



MATERIALS MATTER!

DER WERKSTOFF MACHT DEN UNTERSCHIED!

Werkstoffe und Werkstofftechnologien für die
zivile Luftfahrt und die Raumfahrt in Deutschland
*Materials and materials technology for use in
civil aviation and aerospace in Germany*

Inhalt/ *Table of contents*

Executive Summary <i>Executive Summary</i>	04
Leichtbauwerkstoffe für energieeffiziente Luftfahrzeuge <i>Lightweight construction materials for energy efficient aircraft</i>	12
Oberflächentechnologie zur Funktionserweiterung und Lebensdauer- verlängerung <i>Surface technologies to increase functionality and expected lifespans</i>	14
Simulation zur Leistungssteigerung der Produkte und für die Verkürzung der Entwicklungszyklen <i>Simulations to boost product performance and shorten the development lifecycle</i>	16
Effiziente Produktionsverfahren für Luftfahrt-typische Stückzahlen <i>Efficient production methods for typical aero-space production rates</i>	20



EXECUTIVE SUMMARY

Die deutsche Luft- und Raumfahrtindustrie bewegt sich in einem internationalen, technologisch und wirtschaftlich immer anspruchsvolleren Umfeld. Sie geht die damit verbundenen Herausforderungen zielgerichtet im Rahmen der Entwicklung aktueller und künftiger Luft- und Raumfahrzeuggenerationen an.

Dies geschieht innerhalb einer hochentwickelten Wertschöpfungskette, bestehend aus meist kleineren und mittelgroßen Zulieferbetrieben, die zum Teil auf ihren Gebiet Weltmarktführer sind („Hidden Champions“), großen Lieferanten für komplette Strukturen und Baugruppen, Herstellern von großen Flugzeugen und Drehflüglern – in Deutschland z.B. Airbus und Airbus Helicopters – und Herstellern von Triebwerken – in Deutschland z.B. MTU Aero Engines und Rolls-Royce Deutschland. Die Industrieunternehmen werden flankierend durch eine herausragende deutsche Forschungslandschaft unterstützt, die aus großen Forschungseinrichtungen, Universitäten und weitere Innovationstreiber besteht.

Das vorliegende Dokument ist eine Gemeinschaftsarbeit der Unternehmen und Institutionen, die im Unterforum Werkstoffe und Komponenten des Bundesverbandes der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie e.V. (BDLI) zusammengeschlossen sind.

The German aerospace sector is a competitive industry confronted by increasing challenges on international, technical and economic levels. The sector tackles these challenges head-on primarily in the process of developing current and future generations of aircraft and spacecraft.

This process unfolds within a world-class value chain made up of companies such as: small and mid-sized suppliers, many of which are global market leaders in their respective sectors; major suppliers of complete structures and components; and finally, manufacturers of large fixed-wing and rotary-wing aircraft. In Germany, this includes Airbus and Airbus Helicopters, as well as engine manufacturers such as MTU Aero Engines and Rolls-Royce Germany. Industry in Germany is in a privileged position to be supported by a first-class research environment consisting of major research institutions, universities and other entities that drive innovation.

This document is the product of a collaboration between companies and institutions who work together as members of the “Materials and Components Forum” of the German Aerospace Industries Association (BDLI).

Bei der Werkstoff- und Prozessentwicklung für zukünftige Luft- und Raumfahrzeuggenerationen liegt ein besonderes Augenmerk auf der Steigerung der Energieeffizienz und der Gewichteinsparung – d.h. im Schwerpunkt der Nutzung neuer, innovativer Leichtbaukonzepte. Dabei gilt insbesondere:

DER WERKSTOFF MACHT DEN UNTERSCHIED!

Erst die Verfügbarkeit neuer, technologisch hochentwickelter Werkstoffe wird die Realisierung der in Entwicklung befindlichen revolutionären Designkonzepte für die nächste Luft- und Raumfahrzeuggeneration ermöglichen. Im Metallbereich stehen fortschrittliche Aluminiumlegierungen wie Aluminium-Lithium und Aluminium-Magnesium-Scandium sowie Materialien auf Titan- oder Nickelbasis und daraus abgeleitete Halbzeuge im Fokus. Stark verbesserte Eigenschaftsprofile, kombiniert mit niedriger Dichte und ausgezeichneter Schweißbarkeit, erzielen in Verbindung mit modernen Fertigungsverfahren und innovativen Verbindungstechnologien hervorragende Ergebnisse mit maximalem Nutzen. Die genannten metallischen Werkstoffe finden Anwendung bei höchstbelas-



teten Komponenten im Strukturbereich von Luft- und Raumfahrzeugen und bei besonders stark beanspruchten Bauteilen im Triebwerksbau.

When developing materials and processes for future generations of aircraft and spacecraft, the overarching aim is to increase energy efficiency and decrease weight, especially by developing new, innovative concepts for lightweight construction. In order to achieve this, the following is especially true:

MATERIALS MATTER!

This means: We need to ensure that new, state-of-the-art materials are available for industrial uses. This is the first step for ensuring that revolutionary designs for the next generation of aircraft and spacecraft now being developed can one day become a reality. In terms of metals, there is already a strong focus on advance aluminium alloys such as aluminium-lithium and aluminium-magnesium-scandium, along with materials with a titanium or nickel composition and their derived alloys. We have seen extraordinary results that maximize utility, thanks to modern manufacturing methods and innovative welding technology, in combination with dramatic improvements in characteristic features, decreased density and excellent weldability. These metallic materials are used for components requiring the highest endurance limits in structures of aircraft and spacecraft, as well as in high-strength components used in engine construction.

Im Heibereich von Strahltriebwerken haben in den letzten Jahren intermetallische Legierungen, insbesondere Titanaluminide, eine Schlsfunktion eingenommen. Titanaluminide werden unter anderem im Feinguss oder im Near-Net-shape-Guss mit und ohne Schmiedeumformung verarbeitet. Für einen nachhaltigen Erfolg der intermetallischen Legierungen müssen die aktuellen Herstellverfahren weiter in Bezug auf Wirtschaftlichkeit und Prozessstabilität optimiert werden, um höchste und spezifikationsgerechte Werkstoffqualitten zu erreichen.

Neben den Metallen kommen in der Luft- und Raumfahrtindustrie vor allem faserverstärkte Verbundwerkstoffe zur Anwendung.

Die rasante Entwicklung in diesem Bereich bietet dennoch weiteres Potenzial zur Leistungssteigerung. Denn trotz der bereits erreichten hohen Ermüdungsfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit,

gibt es auf der anderen Seite noch Herausforderungen in Punkto werkstoffgerechte Bauteilauslegung und Verbesserung der Herstellprozesse. Die Optimierung von Harz- und Fasersystemen, sowohl bei duromeren als auch thermoplastischen Polymeren, ist ein wesentliches Element bei der Weiterentwicklung kosteneffizienter und gewichtsoptimaler Verbundstrukturen. Hybride Bauweisen sowie neue Halbzeuge eröffnen weitere Anwendungsperspektiven. Hybride Werkstoffe verbinden dabei im Leichtbau die Vorteile von faserverstärkten Verbundwerkstoffen mit fortschrittlichen Metallsystemen. Sie zeichnen sich insbesondere durch hohe Verschlei- und Schlagfestigkeit aus. Bei der Weiterentwicklung bestehender Faser-Metall-Lamine (GLARE®) stehen Automatisierung und Industrialisierung im Vordergrund.

Over the past few years, intermetallic compounds such as titanium aluminide have begun to play a more important role in jet engine "hot zones". Titanium aluminide can be cast either with precision casting or near net shape casting, and with or without additional forging. We need to further optimise current manufacturing techniques, both in terms of process stability and economic feasibility, in order to ensure that these intermetallic alloys can successfully produce high-quality materials conforming to specifications over the long-term.

Along with metals, fibre-reinforced composite materials are also used in many applications in the aerospace industry.

While we have already made rapid progress in this area, we have not yet exhausted its potential to increase performance. Despite the achievements in areas like fatigue strength and corrosion resistance, a number of challenges still remain; indeed, we can further improve manufacturing processes and need to make more progress on materials that are in line with component design. One major step in developing composite structures – ensuring that they have optimal costs and weights – involves optimizing the resin and fibre systems used for duroplast and thermoplast polymers. Moreover, new applications are made possible by hybrid construction methods and new semi-finished products. In lightweight construction, hybrid materials combine the advantages offered by fibre-reinforced composites and advanced metallic systems. They are notable for their exceptional durability and high levels of shock resistance. To drive progress in developing existing fibre-metal-laminates (GLARE®), the key factors will be automisation and industrialisation.

Erst die Verfügbarkeit neuer, technologisch hochentwickelter Werkstoffe wird die Realisierung der in der Entwicklung befindlichen revolutionären Designkonzepte für die nächste Luft- und Raumfahrzeuggeneration ermöglichen. *We need to ensure that new, state-of-the-art materials are available for industrial uses. This is the first step for ensuring that revolutionary designs for the next generation of aircraft and spacecraft now being developed can one day become a reality.*

Eine weitere Verbundwerkstoffklasse mit hohem Potenzial sind die hochtemperaturbeständigen Faserverbundkeramiken (CMC – Ceramic Matrix Composites). Für die Triebwerksindustrie begründet sich deren hohe Bedeutung in der Zielsetzung der Erreichung eines deutlich verringerten Treibstoffverbrauchs.

Zur breiten Einführung der CMC sind die Schlüsselfaktoren ein werkstoffgerechtes Design sowie eine wettbewerbsfähige Herstellroute.

Für zukünftige Anwendungen werden derzeit in der Grundlagenforschung eine Reihe neuer revolutionärer Materialien wie Graphen, Aerogele, Smart Materials oder amorphe Metalle auf ihre Eignung für multifunktionale Leichtbaustrukturen untersucht. Sofern diese Materialien einer industriellen Verwendung zugänglich gemacht werden können, bedeutet dies für den Technologiestandort Deutschland die Erreichung eines signifikanten Meilensteins.

Im Bereich der Werkstoff- und der Herstellprozessentwicklung spielte bereits in den letzten Jahren die rechnergestützte Simulation eine große Rolle. Die strategische Bedeutung einer skalen- und prozesskettenübergreifenden Simulation im Sinne eines Integrated Computational Materials Engineerings (ICME) wurde frühzeitig erkannt. Es gibt aktuell eine Vielzahl von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auf diesem Gebiet. Dennoch sind die zurzeit vorhandenen ICME-Tools für die Werkstoff- und Prozessentwicklung nur bei der Analyse spezieller Fragestellungen hilfreich. Eine übergreifende Prozesskettenbetrachtung für Luftfahrtbauteile ist noch nicht erreicht. Erst mit zunehmender Vorhersagegenauigkeit von Simulationstools und einer Standardisierung und Verknüpfung von Simulationsplattformen wird der Nutzen der ICME-Tools für die Werkstoff- und Prozessentwicklung signifikant steigen.

An additional category of composites with high potential includes ceramic matrix composites (CMC), which are capable of withstanding very high temperatures. They are especially important for engine manufacturers because they play a significant role in reducing fuel consumption.

The wide-scale introduction of CMC will require designs fully in line with materials specifications as well as a competitive manufacturing route.

Current research is now investigating a host of new, revolutionary materials that could be suitable for future applications in multifunctional lightweight design. These include graphene, aerogels, smart materials and amorphous metals. Germany could reach a major milestone as a technology powerhouse if these materials were made available for commercial applications.



Computer simulations have already played a major role in materials and manufacturing processes development over the past few years. The strategic significance of a simulation that spans scale and process chains, consistent with an integrated computational materials engineering (ICME) approach, was recognised early on. A number of research and development projects are now in progress in this area. However, the ICME tools currently available for materials and process development have a limited scope; the reality is that we have yet to achieve a comprehensive process chain overview for aviation components. The value of ICME tools will significantly increase for materials and process development once we gain more precise predictions from simulation tools together with standardized and integrated simulation platforms.

Finally, along with the further development of materials and manufacturing processes, we must also make significant progress in researching surface technology.

The European chemicals regulation known as REACH includes strict regulations intended to protect both the environment and the workers. As a result, we will soon need to replace surface protection coatings and varnishes. The overarching goal will remain the same: guaranteeing functionality by preventing corrosion and erosion and maintaining surface quality.

Neben der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Werkstoffe und der Herstellprozesse kommt der Forschung im Bereich der Oberflächentechnik eine herausragende Bedeutung zu.

Hohe Umwelt- und Arbeitsschutzanforderungen und strenge Vorgaben aus der europäischen Chemikalienverordnung REACH machen in absehbarer Zeit einen Ersatz bestehender Oberflächenschutzsysteme wie z.B. Beschichtungen und Lacke erforderlich. Vorrangiges Ziel muss dabei die weiterhin volle Gewährleistung der notwendigen Funktionalitäten in Bezug auf Korrosions- und Erosionsschutz sowie Oberflächengüte sein.



Deutsche Zulieferer sind derzeit bei der Halbzeugherstellung und der Bearbeitung von Titan und Titanaluminiden technologisch führend

Titanlegierungen haben nicht nur durch das Leichtbaupotenzial, sondern auch durch die hohe Korrosionsbeständigkeit und die dadurch mögliche Kombination mit faserverstärkten Verbundwerkstoffstrukturen eine herausragende Bedeutung in der Luft- und Raumfahrt. Die großen Herausforderungen sind die Absicherung bzw. der weitere Ausbau der Technologieführerschaft deutscher Unternehmen im Wettbewerb mit Niedriglohnregionen. Der Schlüssel zum Erfolg liegt in der Weiterentwicklung der Zerspanungsprozesse und der Optimierung der Werkzeugkonzepte in Verbindung mit einem hohen Automatisierungsgrad und effizienten Methoden der Qualitätsüberwachung und -sicherung.

Im Bereich der Fertigungstechnik müssen in Bezug auf Titan Verbindungstechniken wie Reibbrühschweißen (Friction Stir Welding), Löten oder Kleben unter der strikten Vorgabe defektfreier, medien- und korrosionsbeständiger Fügestellen weiterentwickelt werden. Zunehmend wichtig werden auch Fügetechnologien für die immer bedeutungsvolleren Materialmischverbindungen.

Ergänzend zu den genannten Fertigungsverfahren haben die sich aktuell rasant entwickelnden additiven 3D-Druck-Verfahren das Potenzial, die industrielle Fertigung zu revolutionieren. Das Technologieportfolio in der Luft- und Raumfahrt umfasst aktuell die Bauteilherstellung aus Pulvern oder Drähten durch schichtweises Verschmelzen mittels Laser- oder Elektronenstrahl. Diese Technologie wird z.B. für hochbelastete Strukturen aus metallischen oder aus polymeren Werkstoffen für eine Vielzahl von Anwendungen in den Bereichen Struktur, Systemkomponenten und Kabine angewendet. Durch die Möglichkeit der schnellen Umsetzung von Designänderung und Designoptimierung können Kundenforderungen selbst für komplexe Systeme flexibel und im kurzen Zeitrahmen realisiert werden. Bei der Qualitätssicherung ist für diese Technolo-

gie eine vollautomatisierte Echtzeitauswertung von qualitätsrelevanten Daten als nächster Schritt bereits in der Entwicklung. Deutschland hält bei 3D-Druck-Verfahren im Hinblick auf den Gesamtprozess im Moment die Weltmarktführerschaft. Ziel ist, diese Technologie am Standort Deutschland zu industrialisieren, um bestehende Wettbewerbsvorteile auszubauen. Die erstaunlich hohe Anzahl unterschiedlicher Flugzeugkonfigurationen ergibt sich aus der Abhängigkeit von den Anforderungen an das Luftfahrzeug, dem Einsatzzweck und den Kundenwünschen. Ein über die letzten Dekaden stetig zunehmendes Maß an Zuverlässigkeit der Luftfahrzeuge zusammen mit einer kontinuierlichen Zunahme der Luftverkehrssicherheit verdeutlichen die Erfolge der Hersteller, beständig Fortschritte in diesen wichtigen Bereichen zu erzielen.

Die Entwicklung neuartiger Materialien, der Einsatz neuer Fertigungsmethoden sowie die Fortschritte in der Entwicklung einzelner Komponenten (Triebwerke, Systemkomponenten, Struktur, Kabine) eröffnen Möglichkeiten zur Weiterentwicklung und ständigen Verbesserung der spezifischen Flugzeugkonfiguration, beziehungsweise des Produkts. Es ist in diesem Zusammenhang bereits absehbar, dass hybride- bzw. rein elektrische Antriebe die Entwicklung und Umsetzung vollständig neuer Flugzeugkonfigurationen ermöglichen werden. Die Fähigkeit, neue Technologien und deren Einflussfaktoren in einem multidisziplinären Entwicklungsumfeld zu berücksichtigen, ist gesamtheitlich dabei der Schlüssel zum Erfolg.

Deutschlands wirtschaftliche Stärke beruht auf einer ausgewogenen Mischung aus Industrie, Forschung, Dienstleistung, Handel und Banken. Der Erfolg der deutschen Luftfahrtindustrie basiert insbesondere auf einem hohen Wertschöpfungsanteil, der zukünftig weiterhin durch Investitionen in Forschung und Entwicklung gesichert werden muss.



Im Hochlohnland Deutschland mit zusätzlich vergleichsweise hohen Energiekosten rückt daher die weitere konsequente Effizienzsteigerung in der Produktion in den Fokus. Ein Schlüsselement ist hierbei die automatisierte Produktion und die darauf aufbauende „Fabrik der Zukunft“ in Verbindung mit einer umfassenden Vernetzung der Produktionsmittel innerhalb der Zulieferkette im Rahmen der Strategie „Industrie 4.0“. Daraus resultiert die Fähigkeit der exakten Planung und Vorhersage robuster Produktionsprozesse mit einem hohen Automatisierungsgrad bis hin zur Echtzeitverfolgung und -steuerung der Produktionsabläufe.

Diese Produktionsabläufe müssen in der gesamten Prozesskette nachhaltig erfolgen, um die ambitionierten Zielsetzungen der europäischen Luftfahrtindustrie im Rahmen ACARE Vereinbarungen (Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe) z.B. in Bezug auf Emissions- und Lärmvermeidung zu erfüllen. Der Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit am Standort Deutschland und die Realisierung der gesetzten umweltpolitischen und wirtschaftlichen Ziele erfordern zwingend die Erreichung der aufgezeigten signifikanten technologischen Fortschritte im Rahmen der Forschung und Entwicklung neuer Bauweisen, Werkstoffe und Fertigungsverfahren.

Die Unterstützung auf europäischer und nationaler Ebene durch entsprechend ausgestattete und strukturierte Forschungsförderprogramme hat sich in diesem Zusammenhang als zielführend und äußerst erfolgreich erwiesen und muss zwingend fortgeführt werden.

As a high-wage country with comparably high energy costs, a major focus in Germany is to further improve manufacturing efficiency. Current efforts are centred on two ideas: First, on automated production and the related concept of “The Factory of the Future”; and second, integrating the means of production within the entire supply chain as envisaged with the “Industry 4.0 Strategy”. This two-fold strategy will allow us to plan and predict dynamic production processes with the highest degree of precision and level of automisation. This way, we can even track and direct all stages of production in real time.

These production stages must be sustainably integrated into the supply chain if we want to ensure that they are in line with the ambitious goals laid out by the European aviation industry as part of the ACARE agreements (Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe); examples of the goals include cutting down on noise and emissions. It is urgent that we make significant technological progress in research and development to come up with new construction methods, materials and manufacturing methods in order to preserve Germany's competitive edge and at the same time pursue environmental and economic goals.

As we have seen, support on the European and federal level in structured, well-equipped research programmes have been extremely successful and must be continued if we want to reach our goals.

LEICHTBAUWERKSTOFFE FÜR ENERGIEEFFIZIENTE LUFTFAHRZEUGE

Der Weiterentwicklung des Leichtbaus und der dafür verwendeten Werkstoffe und Materialien kommt für die kontinuierliche Optimierung der Leistung von Luft- und Raumfahrzeugen und Antrieben eine Schlüsselstellung zu.

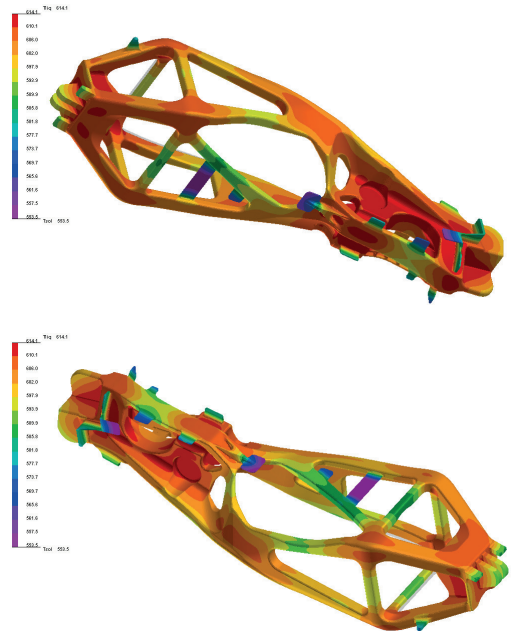
Zu den zukunftsweisenden fortschrittlichen Faserverbundwerkstoffen zählen thermoplastische Halbzeuge, innovative Keramiken, neuartige Hochtemperaturfasern, Faserverbund-Hybrid-Materialien und Faserverbund-Sandwichkern-Materialien. Sie ermöglichen durch ein konsequent verbessertes strukturelles Leistungsprofil und durch die Integration zusätzlicher Funktionalitäten, wie z.B. verbesserte Leitfähigkeit oder höhere Temperaturbeständigkeit, weitere Effizienzsteigerungen. Die genannten Werkstoffe verfügen über das Potenzial, vollkommen neue Strukturen für zukünftige Generationen von Luft- und Raumfahrzeugen zu realisieren.

Im Heißbereich der Triebwerke versprechen insbesondere die faserverstärkten Keramiken (CMC – Ceramic Matrix Composites) durch ihre einzigartige Kombination von geringem Gewicht und hoher Temperaturbeständigkeit ein sehr hohes Potenzial zur Erreichung eines reduzierten Treibstoffverbrauchs. Schlüssel für eine breite Einführung der CMC werden ein werkstoffgerechtes Design sowie die Verfügbarkeit einer wettbewerbsfähigen Herstellroute von der Faser über die CMC-Produktion bis zur Oberflächenbeschichtung sein.

Metallische Hochleistungswerkstoffe, wie z.B. Aluminium-, Titan- oder Nickel-Basis-Legierungen, mit weiterentwickelten Festigkeitsniveaus und höheren Temperatureinsatzgrenzen, bilden die Basis für die Entwicklung zukünftiger Hochleistungstriebwerke. Sie bieten darüber hinaus auch Möglichkeiten für die weitere Optimierung im Bereich der Flugzeugstrukturen.

Hochtemperaturbeständige Intermetalle erweitern in Verbindung mit werkstoff- und automatisierungsgerechtem Design und prozessstabilen Herstellungsverfahren das Feld für neue fortschrittliche Leichtbaukonzepte.

Hybride Materialstrukturen, wie Metall-Metall oder Faserverbundwerkstoff-Metall (FML - Fiber



Metal Laminates), können durch fortschrittliche Strukturauslegung und der Entwicklung wettbewerbsfähiger Herstellverfahren im Bereich Füge- und Umformtechnologie in Verbindung mit der Erhöhung von Temperatureinsatzgrenzen eine hervorgehobene Rolle übernehmen. Neueste Werkstoffe wie z. B. Graphen, Smart Materials und Aerogele für transparente, lasttragende Strukturen, mit hochinnovativen Funktionalitäten, runden das Gesamtbild der Werkstoffentwicklung ab.

Die Luft- und Raumfahrtindustrie leistet durch Forschung und Entwicklung in den genannten Bereichen einen entscheidenden Beitrag zur Gewährleistung der Wettbewerbsfähigkeit des Technologiestandortes Deutschland.

Um die prozesssichere Umsetzung moderner Leichtbaukonzepte zu ermöglichen, ist über die reine Werkstoffentwicklung hinaus, die Bereitstellung der geeigneten Umform-, Umform- und Bearbeitungsverfahren im Hinblick auf das herzustellende Produkt eine wesentliche Voraussetzung. Auch unterstützende Elemente wie z.B. kosteneffiziente Zerstörungsfreie Prüfmethoden (NDT – Non-destructive Testing), numerische Auslegungstools zur Sicherstellung eines optimalen Designs und innovative kosten- und zeiteffektive Reparaturverfahren, müssen unter diesem Aspekt berücksichtigt werden. Sie sind in manchen Anwendungen erfolgsbestimmend.

LIGHTWEIGHT CONSTRUCTION MATERIALS FOR ENERGY EFFICIENT AIRCRAFT

In order to continually optimise the performance of engines, aircraft and spacecraft, we must continue to make strides in the area of lightweight construction and the required materials.

The state-of-the-art, advanced fibre composites include thermoplastic semi-finished products, innovative ceramics, new kinds of high temperature fibres, fibre composite hybrid materials and fibre composite sandwich structure materials. They can boost efficiency by continually improving structural and mechanic performance levels and by integrating additional functionalities, such as improved conductivity or high temperature resistance. All of these materials have the potential for completely new structures for future generations of aircraft and spacecraft to become reality.

For reducing fuel consumption, ceramic matrix composites (CMC) are especially promising in the "hot zone" of jet engines due to their unique properties combining low weight with high temperature resistance. The wide-scale introduction of CMC requires that designs are compatible with available materials and that competitive manufacturing is available for all stages – from fibres to CMC production to surface coatings.

Metallic high-performance materials with improved strength levels and higher temperature limits, such as alloys made from aluminium, titanium or nickel, are the foundation for developing high-performance engines in the future. Moreover, they also offer the opportunity of making further improvements to aircraft structure.

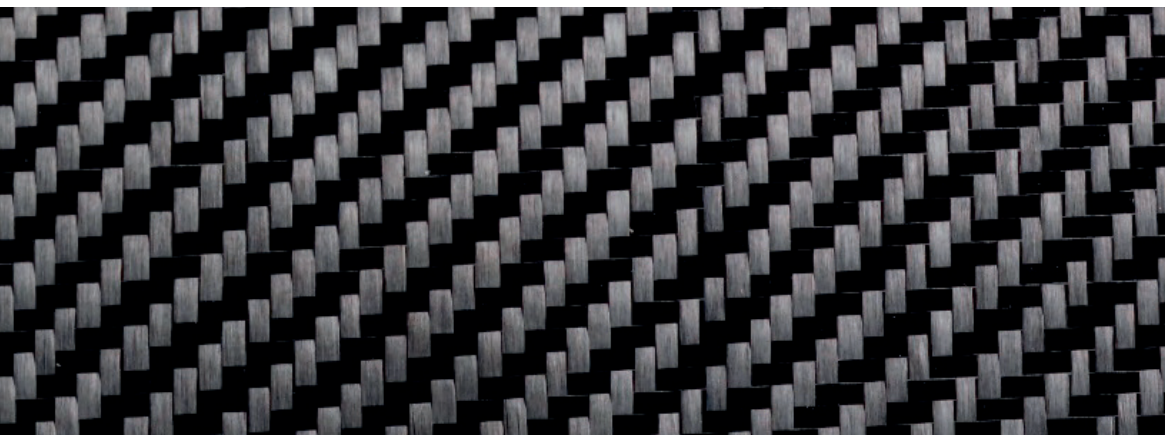
We can widen the field for advanced new lightweight construction design with high temperature intermetallics combined with manufacturing methods with process stability, as well as de-signs compatible with materials and automisation.

Hybrid material structures, such as metal-metal or fibre-metal laminates (FML), could also play a major role through advanced structural layout and by developing competitive manufacturing methods in the area of joining and forming technology that result in higher operations temperature limits.

The newest materials – such as gra-phene, smart materials and aerogels, which can be used for transparent, weight-bearing structures with the most innovative functionalities – thus complete our overview of current advances made in material development.

Germany's aerospace sector make a major contribution to the country's competitive edge in technology in that it invests significantly in research and technology in all of the areas described.

Besides developing new materials, another prerequisite to implementing modern lightweight construction concepts involves the creation of suitable techniques to fabricate prototypes, reshape them and continue to process them with an eye towards the final manufactured product. Other elements can also play a supporting role and should be considered in this regard, such as cost-effective non-destructive testing (NDT), numeric design tools to ensure optimal designs and innovative repair methods that are effective in terms of costs and required time. They can even be the determining success factor in some applications.



OBERFLÄCHENTECHNOLOGIE ZUR FUNKTIONSERWEITERUNG UND LEBENSDAUERVERLÄNGERUNG

Fortschrittliche Oberflächentechnologien leisten inzwischen einen signifikanten Beitrag z.B. zur Lebensdauerverlängerung der Grundstruktur durch Erosions- oder Korrosionsschutz und zur Funktionserweiterung des Bauteils durch Leitfähigkeitsverbesserung oder Reduzierung des Widerstands.

Eine zusätzliche Herausforderung bei der Entwicklung neuer Technologien in diesem Bereich liegt dabei in der strikten Beachtung der aus der europäischen Chemikalienverordnung REACH abgeleiteten Vorgaben hinsichtlich ökologisch verträglicher Prozesse.

Um den Anforderungen an eine nachhaltige Produktion zukünftiger Flugzeuggenerationen mit weiter steigenden Stückzahlen zu entsprechen, müssen aktuelle Lacksysteme und Oberflächentechnologien in technischer, aber auch in ökonomischer Sicht weiterentwickelt werden. Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Entwicklung von Systemen mit selbstreinigenden Eigenschaften, weiter verbessertem Korrosionsschutz, einem aktiven Beitrag zur Minimierung des Oberflächenwiderstandes sowie einem erweiterten Funktionsspektrum (Functional Coatings).

In der aktuellen Entwicklung nimmt so z.B. das Laser Shock Peening (LSP) eine besondere Stellung ein. Die Technologie ermöglicht eine deutliche Lebensdauerverlängerung hochbelasteter Metallbauteile und eröffnet zusätzlich vollkommen neue Perspektiven bei der strukturellen Optimierung kritischer Bauteile. Im Bereich der Triebwerkstechnik muss in diesem Zusammenhang die Entwicklung neuartiger hochtemperaturbeständiger Wärmedämmschichten vorangetrieben werden.

In Verbindung mit faserverstärkten Verbundwerkstoffstrukturen trägt die Oberflächentechnik u.a. zur weiteren Optimierung der Robustheit gegen Schlagbelastung (Impact) und der Begrenzung lokaler Schädigungen in Klebverbindungen bei. Für den Bereich der Oberflächentechnik gilt es, die deutsche Technologieführerschaft für die komplette Prozesskette abzusichern.

SURFACE TECHNOLOGIES TO INCREASE FUNCTIONALITY AND EXPECTED LIFESPANS

Advanced surface technologies make a significant contribution to extending the lifespan of the main structure. This is because they offer protection against corrosion and erosion, while at the same time they can also expand a component's function by improving conductivity or reducing drag.

The European chemical regulation REACH mandates strict regulations for environmental standards, thus posing an additional hurdle in developing new technologies in this area.

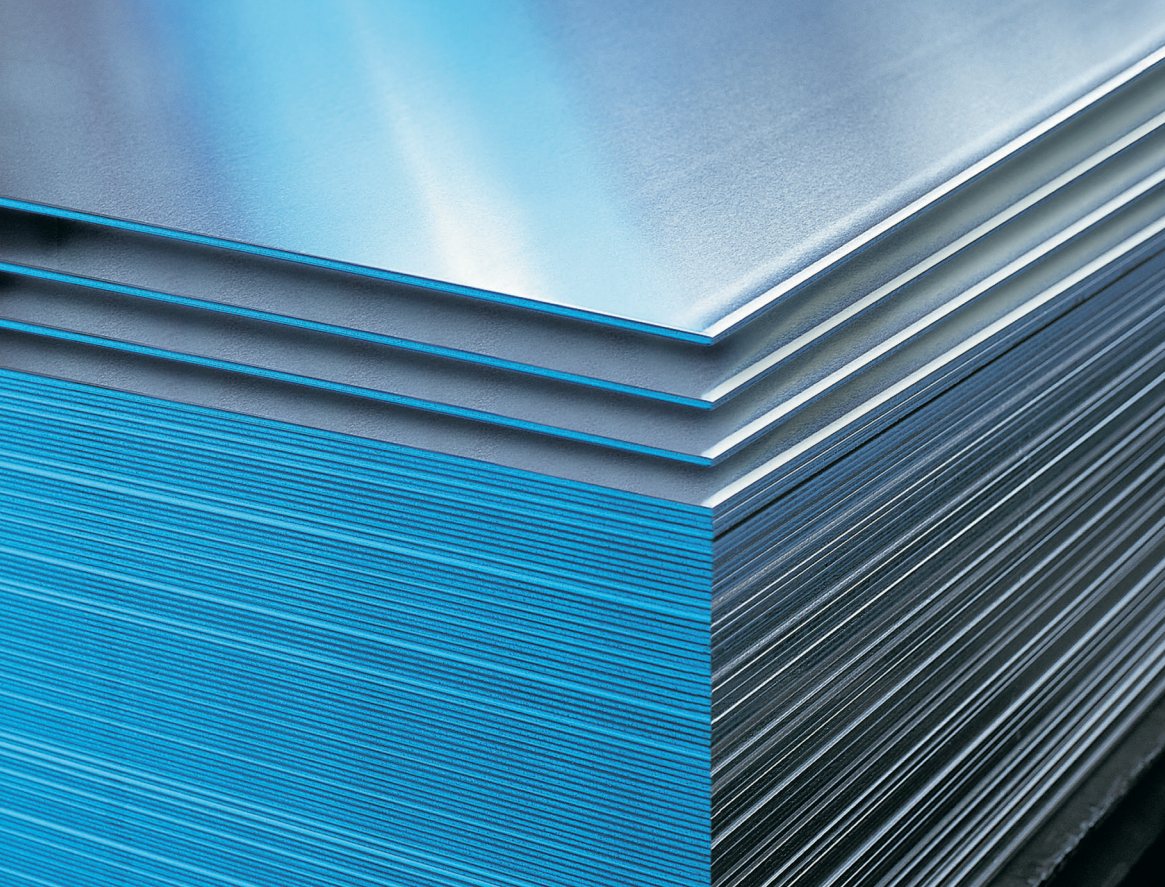
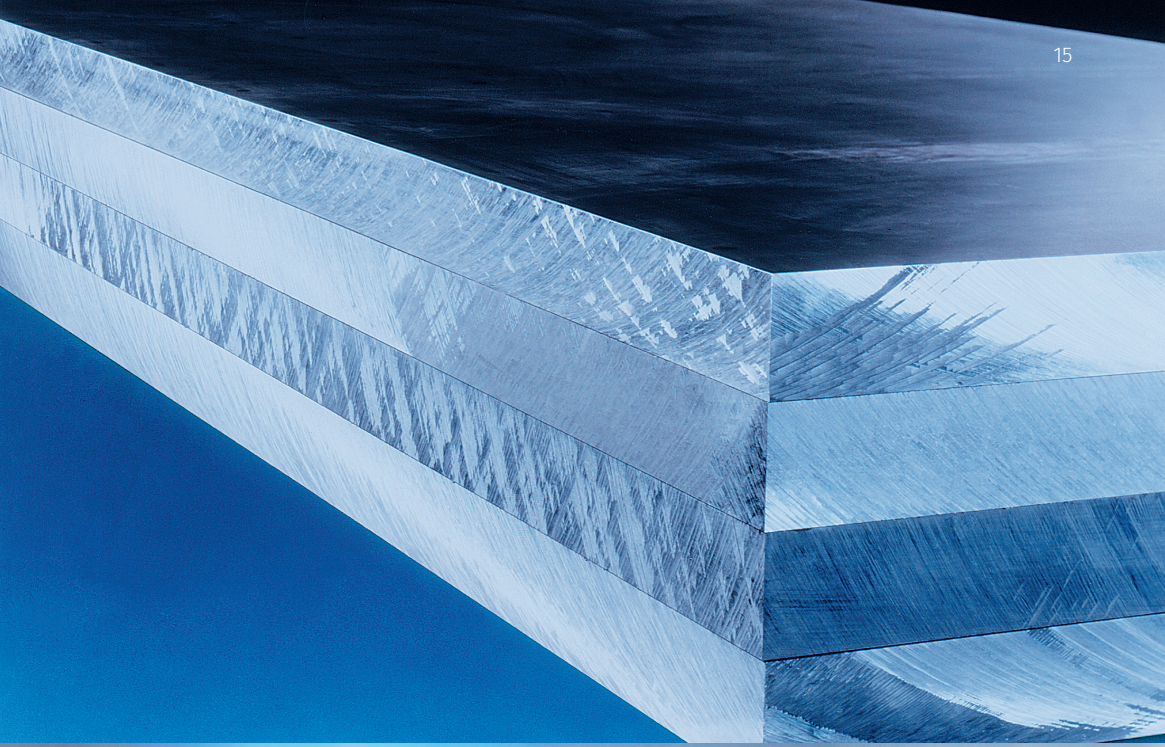
In order to meet the requirements for a sustainable production of the next generation of aircraft – despite in-creasing volumes – varnish systems and surface technologies currently in use must be further developed on technical and economic levels.

In this regard, we should pay particular attention to systems with self-cleaning functions, increased corrosion-resistance, reduced drag and expanded functionality (functional coatings).

Recent research has focused on laser shock peening (LSP), a technology that, through its ability to substantially extend the lifespan of high performance metal components, opens up completely new opportunities for optimizing critical components in terms of structural mechanics.

In the area of engine technology, we must develop new kinds of thermal barrier coatings that can resist extremely high temperatures.

When used in combination with fibre reinforced composite structures, surface technology can help us further optimise resilience against impact and limit minor damage to bondings. Our task is to maintain Germany's leadership in the area of surface technology throughout the entire value chain.



SIMULATION ZUR LEISTUNGS- STEIGERUNG DER PRODUKTE UND FÜR DIE VERKÜRZUNG DER ENT- WICKLUNGSZYKLEN

Die Lösung für die Beherrschung der sich aus wirtschaftlichen Zwängen ergebenden Herausforderungen hinsichtlich immer kürzer werdender Zeiträume für einen schnellen Produktionshochlauf liegt in der Entwicklung leistungsfähiger Simulationstools. Sie ermöglichen eine vorgeschaltete virtuelle Entwicklung, Optimierung und den Test von neuen Luftfahrzeugkonzeptionen, Systemen und Komponenten, ggf. bei gleichzeitiger Protokollierung luftrechtlich relevanter Nachweise.

Es wird unabdingbar sein, das Luftfahrzeug zunächst im Computer unter Beachtung aller Entwicklungs- und Herstellungsanforderungen konzeptionell zu simulieren und es unter softwaregenerierten realitätsnahen Bedingungen „fliegen zu lassen“. Auf diese Weise gelingt es, kritische Bauteile lange vor der Verfügbarkeit zuverlässig zu optimieren und Zeitvorteile zu realisieren. Das „Virtuelle Luftfahrzeug“ muss als Abbild des realen Produktes alle benötigten Entwicklungsdaten in Bezug auf die Gesamtheit der Eigenschaften und Fähigkeiten in der erforderlichen Genauigkeit zur Verfügung stellen.

Viele Grundlagen für das „Virtuelle Luftfahrzeug“ sind im Rahmen des deutschen Luftfahrt-Forschungsprogramms bereits erarbeitet worden. Deutschland ist mit seiner breit aufgestellten Simulationskompetenz prädestiniert, eine Führungsrolle in diesem Bereich zu übernehmen.

Das virtuelle Modell bildet gleichzeitig die Brücke zwischen dem Produkt und der Zulieferkette. Es stellt im Entwicklungsprozess eine frühzeitige Vernetzung innerhalb der Zulieferkette, den Austausch von Simulationsmodellen und eine übergreifende Zusammenarbeit bei der Detailentwicklung sicher. Neben der Modellentwicklung muss in diesem Zusammenhang auch die IT-technische Standardisierung, Vernetzung und Verfügbarkeit von Hochleistungsrechnern gewährleistet sein. Darauf basierend werden industriespezifische „Cloud-Anwendungen“ neue Möglichkeiten der transnationalen Interaktion und Kommunikation in der Industrielogistik und in Bezug auf automatisierungsgerechtes Design ermöglichen.



SIMULATIONS TO BOOST PRO- DUCT PERFORMANCE AND SHOR- TEN THE DEVELOPMENT LIFECYCLE

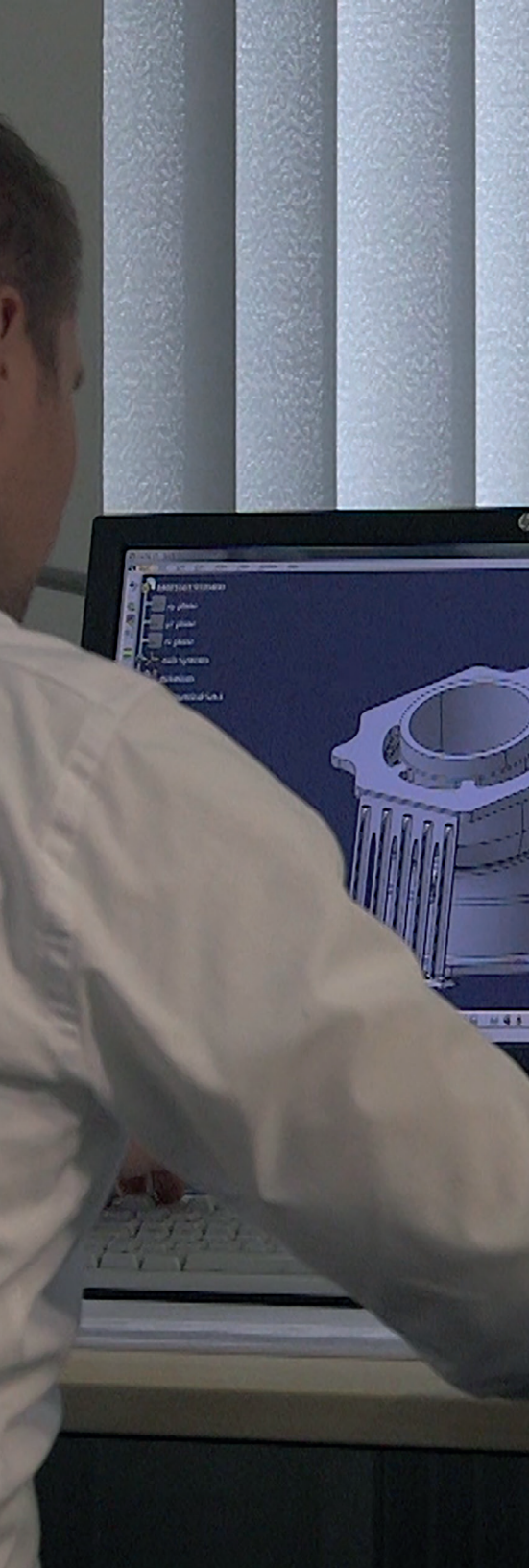
Economic realities dictate that we ramp up production in ever-shorter windows of time. High-performance simulation tools would offer a solution to this dilemma:

With these tools, we not only benefit from virtual development in upstream phases, but we can also optimise and test new aircraft designs, systems and components, when sometimes even simultaneously collecting relevant data for the regulatory certification process for new types of aircraft.

In the future, we need to create computerised conceptual aircraft simulations that integrate all aspects of development and manufacturing and can “be flown” under software generated realistic conditions. This way, it will be possible to optimise essential components long before they are physically available, thus gaining an important head start in production. The “virtual aircraft” will need to serve as an instance of the real product, and include, with requisite precision, all necessary development data in their entirety re-garding performance and properties.

German aerospace research programmes have already developed the basis for the “virtual aircraft”. In light of the country's broad range of expertise in simulation, Germany is practically assured a leading role in this area.

The virtual model creates a bridge between the product and the supply chain; moreover, it ensures integration within the supply chain early on in development, and also boosts interactions between the simulation models and cooperation when fine-tuning details. In addition to developing models, we also need to guarantee the integration and availability of high performance computers and ensure that technical IT standards are in place. Building on this, cloud applications created especially for the industry will offer new ways to interact across borders and communicate in industry logistics, and also allow us to create designs that can be automated.



Ein bionischer Ansatz zur Topologieoptimierung schafft in Verbindung mit additiven Fertigungsverfahren (3D-Druck) eine neue Dimension der Herstellung detailoptimierter Leichtbaustrukturen. *A bionic approach for topology optimization, together with additive manufacturing (3D printing), will allow us to manufacture detailed lightweight components on a whole new level.*

Der entscheidende Faktor ist dabei die Zusammenfassung von strukturmechanischen Konstruktions- und Fertigungssimulationsmethoden. Ziel ist, mittelfristig spezielle Softwarepakete dahingehend zu optimieren und spezielle Lösungen für z.B. Festigkeits- und Lebensdauermodelle zu integrieren. Existierende Softwarelösungen sind dazu über Validierung und Verifikation einem Benchmark zu unterziehen.

Optimierte 3D-gedruckte Bauteile können kurzfristig über Substitutionen in bestehenden Flugzeugprogrammen und geplanten Derivaten Anwendung finden. Mittel- und langfristig wird dieser Optimierungsprozess zu komplett neuen Bauweisen in zukünftigen Entwicklungsprogrammen führen.

Die kontinuierliche Verbesserung von Produkten und Prozessen hängt maßgeblich von verbesserten Berechnungsverfahren und -werkzeugen ab. Die schnelle rechnergestützte virtuelle Umsetzung und Bewertung ist für die Verkürzung von Entwicklungszyklen entscheidend.

Ein Beispiel hierfür ist der Ersatz umfangreicher Testprogramme zur Ermittlung von Werkstoffkennwerten durch virtuelle Methoden, z.B. die Abbildung mikroskopischer Werkstoffeigenschaften bei der Simulation strukturmechanischer Kennwerte. Im Bereich der Triebwerksentwicklung werden schon heute Simulationsmethoden maßgeblich für die Entwicklung neuartiger Legierungen mit niedrigerem spezifischem Gewicht und höherer Temperaturbeständigkeit genutzt.

Die Bewertung von Fehlern in Faserverbundwerkstoffen, Keramiken, Werkstoffverbünden wie auch in konventionellen Werkstoffen hinsichtlich der Auswirkungen auf das Tragverhalten, die Lebensdauer und die Festigkeit erfordert immer noch erhebliche Aufwände. Produktentwicklungszeiten werden darüber hinaus durch eine enge Festle-

gung tolerierbarer Schädigungen beeinflusst, die in der Fertigung bzw. im Betrieb auftreten können. Der Ersatz heutiger physikalisch basierter Methoden zur Bewertung des Tragverhaltens und der Lebensdauer geschädigter Strukturen durch Simulationstechniken beinhaltet ein erhebliches Potenzial zur Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit und -geschwindigkeit. Weiteres Potenzial besteht ebenfalls in der Kopplung von Fertigungssimulation und Schadensanalyse sowie in der Entwicklung von Methoden zur konstruktiven Einflussnahme hinsichtlich robuster Fertigungsprozesse mit dem Ziel der Minimierung von Fertigungsfehlern.

Für die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit im internationalen Markt ist die Verkürzung der Produktentwicklungszeiten ein entscheidender Erfolgsfaktor. Durch eine stärkere Integration verschiedenster Ingenieursdisziplinen im frühen Produktentwicklungsstadium kann die Marktposition gestärkt werden. Die Integration der entsprechenden numerischen Simulationsfähigkeiten und der virtuellen Designwerkzeuge ist der bestimmende Faktor für alle diese Bereiche. Physische Daten werden Simulations- und Konstruktionswerkzeugen zur Verfügung gestellt und hinsichtlich ihrer Konfiguration organisiert. Dabei erfasst die Simulation neben dem physikalischen Verhalten der Strukturen auch die Optimierung der Herstellprozesse und der resultierenden Fertigungskosten.

Effiziente Produktionsverfahren für Luftfahrt-typische Stückzahlen

Efficient production methods for typical aero-space production rates

Die Umsetzung des Hightech Strategieprojektes „Industrie 4.0“ in der Luftfahrtindustrie unterscheidet sich im Vergleich zu anderen Branchen durch einen zusätzlichen Grad an Komplexität:

1. Der Sicherheitsaspekt ist bestimmend für den gesamten Lebenszyklus des Luftfahrzeugs. Die Anforderungen an die Zulieferkette, stringente behördliche Vorgaben zu erfüllen, sind hoch.
2. Ein Luftfahrzeug ist ein technisch hochinnovatives Produkt. Große Luftfahrzeuge bestehen aus weit mehr als 1 Million Einzelteilen.
3. Der Markt fordert eine hohe Flexibilität zur Anpassung und Konfiguration des Basisflugzeugs und des Innenbereichs an die Kundenwünsche.
4. Die Wertschöpfungskette ist tief gestaffelt, international aufgestellt und umfasst eine große Anzahl Zulieferer. Entwicklung, Produktion, Service, Logistik und Instandhaltung sind in der Regel über viele Standorte verteilt.

Zwar gibt es in der Luft- und Raumfahrtindustrie bereits langjährige Erfahrungen mit digitalen Produkt-Lifecycle-Management-Systemen (PLMS), die Ziele der „Fabrik der Zukunft“ bzw. „Industrie 4.0“ gehen aber über die heutigen Lösungen hinaus. Sie beinhalten ein hohes Potenzial für Kostensenkungen sowie für die Steigerung der Produktqualität und der Flexibilität in der Produktion.

Um die neuen Technologien im Zusammenhang mit der „Fabrik der Zukunft“ bzw. „Industrie 4.0“ zu erproben, zu verknüpfen und die Risiken einer Produktionsumstellung zu beherrschen, ist der Bau einer Demonstratorfabrik erforderlich. Mit dem Demonstrator kann die zentrale Herausforderung in der Luft- und Raumfahrtindustrie – die Einführung neuer Technologien bei gleichzeitig steil ansteigendem Hochlauf der Produktionszahlen – mit überschaubarem Risiko weiter verfolgt werden.

Während die Entwicklung neuer bzw. die Automatisierung bestehender Produktionsprozesse, insbesondere bei Berücksichtigung innovativer und zukunftsweisender Materialkonzepte, weitere Effizienz- und Leistungssteigerungen ermöglichen, beinhalten sie durch gleichzeitige Straffung der Logistikprozesse und signifikante Verkürzung der Fertigungszeiten das größte Potenzial zur Kostensenkung.

Zu den kurzfristigen Zielen gehören die Vernetzung von Produktionsmitteln und die automatische Erfassung und Erkennung von Halbzeugen und Bauteilen inkl. Position, Form und Abweichungen bzgl. der festgelegten Qualitätsmerkmale. Mittel- bis langfristiges Ziel ist die Implementierung automatisierter, fehlertoleranter Prozesse, die bei Auftreten von Abweichungen selbstständig Korrekturen vornehmen sowie die weiter verbesserte Zusammenarbeit von Mensch und mit intelligenter Sensorik ausgestatteter Maschine in der Produktion.

Die digitale Fabrik liefert die Fähigkeiten zur genauen Planung und Vorhersage der Produktionsprozesse bis hin zur Echtzeitverfolgung und Steuerung von Produktionsabläufen.

Ziel ist die durchgehende Datenerfassung im Produktionsfluss inkl. Fertigungsmodellierung und Prozesssimulation sowie eine fortschrittliche Visualisierung bis hin zur Nutzung von „Augmented Reality“, der künstlichen Wissens- und Sinneserweiterung.

Die aktuellen Entwicklungen bei den additiven Fertigungsverfahren (3D-Druck) geben der „Fabrik der Zukunft“ bzw. „Industrie 4.0“ gerade im Luft- und Raumfahrtbereich einen zusätzlichen signifikanten An Schub. Diese neue Technologie hat das Potenzial, wesentliche Abläufe zu revolutionieren. Neue Bauweisen, Integration von Baugruppen und systematisch topologie-optimiertes Bauteildesign werden ermöglicht. Es besteht dabei eine enge Verknüpfung zwischen den Themen Prozesssimulation, neue Entwicklungsprozesse in den Fachgebieten Statik und Konstruktion und Bionisches Design.

Ressourcen- und kosteneffiziente Konstruktionen durch Multimaterialdesign werden zukünftig durch innovative Fügeverfahren und umweltschonende Methoden der Oberflächenbehandlung und des Oberflächenschutzes möglich werden.

Die Bereitstellung neuer Prüfverfahren ebnet dabei den Weg für den Einsatz neuer Materialien, Fertigungs- und Fügetechniken. Eine nachhaltige Produktgestaltung und -herstellung zielt auf Recyclingraten von 95 - 100% bis zum Jahr 2050 für das Gesamtsystem kommerzielles Luftfahrzeug.

Implementing the high-tech strategy “Industry 4.0” in the aerospace sector will be much more complex than in other industries. This is because:

1. Safety is the overriding concern for an aircraft’s entire lifecycle. Aviation authorities place high demands and strict compliance requirements on the entire supply chain.
2. An aircraft is a highly innovative product from a technical point-of-view; large aircraft consist of over one million components.
3. The market expects a high level of flexibility. Manufacturers must be able to configure aircraft and cabins in accordance with customers’ needs.
4. The value chain can be characterised by its multiple levels, international operations and range of suppliers. Areas like development, production, service, logistics and maintenance are generally spread out over a number of locations.

While digital product-lifecycle-management-systems (PLMS) have been used in the aerospace industry for years, the goals for the “Factory of the Future” and “Industry 4.0” far exceed all solutions currently available; indeed, these new concepts foresee great potential to reduce costs and increase product quality and flexibility during production.

There is a need to build a factory demonstrator in order to test new technologies needed for “The Factory of the Future” and “Industry 4.0”; this way, we could connect the two concepts and overcome the risks associated with the introduction of a significant change in production technology. With a demonstrator, we can continue our work towards overcoming the main challenges facing the aerospace industry – that is, the need to introduce new technologies while simultaneously ramping up production – with a manageable level of risk. Streamlining logistics processes can lead to dramatic cost savings when developing new production processes or increasing automation of existing processes. Streamlining can also significantly speed up manufacturing time, especially when the processes incorporate innovative, pioneering material concepts.

Short-term goals include integrating the means of production and allowing for semi-finished products and components to be automatically logged and recognised in terms of position, shape, and deviation from predetermined quality criteria. Over the middle and long term, one goal is to implement processes that are automatic, can accommodate deviations and independently rectify them. Another goal is to improve interaction during production between workers and machines equipped with intelligent sensor technology.

With the digital factory, we can precisely plan and predict production processes, and track and guide them in real time.

As part of this process, we need to continually log data during all stages of production, including for manufacturing modelling and process simulation, as well as for advanced visualisations and even augmented reality.

Current developments in additive manufacturing (3D printing) give rise to “The Factory of the Future” and “Industry 4.0”, especially in the aerospace industry. This new technology could start a revolution in manufacturing, leading to new construction methods, new ways to integrate assemblies and component design systematically optimized through using a topological approach. This can be achieved by closely integrating process simulation and new development processes in the areas of construction, structural analyses and bionic design.

In the future, innovative joining technology and more environmentally friendly methods for treating and protecting surfaces will increase the efficiency of structures in terms of cost and resources via multi-material design.

The availability of new testing methods is paving the way for the use of new materials and techniques for manufacturing and joining. With sustainable product design and manufacturing, we aim to achieve recycling rates of 95 - 100% by the year 2050 for all commercial aircraft.

IMPRESSUM/IMPRINT

BILDNACHWEISE/PICTURES:
Aleris Rolled Products Germany GmbH
Aircraft Philipp GmbH
Hexcel Composites GmbH
MTU Aero Engines AG
Premium AEROTEC GmbH
Tital GmbH

Herausgeber/Editor:
Bundesverband der Deutschen
Luft- und Raumfahrtindustrie e.V. (BDLI)
Friedrichstraße 60
10117 Berlin
kontakt@bdli.de
www.bdli.de

V.i.S.d.P.: Cornelia von Ammon
Layout: Katja Zehe

November 2016

**Bundesverband der Deutschen
Luft- und Raumfahrtindustrie e.V. (BDLI)**

ATRIUM Friedrichstraße 60

10117 Berlin

Telefon: +49 (0)30 206140-0

E-Mail: kontakt@bdli.de

www.bdli.de