



Smart Turboprop

Im Verbundprojekt „Airport 2030“ werden in der Forschungsgruppe „Aircraft Design and Systems Group (AERO)“ an der HAW Hamburg effiziente Flugzeugkonfigurationen untersucht. Eine dieser Konfigurationen ist der sogenannte Smart Turboprop. Es wird untersucht, ob man durch den Einsatz eines tieffliegenden Turbopropflugzeugs auf der Mittelstrecke eine Senkung der direkten Betriebskosten erreichen kann

Verbundprojekt Airport2030 / Referenzflugzeug

Teil der Spitzenclusterinitiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung ist das Verbundprojekt „Airport 2030“ („Effizienter Flughafen 2030“). Mit dem Leuchtturmprojekt „Airport 2030“ sollen ökonomischere und ökologischere Konzepte und Lösungen für den zunehmenden Flugverkehr entwickelt werden. Die HAW Hamburg arbeitet an effizienten Flugzeugkonfigurationen für ein Szenario in 2015. Das Referenzflugzeug für den Entwurf des Smart Turboprop ist der Airbus A320. Daher gelten die gleichen Anforderungen wie für den A320, wobei eine geringere Reiseflugmachzahl aufgrund der begrenzten Fluggeschwindigkeiten von Turbopropflugzeugen angesetzt wird.

Die Ausgangssituation

Steigender Kostendruck und steigende Umweltaforderungen veranlassen die Flugzeughersteller zum Entwurf neuer, verbesserter Flugzeugkonfigurationen. Flugzeuge mit Turboprop-Triebwerken (Turboprops) könnten auf der Mittelstrecke eine interessante Alternative zu den heute vorwiegend eingesetzten Flugzeugen mit Turbofan-Triebwerken (Turbofans) darstellen. Zudem könnten bei diesem konventionellen Ansatz die Entwicklungskosten und -risiken im Vergleich zu anderen Konzepten wie Blended-Wing-Body (siehe Ingenieurspiegel 1/2008) oder Boxwing-Flugzeug (siehe Ingenieurspiegel 2/2012) relativ gering gehalten werden. Im Forschungsprojekt wird daher ein tieffliegender Turboprop entworfen. Untersucht wird, ob dieser Turboprop geringere Be-

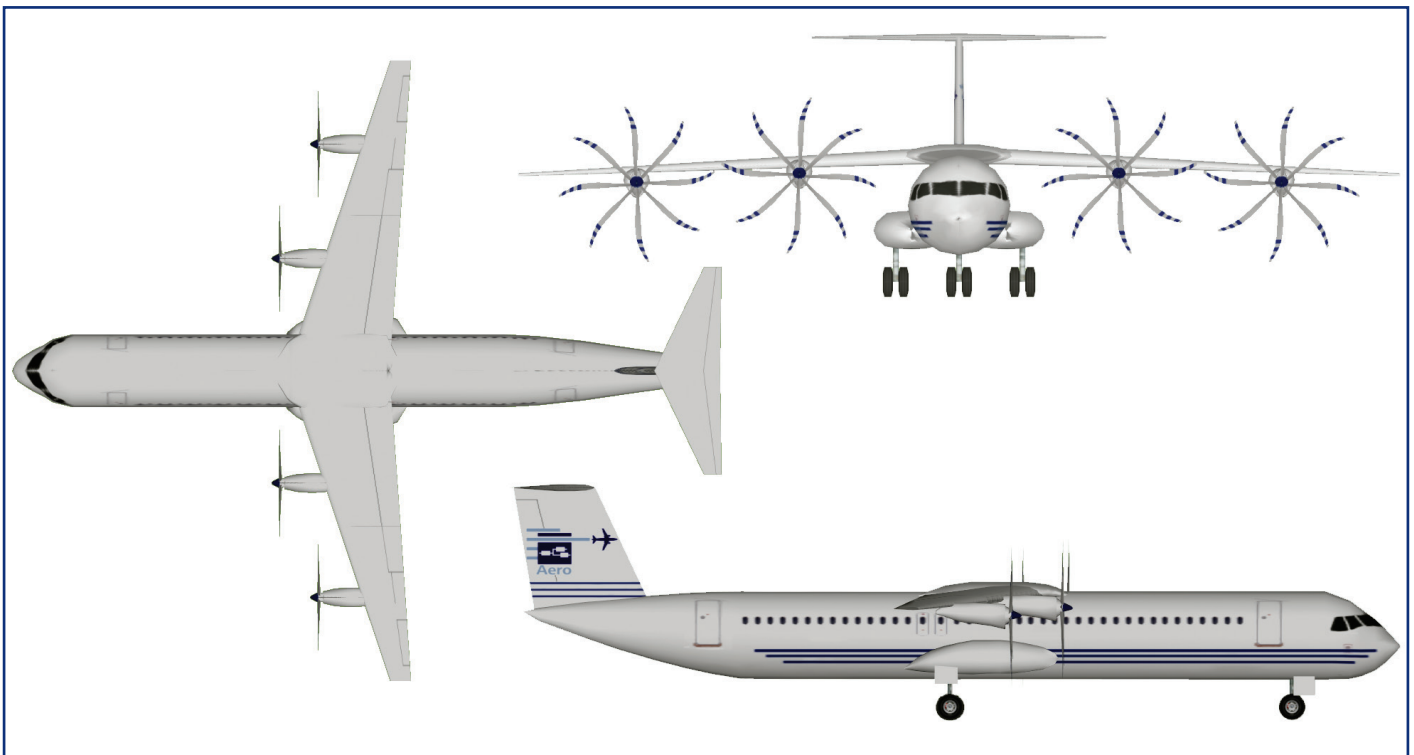
triebskosten als das Referenzflugzeug aufweist.

Warum Turboprop-Triebwerke?

Für Fluggesellschaften sind geringe Betriebskosten (Kosten pro Passagier und Strecke) eines Flugzeugs entscheidend. Der Einsatz von Turboprops könnte zu einer Verringerung der Betriebskosten führen, weil Turboprop-Triebwerke einen geringeren spezifischen Treibstoffverbrauch als Turbofan-Triebwerke haben. Um die Betriebskosten gering zu halten, müssen jedoch auch möglichst viele Passagiere in einem bestimmten Zeitraum transportiert werden, d.h. die Anzahl der Flüge muss hoch sein. Die Anzahl der möglichen Flüge hängt von der Fluggeschwindigkeit ab. Dies ist ein Nachteil der Turboprops, da diese geringere Fluggeschwindigkeiten als

vergleichbare Turbofans aufweisen. Ziel muss es also sein, möglichst geringen Treibstoffverbrauch bei möglichst hohen Fluggeschwindigkeiten zu erreichen. Diese beiden Ziele konkurrieren miteinander, weil der Wirkungsgrad der Turboprop-Triebwerke bei höheren Fluggeschwindigkeiten abnimmt und damit der Treibstoffverbrauch zunimmt. Es muss also ein optimaler Kompromiss zwischen hoher Fluggeschwindigkeit und geringem Treibstoffverbrauch gefunden werden. Bei der aktuell favorisierten Konfiguration wurde dieser Kompromiss bei einer für Turboprops relativ hohen Reiseflugmachzahl von 0,71 gefunden.

Durch ihren geringeren Treibstoffverbrauch könnte der Einsatz von Turboprop-Triebwerken auch die CO₂ Emissionen reduzieren. Beim Verbrennungsprozess entstehen pro ver-



branntem Kilogramm Treibstoff 3,15 kg CO₂. Die CO₂ Emissionen im Flugbetrieb sind also proportional zur verbrannten Treibstoffmasse. Daher würde eine Reduktion des Treibstoffverbrauchs um beispielsweise 15 % auch zu einer Reduktion der CO₂ Emissionen um 15 % führen.

Turboprops werden heutzutage bereits auf der Kurzstrecke eingesetzt, weil die Fluggeschwindigkeit dort weniger entscheidend ist, als auf der Langstrecke. Je höher der Treibstoffpreis, desto wichtiger ist ein geringer Treibstoffverbrauch und desto länger die Flugstrecke, auf denen Turboprops geringere Betriebskosten als Turbofans aufweisen. Die steigenden Treibstoffpreise der letzten Jahre haben bereits dazu geführt, dass Flugzeughersteller wie ATR und Bombardier über größere Turboprop-Flugzeuge mit 90 Sitzen nachdenken^{[1][2][3]}. Entscheidend ist also ob der Treibstoffpreis in 2030 (wenn nach derzeitiger Planung eine neue Generation von Mittelstreckenflugzeugen eingeführt werden soll^[4]) „hoch“ genug ist, damit sich der Einsatz von Turboprops auch auf der Mittelstrecke lohnt.

Warum tiefer fliegen?

Die Fluggeschwindigkeit eines Flugzeugs wird durch seine Flugmachzahl (d. h. dem Verhältnis der Fluggeschwindigkeit zur Schallgeschwindigkeit) begrenzt. Die Schallgeschwindigkeit hängt von der Temperatur und damit von der Flughöhe ab. Je geringer die Flughöhe, desto höher die Schallgeschwindigkeit. Ein Flugzeug mit einer Reiseflugmachzahl von 0,71 weist daher in geringer Flughöhe eine höhere Fluggeschwindigkeit auf, als in größerer Flughöhe. Ein Flugzeug mit einer Machzahl von 0,71 hätte in einer Flughöhe von 6140 m etwa dieselbe Fluggeschwindigkeit wie ein Flugzeug mit einer Machzahl von 0,76 in 11000 m. Um eine möglichst hohe Fluggeschwindigkeit zu



erreichen soll der Turboprop daher in geringerer Flughöhe als vergleichbare Turbofans fliegen.

Die Fluggeschwindigkeit ist für Flugzeuge in einer Höhe unter 10000 ft (3048 m) auf 250 kt (Indicated Airspeed) (534 km/h wahre Geschwindigkeit; Machzahl: 0,45) begrenzt. Sowohl Turbofans als auch Turboprops können diese Geschwindigkeit erreichen und sind somit beide kurz nach dem Start und kurz vor der Landung in der Fluggeschwindigkeit begrenzt. Das bedeutet, dass ein Turbopropflugzeug während der ca. 20 Minuten eines Fluges, die unter 10000 ft geflogen werden gegenüber einem Turbofanflugzeug keine Zeit verliert.

In geringer Flughöhe könnte auch der Umwelteinfluss verringert werden, wie in Veröffentlichungen (wie z. B. in^[5]) gezeigt wurde. Ein Nachteil der geringeren Flughöhe wäre, dass man öfter unter Wettereinfluss fliegen würde und stärkeren Böen ausgesetzt wäre. Durch den Entwurf eines Flugzeugs mit höherer Flächenbelastung (Flugzeugmasse dividiert durch Flügelfläche) könnten die Einwirkungen durch die Böen auf die Passagiere jedoch konstant gehalten werden.

Konfiguration des Turbopropflugzeugs

Ein hoher Wirkungsgrad der Propeller ist Voraussetzung für niedrigen Treibstoffverbrauch.

Um einen hohen Wirkungsgrad zu erreichen sind niedrige Flächenbelastungen der Propeller (d.h. eine Verteilung der erforderlichen Leistung auf eine möglichst große Propellerfläche) notwendig. Dies kann durch einen großen Propellerdurchmesser erreicht werden, welcher jedoch aus Platzgründen und durch die Blattspitzengeschwindigkeit begrenzt ist. Dennoch kann die Flächenbelastung durch den Einsatz zusätzlicher Triebwerke weiter verringert werden. Beim Entwurf des Mittelstrecken-Turboprops für 180 Passagiere erreichten Flugzeugkonfigurationen mit vier Triebwerken und hohen Wirkungsgraden, trotz z. B. höherer Wartungskosten geringere Betriebskosten als Konfigurationen mit zwei Triebwerken und niedrigeren Wirkungsgraden.

Um die großen Propeller unterbringen zu können, wurde eine Hochdeckerkonfiguration gewählt, um ausreichende Bodenfreiheit für die Propeller sicherzustellen. Bei der heute oft üblichen Tiefdeckerkonfiguration wären sehr hohe Fahrwerksbeinlängen und damit hohe Fahrwerksmassen notwendig gewesen.

Bei der Wahl eines konventionellen Leitwerks würde das Höhenleitwerk im Nachlauf der Propeller liegen. Daher wurde ein T-Leitwerk gewählt, welches das Höhenleitwerk aus dem Nachlauf der Propeller heraushebt.

Bei Tiefdeckern ist das Hauptfahrwerk meist im Flügel untergebracht. Eine solche Unterbringung würde bei der gewählten Hochdeckerkonfiguration wieder zu großen Fahrwerksbeinlängen und damit zu großer Fahrwerksmasse führen. Außerdem wäre das Einfahren der Fahrwerke aus Platzgründen schwierig. Auch eine Unterbringung in den Triebwerksgondeln (wie z.B. bei der Bombardier Q400) wäre bei den hier erforderlichen Fahrwerksbeinlängen schwierig, weshalb sich eine Unterbringung am Rumpf anbietet. Es wurde entschieden, dass der Frachtraum davon unbeeinträchtigt bleiben soll, weshalb das Fahrwerk so angebracht wird, dass ein durchgehender Frachtraum mit konstantem Querschnitt möglich wird.

Die Bodenabfertigung stellt für unkonventionelle Konfigurationen oftmals eine Herausforderung dar. Da der vorgeschlagene Turboprop eine konventionelle Konfiguration besitzt, sind keine Änderungen in den bestehenden Bodenabfertigungsprozessen und den verwendeten Bodengeräten notwendig, sodass teure Investitionen vermieden werden können.

Beim Thema Lärm muss man zwischen dem Lärm innerhalb der Kabine und dem am Boden wahrgenommenen Flugzeuglärm unterscheiden. Der Lärm am Boden ist bei Turbopropflugzeugen tendenziell geringer als der Lärm von vergleichbaren Turbofanflugzeugen.

gen^[6]. Probleme bereitet allerdings der Kabinenlärm, der über demjenigen von vergleichbaren Turbofanflugzeugen liegt. Damit der Kabinenlärm beim Smart Turboprop nicht höher als bei einem Turbofan ausfällt, wurde die Verwendung von zusätzlichem Dämmmaterial vorgesehen und dessen Masse im Entwurf berücksichtigt.

Ergebnis

Die aktuell favorisierte Turboprop-Konfiguration ist ein Hochdecker mit T-Leitwerk, 4 Triebwerken und großen, gepfeilten Propellern mit 6 m Durchmesser. Auf einer Missionsreichweite von 1400 km könnte dieses Flugzeug bereits mit heute verfügbaren Triebwerken Treibstoffersparnisse von etwa 15 % im Vergleich zur A320 erreichen. Die CO₂ Emissionen im Flugbetrieb würden damit ebenfalls um etwa 15 % reduziert werden. Die direkten Betriebskosten könnten sich im Vergleich zur A320 um etwa 10 % senken lassen.

So wie bei der A320 NEO wird ein großer Anteil der Ver-

brauchsreduktion aber durch die neue Technologie der Triebwerke bestimmt. Neue sparsame Turboprop-Triebwerke für größere Passagierflugzeuge befinden sich noch in der Entwicklung^[7]. Diese neuen Triebwerke in Kombination mit weiteren innovativen Techniken wie z. B. dem abgestrebten Flügel (braced wing) könnten dem Smart Turboprop zum Durchbruch verhelfen.

Dipl.-Ing. Andreas Johanning
Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz, MSME

Literatur

^[1] TOH, Mavis: ATR Awaits Shareholders' Go-Ahead for 90-Seat Turboprop Project. Flightglobal, 2012-12-17. URL: <http://www.flightglobal.com/news/articles/atr-awaits-shareholders-go-ahead-for-90-seat-turbo-prop-project-380273> (2012-12-22)

^[2] TRIMBLE, Stephen: Analysis: Bombardier Bids to Claw Back Turboprop Market Share. Flightglobal, 2012-11-06. URL: <http://www.flightglobal.com/news/articles/analysis-bombardier-bids-to-claw-back-turbo-prop-market-share-378385> (2012-12-22)

^[3] TRIMBLE, Stephen: Return of the Power Turboprop. In: *Flight International*. 2012-02-28 to 2012-03-05, pp 32-33

^[4] KINGSLEY-JONES, Max: No Viable All-New Single-Aisle before 2030 (including Video with John Leahy). Flightglobal, 2011-04-06. URL: <http://www.flightglobal.com/news/articles/video-no-viable-all-new-single-aisle-before-2030-leahy-355274/> (2012-12-22)

^[5] KOCH, A.; LÜHRS, B.; DAHLMANN, K.; et al.: Climate Impact Assessment of Varying Cruise Flight Altitudes Applying the CATS Simulation Approach. In: CEAS: *3rd CEAS Air&Space Conference: Proceedings* (CEAS2011, Venice, 24. - 28. October 2011), pp 1799-1810

^[6] General Electric; Cessna; Georgia Tech, ASDL: *N + 3 Small Commercial Efficient & Quiet Air Transportation for Year 2030-2035*. NASA Contract NNC08CA85C, Final Report, 2010-04-22. URL: http://aviationweek.typepad.com/files/nasa_ge_final_report_out_4.22.10.pdf

^[7] CROFT, John: 90-Seat Turbo-prop Beckons to P&WC. In: *Flight International*. 2011-05-24 to 30, p 10

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg – Forschungsgruppe Flugzeugentwurf und -systeme



Aircraft Design and Systems Group (AERO)
Berliner Tor 9 – 20099 Hamburg
Telefon: +49.40.42875-8825
E-Mail: info@ProfScholz.de
<http://AERO.ProfScholz.de>

Forschungsprojekt:

Effizienter Flughafen
2030 – **Airport 2030**
Arbeitspaket 4.1

