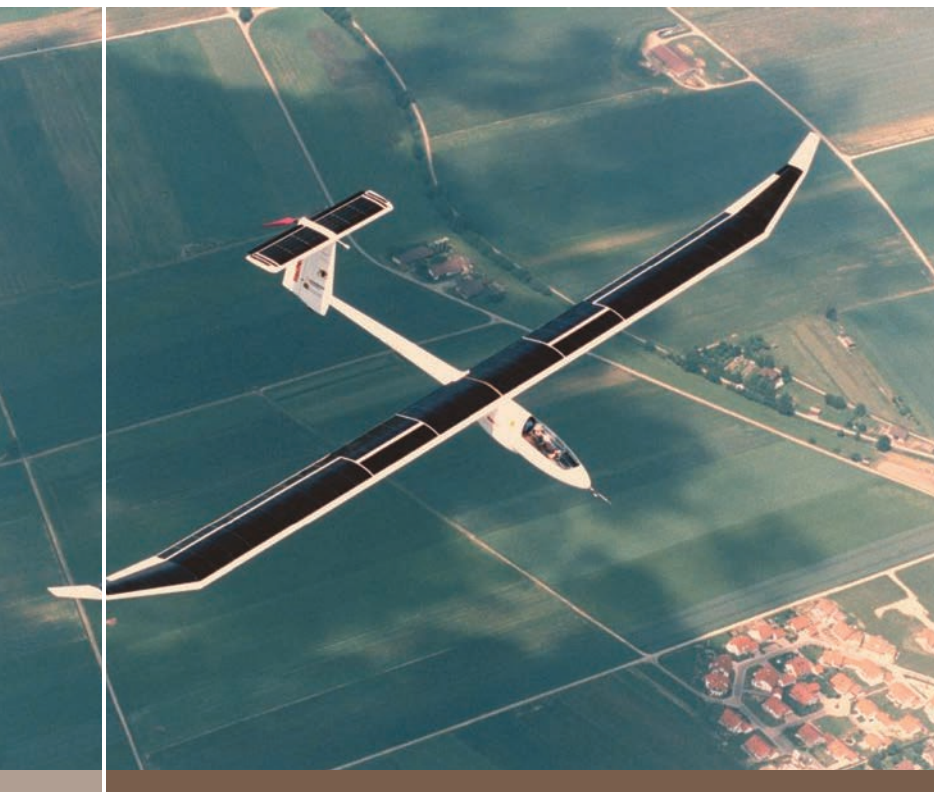


# Neuartige Flugzeugkonzepte für die Energie- und Umwelt- szenarien der Zukunft



Innerhalb der letzten 100 Jahre haben sich der Verkehr und der Transport mit Luftfahrzeugen rasant entwickelt. Die ursprünglichen Anforderungen an die Transportflugzeuge beschränkten sich bislang auf die Weiterentwicklung der klassischen Flugleistungen wie Transportkapazität, Reichweite und Reisegeschwindigkeit bzw. Reise-Mach-Zahl. Im Laufe der Zeit wurde die Transportkapazität ständig vergrößert, da größere Flugzeuge generell wirtschaftlicher betrieben werden können. Dies gipfelte in der Entwicklung des Großraumflugzeuges A380 von Airbus mit einem Transportvermögen von über 500 Passagieren. Nicht nur

die Kapazität der einzelnen Luftfahrzeuge, sondern auch die Anzahl der Flugzeuge hat sich gewaltig erhöht, so dass heutzutage über 18.000 Transportflugzeuge weltweit betrieben werden. Ein stetiges Wachstum um circa fünf Prozent pro Jahr in den letzten Jahren sowie die fortschreitende Globalisierung lassen erwarten, dass dieses Wachstum sich wohl gleichermaßen fortsetzen wird.

## 1. EINLEITUNG

Diese Entwicklung ist zwangsläufig verbunden mit einer entsprechenden Steigerung des Treibstoffverbrauches (O1) sowie einer Zunahme der Umweltbelastung und erzeugt damit einen nicht mehr zu vernachlässigenden Beitrag des Luftverkehrs am Klimawandel.

Abgesehen davon erfolgte innerhalb der letzten zehn Jahre eine Vervierfachung des Treibstoffpreises und ein Ende der Verfügbarkeit der fossilen Brennstoffe zeichnet sich langfristig ab. Um diesen Herausforderungen zu begegnen hat sich in Europa die im Jahr 2000 gegründete ACARE-Group (Advisory Council for Aeronautics Research in Europe) [1] zur Aufgabe gesetzt, für die zukünftige Luftfahrt-Forschung strategische Empfehlungen und Ziele zu formulieren. Die Ziele für die Verringerung der Umweltbelastung bis 2020 lauten:

- Reduktion des Treibstoffverbrauches und der CO<sub>2</sub> Emissionen um 50 Prozent;
- Reduktion der NO<sub>x</sub> Emissionen um 80 Prozent;
- Reduktion des Außenlärms um 50 Prozent.

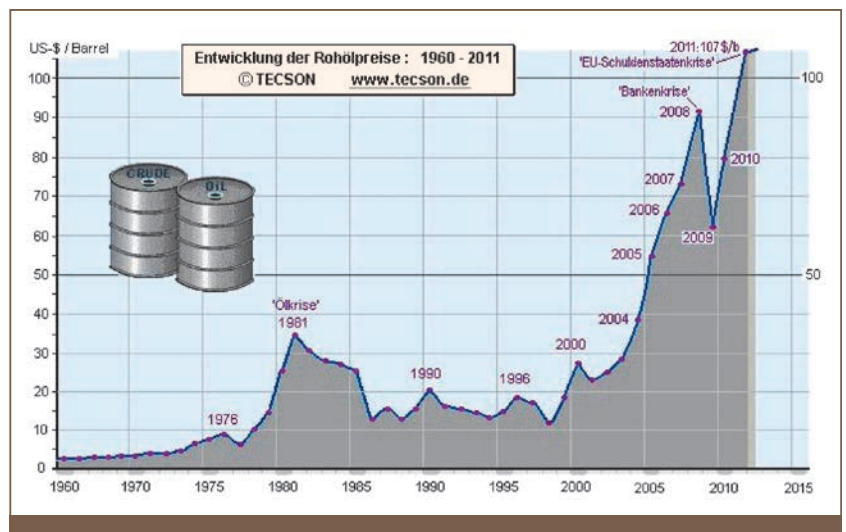
Die Ziele sollen erreicht werden bei gleichzeitiger Steigerung der Sicherheit durch Reduzierung der Unfallrate um 80 Prozent unter Erhalt der Gesamtsystem-Effizienz und Qualität.

Diese Vorgaben beeinflussten maßgeblich sowohl das nationale deutsche Luftfahrtforschungsprogramm (LUFO I-IV) sowie auch die europäischen Verbundprogramme innerhalb der Forschungsrahmenprogramme 5 und 6 der Europäischen Union (FP 5 und FP 6). Im Folgenden sollen einige der neuartigen Konfigurationen vorgestellt werden, die geeignet sind, diese Ziele zu erreichen.

Auch innerhalb der sogenannten Allgemeinen Luftfahrt (General Aviation, GA), die den gesamten Individual- und Geschäftsreiseflugverkehr repräsentiert, zeichnet sich ein Paradigmen-Wechsel ab. Weltweit existieren nach Schätzungen der General Aviation Manufacturer Association (GAMA) ca. 320.000 Flugzeuge der Allgemeinen Luftfahrt. Dazu zählen Segelflugzeuge, Motorsegler, Ultraleicht- und Geschäftsreiseflugzeuge bis hin zu privaten Business-Jets. Diese Zahl stagnierte weitgehend in den letzten Jahren. In Deutschland beispielsweise wuchs die Anzahl der GA-Flugzeuge innerhalb der letzten zehn

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Anforderungen bezüglich einer größeren Leistungsfähigkeit bei gleichzeitiger Steigerung der Effektivität sind in der allgemeinen Luftfahrt und insbesondere im Lufttransportwesen weltweit rasant gewachsen. Dabei kommen der Energieeffizienz und der Umweltverträglichkeit besondere Bedeutung zu. Einige der in mehreren europäischen Programmen entwickelten Konzept-Studien zur Erreichung dieser Ziele werden in diesem Beitrag vorgestellt. Vor allem im Bereich der Leichtflugzeuge können dabei in Zukunft neuartige Konzepte mit elektrischen oder hybriden Antrieben stärkeres Gewicht erhalten. Das Institut für Flugzeugbau der Universität Stuttgart hat hier mit den erfolgreichen Entwicklungen von *icaré* und *E-Genius* bereits Maßstäbe gesetzt.



Ölpreisentwicklung seit 1960.

Jahre nur um ca. fünf Prozent. Ein vergleichbarer Zuwachs im Individualluftverkehr in ähnlicher Größenordnung wie im Lufttransportwesen ist deshalb bei weitem nicht zu erwarten. Vor allem die Forderungen nach leiseren und wirtschaftlicheren Flugzeugen, verbunden mit leichterer Bedienbarkeit und erhöhter Sicherheit sind die Herausforderungen für diese Luftfahrtsparte. Im zweiten Teil des Beitrags sollen zukünftige Konfigurationen vorgestellt werden, die sich den Herausforderungen in diesem Bereich stellen. Insbesondere Luftfahrzeuge mit alternativen Antriebskonzepten wie Elektroantrieb bzw. Hybrid-Antrieb sind hier zu nennen.

## 2. NEUARTIGE KONZEPTE FÜR ZUKÜNFTIGE TRANSPORT-FLUGZEUGE

### 2.1 Einleitung

Durch die eingangs erwähnten Ziele und Strategien der ACARE-Group wurde u.a. auch das EU-Verbundvorhaben NACRE

(New Aircraft Concepts Research) [2] angeregt. Das Forschungsvorhaben wurde zwischen 2005 und 2010 bearbeitet. Das Konsortium unter Führung von Airbus bestand aus 36 Partnern aus 13 europäischen Ländern. Forschungsinhalt waren die Untersuchung von neuartigen Flugzeugkonzepten und neuartigen Technologien wie Hochauftriebskonzepte, neuartige Triebwerksintegrationskonzepte



02

Das „Pro Green Aircraft“-Konzept.

sowie innovative Rumpftechnologien, um die ACARE-Ziele zu erreichen. Als Gesamt-Konzepte wurden drei generische Modelle untersucht:

- a) Das „Pro Green Aircraft“-Konzept, das in erster Priorität nach Umweltauforderungen ausgelegt war.
- b) Das „Passenger-Driven Flying Wing“-Konzept. Hierbei handelt es sich um ein extrem großes und komfortables Transportflugzeug, das in der Planung sogar größer als der A 380 ausgelegt war.
- c) Das „Simply Flying Bus“-Konzept. Hier wurde die erste Priorität ausschließlich auf die Kostenfrage gelegt.

Es ging nicht darum, eines dieser Konzepte vor den anderen zu favorisieren, aber es sollten unter spezifischen Vorgaben Lösungen auf einem generischen Komponenten-Level entwickelt und bewertet werden, die dann in zukünftige Konfigurationen einfließen können. Für jedes dieser Flugzeugkonzepte wurden alle Aspekte multidisziplinär untersucht und optimiert wie beispielsweise Aerodynamik, Materialien, Struktur, Triebwerke und Systeme, jeweils mit dem Ziel, neue Standards für

zukünftige Luftfahrzeuge zu setzen. Damit sollten die strengen Umweltforderungen bei gleichzeitiger Verbesserung von Qualität, Sicherheit und Effizienz erfüllt werden. Damit konnte eine Vision für die globale Effizienz und Ökologie des zukünftigen Lufttransportsystems entstehen. Das Institut für Flugzeugbau, Bereich Flugzeugentwurf, war an einem der Teilprojekte des Vorhabens maßgeblich beteiligt [4].

## 2.2 Das „Pro Green Aircraft“-Konzept

Für dieses generische Flugzeugkonzept wurde festgelegt, dass die Umweltforderungen, wie sie in ACARE definiert worden waren, die erste Priorität für den Entwurf einnehmen sollten. Das heißt, dass bewusst Nachteile bezüglich der „klassischen“ Flugleistungen in Kauf genommen wurden, um konsequent den Entwurf hinsichtlich der Umweltfreundlichkeit zu optimieren. Vor allem die Forderungen nach Lärmreduzierung beeinflussten hier die Entwurfsüberlegungen entscheidend. Die ungewöhnliche Anordnung der Triebwerke hinten am Rumpf oberhalb des U-förmigen Leitwerkes dient der Abschattung des Triebwerkslärms nach unten (02).

Weiterhin wurde innerhalb eines Teilprojektes die Integration eines sogenannten „Gegenläufigen Open-Rotor-Systems“ untersucht, das ein hohes Potenzial an Treibstoffeinsparung verspricht.

Die Lärmabschattung konnte durch Windkanal-Lärmtests bestätigt werden. Nachteil dieser Triebwerksanordnung ist allerdings die Zulassungsforderung des Nachweises für einen Rotorscheibenbruch.

Auch der Entwurf des Flügels wurde nach strengen Umweltforderungen optimiert. So wurde beispielsweise eine Reduzierung der Reisegeschwindigkeit auf  $Ma=0,76$  akzeptiert, um damit auf die Flügelprofilierung verzichten zu können. Ein ungepfeilter Flügel kann bei den herrschenden Re- und Mach-Zahlen als Laminarflügel gestaltet werden und bietet somit ein großes Potenzial an Widerstandsreduzierung. Auch lässt sich Gewicht einsparen bei Einsatz eines ungepfeilten Flügels. Weitere Bestandteile des Teilvorhabens waren schließlich die Optimierung des Pfeilwinkels, der Flügelstärke sowie Design-Studien über Hochauftriebssysteme, die wenig Lärm verursachen. Im Landeanflug ist eine der Hauptlärmquellen das ausgefahrene

Hochauftriebs-Klappensystem. Eine Reduzierung des Widerstandes um circa 38 „Drag Counts“ konnte erzielt werden. Insgesamt konnte nachgewiesen werden, dass dieses Konzept ein großes Potenzial aufweist, die eingangs geforderten Umweltbedingungen bestmöglich zu erfüllen, wenn auch mit dem Nachteil der geringeren Flug-Machzahl bzw. Reisegeschwindigkeit im Vergleich zu existierenden Transportflugzeugen.

### 2.3 Das „Payload Driven Aircraft“-Konzept

Dieses Flugzeugkonzept bezieht sich auf Flugzeuge, die zukünftig noch mehr Nutzlastkapazität zur Verfügung stellen als der heutige A380. Als Basis-Konfiguration wurde die sogenannte VELA-Konfiguration verwendet, die innerhalb eines früheren EU-Projektes erarbeitet wurde (03). Die Erkenntnis, dass bei gleicher Transportkapazität im Reiseflug der Nurflügler die geringste bespülte Oberfläche und somit geringen Widerstand aufweist, ist die Hauptmotivation für solche Konfigurationen. Demgegenüber gilt es viele technische Herausforderungen zu lösen wie beispielsweise die Evakuierung des riesigen Rumpfes im Notfall, der Entwurf eines geeigneten Hochauftriebssystems sowie die Gestaltung der Kabine/Druckkabine für den flachen Rumpfquerschnitt. Diese Teilaufgaben wurden bearbeitet und es konnte dabei die grundsätzliche Machbarkeit des Konzeptes nachgewiesen werden.

### 2.4 Das „Simply Flying Bus“-Konzept

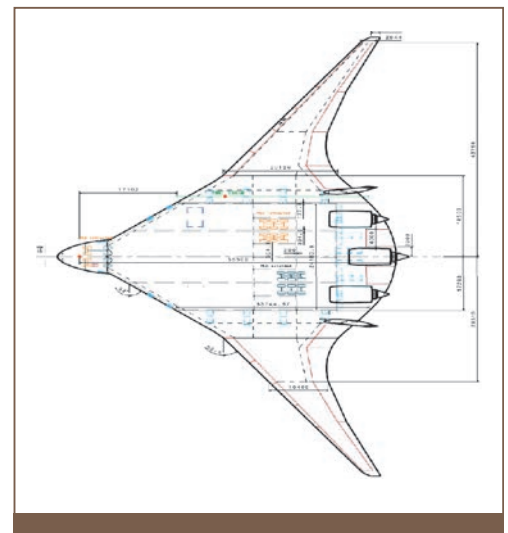
Als dritte generische Variante wurde das „Simply Flying Bus“ Konzept untersucht. Den Hintergrund für dieses Konzept stellt die Tatsache dar, dass es zwar zahlreiche Billigfluggesellschaften gibt, aber keine Transportflugzeuge, die konsequent auf billiges Fliegen hin optimiert sind. Das bedeutet, dass man bei diesem Konzept die Kosten als oberste Priorität für den Entwurf vorsah, durchaus unter Akzeptanz von sonstigen Nachteilen wie geringerer Geschwindigkeit oder weniger Komfort. Die untersuchte Basiskonfiguration hatte ein V-Leitwerk-Design. V-Leitwerke sind bei Verkehrsflugzeugen nicht vorzufinden vor allem aus Zulassungsgründen (Nachweis der Funktionstüchtigkeit bei Ausfall

eines Ruders). Auch wurde die Flügel-Rumpf-Verbindung auf mögliche Vereinfachungen oder Einsparungen in der Struktur hin untersucht. Weitere Themen waren eine vereinfachte und kostensparende Triebwerksaufhängung sowie ein einfacheres Umkehrschubsystem. Es gelang durch verschiedene Ansätze für die Vereinfachung der Rumpfstruktur und des Montagekonzeptes geeignete Sparpotenziale aufzuzeigen.

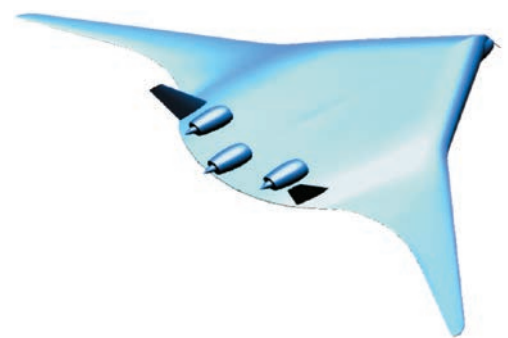
### 2.5 Beitrag des IFB innerhalb NACRE

Den Traum vom sauberen, leisen und billigen Flugzeug Wirklichkeit werden zu lassen, ist auch das Ziel des europäischen Projekts NACRE (New Aircraft Concepts Research). Innerhalb dieses Projektes war das Institut für Flugzeugbau (IFB) maßgeblich an der Entwicklung der sogenannten „Innovative Evaluation Platform“ beteiligt (04). Hierbei handelt es sich um ein verkleinertes generisches Modell einer zukünftigen Flugzeugkonfiguration, das modular aufgebaut und ausgerüstet mit Messeinrichtungen dazu geeignet ist, im Freiflug-Versuch neuartige Konfigurationen hinsichtlich ihrer Flugeigenschaften zu untersuchen. Ebenso sollte diese Messplattform beispielsweise für Lärmmessungen eingesetzt werden. Die gemessenen Daten können dann unter Berücksichtigung der Modellgesetze auf die Groß-Version übertragen werden.

Zusammengefasst konnte durch das Forschungsvorhaben NACRE dargestellt werden, welche Designmerkmale geeignet sind, die zukünftigen hohen Anforderungen bezüglich Umweltschutz, Ökologie und Sicherheit zu erfüllen.



03a



03b

Das „Passenger-Driven Flying Wing“-Konzept.



04

Die „Innovative Evaluation Platform (NACRE IEP)“.

Das muss nicht bedeuten, dass tatsächlich exakt eine dieser untersuchten Konfigurationen als zukünftiges Serienprodukt vollständig verwirklicht werden kann. Aber es wurde deutlich, dass es unkonventioneller Entwürfe bedarf, um die o.g. Anforderungen zu erfüllen. Einzelne Merkmale der untersuchten Technologien werden sicherlich in den Entwurf zukünftiger Transportflugzeuge einfließen.

### 3. NEUARTIGE KONZEPTE FÜR ZUKÜNFTIGE FLUGZEUGE DER ALLGEMEINEN LUFTFAHRT (GENERAL AVIATION, GA)

#### 3.1 Einleitung

Die strategischen Ziele der ACARE Group waren für Transportflugzeuge gedacht. Jedoch müssen sich GA-Flugzeuge ähnlichen Herausforderungen stellen. Im Jahr 2009 verpflichtete sich das International Business Aviation Council zu folgenden Zielen für die Emissions-Reduzierung [4]:

- CO<sub>2</sub> neutrales Wachstum bis 2020;
- Verbesserung der Treibstoffeffizienz um zwei Prozent pro Jahr von 2010 bis 2020;
- Reduktion der gesamten CO<sub>2</sub> Emissionen um 50 Prozent bis 2050 relativ zu 2005.

Außerdem verpflichteten sich die GA-Hersteller bei der International Civil Aviation Organization (ICAO) auf die Etablierung von CO<sub>2</sub> Standards für Neuflugzeuge bis 2013.

Weiterhin arbeitet eine AVGAS-Arbeitsgruppe an der Entwicklung von unverbleitem Flugbenzin als Ersatz für das weltweit gebräuchliche AVGAS 100LL. Diese von den USA getriebenen Ziele beinhalten allerdings keine Lärmvorgaben für die Zukunft. Im Gegensatz zu den USA sind jedoch Lärmreduzierungen ein überlebensnotwendiges Ziel für die GA in Europa. Bezüglich der o.g. Ziele gab es in den letzten Jahrzehnten nur geringfügige Fortschritte innerhalb der GA. Die immer stärkeren Forderungen nach umweltfreundlichen, ökologisch und wirtschaft-

lich zu betreibenden Flugzeugen der Allgemeinen Luftfahrt erfordern neue Technologien und Konzepte um diese Kategorie von Luftfahrzeugen auch in Zukunft betreiben zu können. Dieser Industriezweig hat einen schweren Stand bezüglich der Realisierung von Innovationen. Das liegt u.a. an dem kleinen Markt für Leichtflugzeuge und den damit verbundenen kleinen Stückzahlen. Weiterhin muss ein neu entwickeltes Luftfahrzeug eine aufwändige und kostspielige Musterzulassung entsprechend der jeweils gültigen Bauvorschrift absolvieren. Für die Entwicklung neuer Technologien müssten somit hohe Summen investiert werden, die umgelegt auf die geringen Stückzahlen zu hohen Stückpreisen führen. Die Kunden verhalten sich weitgehend „konservativ“ und setzen bei Neuanschaffungen lieber auf so genannte „bewährte Produkte“. Das hat zur Folge, dass Hersteller das Risiko scheuen, eine Neuentwicklung anzugehen. So gibt es viele Flugzeuge am Markt, die zwar bewährt, aber technisch, wirtschaftlich und vor allem ökologisch völlig veraltet sind. Lediglich aufgrund der Einführung der Faserverbundbauweise für GA Flugzeuge und der damit verbundenen Anwendung von Laminarprofilen für Motorflugzeuge wurden durch die nun möglich gewordene aerodynamischere Gestaltung der Oberflächen Fortschritte beim Luftwiderstand und damit auch Treibstoffeinsparungen erzielt.

Weiterhin wurden durch Einführung moderner GPS basierter Avionik-Systeme, verbunden mit „Bildschirm-Cockpits“, Erleichterungen und damit mehr Sicherheit für die Bedienung der Navigationsinstrumente erzielt. Die Entwicklungen moderner Flugzeugmotoren, die sich an der Technologie moderner Automotoren orientierten, scheiterten bislang meist ebenfalls an den aufwändigen Zulassungsprozeduren und den geringen Stückzahlen im Flugzeugbau. Innerhalb der letzten zehn Jahre wurden einige vielversprechende Diesel-Luftfahrtmotoren auf der Basis von Automobiltechnologie entwickelt (Thielert, Austro-Engine). Diese für den Luftfahrteinsatz prädestinierten Motoren stehen aber erst am Anfang ihres Praxis-einsatzes und leiden noch unter „Kinderkrankheiten“ und niederen zugelassenen Betriebszeiten.

Eine Ausnahme bildet die Klasse der Segelflugzeuge und der Ultraleichtflugzeuge.



05



06

Mit dem Einsatz von Faserverbund-Werkstoffen, neuen Technologien und eines konsequenten Leichtbaus hat dieser Markt mittlerweile eine große Anzahl an modernen und ausgereiften Flugzeugen zu bieten. Dies liegt nicht zuletzt auch an dem vergleichsweise eher moderaten Zulassungsaufwand für diese Kategorien.

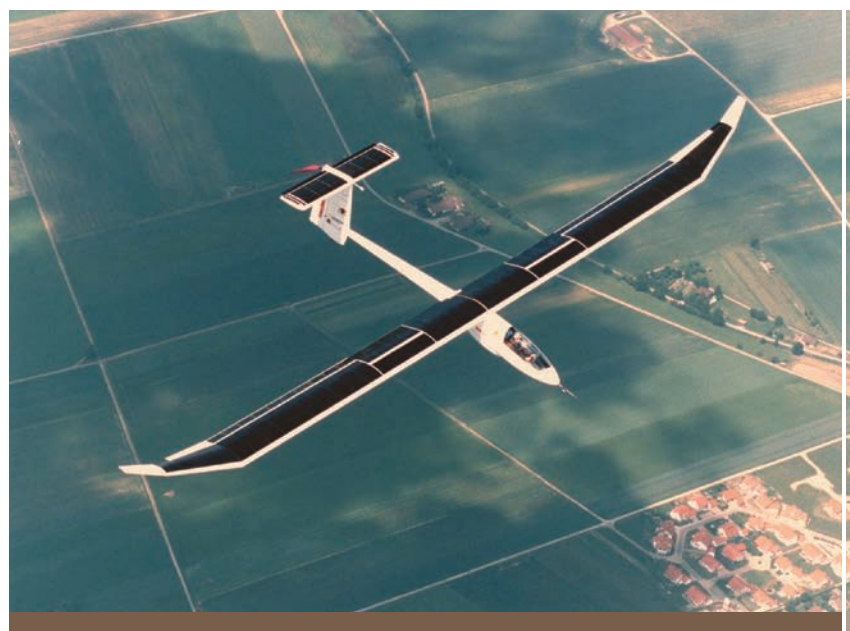
Hier sind vor allem die Forschungseinrichtungen und Hochschulen gefordert, um die benötigten Technologien zu erforschen, da die meist mittelständischen Firmen der Allgemeinen Luftfahrt dies alleine nicht leisten können.

Eine sprunghafte Verbesserung der Umwelteigenschaften sowie der Wirtschaftlichkeit lässt sich bei der GA nur erzielen durch neuartige Konfigurationen verbunden mit alternativen Antriebskonzepten. Dabei zeigen einige Prototypen und Versuchsträger, dass in der Verwendung elektrischer Antriebsysteme, jeweils gut integriert in dafür optimierte Flugzeugkonfigurationen, ein großes Verbesserungspotenzial steckt. Als Energieversorgungssystem kommen dabei Brennstoffzellen, Hochleistungs-Lithium Batterien sowie hybride Systeme zum Einsatz. Das erste zugelassene und in Serienproduktion gefertigte elektrisch betriebene Flugzeug ist die Antares 20E von Lange Aviation GmbH (05), ein Segelflugzeug mit elektrischem Hilfsantrieb mit 42 KW Eingangsleistung. Das Batteriesystem des Antares 20E basiert auf Li-Ionen Zellen von Saft Batteries. Die Energiedichte der Zellen beträgt 136 Wh/kg. Weitere Flugzeugprojekte, die für den Betrieb mit einem elektrischen Antriebssystem ausgestattet wurden, sind die ELEKTRA ONE von PC Aero (06) und die Electra Flyer-X der Electric Aircraft Corporation USA.

Im Folgenden sollen Forschungsarbeiten am Institut für Flugzeugbau vorgestellt werden, die für die Weiterentwicklung des Elektrofluges erfolgversprechend sind.

### 3.2 Neuartige Flugzeug-Konzepte für den Elektroflug

Das Forschungsthema Fliegen mit alternativen Antrieben bzw. elektrischen Antrieben wurde bereits 1994 mit der Entwicklung des Solarflugzeuges icaré am Institut für Flugzeugbau begründet (07). Es konnte damit die Machbarkeit eines alltagstauglichen Solarflugzeuges gezeigt und im Jahr 1996 der damals mit 100.000 DM dotierte Berblinger Preis der Stadt Ulm gewonnen werden.



07

(05) Elektrosegelflugzeug ANTA-RES 20 E.

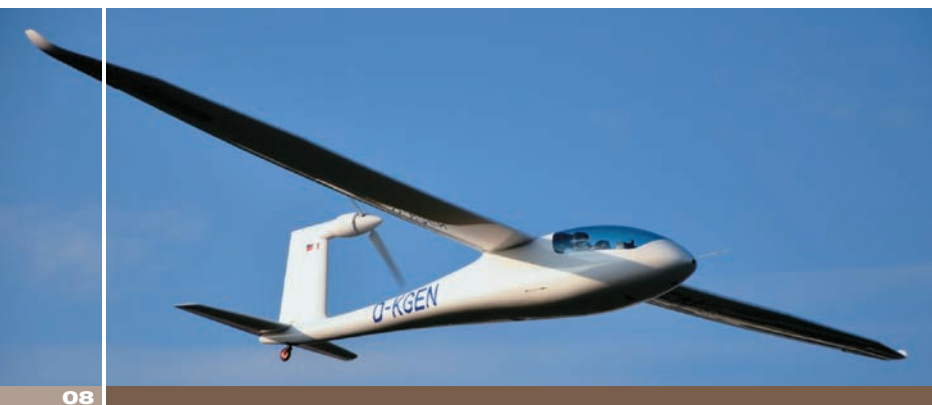
(06) Elektroflugzeug ELEKTRA ONE.

Das Solarflugzeug icaré der Universität Stuttgart.

Die Erprobung dieses Flugzeuges in den folgenden Jahren zeigte ein großes Potenzial auch für zukünftige Elektro-Flugzeuge. Bedingt durch die geringe verfügbare Leistung und die eingeschränkte Verfügbarkeit von Solarenergie entstand 2006 der Entwurf für ein zweiseitiges Brennstoffzellen-Reiseflugzeug, Hydrogenius. Das Ziel war ein zukunftsweisendes, umweltfreundliches und wirtschaftliches Reiseflugzeug zu schaffen. Mit diesem Projektentwurf konnte wiederholt der Berblingpreis gewonnen werden. Da die vorgesehene Brennstoffzelle vom Hersteller für Luftfahrtanwendungen jedoch nicht zur Verfügung gestellt werden konnte, wurde das Projekt mit Lithium-Ionen Batterien als Energieversorgungssystem realisiert und konsequenter Weise in e-Genius umbenannt [5].

Flugzeug speziell für den Elektroflug entwickelt und optimiert wurde. Nur dadurch ist es möglich, die Vorteile des Elektroantriebes zu nutzen und den Nachteilen mit entsprechenden konstruktiven Maßnahmen zu begegnen. Entwurfsstudien, die im Rahmen des Projektes durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass die Umrüstung einer konventionellen Flugzeugkonfiguration auf Elektroantrieb eine etwa 15 bis 20 Prozent schlechtere Energieeffizienz aufweist als das Konzept e-Genius. E-Genius repräsentiert somit einen kompromisslosen Ansatz, umweltfreundliches und wirtschaftliches Fliegen mit dem heutigen Stand der Technologie zu realisieren. Die Erprobung von e-Genius bestätigte das Konzept und liefert wichtige Erkenntnisse für angedachte zukünftige Serienprodukte. Ein wesentlicher Aspekt hierbei ist es auch, mögliche Unzulänglichkeiten und Schwächen zu ermitteln, um diese bei zukünftigen Serienprodukten vermeiden zu können. Ein weiterer wichtiger Beitrag besteht in der Erarbeitung der Zulassungsgrundlagen und der Durchführung exemplarischer Zulassungen dieser neuartigen Fluggeräte gemeinsam mit den Luftfahrtbehörden.

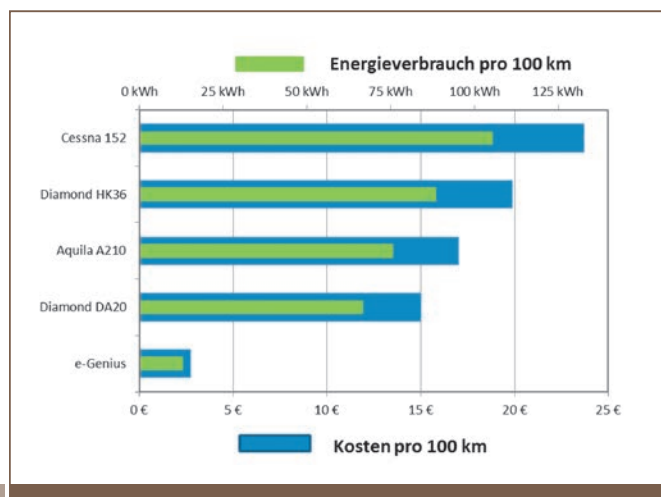
Besonders hervorzuheben sind die geringen Energiekosten für die in Batterien gespeicherte Energie. Bei einem angenommenen Strompreis von 0,22 Euro/kWh ergibt sich für eine „Tankfüllung“ des e-Genius (bei 100prozentiger Entladung der Batterien) eine Summe von 12,32 Euro. Damit kann e-Genius bis zu vier Stunden und ca. 500 Kilometer weit fliegen. Das entspricht 2,45 Euro pro Stunde Energiekosten (09). Sehr eindrucksvoll zeigt sich die Wirtschaftlich-



08

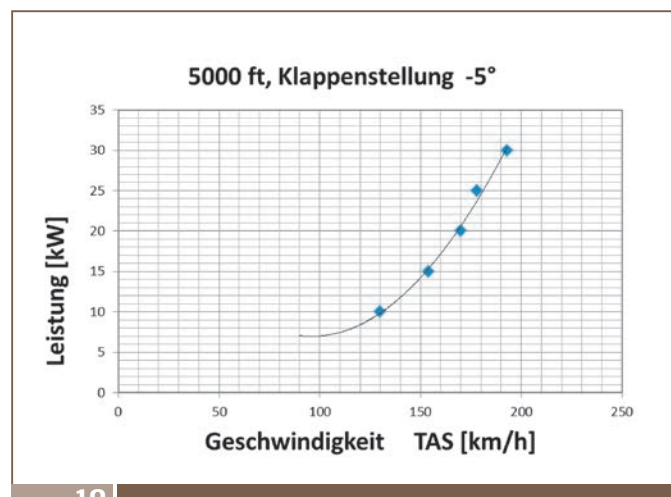
Das Elektroflugzeug e-Genius der Universität Stuttgart.

Die wesentliche Bedeutung von e-Genius (08) besteht darin, dass nicht ein vorhandenes Flugzeug auf Elektroantrieb umgerüstet wurde, sondern vielmehr das



09

Energieverbrauch und Kosten von zweiseitigen Reiseflugzeugen.

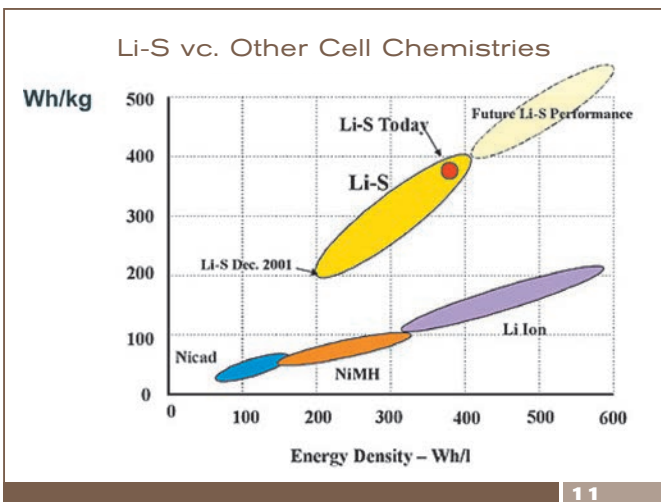


10

Flugleistungen e-Genius.

keit von e-Genius, wenn man den auf die Strecke und die Zahl der Passagiere bezogenen Energieverbrauch betrachtet: Es ergibt ein Energieäquivalent von ca. 0,6 Liter Treibstoff pro 100 Kilometer und pro Passagier bei einer Reisegeschwindigkeit von 170 km/h. Der Energieverbrauch liegt somit um ca. 80 Prozent geringer als bei einem konventionellen Reiseflugzeug (10). In der drastischen Energieeinsparung liegt der wesentliche Nutzen des Elektrofluges. Die Umweltfreundlichkeit und der geringe Lärm kommen als willkommene Zugabe hinzu. Die Leistungsfähigkeit von e-Genius konnte unter Wettbewerbsbedingungen eindrucksvoll nachgewiesen werden durch den Gewinn des Lindbergh Electric Aircraft Prize 2011 und den 2. Platz im NASA/CAFE Green Flight Challenge 2011 in Santa Rosa, Kalifornien.

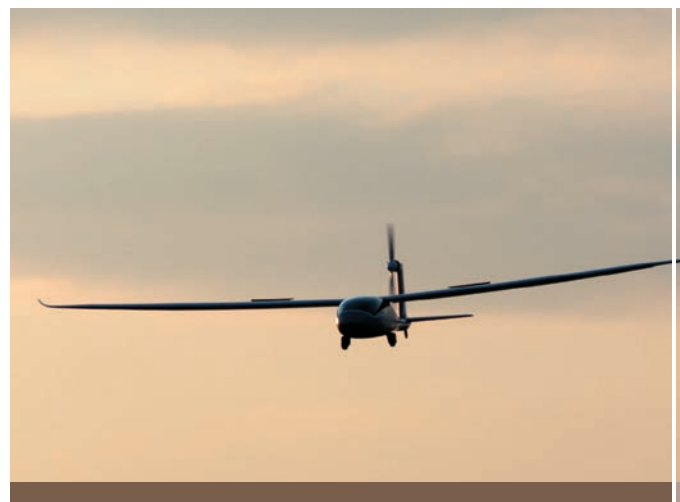
(Sulfur-Batterien) innerhalb der nächsten Dekade erscheint realistisch. Dem Nachteil der geringen Reichweite bei hohen Reisegeschwindigkeiten lässt sich mittelfristig wie auch bei den Automobilen durch Hybrid-Lösungen begegnen. Bei einem mit seriellem Hybrid-Antrieb ausgestatteten Flugzeug lässt sich der Primär-Elektroantrieb wahlweise durch einen Verbrennungsmotor mit nachgeschaltetem Generator betreiben. Damit könnten der Start und die Landung auf lärmsensiblen Flugplätzen und der Steigflug auf Reishöhe leise und umweltfreundlich mittels Batterie erfolgen. Im Reiseflug übernimmt der Hybrid-Antrieb die Energieversorgung. Vor allem im Bereich der sogenannten Sportfliegerei lässt sich das rein elektrische, umweltfreundliche, wirtschaftliche Fliegen gut verwirklichen. Die Flugstatistiken



Spezifische Dichte verschiedener Batterie-Systeme.

### 3.3 Fazit

Somit stellt e-Genius einen Vorläufer für eine zukünftige Generation von elektrisch getriebenen, umweltfreundlichen und ökologischen Serienflugzeugen dar. Nachteil der heutigen Elektroflugzeuge ist vor allem die noch niedrige Energiedichte der eingesetzten Batterien. Für e-Genius kamen Lithium-Ionen Batterien mit einer spezifischen Energie von 220 Wh/kg (bezogen auf die Einzelzelle) zur Anwendung. Flugbenzin hat im Vergleich dazu eine Energiedichte von ca. 12.000 Wh/kg. Der vorausgesagte Gradient der Batterieverbesserungen ist jedoch sehr hoch, getrieben durch die Entwicklung der Elektroautomobile (11). Eine Steigerung der Energiedichte auf 400 bis 600 Wh/kg (Lithium-



Zukunftsvisionen für den Elektroflug.

### Hochleistungsflugzeug Hydrogenius / e-Genius (180 km/h Reisegeschwindigkeit)

#### Heute

- 220 Wh/kg Energiedichte (Li-Io-Batterien)
- 200 kg Brennstoffzellensystem

#### Ausblick 2015

- 360 Wh/kg Energiedichte (Li-S-Batterien)
- 140 kg Brennstoffzellensystem

|                        | 2010     | 2015     |
|------------------------|----------|----------|
| Batteriesystem         | 400 km   | 700 km   |
| Brennstoffzellensystem | 700 km   | 800 km   |
| Hybridsystem           | >1200 km | >1500 km |



## DER AUTOR

PROF. DIPL.-ING.  
RUDOLF VOIT-NITSCHMANN



wurde 1950 in Eisenach geboren. Nach dem Studium der Luft- und Raumfahrttechnik an der Universität Stuttgart bekleidete er verschiedene leitende Positionen in der Luftfahrtindustrie. Während seiner langjährigen Industriekarriere arbeitete er in der Entwicklung von Leichtflugzeugen (Speed Canard, Eurotrainer, Solarflugzeug *icaré*, Elektroflugzeug *e-Genius*) und komplexen Transportflugzeugen wie beispielsweise Dornier 328 und A 600 ST Beluga. Zuletzt war er als Hauptabteilungsleiter Strukturentwicklung bei der Dornier Luftfahrt GmbH in Friedrichshafen und Oberpfaffenhofen tätig. Der Ruf auf die Professur am Institut für Flugzeugbau der Universität Stuttgart erfolgte 1994. Sein Hauptinteresse in der Forschung liegt auf den Gebieten Entwurf von Flugzeugen, insbesondere Entwurf von unkonventionellen Konfigurationen und Elektroflugzeugen. Weiterhin ist er unternehmerisch aktiv als Gründer und Geschäftsführer der Steinbeis Flugzeug- und Leichtbau GmbH, Stuttgart ([www.SFL-GmbH.de](http://www.SFL-GmbH.de)), die Dienstleistungen für die Luftfahrtindustrie anbietet.

**Kontakt**

Universität Stuttgart, Institut für Flugzeugbau  
Pfaffenwaldring 31  
D-70550 Stuttgart  
Tel. +49 (0) 711/685-62770  
Fax +49 (0) 711/685-62065  
E-Mail: [rvn@ifb.uni-stuttgart.de](mailto:rvn@ifb.uni-stuttgart.de)  
Internet: [www.ifb.uni-stuttgart.de](http://www.ifb.uni-stuttgart.de)

zeigen, dass in diesem Flugsegment meist größere Pausen zwischen den einzelnen Flügen liegen und diese Flugzeuge vermehrt am Wochenende betrieben werden. Dadurch ist es möglich, beispielsweise mit Solardächern auf den Flugzeughangars die Batterien in den Zwischenzeiten wieder aufzuladen und somit das Fliegen mit rein regenerativen Energien zumindest im Freizeitbereich zu 100 Prozent zu erzielen (12). Nicht nur für die G.A., auch für Drohnen und Hochfliegende Plattformen, die zukünftig zumindest teilweise Aufgaben erfüllen sollen, die heutzutage mit Hilfe von kostspieligen Satelliten im Welt- raum erledigt werden (Beobachtungsaufgaben, Telekommunikation u.ä.), wird die erforschte Technologie des Elektrofluges große kommerzielle Bedeutung erlangen.

**4. LITERATUR**

- [1] ACARE Group, *meeting society's needs and winning global leadership*, 2001
- [2] NACRE, *2 nd Workshop, New Aircraft Concepts*, University of Greenwich, July 2008
- [3] P. Schmollgruber, J.-L. Gobert, Z. Goraj, H.W. Jentik, A.Näs, R. Voit-Nitschmann, *An innovative evaluation platform for new aircraft concepts*, THE AERONAUTICAL JOURNAL, July 2010, Volume 114 No 1157
- [4] General Aviation Manufacturers Association (GAMA), *General Aviation- Statistical Databook & Outlook 2010*
- [5] R. Voit-Nitschmann, Len Schumann, Steffen Geinitz, *Das Elektroflugzeug e-Genius, Teilnehmer am Berblinger Flugwettbewerb 2011 der Stadt Ulm*, IFB 2011