# Propfan/UDF -Die neue Triebwerkgeneration auf dem Prüfstand

Nachdem Mitte der siebziger Jahre die Treibstoffpreise Rekordhöhen erreichten, wurde der Treibstoffverbrauch je Sitzmeile zum zentralen Thema der Flugzeughersteller. Heute, nach einem kontinuierlichen Ölpreiszerfall, sind die Lohnkosten wieder das Zentrum der betriebswirtschaftlichen Betrachtungen. Die mit einer 15jährigen Entwicklungszeit zur Einsatzreife gebrachten Propfan- und UDF-Triebwerke wurden ins Abseits gedrängt. Wenn auch der Marktdurchbruch für die neue Triebwerkgeneration in diesem Jahrzehnt nicht mehr erfolgt, so wird der Einsatz einer alternativen Technologie dennoch zur Serienreife vorangetrieben.

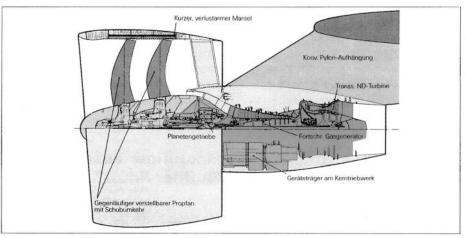
Infolge des höheren Gewichts und der höheren Beschaffungskosten sind die Propfan/UDF in ihrem heutigen Entwicklungsstand noch zu wenig attrak-

#### UDF = UBE = UHB = UBF?

General Electric entwickelte seinen nicht ummantelten Fan vom einstufigen über Getriebe gekoppelten Propfan weiter zum gegenläufig rotierenden, um mehr Leistung zu gewinnen. Im nächsten Entwicklungsschritt kam man zu einer Druck-Konfiguration (pusher configuration), um den Kabinenlärm zu reduzieren. Um die Installation zu erleichtern, wurde der Propfan-Durchmesser reduziert. Dadurch musste die Rotationsgeschwindigkeit angehoben werden. In der Folge erreichte die Propfan-Drehzahl die optimale Turbinendrehzahl. Das Resultat

Beim Propfan handelt es sich um eine Blatt- und Antriebsform zwischen den herkömmlichen Turboprop- (Prop-) und den Mantelstrom-Triebwerken (-fan). Vor zwölf Jahren wurden die ersten Studien über diese schnellaufenden Propeller neuer Technologie veröffentlicht. In der Folge führte die NASA ein Entwicklungsprojekt durch. Mitte 1985 fand erstmals eine intensive Testphase von grossformatigen Hamilton Standard Prop-Fans auf dem Luftwaffenstützpunkt der US Air Force's Wright-Patterson statt. Das Testprogramm wurde Mitte Oktober 1985 beendet, wies die strukturelle Vollständigkeit und die Aerodynamik des Propellers nach und umfasste ungefähr 350 separate Testdaten. Zu Testzwekken wurde der Propfan bis auf 80 Prozent seiner möglichen 4500 kW angetrieben und erreichte eine Blattspitzengeschwindigkeit von 275 m/sec. Dies entspricht einer um 60 m/sec schnelleren Geschwindigkeit als bei herkömmlichen Turboprop-Propellern. An Bord

Der Autor: Peider Trippi, Ing. HTL, AVCAM, Nuglar



Ummantelte Propfan/UDF-Triebwerke sind den heutigen Mantelstromtriebwerken durch das höhere Nebenstromverhältnis, den Wegfall der Schubumkehr dank verstellbarer Fanblätter sowie verbesserter Aerodynamik überlegen. Im Bild das CRISP-Projekt von MTU, das zurzeit in Windkanaltests erprobt wird. (Bild: MTU/AVCAM)

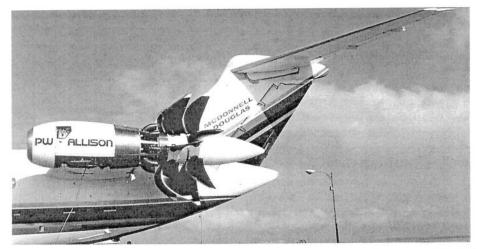
einer abgeänderten Lockheed Gulfstream II-Maschine begannen 1987 die Testflüge mit Propfans. Dabei wurde ein 2,75-m-Durchmesser Achtblattpropeller verwendet. Die verschiedenen Propfan-UDF-Konfigurationen weisen einen um 25 bis 35 Prozent niedrigeren Treibstoffverbrauch gegenüber heutigen Jet-Triebwerken auf. Gegenüber der neusten Jet-Generation wie V2500 und Tay sind es immer noch 15 bis 18 Prozent. war ein getriebeloser Fan, dessen Blätter direkt an die Turbinenwelle montiert wurden. Der getriebelose, nicht ummantelte Fan (unducted fan = UDF) ist daher eine Unterart der Propfan-Gattung, Die Bezeichnung UDF ist jedoch ein Produktname von GE.

Der Flughersteller Boeing suchte eine gemeinsame Bezeichnung aller Propfanarten und entwickelte dabei den Begriff ultra-bypass engine = UBE. Der Konkurrent McDonnell Douglas

#### VERKEHRSTECHNIK

entschied sich für ultra-high bypass = UHB. Anstatt die Dinge zu klären, trug dies eher zur Verwirrung bei.

Werden die verstellbaren Fanblätter wieder ummantelt, so entsteht das einstufige ADP-Triebwerk (advanced ducted propulsor system) oder der bezeichnet, weil es kein Getriebe hat. Auf dem Meeresspiegel mit einem statischen Triebwerk ist 1 s.h.p. (= 1.014 PS = 0.745 kW) gleichwertig wie 2 lb (= 0.0089 kN) Schub. Im Flug sind die beiden gleichwertig, nämlich 1 s.h.p. auf 1 lb Schub. Ein 150plätziges Flugzeug,



Startbereit zum Testflug: Der mit einem Getriebe ausgerüstete PW-Allison 578-DX Propfan bestückt die eine Seite des MD-80 Testflugzeuges.

(Bild: McDonnell Douglas/AVCAM)

zweistufige gegenläufige CRISP-Antrieb (counter rotating integrated shrouded propfan): Zusammengefasst auch bekannt als ultra-bypass fan = UBF. Der Vorteil der ummantelten Version ist der Einbau in die herkömmli-Unterflügel-Triebwerkgondeln unter Verzicht der Schubumkehrvorrichtung. Dies ermöglicht widerstandsärmere und leichtere Fan-Verkleidungen.

Im wesentlichen ist dies der Unterschied: Mit Umsetzungsgetrieben bestückte Propfans und getriebelose UDF haben ein Nebenstromverhältnis von ungefähr 40:1 und keine Ummantelung. Ultra-bypass-Turbofans (UBF) haben ein Nebenstromverhältnis von 20:1 und eine Ummantelung.

# Wie kann man Propfanmit UDF-Leistung vergleichen?

Die Propfan-Antriebsleistung wird mit Wellen-PS (shafthorsepower s.h.p.) angegeben, weil es ein Turbinentriebwerk und ein Umsetzungsgetriebe gibt. Die UDF-Leistung wird als Schub

welches mit zwei 25 000-lb-Schub-Turbofans (Jettriebwerk mit 111,3 kN) angetrieben wird, benötigt somit UDFs gleicher Dimension oder 12000-13 000-s.h.p.-Propfans.

# Einstufiger oder gegenläufiger Rotor?

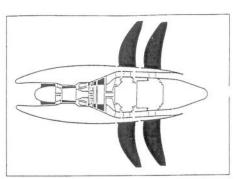
Der Zweck eines Propellers ist, das Flugzeug durch die Luft zu ziehen und nicht die Luft hinter das Flugzeug zu stossen. Es ist unvermeidlich, dass einige Antriebskraft durch das Ankurbeln der Luft verlorengeht, was als Propellerwirbel bekannt ist.

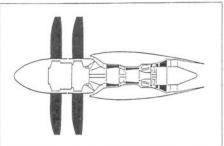
Durch das Anbringen eines zweiten Propellers hinter dem ersten, welcher in der entgegengesetzten Richtung mit gleicher Geschwindigkeit rotiert, kann das meiste von dieser Wirbelenergie wiedererlangt werden. Der Propfan wurde ursprünglich als einrotorige Schlepperkonfiguration ins Leben gerufen. Ein Flügel hinter dem Triebwerk kann einen Teil der Wirbelenergie auffangen, aber nicht so viel wie eine gegenläufige Rotation. Dadurch wird heute dem gegenläufigen

Rotor in fast allen Projekten der Vorzug aeaeben.

## General Electric als **Pionier**

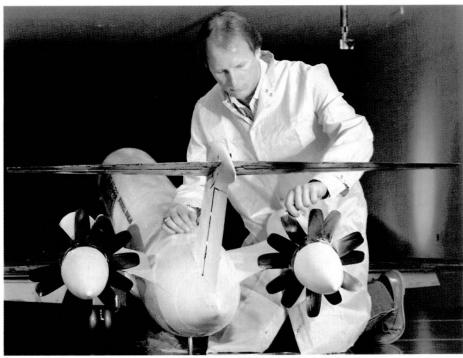
General Electric Co. startete im August 1986 eine neue Phase in der Entwicklung von Flugzeugtriebwerken. Ein erster Flug mit deren GE36 UDF an einem Testflugzeug Boeing 727-100 fand in Mojave, Kalifornien, auf dem Testgelände von General Electric statt. Dieser erste Flug eines getriebelosen, konzeptüberprüfenden UDF-Triebwerkes dauerte 67 Minuten. Der UDF-Demonstrator mit 25 000 lb Schub war am rechten hinteren Flugzeugrumpf der 727, anstelle eines Pratt & Whitney JT8D, montiert. Das Triebwerk an der 727 wurde bis max. 550 km/h und auf einer Höhe bis zu 6400 m geflogen. Triebwerk und Flugsysteme funktionierten reibungslos, und keine Anomalitäten wurden von den Piloten beobachtet. Die Daten wurden an Bord mittels der Influg-Datenerfassung und der Überwachungsinstrumente aufgezeichnet. In weiteren Tests besetzten





Auch Rolls-Royce untersucht auf Basis des RB.509-Konzeptes verschiedene Konfigurationen. Die Druckversion (oben) bedingt eine grössere Triebwerkverkleidung als die Schlepperversion.

(Bild: Rolls-Royce/AVCAM)



Für Windkanalversuche wurde dieses MD-80-Modellflugzeug mit GE36-UDF gebaut. McDonnell Douglas führt zurzeit ein Dreijahres-Programm für die UHB-Verifizierung der Propfan/UDF-Technologie durch, wobei die akustischen, aerodynamischen, strukturellen und Handhabungs-Charakteristiken im Vordergrund stehen.

(Bild: McDonnell Douglas/AVCAM)

ungefähr 10 bis 15 Ingenieure die Datenstationen, um den Flugprozess zu beobachten.

Boeing hatte einen Leistungsbereich bis 10 700 m und Mach 0,82 für den Test der 727 mit dem UDF definiert. Über 1200 Messpunkte wurden für die Tests im Flugzeug und Triebwerk angeschlossen, und ungefähr 700 Parameter konnten überwacht, tabelliert oder geplottet werden. Keine Daten wurden während des Tests der Bodenstation übermittelt. Das System wurde so konzipiert, dass es ab dem ersten Flug automatisch Daten registriert und sammelt.

General Electric konnte im Frühjahr 1987 eine weitere Phase im Testprogramm seines Propfan-Programmes UDF (Unducted Fan) abschliessen: Seit dem 18. April liefen Testflüge mit modifizierten MD-80 McDonnell Douglas. Insgesamt 120 Flugstunden und 63 Flüge sind absolviert worden. Für dieses Programm war das ursprüngliche Triebwerk der MD-80, das JT8D, auf der linken Heckseite durch den UDF ersetzt worden. Der General Electric UDF GE36 sorgte

in Verbindung mit dem McDonnell-Douglas-UHB-Demonstrationsflugzeug anlässlich der Farnborough Luftfahrtschau 1988 für weltweites Auf-

Das Demonstrationstriebwerk basiert auf einem F404-Fightertriebwerk. Für die Serie wird der französische Partner SNECMA, der auch am UDF mit 35 Prozent beteiligt sein wird, einen neuen Kompressor mit 40:1-Verdichtung und eine neue Brennkammer entwikkeln. Ein Bypass-Verhältnis von 35 bis 40 wird angestrebt. Die Turbine entspricht etwa dem CFM56.

#### GE36 - Lärmkriterien

Die Verantwortlichen von McDonnell Douglas und General Electric gaben bekannt, dass sie bis anhin mit dem gesamten Triebwerk und dem Lärmaspekt zufrieden sind. Die Kombination Flugzeug/Triebwerk hat die Stufe 3 des FAR-36-Lärmkriteriums erreicht. Wichtig für einen möglichst geringen Triebwerklärm sind die Form und die Anzahl der Fanblätter. Der UDF besitzt zwei gegenläufige Fankreise. Anfänglich war General Electric von gleichzahligen Fans mit je acht Blättern ausgegangen. Die Untersuchungen zeigten jedoch schon sehr bald, dass dies für den Triebwerklärm nicht die optimale Lösung war. Heute hat der vordere Fankreis zehn, der hintere acht Blätter. Die Produktionsversion des UDF wird mindestens 5 dB leiser sein als das Testtriebwerk.

## PW-Allison setzt auf **Alternative**

Die Flugtests des Pratt & Whitney/ Allison 578-DX Propfan begannen im Frühjahr 1989 auf dem McDD-, MD-80-, UHB-Testflugzeug. Das Triebwerk wurde an der Backbordseite des Flugzeuges installiert, welches zuvor benutzt wurde, um den General Electric GE36 UDF zu testen. Ein Standard-JT8D Turbofan wurde an der Steuerbordseite beibehalten. Bodentests begannen im Januar 1989, und die Testflüge dauerten bis zum Frühling dieses Jahres.

PWA leistete 200 Stunden Bodentests, bevor das Triebwerk installiert wurde. Das Projekt erlitt eine Verzögerung wegen des Blattneigungs-Wechselmechanismus, ist seither aber planmässig vorangeschritten.

Der Hauptunterschied zwischen dem GE36 und dem 578-DX ist, dass der letztere über ein Getriebe verfügt, welches die Turbine mit den Triebwerkblättern verbindet. Das Planetengetriebe erlaubt dem Fan, mit niedriger Geschwindigkeit zu rotieren. Dadurch kann der Lärm reduziert werden, während die Turbine auf ihrer viel höheren optimalen Drehzahl läuft. Beim GE36 sind die Triebwerkblätter direkt an die Aussenseite der zwei gegenläufigen Turbinenwellen angeschlossen, welche für Luftfahrtbegriffe mit eher niedriger Geschwindigkeit rotieren.

Die 578-DX-Blätter, welche von Hamilton Standard konstruiert wurden, verfügen über einen Metallkern bis hinauf zur Blattspitze und eine Umhüllung aus Verbundwerkstoff. Demgebenüber sind die GE36-Blätter vollständig aus Verbundwerkstoffen hergestellt.

## Superfan-Konzept

Im Jahre 1986 war International Aero Engines an der Entwicklung eines ADP--Triebwerkkonzepts, wozu als Kern der V2500-Turbofan der erwähnten Firma diente. Das Ziel war, den FAR-Stage-3-Lärmanforderungen zu genügen und den Treibstoffverbrauch verglichen mit dem V2500 auf 80 bis 85 Prozent zu reduzieren. Mit dem Einsatz des vorhandenen V2500-Kerns würden die Entwicklungskosten für einen Superfan im Bereich von 28 000-32 000 lb Schub ungefähr 60 Prozent geringer sein, als wenn ein Entwicklungsprogramm vollständig neu aufgebaut werden müsste. Die Verfügbarkeit des Triebwerkes war auf 1992-1994 festaeleat.

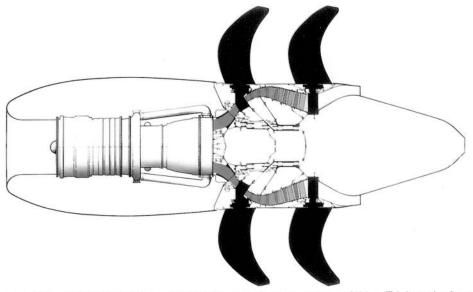
Im Rahmen der formellen Studie prüften die IAE-Muttergesellschaften diverse Superfan-Konzepte: Rolls-Royce entwickelte variable und fixe einstufige, getriebegekoppelte Fankonzepte. Pratt & Whitney prüfte eine variable Blattverstellung, Getriebe und Einstufenkonzept. MTU (Motoren- und Turbinen-Union) untersuchte eine variable Fanverstellung, gegenläufig rotierende Fans mit Getriebe. IAE evaluierte auch eine interne Version analog P&W. Alle Entwicklungen waren für 150plätzige, zweistrahlige Flugzeuge wie Boeing 7J7, McDonnell Douglas MD-90X und A320 sowie den viermotorigen Langstreckenjet A340 zugeschnitten. Die Direktoren von International Aero Engines annullierten im Frühjahr 1987 die Pläne, eine Superfan-Version des firmeneigenen V2500-Triebwerkes zu entwickeln. Dieser Entscheid wurde aufgrund technischer Probleme im Zusammenhang mit der Niederdruck-Sektion des vorgeschlagenen Triebwerkes gefällt.

# **Deutsche Motoren- und** Turbinen-Union (MTU)

Vor der Veröffentlichung des Superfan-UBF-Konzeptes hatten offenbar nur Pratt & Whitney und MTU über Triebwerke in dieser Kategorie nachgedacht. Der Entwurf des Mantelpropfan-Triebwerkes ADP von P&W scheint grosse Ähnlichkeit mit dem Superfan zu haben, während MTU das CRISP-Konzept (Contra-Rotating Integrated Shrouded Propfan) vorgestellt hatte. Beide Firmen arbeiten bei der Grundlagenentwicklung dieser Triebwerke zusammen. MTU, P&W und Fiat evaluieren den Vorzug des einstufigen Fans im Vergleich zur Triebwerkkonstruktion mit gegenläufigem Rotor im Rahmen eines gemeinsamen Programmes. Von der Konstruktion wird erwartet, dass der Treibstoffverbrauch um 15-22 Prozent, im Vergleich zum fortgeschrittenen Turbofan-Triebwerk gesenkt werden kann, und es sollte gemäss MTU eine Steigerung der Schubkraft von 20-30 Prozent vom gleichen Kern resultieren. MTU definierte im Herbst 1988 verschiedene Niveaus der Technologiewahl von niedrigem zu hohem Risiko:

- Die erste Konfiguration ist derjenigen der gegenwärtigen kommerziellen Triebwerke ähnlich, fügt jedoch

- kehr. Sogar mit einem IAE-V2500-Kern würde diese Konfiguration eine um 12 Prozent bessere Treibstoffverwertung im Vergleich zum Standard IAE-V2500 Turbofan aufweisen.
- Das zweite Triebwerk ist sehr ähnlich, verfügt aber über geschwungene Fanblätter und eine gekürzte Triebwerksverkleidung.
- Die dritte Konfiguration fügt noch mehr Zusätze hinzu. Sie sieht eine variable Fanverdrehung vor, eine schmale Triebwerksgondel und eine 6stufige gegenläufig rotierende Niederdruck-Turbine, um die grösseren Fanblätter anzutreiben. Die variable Fanverstellung eliminiert den Bedarf für eine separate Schubumkehr und lässt zu, dass schmälere Triebwerksgondeln benutzt werden können.
- Das vierte Konzept beinhaltet die Studie der kompletten CRISP-Triebwerktechnologie. Den Hauptunterschied zum dritten Triebwerkkonzept bilden die über das Umset-



Das UDF-Triebwerk von General Electric war das erste einsatzfähige Triebwerk einer neuen Generation für Verkehrsflugzeuge: Bis zu 30 Prozent weniger Treibstoff können dank einer Entwicklungsform aus Mantelstrom- und Turboproptriebwerk erreicht werden. Zwei gegenläufige Propfans direkt auf der Turbinenwelle vermeiden ein Überset-(Bild: SNECMA/AVCAM) zungsgetriebe.

zwei gegenläufig rotierende Fans mit hohem Nebenstromverhältnis hinzu, anstelle einer Standard-Fanstufe. Das Konzept ist getriebelos, hat einen nicht verstellbaren Fan, gerade Fanblätter und eine lange Triebwerksverkleidung mit Schubumzungsgetriebe angesteuerten Fanstufen mit variabler Blattverstellung. Von dieser Triebwerkkonfiguration wird erwartet, dass eine um 17 Prozent bessere Treibstoffausnützung im Vergleich zum Standard V2500 Turbofan erreicht wird.

#### VERKEHRSTECHNIK

CRISP-Triebwerksgondel- und -Einrotor-Windtunneltests wurden durchgeführt, und eine Testserie mit gegenläufig rotierenden Fans begann im Sommer 1988. Das Programm erhält den Hauptanteil des nötigen Finanzierungskapitals vom bundesdeutches Propfan-Triebwerksystem innert 10 Jahren zu produzieren. Das RB.509-Konzept wird zurzeit in mehreren Schlepper- und Druckerversionen studiert. Ein zum Einsatz kommendes Kerntriebwerk, welches für die Entwicklung des RB.509 benützt werden,



Als Testträger für die sowjetischen Propfan-Entwicklungen wird eine IL-76 (hier im Modell) eingesetzt. Seit 1985 steht das D-236-Triebwerk in Entwicklung. Über Erfahrungen mit gegenläufigen Propellern verfügt die Sowjetunion noch aus der Zeit der TU114. (Bild: P. Trippi/AVCAM)

schen Ministerium für Forschung und Technik (BMFT) und eine Unterstützung der Deutschen Luftfahrtsforschungsgesellschaft (DFVLR).

P&W, MTU und Fiat haben ihre Wahl bezüglich eines UBF-Demo-Triebwerkes auf drei Konfigurationen spezifiziert und werden dieses Jahr entscheiden, an welchem sie zum Zweck eines Flugtestprogramms weiterentwickeln werden. Zwei Versionen von der Motoren- und Turbinen-Union des CRISP-Konzepts werden berücksichtigt sowie eine Version der P&W-Konstruktion für ein einstufiges fortgeschrittenes ADP-Triebwerk. Die Partner sehen vor, ein Triebwerk mit einem Nebenstromverhältnis von ungefähr 16 für ein Flugevaluationsprogramm im Jahre 1991 zu bauen.

# Rolls-Royce übt Zurückhaltung

Rolls-Royce hat ein Technologie-Demonstrator-Programm begonnen, welches zum Ziel hat, ein wirtschaftliist der XG-40-Technologie-Demonstrator. Dieser wurde in der Produktionsstätte von Rolls-Royce Military Engine in Bristol, England, entwickelt. Das XG-40-Triebwerk soll technologische Daten für das künftige EJ200-Triebwerk erproben.

Zwei RB.509-Konzepte weisen gegenläufig rotierende Fanblätter auf, welche vor (Version -14) und hinter (Version -11) dem Kerntriebwerk angebracht sind. Die Version -14 könnte als Schleppertriebwerk am Flügel zum Einsatz kommen, während die -11-Druckerversion auf einen Heckeinsatz limitiert ist.

Rolls-Royce glaubt, dass die Bauart mit Umsetzgetriebe eine bessere Grössen- und Gewichtskontrolle ermöglicht und den Triebwerken auch erlaubt, als Schlepper eingesetzt zu werden und nicht nur als Drucker. Die Unsicherheit bezüglich der wirtschaftlichen Tauglichkeit der Entwicklung des Propfans hat Rolls-Royce veranlasst, nach Alternativen im Schubbereich von 15 000 bis 25 000 lb. sowie 50 000 bis 60 000 lb. zu forschen:

- Dies schliesst die Tay-Ultrafan-Konfiguration ein, bei welcher das existierende Tay-Kerntriebwerk benützt wird, um einen 1,7 m grossen Fan via Getriebevorrichtung anzutreiben. Der derzeitige Tay hat einen 1.1-m-Fan. Dies würde eine verhälteinfache technische nismässia Anpassung erfordern, und das Triebwerk könnte bis Anfang bzw. Mitte der neunziger Jahre für den Einsatz bereit sein. Der Fan würde möglicherweise eine stufenweise Anpassung aufgrund des existie-RB.211.535-Triebwerkes renden sein.
- Rolls-Royce RB.529 Contra Fan ist nicht eine eigentliche Propfan-Konstruktion, sondern benützt nur das Konzept der gegenläufig rotierenden Fanstufen, um einen höheren Schub zu erzeugen. Das Triebwerk, welches für die Entwicklung des 50 000- bis 60 000-lb.-Schubbereichs vorgesehen ist, könnte entweder über ein Getriebe-Antriebssystem oder über einen direkten Antrieb für die Fanstufen verfügen. Es wäre in der Lage, ein Flugzeug der 747-Klasse mit Unterflügelinstallation zu betreiben.

## Propfan sowjetischer **Bauart**

Wie anlässlich des Pariser Luftfahrtsalons in persönlichen Gesprächen zu erfahren war, befindet sich auch in der Sowietunion seit 1985 ein Propfan-Antrieb in der Entwicklung. Abgeleitet aus dem Helikoptertriebwerk D-136 wurde eine Schlepperkonfiguration mit gegenläufigen, gewundenen Fanblättern unter der Bezeichnung D-236 gebaut.

Die Prototypenversionen verfügen über eine achtblättrige 1. Stufe und eine sechsblättrige 2. Stufe. Das Triebwerk verfügt über ein Übersetzungsgetriebe und steht mit der II-76 und der Yak-42 in der Flugerprobung. Die Blätterbauart entspricht der Bauweise von Hamilton, ist also nur teilweise aus Verbundwerkstoff. STZ