verwaltungspersonal seit 1920 mit ihren Lehrtafeln und Ausstellungsstücken in einem fort zum Lernen animierte). Wir sehen oben alle bekannten PTLs der 50-er Jahre. PTLs lassen sich allerdings nur schlecht vergleichen, wenn die konkreten Flugzustände nicht bekannt sind.

von 2.900 u/min wurden am Boden bei einem Luftgewicht von 1,23 kg/m³ rund 0,69 kg/s Luft durchgesetzt (ein gleichgroßer Zweitaktmotor würde doppelt so viel Luft durchsetzen). Das Gewicht des Jumo 222 A/B betrug 1.084 kg. Das nur 720 kg schwere TL Jumo 004 besaß einen Luftdurchsatz von 21,0 kg/s. Aber im Gegensatz zum Kolbenmotor nimmt

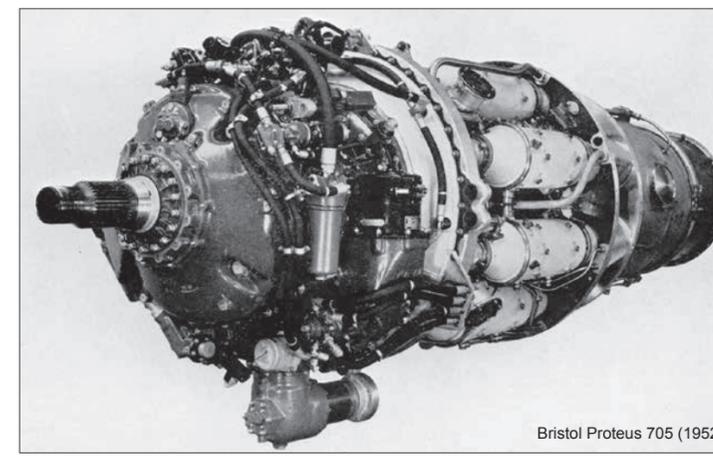
beim Strahlmotor nur ein geringer Prozentsatz der Luft am Verbrennungsprozeß teil. Die Luftüberschubzahl Lamda des TL 004 betrug 2,96, das heißt, von den 21 kg Luft nahmen nur 7 kg an der Verbrennung teil. Der größte Teil sorgte für eine Herabsetzung der Gastemperatur auf ein solches Maß, das Brennkammer, Turbine und die Schubdüse vertru-



Pratt & Whitney war der erste us-amerikanische Hersteller, dem es gelang, ein leistungsstarkes PTL zu bauen. 1950 erschien das T-34 mit rund 5.000 äPS, das in zwei L-749 (R7V-2) als Ersatz für das TC-18 getestet und für ungeeignet befunden wurde. in den Anfangsjahren – also von 1944 bis etwa 1960 – so vielfältig wie die Herstellerwerke. Neben Junkers in der Sowjetunion war das erste Flugmotorenwerk der Welt, Rolls-Royce, führend beim Bau von PTLs. Bereits 1945 lief in England das PTL RR Trent. Es war einfach ein Radialstrahltriebwerk Derwent mit einem Propeller ausgestattet wor-

Typen-Bezeichnung	Ein-satz-jahr	Trieb-werksart	Bauweise von Verdichter und Turbine	Äquiva-lent-Well-lenleist.	spez. Kraftstoff-verbr.	Drehzahl Triebwerk	Prop.-Dreh-zahl	Druck-ver-hältnis	Luft-durch-satz	Turb.-ein-tritt-stemp.	Trocken-gewicht	größter Durch-messer	Einheits-gewicht	Bemerkungen
Firma/Typ		Wellen-zahl	Nieder-/Hoch-druckstufen	N _{av} [aPS]	b [kg/PSH]	n [u/min]	n _{prop} [u/min]	π	m _l [kg/s]	T ₄ [°K]	G [kg]	d [m]	G/N _{av} [kg/PS]	eingebaut in folgende Flugzeuge
Rolls-Royce Trent	1945	1-W-PTL	1Rv-2Ht	~2.000		14.700		4,0	29,0		ca. 800	1,10		aus RR Derwent entwickelt
Bristol Theseus 501	1948	2-W-PTL	8Hv+1Rv-1/1Ht	2.220	0,392	8.200					1.000	1,37	0,45	Vorläufer des Proteus
Armstrong-S. Mamba I	1948	1-W-PTL	10Hv-2Ht	1.140	0,324	15.000	1.450	5,0	6,2	1.153	362	0,74	0,32	Breguet Vultur
Rolls-Royce Dart 3	1949	1-W-PTL	2Rv-2Ht	1.400	0,341	14.500	1.537	5,5	8,2	1.123	421	0,98	0,30	Viscount, Fokker F-27
Bristol Proteus 2 (625)	1949	2-W-Um-kehr-PTL	12Hv+1Rv-2Ht/1Ft	3.563	0,312	10.000 10.700	840	7,2	20,4		1.452	0,99	0,41	Flugboot S. Roe Princess, Bristol 167 Brabazon II
Junkers Jumo 022	1950	1-W-PTL	14Hv-3Ht	5.000	0,320	7.700	1.117	6,0	30,0	1.028	1.650	1,05	0,33	Tu-91, Ka-22, An-8, Mi-6
Pratt & Whitney T-34	1950	1-W-PTL	13Hv-3Ht	5.550	0,286	13.820	1.245	6,7			1.175	0,86	0,21	Douglas C-133, R7V-2
Allison T-38	1951	1-W-PTL	19Hv-4Ht	2.763		14.300		6,3			700	0,51	0,25	Convair 340 Prototyp
SNECMA TB 1000	1950	1-W-PTL	9Hv-2Ht	1.520	0,315	15.000	1.635				400	0,70	0,24	aufgegeben
Kusnezov NK-4	1952	1-W-PTL	6Hv-3Ht	4.000	0,241	15.000	1.158	9,0	21,0	1.573	970	0,93	0,24	Prototypen IL-18 u. AN-10
Kusnezov NK-12	1953	1-W-PTL	14Hv-5Ht	12.000	0,225	8.250	750	9,0	60,0	1.150	2.300	1,15	0,19	Tu-95, Tu-114, AN-22
Iwtschenko AI-20M	1956	1-W-PTL	10Hv-3Ht	4.250	0,280	12.300	1.075	7,4	20,4	1.060	1.075	0,84	0,25	IL-18, AN-10, AN-12
Iwtschenko AI-20D	1959	1-W-PTL	10Hv-3Ht	5.180	0,235	12.300		7,92	22,0	1.250	1.075	0,84	0,21	An-8, für 153A vorgesehen
Allison T-56 (zivil A.501)	1954	1-W-PTL	14Hv-4Ht	3.750	0,207	13.820	1.020	9,3	14,5	1.240	998	0,80	0,26	L-Hercules, Electra, Orion
Pratt & Whitney T-57	1956	2-W-PTL		15.000	0,249			ca. 13	ca. 80		2.994		0,20	techn. Probleme 1957 gestr.
Bristol BE.25 Orion	1957	2-W-PTL	7Nv/5Hv-1Ht/3Nt	5.150	0,293	10.000 9.020	908	10,0	37,2	1.035	1.429	1,06	0,27	vorgesehen f. Super-Britannia 187, 1959 aufgegeben
Rolls-Royce RB.109 Tyne 1 Mark 506	1957	2-W-PTL	6Nv/9Hv-1Ht/3Nt	4.785	0,233	18.000 15.250	976	13,0	18,0	1.140	1.007	1,03	0,21	Vickers Vanguard, Canadair CL-44, C-160 Transall
Pirna (Jumo) 018	1959	1-W-PTL	13Hv-4Ht	5.000	0,245	13.400	1.012	10,0	31,5	1.000	1.300	1,02	0,26	Dresden-153, 1959 aufgeg.
Progress D-27	1993	3-W-PTL	5Nv-2Hv-2Rv-1Ht-1Nt-4Lt	14.000	0,170 0,112		1.200 850 i.F.	30,2		1.665	1.650	1,37	0,12	Antonow AN-70
TP 400-D-6	2008	3-W-PTL	1P/5Mv/6Hv-1Ht-1Mt-3Nt	11.150	ca. 0,2	18.396 10.390 8.500	842	25,0	26,3	1.873	1.860	0,92	0,17	Airbus A-400M

Rv: Radialverdichter (Impeller); Hv: Hochdruckverdichter; Nv: Niederdruckverdichter; Ht: Hochdruckturbine; Mt: Mitteldruckturbine; Nt: Niederdruckturbine; Lt: Luftschraubenturbine;



Einen sehr guten Überblick zu den Propellerturbinen der Anfangsjahre gibt obige Aufstellung. Zur besseren Einordnung der Triebwerke sind die beiden leistungsfähigsten Triebwerke von heute, das russische Progress D27 für die An-70 und das westliche Airbus Triebwerk TP 400 mit aufgeführt. Das TP 400 ist gegenüber dem D27 in wirklich jeder Beziehung schlechter.

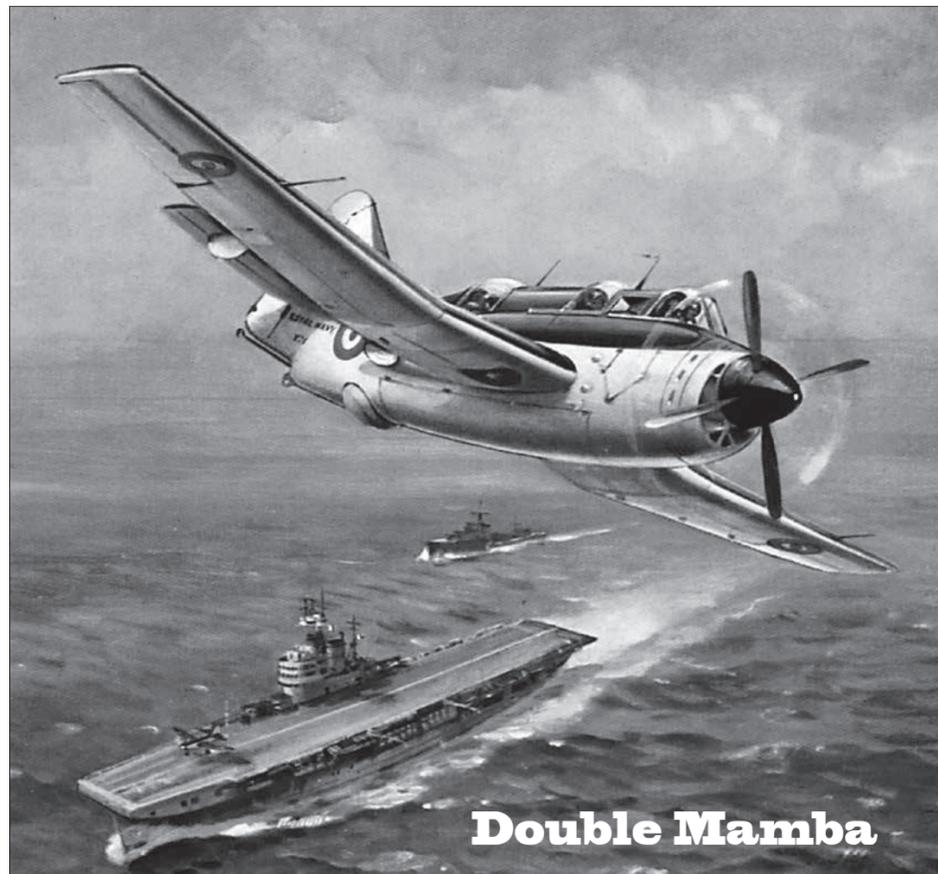
den. An diesem nur für Versuchszwecke gebauten PTL studierten die RR-Ingenieure den Einfluß des Propellers auf das Drehzahlverhalten des Triebwerkes, um die Regelcharakteristik an die veränderten Belastungen anzugleichen. Dieses so früh erworbene Wissen nutzte Rolls-Royce für sein späteres Erfolgsmodell "Dart", das alle mit ihm ausgestatteten Flugzeuge ebenfalls zum Erfolgsmodell machte. Sowohl das Trent als auch das Dart zählten zu den leichten Propellerturbinen. Rolls-Royce baute aber auch ein schweres PTL – das Tyne – das unter anderen wirtschaftspolitischen Voraussetzungen zu einem riesigen Erfolg wie die PTL's in der Sowjetunion hätte werden können, nämlich dann, wenn im Westen Kraftstoffverbrauch und Ökonomie statt pure Geschwindigkeit im Vordergrund des Interesses gestanden hätten. So aber wurde die Vanguard 950 zu einem nicht erwarteten Ladenhüter. Was aber ist nun das Kriterium bzw. die Grenzlinie für die Einordnung als "leichte" oder "schwere" Propellerturbine? Das Trockengewicht ist es auf jeden Fall nicht. Denn dann müßte das Tyne

gen. Hätte man das relativ schwache Jumo 004 dennoch zu einer Propellerturbine umgebaut, wäre man auf dieselbe Leistung von 2.500 PS gekommen wie beim Jumo 222, wobei das Verdichtungsverhältnis des TL nicht mal die Hälfte des Kolbenmotors betragen hätte (3,1 zu 6,5). Die kontinuierliche Arbeitsweise der Strahltriebwerke war al-

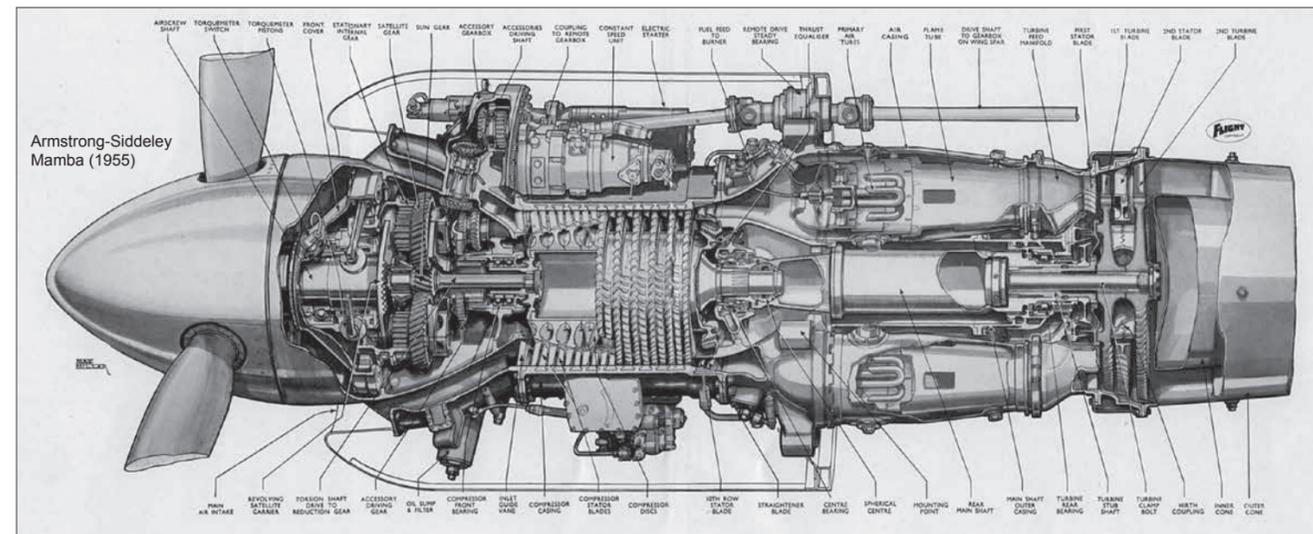
so der in Takte geteilten Arbeitsweise der Kolbenmotore von Anfang an überlegen. Und eben deshalb war das Interesse der Entwickler am PTL so groß. Wie es am Anfang einer neuen Entwicklung immer ist, "führen viele Wege nach Rom". So auch beim PTL. Die Bauweisen wie auch die Entwicklungsziele der neuartigen Propellerturbinen waren

mit seinen 970 kg zu den leichten PTLs gerechnet werden. Es ist natürlich die Äquivalentleistung, also die Wellenleistung plus die in Leistung umgerechnete Restschubkraft, die wie bei einem TL aus der Schubdüse austritt. Der sogenannte Restschub ist notwendig, weil es ohne diesen keinen ausreichenden Gasfluß durch das Triebwerk gäbe, weshalb ein PTL dann stehen bleiben würde.

Die eigentliche Grenze zwischen beiden Triebwerksklassen bestimmt komischerweise die letzte und höchste Leistungsklasse der Kolbenmotoren. Diese lag bei rund 3.500 PS. Die Turbo-Compound-Motoren von Wright für die Constellation und die DC-7 gehörten zu dieser Motorkategorie wie auch der Pratt & Whitney Major Wasp für die B-50 und B-377. Beide Triebwerke erreichten eine Leistung von 3.500 PS am Boden sowie 2.200 PS in 6 km Höhe. In der Sowjetunion gab es einen Kolbenmotor, der sogar 4.000 PS leistete, und auch der schon mehrfach erwähnte Junkersmotor Jumo 222 sollte als 6-Stern-Motor Jumo 225 etwa 4.500 PS leisten. Alle genannten Motoren waren hoch aufgeladen, um große Höhenleistungen zu erreichen. Selbst beim Wright TC-18, dessen Turbolader mit der Höhe immer effizienter lief, schluckte die Aufladung in etwa 40 % der Motorleistung, ein kaum noch zu vertretender Wert. Lange Rede, kurzer Sinn: Bei 3.500 PS war beim Kol-



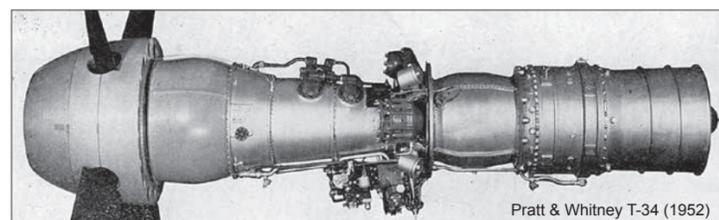
Double Mamba



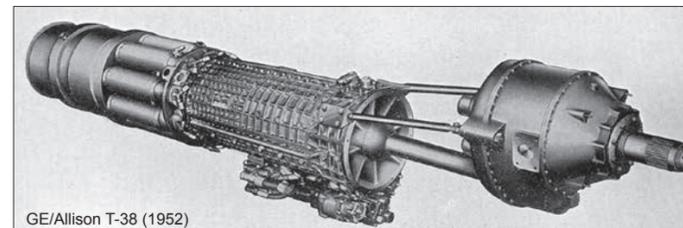
benmotor endgültig Schluß. Noch stärkere Motoren zu entwickeln, lohnte sich nicht mehr, zumal die Störanfälligkeit in einem Ausmaß zugenommen hatte, daß die Super-Connies bei jedem dritten Atlantikflug mit einem zwangsweise stillgelegten Motor auf der anderen Seite ankamen. Da sich die Propellerturbine als Ersatz für solche hochbeanspruchten Motoren förmlich aufdrängte, war's nur verständlich, daß die Entwickler eine Grenze bei 3.500 PS zogen und alle Turbinen über dieser Grenze als schwer und alle darunter als leicht bezeichneten. Das war insofern auch logisch, weil die PTLs über 3.500 PS an das Gewicht

der Turbo-Compounds (1.600 kg) meist heranreichten, die Turbinen aber unter 3.500 PS stets leichter waren, als ihre gleichstarken Kolbenmotorvertreter. Wie verlief nun diese gegensätzliche Entwicklung der schweren und leichten PTLs? Der 1945 führende Turbinenhersteller Junkers kam durch das Bauverbot für Flugzeuge ins Hintertreffen. Die Verlagerung des Junkerskonzerns in die Sowjetunion umging zwar das Bauverbot, es ließ die Junkers-Ingenieure aber

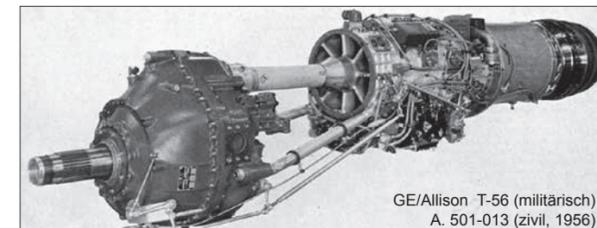
der Turbo-Compounds (1.600 kg) meist heranreichten, die Turbinen aber unter 3.500 PS stets leichter waren, als ihre gleichstarken Kolbenmotorvertreter. Wie verlief nun diese gegensätzliche Entwicklung der schweren und leichten



Pratt & Whitney T-34 (1952)

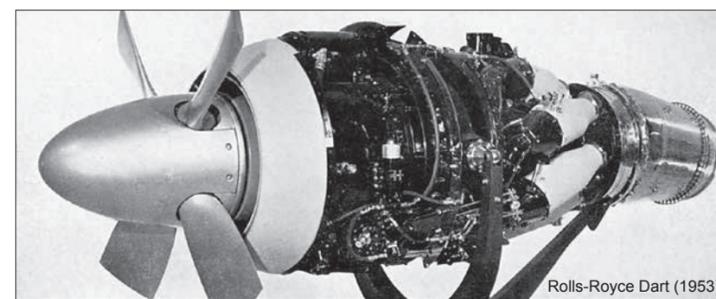


GE/Allison T-38 (1952)

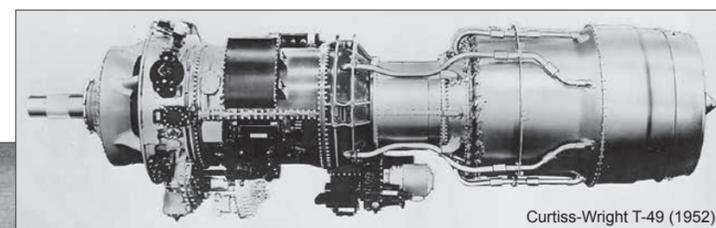


GE/Allison T-56 (militärisch) A. 501-013 (zivil, 1956)

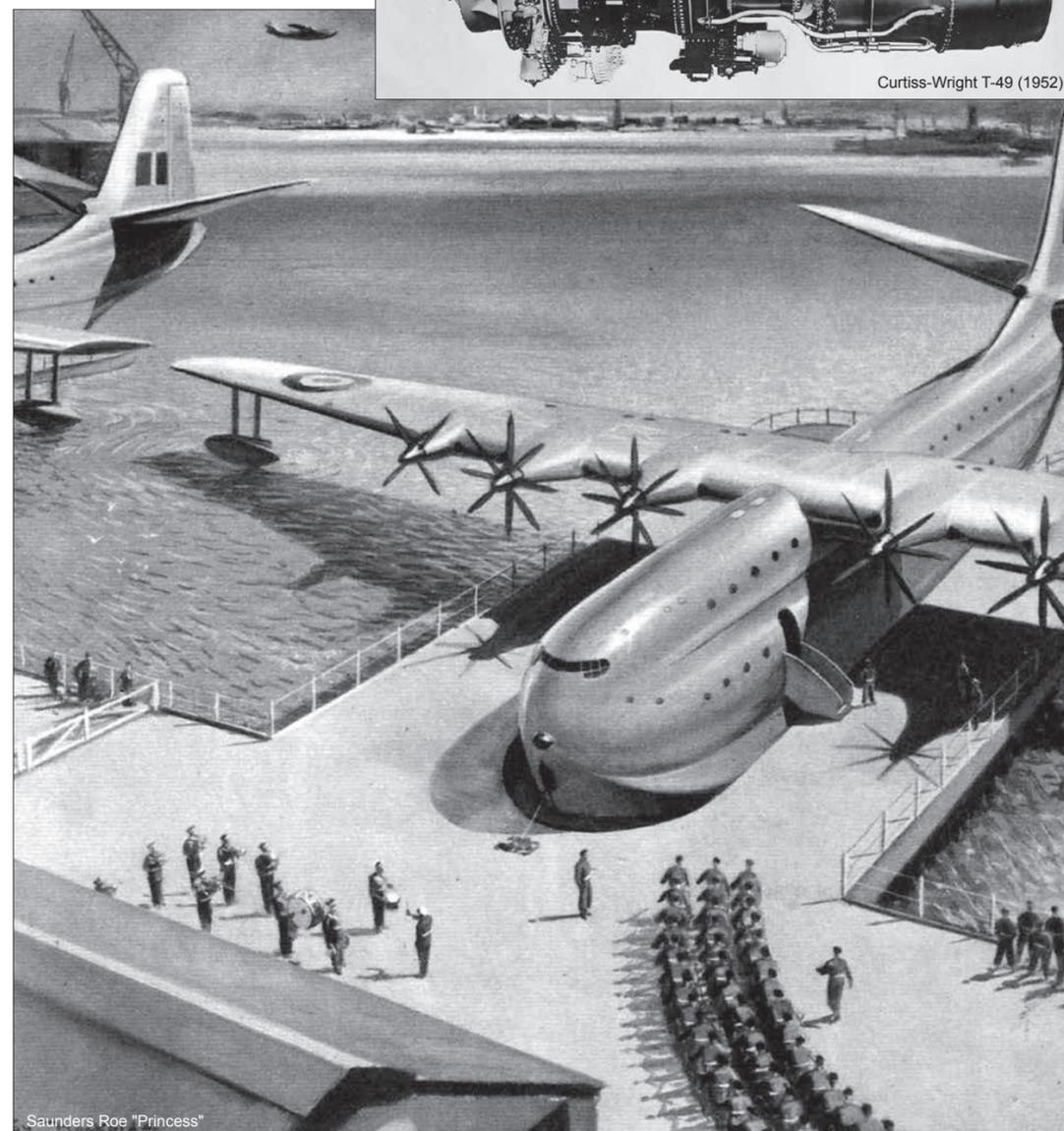
"im eigenen Saft schmoren", besonders was die Vorlaufforschung betraf. Rolls-Royce in England holte mit dem ersten englischen Axial-TL Avon bis 1950 auf. Noch schneller konnten die US-Hersteller General Electric und Pratt and Whitney in den Jahren bis 1950 nachziehen. GE und P&W überflügelten ab 1952 mit ihren gewaltigen industriellen Möglichkeiten die Engländer. Als P&W 1952 das zweiwellige Axial-TL J-57 herausbrachte, hatte P&W mit der englischen Firma Bristol und ihrem Olympus gleichgezogen. Das J-57 wurde in der B-52 und B-70700 eingebaut, das Olympus in der Avro Vulcan und später in der Concorde. Im Vorteil war zu dieser Zeit nur Rolls-



Rolls-Royce Dart (1953)



Curtiss-Wright T-49 (1952)



Saunders Roe "Princess"

Die beiden oberen General-Electric-PTLs weisen eine Besonderheit auf: Der Gaserzeuger ist vom Getriebe getrennt. Das hat den Vorteil, daß der Gaserzeuger sehr klein und damit leicht gehalten werden kann. Das Getriebe aber wird durch die hohen Drehzahlen umso schwerer, außerdem kommt es zu Einlaufproblemen der Strömung und manchmal auch Schwingungsproblemen. Das Airbus TP-400 greift auf diese "gewichtssparende" Bauweise zurück und erlebt beständig ihr Waterloo.

Das Rolls-Royce Dart war in allen seinen Varianten recht erfolgreich. Es war leicht. Es war einfach. Es war aber vor allem extrem ausfallsicher. Das Dart war das erste PTL, das sichere Kolbenmotore noch überflügelte.

Das T-49 mit 10.400 PS war eines jener Triebwerke, die relativ bedeutungslos blieben.

Großbritannien und sein Brabazon-Komitee – die unendliche Geschichte einer senilen Altherrenrunde, die dem Empire nach 1945 zu alter Gloria verhelfen wollte. Die beiden "Schlachtschiffe" Bristol Brabazon und Saunders Roe Princess waren an Theatralik und Imponiergehe nicht mehr zu überbieten. Hier feierte sich das Establishment als Heroe selbst. Monströse Technik für imperiale Weltmachtziele. Moderne Propellerturbinen in strömungstechnisch absurden Bollwerken. Hier ein Gemälde des Flugbootes Princess mit zehn Proteus 625, von denen acht über ein Getriebe gekoppelt waren. Doch das Absurdeste war, daß diese beiden Ungeheuer 1949 und 1952 tatsächlich mal kurz geflogen sind. Weder Lord Brabazon noch BOAC-Chef Miles Thomas wurden je zur Verantwortung gezogen. Jeweils zwei Prototypen wurden gebaut.