

UHBR AERO ENGINES, TECHNOLOGIEN FÜR DIE NÄCHSTE TRIEBWERKSGENERATION (ENOVAL)

E. Merkl, MTU Aero Engines AG, Deutschland

Zusammenfassung

Das EU-Technologieprogramm ENOVAL (ENgine mOdule VALidators) für Ultra High Bypass Ratio Aero Engines hat zum Ziel Triebwerkstechnologien bereit zu stellen, die zur Erreichung der Umweltziele von ACARE 2020 auf dem Weg zu Flightpath 2050 beitragen. ENOVAL fokussiert dabei auf Technologien für das Niederdrucksystem von ummantelten Turbofan-Triebwerken mit Getriebe mit einem prognostizierten Indienststellungszeitpunkt ab 2025, um damit die CO₂-Emissionen und den Triebwerkslärm weiter signifikant zu reduzieren.

1. EINLEITUNG UND STAND DER TECHNIK

Die zivile Luftfahrt hat schon heute und in den kommenden Jahren verschiedene Herausforderungen zu bewältigen, die durch den steigenden Wunsch nach Mobilität sowohl durch Geschäftsreisen als auch im privaten Bereich und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Umwelt entstehen. Bei zunehmendem Flugverkehr mit prognostizierten jährlichen Steigerungsraten von ca. 4 – 6 % ist langfristig zu erwarten, dass der Preis für Treibstoff steigt und gleichzeitig die gesellschaftlichen Anforderungen nach reduzierten Umwelt-Emissionen immer strenger werden, um der globalen Klimaveränderung und den lokalen Auswirkungen rund um Flughäfen entgegen zu wirken. Daher entsteht die Notwendigkeit nach immer weiter verbesserten und verbrauchärmeren Fluggeräten und deren Antriebsystemen.

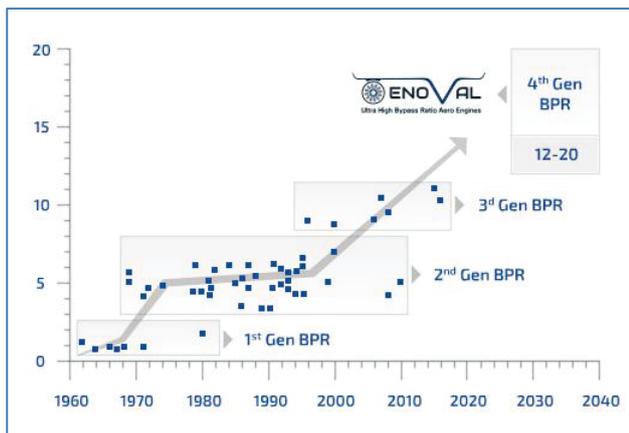


BILD 1. Entwicklung des Nebenstromverhältnisses

Verfolgt man die Entwicklung der zivilen Triebwerke für den kommerziellen Flugzeugmarkt über die letzten Jahrzehnte, lässt sich leicht der Trend eines stetig steigenden Nebenstromverhältnisses (Bypass Ratio) ausmachen [2]. Dieser erreicht mit der Einführung der neuesten Triebwerksgeneration, dem Geared Turbo Fan (PW1100G), einen Wert von 12:1. Dabei erhöht sich der Vortriebswirkungsgrad, weshalb Antriebssysteme mit noch

weiter erhöhtem Nebenstromverhältnis (Ultra High Bypass Ratio UHBR > 12:1) zu den aussichtsreichsten Triebwerkskonfigurationen für die nächste Generation von Flugzeugen im Kurz- / Mittel- und Langstrecken-Segment gehören. Die damit verbundene Vergrößerung des Fandurchmessers bis zu 35% (vs. Vergleichstriebwerk im Jahr 2000) ist signifikant, kann aber innerhalb der Grenzen einer herkömmlichen Flugzeugkonfiguration integriert werden. UHBR Triebwerke sind eine Schlüsseltechnologie in der Roadmap der „Strategic Research and Innovation Agenda“ (SRIA) [3], um der Herausforderung der kontinuierlichen Reduzierung der luftfahrtbedingten Umwelteinflüsse angesichts der ständig steigenden Nachfrage zu begegnen.

Das EU-Technologieprogramm ENOVAL (ENgine mOdule VALidators) mit seinen 35 Projektpartnern untersucht Technologien im Niederdrucksystem von UHBR Turbofan-Triebwerken, und trägt damit in hohem Maße zu einer saubereren und leiseren zukünftigen Luftfahrt bei. ENOVAL rundet die Roadmap der Level 2 Flugtriebwerksprojekte im 7. EU-Forschungsrahmenprogramm (FP7) in Verbindung mit LEMCOTEC und E-BREAK ab. LEMCOTEC konzentriert sich dabei auf Core-Technologien für Triebwerke mit sehr hohem Gesamtdruckverhältnis (OPR zwischen 50 und 70) [4], diese werden durch weitere Technologien in E-BREAK ergänzt [5].

2. HERAUSFORDERUNG

Das Erreichen von sehr hohen Nebenstromverhältnissen UHBR > 12:1 geht einher mit der Notwendigkeit den Fandurchmesser zu vergrößern, was als Folge ein erhöhtes Gewicht und einen größeren Luftwiderstand mit sich bringt. Um eine faktische Verbesserung für das Gesamtsystem zu erreichen, bedarf es daher zusätzlichen Effizienzsteigerungen und Gewichtsreduzierungen in der den Fan antreibenden Turbomaschinerie mit all seinen Modulen.

3. TECHNOLOGIEZIELE

Das Projekt ENOVAL konzentriert sich auf das Niederdrucksystem von Ultra High Bypass Ratio (UHBR) Antriebssystemen (12 < BPR < 20) mit ultrahohem Gesamtdruckverhältnis (50 < UHPR < 70) mit Getriebe (ducted geared turbofan engines), welche als nächste Generation von zivilen Flugzeuganwendungen mit

Inbetriebnahme ab etwa dem Jahr 2025 erachtet werden.

Das Projektziel ist es, die CO₂-Emissionen und den wahrgenommenen Lärm zukünftiger Flugzeugtriebwerke zu reduzieren und erfolgreich innovative Technologien auf Komponentenebene zu validieren (d. h. bis zur Technologiereife TRL 5):

- CO₂-Reduktion um 5% allein im Rahmen des Projektes, kumuliert wird damit eine CO₂-Reduktion von 26% für Langstrecken Anwendungen im Vergleich zu repräsentativen Technologien aus dem Jahr 2000 erreicht. Für Kurz- / Mittelstrecken Turbofans soll die CO₂-Reduktion 3% erreichen, und kumuliert ergibt sich somit 24% CO₂-Reduktion.

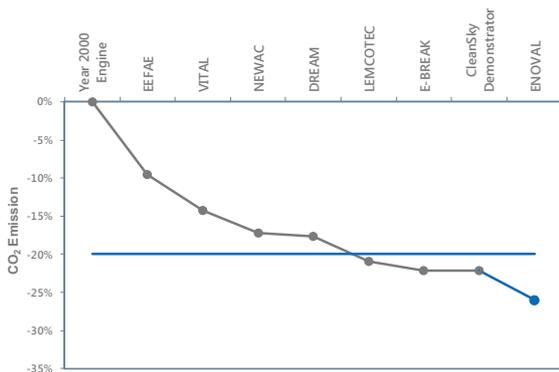


BILD 2. Reduktion der CO₂-Emission

- Reduktion des Triebwerkslärms um 1,3 EPNdB aus dem Projekt allein, dadurch wird eine kumulierte Reduktion in einer Größenordnung von 9 EPNdB erreicht.

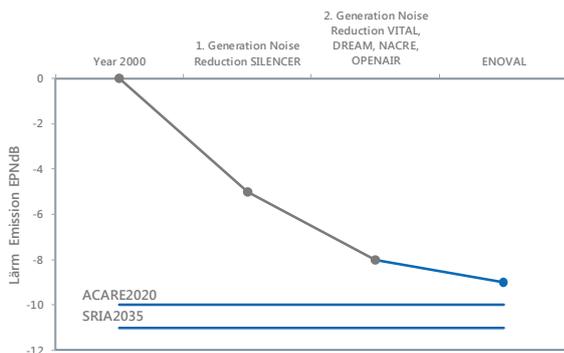


BILD 3. Reduktion der Lärm-Emission

Die 5% Senkung des Treibstoffverbrauchs resultiert aus einem 5% höheren Vortriebswirkungsgrad, wobei die um 1,5% verbesserten Modulwirkungsgrade den Anstieg um 1,5% bedingt durch Gewicht und Strömungswiderstand kompensieren. Die Lärmreduzierung ergibt sich aus einer 1,1 EPNdB Verbesserung der Fanluftströmung aufgrund niedrigerer Fandrehzahlen ergänzt durch Maßnahmen zur Lärminderung in der Niederdruckturbine.

Wesentlicher Bestandteil des ENOVAL-Projekts sind 18 Komponententests zur Erreichung des Technologiereifegrades TRL 4-5 für die jeweiligen Einzeltechnologien.

Seit dem Projektstart von ENOVAL am 1. Oktober 2013 und bereits während der Antragsphase hat sich der Markt für neue zivile Flugzeuge erheblich weiterentwickelt. Es gibt Großaufträge für Flugzeuge mit neuen Antriebstechnologien (PW1000G oder LEAP) und Anfragen für Weiterentwicklungen bzgl. Treibstoffverbrauch und Lärmreduzierung. Starke Anzeichen und Aktivitäten belegen, dass der Trend für neue Triebwerksarchitekturen dem Leitfaden der SRIA für „UHBR ducted turbofans“ mit einem BPR >12:1 folgen. Rolls Royce hat das „Ultrafan“ Triebwerkskonzept veröffentlicht, MTU aktualisierte den CLAIRE Technologieplan und die europäische Luftfahrt-Technologie-Initiative CleanSky beinhaltet UHBR Triebwerkskonzepte in verschiedenen Teilprojekten. Dies zeigt, dass die Technologiearbeit im Projekt ENOVAL ein wichtiger Beitrag für die Definition und Entwicklung der nächsten Generation ziviler Flugzeugtriebwerke ist.

Das Erreichen von sehr hohen Nebenstromverhältnissen UHBR > 12:1 geht einher mit der Notwendigkeit den Fandurchmesser zu vergrößern, was als Folge ein erhöhtes Gewicht und einen größeren Luftwiderstand mit sich bringt. Um eine faktische Verbesserung für das Gesamtsystem zu erreichen, bedarf es daher zusätzlichen Effizienzerhöhungen und Gewichtreduzierungen in der den Fan antreibenden Turbomaschinerie mit all seinen Modulen.

4. TRIEBWERKS- UND FLUGZEUGSPEZIFIKATION

Zur Bewertung der Verbesserungen aus den einzelnen ENOVAL Technologieentwicklungen und deren Integration im Gesamtsystem wurden drei Referenz-Flugzeugkonfigurationen verschiedener Größe mit den davon abgeleiteten Triebwerken spezifiziert. Zusammen mit Airbus definierte eine Expertengruppe die Top-Level Flugzeuganforderungen (TLARs) und das Design der entsprechenden Referenzflugzeuge:

Referenzplattform	P1	P2	P3
Sitze	180	278	412
Reichweite [km]	6500	11000	12500
Mach (Reiseflug)	0,78	0,84	0,84

TAB 1. Basisanforderungen für ENOVAL Referenzflugzeuge

Die technologische Weiterentwicklung gegenüber dem heutigen Stand der Technik führt u.a. zu einer Gewichtreduktion des Gesamtsystems. Dies wurde hierbei mit einer Erhöhung der Nutzlast bzw. der Sitzanzahl berücksichtigt, anstelle dafür die Schubanforderung für die Triebwerke zu reduzieren.

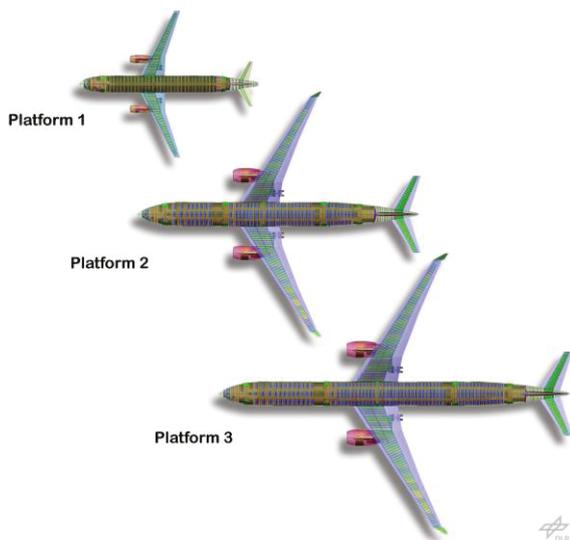


BILD 4. ENOVAL Referenzflugzeuge“

Die daraus abgeleiteten Triebwerkskonfigurationen und Auslegungsdaten wurden in einem iterativen Ansatz für die drei angedachten Triebwerksplattformen erarbeitet:

- einen mittleren Turbofan für die Kurzstrecke (Medium Turbofan),
- einen großen Langstrecken-Turbofan (Large Turbofan)
- und einen sehr großen Turbofan auch für die Langstrecke (Very Large Turbofan).

Triebwerksplattform	Medium	Large	Very Large
Schub T/O [klbf]	20	60	80
Fandurchmesser [m]	2,03	3,17	3,84
Nebenstromverhältnis	16	16	16

TAB 2. Vergleichswerte für Triebwerksplattformen

Dabei kommen drei wesentliche Designmerkmale zur Anwendung:

- Erweiterung der Designkriterien für Turbofans mit Bypass-Verhältnis bis zu 20:1.
- Einführung einer variablen Fan Düse (Variable Area Fan Nozzle VAFN)
- Einführung von Getriebekonfigurationen auch für große und sehr große Triebwerke im Langstreckenbereich

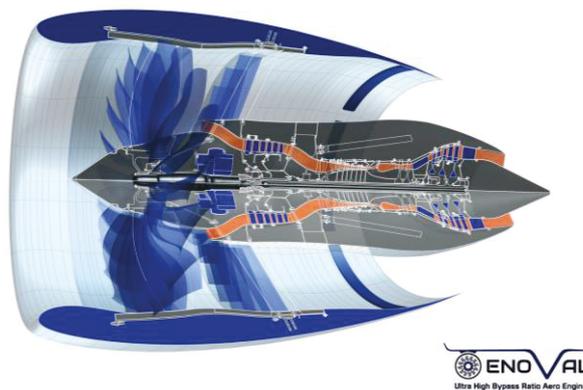


BILD 5. ENOVAL Plattform „Very Large Turbofan“

Alle drei Triebwerksplattformen basieren auf einer Konfiguration mit einem Untersetzungsgetriebe zwischen Turbomaschinerie und Fan. Bei herkömmlichen Triebwerken sind beide durch eine Welle miteinander verbunden - die Turbine treibt den Fan an. Durch das Getriebe kann der Fan mit seinem großen Durchmesser langsamer drehen und die Turbine erheblich schneller. Dadurch erreichen beide Komponenten ihr jeweiliges Optimum und verhelfen dem Getriebefan zu einem sehr hohen Wirkungsgrad. Das verringert Treibstoffverbrauch, Kohlendioxidausstoß und Lärmentwicklung erheblich; zudem wird der Antrieb leichter, da weniger Verdichter- und Turbinenstufen benötigt werden. In einer Integrationsstudie wurde dabei eine geeignete Getriebebauweise für die jeweilige Triebwerksplattform bewertet.

5. FAN TECHNOLOGIEN

Der Hauptanteil der Verbesserungen durch die Erhöhung des Bypass-Verhältnisses entsteht durch eine Erhöhung des Vortriebswirkungsgrades aus einem niedrigeren Fandruckverhältnis bei verringerter Fandrehzahl und damit auch verringerter Machzahl an der Fanschaufelspitze. Dies trägt damit gleichzeitig zur Reduzierung des Lärms bei. Jedoch steigt mit größeren Fandurchmessern auch das Gewicht und der aerodynamische Widerstand. Somit ist es zwingend erforderlich zusätzliche Maßnahmen zur Gewichts- und Widerstandsreduktion zu fordern, um eine Verbesserung des Gesamtsystems zu bewirken. Dabei unterscheiden sich die Designkriterien und damit auch technischen Lösungen für die verschiedenen Anwendungen z.B. im Mittelstecken bzw. Langstreckenbereich.

5.1. Fan und Gondel für kleinere und mittlere Triebwerke

Bei den Missionen für die Mittelstrecke kommt es neben der Optimierung für den Reiseflug-Betrieb auch auf eine starke Berücksichtigung der Aufstiegs- und Sinkflugphase an, um somit Effizienz und Stabilität in den unterschiedlichen Betriebszuständen zu gewährleisten. Dies hat Auswirkungen auf die Variabilitätsanforderungen der mechanischen und aerodynamischen Designparameter.

Das Hauptziel für das Fan-Modul ist innovative Technologien bis TRL 4-5 auszulegen und zu entwickeln. Dies sind im Einzelnen:

- hochentwickelte 3D-Fanschaufelgeometrie bei optimierter Schaufelanzahl, die sowohl die Strömungsstabilität unterstützt, aber auch durch ihre Bauweise und Material das Gewicht minimiert,
- gewichtsoptimiertes Fan-Gehäuse mit Leitschaufeln aus Composite-Werkstoffen,
- Konzeption und Gestaltung einer gewichtsoptimierten und mechanisch zuverlässigen variablen Fan-Düse (VAFN),
- aerodynamisch 3D-optimierter Einlauf mit verbesserten Regulierungsmöglichkeiten der Zuströmung und einem Partikel-Separator,
- Integration von akustischen Vorrichtungen in den Fan-Strömungskanal zur Lärmreduktion z.B. passive Waben-Liner oder hybride Akustik-Liner, welche piezoelektrische Effekte mit konventioneller Kavitäten-Resonanz mischen, sowie aktive Akustik-Liner-Konzepte, die als Mikrophone bzw. Lautsprecher einen Gegenlärm erzeugen, oder auf Schaumwerkstoffen basierende Liner-Konzepte,
- Gesamtsystembetrachtung und -optimierung in einem integrierten iterativen aeromechanisch-akustischen Auslegungsprozess.

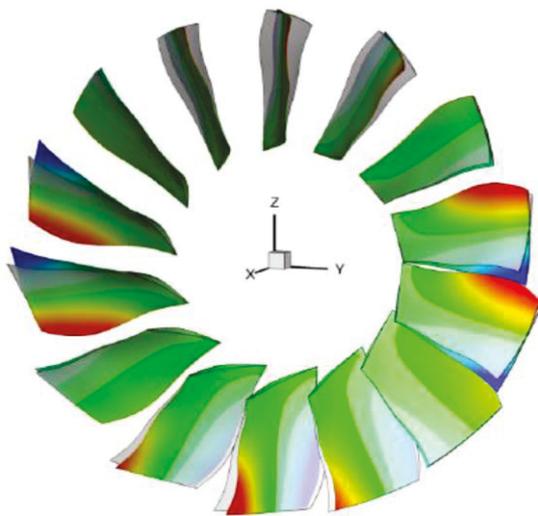


BILD 6. 360°-Aeroauslegung von 3D-Fanschaufeln

Die Validierung erfolgt zum einen über ein skaliertes aeroakustik Fan-Rig zur Messung des adiabaten Wirkungsgrades sowie der tonalen, Breitband- und Schock-Lärmquellen, nachdem die Einzeleffekte der akustischen Dämpfungsmaßnahmen in speziellen Tests bewertet wurden. Weiterhin wird ein ausgewähltes VAFN-Konzept mechanischen Funktions- und Belastungstests unterzogen, sowie die Strömungsoptimierung des Einlaufs separat nachgewiesen.

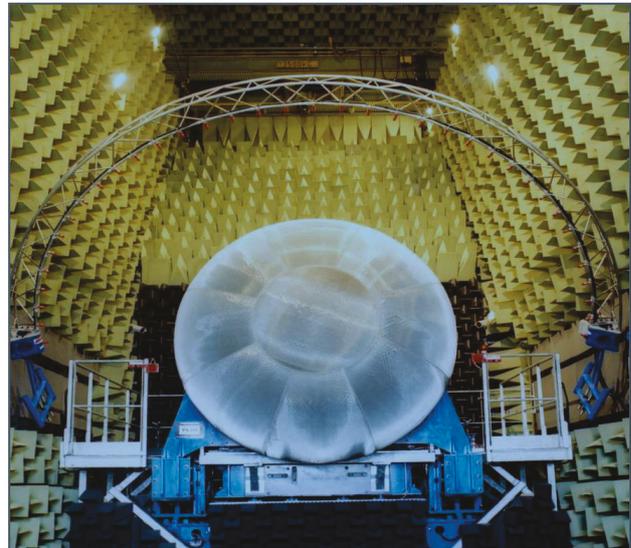


BILD 7. Teststand für skaliertes Fan-Rig

5.2. Fan, Gondel und Zwischengehäuse für große Triebwerke

Dieses Unterprojekt entwickelt Technologien mit dem Ziel verbesserter Effizienz und Lärmreduzierung in Bezug auf große Turbofan-Triebwerke mit einem hochentwickeltem Fan-Modul und einem neuartigen Zwischengehäuse (Intermediate Case IMC) mit optimiertem Leitschaufel-Design (OGV) zur weiteren Gewichtsreduktion. Basierend auf den Anforderungen der Triebwerksplattform für große Triebwerke für die Langstrecke werden im einem holistischen Designansatz die Komponenten ausgelegt.



BILD 8. 3D-Fanschaufel

Dabei liegt der Fokus der Optimierung auf dem Reiseflug-Betriebspunkt. Hierbei kommen folgende weitere neue Technologien zur Anwendung:

- Integriertes aerodynamisch optimiertes Fan-System Design für Langstreckenanforderungen,

welches die Komponenten Rotor, Gehäuse, OGV und Strömungsleitkanal mit einschließt,

- Leichtbau-IMC mit kombinierten Composite/Metall Werkstoffpaarungen bei den Bauteilschnittstellen, sowie OGV-Innenstrukturen in Leichtbauweise,
- Integration von Akustik-Linern in und zwischen den Leitschaufeln,
- VAFN-Konzept für Langstrecke

Das Aerodesign des Fanmoduls wird auch hier in einem skalierten Rigtest inklusive Lärmmessungen validiert. Neben mechanischen Belastungstests und Untersuchungen zum Schwingungsverhalten eines IMCs in Originalgröße sind Tests an Einzelbaugruppen und Komponenten vorgesehen, wie eine Ermüdungs- und Festigkeitsprüfung einer vereinfachten Schaufelfußschnittstelle oder eine Hagelschlag-Testkampagne zum Nachweis der Hagel- bzw. Steinschlagfestigkeit des OGV-Schaufelblattes. Aufgrund der höheren Bedeutung der aerodynamischen Effekte des VAFN Konzepts bei der Langstrecke, wird das hier ausgewählte Konzept vor allem auf dessen Performance-Einfluss hin im Windtunnel untersucht.

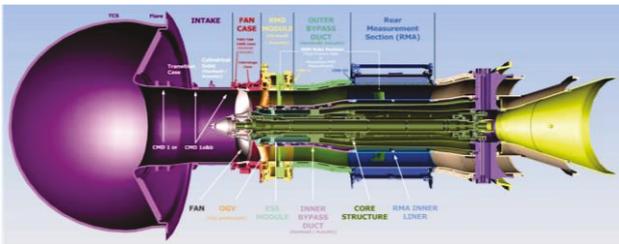


BILD 9. Fan-Rig

6. NIEDERDRUCKSYSTEM-TECHNOLOGIEN

Eine unverzichtbare Voraussetzung zur Darstellung einer Gesamtsystemverbesserung für eine UHBR-Triebwerkskonfiguration ist die Verfügbarkeit einer hocheffizienten und leistungsfähigen aber zugleich gewichtsreduzierten Turbomaschinerie zum Antrieb des Fans. In Ergänzung zu den Arbeiten in den beiden EU-Technologieprojekten LEMCOTEC und E-BREAK für Technologien im Hochdrucksystem und in Schnittstellen steht bei ENOVAL das Niederdrucksystem mit den Modulen Getriebesystem (Power Gearbox PGB), Niederdruckverdichter (Booster) und Niederdruckturbine (Low Pressure Turbine LPT) und deren angrenzende Module Turbinenzwischengehäuse (Interturbine Case ITC) und Turbinenausstrittsgehäuse (Turbine Exit Case TEC) im Fokus.

6.1. Getriebesystem

Mit dem Geared-Turbofan-Triebwerk PW1000G von Pratt&Whitney für die Airbus A320neo wurde erst kürzlich für den kommerziellen Flugzeugmarkt im Mittelstreckenbereich eine Konfiguration mit einem Untersetzungsgetriebe eingeführt, und seit Januar 2016 im Flugbetrieb eingesetzt. Die Möglichkeit der Trennung der Drehzahlen von Fan und Niederdrucksystem bietet hier besondere Potentiale der Effizienzsteigerung sowohl im Fan als auch

in den dann schnelllaufenden Komponenten der Turbomaschinerie.

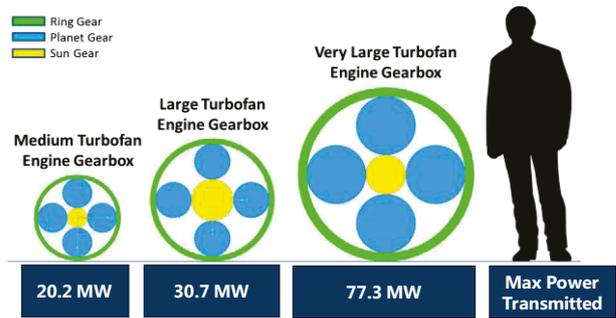


BILD 10. Getriebe Größen für ENOVAL-Plattformen

Die Machbarkeit einer Getriebe Konfiguration in einem großen Triebwerk für den Langstreckenbetrieb ist stark abhängig von der Reduktion von Getriebeverlusten. Zwei verschiedene Umlaufgetriebe-Architekturen „Star“ und „Planetary“ wurden in der Analyse für die Definition und vorläufige Auslegung für Testgetriebe teile betrachtet und eine vorläufige Testmatrix basierend auf CFD Simulationen der mehrphasigen Umgebung definiert. Als konkrete Maßnahmen zur Verlustreduktion werden ein verbessertes Wärmemanagement und die Möglichkeit der Reduzierung von Verwirbelungsverlusten untersucht. Dabei wird zur Optimierung der Wärmeenergie das dynamische Verhalten von Wärmequellen bei der Bewegung der Getriebe Körper in einer Öl-Luft-Gemisch-Umgebung experimentell ermittelt und mittels CFD simuliert. Die Verringerung des Wärmeeintrags erlaubt eine Reduzierung des Öldurchsatzes durch die Gearbox, was sich letztlich positiv auf das Gesamtgewicht des Ölsystems mit seinen Wärmetauschern und Leitungen auswirkt. Dies gilt im besonderen Maße für den großen Leistungstransfer über das Getriebe bei den Konfigurationen für die großen Triebwerksplattformen.



BILD 11. Rigtestaufbau für Planetengetriebe

Aus den experimentellen Untersuchungen an einem konkreten Planeten-Übersetzungsgetriebe-Rig wird zudem die mechanische Integrität und Zuverlässigkeit bei der Integration eines solchen Getriebes in das Triebwerk betrachtet.

6.2. Schnelllaufender Niederdruckverdichter

Die Verwendung eines Übersetzungsgetriebes erlaubt den Komponenten des Niederdrucksystems Betriebspunkte bei höherer Drehzahl, was im Niederdruckverdichter (Booster) zu einer höheren Aufladung und damit zu besseren Wirkungsgraden führt. Dies unterstützt die Anforderung nach einem Gesamtsystem mit sehr hohem Gesamtdruckverhältnis ($50 < \text{UHPR} < 70$). Die Realisierung dieser Anforderung bedarf neben einer optimierten Schaufelaerodynamik auch neuer Technologien zur Verbesserung der Verdichterstabilität, zur Reduktion von Leckageverlusten und zur Kontrolle des Sekundärluftstroms. Im Einzelnen sind dies:

- hochentwickelte 3D geschweifte Schaufelblattkonturen und -plattformen
- aggressive Übergangskanäle mit Verstrebungen (Struts) stromauf- und strom-abwärts des Boosters
- Applikation und Weiterentwicklung eines bearbeiteten Innengehäuses (passives Casing Treatment)
- Grenzschichtabsaugung zur Regulierung von aerodynamischen 3D-Phänomenen im Sekundärluftstrom

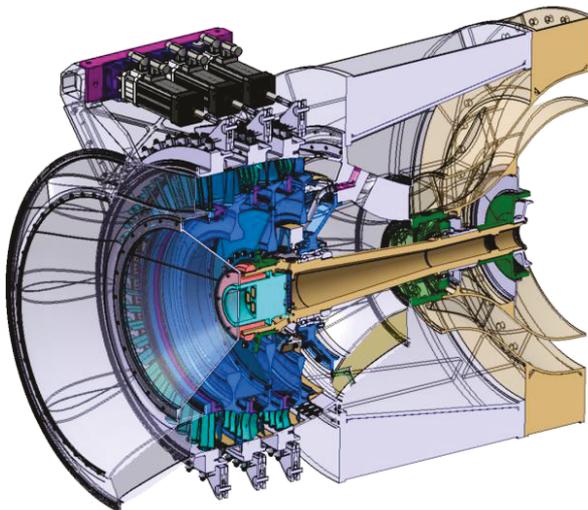


BILD 12. Konzept für den Booster-Rigtest

Diese neuen Technologien werden sowohl in einem Mehrstufenverdichter-Rigtest sowie in einem speziellen Rigaufbau zur Darstellung der Grenzschichtabsaugung validiert.

6.3. Niederdruckturbine

Als weitere Komponente des Niederdrucksystems wird die Turbine (Low Pressure Turbine LPT) mit ihren vor und nachgelagerten Modulen betrachtet. Die integrierte konstruktive Auslegung und aerodynamische Interaktion der LPT mit der Hochdruckturbine (High Pressure Turbine HPT) über das Turbinenzwischengehäuse (Interturbine Case ITC) stromaufwärts, als auch mit dem Turbinenausstrittsgehäuse (Turbine Exit Case TEC) stromabwärts verspricht Potentiale sowohl zur Erhöhung des Wirkungsgrads als auch zur Reduzierung des Gewichts und der Lärmemissionen. In Ergänzung zu den Applikationen für das schnelllaufende Niederdrucksystem einer Triebwerkskonfiguration mit Getriebe, werden dabei auch Verbesserungen für eine herkömmliche Anwendung mit starrer Fan-Antriebswelle untersucht. In Summe sind folgende Einzeltechnologien im Fokus:

- hochintegrierte 3D-Schaukelgeometrien zur Optimierung der Anforderungen aus Performance, Aeromechanik, Wärmeregulierung und Aeroakustik, sowie die Berücksichtigung des Sekundärluftsystems,
- neue Ansätze zur Ringraumkonturierung und Nutzung von sog. Clocking-Effekten
- lärmunterdrückende Beschaukelung (Lean Vanes) in aerodynamisch hochbelasteten Stufen
- integrierte Turbinenscheibenauslegung, welche den Einfluss eines neuen Materials und des gesamten Fertigungsprozesses (inkl. Fehlererkennung) auf die Bauteileigenschaften und Auslegungskriterien mit einbezieht
- Applikation von Akustik-Linern im LPT-Strömungskanal
- Gestaltung eines aggressiven Übergangskanals im ITC mit erhöhtem Übergangsradius zur LPT und reduzierter Stufenbelastung der Vorderstufen
- Gestaltung festigkeitsoptimierter integraler Strukturbauteile im ITC
- neue Gestaltungsansätze, welche die aerodynamische und strukturmechanische Interaktion zwischen HPT-ITC-LPT einerseits und LPT-TEC andererseits berücksichtigt

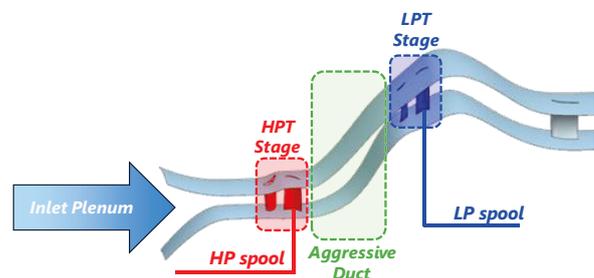


BILD 13. Integrierte Auslegung HPT-ITC-LPT

- Verwendung von passiven Akustik-Linern in den Schaufelzwischenräumen des TECs
- Einsatz von Fluidoszillatoren zur aktiven Strömungskontrolle in einem TEC



BILD 14. Aeroakustische Auslegung des TECs

Zur Validierung dieser Vielzahl von Technologien werden mehrere Komponenten- und auch Bauteiltests durchgeführt. Zwei Mehrstufen-Rigs fokussieren einerseits auf die vorderen und andererseits auf die mittleren und hinteren Stufen der LPT. Versuche an einem Zwei-Wellen-Rig stellen die Interaktion HPT-ITC-LPT (erste Stufe) dar. Die Interaktion von LPT-TEC wird in einem Höhenprüfstandstest mit umfangreichen Akustik-Messvorrichtungen analysiert. In einem Kaskadentest wird die Wirksamkeit der Fluidoszillatoren hinsichtlich der Strömungskontrolle überprüft. Die Charakterisierung der Akustik-Liner im LPT Strömungskanal findet mittels eines separaten Streifströmungsprüfstands statt.

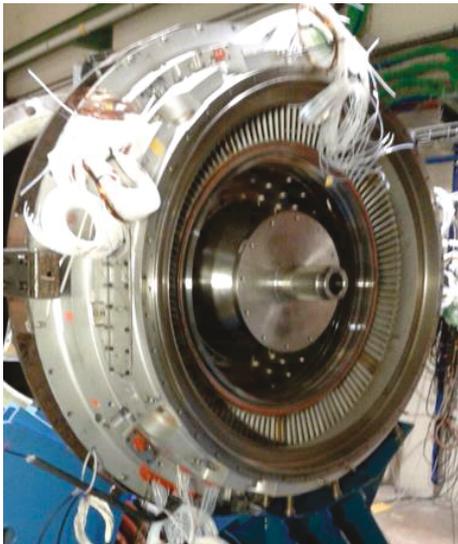


BILD 15. Instrumentiertes LPT-Rig

6.4. Weiterführende Niederdrucksystem-Technologien

ENOVAL unterstützt überdies Studien für Antriebe, die erst über das Jahr 2030 hin-aus verfügbar sein werden. Dabei werden Konzepte mit niedrigem Technologiereifegrad (TRL2) untersucht, z.B. Hybrid Fan Drive, Wärmesenken im Niederdrucksystem, variable Baugruppen im Bypass-Bereich, sowie variable Fan- und Turbinensysteme, um weitere Potentiale zur Erreichung der SRIA-Ziele nach 2020 aufzuzeigen.

7. FAZIT

Der weitere Anstieg des Nebenstromverhältnisses und Gesamtdruckverhältnisses ist erforderlich, um eine kontinuierliche Reduktion von luftfahrtbedingten Emissionen zu erreichen. Die EU-geförderten Level 2 Technologieprojekte ENOVAL zusammen mit LEMCOTEC und E-BREAK adressieren diese Herausforderungen und liefern die technologische Basis für die nächste Generation ziviler Triebwerke. Neben den Technologien die eine Erhöhung der Belastung erlauben und Maßnahmen zur Gewichts- und Verlustreduktion weisen vor allem ganzheitliche Auslegungsansätze z.B. über verschiedene Disziplinen bzw. über Modulgrenzen hinweg noch weitere Verbesserungspotentiale auf.

Es zeigt sich, dass das Förderinstrument eines großen integrierten kollaborativen Forschungs- und Technologieentwicklungsprojekts ein wichtiges Glied in der Gesamtentwicklungskette von innovativen Ideen bis hin zum marktreifen Produkt darstellt. Sie lassen das notwendige treibende Moment im Sinne von Budget, Arbeitsaufwand, Testeinrichtungen, Fähigkeiten und die dazu notwendige Verbindlichkeit entstehen, um die darin entwickelten Technologien bis hin zur Technologiereife TRL5 voranzutreiben.

Nach rund zwei Drittel der geplanten Dauer des ENOVAL Projektes wurden die Pläne der verschiedenen Design- und Validierungsaktivitäten im Detail definiert und konsolidiert. Der Großteil der Konzeptstudien und Designaktivitäten sind abgeschlossen, notwendige Testbauteile sind in der Herstellung bzw. bereits vorhanden. In einigen Bereichen sind die Versuche im Aufbau und es wurden auch bereits Testaktivitäten durchgeführt. Aus technischer Sicht ist das Projekt auf gutem Weg und seine Ziele sind nach wie vor wichtig und erreichbar.

Diese Arbeiten werden von der Europäischen Kommission im 7. Forschungsrahmenprogramm (2017-2013) unter dem Projekttitel „ENOVAL – Engine Modul Validators“ (Vertragsnummer 604999) gefördert.

8. LITERATUR

- [1] Merkl E., ENOVAL, Seventh European Aeronautics Days, 20 - 22 October 2015, London, United Kingdom
- [2] Sieber, J., European Technology Programs for Eco-Efficient Ducted Turbofans, ISABE-2015-20029, 2015
- [3] Strategic Research and Innovation Agenda Volume 1, Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe, 2012
- [4] R. v. Bank, S. Donnerhack, M. Carzalens, A. Lundbladh, M. Dietz, LEMCOTEC – Improving the Core-Engine Thermal Efficiency, ASME Turbo Expo 2014, GT2014-25040
- [5] M. Silva, E-BREAK: Engine Breakthrough Components and Subsystems, LEMCOTEC/E-BREAK/ENOVAL Common Meeting, 2013
- [6] ENOVAL proposal part B, 2012