

Historische Entwicklung

Die Reduzierung des spezifischen Kraftstoffverbrauches (sfc = specific fuel consumption) wurde in den vergangenen Jahrzehnten vor allen Dingen durch die Steigerung des Bypassverhältnisses erreicht. Ein Beispiel für eines der ersten zivilen Turbofan Triebwerke ist das JT8D (1970), das unter anderem die Boeing 727 antrieb. Mit einem Bypassverhältnis von 1.00 bei einem Gesamtmassestrom von 150 kg/s erreichte es einen spezifischen Kraftstoffverbrauch von 24 mg/(Ns). Demgegenüber ist das GE-90 (1995) mit einem Bypassverhältnis von 8.4 bei einem Gesamtmassestrom von 1350 kg/s und einem spezifischen Kraftstoffverbrauch von 8.3 mg/(Ns) eines der effizientesten Triebwerke der zivilen Luftfahrt. Der Ansatz, der die Entwicklung größerer Bypassverhältnisse bzw. die Entwicklung eines Zweikreistriebwerkes vorantrieb, ist die Erhöhung des Vortriebswirkungsgrades durch Absenkung der Austrittsgeschwindigkeit aus dem Triebwerk. Laut allgemeiner Schubgleichung muss zum Aufrechterhalten des Schubes für diesen Fall der Gesamtmassestrom erhöht werden, was durch Fans mit größerem Außendurchmesser erreicht wird. Weil damit aber auch die Triebwerksverkleidung (Nacelle) mitwächst, müssen die Vorteile eines größeren Bypass-Verhältnis immer im Gesamtkontext, d.h. unter Berücksichtigung des Nacellengewichtes, des -widerstandes im Reisefluges und der Off-Design Performance beurteilt werden.



Bild 1: Einsaugen eines Bodenwirbels

Bedeutungen für zukünftige Bypass - Systeme

Der Fan ziviler Zweikreistriebwerke ist heutzutage mit ca. zwei Dritteln des Gesamtschubes die wesentliche schuberzeugende Komponente. Im Zuge der stetigen Vergrößerung des Bypassverhältnisses, ist der Fan im Durchmesser gewachsen während das Druckverhältnis im Vergleich zu früheren Fans deutlich abgenommen hat. So liegt z.B. das Fan - Druckverhältnis beim V2500-A1 zwischen 1.6 und 1.7 (Bypassverhältnis: 5.4) während das GE GenX ein Druckverhältnis zwischen 1.4 - 1.5 hat (Bypassverhältnis: 9.6). Für weitere konventionelle Erhöhungen des Vortriebswirkungsgrades und damit des Bypassverhältnisses, würde der Fan aufgrund des sehr niedrigen Druckverhältnisses insgesamt anfälliger für aerodynamische Instabilitäten wie Stall und Flutter werden. Hinzu kommt die Gefahr stärkerer Einlaufstörungen als Folge von neuen schlanken Nacellen-Designs. Um den Vortriebswirkungsgrad trotzdem weiter erhöhen zu können, wird es in Zukunft nötig sein, den Triebwerkeinlauf, den Fan und die Austrittsdüse schon in der frühen Entwicklungsphase als Gesamtsystem experimentell zu untersuchen und neue Technologien zu integrieren, die den gestiegenen Anforderungen gewachsen sind.

Konzept des Fan - Prüfstandes

Am IFAS wurde ein neuartiger Fan - Prüfstand entwickelt, der die oben beschriebenen Entwicklungen zukünftiger Bypass-Systeme experimentell unterstützen wird. Im Unterschied zu klassischen Verdichterprüfständen, wie sie zur aerodynamischen Untersuchung neuer Technologien standardmäßig zum Einsatz kommen, wird der Propulsorprüfstand Braunschweig die Fan-Stufe eines Triebwerkes im Modellmaßstab unter realistischen kritischen Betriebsbedingungen wie Seitenwind und Anstellwinkel untersuchen. Durch die gemeinsame Untersuchung von Fan-Stufe und Triebwerkeinlauf ist es erstmals in der europäischen Prüfstandslandschaft möglich, Modellversuche für Untersuchungen der Interaktion dieser entscheidenden Triebwerkskomponenten durchzuführen.

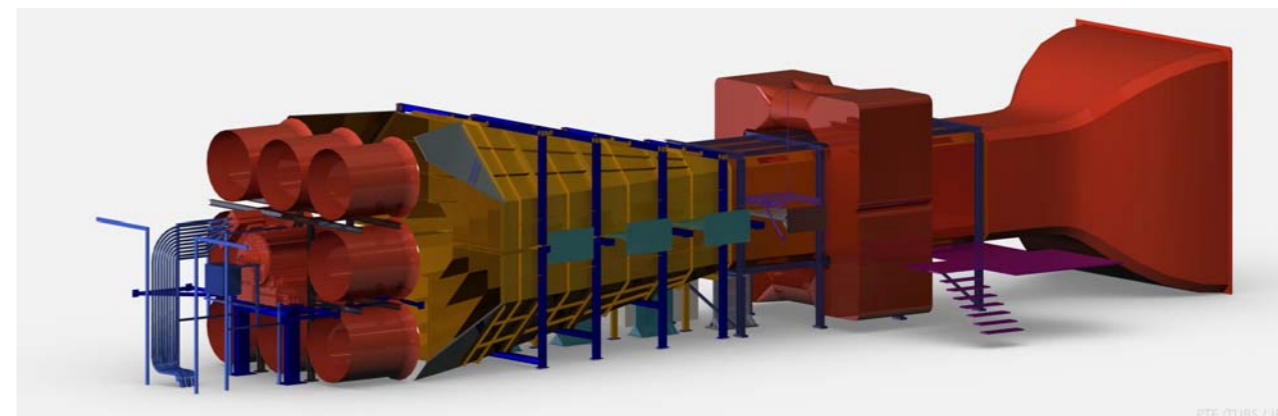


Bild 3: Außenansicht des PTF (oben links), Aspirated-Intake-Versuch (oben rechts) und PTF CAD-Modell (unten)

Die wesentliche Innovation des Propulsorprüfstand Braunschweig ist das Konzept zur Generierung von Einlaufstörungen. Weil das Fan-Rig nicht pitchbar ist, d.h. der Anstell- oder Gierwinkel gegenüber der Teststreckenströmung nicht anpassbar ist, wurde ein Konzept entwickelt, dass die Richtung der ankommenden Strömung variiert. Dazu wurde ein Umföhrungskanal um die Teststrecke gebaut, der auf der Lee-Seite des Prüflings Luft aus der Teststrecke absaugt und Luv-seitig wieder einbläst. Dadurch können Zustände, wie sie bei Seitenwind und Anstellwinkel auftreten nachgebildet werden ohne dabei die Ausrichtung des Prüflings verändern zu müssen. Der Luv-seitig eingeblasene Luftmassenstrom verdrängt die ankommende Hauptströmung, sodass sich ein stufenlos einstellbarer Anstellwinkel für das Triebwerksmodell ergibt. Für den reinen Seitenwindfall wird keine Axialgeschwindigkeitskomponente erzeugt und durch den alleinigen Betrieb des Umföhrungskanals ergibt sich ein Anstellwinkel von 90°.

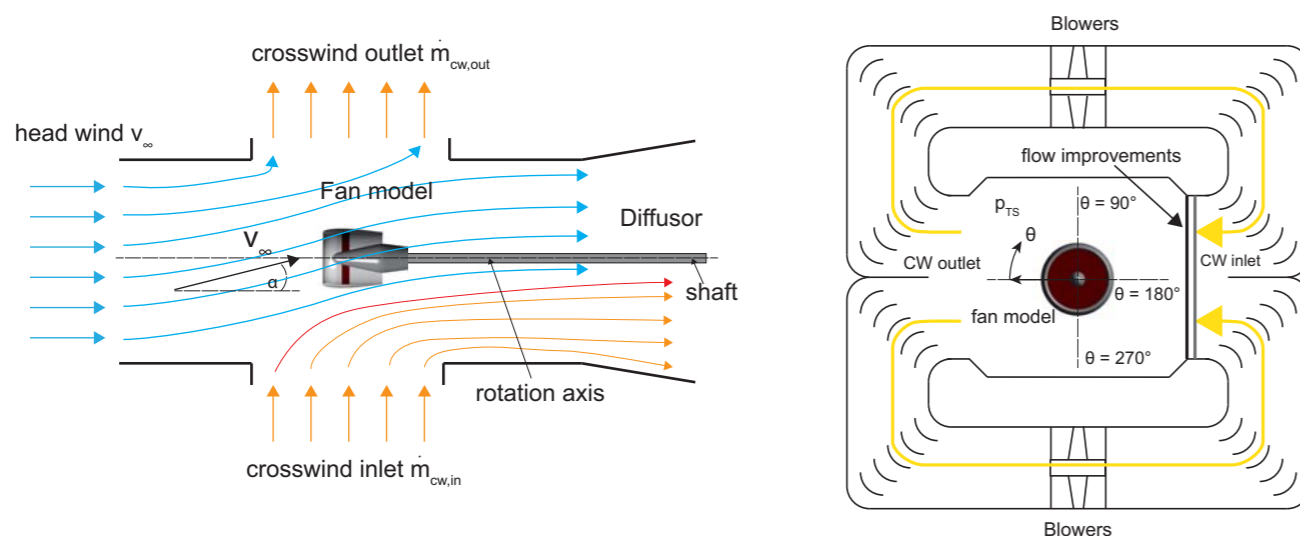


Bild 2: Seitenwindkonzept (links) und Umföhrungskanal (rechts)

Powered-Intakes

Damit der Fan im Gesamtsystem untersucht werden kann, können im PTF sog. Powered-Intakes untersucht werden. Im Prinzip repräsentiert der Prüfling den gesamten kalten Kreislauf eines Zweikreis-Triebwerkes inklusive Einlauf und Austrittsdüse. Durch einen modularen Rig-Entwurf wird es möglich sein, die jeweils untersuchte Komponente (z.B. Fan-Blades) schnell tauschen zu können um so beispielsweise unterschiedliche Rotoren mit einer bestimmten Nacelle zu testen. Die Komponenten eines Powered-Intakes sind:

1. Fan - Schaufeln
2. Outlet Guide Vanes (OGV)
3. Struts (tragende Struktur)
4. Austrittsdüse
5. Spinner Cone
6. Intake (Nacelle)

Messtechnik

Die am Prüfling installierte Messtechnik lässt sich unterteilen in die Standardinstrumentierung, die grundsätzlich zur Erfassung der Kennfeldgrößen benötigt wird und eine Zusatzinstrumentierung, die abhängig vom jeweiligen Forschungsprojekt bzw. -ziel vorgesehen wird. Folgende Messtechniken werden dabei zum Einsatz kommen:

1. Druckmessung (statisch und total sowie stationär und instationär)
2. Temperaturmessung
3. Particle Image Velocimetry
4. Tip Clearance Sensoren
5. Tip timing
6. Schwingungsmessung
7. Digital Image Correlation

Aspirated-Intakes

Für isolierte Intake-Versuche oder für Vorbetrachtung geplanter Powered-Intake-Experimente können im PTF Triebwerkeinläufe auch konventionell, d.h. ohne integrierte Fan-Stufe untersucht werden. Dieser Versuchsaufbau entspricht weitestgehend dem industriellen Standard für Einlauf-Experimente, sodass die Vergleichbarkeit von Industrieuntersuchungen und Versuchen im PTF stets gewährleistet ist. Die Komponenten eines Aspirated-Intake-Versuch im PTF sind:

1. Intake (Nacelle)
2. Spinner Conce
3. Mess-Sektion (Rake-Arrangement in Fan-Ebene)
4. Absaug-Rig

Technische Daten

Leistung Fan-Antrieb: P = 2.000 kW (Siemens)
 Getriebeübersetzung: i=5.34 (Voith Turbo)
 Leistung Ventilatoren: P = 1.116 kW (Witt&Sohn)
 Drehzahl Fan: n = 11.000 U/min

Max. Machzahl in Zuströmung: Ma = 0.2
 Max. Seitenwindgeschwindigkeit: vCW=30 ktn
 Turbulenzgrad in Zuströmung: Tu < 0.5 %

Gebäude:
 Prüfstandssektion
 Vorbereitungshalle
 Messwarte für Crew bis 5 Personen
 Messtechnikraum