



Der Grüne Frachter

Untersuchung von umweltfreundlichen Flugzeugen mit unkonventioneller Konfiguration und alternativen Antrieben



„Elegant“, „leise“ oder „grün“ sind normalerweise keine Schlagworte, welche man mit

Frachtflugzeugen verbindet. Tatsächlich kommen einem bei diesem Thema eher ausrangierte Passagierflugzeuge in den Sinn, die umgebaut wurden für ein zweites Leben als Frachter: robuste Arbeitspferde, oftmals die letzten ihrer Art auf europäischen Flughäfen. Aber für diese Flugzeuge wird die Luft zunehmend dünner. Nachtflug- und Lärmbeschränkungen, steigende Treibstoffpreise und der kommende Emissionshandel erhöhen den Druck auf Logistikunternehmen, modernere Flugzeuge zu betreiben. Bereits heute sind fabrikneue Frachtflugzeuge erhältlich und im Einsatz. Weitere, wie die Boeing B747-8F und die Airbus A380F, werden in naher Zukunft hinzukommen, um dem stark wachsenden Bedarf an Frachtflugzeugen nachzukommen. Sowohl Airbus als auch Boeing erwarten, dass sich die weltweite Frachtflugzeugflotte auf ca. 4000 Flugzeuge verdoppeln wird bis zum Jahr 2025 – dem angenomme-

nen Einführungszeitpunkt des „Grünen Frachters“. Dies ist der Titel eines aktuellen Flugzeugentwurfprojekts unter Führung der Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg zu umweltfreundlichen und kostengünstigen Frachtflugzeugen mit unkonventioneller Konfiguration und alternativen Antrieben. Der Projektstart des Grünen Frachters war Ende 2006; die Dauer des Projekts ist auf drei Jahre angesetzt. Die Projektpartner der HAW sind das Institut für Flugzeugbau und Leichtbau (IFL) der TU Braunschweig, das Airbus Future Projects Office und die Bishop GmbH; das Bundesministerium für Bildung und Forschung ist als Förderer beteiligt. Die technischen Untersuchungen im Rahmen des Grünen Frachters umfassen insbesondere die folgenden Aspekte:

- geringer Kraftstoffverbrauch
- alternative Kraftstoffe (Flüssigwasserstoff (LH2), synthetische und Biokraftstoffe)
- geringer Lärmpegel
- geringe Betriebskosten aufgrund von pilotenlosem Betrieb und reduzierten Flugzeugsystemen.

Unkonventionelle Konfigurationen

Praktisch alle heutigen Verkehrsflugzeuge sind in konventioneller Konfiguration, auch Drachenkonfiguration genannt, gebaut. Diese ist gekennzeichnet durch drei Hauptmerkmale:

- ein Rumpf in dem die Nutzlast untergebracht ist
- am Rumpf angebrachte Tragflächen, die den Auftrieb erzeugen
- ein Leitwerk am Heck des Rumpfes für die nötige Stabilität und Steuerbarkeit.

Jede Flugzeugkonfiguration, die sich in einem oder mehreren Punkten hiervon unterscheidet ist unkonventionell.

Flugzeugkonfigurationen lassen sich beispielsweise wie in Bild 1 gruppieren. Die erste Zeile enthält verschiedene Anordnungen von Tragflächen und Leitwerken: Canard- oder Entenflugzeug, Tandemanordnung, konventionelle Konfiguration, verbundene Tragflächen und Deltaflügler. Die zweite Zeile zeigt Flugzeuge mit mehr als einem Rumpf: Doppel- oder Multirumpfanordnung. Die dritte Zeile beinhaltet Flugzeuge mit

ineinander übergehenden Tragflächen und Rumpf: sog. Lifting Fuselage, C-Flügler und Blend-Wing-Body (BWB). Die vierte Zeile zeigt Flugzeugkonfigurationen ohne Rumpf: Nurflügler (Flying Wing), Schrägfliegender Nurflügler (Oblique Flying Wing, OFW) und EKIP¹. Die Spalten unterteilen die genannten Konfigurationen nach ihrer Anzahl an Trag- und Steuerflächen.

Aber weshalb überhaupt eine Untersuchung von unkonventionellen Flugzeugkonfigurationen? Heutige Flugzeuge sind sehr zuverlässige und sichere Verkehrsmittel, und in den letzten Jahren ist das Fliegen zunehmend günstiger geworden – insbesondere seitdem viele Billigfluglinien in den Markt eingetreten sind. Häufig ist Fliegen nicht nur die schnellste und sicherste Art zu reisen, sondern auch die günstigste. Was sind also die Gründe, aus denen die derzeitigen Bemühungen neue Flugzeugkonzepte und –technologien zu untersuchen und zu entwickeln überhaupt unternommen werden?

Rückblick und Herausforderungen

Wenn man die verschiedenen Flugzeugtypen betrachtet, die im Laufe von über einem Jahrhundert Motorflug gebaut wurden, fallen einem große Entwicklungen auf. Mit den ersten selbstgebaute Flugapparate war man in der Lage, kleine, mehr oder weniger kontrollierte Hüpfen zu vollführen. Aber bereits sehr früh nach diesen ersten Flügen waren beachtliche Fortschritte festzustellen. Das Fliegen wurde „höher, schneller und weiter“, aber auch sicherer, zunehmend unabhängig von Wetter und Tageslicht und komfortabler. Kurz gesagt: Fliegen wurde zu einer ausgereiften Technologie.

2005, also weitere 51 Jahre später, hatte die A380 ihren Roll-out, und obwohl es natürlich zwei Passagierdecks und viele Verbesserungen hinsichtlich Lärm, Kraftstoffverbrauch, Rußentwicklung, Sicherheit, Komfort etc. zu verzeichnen gibt, hat sich an der Flugzeugkonfiguration nichts Grundlegendes geändert. All die genannten Verbesserungen beruhen auf Weiterentwicklungen der bestehenden Flugzeugkomponenten selbst (Turbofantriebwerke, Werkstoffe, Fertigungsverfahren, Flugsteuerung, etc.), und es gilt weiterhin, hoch gesteckte Ziele zu erreichen, um auf die Herausforderungen eines stetig wachsenden Luftverkehrs zu reagieren.

Insbesondere vor dem Hintergrund des weltweiten Klimawandels und weiterer Umwelt-

1954, 51 Jahre nach dem ersten Motorflug der Wright Brüder im

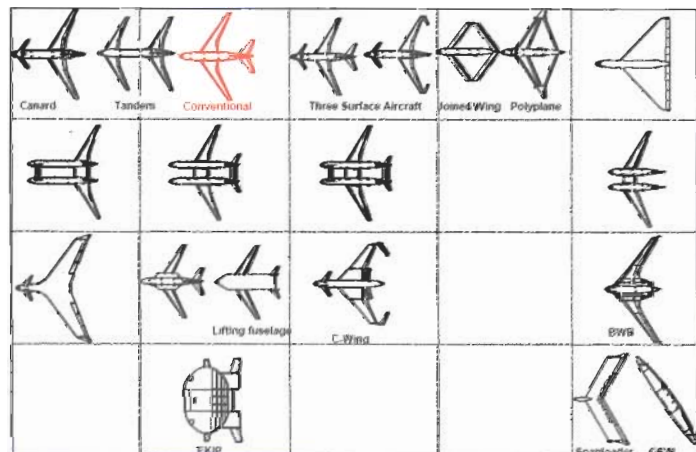


Bild 1: Konfigurationsmatrix (Trahmer 2004)

Dezember 1903, hatte die Boeing 707 ihren Roll-out: ein modernes Strahlverkehrsflugzeug, das es ermöglichte, 150 Passagiere mit über Mach 0,8 über den Atlantik zu transportieren. Dieses Flugzeug kann als Prototyp der meisten heutigen Airliner, die im hohen Unterschallbereich verkehren, angesehen werden:

- Druckkabine
- Rumpf mit zylindrischem Mittelteil und Leitwerk am Heck
- Bugradfahrwerk
- ein nach hinten gepfeilter Flügel mit an Pylonen befestigten Strahltriebwerken.

und sozialer Herausforderungen werden die Rufe nach einem nachhaltigen Luftverkehr und „grünen“ Flugzeugen immer lauter. So unterzeichnete 2001 eine Expertengruppe von Vertretern aus Politik, Luftfahrtindustrie und -forschung eine Zielsetzung für die Zukunft des europäischen Lufttransportsystems: die Vision 2020². Diese definiert verschiedene Einzelziele, die bis zum Jahr 2020 erreicht werden sollen um die zwei Hauptaufgaben „Reaktion auf gesellschaftliche Anforderungen“ und „Sicherung der weltweiten europäischen Vorherrschaft in der Luftfahrt“ zu

Be-Lufthansa.com/Technik/engineers



Could you fit this on an airplane?

A career at Lufthansa Technik offers some unusual challenges. Like customising a jet to accommodate a luxury bathroom. Or visiting China to train mechanical engineers at one of our partner companies.

As well as being the world's leading aircraft maintenance and repair company, Lufthansa Technik work at the cutting-edge of the aviation industry. Many of our innovations have become standard world-wide. If you have a diploma in industrial engineering, aerospace engineering, electrical engineering or aircraft construction why not join us?

Whatever your interest you'll find plenty of scope for your talents. We'll give you a flexible work schedule, the benefits of a global company, a great working atmosphere and all the responsibility you can handle.

Be who you want to be
Be-Lufthansa.com





Bild 2: Erstflug der AC20.30 der HAW Hamburg (AC2030.de 2006)

erfüllen. Einige der unmittelbaren Ziele sind die Reduzierung von Unfällen im Bereich der Luftfahrt um 80 %, die Fähigkeit, 16 Millionen Flüge jährlich (in Europa) abzuwickeln und die Reduzierung der Kosten des Luftverkehrs um 30 %. Weitere sind die Reduzierung der Wartezeit von Fluggästen vor dem Einsteigen auf unter 15 Minuten bei Kurz- und auf unter 30 Minuten bei Langstreckenflügen. Zudem sollen weniger als 5 % aller Flüge überhaupt 15 Minuten oder mehr Verspätung haben. In punkto Umweltverträglichkeit lauten die Vorgaben, die Lärmemissionen um 50 % sowie die Kohlendioxid- und Stickoxidemissionen um 50 % bzw. 80 % zu senken.

Die Entwicklungen der letzten Jahrzehnte lassen es nahezu unmöglich erscheinen, diese Ziele ausschließlich durch evolutionäre Verbesserungen von konventionellen Flugzeugen zu erreichen. Beispielsweise haben viele Flughäfen bereits heute ihre maximale Anzahl an Flugbewegungen erreicht. Die einzige Möglichkeit für diese Flughäfen, ihr Passagieraufkommen weiter steigern zu können ist es, die Anzahl an Passagieren pro Flug zu steigern. Es werden also größere Flugzeuge benötigt. Allerdings stellt die A380 bereits aus ver-

gleichsweise einfachen Gründen nahezu die Grenze des technisch Machbaren für konventionelle Flugzeuge dar: Wenn ein Körper größer skaliert wird, erhöht sich sein Volumen mit dritter Potenz, während seine Oberfläche nur quadratisch zunimmt. Diesen Zusammenhang bezeichnet man als das sog. „Square-Cube-Law“. Wird z. B. ein Würfel mit einer Kantenlänge von 1 auf eine Kantenlänge von 2 vergrößert, so steigt sein Volumen von 1 auf 8 (2x2x2) wohingegen seine sechs Flächen jeweils nur von

1 auf 4 (2x2) anwachsen. Demnach steigt der Druck auf die Bodenfläche von 1 (1/1) auf 2 (8/4). Übertragen auf den Flugzeugbau heißt dies, dass eine simple Größerskalierung zu einer vergrößerten Flächenbelastung führt, welche sich aus physikalischen Gründen natürlich nicht beliebig steigern lässt. Einige unkonventionelle Flugzeugkonfiguration wie z. B. der so genannte Blended-Wing-Body (BWB) bieten hier deutlich mehr Potential für noch größere Flugzeuge.

Die Blended-Wing-Body-Konfiguration

Bei einem Flugzeug in BWB-Konfiguration gehen der Rumpf und die Tragflächen ineinander über. Weiterhin ist der Rumpf geformt wie ein Tragflügelprofil und trägt somit deutlich zum Auftrieb des Flugzeugs bei. Verglichen mit Flugzeugen konventioneller Bauart sind die möglichen Vorteile des Blended-Wing-Body eine leichtere Struktur und eine verbesserte Aerodynamik. Hinsichtlich eines Wasserstoffantriebs bietet er weitere Vorteile, da er über enorme Volumenreserven verfügt. Für die Speicherung derselben Menge an Energie benötigt man für Wasserstoff etwa das Vierfache des Tankvolumens von Kerosin. Konventionelle Flugzeuge, die gasförmige Treibstoffe verwenden, wie z.B. die Tupolev Tu-155, müssen wertvollen Raum im Innern des Rumpfes für Tanks opfern, oder der Kraftstoff muss, wie z. B. beim Cryoplane-Projekt³, in großen Tanks oberhalb der Passagierkabine oder unterhalb der Tragflächen transportiert werden. Solche Tankanordnungen vergrößern natürlich die Oberfläche des Flugzeugs und damit den Reibungswiderstand.



Bild 3: Flugmodell der Boeing X-48B (Boeing 2006)

Derzeit werden an einer Vielzahl verschiedener Institutionen Untersuchungen zum Thema Blended-Wing-Body durchgeführt. Zwei von ihnen sind das studentische Projekt AC20.30⁴ der HAW Hamburg und die X-48B von Boeing, der NASA und dem U.S. Air Force Research Laboratory (AFRL), siehe Bilder 2 und 3. Generell erscheint der BWB der wahrscheinlichste nächste Sprung in Richtung neuer Flugzeugkonfigurationen zu sein. Nichtsdestotrotz bringt er eine Reihe neuer Herausforderungen mit sich, die gelöst werden müssen, bevor ein solches Flugzeug auf den Markt kommen kann:

- Stabilität und Steuerbarkeit
- Evakuierung der Passagiere
- Keine Sicht nach außen für viele/alle Passagiere (Klaustrophobie)
- Manöverlasten auf äußeren Sitzen
- Nicht-zylindrische Druckkabine
- Flughafen-Infrastruktur
- Zulassung

Wieso ein Frachtflugzeug?

Wie anfangs erwähnt ist der globale Frachtflugzeugmarkt ein sehr stark wachsendes Marktsegment. Bis heute sind Frachtflugzeuge hauptsächlich umgerüstete Passagierflugzeuge, die entweder umgebaut wurden, nachdem sie als Passagierflugzeuge ausgerangiert wurden, oder sie sind neu gebaute Flugzeuge die ursprünglich als Passagierversionen entworfen und auf eine zusätzliche Frachtversion „abgespeckt“ wurden. Somit beinhalten diese Flugzeuge eine Reihe von Merkmalen, die für eine Nutzung als Frachter zwar nicht benötigt, jedoch bezahlt und auf jedem Flug mitgeführt werden müssen. Dies führt zu einem generellen Bedarf an Frachtflugzeugen, die auch rein für diesen Zweck entworfen wurden.

Auf der anderen Seite bieten manche unkonventionelle Flugzeugkonfigurationen, allen vor-

an der Blended-Wing-Body, großes Potential für einen zukünftigen umweltfreundlichen und kostengünstigen Flugbetrieb. Viele der genannten Herausforderungen die der BWB mit sich bringt treffen insbesondere auf Passagierflugzeuge zu und spielen keine oder nur eine geringe Rolle für Frachtflugzeuge. Somit kann der Grüne Frachter als Wegbereiter dienen um eine Datenbasis hinsichtlich des Betriebs von BWB-Flugzeugen zu erarbeiten – ebenso wie die erwähnte X-48B, die von Boeing und NASA ebenfalls als Schritt in Richtung eines BWB-Frachtflugzeugs angesehen wird.

Anforderungen und Referenzflugzeug

Wie gesagt ist die Blended-Wing-Body-Konfiguration besonders für große Flugzeuge geeignet. Mehr noch – für die Nutzung als Transportflugzeug ist eine gewisse Größe sogar ein Muss: Um eine Passagierkabine oder ein Frachtdeck un-

terzubringen, muss der Rumpf über eine gewisse Dicke verfügen, die sich aus Passagierkabinen- bzw. Frachtdeckhöhe plus zusätzlichem Raum für Struktur und weiterer Installationen ergibt. Dies gilt natürlich für jede Art Flugzeug, doch ist im Falle des BWB der Rumpf geformt wie ein Tragflügelprofil und erstreckt sich somit deutlich über die Länge des Laderaums hinaus nach vorn und insbesondere nach hinten. Daraus resultiert, dass hohe zu transportierende Gegenstände wie Frachtpaletten oder Passagiere die Länge eines BWB drastisch vergrößern und somit auch direkt zu einer Zunahme der Spannweite führen, wenn eine gewisse Tragflügelstreckung erreicht werden soll. Dementsprechend wird es sich bei etwaigen zivilen oder militärischen BWBs um sehr große Flugzeuge handeln. Untersuchungen des Instituts für Flugzeugbau und Leichtbau der TU Braunschweig zum Thema Blended-Wing-Body haben ergeben, dass die minimale

www.THIELERT.com



Überflieger landen bei uns!

Die Thielert AG ist ein börsennotiertes Unternehmen mit drei Standorten in Deutschland sowie einem in den USA. Wir sind weltweit führender Hersteller von Dieselflugmotoren für die Allgemeine Luftfahrt. Zu unseren Kunden zählen renommierte Unternehmen aus der Automobil- und Luftfahrtindustrie. Als wachstumsstarkes Technologie-Unternehmen suchen wir kontinuierlich qualifiziertes Personal. Insbesondere Absolventen technischer Studienrichtungen mit hervorragendem Abschluss bietet Thielert die besten Möglichkeiten, ihre Fähigkeiten unter Beweis zu stellen und sich beruflich weiterzuentwickeln. Nähere Informationen unter: www.thielert.com

THIELERT

sinnvolle Nutzlast für BWB-Transportflugzeuge bei etwa 50 t liegt.

Im April 2007 vereinbarten die Projektpartner folgende Anforderungen an den Grünen Frachter:

- Reichweite: 4800 NM (9000 km)
- 109 t Nutzlast
- Reisefluggeschwindigkeit: Mach 0,84

Diese Werte entsprechen in etwa der Boeing B777F, die demzufolge als konventionelles Referenzflugzeug gewählt wurde. Weiterhin wurde entschieden, dass zwei Vergleichsflugzeuge in BWB-Konfiguration entworfen und untersucht werden sollen: eines, das denselben Anforderungen wie die B777F zu genügen hat, plus ein weiteres, das über einen Propellerantrieb verfügt und dessen Reiseflugmachzahl entsprechend auf ca. 0,5 reduziert wird. Für beide Flugzeuge gilt im Übrigen, dass die genannten Werte für die Reiseflugmachzahl nur Startwerte darstellen; die genauen

Zahlen sollen sich aus Optimierungen der Betriebspunkte der jeweiligen Entwürfe ergeben. Weitere Anforderungen an die Entwurfsvarianten sind u.a. Single-Engine-Cruise (effizienterer Reiseflug durch nur ein laufendes Triebwerk), pilotenloser Betrieb und Wasserstoff- bzw. Wasserstoff-Biokraftstoff-Hybridantriebe.

Flüssigwasserstoff als Treibstoff

Wasserstoff ist kein Treibstoff im Sinne einer Energiequelle; vielmehr ist es ein Energieträger ähnlich einer Batterie. Bevor Wasserstoff genutzt werden kann, muss erst Energie aufgewendet werden, um ihn in Reinform zu erhalten. Dies kann z.B. durch Aufspaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff mit Hilfe der Elektrolyse geschehen. Dieser Prozess ist sehr energieaufwändig, und die benötigte Energie kann später nur teilweise zurück gewonnen werden. Heutzutage wird Wasserstoff größtenteils aus Erdgas (also nicht klimaneu-

tral) gewonnen, da dieses Vorgehen deutlich günstiger ist als die Elektrolyse. Wenn Wasserstoff mittels erneuerbarer Energien gewonnen wird, bietet er aber das Potential für eine extrem emissionsarme Nutzung: kein CO₂ und kein bzw. nur wenig NO_x. Im Gegensatz zu Kerosin muss er jedoch auf -253 °C heruntergekühlt werden, um in flüssiger Form gespeichert werden zu können (liquid hydrogen, LH2). Bezogen auf denselben Energiegehalt hat Wasserstoff in diesem Zustand nur ein Drittel der Masse von Kerosin, aber, wie gesagt, das Vierfache des Volumens. Untersuchungen zur Sicherheit von Wasserstoff haben ergeben, dass dieser mindestens genauso sicher ist wie herkömmliche Kraftstoffe auf Kohlenwasserstoffbasis. Einer seiner größten Vorteile in diesem Zusammenhang liegt an seinem gasförmigen Zustand bei Umgebungstemperatur: Im Falle eines Lecks und/oder Feuers verdampft Wasserstoff sofort und steigt weg. Er bildet somit keinen (lange brennenden) Teppich.

Stand des „Grüner Frachter“-Projekts

Das zentrale Werkzeug im Rahmen des Grünen Frachters ist das vom IFL entwickelte Flugzeugentwurfprogramm PrADO (Preliminary Aircraft Design and Optimisation programme). Dieses Programm besteht aus vielen einzelnen Datenbanken und Unterprogrammen, die durch ein gemeinsames Datenverwaltungssystem gesteuert und aufgerufen werden, siehe Bild 4. Ausgehend von einer vom Benutzer erstellten Vorgabedatei werden innerhalb PrADOs schrittweise sämtliche Bereiche der Flugzeuganalyse durchlaufen. Diese Bereiche sind z. B. Anforderungen, Bauteilgeometrien, Flugmechanik und Aerodynamik bis hin zu Masseprognose, Strukturanalyse und Simulation verschiedener Flugmissionen. Neue Anforderungen an das Programm, die für die Analyse des Grünen Frachters notwendig werden (z.B. durch Hybridantriebe), werden in neuen Programmmodulen berücksichtigt, die von den Pro-

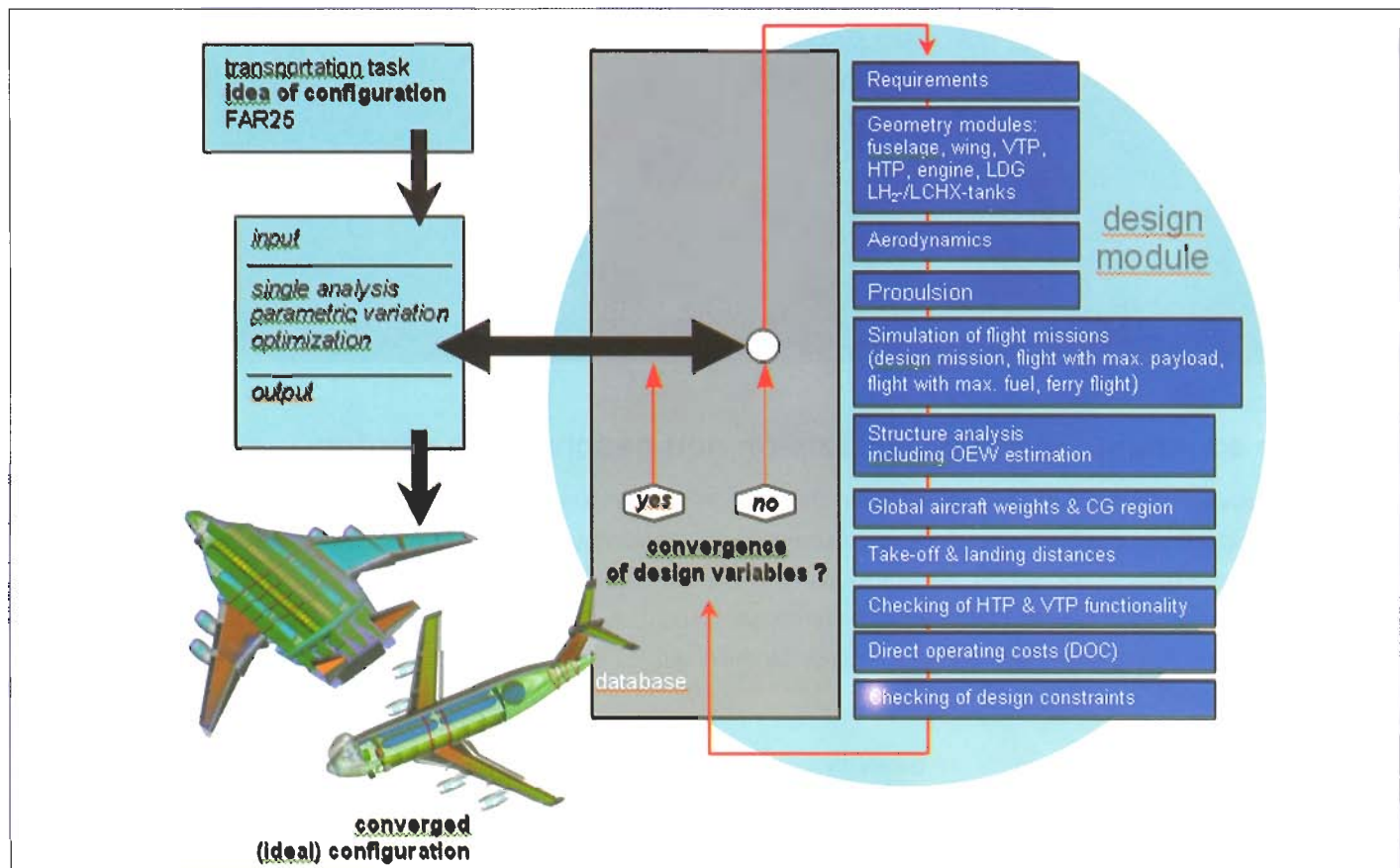


Bild 4: Schematischer Aufbau von PrADO (Heinze 2007)

jektpartnern in Form von Unterprogrammen beigesteuert werden. In diesem Zusammenhang wird es nicht nur möglich sein, einen einzelnen Kraftstoff, sondern verschiedene hybride Antriebssysteme mit unterschiedlichen Enttankszenarien (zwei Kraftstoffe gleichzeitig oder z.B. Wasserstoff in Flughafennähe und kerosinähnlicher Kraftstoff im Reiseflug) zu modellieren und zu analysieren.

Zusätzlich zu PrADO werden Tabellenkalkulationen der HAW für den Flugzeugorentwurf genutzt. Diese liefern später die Ausgangsbasis für eine detaillierte Analyse und Optimierung mittels PrADO. Derzeit werden von Studenten und Mitarbeitern der Projektpartner bereits eine Reihe von Arbeiten zu den einzelnen Un-

terthemen des Grünen Frachters durchgeführt. Die Themengebiete sind hierbei insbesondere

- die heutige Frachtkette
- Umweltaspekte im Nah- und Fernbereich von Flughäfen
- die Vorbereitung der Erweiterung von PrADO
- die Erweiterung der HAW-Tabellenkalkulationen
- grundlegende Untersuchungen für spätere Programmmodule (Propellerantrieb, Wasserstofftechnologie, pilotenloser Flug)

Bei diesen Arbeiten wird das Team durch Studenten internationaler Partneruniversitäten unterstützt, die ihre Abschluss- und Projektarbeiten bei den Projektpartnern durchführen. Ein Mitarbeiter der HAW hat zudem mit seiner Promotion zum Thema „Grüner Frachter“ in Ko-

operation mit der Königlich Technischen Hochschule (KTH) Stockholm begonnen.

Der Grüne Frachter ist also ein erfolgreiches Beispiel für eine gemeinschaftliche Forschung von Hochschulen und der Industrie, in die jeder Bereich seine jeweiligen Fachkenntnisse hervorragend einbringen kann. Diese Zusammenarbeit und der klare Bezug auf die Praxis und die fortschreitenden umweltpolitischen Anforderungen machen den Grünen Frachter zudem zu einem sehr spannenden Forschungsprojekt. Weitere Infos zum Grünen Frachter finden sich in deutscher und englischer Sprache im Internet unter <http://gf.profscholz.de>.

*Kolja Seeckt
Dieter Scholz*

MESSEN 2008

Aircraft interiors EXPO
1.-3. April 2008
Hamburg Messe

AERO Friedrichshafen
Internationale Fachmesse für allgemeine Luftfahrt
2.-5. April 2008
Messe Friedrichshafen

Aerospace Testing Expo Europe
Internationale Fachmesse der Luft- und Raumfahrtindustrie
15.-17. April 2008
Messe München

IMAS Messe
Luft & Raumfahrttechnik
Internationale Messe für Gebrauchtflugzeuge
18.-19. April 2008
Messe Friedrichshafen

ILA Messe Berlin
Internationale Luft- und Raumfahrttausstellung Berlin-Brandenburg
27. Mai - 1. Juni 2008
Messe Berlin

Air Magdeburg Messe
Internationale Messe für Sport- und Geschäftsluftfahrt
5.-7. September 2008
Airport Magdeburg

Airtec
Internationale Zuliefermesse für Luft- und Raumfahrt
28.-31. Oktober 2008
Messe Frankfurt

Quellen

Boeing 2006

Boeing Media. X48-B [online]. Boeing image, negative number: SMF06_F_KOEH_X48B-0900a, digitized date: 2006-10-27 [cited 2007-08-02]. Registration required. Available from World Wide Web: <<http://www.boeingmedia.com>>.

AC2030.de 2006

PROJEKT AC20.30: Bilder Erstflug. Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Fachbereich F+F – URL: <http://www.ac2030.de/bilder/Erstflug/Bild011.html> (2007-10-30)

Heinze 2007

Heinze, Wolfgang. Methodisches Entwerfen von Verkehrsflugzeugen [online]. n.d. [cited 2007-07-31]. Available from World Wide Web: <<http://www.ifl.tu-bs.de/wolfgang.html>>.

Trahmer 2004

Trahmer, Bernd. Rumpf - Aspekte beim Flugzeugentwurf [online]. Hamburg University of Applied Sciences, Department of Automotive and Aeronautical Engineering, Aircraft Design Lecture Notes, 2004 [cited 2007-07-31]. Password required. Available from World Wide Web: <<http://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/skriptFEs/Rumpf.pdf>>.

Footnotes

- 1 Russische Abkürzung für Ekologiya i Progres = Ökologie und Fortschritt; Nurflügler mit geringer Streckung; weitere Infos z. B. auf: <http://www.ekip-aviation-concern.com>
- 2 Dokument erhältlich u. a. auf <http://www.acare4europe.org/docs/Vision%202020.pdf>
- 3 Europäisches Forschungsprojekt zu wasserstoffbetriebenen Flugzeugen; Laufzeit 2000 – 2002; weitere Infos z. B. auf http://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/dglr/hh/text_2001_12_06_Cryoplane.pdf
- 4 Weitere Infos im Internet unter <http://www.ac2030.de>

Sie möchten zielgerichtet werben???

Dann rufen Sie uns an! 06721 - 2395