



**Deutsche Gesellschaft
für Luft- und Raumfahrt
Lilienthal-Oberth e.V.**

The Opinions

PREPARING FOR GREEN AVIATION

**while preserving commercial transport
aircraft development know-how in Europe**

PRÉPARER UNE AVIATION VERTE

**tout en préservant le savoir-faire de
développement d'avions de transport en Europe**

SCHAFFUNG DER VORAUSSETZUNGEN FÜR EINE "GRÜNE LUFTFAHRT"

**bei Erhalt des Know-How in Europa zur
Entwicklung großer Verkehrsflugzeuge**

PREPARING FOR GREEN AVIATION

while preserving commercial transport
aircraft development know-how in Europe

PRÉPARER UNE AVIATION VERTE

tout en préservant le savoir-faire de développement
d'avions de transport en Europe

SCHAFFUNG DER VORAUSSETZUNGEN FÜR EINE „GRÜNE LUFTFAHRT“

bei Erhalt des Know-How in Europa zur Entwicklung großer
Verkehrsflugzeuge

September 2020

AAE Opinion No. 11



DGLR Opinion 2020-01



**Deutsche Gesellschaft
für Luft- und Raumfahrt
Lilienthal-Oberth e.V.**

Contents

Executive summary	7
Background	9
How can European competencies be preserved and further enhanced?	9
What has changed in this respect in the course of the Corona crisis?.....	10
What is missing for reaching the ambitious “decarbonization” goal?.....	10
How can such a “revolutionary” aircraft be developed without gambling with our future?.....	11
Why an airborne technology demonstrator – and what should it look like?	12
How to define the technology demonstrator and the technologies that will be incorporated?.....	13
Costs, financing and timeframe of a flying technology demonstrator	15
Why enter now the logic of a flying technology demonstrator?	16
Conclusion.....	16

Table des matières

Synthèse.....	21
Contexte	23
Comment préserver et renforcer les compétences européennes ?.....	23
Qu’a changé la crise COVID-19 à cet égard ?	24
Que manque-t-il pour atteindre l’objectif ambitieux de « décarbonisation »?	25
Comment développer un avion aussi “révolutionnaire” sans obérer notre avenir?	26
Pourquoi un démonstrateur de technologie volant et à quoi devrait-il ressembler ?.....	27
Comment définir le démonstrateur de technologie ?	28
Coûts, financement et calendrier d’un démonstrateur volant de technologie	29
Pourquoi un démonstrateur volant de technologie d’avion commercial maintenant ?.....	30
Conclusion.....	31

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	35
Hintergrund.....	37
Wie können die Kompetenzen in Europa erhalten und weiterentwickelt werden?	38
Was hat sich diesbezüglich im Zuge der Corona-Krise verändert?	38
Was fehlt, um das ambitionierte Ziel der “Dekarbonisierung” zu erreichen?.....	39
Wie kann ein “revolutionäres” Flugzeug mit beherrschbarem Risiko entwickelt werden?	40
Warum ein fliegender Technologie-Demonstrator - und wie sollte er aussehen?	41
Wie sollten der Technologie-Demonstrator definiert und die zu validierenden Technologien bestimmt werden?.....	42
Kosten, Zeitrahmen und Finanzierung eines fliegenden Technologie-Demonstrators.....	44
Warum sollte zeitnah mit dem fliegenden Technologie-Demonstrator für ein Verkehrsflugzeug begonnen werden?.....	45
Resümee	46
Appendix 1	49
Appendix 2	51

PREPARING FOR GREEN AVIATION

**while preserving commercial
transport aircraft development
know-how in Europe**

PREPARING FOR GREEN AVIATION

while preserving commercial transport aircraft development know-how in Europe

The present opinion has been established by the two associations, AAE (Air and Space Academy) and DGLR (Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt), who are publishing it for the European general public interest. A joint ad hoc group was established. Its membership is given in Appendix 1. For practical reasons the English language version constitutes the reference version.

Executive summary

Commercial transport aviation is having to cope simultaneously with:

- huge economical shortfalls in the aviation industry and services operations resulting from the COVID-19 crisis;
- an absolute need to deliver much “greener” aviation to the market as soon as possible;
- and a global lack of financial resources to enable on-time development of the corresponding products.

An original path for securing these three requirements is proposed below.

The present pandemic has further highlighted the need to combat climate change due to the great risks to which the world population is exposed. As part of its contribution to the general effort, the aviation sector is being asked to make a significant step forward in proposing much “greener” operations in the next decade. The development and use of “greener” aircraft in the commercial transport category, the largest contributor to aviation emissions, is a priority but the traditional method of gradual enhancement, with application to existing products of partial new technologies, will not allow this challenging goal to be reached on time.

This goal can only be achieved by means of disruptive, step-change technologies together with possible new airframe configuration. While respecting paramount safety requirements, these solutions need to be matured and validated further up to a global level, a process that can only be achieved **by means of an integrated flying technology demonstrator** – as close as possible to the “future” aircraft. This is a new approach for the industry, both in Europe and the US (and the latter are pushing hard via NASA⁽¹⁾).

The proposed new logic is to develop a flying demonstrator whilst at the same time creating advanced new technical equipment and functions, in close coordination. This would result in a more rapid, effective convergence and an overall gain in final product efficiency, schedule and costs. This logic in fact corresponds to a new method already employed in Europe for smaller systems, and very effectively used in America in the space domain: “rapid development”.

It is important to mention that only such a demonstrator will provide the opportunity to maintain endangered know-how in

large transport aircraft development in Europe (no brand new aircraft launched since 2007) and is the appropriate way of training today’s inexperienced young engineers so that they can apply this later to the real production aircraft.

For the reasons given above, airframe, engine and systems manufacturers, together with the entire European development and production aviation community, must be financially supported for the time needed to manage this paradigm change.

Concluding, whereas the development of individual technologies is quite well under way (with funding secured for the next three or so years), it is thought that the four Airbus nations – France, Germany, Spain and the UK – should set up additional, timely funding for the required development of a flying technology demonstrator (similarly to what is being done in the US⁽²⁾). The demonstrator’s flights should be planned between 2028 and 2030, enabling selection of future aircraft solutions, in view of entry into service of the new aircraft by 2035.

(1) See *Flightglobal.com* “NASA hints at truss-braced X-plane to test technologies for next commercial narrowbody” – <https://cutt.ly/WfSz6TG>

(2) Worthy of mention, independently of a specific demonstrator, is the exceptional sole source contract of 23 billion dollars allocated to Boeing by the US Air Force for a new combat aircraft to be delivered in 2023 (sic!). See Boeing mediaroom “Boeing and U.S. Air Force Ink Historic Deal for F-15EX Fighter Jet” – <https://cutt.ly/nfSc4kB>

On the basis of a total cost of five billion euros, the yearly contribution, over eight years, for a partner assuming a share of 35% (e.g. France or Germany) would be of 220 million euros.

This investment will not only be beneficial to Airbus, the engine manufacturers and the entire supply chain, including systems and equipment companies, but also to research establishments, universities and all associated testing facilities contributing to the demonstrator.

By doing so, Europe⁽³⁾ will prepare the ground for Green Aviation while preserving its vanishing know-how for commercial transport aircraft development, thus maintaining its global leadership.

Background

Europe has been very successful in reaching a comparable level to the US as far as the commercial transport aircraft sector is concerned. The major development programs during the first decade of this century – the A380 and the A350,

plus the A400M – boosted Europe's position. This is true for the airplane manufacturer – Airbus – but also for the engine manufacturers, research establishments, universities and the whole supply chain.

How can European competencies be preserved and further enhanced?

There has been widespread concern in the aeronautical community as to the potential loss of experience for the successful development of a brand new large civil transport aircraft in Europe. Indeed, since the A350, launched in 2007, no entirely new aircraft has been decided, resulting in a progressive loss of experienced engineers, particularly in the critical areas of architects and integrators. **The know-how gained gradually, and with difficulty, from past programs is vanishing.** In a few years almost an entire generation of aeronautical engineers in Europe will have had no chance of applying and sharpening their skills, in the absence of any demanding new program launch. Consequently, a compensating development, even an experimental one, is necessary.

(3) It is thought that other European countries could join the initiative of these four countries.

What has changed in this respect in the course of the Covid-19 crisis?

In support of their industry, the French and German governments have increased R&D funding for 2020, 2021, 2022, with the goal of delivering technologies for “Green Aircraft”⁽⁴⁾. This will be shared between the corresponding applications: middle-range aircraft, regional/general aviation, drones, helicopters, business jets and operations. For the middle-range aircraft application the corresponding parallel avenues consist of a) advanced development-fuel efficiency, b) step change configuration. This would pave the way to a successor of the A320 family with a first demonstrator between 2026 and 2028, and an envisaged entry into service (EIS) by 2035. This is very good news and the committed public support will be extremely useful not only for the aircraft manufacturer, but also for the engine makers, test facilities and wind tunnels, as well as for the entire supply chain.

Now the risks are that:

- the present funding, while sound for technology research solutions for the

next few years, would not allow for development of a completely new, step-change airplane demonstrator,

- due to the envisaged timeframe for the aforementioned demonstrator, only matured technologies will be applied in order to mitigate the development risks.

Thus, we will very likely see some improvements in terms of performance, efficiency and emission reduction, **but full benefit will not be taken of disruptive technologies, associated with renewed configuration, in order to reach the prospective “green” aircraft**⁽⁵⁾.

What is missing for reaching the ambitious “decarbonization” goal?

It is a common understanding that very low emissions in aviation can only be approached by applying disruptive technologies to the airframe and propulsion system. This objective is likely to significantly change the way this “green” aircraft is designed, and what it will look like compared to what we have seen in

(4) See Dossier de presse – Plan de soutien à l’aéronautique – <https://cutt.ly/kfSvaMh>

(5) To the aim of reducing aviation gas emissions to minimize likely induced climate effects, one has to add the simple need to reduce fossil based kerosene consumption because of the possible crisis after 2035 of its availability at acceptable commercial conditions, as mentioned in AAE Dossier No.38 and confirmed by miscellaneous sources.

the past and presently. A holistic approach will be necessary, not only continuing incremental developments to the airframe design, featuring more advanced materials and improving the engine, but also challenging all development steps with an unprecedented level of global integration.

This could be the case for applying advanced engine cycles including variable pitch blades, some appropriate level of electrical hybridisation, optimized combustion processes, sophisticated gust and manoeuvre loads alleviation, changing over to a natural and/or hybrid laminar flow design, entering a completely new configuration featuring reduced flight mechanic stability and providing the necessary fuel volume for LH₂⁽⁶⁾ (if applicable), to name but a few. Propulsion and engine/airframe integration will of course play a major role. **Only by applying breakthrough technologies, daring to deviate from what we know** and have achieved so far and “thinking out of the box”, can an aircraft be created that features very low emissions and meets the environmental goals set for the middle of this century.

How can such a “revolutionary” aircraft be developed without gambling with our future?

Safety is paramount in aviation. No aircraft developer can accept undue risks in order to achieve higher performance or greatly reduced emissions. Risk assessment and risk mitigation are essential when developing a new aircraft. Thus a technology for which the risk of failure is considered to be too high will not be applied to a new product. Due to these facts aviation is sometimes considered to be “conservative” compared to other “avant-garde” businesses.

But this time the typical “conservative” approach will not result in the needed “step change”. So what is the solution? The only way the aviation industry can dare to make this “step change” is by maturing and validating new technologies thoroughly enough before applying/integrating them into a brand new aircraft that meets both market expectations and environmental needs. In aviation, development programs are common in research

(6) Liquid Hydrogen

activities that assess, further mature and validate technologies. But these are individual technologies that – especially if publicly supported – do not go beyond a Technology Readiness Level (TRL)⁽⁷⁾ of 6. Past experience shows that a) the demonstration needs to go well beyond TRL 6 and b) new technologies have to be tested and proven in an integrated manner in order to mitigate the risks.

These steps, up to the appropriate levels of progressive integration (e.g. engine-level demonstrator, flight controls demonstrator, etc.) are necessary. But if a whole bunch of new technologies need to be validated in an integrated way, in addition to partial conventional validations such as analyses or partial test beds, the only solution will be a **global flying technology demonstrator**, which would raise the chances for subsequent application in a new aircraft program meeting environmental needs, market expectations and competitiveness goals, while mitigating risks. Concerning large civil transport aircraft this has so far not been the approach of the aircraft manufacturers (either in Europe or in the US). For Airbus this would be a real paradigm change.

Why an airborne technology demonstrator – and what should it look like?

Without a flying demonstrator to integrate and validate step change technologies under realistic conditions, as foreseen for the later series aircraft, no aircraft manufacturer will dare to incorporate those technologies into a new product because of the important risks, and thus will not achieve the ambitious goals. Partial flying and ground-based demonstrators can be sufficient for sets of technologies applied to one equipment (including the engine), but not for the significant step changes required for a “green” aircraft, for which an unprecedented level of integration is expected, whatever the still-to-be-made technological choices. If we want to achieve this in the envisaged timeframe, **a flying technology demonstrator is a must**, capable of integrating all essential, interacting technologies.

It is important to note that a high enough ambition for the said demonstrator would ensure that thousands of existing employees, either architects, or integra-

(7) TRL: Technology Readiness Level – a criterion adopted by NASA to overcome insufficient technology maturity when applied. This approach is now being applied in the whole sector of aerospace research in the world. See NASA Technology Readiness Level – <https://cutt.ly/dfSxjzu>

tors or even detailed designers will maintain and even further sharpen their know-how and skills⁽⁸⁾ by applying step changes solutions. Additionally, such a demonstrator will be an appropriate (almost unique) opportunity for today's inexperienced young engineers to gain sufficient knowledge of development up to aircraft certification so that they can apply this later on to the real production aircraft.

Of course it is up to the aircraft manufacturer and its partners to define the demonstrator and the technologies that will need to be incorporated, bearing in mind that the future product will have to meet both market requirements and environmental demands. **But in order to achieve maximum risk mitigation and the best chance of application, the technology demonstrator should be close enough to this future product in terms of size, configuration and critical technologies (including the airframe/engine integration).**

How to define the technology demonstrator and the technologies that will be incorporated?

The definition of the flying technology demonstrator needs to combine a “top-down” with a “bottom-up” approach. The airframe and engine manufacturers that need to meet both market and environmental requirements must define the technology demonstrator in a top-down way – derived from the requirements – in terms of configuration and technologies to be integrated. This includes a roadmap setting the need date and required maturity level for individual technologies and for each step of integration as well. It is then up to the major manufacturers, internally, but also the supply chain members (including system suppliers) and research establishments (RE), to work on these technologies (up to the concept of pre-industrial modular demonstrators) within publicly supported research programs, and up to the engine manufacturers for integration first into the engine and then into the airframe. In addition bottom-up proposals of suitable

(8) For this it will be mandatory that sufficient experienced staff be kept on board and not massively released for early retirement – as happened some time ago at one of the Airbus partners, resulting in a painful loss of know-how and experience and causing several billion euros of extra development costs for Airbus.

technologies will come from REs, the supply chain, the systems companies and engine manufacturers – the latter will be very important since propulsion will very likely contribute significantly to emissions reduction itself (LH₂ use is a big challenge in particular), and optimal integration into the airframe will be challenging but a key success factor.

Concerning timely availability of the technology demonstrators, the integrated in-flight demonstrator and their results, it will be mandatory to properly orchestrate the various technology development activities of the different players, independently of the funding sources – whether Clean Sky, national or even regional research programs –, as long as those activities are focused on stepwise demonstration and later application in a new large civil transport aircraft. An adequate management organization needs to be set up.

With these properly managed approaches on technology solutions demonstrators and the integrated flying demonstrator, risks and development timing will be reduced for both.

At the airframe side the definition phase of the demonstrator will mainly draw on

architectural and integration skills, whereas in the demonstrator development phase the complete spectrum of engineering skills, be it non-specific and specific design work (at the aircraft and engine manufacturers, the supply chain, REs and universities), will be needed.

At this stage it is of the utmost importance to mention the need for having a “living” research network driven by the need to elaborate concrete applications with the necessary pressure from the application users. Academics have a big role to play, particularly in establishing/validating radical new changes, by principle not yet sufficiently known. Theoretical studies at academic level with subsequent studies and testing at the level of the research establishments (such as the DLR in Germany, INTA in Spain, ONERA in France, ATI in UK). The academics’ role is broad: from educational aspects to solution finding. Their survival at the top world level depends on regularly launching new challenging programs, essentially in Europe.

The attached Appendix 2 summarizes different aspects of the necessary flight physics competences for developing a completely new airplane program.

Costs, timeframe and financing of a flying technology demonstrator

There will be two cost elements of a flying technology demonstrator: The demonstrator itself (developing, building and flying/testing, analysis results) and the development and validation of sets of technologies that will be integrated in the demonstrator – provided they are suitable for integration and matured enough to ensure reliable and safe operations of the demonstrator.

Depending on the size and the closeness to future product configuration, the flying demonstrator will be at a cost level of four to five billion euros (including the definition phase), and will take six to eight years to be developed and tested. The pre-definition phase at the start of the program, resulting in a suitable configuration of the demonstrator and a “top-down” established list of required technologies, will take some two years. Overlapping with the pre-definition phase and continuing over another three to four years, the detail technologies will be developed and validated already with some level of integration (e.g. engine) (up to TRL 6) in the course of various research programs (Clean Sky 3 / Clean Aviation, national

research programs like LuFo in Germany, CORAC in France, ATI in the UK), and even regional research programs, as long as they are on the short list of the demonstrator program and aiming at a “green” or “climate neutral” commercial transport aircraft. Additional funding has to be ensured within these programs if not all needed technologies are covered.

Overall – and taking reasonable overlapping into account –, the airborne technology demonstrator program will take between eight to ten years.

Whereas the technology development research programs are funded in the usual way, considering the difficult financial situation due to the Covid-19 crisis, the airframer, engine manufacturers, systems manufacturers and the involved suppliers will not be capable of financing the activities at the above mentioned level in the indicated timescale.

Consequently, the flying technology demonstrator will require special public funding that has to go well beyond the usual 50% public funding rate, spread over its lifetime.

Why enter now the logic of a flying technology demonstrator for a commercial aircraft?

The EU is committed to reaching the ambitious goal of significant emissions reduction in aviation by the middle of this century. In order to achieve that goal, the entry into service (EIS) of a first “green” aircraft has to be in the mid-thirties. For that, the development of such an aircraft needs to start in the late twenties. Taking the total program time of 8-10 years for the demonstrator program into account, **this program – with the necessary steps – needs to be launched shortly** in order to deliver results by the end of the present decade. Thus no time should be lost in order to meet the 2050 target.

Remarks: it is interesting to mention that:

- flying demonstrators are considered as normal steps for advanced military programmes (e.g. in Europe: Rafale A, nEUROn, or even the New Generation Fighter for the Future Combat Air System) for exactly the same reasons of needing to minimize risks,
- one has to differentiate this complete new flying aircraft demonstrator from other partial ones like the BLADE or others made on existing airplanes,

- clearly lessons learned from this ambitious topic will also have beneficial effects on business and regional aircraft and,
- logically, the same will apply to the future long-range aircraft, as happened after the A320 entry into service.

Conclusion

The Covid-19 crisis has dramatic financial consequences for aviation, both for airlines and aircraft-engines-systems manufacturers, and governments are doing much to support the sector. The French government support plan is showing the way and one would expect other countries in Europe with similar concerns to follow. Germany has initiated its own one as well.

The present pandemic has further highlighted the need to combat climate change due to the great risks to which the world population is exposed. Thus important efforts are required from aviation to limit its effects on the climate. Part of this effort will be the timely development of a “green” aircraft – especially in the large commercial transport aircraft category. The classical way of gradually enhancing and applying advanced technologies in the next generation product will not be suffi-

cient for reaching the challenging goal – this can only be achieved by disruptive, step-change technologies, which all indications show will have an unprecedented level of integration. To respect the paramount safety requirements, these technologies need to be matured and validated upstream to a level that can only be attained by using **an integrated flying technology demonstrator** – as close as possible to the “future” aircraft. This is a new approach for the airframers, both in Europe and the US (and the latter is pushing hard to do so via NASA⁽⁹⁾). The airframe and engine manufacturers and the entire aviation community involved in commercial transport aircraft development and production in Europe need to be supported in the management of this paradigm change – for the twin benefits of maintaining a leading global position and helping protect our climate.

Whereas the development of technologies is quite well under way, it is mainly the four Airbus nations – France, Germany, Spain and UK – that will have to initiate the principle of complementary, timely investment in order to finance the required flying technology demonstrator (similarly to what is

done in the US⁽¹⁰⁾). On the basis of a total cost of five billion euros, the yearly contribution, over eight years, for a partner assuming a share of 35% (e.g. France or Germany) would be of 220 million euros.

This investment will be beneficial not just for Airbus, but also for the engine manufacturers, the entire supply chain including systems companies, as well as research establishments, universities and associated testing facilities contributing to the demonstrator.

By doing so, Europe (the four major Airbus nations with, possibly, other European nations willing to join “the club”) will prepare the ground for Green Aviation while preserving its development know-how for commercial transport aircraft.

(9) See note 1.

(10) See note 2.

PRÉPARER UNE AVIATION VERTE

**tout en préservant le
savoir-faire de développement
d'avions de transport en Europe**

PRÉPARER UNE AVIATION VERTE

tout en préservant le savoir-faire de développement d'avions de transport en Europe

Le présent Avis a été établi en commun par les deux associations AAE (Académie de l'air et de l'espace) et DGLR (Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt) qui le publient dans l'intérêt général européen. Pour ce faire un groupe ad hoc conjoint, dont la composition figure en Annexe 1, a été constitué. Pour des raisons pratiques, la version anglaise constitue la version de référence.

Synthèse

L'aviation de transport commercial doit faire face simultanément à :

- d'importantes pertes économiques immédiates tant chez les compagnies exploitantes que chez les industriels aéronautiques du fait de la crise de COVID-19 ;
- une nécessité absolue de livrer le plus rapidement possible sur le marché des produits pour une aviation beaucoup plus « verte » ; mais
- un manque global de ressources financières permettant le développement à temps des produits correspondants.

Une piste originale pour faire face à cette situation à moyen terme est proposée.

La pandémie de la COVID-19 a mis encore davantage en lumière la nécessité de lutter contre le réchauffement climatique du fait des risques majeurs encourus par la population mondiale. Dans le cadre de sa contribution à l'effort général, le secteur aérien est appelé à faire un effort significatif en proposant des opérations beaucoup plus « vertes » dans la prochaine décennie. Le développement et l'utilisation d'avions « verts » dans la catégorie des transports commerciaux, le plus gros contributeur aux émissions aéronautiques, est une priorité mais la méthode traditionnelle d'améliorations progressives, avec application aux produits existants de nouvelles technologies partielles, ne permettra pas d'atteindre les objectifs globaux fixés pour 2050.

Ces objectifs ne pourront être atteints qu'au moyen de technologies disruptives accompagnées de possibles nouvelles configurations de cellule. Tout en respectant des exigences de sécurité primordiales, ces solutions doivent être mûries et validées jusqu'au niveau global, un processus qui ne peut être réalisé qu'**au moyen d'un démonstrateur de technologies intégrées volant** – au plus près des « futurs » avions. Il s'agit d'une nouvelle approche pour l'industrie, tant en Europe qu'aux États-Unis (et ces derniers poussent fort via la NASA⁽¹⁾).

La nouvelle logique proposée est de développer un démonstrateur volant tout en créant, en étroite coordination, de nouveaux équipements techniques et fonctions avancées. Cela se traduirait par une convergence plus rapide et plus efficace vers un produit plus performant, sachant respecter les calendriers et objectifs de coûts. À remarquer que cette approche correspond effectivement à une nouvelle méthode déjà utilisée en Europe pour des systèmes plus petits, et très utilisée en Amérique dans le domaine spatial : « le développement rapide ».

Par ailleurs, en l'absence de nouveau lancement d'avion, seul un tel démonstra-

teur permettra de maintenir le savoir-faire, menacé, de développement des avions de transport commerciaux en Europe (il n'y a pas eu de tout nouvel avion lancé depuis 2007). Il serait, en outre, un moyen idéal de formation des jeunes ingénieurs, aujourd'hui inexpérimentés, en vue de l'application des nouvelles technologies aux futurs avions.

Pour les raisons évoquées ci-dessus, les constructeurs de cellule, de moteurs et de systèmes, ainsi que l'ensemble de la communauté européenne de l'aviation de développement et de production, doivent être soutenus financièrement pour la durée nécessaire à la réalisation de ce changement de paradigme qu'est le démonstrateur complet volant.

Pour conclure, alors que le développement de technologies individuelles est plutôt bien engagé (avec des financements garantis pour les trois prochaines années environ), il est estimé que les quatre nations d'Airbus – la France, l'Allemagne, l'Espagne et le Royaume-Uni – devraient mettre en place des financements appropriés, pour le développement nécessaire d'un démonstrateur de technologie volant (à l'instar de ce qui est fait aux

(1) Voir *Flightglobal.com* "NASA hints at truss-braced X-plane to test technologies for next commercial narrowbody" - <https://cutt.ly/WJSz6TG>

États-Unis⁽²⁾. Les vols du démonstrateur devraient avoir lieu entre 2028 et 2030 dans le but de pouvoir sélectionner à temps les solutions du futur avion « vert » dont la mise en service est prévue à l’horizon 2035.

Sur la base d’un coût total estimé à cinq milliards d’euros, la contribution annuelle, sur huit années, d’un partenaire assumant 35% de part (exemple l’Allemagne ou la France) serait de 220 millions d’euros.

Cet investissement sera non seulement bénéfique à Airbus, aux fabricants de moteurs et à toute la chaîne d’approvisionnement, comprenant les systèmes/équipementiers, mais également aux établissements de recherche, aux universités et à toutes les installations d’essais associées qui devraient contribuer au démonstrateur.

Ce faisant, l’Europe⁽³⁾ préparera le terrain pour l’avènement de l’aviation verte tout en préservant son savoir-faire sur le développement des avions de transport commerciaux, conservant ainsi sa prééminence mondiale.

Contexte

L’Europe a réussi à atteindre un niveau comparable à celui des États-Unis dans le secteur des avions de transport civils. Les principaux programmes de développement au cours de la première décennie de ce siècle – l’A380 et l’A350, puis l’A400M – ont renforcé la position de l’Europe. Cela est vrai pour l’avionneur Airbus, les fabricants de moteurs, toute la chaîne d’approvisionnement mais également pour les établissements de recherche, les universités et tous les centres d’essais associés.

Comment préserver et renforcer les compétences européennes ?

La communauté aéronautique s’inquiète sérieusement du risque de perte de savoir-faire de développement d’un tout nouvel avion de transport civil commercial en Europe. En effet, depuis l’A350, lancé en 2007, aucun avion nouveau n’a été lancé, entraînant une utilisation insuffisante des ingénieurs expérimentés, parti-

(2) On peut citer, indépendamment d’un démonstrateur spécifique, le contrat unique exceptionnel de 23 milliards de dollars attribué à Boeing par l’US Air Force pour un nouvel avion de combat à livrer en 2023 (sic!) : voir Boeing mediaram "Boeing and U.S. Air Force Ink Historic Deal for F-15EX Fighter Jet" - <https://cutt.ly/nfSc4kB>

(3) D’autres pays européens pourraient rejoindre l’initiative de ces quatre pays.

culièrement dans les domaines critiques d'architectures des avions et d'intégration des grands ensembles. Ainsi le savoir-faire correspondant, très important, progressivement acquis sur les programmes successifs passés, s'érode-t-il. Dans quelques années, c'est pratiquement toute une génération d'ingénieurs aéronautiques en Europe qui n'aura eu aucune occasion d'appliquer et approfondir ses connaissances sur un nouveau programme, exigeant. Aussi faut-il trouver rapidement un développement compensatoire, même, si besoin était, expérimental.

Qu'a changé la crise de COVID-19 à cet égard ?

Pour soutenir leur industrie, les gouvernements français et allemand ont augmenté les financements de R & D pour 2020, 2021, 2022, avec l'objectif de fournir des technologies pour les « Avions verts »⁽⁴⁾, qui seront partagées entre les applications correspondantes que sont les avions moyen/long-courriers, l'aviation régionale, l'aviation d'affaires, les drones, les hélicoptères et l'aviation générale. Pour l'application aux avions moyen-courriers, les pistes parallèles identifiées consistent en

a), le développement vers une grande efficacité énergétique, et b), le changement de configuration par étapes. Cela ouvrirait la voie à un successeur de la famille A320 avec un premier démonstrateur entre 2026 et 2028, et une mise en service envisagée à l'horizon 2035. C'est une très bonne nouvelle et le soutien public engagé sera extrêmement utile non seulement pour l'avionneur, mais également pour les motoristes, les installations d'essais, ainsi que pour l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement.

Mais avec une approche classique les risques suivants subsistent :

- le financement actuel, bien que convenable pour les solutions de recherche technologique pour les prochaines années, ne permet pas le développement d'un démonstrateur d'avion totalement nouveau et révolutionnaire ; et
- en raison du délai envisagé pour le démonstrateur initialement prévu, seules les technologies jugées matures seront appliquées afin d'atténuer les risques de développement.

Ainsi, verrons-nous très probablement des améliorations partielles en termes de performance, d'efficacité et de réduction des émissions, **mais les solutions à technologies disruptives et à configu-**

(4) Voir Dossier de presse - Plan de soutien à l'aéronautique - <https://cutt.ly/kfSvaMh>

ration renouvelée nécessaires à l'atteinte du niveau de l'avion « vert » tant espéré⁽⁵⁾ ne seront certainement pas suffisamment utilisées.

Que manque-t-il pour atteindre l'objectif ambitieux de « décarbonisation » ?

Il est communément admis que les très faibles émissions de l'aviation ne peuvent être abordées qu'en appliquant des technologies disruptives aux cellules, propulsions et systèmes des avions. Cet objectif est en mesure de changer significativement la façon dont l'avion « vert » sera conçu et à quoi il ressemblera par rapport à ce que nous avons vu dans le passé et même actuellement. Une approche holistique sera nécessaire, non seulement en continuant les développements incrémentaux de la conception de la cellule, avec des matériaux plus avancés et l'amélioration des moteurs, mais également en remettant en question toutes les étapes de développement avec un niveau d'intégration totale sans

précédent. Cela pourrait être le cas pour l'application de cycles de moteur avancés, y compris des pales à pas variable, un certain niveau approprié d'hybridation électrique, des processus de combustion optimisés, une conception structurelle poussée de la cellule, capable de résister aux charges de rafales et de manœuvres, atténuées grâce à des systèmes perfectionnés, le passage à une conception aérodynamique capable d'écoulement laminaire hybride ou naturel, la création d'une toute nouvelle configuration générale de l'avion avec une stabilité mécanique du vol réduite et fournissant, le cas échéant, le volume nécessaire aux réservoirs d'hydrogène liquide⁽⁶⁾, pour n'en citer que quelques-uns. L'intégration du moteur à la cellule jouera également un rôle majeur.

Ce n'est qu'en appliquant des technologies révolutionnaires, en osant s'écarter de ce que nous savons, de ce que nous avons accompli jusqu'à présent, et en « pensant différemment » qu'un avion peut être créé qui émettra très peu et répondra aux objectifs environnementaux fixés pour le milieu de ce siècle.

(5) Dans le but de réduire les émissions de gaz d'aviation pour minimiser les effets climatiques induits probables, il faut ajouter le simple besoin de réduire la consommation de kérosène fossile en raison de la possible crise après 2035 de sa disponibilité à des conditions commerciales acceptables, comme mentionné dans le Dossier n°38 de l'AEE et confirmé par diverses sources.

(6) Ou LH₂ pour hydrogène liquide.

Comment développer un avion aussi « révolutionnaire » sans obérer notre avenir ?

La sécurité est primordiale dans l'aviation. Aucun développeur d'avion ne peut accepter des risques indus pour atteindre des performances supérieures ou des émissions fortement réduites. L'évaluation et l'atténuation des risques sont essentielles lors du développement d'un nouvel avion. Ainsi, une technologie pour laquelle le risque de défaillance est jugé trop élevé ne sera pas appliquée à un nouveau produit. En raison de ces faits, l'aviation est parfois considérée comme « conservatrice » par rapport à d'autres activités « avant-gardistes ».

Mais cette fois, l'approche « conservatrice » typique n'entraînera pas le « changement d'étape » nécessaire. Quelle est donc la solution ? La seule façon pour l'industrie aéronautique d'oser ce « changement radical » est de mûrir et de valider suffisamment les nouvelles technologies avant de les appliquer/intégrer dans un tout nouvel avion qui réponde à la fois aux attentes du marché et aux exigences

environnementales. Dans l'aviation, les programmes de recherches qui évaluent, mûrissent et valident les technologies sont courants. Mais il s'agit de technologies individuelles qui, si elles sont bien soutenues publiquement, ne vont pas au-delà d'un niveau de préparation technologique (TRL)⁽⁷⁾ de 6. Or l'expérience passée montre que, a) **la démonstration doit aller bien au-delà du TRL 6** et b) **les nouvelles technologies doivent être testées et éprouvées de manière intégrée** afin d'en diminuer les risques.

Ces étapes, jusqu'aux niveaux appropriés d'intégration progressive (par ex. démonstrateur au niveau du moteur, démonstrateur des commandes de vol, etc.) sont nécessaires. Mais si toute une série de nouvelles technologies doit être validée de manière intégrée (en plus des validations conventionnelles des bancs d'analyse ou d'essais partiels), **la seule solution sera un démonstrateur global de technologie, volant**, qui augmentera les chances d'une application réelle ultérieure dans un nouveau programme d'avions du fait de la réduction/élimination des risques. Concernant les avions de transport civils, ce n'est pas encore l'approche des constructeurs d'avions (en Europe comme

(7) TRL : *Technology Readiness Level* – Niveau de maturité technologique – un critère adopté par la NASA pour surmonter l'insuffisance de maturité technologique lorsqu'elle est appliquée. Cette approche est aujourd'hui appliquée au secteur de la recherche aérospatiale dans le monde. Voir *NASA Technology Readiness Level* - <https://cutt.ly/dfSxjzu>

aux États-Unis). Pour Airbus, ce serait un vrai changement de paradigme.

Pourquoi un démonstrateur volant de technologie – et à quoi devrait-il ressembler ?

Sans un démonstrateur volant pour intégrer et valider dans des conditions réalistes des technologies de changement significatif aucun avionneur n'osera intégrer ces technologies dans un nouveau produit en raison des risques importants, et n'atteindra donc pas les objectifs ambitieux. Des démonstrateurs partiels en vol et au sol peuvent suffire pour des ensembles de technologies appliquées à un équipement (y compris le moteur), mais pas pour les changements significatifs requis pour un avion « vert », pour lequel un niveau d'intégration sans précédent est attendu, quels que soient les choix technologiques encore à faire. Si nous voulons y parvenir dans les délais prévus, **un démonstrateur volant de technologie est indispensable**, capable d'intégrer toutes les technologies essentielles et interactives.

Il est important de noter qu'une ambition suffisamment élevée pour ledit démonstrateur garantirait que des milliers de collaborateurs existants, qu'ils soient architectes, intégrateurs ou même concepteurs de détails, maintiendront et amélioreront encore plus leur savoir-faire et leurs compétences⁽⁸⁾ en appliquant des solutions de changements radicaux. En outre, un tel démonstrateur sera une occasion idéale pour les jeunes ingénieurs, aujourd'hui inexpérimentés, d'acquérir les connaissances nécessaires du développement, jusqu'à la certification d'un avion, qu'ils pourront utiliser ultérieurement aux futurs avions.

Bien sûr, c'est au constructeur aéronautique et à ses partenaires de définir le démonstrateur et les technologies qui devront y être incorporées, sachant que le futur produit devra répondre à la fois aux exigences du marché et aux exigences environnementales. **Mais afin d'obtenir une réduction maximale des risques avec les meilleures chances d'application, le démonstrateur de technologie devrait être suffisamment proche de ce futur produit en termes de taille, de configuration et de technologies critiques (sans oublier l'intégration, essentielle, cellule/moteur).**

(8) Pour cela, il est indispensable de veiller à garder suffisamment de personnels expérimentés et de ne pas les libérer massivement pour une retraite anticipée – comme cela s'est produit il y a quelque temps chez l'un des partenaires d'Airbus, entraînant une perte douloureuse de savoir-faire et d'expérience avec plusieurs Md.E de surcoûts de développements.

Comment définir le démonstrateur de technologie ?

La définition du démonstrateur volant de technologie doit combiner une approche descendante (« *top-down* ») à une approche montante (« *bottom-up* »). Les constructeurs de cellule et de moteurs devant répondre à la fois aux exigences du marché et environnementales doivent définir le démonstrateur de technologie de manière descendante – issue des exigences – en termes de configuration et de technologies à intégrer. Cela comprend une feuille de route fixant la date de besoin et le niveau de maturité requis pour chaque technologie et pour chaque étape d'intégration. Les grands constructeurs, en interne, les membres de la chaîne d'approvisionnement (dont les fournisseurs de systèmes) et les établissements de recherche (RE) doivent travailler sur ces technologies, jusqu'au concept de démonstrateurs modulaires préindustriels, dans le cadre de programmes de recherche soutenus publiquement. Des propositions ascendantes de technologies proviendront des RE, de la chaîne d'approvisionnement, des producteurs de systèmes et des fabricants de moteurs – ces derniers seront très importants puisque la propulsion contribuera très probablement de manière

significative à la réduction des émissions elle-même (l'utilisation du LH₂ est particulièrement un grand défi), et l'intégration optimale dans la cellule aussi un défi mais un facteur-clé de succès.

Concernant la disponibilité à temps des démonstrateurs technologiques intermédiaires, du démonstrateur intégré de vol et de leurs résultats, il sera essentiel d'orchestrer correctement les activités des différents acteurs, indépendamment des sources de financement – qu'il s'agisse du « Clean Sky » européen, de programmes de recherche nationaux ou même régionaux –, en ayant pour objectif leur application ultérieure dans un nouvel avion de transport civil. Pour ce faire une organisation de management adéquate doit alors être mise en place.

Grâce à des approches correctement gérées pour les démonstrateurs de solutions technologiques intermédiaires et pour le démonstrateur global volant, les risques et calendriers de développement seront réduits pour les deux types de démonstrateurs.

Du côté de la cellule, ou des moteurs, la phase de conception du démonstrateur s'appuiera principalement sur les compétences en architecture et en intégration. En phase de développement, l'éventail complet des compétences en ingénierie,

qu'il s'agisse de travaux de définition non spécifiques ou de définition spécifique, sera nécessaire pour tous les acteurs.

À ce stade, il est extrêmement important de mentionner la nécessité d'avoir un réseau « vivant » de recherche avancée motivé par la nécessité de créer des applications concrètes sous la pression des utilisateurs de ces applications. Les universitaires ont un rôle important à jouer, notamment dans la mise en place et la validation de solutions radicalement nouvelles, par principe pas encore suffisamment connues. Des études théoriques au niveau académique avec des études ultérieures et des essais au niveau des établissements de recherche, comme le DLR en Allemagne, l'INTA en Espagne, l'ONERA en France et l'ATI au Royaume-Uni, seront nécessaires.

De leur côté, le rôle des universitaires est étendu. Il va des aspects éducatifs au développement de solutions théoriques et pratiques (thèses). Leur maintien au plus haut niveau mondial dépend du lancement régulier, en Europe, de nouveaux programmes présentant des défis en Europe.

L'Annexe 2 (voir fin) résume différents aspects des compétences nécessaires en physique de vol pour développer un programme d'avion entièrement nouveau.

Coûts, calendrier et financement d'un démonstrateur volant de technologie

Un démonstrateur de technologie de vol comportera deux éléments de coûts : le démonstrateur lui-même (développement, construction et vols d'essais, analyse des résultats) et le développement et la validation des ensembles de technologies qui le constituent. À noter que ces derniers doivent être bien adaptés et suffisamment matures pour garantir des opérations fiables et sûres du démonstrateur.

Selon sa taille et sa proximité avec la configuration du produit final, le démonstrateur volant aura un coût de quatre à cinq milliards d'euros (phase de définition incluse), et nécessitera six à huit ans pour être développé et testé. La phase de pré-définition initiale au début de programme, aboutissant à une configuration acceptable du démonstrateur utilisant une approche « descendante » des technologies requises, prendra environ deux ans. Se chevauchant avec la phase de définition et se poursuivant sur trois à quatre années supplémentaires, les technologies de détail seront développées et validées jusqu'à un certain niveau d'intégration (par exemple le moteur) (jusqu'à TRL 6) dans le cadre de divers programmes de recherche tels que Clean

Sky 3 / Clean Aviation, les programmes de recherche nationaux comme le LuFo en Allemagne, le CORAC en France, ou l'ATI au Royaume-Uni, voire même des programmes de recherche régionaux. Préalablement ces technologies auront été sélectionnées pour le programme de démonstration comme visant un avion de transport commercial « vert » ou « climatiquement neutre ». Un financement complémentaire pourrait s'avérer nécessaire pour ces programmes si toutes les technologies requises n'étaient pas couvertes.

Globalement, et en tenant compte des chevauchements raisonnables, le programme du démonstrateur volant de technologie prendra entre huit et dix ans.

Avec les programmes de recherche en développement technologique aidés financièrement à la hauteur usuelle, compte tenu de la situation financière critique due à la crise de COVID-19, l'avionneur, les fabricants de moteurs, les fabricants de systèmes et les fournisseurs impliqués ne seront pas en mesure de financer leurs activités correspondantes au niveau requis dans des délais acceptables. **Par conséquent, le démonstrateur volant de technologie nécessitera un financement public spécial devant aller bien au-delà du taux habituel de 50 % de financement public, réparti sur sa durée.**

Pourquoi un démonstrateur volant de technologie d'un avion commercial maintenant ?

L'Union européenne s'est engagée à atteindre l'objectif ambitieux de réduction significative des émissions dus à l'aviation d'ici au milieu du siècle. Pour l'atteindre, la mise en service d'un premier avion « vert » doit avoir lieu au milieu de la prochaine décennie. Pour y arriver, le développement d'un tel avion doit débuter à la fin de la présente décennie. Tenant compte du temps total du programme de huit à dix ans pour le programme de démonstration, **ce dernier** – avec les étapes nécessaires – **doit être lancé très tôt** afin d'obtenir des résultats d'ici à la fin de la présente décennie. Dans ces conditions il ne serait pas perdu de temps pour atteindre l'objectif fixé pour 2050.

Remarques : il est intéressant de mentionner que :

- les démonstrateurs volants sont considérés comme des étapes normales pour les programmes militaires avancés (par exemple en Europe : Rafale A, nEUROn, ou même le chasseur de nouvelle génération pour le système aérien de combat du futur européen) et ce pour exactement les mêmes raisons de minimisation des risques ;

- il faut différencier ce nouveau démonstrateur d'avion volant complet d'autres démonstrateurs partiels comme le BLADE expérimenté sur un A340 ou d'autres installés sur des avions existants ;
- il est clair que les acquis de ce projet ambitieux donneront lieu à des applications bénéfiques également sur les avions régionaux ainsi que sur les avions d'affaires ; et
- en toute logique, il en sera de même pour les applications sur les long-courriers, comme ce fut le cas après la mise en service de l'A320.

Conclusion

La crise de COVID-19 a des conséquences financières dramatiques pour l'aviation, tant pour les compagnies aériennes que pour les fabricants d'avions, de moteurs, de systèmes, et pour la chaîne d'approvisionnement, aussi les gouvernements font beaucoup pour soutenir le secteur. Le plan de soutien à l'aéronautique du gouvernement français a ouvert la voie et l'on s'attend à ce que d'autres pays en Europe, également concernés, en fassent de même. L'Allemagne, de son côté, a déjà lancé le sien.

La pandémie de la COVID-19 a mis encore davantage en lumière la nécessité de lutter contre le réchauffement climatique du fait des risques majeurs encourus par la population mondiale. Aussi d'importants efforts sont demandés à l'aviation pour limiter son impact sur le climat. Une partie de cet effort sera le développement en temps voulu d'un avion « vert », en particulier dans la catégorie des avions de transport commerciaux. La solution classique d'amélioration en appliquant progressivement de nouvelles technologies dans le produit suivant ne sera pas suffisante pour atteindre l'objectif ambitieux fixé pour 2050. Il ne pourra être atteint que par des changements radicaux contenant des solutions disruptives et, selon toutes les indications, un niveau d'intégration multidisciplinaire sans précédent. Pour respecter les exigences de sécurité primordiales, les technologies concernées doivent être mûries et validées en amont à un niveau qui ne peut être atteint qu'en utilisant **un démonstrateur volant de technologie** aussi proche que possible de l'avion « futur ». Il s'agit d'une nouvelle approche pour les avionneurs, tant en Europe qu'aux États-Unis (dans ce pays il existe le gros support de la NASA⁽⁹⁾, entre autres). En Europe les constructeurs de cellules et de moteurs ainsi que toute la

(9) Voir note 1.

communauté aéronautique impliquée dans le développement et la production d'avions de transport commerciaux doivent être soutenus dans la gestion de ce changement de paradigme pour le double avantage de maintenir une position mondiale de premier plan et de contribuer à protéger le climat.

Alors que le développement des technologies est plutôt bien engagé, les quatre nations qui sont à l'origine d'Airbus, la France, l'Allemagne, l'Espagne et le Royaume-Uni devraient lancer le principe d'investissements complémentaires et appropriés afin de financer le démonstrateur volant de technologie requis (à l'instar de ce qui se fait aux États-Unis⁽¹⁰⁾).

Par exemple, sur la base d'une estimation de coût de cinq milliards d'euros, la contribution annuelle sur huit ans d'une nation supportant 35% (ex. l'Allemagne ou la France) serait de 220 millions d'euros.

Cet investissement sera bénéfique non seulement pour Airbus, mais aussi pour les fabricants de moteurs, toute la chaîne d'approvisionnement y compris les fabricants de systèmes, sans oublier les établissements de

recherche, les universités et les installations d'essais associées qui contribueront au démonstrateur.

Ce faisant, l'Europe (les quatre grandes nations d'Airbus avec, éventuellement, d'autres nations européennes prêtes à rejoindre « le club ») préparera le terrain pour une aviation verte tout en préservant son savoir-faire de développement pour les avions de transport commerciaux.

(10) Voir note 2.

SCHAFFUNG DER VORAUSSETZUNGEN FÜR EINE „GRÜNE LUFTFAHRT“

**bei Erhalt des Know-how in Europa
zur Entwicklung großer
Verkehrsflugzeuge**

SCHAFFUNG DER VORAUSSETZUNGEN FÜR EINE „GRÜNE LUFTFAHRT“

bei Erhalt des Know-how in Europa zur Entwicklung großer Verkehrsflugzeuge

Dieses Positionspapier wird von der Académie de l'Air et de l'Espace (AAE) und der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V. (DGLR) im öffentlichen Interesse herausgegeben. Erarbeitet wurde es von einem gemeinsamen Team beider Gesellschaften. Die Mitglieder dieser Arbeitsgruppe sind im Anhang 1 aufgeführt. Die englischsprachige Version ist die Referenz für dieses Positionspapier.

Zusammenfassung

Die Verkehrsluftfahrt ist aktuell gleichzeitig betroffen von:

- enormen wirtschaftlichen Rückschlägen in der Luftfahrtindustrie und bei den Fluggesellschaften im Zuge der COVID-19 - Krise;
- dem dringenden Bedarf, schnellstmöglich zu einer „grünen“, sprich umweltverträglichen Luftfahrt zu gelangen;
- sowie einem generellen Mangel an finanziellen Ressourcen zur rechtzeitigen Entwicklung der entsprechenden Produkte.

Nachstehend werden Empfehlungen gegeben, wie diese Krisensituation bewältigt werden kann.

Nach Überwindung der Corona-Pandemie wird der Klimawandel wieder stärker in den Fokus rücken. Um die globale Klimaänderung und ihre Folgen für Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft möglichst gering zu halten, sind dauerhaft enorme Anstrengungen notwendig. In diesem Rahmen ist der Luftfahrtbereich gefordert, jetzt entscheidende Schritte zur Erreichung eines sehr viel „grüneren“ Flugbetriebs in den kommenden Jahrzehnten zu unternehmen. Die Entwicklung und der Einsatz eines „grüneren“ Produktes im Bereich der Verkehrsluftfahrt, die den größten Anteil an den Emissionen der

Luftfahrt aufweist, haben dabei höchste Priorität. Jedoch wird die herkömmliche Methode der schrittweisen, inkrementellen Verbesserungen durch die Anwendung teilweise neuer Technologien in vorhandenen Produkten die rechtzeitige Erreichung des ambitionierten Ziels nicht erlauben.

Dieses Ziel kann nur mittels disruptiver, „step-change“-Technologien, also durch einen grundlegenden technologischen Wandel und mit einer möglicherweise vollständig neuen Flugzeug-Konfiguration erreicht werden. Unter Beachtung höchster Sicherheitsanforderungen müssen diese disruptiven technologischen Lösungen zur Reife gebracht und ganzheitlich validiert werden, was aus unserer Sicht nur mittels eines **integrierten fliegenden Technologie-Demonstrators**, der dem zukünftigen Serienflugzeug möglichst ähnlich ist, zum Erfolg geführt werden kann. Dies ist ein vollständig neuer Ansatz für die Verkehrsflugzeugindustrie, sowohl in Europa, als auch in den USA (wo man unter Einbeziehung der NASA⁽¹⁾ intensiv daran arbeitet).

Die unter den europäischen Partnern eng miteinander abgestimmte Entwicklung eines fliegenden Demonstrators und das

parallele Vorantreiben neuer Technologien und Funktionalitäten führt schneller zu optimalen Lösungen bei gleichzeitiger Verbesserung der Effizienz sowie des Zeit- und Kostenrahmens. Diese für den Verkehrsflugzeugbau neuartige Vorgehensweise wird in Europa bereits für kleinere Luftfahrzeuge und in den USA im Bereich der Raumfahrt („rapid development“) und bei militärischen Entwicklungen eingesetzt.

Wir sind davon überzeugt, dass der Erhalt und Ausbau des notwendigen Know-hows zur Entwicklung großer Verkehrsflugzeuge in Europa (wo seit 2007 diesbezüglich keine komplette Neuentwicklung erfolgte) nur durch diese Vorgehensweise gelingen kann. Darüber hinaus können sich die heute noch wenig erfahrenen jungen Ingenieurinnen und Ingenieure so weiterentwickeln, dass sie später erfolgreich bei einer Serienflugzeug-Gestaltung mitwirken können.

Zur Realisierung der gemeinsamen Anstrengung müssen die nationalen Bemühungen gesteigert, gebündelt und innerhalb Europas harmonisiert werden. Eine zusätzliche finanzielle Unterstützung der Flugzeug-, Triebwerks- und Systemhersteller, sowie der beteiligten For-

(1) Siehe *Flightglobal.com* „NASA hints at truss-braced X-plane to test technologies for next commercial narrowbody“ - <https://cutt.ly/WfSz6TG>

schungs- und Entwicklungsorganisationen in Europa erscheint unerlässlich.

Während die Entwicklung einzelner Technologien bereits auf einem guten Weg und finanziell erfreulicherweise für die nächsten Jahre gesichert ist, sollten die vier „Airbus-Nationen“ - Frankreich, Deutschland, Spanien und UK – aus den erläuterten Gründen eine zusätzliche, rechtzeitige finanzielle Unterstützung zur Entwicklung eines solchen fliegenden Technologie-Demonstrators bereitstellen – ähnlich dem Ansatz der USA⁽²⁾. Mit Blick auf die Verfügbarkeit eines neuen „grünen“ Verkehrsflugzeugs im Jahr 2035 sollte der Erstflug des skizzierten Demonstrators bis 2028 erfolgen, so dass die bahnbrechenden Technologien für dieses neue Muster rechtzeitig bereitgestellt werden können.

Ausgehend von voraussichtlichen Gesamtkosten in der Größenordnung von 5 Milliarden Euro wäre über die Laufzeit von 8 Jahren von einem Anteil von jährlich rund 220 Millionen Euro pro Partnerland auszugehen (bei

jeweils 35% für Deutschland und Frankreich).

Diese Investition wird nicht nur Airbus, den Triebwerksherstellern und der gesamten Zulieferindustrie einschließlich der System- und Ausrüstungsfirmen zugutekommen, sondern auch den Forschungseinrichtungen, den Universitäten und allen zugehörigen Test- und Versuchseinrichtungen, die am Demonstrator-Programm beteiligt sind.

Mit diesem Schritt wird Europa⁽³⁾ den Boden für eine umweltfreundliche Luftfahrt bereiten und gleichzeitig sein derzeit dahinschwindendes Know-how für die Entwicklung großer Verkehrsflugzeuge erhalten und ausbauen – und so seine weltweite Führungsrolle in diesem Sektor sichern.

Hintergrund

Europa war sehr erfolgreich, auf dem Gebiet des Baus großer Verkehrsflugzeuge ein mit den USA vergleichbares Niveau zu erreichen. Die großen Entwicklungsprogramme im ersten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts - die A380 und die

(2) Festzuhalten ist, dass - unabhängig von einem spezifischen Demonstrator - Boeing einen „exceptional sole source contract“ in Höhe von 23 Mrd. US-\$ von der US Air Force für ein neues Kampfflugzeug zur Auslieferung in 2023 erhielt (sic!): siehe Boeing mediaroom „Boeing and U.S. Air Force Ink Historic Deal for F-15EX Fighter Jet“ - <https://cutt.ly/>

(3) Andere europäische Länder könnten sich der Initiative der vier „Airbus-Nationen“ anschließen.

A350, sowie der A400M – haben die Position Europas weiter gestärkt. Dies gilt sowohl für den Flugzeughersteller Airbus, als auch für die Triebwerkshersteller, die Zulieferer und die Forschungseinrichtungen sowie Universitäten.

Wie können die Kompetenzen in Europa erhalten und weiterentwickelt werden?

Es gibt eine weitreichende Besorgnis im Luftfahrtbereich in Europa, dass die notwendigen Erfahrungen für eine erfolgreiche Entwicklung eines komplett neuen Verkehrsflugzeugs verloren gehen könnten. Seit der in 2007 begonnenen Entwicklung der A350 hat es keine weitere vollständige Neuentwicklung gegeben, mit dem Ergebnis, dass immer weniger erfahrene Ingenieure - besonders bezüglich der Architekten und Integratoren - verfügbar sind. **Das stetig und mühsam in den verschiedenen Programmen erlangte Wissen schwindet dahin.** In wenigen Jahren wird es eine ganze Ingenieur-Generation in Europa geben, die ihr Know-how nicht mehr in einem herausfordernden Vorhaben einer kompletten Neuentwicklung anwenden und schärfen konnte.

Was hat sich diesbezüglich im Zuge der Corona-Krise verändert?

Zur Unterstützung der Luftfahrtindustrie haben sowohl die französische, als auch die deutsche Regierung eine Erhöhung der Förderung der Forschung und Entwicklung (Research & Development - R&D) für die kommenden Jahre angekündigt mit dem Ziel, Technologien für ein „grünes Flugzeug“⁽⁴⁾ voranzubringen. Hiervon werden alle Bereiche profitieren: Verkehrsflugzeuge mittlerer Reichweite, Regionalflugzeuge, Flugzeuge der Allgemeinen Luftfahrt, Drohnen, Hubschrauber, Geschäftsreiseflugzeuge und der Flugbetrieb bei Airlines. Bei den Flugzeugen mittlerer Reichweite gibt es einerseits die Fokussierung auf fortschrittliche, weitgehend konventionelle, treibstoffsparende Entwicklungen und parallel dazu die Anwendung disruptiver Konfigurationen und Technologien. Dieses würde den Weg bereiten für einen Nachfolger der A320-Familie mit einem ersten Demonstrator zwischen 2026 und '28 und einem anvisierten Entry into Service (EIS) bis 2035. Dies sind sehr gute Nachrichten und die zugesagte Förderung wird äußerst hilfreich sein - nicht nur für den Flugzeughersteller, sondern auch für die

(4) Siehe Dossier de presse - Plan de soutien à l'aéronautique - <https://cutt.ly/kfSvaM>

Triebwerkshersteller, die Forschungs- und Testeinrichtungen inkl. der Windkanäle und darüber hinaus für die gesamte Lieferkette.

Die Risiken sind nun, dass:

- die angekündigte Förderung, die durchaus angemessen erscheint für die Technologieforschung und -weiterentwicklung der nächsten Jahre, nicht ausreichend sein wird für die Entwicklung eines fliegenden Demonstrators, der die notwendigen disruptiven Merkmale aufweist,
- aufgrund der vorgesehenen Zeitspanne für den geplanten Demonstrator nur bereits verfügbare und schon ausreichend reife Technologien zum Einsatz kommen, um das Entwicklungsrisiko zu begrenzen.

Folglich wird es sicher zu erheblichen Verbesserungen bezüglich der Leistung, der Effizienz und der Reduktion von Emissionen führen, **aber es wird wohl nicht das wirklich mögliche, volle Potential aus dem Einsatz disruptiver Technologien geschöpft, welches das Ziel eines „grünen Flugzeugs“ erreichen lässt⁽⁵⁾.**

Was fehlt, um das ambitionierte Ziel der „Dekarbonisierung“ zu erreichen?

Es ist das allgemeine Verständnis, dass sehr geringe Emissionen bei Flugzeugen nur erreicht werden können, wenn disruptive Technologien für die Zelle und das Antriebssystem zur Anwendung kommen. Hieraus folgt, dass es erhebliche Änderungen geben muss bezüglich des Flugzeug-Entwurfs und der zukünftigen Konfigurationen - verglichen mit dem, was wir bis heute kennen. Ein ganzheitlicher Ansatz wird notwendig sein, der nicht nur zu weiteren inkrementellen Verbesserungen führt (z.B. mit weiter verbesserten Werkstoffen und Antrieben), sondern holistisch alle Entwicklungsschritte adressiert und von einer bisher nicht realisierten Integration gekennzeichnet ist.

Hierzu zählen - um nur einige zu nennen - neue Triebwerkstechnologien einschließlich optimierter Verbrennungsprozesse, Schritte in Richtung hybrid-elektrischer Antriebe, deutlich weiterentwickelte Lastminderungssysteme (Böen und Manöver), die Laminarhaltung (natürliche und hybride Laminarität) und eine verän-

(5) Neben dem Ziel einer Senkung der CO₂-Emission in der Luftfahrt zur Reduzierung des wahrscheinlich verursachten Klima-Effektes muss der ohnehin gegebene Zwang zur Verringerung des Verbrauchs von Kerosin fossilen Ursprungs wegen der ab 2035 zu erwartenden geringeren Verfügbarkeit zu akzeptablen Preisen erwähnt werden, wie im AAE-Dossier N°38 beschrieben und von verschiedenen Quellen bestätigt.

derte Konfiguration, die zum einen eine Reduzierung der flugmechanischen Eigenstabilität aufweist und zum anderen Platz für LH₂ ⁽⁶⁾-Tanks (für den Fall eines Wasserstoff-Antriebs) liefert. Der Antrieb und seine Integration in die Zelle wird eine sehr wichtige Rolle spielen. **Nur durch Nutzung von Technologien, die wirklich einen Durchbruch versprechen, mit dem Mut, von dem, was wir bisher wissen und erreicht haben, abzuweichen** und „out of the box“ zu denken, kann ein Flugzeug entwickelt werden, das ein sehr geringes Emissionsniveau aufweist und die anspruchsvollen Umweltschutz-Ziele erfüllt, die sich die Gesellschaft für die Mitte dieses Jahrhunderts gesetzt hat.

Wie kann ein „revolutionäres“ Flugzeug mit beherrschbarem Risiko entwickelt werden?

Die Sicherheit hat in der Luftfahrt absoluten Vorrang. Kein Entwickler/Hersteller kann unangemessene Risiken eingehen, um eine höhere Leistung seines Produktes oder ambitionierte

Emissionssenkungs-Ziele zu erreichen. Risikoabschätzung und Risikominderung sind daher essentiell bei der Entwicklung eines neuen Flugzeugs. Deshalb kommen Technologien, deren Risiken als zu hoch eingeschätzt werden, bei einem Neuentwurf nicht zum Einsatz. Der Flugzeugbau hat deshalb gelegentlich das Image „konservativ“ zu sein - im Vergleich zu „progressiveren“ Geschäftsbereichen (die allerdings nur deutlich geringere technische Risiken handhaben müssen).

Nun wird aber dieses „konservative“ Vorgehen zukünftig nicht genügen, um die erforderliche sprunghafte Verbesserung zu erreichen. Was gilt es also zu tun? Der einzige Weg, wie die Flugzeugindustrie diesen „step-change“ sicher vollziehen kann, ist die sorgfältige Reifmachung und Validierung neuer Technologien vor ihrer Nutzung in einem komplett neuen Flugzeug, das sowohl die Markt- als auch die Umweltauforderungen erfüllt. Im Flugzeugbau sind Forschungsprogramme üblich, die neue Technologien identifizieren, weiterentwickeln und validieren. Dabei handelt es sich aber in der Regel um Einzel-Technologien, die - besonders in öffentlich geförderten Programmen - nicht weiter als zum „Technology Readiness

(6) Flüssiger Wasserstoff.

Level“ (TRL)⁽⁷⁾ von 6 führen. Die Erfahrung aus der Vergangenheit zeigt, dass zum einen die entsprechende Demonstration deutlich über TRL 6 hinausgehen muss, und zum anderen neue Technologien zur Risikominderung im integrierten Zustand getestet und nachgewiesen werden müssen.

Das stufenweise Vorgehen mit zunehmender Integration (z.B. Triebwerks-Demonstrator, Flugsteuerungs-Demonstrator etc.) ist natürlich notwendig. Aber wenn eine große Zahl neuer Technologien in integrierter Form getestet und validiert werden muss (zusätzlich zu Teil-Validierungen einzelner Technologien durch Analysen/Simulationen oder Tests), ist die einzige sinnvolle Lösung ein fliegender Technologie-Demonstrator, der einerseits die Chance der zügigen Nutzung in einem neuen Flugzeugprogramm liefert, das die Markt- und Umwelanforderungen erfüllt und wettbewerbsfähig ist - und gleichzeitig das Risiko eines Fehlschlags begrenzt. Hinsichtlich großer Verkehrsflugzeuge war bisher ein derartiges Vorgehen bei keinem der Flugzeughersteller (weder in Europa, noch in den USA) gegeben. Für Airbus würde es zweifellos einen Paradigmenwechsel bedeuten.

Warum ein fliegender Technologie-Demonstrator - und wie sollte er aussehen?

Ohne einen fliegenden Demonstrator zur Integration und Validierung der disruptiven Technologien unter realistischen Bedingungen, wie sie im späteren Serienflugzeug erwartet werden, wird sich kein Hersteller wegen der zu hohen Risiken trauen, diese im neuen Produkt zur Anwendung zu bringen - und wird damit die hochgesteckten Ziele nicht erreichen können. Teil-Demonstratoren (fliegende und bodengebundene) können ausreichend sein für individuelle Anwendungsfelder (inkl. Triebwerk), jedoch nicht für die signifikanten Technologiesprünge, die für ein „grünes Flugzeug“ notwendig sind. Hierfür wird ein noch nie dagewesener Integrationsgrad erforderlich sein - welches auch immer die Technologien sein mögen. Wenn man das in dem vorgesehenen Zeitrahmen erreichen will, **ist ein fliegender Technologie-Demonstrator unabdingbar**, der alle tauglichen, interagierenden Technologien integriert.

(7) TRL: Technology readiness level – ein von der NASA angewandtes Kriterium zur Vermeidung des Einsatzes unzureichend reifer Technologien. Dieses Prinzip wird inzwischen weltweit auf dem Gebiet der Forschung in der Luft- und Raumfahrt genutzt, siehe: NASA Technology Readiness Level - <https://cutt.ly/dfSxjzu>

Nun ist es wichtig festzustellen, dass bei einem ausreichend ambitionierten Demonstrator tausende von Ingenieuren ihr Wissen anwenden können - als Architekten und Integratoren, aber auch als Detail-Konstrukteure. Sie sammeln dabei Know-how und erweitern ihre Fähigkeiten und Erfahrung⁽⁸⁾ bei der Anwendung disruptiver technischer Lösungen. Außerdem bietet ein derartiger Demonstrator den jungen, noch unerfahrenen Ingenieuren eine sehr gute (fast einmalige) Gelegenheit, ausreichendes Wissen in der Flugzeugentwicklung (bis hin zu Zulassungsfragen) zu erlangen, um es später bei einer Serienflugzeug-Entwicklung anzuwenden.

Es obliegt natürlich dem Flugzeughersteller und seinen Partnern, den Demonstrator und die Technologien unter Berücksichtigung der Markt- und Umweltforderungen zu definieren. **Aber für eine bestmögliche Risikominimierung und Nutzungs-Chance sollte der Technologie-Demonstrator dem späteren Serienprodukt bzgl. Größe, Konfiguration und der kritischen Technologien so nah wie möglich kommen, einschließlich der Antriebs-Integration in die Zelle.**

Wie sollten der Technologie-Demonstrator definiert und die zu validierenden Technologien bestimmt werden?

Zur Definition des fliegenden Technologie-Demonstrators ist sowohl ein „top-down“, als auch ein „bottom-up“ Ansatz erforderlich. Die Flugzeug- und Triebwerkshersteller müssen mit Blick auf die Markt- und Umweltafordernungen den Demonstrator einschließlich der in Frage kommenden, zu integrierenden Technologien entsprechend den Anforderungen „top-down“ definieren. Dieses beinhaltet auch einen Fahrplan mit Soll-Terminen und Reifegraden für alle Einzeltechnologien und jede Integrationsstufe. Der Flugzeughersteller muss dann intern, aber ebenso bei den Zulieferern (inkl. System-Lieferanten) und in den Großforschungseinrichtungen an der Reifmachung und Validierung (bis hin zum Prinzip modularer, vor-industrieller Demonstratoren) der Einzeltechnologien in entsprechenden (geförderten) Forschungsprogrammen arbeiten. Das gilt auch für den Triebwerkshersteller für einen ersten Inte-

(8) Hierfür ist es unabdingbar, ausreichend erfahrene Mitarbeiter an Bord zu halten und sie nicht durch Vorruhestandregelungen zu verlieren - wie es vor einiger Zeit bei einem Airbus-Partner geschah, mit der Folge eines schmerzlichen Verlustes von Know-how und Erfahrung und mehreren Milliarden Euro zusätzlicher Entwicklungskosten.

grationsschritt im Antrieb, gefolgt von der Integration in die Zelle. Parallel dazu sollten „bottom-up“ Vorschläge für taugliche Technologien von den Großforschungseinrichtungen, den Zulieferern, den System-Firmen und den Triebwerksherstellern erfolgen. Letzteres wird sehr wichtig sein, da das Triebwerk selbst signifikant zur Emissionsreduzierung beitragen wird (insbesondere LH₂ ist eine große Herausforderung und Chance) und dessen optimale Integration in die Zelle einer der dominierenden Erfolgsfaktoren sein wird.

Hinsichtlich der rechtzeitigen Verfügbarkeit der Teil-Demonstratoren und des integrierten fliegenden Technologie-Demonstrators ist eine wirksame Koordination der Aktivitäten aller Beteiligten, sei es im Rahmen von Clean Sky, nationalen oder auch regionalen Forschungsprogrammen unabdingbar - solange sich diese Arbeiten auf die stufenweise Reifmachung für die Anwendung im vorgesehenen fliegenden Technologie-Demonstrator und den späteren Einsatz in einem Serienprodukt fokussieren. Eine entsprechende Management-Organisation ist daher unbedingt zu etablieren.

Mit einer derartigen Vorgehensweise bezüglich der Teil-Demonstratoren und des integrierten fliegenden Technologie-

Demonstrators werden Risiko und der Zeitrahmen für beides reduziert.

Flugzeug-seitig werden in der Definitionsphase des fliegenden Demonstrators vornehmlich die Architekten & Integratoren - Fähigkeiten beim Flugzeughersteller gefordert sein, während in der Realisierungs-Phase alle Engineering-Disziplinen auf der Gesamtflugzeug- und Komponentenebene benötigt werden - beim Flugzeug- und Triebwerkshersteller, den Zulieferern, den Forschungs- und Versuchseinrichtungen und auch den Universitäten.

An dieser Stelle ist auf die Wichtigkeit eines „lebenden“ Forschungsnetzwerks hinzuweisen, getrieben von der Notwendigkeit, konkrete Anwendungen mit dem erforderlichen Druck des späteren Nutzers voranzutreiben. Der Akademia kommt eine wichtige Rolle zu, besonders im Verfolgen und Validieren radikal neuer Ansätze, die naturgemäß noch nicht hinreichend bekannt sind. Das gilt für theoretische Studien auf der Hochschul-Ebene, die von Studien und Tests in den Großforschungseinrichtungen (wie dem DLR in Deutschland, der ONERA in Frankreich, der INTA in Spanien und dem ATI in UK) gefolgt werden. Die Rolle der Universitäten und Großforschungseinrichtungen ist breit gefächert: Von Ausbildungsaspekten bis zu Lösungsfindungen. Ihr Ver-

bleiben in der weltweiten Spitzenklasse hängt sehr stark vom regelmäßigen Start herausfordernder Entwicklungsprogramme ab - besonders auf europäischer Ebene.

Beispielhaft wird im Anhang 2 auf notwendige Kompetenzen auf dem Gebiet der Flugphysik eingegangen, die für die Entwicklung eines komplett neuen Flugzeugs erforderlich sind.

Kosten, Zeitrahmen und Finanzierung eines fliegenden Technologie-Demonstrators

Es gibt zwei Kostenblöcke im Zusammenhang mit dem fliegenden Technologie-Demonstrator: Der Demonstrator selbst (Entwicklung, Bau, Fliegen/Testen und Bewertung der Ergebnisse) sowie die Entwicklung und Validierung der in den Demonstrator zu integrierenden Einzel-Technologien (bei Eignung und ausreichender Reife für einen zuverlässigen und sicheren Einsatz im fliegenden Demonstrator).

Abhängig von der Größe und der Nähe zur späteren Serienprodukt-Konfiguration wird der fliegende Technologie-Demonstrator 4-5 Milliarden Euro kosten (inkl. der Definitionsphase) und 6-8 Jahre für die

Erstellung sowie die Test-/Validierungsphase erfordern. Die Definitionsphase zu Beginn des Programms, an deren Ende eine taugliche Konfiguration des Demonstrators und eine „top-down“ erarbeitete Liste der erforderlichen Technologien stehen müssen, wird ca. 2 Jahre erfordern. Überlappend mit der Definitionsphase werden über 3-4 Jahre die Einzel-Technologien bis TRL 6 entwickelt und validiert (inkl. einem gewissen Integrationsgrad, z.B. bzgl. des Triebwerks). Dieses erfolgt im Rahmen verschiedener Forschungsprogramme (Clean Sky / Clean Aviation, nationale Forschungsprogramme, wie LuFo (Deutschland), CORAC (Frankreich) und ATI (UK)), sowie möglicherweise auch regionaler Programme - sofern sie auf der „short list“ für den fliegenden Demonstrator stehen und auf das „grüne“ bzw. „klimaneutrale“ große Verkehrsflugzeug abzielen. Eine zusätzliche Finanzierung/Förderung wird sicherzustellen sein, wenn in den bestehenden Programmen noch nicht alles abgedeckt sein sollte.

Insgesamt - und unter Berücksichtigung einer sinnvollen Überlappung der obigen Programm-Teilschritte - wird das skizzierte fliegende Technologie-Demonstrator Programm 8-10 Jahre erfordern.

Während die Forschungsprogramme entsprechend dem üblichen Schema finan-

ziert werden, wird es den Flugzeug- und Triebwerksherstellern, den Systemfirmen und den Zulieferern angesichts der schwierigen finanziellen Situation aufgrund der Corona-Krise nicht möglich sein, die notwendigen Aktivitäten auf diesem Niveau im erforderlichen Zeitrahmen finanzieren zu können. **Konsequenterweise wird der fliegende Technologie-Demonstrator über die gesamte Programmlaufzeit eine Sonder-Finanzierung erfordern, die deutlich über eine 50% Förderquote hinausgeht.**

Warum sollte zeitnah mit dem fliegenden Technologie-Demonstrator für ein Verkehrsflugzeug begonnen werden?

Die EU ist entschlossen, das ambitionierte Ziel einer signifikanten Emissionsreduktion in der Luftfahrt zur Mitte unseres Jahrhunderts zu erreichen. Um dort hinzukommen, müssen die ersten „grünen“ Flugzeuge Mitte der dreißiger Jahre in die Airline-Flotten einfließen. Hierfür muss die Entwicklung eines entsprechenden Flugzeugs Ende der zwanziger Jahre starten. Unter Berücksichtigung der für das Demonstrator-Programm erforderlichen 8-10 Jahre **muss**

dieses Programm sehr zeitnah begonnen werden (in den notwendigen Schritten), um zum Ende des vor uns liegenden Jahrzehnts die notwendigen Ergebnisse zu liefern. Daher darf keine Zeit verloren werden, wenn das 2050er Ziel erreicht werden soll.

Es ist interessant zu bemerken, dass:

- fliegende Demonstratoren für anspruchsvolle militärische Programme (z.B. Rafale A und nEUROn in Europa und ebenso für die nächste Kampfflugzeug-Generation im Rahmen des Future Combat Air System) als normaler Schritt betrachtet werden - aus genau denselben Gründen der Risiko-Minimierung,
- ein Unterschied besteht zwischen dem hier skizzierten komplett neuen fliegenden Technologie-Demonstrator und Teil-Demonstratoren, wie BLADE oder die Nutzung anderer vorhandener Flugzeuge,
- die Lehren aus diesem ambitionierten Vorhaben für die Industrie im Bereich der Geschäftsreise- und Regionalflugzeuge von Nutzen sein werden,
- und die Ergebnisse dieses Demonstrator-Programms natürlich auch für Langstreckenflugzeuge nutzbar sein werden - so wie es nach dem EIS der A320 der Fall war.

Resümee

Die Corona-Krise hat dramatische finanzielle Auswirkungen auf die Luftfahrt, sowohl auf die Fluggesellschaften, als auch auf die Hersteller von Flugzeugen, Triebwerken und Systemen - und die Regierungen unternehmen große Anstrengungen, diesem Sektor (wie auch anderen) zu helfen. Die Unterstützungspläne der französischen und der deutschen Regierungen zeigen den Weg auf und lassen erwarten, dass auch andere ähnlich betroffene europäische Länder folgen werden.

Nach Überwindung der gegenwärtigen Pandemie wird der Klimawandel wieder in den Vordergrund rücken - sehr wahrscheinlich sogar stärker als vor der Corona-Krise, denn die Klima-Krise könnte noch viel gravierendere Auswirkungen haben, als wir es gegenwärtig erwarten. Es werden deshalb große Anstrengungen notwendig sein, um den schädlichen Einfluss auf das Klima zu begrenzen. Teil dieser Anstrengungen wird die zügige Realisierung eines „grünen“ Flugzeugs sein - speziell in der Kategorie großer Verkehrsflugzeuge. Der „klassische“ Weg der schrittweisen Weiterentwicklung und Anwendung neuer Technologien im nächsten Flugzeug-

muster wird nicht ausreichen, um das herausfordernde Ziel zu erreichen - hierfür werden disruptive, „step-change“ Technologien erforderlich sein, die ein bisher nicht bekanntes Maß an Integration aufweisen müssen. Um das Primat der Sicherheit zu respektieren, müssen diese Technologien im Vorfeld einer Serien-Anwendung in einem Maße reif gemacht und validiert werden, wie es nur ein **integrierter fliegender Technologie-Demonstrator** leisten kann, der dem zukünftigen Serienflugzeug so nah wie möglich kommt. Dieses ist ein neuer Ansatz für die Hersteller, sowohl in Europa, wie in den USA (letztere verfolgen das Ziel intensiv mittels der NASA⁽⁹⁾). Die Flugzeug- und Triebwerkshersteller und der gesamte Bereich der Verkehrsflugzeugentwicklung und -produktion in Europa benötigen eine Unterstützung in der Umsetzung dieses Paradigmenwechsels - mit zweierlei Zielen: Die führende globale Wettbewerbsposition zu halten und einen Beitrag zum Schutz des Klimas zu leisten.

Während die Entwicklung der Teilmtechnologien bereits weitgehend auf gutem Wege ist, müssen im Wesentlichen die vier „Airbus Nationen“ - Frankreich, Deutschland, Spanien und UK - einen Weg für eine ergänzende,

(9) Siehe Anmerkung 1.

rechtzeitige Unterstützung zur Finanzierung des erforderlichen fliegenden Technologie-Demonstrators finden (ähnlich dem Vorgehen in den USA⁽¹⁰⁾). Ausgehend von voraussichtlichen Gesamtkosten in der Größenordnung von 5 Milliarden Euro wäre über die Laufzeit von 8 Jahren von einem Anteil von jährlich 220 Millionen Euro pro Partnerland auszugehen (bei jeweils 35% für Deutschland und Frankreich).

Diese Investition wird nicht nur hilfreich für Airbus sein, sondern auch für die Triebwerkshersteller, die gesamte Lieferkette einschließlich der System-Firmen sowie für jene am Demonstrator beteiligten Großforschungseinrichtungen, die Universitäten und die verschiedenen Versuchseinrichtungen.

Mit diesem Schritt wird Europa (die vier „Airbus-Nationen“ und möglicherweise andere Nationen, die bereit sind, sich anzuschließen) die Voraussetzungen schaffen für eine „grüne Luftfahrt“ und dabei das notwendige Know-how für die Entwicklung großer Verkehrsflugzeuge erhalten.

(10) Siehe Anmerkung 2.

APPENDIX 1: MEMBERS OF THE AD HOC AAE-DGLR WORKING GROUP

Membres du groupe de travail ad hoc AAE-DGLR Mitglieder der AAE/DGLR-Arbeitsgruppe

The present Opinion is the result of a joint exercise undertaken by a mixed team of members from the Air and Space Academy (AAE) and the Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V. (DGLR).

Le présent avis est le résultat d'un exercice conjoint entrepris par une équipe mixte de membres de l'Académie de l'air et de l'espace (AAE) et de la Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V. (DGLR).

Das vorliegende Positionspapier ist das Ergebnis der gemeinsamen Arbeit einer gemischten Arbeitsgruppe, bestehend aus Mitgliedern der Académie de l'Air et de l'Espace (AAE) und der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V. (DGLR).

- André Bord (AAE)
- Wolfgang Engler (AAE)
- Philippe Escarnot (invited expert/expert invité/beteiligter Experte)
- Axel Flaig (AAE and DGLR)
- Jean-Michel Fourtanier (AAE)
- Pierre Froment (invited expert/expert invité/beteiligter Experte)
- Alain Garcia (AAE)
- Patrick Gavin (AAE)
- Mario Heinen (invited expert/expert invité/beteiligter Experte)

- Rolf Henke (DGLR)
- Ernst H. Hirschel (AAE)
- Jürgen Klenner (AAE and DGLR)
- David Marshall (AAE)
- Rolf Radespiel (DGLR)
- Cord Rossow (DGLR)
- Peter Schmollgruber (invited expert/expert invité/beteiligter Experte)

APPENDIX 2 : HIGH-FIDELITY MULTIDISCIPLINARY PRELIMINARY AIRCRAFT DESIGN

Tool capabilities, user competencies, application scenarios in flight physics

The following considerations are focused on high-fidelity multidisciplinary flight physics design tools. High-fidelity design means that the corresponding methods and tools are based on “first principles”, i.e. the underlying physics are represented by their fundamental laws. High-fidelity simulations require the use of Computer Aided Design (CAD) tools for geometry definition, and at least Computational Fluid Dynamics (CFD) and Computational Structural Dynamics (CSD) for flight physics analysis. Due to the computational effort, such simulations have to be run on High Performance Supercomputing (HPC) systems.

To get the full benefit of high-fidelity tools for future designs, it is a prerequisite to establish a “fully digitalized” company environment which allows seamless and consistent data and information access. “Full digitalization” is assumed to be an absolute prerequisite for future economic competitiveness. Therefore, it will not be addressed but considered as a “secondary virtue” which must be mastered by every company anyway (aerospace or non-aerospace).

Definitions (partly based on Raymer, 1992)

- **Feasibility phase:** definition of “Top Level Aircraft Requirements” (TLARs) based on market, customer, company, and certification requirements by taking into account available and achievable technology levels.
- **Conceptual aircraft design:** definition of configuration arrangement, size, weight, performance; result is an aircraft configuration which meets the TLARs.

- **Preliminary aircraft design:** the configuration is mainly assumed to be frozen, definition of outer skin shape and inner structure (e.g. wing box) with respect to performance and loads requirements; result is a full-scale development proposal.
- **Detailed aircraft design:** design of actual parts/systems to be built including fabrication and production requirements; result is the fabrication of the aircraft.

In Airbus terminology, preliminary aircraft design is part of “non-specific design work”, and detailed design falls in the category “specific design work”.

Capabilities of tools for preliminary aircraft design

- The main tools are based on “first principles”, i.e. the underlying physics are represented by their fundamental laws.
- All tools are acting on a general master model which is documented and which is tracking all changes.
- All tools allow for coupling of the main disciplines relevant for flight physics assessment (e.g. aerodynamics, structures (stiffness & masses), and systems (flight control for trim & redistribution of loads)).
- Multidisciplinary simulation methods can be run in analysis (performance assessment with highest accuracy) mode as well as in design (optimization with all relevant forces considered) mode to ensure data consistency for the different applications.
- Modeling representation may vary from fast & approximate to costly & accurate (e.g. structural representation by beam or FE model), but all model properties are tied and consistently checked with the master model (e.g. beam properties are continuously updated with the FE model).
- Local design changes (e.g. airfoil changes) are possible to allow designers “free space”, but results are always directly linked to and checked by integration into the multidisciplinary master model to enable direct feedback of the impact of such local changes on overall performance.
- The “loads process” is broken down into clearly defined components to provide designers with the full understanding of arising restrictions when the aircraft operates at the borders of the flight envelope.
- A “loads hierarchy” is established as early as possible and continuously updated to incorporate the relevant loads cases early and directly into the design process.

- The “hierarchy of loads” will change during design iterations; these changes are assessed by data analytics methods (e.g. machine learning, artificial intelligence, ...) to gain a full understanding of the mutual interdependencies to improve future designs.
- Multidisciplinary optimization routinely includes a loads process, preferably with critical cases identified beforehand to reduce computational effort.
- Multidisciplinary design can be performed either by direct solution of equations (e.g. CFD/CSM) or by using appropriate surrogate models (e.g. established by machine learning, etc.).
- Aerodynamic data are generated by numerical as well as experimental (wind tunnel) simulation, whichever is more efficient; data consistency is established by data fusion using data analytics methods (SEN: Synthesis of Experiment and Numerics).
- When targets from conceptual design are not met, conceptual design parameters (e.g. planform size, wing sweep, aspect ratio) are incorporated into the high-fidelity design process while still respecting major dependencies (e.g. fuel volume, trim & control, landing gear requirements); the resulting design is then again assessed by conceptual design methods to check TLAR compliance.
- All data generated during all design processes are collected in company data bases; data analytics methods (especially artificial intelligence) make these data available for current and future designs to continuously enlarge and update the knowledge base of the company (inherent knowledge capturing).
- All tools are supported by accompanying artificial intelligence algorithms to enhance applicability and design decisions.
- HPC resources are seamlessly accessible from every workplace.

Designer and Engineer (D & E) competencies for preliminary aircraft design

- All (!) D & E active in preliminary aircraft design must have a basic training in conceptual aircraft design to develop and continuously extend their knowledge of the sensitive interdependencies which drive full aircraft design.
- All D & E in preliminary aircraft design must have a basic understanding of the loads process to identify the origin of restrictions occurring during the design process.
- All D & E should at least once visit production lines.
- The disciplinary designers (which will be still required!) have to understand the reasons for arising restrictions to enable “educated trading” with specialists from other disciplines

when conflicts with the specified targets arise; multidisciplinary optimization will not resolve intrinsic and/or hidden conflicts.

- D & E need to be fully “fluent” in the use of CAD tools, and should have a basic understanding of all disciplinary high-fidelity tools (e.g. CFD, Finite Elements) to know the inherent sensitivities and limitations.
- All D & E should be well acquainted with employing data analytics methods (e.g. machine learning, artificial intelligence, etc.) to support their own decisions, without however giving up a basic physical consistency checks based on “gut feeling”.
- Data analytics methods should permanently be used to train and hone the “engineering judgement” competencies (“gut feeling”) of D & E.
- Data analytics methods should be used ubiquitously but with care: such methods are very well suited to finding patterns and correlations (extracting the “what”), but they do not give reasons for interdependencies (explaining the “why”).

Application scenarios

- The application of high-fidelity multidisciplinary design tools is requiring extensive skills and continuous training of D & E.
- Do not expect that new tools which were not put to practical use before, can be efficiently employed in an actual aircraft design process.
- The design process itself depends substantially on the tools employed; therefore appropriate efficient design processes need particular “apply, check, learn, change, re-apply” phases for their maturation.
- High-fidelity multidisciplinary design tools inherently account for disciplinary interdependencies, essentially they automatically reflect the “concurrent engineering” philosophy; as a consequence, when properly applied significant reduction of design time and risk should be realized.
- To leverage the full potential of high-fidelity tools, users need routine and confidence in application, judgement and design decisions; therefore design exercises are an absolute prerequisite before employing such methods in an actual aircraft design.
- It is well advised to validate the results of a newly defined high-fidelity based design process against known state-of-the-art top level aircraft designs.

- The flight physics redesign of the A350 may serve as an appropriate example: the TLARs are known, time & effort of the original process are known together with corresponding deficiencies & errors; a newly defined design process with high-fidelity tools should be executed in competition to quantify potentials and to cure deficiencies.
- Define TLARs and perform conceptual design for an “exotic” configuration with advanced technologies; then apply the validated high-fidelity design process to get experience for application in a difficult and contradicting design space.
- Dismiss the slogan of “first time right – right first time”: multidisciplinary high-fidelity tools are complex and demanding, consequently D & E must be experienced in their application. According to common sense, “experience is the sum of all errors”, and therefore one has to provide D & E the possibility to acquire and enhance professional experience, before starting an ambitious industrial design program with very tight budget and time restrictions.

© Académie de l'air et de l'espace / Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt
September 2020. All rights reserved.
Dépôt légal octobre 2020

ISBN 978-2-913331-85-3
ISSN 2426 3931

Crédits images couverture: A.Ribes

Achévé d'imprimer octobre 2020
Imprimerie LES CAPITOULS
2 Chemin de Rebeillou - 31130 FLOURENS
BP 83117 - 31131 BALMA CEDEX - FRANCE

ACADÉMIE DE L'AIR ET DE L'ESPACE

Ancien observatoire de Jolimont

1 avenue Camille Flammarion

31500 Toulouse – France

contact@academie-air-espace.com • Tel : +33 (0)5 34 25 03 80

www.academieairespace.com

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT

Lilienthal-Oberth e.V.

Godesberger Allee 70

53175 Bonn

info@dglr.de • Tel +49 (0)228 308050

www.dglr.de



ISBN 978-2-913331-85-3

ISSN 2426 3931

10€