

Les matériaux changent notre avenir

WERKSTOFFE VERÄNDERN UNSERE ZUKUNFT



Online lesen/
Lire en ligne

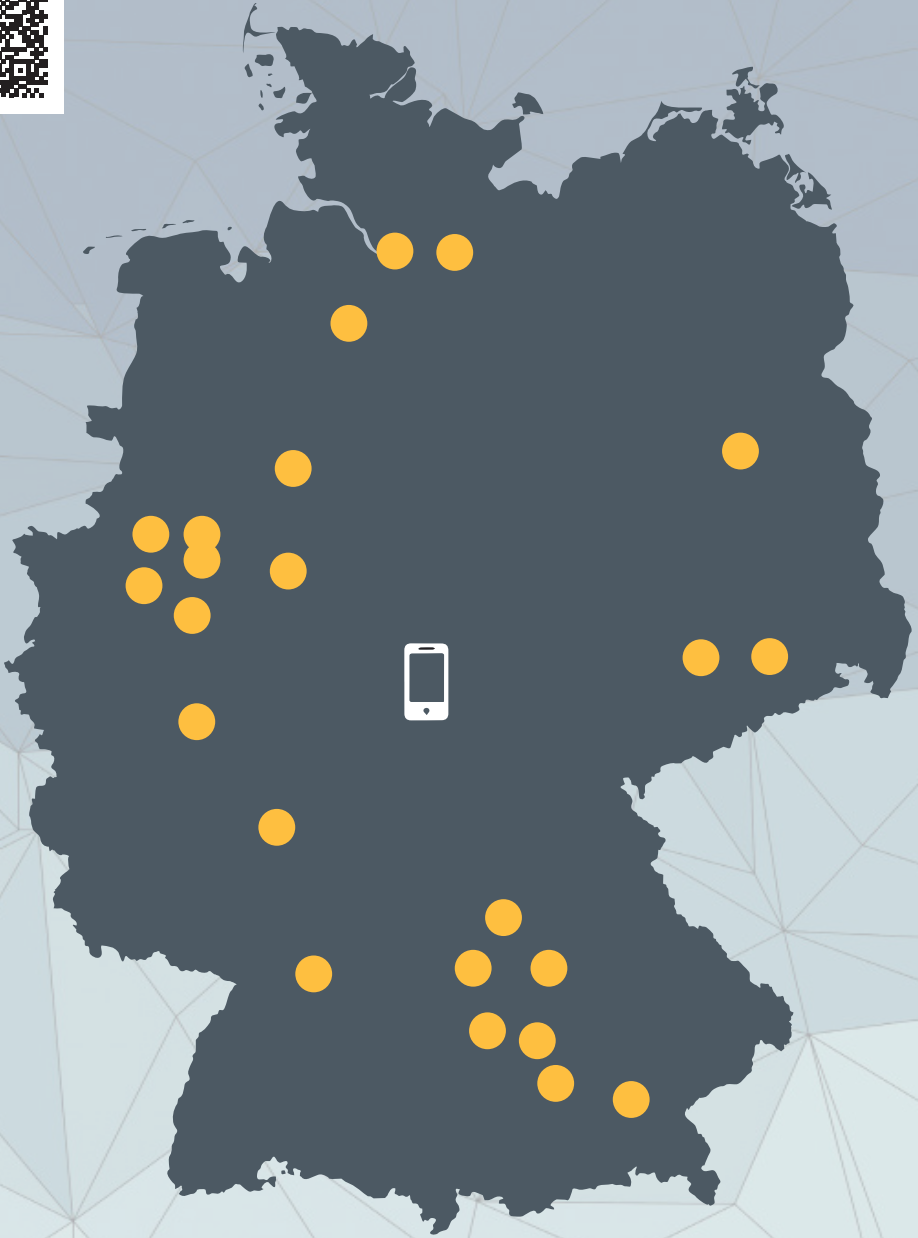


Bundesverband der Deutschen Luft-
und Raumfahrtindustrie e. V. (BDLI)





Die Mitglieder des Unterforums Ausrüstung und Werkstoffe /
Les membres du subforum matériaux et composants



Wir danken allen an dieser Broschüre beteiligten Unternehmen / *Merci à toutes les entreprises impliquées dans cette brochure:*



LES MATÉRIAUX CHANGENT NOTRE AVENIR

WERKSTOFFE VERÄNDERN UNSERE ZUKUNFT



Online lesen /
Lire en ligne



GRUSSWORT / ACCUEIL



Die deutsche Luft- und Raumfahrtindustrie ist eine Hochtechnologie-Branche. Damit einher geht die Aufgabe, sich kontinuierlich neuen technologischen und wirtschaftlichen Herausforderungen in einem globalen Markt zu stellen.

Ihre internationale Spitzenstellung sichert die deutsche Luft- und Raumfahrtindustrie durch konsequent zielgerichtete Forschungs- und Entwicklungsarbeit, um bestehende Produkte weiter zu optimieren und die Markteinführung künftiger Luft- und Raumfahrzeugmuster erfolgreich zu gestalten. Die fortlaufende Entwicklung neuer, innovativer Werkstoffe ist hierfür unverzichtbar. Die Industrieunternehmen werden bei dieser Aufgabe flankierend durch eine herausragende deutsche Forschungslandschaft unterstützt, die aus großen Forschungseinrichtungen, Universitäten und anderen Innovationstreibern besteht.

Die Luft- und Raumfahrt ist eine Branche, die nicht nur wächst, sondern sich zugleich rasant wandelt. Neue Märkte, neue Geschäftsmodelle, aber auch neue Konkurrenten entstehen überall auf der Welt. Hinzu kommen die großen Zukunftsaufgaben Umwelt- und Klimaschutz. Werkstoffe leisten einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der teils hochgesteckten Ziele, denn neue Werkstoffe unterstützen die Gestaltung unserer Zukunft in Richtung der politisch und gesellschaftlich gewünschten Ziele.

Das vorliegende Dokument wurde von den Unternehmen und Institutionen erarbeitet, die im Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie e.V. (BDLI) in dem Gremium Werkstoffe und Komponenten zusammengeschlossen sind. Es veranschaulicht die Bedeutung der Werkstoffentwicklung für die deutsche Luft- und Raumfahrtindustrie und die damit verbundenen Chancen.



ROLF PHILIPP Geschäftsführender Gesellschafter Aircraft Philipp Group, Mitglied des Präsidiums des BDLI e.V., Vorsitzender des BDLI Unterforums Werkstoffe und Komponenten / Associé directeur Aircraft Philipp Group, Membre du Présidium de la BDLI e.V., Président de BDLI UFO Materials and Components



L'industrie aérospatiale allemande est un secteur de haute technologie. Cela va de pair avec la tâche de faire face en permanence aux nouveaux défis technologiques et économiques dans un marché mondial.

L'industrie aérospatiale allemande consolide sa position de leader international grâce à des travaux de recherche et de développement ciblés de manière conséquente afin d'optimiser encore davantage les produits existants et de réussir le lancement sur le marché des futures générations d'avions et d'engins spatiaux. Le développement continu de nouveaux matériaux innovants est indispensable à cet effet. Les entreprises industrielles sont soutenues dans cette tâche par un paysage de recherche allemand exceptionnel composé de grandes institutions de recherche, d'universités et d'autres moteurs d'innovation.

L'aérospatiale est une industrie qui non seulement est en pleine croissance, mais aussi évolue extrêmement rapidement. De nouveaux marchés, de nouveaux modèles économiques mais aussi de nouveaux concurrents apparaissent dans le monde entier. Ajoutons à cela les grands défis de l'avenir en matière de protection de l'environnement et du climat. Les matériaux apportent une contribution significative à la réalisation d'objectifs parfois ambitieux, car de nouveaux matériaux changent notre avenir dans la direction souhaitée politiquement et socialement.

Ce document a été préparé par les entreprises et institutions membres du Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie e.V. (Fédération allemande des industries aérospatiales, BDLI) au sein du Comité des matériaux et composants. Il illustre l'importance du développement des matériaux pour l'industrie aérospatiale allemande ainsi que les opportunités et les risques qui en découlent.

INHALT / TABLE DES MATIÈRES

Werkstoffe verändern unsere Zukunft / Les matériaux changent notre avenir.....	6	
Werkstoffe – die Basis nachhaltigen Erfolgs / Matériaux - la base d'un succès durable	11	
Faserverbundwerkstoffe / Composites Fibreux	11	
Metalle / Métaux	13	
Metallische Hochtemperaturwerkstoffe / Matériaux métalliques haute température	15	
Hybride Bauweisen / Méthodes de construction hybrides	17	
Werkstoffe der nächsten Generation – Von der Idee zum wettbewerbsfähigen Produkt / Matériaux de la prochaine génération - de l'idée au produit compétitif	18	
Hocheffiziente Fertigungstechnologien für zukünftige Luft- und Raumfahrzeuge / Des technologies de fabrication très performantes pour les futurs avions et vaisseaux spatiaux	20	
Additive Fertigung – Sicherstellen und Ausbau einer nationalen Kernkompetenz / Fabrication d'additifs - assurer et développer une compétence de base nationale	26	
Grüne Technologien für die Welt von Morgen / Technologies vertes pour le monde de demain	28	
Simulation zur Leistungssteigerung und Verkürzung der Entwicklungszyklen / Simulation pour augmenter la performance et raccourcir les cycles de développement	30	
Luftfahrt-Supply-Chain 4.0 / Chaîne d'approvisionnement de l'aviation 4.0	32	



WERKSTOFFE VERÄNDERN UNSERE ZUKUNFT / LES MATÉRIAUX CHANGENT NOTRE AVENIR



Die deutsche Luft- und Raumfahrtindustrie ist eine Hochtechnologie-Branche. Als solche hat sie das Privileg, führend an der Gestaltung unserer Zukunft mitzuwirken. Damit einher geht die Aufgabe, sich kontinuierlich neuen technologischen und wirtschaftlichen Herausforderungen in einem globalen Markt zu stellen. Ihre internationale Spitzenstellung sichert die deutsche Luft- und Raumfahrtindustrie durch konsequent zielgerichtete Forschungs- und Entwicklungsarbeit, um bestehende Produkte weiter zu optimieren und die Markteinführung künftiger Luft- und Raumfahrzeuggenerationen erfolgreich zu gestalten.

Die deutsche Luft- und Raumfahrtindustrie stützt sich auf eine hochentwickelte Wertschöpfungskette, bestehend aus kleineren und mittelgroßen Zulieferbetrieben, die zum Teil auf ihrem Gebiet Weltmarktführer sind („Hidden Champions“), aus großen Lieferanten für komplette Strukturen und Baugruppen, aus Herstellern von Flugzeugen, Hubschraubern, Satelliten und autonom fliegenden Systemen – in Deutschland z.B. Airbus, Airbus Helicopters und OHB – und aus Herstellern von Triebwerken für zivile, militärische und Raumfahrtanwendungen – in Deutschland z.B. MTU Aero Engines, Rolls-Royce Deutschland und ArianeGroup.

Die Industrieunternehmen bilden zusammen mit der hervorragend aufgestellten deutschen Forschungslandschaft – dazu gehörig große Forschungseinrichtungen wie z.B. das DLR, die Fraunhofer-Institute und Universitäten – ein hoch innovatives Netzwerk. Dieses Netzwerk bietet einzigartige Möglichkeiten der vertikalen Integration, d.h. die Vorbereitung „schlüsselfertiger“ Lösungen für die Aufgaben der Industrie.

Bei der Werkstoff- und Prozessentwicklung für die nächsten Generationen von Luft- und Raumfahrzeugen liegt ein besonderes Augenmerk auf der Steigerung der Energieeffizienz und der Gewichtseinsparung – d.h. der Nutzung neuer, hochinnovativer Leichtbaukonzepte und Werkstoffe. Gerade im Flugzeugbau ist ein geringes Leergewicht im Verhältnis zum maximalen Abfluggewicht die entscheidende Größe für den Aspekt der Wirtschaftlichkeit.



L'industrie aérospatiale allemande est un secteur de haute technologie. À ce titre, elle a le privilège de jouer un rôle de premier plan dans la construction de notre avenir. Cela va de pair avec la tâche de faire face en permanence aux nouveaux défis technologiques et économiques dans un marché mondial. L'industrie aérospatiale allemande consolide sa position de leader international grâce à des travaux de recherche et de développement ciblés de manière conséquente afin d'optimiser encore davantage les produits existants et de réussir le lancement sur le marché des futures générations d'avions et d'engins spatiaux.

L'industrie aérospatiale allemande repose sur une chaîne de valeur très développée, composée de petits et moyens fournisseurs, dont certains sont des leaders mondiaux dans leur domaine ("hidden champions"), de grands fournisseurs de structures et assemblages complets, de fabricants d'avions, d'hélicoptères, de satellites et de systèmes de vol autonomes - en Allemagne par exemple, Airbus, Airbus Helicopters et OHB - et de fabricants de moteurs pour applications commerciales, militaires et aéronautiques - notamment MTU Aero Engines, Rolls-Royce Deutschland et ArianeGroup.

Les entreprises industrielles forment avec le paysage de la recherche allemand, qui jouit d'une excellente position, dont font partie les grandes institutions de recherche telles que le DLR, les instituts Fraunhofer et les universités, un réseau très innovant. Ce réseau offre des possibilités uniques d'intégration verticale, c'est-à-dire la préparation de solutions "clés en main" pour les tâches de l'industrie.

Dans le développement de matériaux et de procédés pour les prochaines générations d'avions et d'engins spatiaux, une attention particulière est plus que jamais accordée à l'augmentation de l'efficacité énergétique et à la réduction du poids, c'est-à-dire à l'utilisation de nouveaux concepts et matériaux de construction légers très innovants. En particulier dans la construction aéronautique, une faible masse à vide par rapport à la masse maximale au décollage est le facteur décisif pour l'efficacité économique.

Die kommerzielle Zivilluftfahrt ist ein globaler Wachstumsmarkt. Die deutsche Luftfahrtindustrie ist heute an allen internationalen Programmen, direkt oder indirekt, als wertgeschätzter Partner beteiligt und damit fester Bestandteil der global ausgerichteten Zulieferketten der großen Hersteller.



Von 1995-2018 hat sich die Luftverkehrsleistung weltweit um das 3-fache gesteigert. Der genannte Zeitraum bildet dabei auch mehr als 20 Jahre nationaler Förderung der vorwettbewerblichen Forschung im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms (LuFo) der Bundesregierung ab. Während des genannten Zeitraums wuchs die Zahl der Beschäftigten in der deutschen Zivilluftfahrtindustrie um das 2,5-fache; der dementsprechende Umsatz wurde in Deutschland sogar um das 6-fache gesteigert.

Durch eine frühe, weitsichtige Entscheidung für eine ökoeffiziente Ausrichtung ihrer Produkte hat die europäische und die deutsche Luftfahrtindustrie die Marktentwicklung und das Marktwachstum signifikant mitgestaltet und sich in dem globalen Umfeld hervorragend behauptet. Diese Spitzenposition gilt es gegenüber dem Wettbewerb aus Nordamerika und zukünftig auch Asien zu sichern.

Das Wachstum des internationalen Luftverkehrs ist ungebrochen. Langfristig wird von einer globalen Steigerung von 4,4% pro Jahr ausgegangen. Ein entscheidender Faktor für die zukünftige Positionierung der deutschen Luftfahrtindustrie im Wettbewerb ist die Geschwindigkeit, mit der auf Leichtbauprinzipien basierende Innovationen entwickelt werden und damit die Luftfahrtprodukte einfließen.

Luftfahrt ist Synonym für Leichtbau, denn ein geringes Leergewicht ist fundamental für die Flugleistung, die Wirtschaftlichkeit und insgesamt die Ökobilanz eines Flugzeugs.

L'aviation civile commerciale est un marché mondial en pleine croissance. Aujourd'hui, l'industrie aéronautique allemande est un partenaire apprécié dans tous les programmes internationaux, directement ou indirectement, et fait donc partie intégrante des chaînes d'approvisionnement mondiales des principaux fabricants.

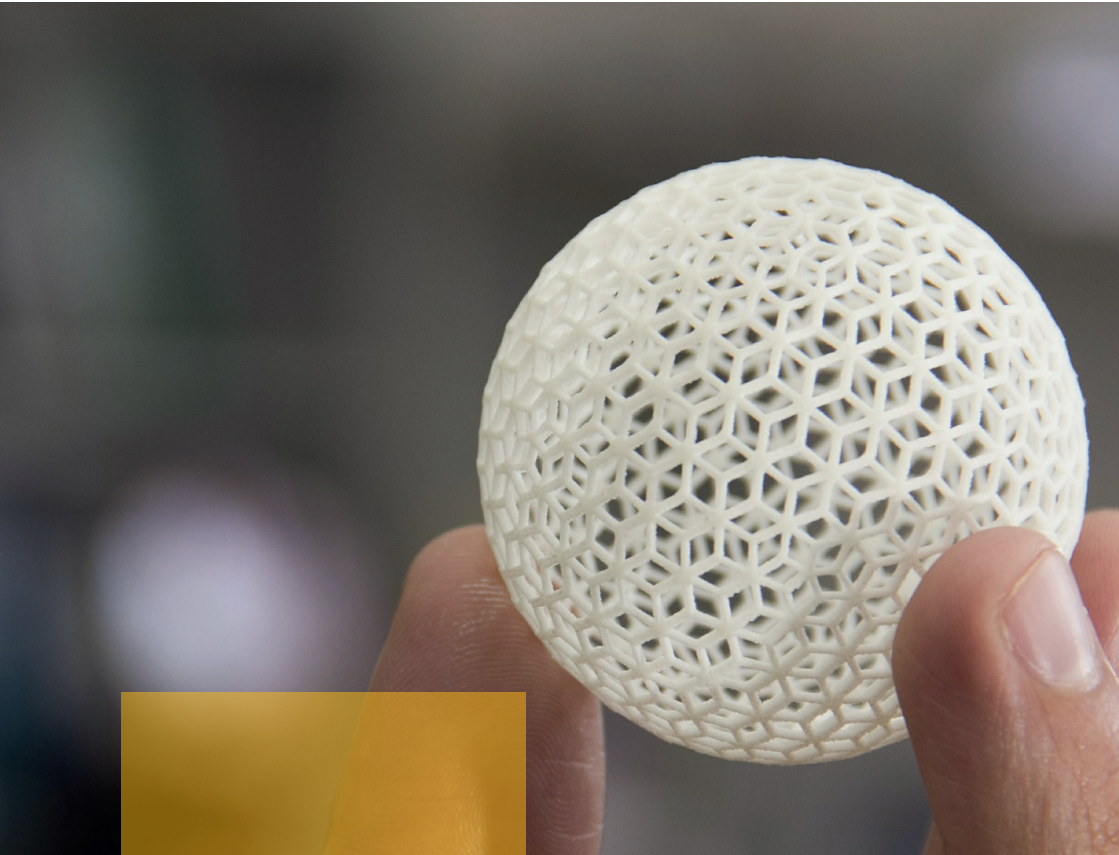


Entre 1995 et 2018, la performance globale du trafic aérien a été multipliée par trois. Cette période reflète également plus de 20 ans de financement national de la recherche préconcurrentielle dans le cadre du programme de recherche aéronautique du gouvernement allemand (LuFo). Au cours de cette période, le nombre d'employés de l'industrie aéronautique civile allemande a été multiplié par 2,5; le chiffre d'affaires correspondant en Allemagne a même été multiplié par 6.

Grâce à une décision précoce et clairvoyante en faveur d'une orientation éco-efficace de leurs produits, l'industrie aéronautique européenne et allemande a considérablement influencé le développement et la croissance du marché et s'est maintenue dans l'environnement mondial. Cette position de leader doit être maintenue face à la concurrence de l'Amérique du Nord et, à l'avenir, de l'Asie.

La croissance du trafic aérien international se poursuit sans relâche. A long terme, on attend une augmentation globale de 4,4% par an. Un facteur décisif pour le positionnement concurrentiel futur de l'industrie aéronautique allemande est la rapidité avec laquelle les innovations basées sur les principes de construction légère sont développées et les produits aéronautiques sont incorporés.

L'aviation est synonyme de construction légère, car une faible masse à vide est fondamentale pour les performances de vol, l'efficacité et l'écobilan global d'un avion.





Physikalisch geht es beim Fliegen darum, mit möglichst geringem Energieaufwand zwei widerstehende Kräfte zu überwinden: Luft-Widerstand und Gewichtskraft. Die Gewichtskraft resultiert bei einem Luftfahrzeug aus drei Komponenten: Strukturgewicht, Nutzlast und Gewicht des mitgeführten Treibstoffs. Um die Nutzlast (Passagiere, Fracht, Missionsausrüstung etc.) möglichst energieeffizient zu transportieren, verbleiben drei Stellschrauben: effiziente Aerodynamik, verlustarme Vortriebserzeugung und ein geringes Leergewicht (Flugzeugstruktur, Triebwerk, Fahrwerk, Avionik, sonstige Bau- und Ausrüstungsteile). Je geringer das Leergewicht, desto wirtschaftlicher kann z.B. ein Passagier- oder Frachtflugzeug durch Minimierung des Treibstoffverbrauchs oder Maximierung der Nutzlast, betrieben werden.



100kg Gewichtseinsparung bedeuten bei einem Flugzeug der Kategorie eines Airbus A320 für eine Airline eine Einsparung von ca. 10.000 Litern Kerosin pro Jahr und Flugzeug (entspricht ca. 25,5 to CO₂ pro Jahr und Flugzeug). Die herausragende Bedeutung des Leichtbaus für die Wettbewerbsfähigkeit der Luftfahrtprodukte erzeugt einen extrem hohen Innovationsdruck in der gesamten Zulieferkette. Schätzungen zufolge werden in der Luftfahrtindustrie 1.000-1.500 € Mehrkosten für jedes Kilogramm Gewichtseinsparung akzeptiert, während in der Automobilindustrie dieser Wert nur bei 5-10 €/kg liegt und in der Eisenbahnindustrie nur 1 €/kg.

Physiquement, voler, c'est vaincre deux forces de résistance avec le moins d'énergie possible: Résistance à l'air et force du poids. Dans un avion, la force du poids résulte de trois éléments: le poids de la structure, la charge utile et le poids du carburant transporté. Afin de transporter la charge utile (passagers, fret, équipement de mission, etc.) de la manière la plus efficace possible sur le plan énergétique, il reste trois vis de réglage: aérodynamique efficace, propulsion à faible perte et faible poids à vide (structure, moteur, train d'atterrissage, avionique, autres composants et équipements). Plus le poids à vide est faible, plus l'exploitation d'un avion de transport de passagers ou de fret est économique en réduisant au minimum la consommation de carburant ou en maximisant la charge utile.



Un gain de poids de 100 kg pour un Airbus A320 signifie pour une compagnie aérienne une économie d'environ 10 000 litres de kérosène par an et par avion (soit environ 25,5 tonnes de CO₂ par an et par avion). L'importance exceptionnelle de la construction légère pour la compétitivité des produits aéronautiques crée une pression extrêmement forte pour innover tout au long de la chaîne d'approvisionnement. On estime que dans l'industrie aéronautique, 1 000 à 1 500 euros de frais supplémentaires sont acceptés pour chaque kilogramme d'économie de poids, alors que dans l'industrie automobile, cette valeur n'est que de 5 à 10 euros par kilogramme, et dans l'industrie ferroviaire, de 1 euro par kilogramme seulement.



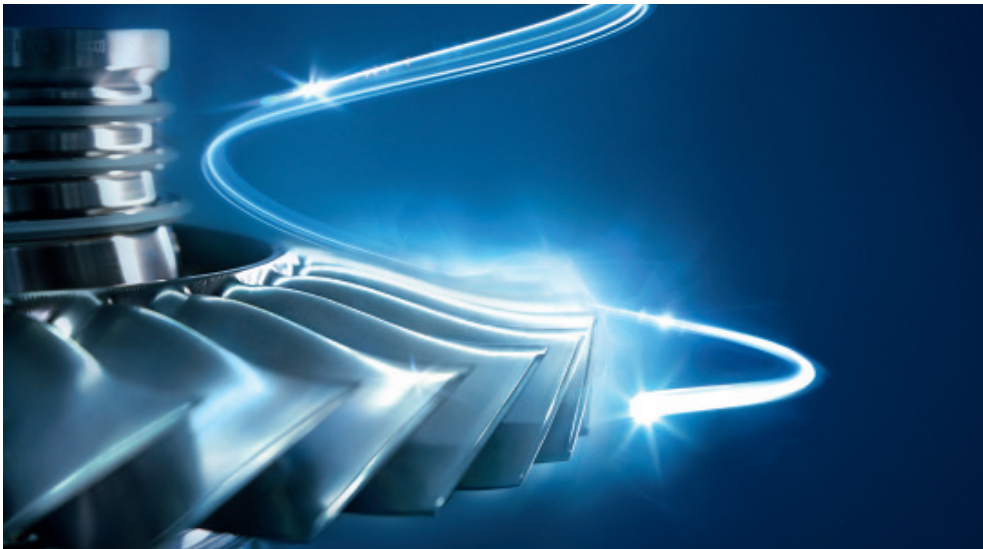
Innovative Bauweisen, Werkstoffe und Verfahren unterstützen das Ziel der kontinuierlichen Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und der Öko-Bilanz der Produkte der deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie. Sie sind integraler Bestandteil der nationalen Bemühungen zur raschen Nutzbarmachung der aus „Industrie 4.0“ resultierenden Perspektiven. Die Beiträge der deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie finden auch außerhalb der Branche Eingang in Bereiche wie z.B. Fertigungsautomatisierung, Prozesssimulation, Werkstoffkennwert- und Prozessdatenerfassung. Darüber hinaus liefert die Luft- und Raumfahrtindustrie Grundlagen für die erfolgreiche und effiziente Einführung wegweisender Technologien wie zum Beispiel 3D-Druck und Struktur-Zustandsüberwachung (SHM – structural health monitoring).

Die Luft- und Raumfahrtindustrie hat bereits langjährige Erfahrungen mit digitalen Produkt-Lifecycle-Management-Systemen (PLMS) gesammelt. Mit der „Fabrik der Zukunft“ bzw. „Industrie 4.0“ gehen die Ziele aber weit über die heutigen Lösungen hinaus. Die neuen Perspektiven beinhalten damit ein hohes Potenzial für Kostensenkungen sowie für die Steigerung der Produktqualität und der Flexibilität in der Produktion.



Des méthodes de construction, des matériaux et des procédés innovants soutiennent l'objectif d'amélioration continue de l'efficacité économique et de l'équilibre écologique des produits de l'industrie aérospatiale allemande. Elles font partie intégrante des efforts nationaux visant à exploiter rapidement les perspectives résultant de "Industry 4.0". Les contributions de l'industrie aérospatiale allemande se retrouvent également en dehors de l'industrie dans des domaines tels que l'automatisation de la production, la simulation de processus, la valeur caractéristique des matériaux et l'acquisition de données de processus. En outre, l'industrie aérospatiale est à la base de l'introduction réussie et efficace de technologies révolutionnaires telles que l'impression 3D et la surveillance de la santé structurelle (SHM).

L'industrie aérospatiale possède de nombreuses années d'expérience dans le domaine des systèmes de gestion numérique du cycle de vie des produits (PLMS). Avec l' "Usine du futur" ou l' "Industrie 4.0", les objectifs vont cependant bien au-delà des solutions actuelles. Les nouvelles perspectives offrent donc un fort potentiel de réduction des coûts ainsi que d'amélioration de la qualité des produits et de la flexibilité de la production.



WERKSTOFFE – DIE BASIS NACHHALTIGEN ERFOLGS / MATÉRIAUX - LA BASE D'UN SUCCÈS DURABLE

FASERVERBUNDWERKSTOFFE / COMPOSITES FIBREUX

In Bezug auf Faserverbundwerkstoffe ist das aktuelle Ziel der Luftfahrtindustrie, dieser Werkstoffkategorie ein breiteres Einsatzspektrum zu eröffnen. Zu diesem Zweck arbeitet die Branche unter anderem an der Entwicklung von Harzsystemen mit höherer Zähigkeit und höherem Temperatureinsatzpotenzial. Dadurch ergeben sich zusätzliche Einsatzspektra, z.B. in impact-gefährdeten Bereichen der Flügelstruktur (Flügelvorderkanten) und im Triebwerksbau. Eine der Hauptanforderungen an zukünftige Faserverbundwerkstoffe ist darüber hinaus die Funktionsintegration. So werden z.B. Funktionen der Metall-Substruktur zukünftig in die Verbundwerkstoffstruktur integriert (Beispiel: Electrical Structure Network). In diesem Fall besteht die Herausforderung darin, die elektrische Leitfähigkeit der Faserverbundwerkstoffe so zu erhöhen, dass die Anforderungen an den Blitzschutz erfüllt werden.



Die Kommerzialisierung des in der Entwicklung befindlichen zukünftigen Fliegens mit elektrischem Antrieb benötigt extrem leichte Strukturen und Passagierkabinen mit einem hohen Grad an Crashesicherheit. Faserverbundwerkstoffe erfüllen die entsprechenden Anforderungen exzellent.

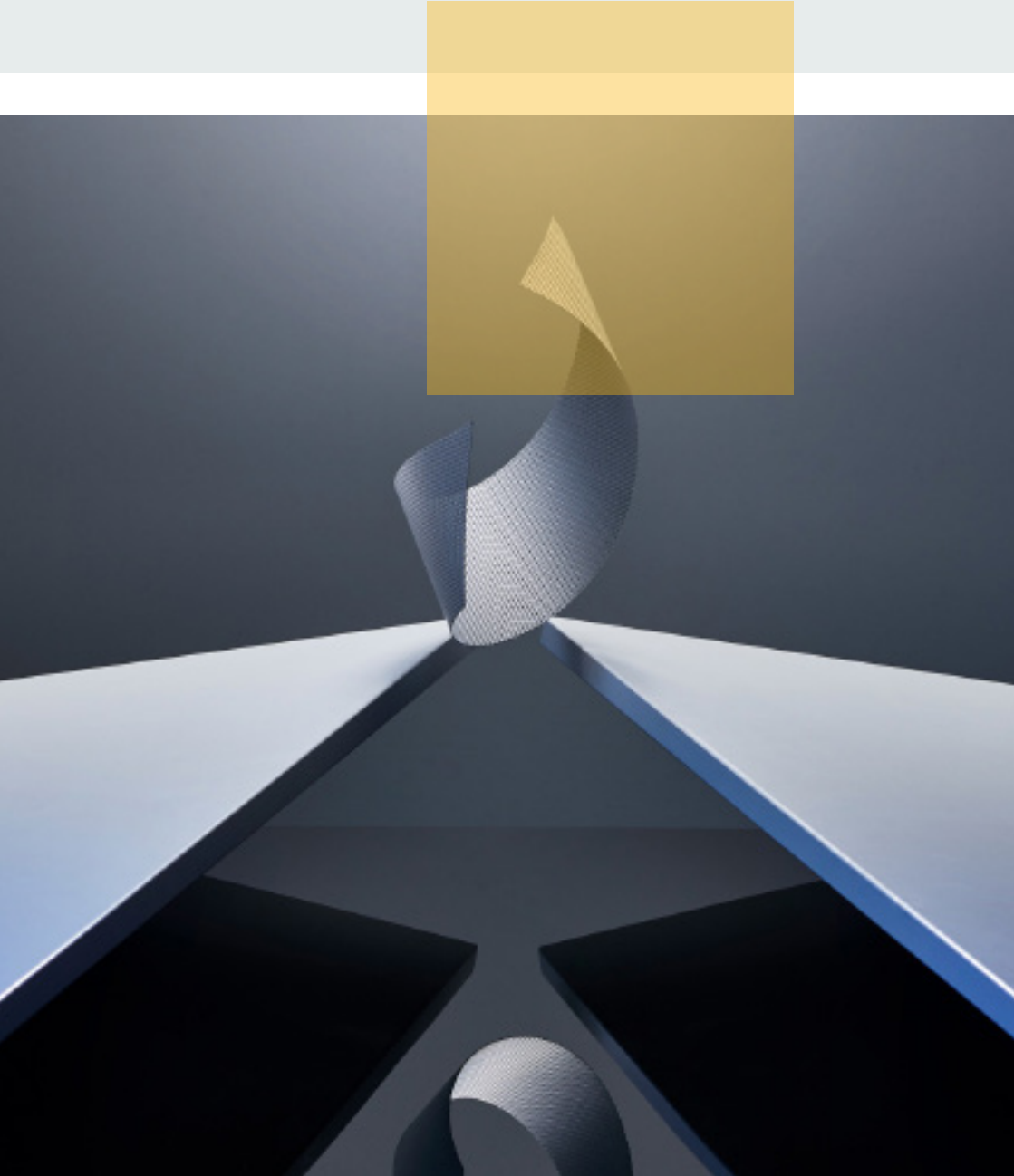
Thermoplaste bieten besondere Eigenschaften wie Schweißbarkeit und Recyclingmöglichkeiten und genießen daher besondere Aufmerksamkeit. Zurzeit werden intensive Anstrengungen unternommen, diese Werkstoffkategorie weiterzuentwickeln, um sie über das momentane Anwendungsspektrum – vornehmlich Befestigungselemente – hinaus auch für großflächige, integrale Strukturen im Flugzeugrumpf und im Kabinenbereich einsetzen zu können. Für die thermoplastischen Herstellverfahren zeichnet sich dabei schon heute, deutlich, eine günstige Perspektive zur Integration von zusätzlichen Funktionalitäten ab.

En ce qui concerne les composites fibreux, l'objectif actuel de l'industrie aérospatiale est d'ouvrir une gamme plus large d'applications pour cette catégorie de matériaux. À cette fin, l'industrie travaille, entre autres, à la mise au point de systèmes de résines ayant une ténacité plus élevée et un potentiel d'application à des températures plus élevées. Il en résulte des applications supplémentaires, par exemple dans les zones de la structure de l'aile sujettes aux chocs (bords d'attaque de l'aile) et dans la construction du moteur. De plus, l'une des principales exigences pour les futurs composites fibreux est l'intégration fonctionnelle. Par exemple, les fonctions de la sous-structure métallique seront intégrées dans la structure composite à l'avenir (exemple : Electrical Structure Network). Dans ce cas, le défi consiste à augmenter la conductivité électrique des fibres composites de manière à répondre aux exigences élevées en matière de protection contre la foudre.



La commercialisation de l'aviation électrique du futur, en cours de développement, nécessite des structures extrêmement légères et des cabines de passagers avec un haut degré de sécurité en cas d'accident. Les composites renforcés de fibres répondent parfaitement à ces exigences.

Les thermoplastiques offrent des propriétés particulières telles que la soudabilité et des possibilités de recyclage et bénéficient donc d'une attention particulière. Des efforts intensifs sont actuellement déployés pour développer davantage cette catégorie de matériaux afin qu'elle puisse être utilisée au-delà de la gamme actuelle d'applications - principalement des éléments de fixation - pour de grandes structures intégrées dans les fuselages et les cabines d'avions. Pour les procédés de fabrication des thermoplastiques, une perspective favorable à l'intégration de fonctionnalités supplémentaires se dessine déjà.

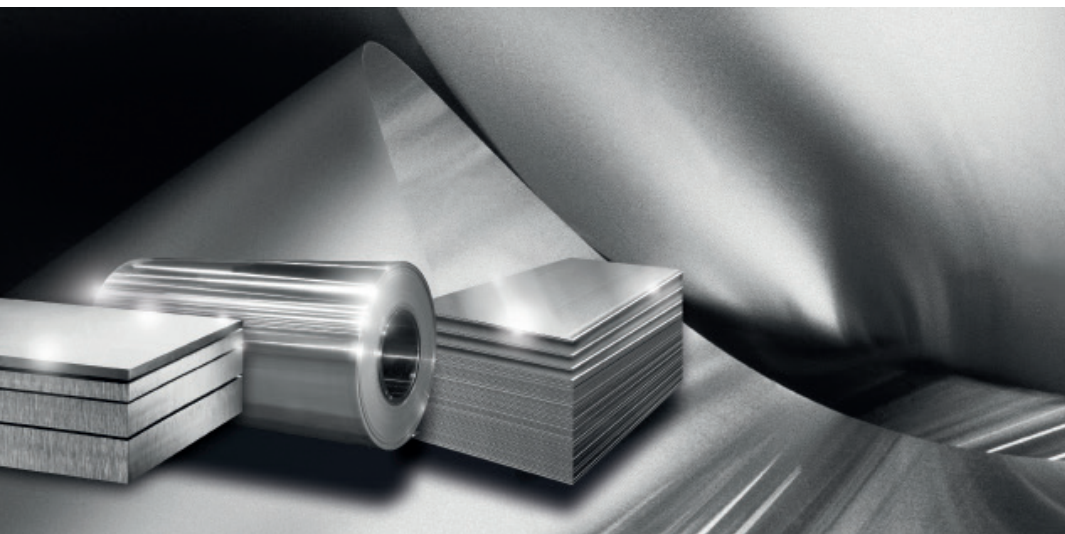


METALLE / MÉTAUX

Die Weiterentwicklung von hochwarmfesten Aluminiumlegierungen und hochfesten Aluminiumgusslegierungen wird es in Zukunft ermöglichen, Flugzeug- und Hubschrauberstrukturen noch einfacher in integraler Bauweise herzustellen. Große Gesenkschmiedeteile im Strukturbereich (Flügel, Rumpf, Leitwerk) können dabei mittlerweile aufgrund der Verfügbarkeit leistungsfähiger Schmiedepressen (Presskraft >50.000 Tonnen) aus hochfesten, schadenstoleranten Aluminiumlegierungen hergestellt werden.



Für einen Einsatz im Bereich der Rumpfbeplankung und der Schalenfertigung für Flügelstrukturen werden fortschrittliche Aluminium-Lithium- (ALLi) und Aluminium-Magnesium-Scandium- (ALMgSc) Legierungen unter Nachhaltigkeitsaspekten, d.h. entsprechender Berücksichtigung des Recyclings, weiterentwickelt.



La poursuite du développement des alliages d'aluminium haute température et des alliages d'aluminium coulé haute résistance permettra à l'avenir de produire des structures d'avions et d'hélicoptères encore plus simplement en construction intégrale. Grâce à la disponibilité de presses de forgeage performantes (force de pressage > 50 000 tonnes), il est désormais possible de fabriquer des pièces forgées de grandes dimensions (ailes, fuselage, empennage) en alliages d'aluminium très résistants et tolérants aux dommages, dans le domaine structural.



Les alliages avancés aluminium-lithium (ALLi) et aluminium-magnésium-scandium (ALMgSc) sont en cours de développement en ce qui concerne les aspects de durabilité, c'est-à-dire la prise en compte appropriée du recyclage, pour une utilisation dans le revêtement de fuselage et la production de coques pour les structures d'ailes.



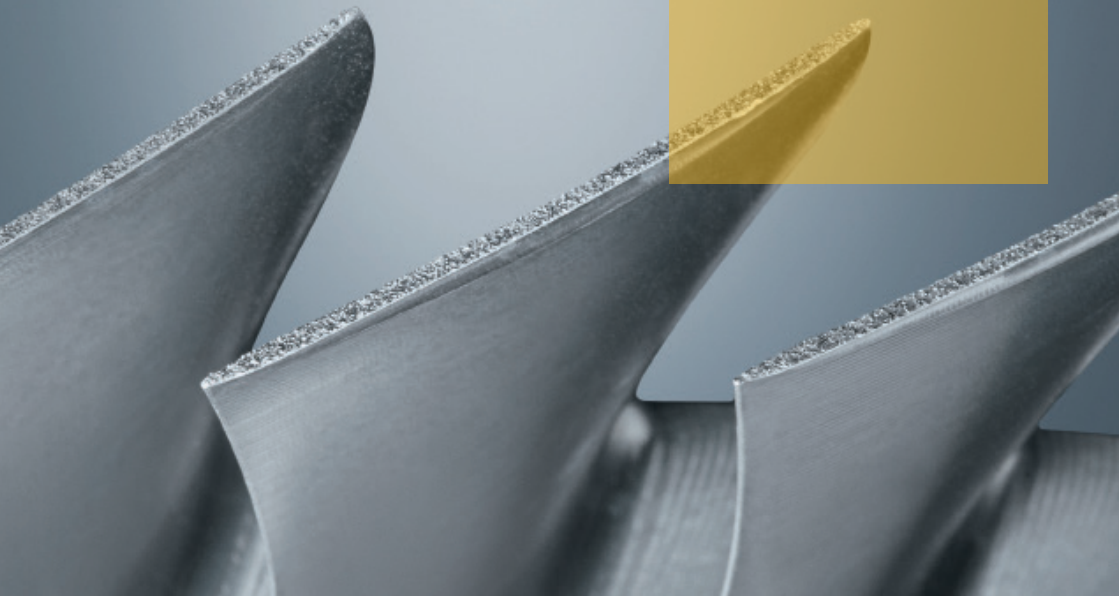
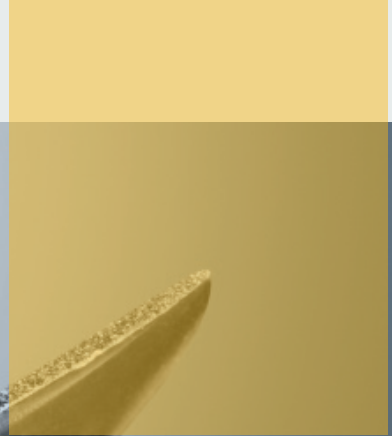
Titanlegierungen beinhalten ein hohes Leichtbaupotenzial. Durch die hohe Korrosionsbeständigkeit und die Möglichkeit der Kombination mit faserverstärkten Verbundwerkstoffstrukturen besitzen Titanlegierungen eine herausragende Bedeutung in der Luft- und Raumfahrt. Wie bei anderen Anwendungsbereichen, führt auch hier eine integrale Bauweise zu höheren Anforderungen an die Schadenstoleranz. Diese lässt sich für Titanlegierungen durch geeignete thermomechanische Behandlung bei der Rohteilherstellung erreichen.

Ein neues Anwendungsbeispiel für Titanlegierungen ergibt sich durch die Verwendung effizienterer Triebwerke mit größeren Durchmessern. Hierdurch werden die Strukturbauteile für die Triebwerksaufhängung thermisch stärker belastet, so dass warmfeste Titanlegierungen zum Einsatz kommen müssen.



Les alliages de titane ont un fort potentiel de construction légère. En raison de leur haute résistance à la corrosion et de la possibilité de combinaison avec des structures composites renforcées de fibres, les alliages de titane sont d'une importance capitale dans l'industrie aéronautique. Comme dans d'autres domaines d'application, une construction intégrale entraîne des exigences plus élevées en matière de tolérance aux dommages. Pour les alliages de titane, cela peut être obtenu par un traitement thermomécanique approprié lors de la production des ébauches.

Une nouvelle application des alliages de titane est l'utilisation de moteurs plus efficaces avec des diamètres plus grands. En conséquence, les composants structurels de la suspension du moteur sont soumis à des contraintes thermiques plus importantes, ce qui nécessite l'utilisation d'alliages de titane résistant à la chaleur.



METALLISCHE HOCHTEMPERATURWERKSTOFFE / MATÉRIAUX MÉTALLIQUES HAUTE TEMPÉRATURE

Im Heißbereich von Strahltriebwerken haben in den letzten Jahren neben Nickel-Basis-Legierungen neue intermetallische Legierungen mit geringerem spezifischen Gewicht wie Titanaluminide (TiAl) eine Schlüsselfunktion eingenommen. TiAl werden unter anderem im Feinguss oder im Near-Netshape-Guss mit und ohne Schmiedeumformung verarbeitet. Für einen nachhaltigen Erfolg der intermetallischen Legierungen müssen die aktuellen Herstellverfahren weiter in Richtung Wirtschaftlichkeit, Prozesssicherheit und Leistungsfähigkeit optimiert werden.



Die Weiterentwicklung hochwarmfester, korrosionsbeständiger Werkstoffe und Halbzeuge aus Nickellegierungen trägt im Triebwerksbau dazu bei, Effizienz und Langlebigkeit zu steigern. Neuartige Nickel-Kobalt-Legierungen, sogenannte Superalloys, bieten bereits heute Oxidationsbeständigkeit, Warmfestigkeit bis zu einer Anwendungstemperatur von über 750°C und zusätzlich eine gute Warmumformbarkeit und Schweißbarkeit. Innerhalb der Prozesskette der Herstellung von Halbzeugen aus Nickel- und Kobaltbasislegierungen werden aktuell die zukünftigen Anforderungen an neue, innovative Werkstoffe und Legierungen für höhere Anwendungstemperaturen im Triebwerk definiert.

Dans le domaine chaud des réacteurs d'avions, de nouveaux alliages intermétalliques à faible poids spécifique, tels que les aluminures de titane (TiAl), ont pris une fonction clé ces dernières années aux côtés des alliages à base de nickel. Le TiAl est traité en fonderie de précision ou en fonderie proche de la forme avec et sans forgeage. Pour assurer le succès durable des alliages intermétalliques, les procédés de fabrication actuels doivent être encore optimisés en termes de rentabilité, de fiabilité et de performance.



La poursuite du développement de matériaux et de produits semi-finis en alliages de nickel dans la construction de moteurs, résistants à la corrosion et à haute température, permet de réaliser des progrès en termes d'efficacité et de durabilité. Les nouveaux alliages nickel-cobalt, appelés superalliages, offrent déjà une résistance à l'oxydation, une résistance à la chaleur jusqu'à une température d'application supérieure à 750°C et, en outre, une bonne formabilité à chaud et bonne soudabilité. Dans le cadre de la chaîne de fabrication de produits semi-finis à partir d'alliages à base de nickel et de cobalt, les besoins futurs en nouveaux matériaux et alliages innovants, y compris le développement de procédés pour des températures d'application plus élevées dans le moteur, sont en cours de définition.

Werkstoffe aus der Klasse der Eisenaluminide (FeAl) stellen mögliche Alternativen zu hochpreisigen Titan-, Nickelbasis- und Stahllegierungen dar. Die Rohstoffe für die Produktion der Hauptelemente Eisen und Aluminium sind relativ einfach aus natürlichen Vorkommen zu gewinnen. Neben Nachhaltigkeitsaspekten und niedrigen Kosten zeichnet sich die Klasse der Eisenaluminide zusätzlich durch eine geringe Dichte sowie eine hohe Verschleißfestigkeit und ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit aus. Besonders ausgewählte Legierungen besitzen zusätzlich eine hohe Warmfestigkeit, wodurch sie sehr gut für Anwendungen in Hochtemperaturbereichen von Turbinentriebwerken geeignet sind.



FeAl-Werkstoffe haben den weiteren Vorteil, dass sie mittels konventioneller Anlagentechnik hergestellt und verarbeitet werden zu können. Zu den derzeitigen Herausforderungen für eine Überführung in die industrielle Praxis gehören eine prozesssichere und wirtschaftliche spanende Bearbeitung ebenso wie die Verfeinerung der Verarbeitungstechnik und der Ermittlung auslegungsrelevanter Eigenschaften der FeAl-Legierungen neuester Generation.

Die Werkstoffklasse der Intermetalle bietet neben den heute verfügbaren Legierungen weitere Materialsysteme mit erheblichem Gewichtsreduktionspotenzial und der weiteren Verbesserung der Temperaturbeständigkeit. Ein wichtiger Aspekt für zukünftige Entwicklungen ist dabei ein werkstoffgerechtes Bauteildesign, welches optimal das Werkstoffpotenzial unter Berücksichtigung der erforderlichen Schadenstoleranz ausnutzt.



Les matériaux de la classe des aluminures de fer (FeAl) représentent des alternatives possibles aux alliages de titane, de nickel et d'acier à prix élevé. Les matières premières pour la production des principaux éléments fer et aluminium sont relativement faciles à obtenir à partir de ressources naturelles. Outre les aspects de durabilité et les faibles coûts, la classe des aluminures de fer se caractérise par une faible densité, une grande résistance à l'usure et une excellente résistance à la corrosion. Des alliages spécialement sélectionnés ont également une résistance élevée à la chaleur, ce qui les rend très bien adaptés aux applications dans les plages de températures élevées des moteurs à turbine.

Les matériaux FeAl présentent l'avantage supplémentaire de pouvoir être produits et transformés en utilisant la technologie conventionnelle des installations. Les défis actuels pour un transfert dans la pratique industrielle sont la sécurité des processus et l'usinage économique ainsi que le perfectionnement de la technologie de traitement et la détermination des propriétés de conception pertinentes de la dernière génération d'alliages de FeAl.

En plus des alliages disponibles aujourd'hui, la classe de matériaux des intermétalliques offre d'autres systèmes de matériaux avec un potentiel de réduction de poids considérable et d'autres améliorations dans la résistance aux températures. Un aspect important pour les développements futurs est la conception de composants spécifiques au matériau qui exploite de manière optimale le potentiel du matériau tout en tenant compte de la tolérance aux dommages requise.



HYBRIDE BAUWEISEN / MÉTHODES DE CONSTRUCTION HYBRIDES



Durch die Kombination metallischer und faserverstärkter Werkstoffe ergibt sich eine Reihe neuer Chancen im Hinblick auf moderne Flugzeugstrukturen. Ein bedeutsames Element sind in diesem Zusammenhang neue Materialien für Beschichtung und Isolierung. So wird z.B. die Lebensdauer von CFK-Strukturen durch metallische Anteile zum Erosionsschutz erhöht. Neue leistungsgesteigerte Wärmedämmschichten mit reduzierter Wärmeleitung verbessern die Widerstandsfähigkeit sensibler Strukturen sowohl im Zellenbereich als auch im Triebwerksbau. Flammhemmende Beschichtungen für Metall- und CFK-Strukturen gewährleisten eine weiter verbesserte Sicherheit im Flugbetrieb.



La combinaison de matériaux métalliques et de matériaux renforcés de fibres ouvre de nouvelles perspectives dans le domaine des structures aéronautiques modernes. Dans ce contexte, les nouveaux matériaux de revêtement et d'isolation constituent un élément important. Par exemple, la durée de vie des structures en PRFC est prolongée par des composants métalliques pour la protection contre l'érosion. De nouveaux revêtements de barrière thermique aux performances améliorées et à conduction thermique réduite améliorent la résistance des structures sensibles, aussi bien dans le domaine de la cellule que dans la construction de moteurs. Les revêtements ignifuges pour les structures métalliques et les structures en CFRP assurent une sécurité accrue dans les opérations aériennes.

WERKSTOFFE DER NÄCHSTEN GENERATION / MATÉRIAUX DE LA PROCHAINE GÉNÉRATION



VON DER IDEE ZUM WETTBEWERBSFÄHIGEN PRODUKT / DE L'IDÉE AU PRODUIT COMPÉTITIF



Erst die Verfügbarkeit neuer, technologisch hochentwickelter Werkstoffe ermöglicht die Umsetzung der in der Entwicklung befindlichen revolutionären Designkonzepte für die nächste Luft- und Raumfahrzeuggeneration. Als Voraussetzung dafür müssen auch neue Methoden zur Werkstoffprüfung, zur Auslegungsoptimierung und zur Bestimmung des Werkstoffverhaltens entwickelt werden. Nur dann besteht die Aussicht wettbewerbsfähige Produkte zu realisieren.

Für zukünftige Anwendungen werden derzeit in der Grundlagenforschung eine Reihe hochinnovativer Materialien wie Graphen, Aerogele, Smart Materials oder amorphe Metalle auf ihre Eignung für multifunktionale Leichtbaustrukturen untersucht. Für Deutschland bedeutet die Industrialisierung dieser Materialien die Erreichung eines bedeutenden technologischen Meilensteins und Zukunftssicherung.

Im Heißbereich der Triebwerke versprechen faserverstärkte Keramiken (Ceramic Matrix Composites) durch die einzigartige Kombination von geringem Gewicht (ungefähr 50% von vergleichbaren Nickelbasis-Legierungen) und höchster Temperaturbeständigkeit ein hohes Potenzial zur Reduzierung des Treibstoffverbrauchs. Der Schlüssel für eine breitere Einführung faserverstärkter Keramiken sind ein werkstoffgerechtes Design sowie die Verfügbarkeit einer wettbewerbsfähigen Prozesskette von der Faser bis zum fertigen Produkt inklusive erforderlicher Oberflächenbeschichtungstechnologie.

Seule la disponibilité de nouveaux matériaux technologiquement avancés permet de mettre en œuvre les concepts de conception révolutionnaires actuellement en cours de développement pour la prochaine génération d'avions et d'engins spatiaux. De nouvelles méthodes d'essai des matériaux, d'optimisation de la conception et de détermination du comportement des matériaux doivent également être mises au point à cet effet. Ce n'est qu'à cette condition que l'on peut espérer réaliser des produits compétitifs.



Pour des applications futures, un certain nombre de matériaux très innovants tels que le graphène, les aérogels, les matériaux intelligents ou les métaux amorphes font actuellement l'objet de recherches fondamentales visant à déterminer s'ils conviennent à des structures légères multifonctionnelles. Pour l'Allemagne, l'industrialisation de ces matériaux permettra de franchir une étape technologique importante et de préserver l'avenir.

Pour des applications futures, un certain nombre de matériaux très innovants tels que le graphène, les aérogels, les matériaux intelligents ou les métaux amorphes font actuellement l'objet de recherches fondamentales visant à déterminer s'ils conviennent à des structures légères multifonctionnelles. Pour l'Allemagne, l'industrialisation de ces matériaux permettra de franchir une étape technologique importante et de préserver l'avenir.

Für den technischen Einsatz werden aktuell zwei Werkstoffgruppen faserverstärkter Keramiken entwickelt. Auf der einen Seite oxidfaserverstärkte keramische Verbundwerkstoffe mit oxidkeramischer Matrix (Ox/Ox), auf der anderen Seite Siliziumkarbid-faserverstärkte keramische Verbundwerkstoffe mit Siliziumkarbid Matrix (SiC/SiC).



Der Einsatz faserverstärkter Keramiken im Triebwerk ist eine richtungsweisende Entscheidung. Bereits heute werden erste Bauteile aus diesem Material von internationalen Wettbewerbern eingesetzt. Um faserverstärkte Keramiken auch in Europa bzw. in Deutschland für den industriellen Einsatz zu qualifizieren, laufen bereits mehrere darauf ausgerichtete Technologieprojekte.

Verbesserte numerische Auslegungsmethoden werden vor allem für Faserverbundwerkstoffe entscheidend dazu beitragen, das strukturmechanische Leistungspotenzial dieser Werkstoffe besser auszunutzen.

Deux groupes de matériaux en céramique renforcée de fibres sont en cours de développement pour une utilisation technique. D'une part, les composites céramiques renforcés de fibres d'oxyde avec matrice céramique d'oxyde (Ox/Ox), d'autre part, les composites céramiques renforcés de fibres de carbure de silicium avec matrice en carbure de silicium (SiC/SiC).



L'utilisation de céramiques renforcées de fibres dans le moteur est une décision d'avenir. Les premiers composants de ce matériau sont déjà utilisés par des concurrents internationaux. Afin de qualifier les céramiques renforcées de fibres à usage industriel en Allemagne, plusieurs projets technologiques sont déjà en cours.

L'amélioration des méthodes de conception numérique contribuera de manière décisive à une meilleure exploitation du potentiel de performance structurelle et mécanique des composites renforcés de fibres, en particulier.



HOCHEFFIZIENTE FERTIGUNGSTECHNOLOGIEN FÜR ZUKÜNFTIGE LUFT- UND RAUMFAHRZEUGE / DES TECHNOLOGIES DE FABRICATION TRÈS PERFORMANTES POUR LES FUTURS AVIONS ET VAISSEAUX SPATIAUX



Für die Umsetzung innovativer Leichtbaukonzepte ist eine Verbesserung der bestehenden Verarbeitungsverfahren erforderlich. Ebenfalls wichtig sind unterstützende Auslegungs- und Prüfverfahren wie z.B. numerische Auslegungsmethoden für ein werkstoff- und fertigungsgerechtes Design und kosteneffiziente zerstörungsfreie Prüfmethode sowie moderne kosten- und zeiteffektive Reparaturverfahren.

Bei der Verarbeitung von Faserverbundwerkstoffen stehen automatisierte Produktionsmethoden mit höheren Ablegeraten im Fokus. Bereits heute werden große Strukturen wie z.B. Rumpfbeplankungen für den Airbus A350XWB in vollautomatisierten Legeverfahren realisiert. Weiterer Entwicklungs- und Optimierungsbedarf besteht beim Materialdurchsatz pro Zeiteinheit, beispielsweise für komplexe, doppeltgekrümmte Geometrien.

Um zukünftige Produktkategorien mit potenziell hohen Stückzahlen (z.B. im Bereich Urban Air Mobility) realisieren zu können, wird die Effizienz und Flexibilität der Fertigungstechnologien maßgeblich sein.



Pour la mise en œuvre de concepts de construction légère innovants, il est nécessaire d'améliorer les méthodes de traitement existantes. Il est également important de soutenir les méthodes de conception et d'essai telles que les méthodes de conception numérique pour une conception adaptée aux matériaux et à la production, les méthodes d'essais non destructifs rentables et les méthodes de réparation modernes, économiques et rapides.

Les méthodes de production automatisées avec des taux de dépose plus élevés sont au centre du traitement des matériaux composites à base de fibres. Aujourd'hui déjà, de grandes structures telles que les planches de fuselage de l'Airbus A350XWB sont réalisées dans des processus de pose entièrement automatisés. Le développement et l'optimisation sont nécessaires pour le débit de matériau par unité de temps, par exemple pour des géométries complexes à double courbure.

L'efficacité et la flexibilité des technologies de fabrication seront décisives pour la réalisation des futures catégories de produits avec des quantités potentiellement élevées (par ex. dans le domaine de la mobilité aérienne urbaine).

Während ein höherer Automatisierungsgrad eine effizientere Verarbeitung von duromeren Prepregmaterialien ermöglicht, müssen diese in der Regel abschließend in einem Autoklavprozess konsolidiert werden. Ein hohes Potenzial zur Kostenoptimierung kann sich deshalb durch den Einsatz von Infusionstechnologien oder anderer Out-of-Autoclave-Technologien ergeben. Hierbei werden mit Epoxidharz infiltrierte Trockenfaserhalbzeuge unter einem Standard-Vakuumaufbau in einem Ofen ausgehärtet. Die Infusionstechnologie eröffnet die Perspektiven für eine kostengünstige Realisierung großflächiger und dickwandiger Integralstrukturen im industriellen Maßstab (z.B. Flügelkästen und Hochauftriebskomponenten für A320neo mit Fertigungsraten >60 Flugzeuge im Monat).



Nicht für jede Struktur ist eine voll integrale Bauweise nutzbringend. Versteifungselemente (z.B. Stringer) können mit konventionellen automatisierten Prozessen in hohen Stückzahlen kostengünstig hergestellt und anschließend mit den Strukturelementen zu versteiften Schalen verbunden werden. In diesem Zusammenhang kommt dabei dem strukturellen Kleben von CFK eine besondere Bedeutung zu. Mit einem höheren Automatisierungsgrad für die Vorbehandlung von Klebeflächen unter Einbeziehung des Klebstoffauftrags könnte ein weiterer großer Schritt in Richtung einer hocheffizienten CFK-Verarbeitung realisiert werden. Zusätzliche wichtige Aspekte bei der Weiterentwicklung der Verfahren zum Strukturkleben sind parallel zum Fertigungsprozess ablaufende Qualitätssicherungsmaßnahmen, inklusive der Bestimmung der Oberflächengüte und der Detektion eventueller Fehl- oder Schadstellen.

Bien qu'un degré d'automatisation plus élevé permette un traitement plus efficace des matériaux préimprégnés duromère, ceux-ci doivent généralement être consolidés dans un processus autoclave. Par conséquent, l'utilisation de technologies de perfusion ou d'autres technologies hors autoclave peut offrir un potentiel élevé d'optimisation des coûts. Ici, les produits semi-finis en fibres sèches infiltrées de résine époxy sont durcis dans un four sous une structure sous vide standard. La technologie de perfusion ouvre des perspectives pour la réalisation rentable de structures intégrales de grande surface et à parois épaisses à l'échelle industrielle (par ex. caissons de voilure et composants de levage pour A320neo avec des cadences de production >60 avions par mois).



Toutes les structures ne bénéficient pas d'une méthode de construction intégrale. Les éléments de raidissement (p. ex. les longerons) peuvent être fabriqués de manière rentable en grandes quantités à l'aide de procédés automatisés conventionnels, puis reliés aux éléments structurels pour former des coques raidies. Dans ce contexte, le collage structurel du CFRP revêt une importance particulière. Avec un degré d'automatisation plus élevé pour le prétraitement des surfaces de collage, y compris l'application d'adhésif, une autre étape importante vers un traitement CFRP hautement efficace pourrait être franchie. D'autres aspects importants dans le développement ultérieur des procédés de collage structurel sont les mesures d'assurance qualité qui se déroulent parallèlement au processus de production, y compris la détermination de la qualité de surface et la détection de défauts ou de dommages éventuels.



Als weiterer Werkstoff für die Realisierung von CFK-Komponenten gewinnen thermoplastische Halbzeuge immer mehr an Bedeutung. Als Besonderheit sind teilkristalline Thermoplaste schweißbar. Die Entwicklung entsprechender Prozesse zur Industrialisierung erfolgt in Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen und Instituten sowie mit spezialisierten mittelständischen Unternehmen.

Das Fügen von Duromer und Thermoplast ist bei in hybrider Technologie hergestellten Bauteilen an den jeweiligen Nahtstellen allerdings noch zu meistern.

Deutsche Zulieferer sind technologisch führend bei der Halbzeugherstellung und der Bearbeitung von Titan und Titanaluminiden. Die große Herausforderung ist die Behauptung und der weitere Ausbau dieser Technologieführerschaft im Wettbewerb mit Niedriglohnregionen. Der Schlüssel zum Erfolg liegt in der ressourcensparenden Herstellung von Rohteilen durch Near-Net-Shape-Technologie, der Weiterentwicklung der Zerspanungsprozesse, der Optimierung der Werkzeugkonzepte in Verbindung mit einem hohen Automatisierungsgrad sowie in der Entwicklung effizienter Methoden zur Qualitätsüberwachung und -sicherung.



Les produits semi-finis thermoplastiques deviennent de plus en plus importants en tant que matériau pour la réalisation de composants en CFRP. Les défis de la transformation des thermoplastiques sont similaires à ceux des duromères. Une particularité est que les thermoplastiques semi-cristallins peuvent être soudés. Le développement des processus d'industrialisation correspondants s'effectue en collaboration avec des institutions et instituts de recherche ainsi qu'avec des entreprises de taille moyenne spécialisées.

Dans ce contexte, l'assemblage des duromères et des thermoplastiques sur les joints respectifs des composants fabriqués à l'aide de la technologie hybride reste toutefois à maîtriser.

Les fournisseurs allemands sont des leaders technologiques dans la fabrication de produits semi-finis et la transformation du titane et des aluminures de titane. Le grand défi est de maintenir et d'étendre encore ce leadership technologique en concurrence avec les régions à bas salaires. La clé du succès réside dans l'économie des ressources dans la production de pièces brutes à l'aide d'une technologie de forme proche du réseau, dans le développement des processus d'usinage, dans l'optimisation des concepts d'outils en liaison avec un haut degré d'automatisation et dans le développement de méthodes efficaces pour le contrôle et l'assurance qualité.

Auf dem Gebiet der Fertigungstechnik für metallische Werkstoffe lässt sich ein bedeutendes Innovationspotenzial ausschöpfen. Moderne Schweißverfahren wie z.B. Friction Stir Welding oder Linear Friction Welding sowie fortschrittliche Umformverfahren wie das Relaxationsumformen (Creep Forming) für AlMgSc-Werkstoffe ermöglichen in Kombination mit modernen Aluminium-Legierungen eine signifikante Erhöhung von Fertigungsraten, um den industriellen Herausforderungen in Bezug auf immer höhere Bedarfe an metallischen Großstrukturen (z.B. für Rumpfschalen für Airbus A320neo) gerecht zu werden.



Für den Triebwerksbau gilt ein Hauptaugenmerk den hochpräzisen und wirtschaftlichen Fertigungstechnologien für die Verarbeitung von hochfesten Titan- und Nickel-Basislegierungen. Die für den Triebwerksbau relevanten Komponenten unterliegen im Einsatzbetrieb höchsten aerodynamischen, thermischen und strukturmechanischen Anforderungen. Eine industrielle Fertigungskompetenz für die Herstellung solcher Bauteile sichert die Wettbewerbsposition der deutschen Industrie.

Die sich in der Entwicklung befindlichen neuartigen hochfesten Werkstoffsysteme sind schwieriger umformbar, so dass verbesserte Umformverfahren entwickelt werden müssen, um das volle Potenzial dieser neuen Legierungen auszuschöpfen. Neben der weiteren Optimierung der konventionellen Bearbeitungsverfahren Fräsen, Drehen, Schleifen stehen deshalb auch Neu- bzw. Weiterentwicklungen von alternativen Verfahren an. Dies sind zum Beispiel elektro-chemische-Verfahren, die ohne Temperatur- und Kräfteinwirkung metallische Materialien hochpräzise abtragen. Neben lasergestützten Fertigungsverfahren müssen für neuartige Schichtsysteme zum Schutz vor Oxidation, Korrosion und Erosion, auch die bestehenden CVD- (Chemical Vapour Deposition) und PVD-Verfahren (Physical Vapour Deposition) weiterentwickelt werden.

Un potentiel d'innovation important peut être exploité dans le domaine de la technologie de fabrication des matériaux métalliques. Des procédés de soudage modernes tels que le soudage par friction-malaxage ou le soudage par friction linéaire ainsi que des procédés de formage avancés tels que le formage par fluage pour les matériaux AlMgSc en combinaison avec des alliages d'aluminium modernes permettent une augmentation significative des cadences de production afin de relever les défis industriels liés aux demandes toujours plus grandes de structures métalliques (par exemple pour les coques de fuselage des Airbus A320neo).



Dans la construction de moteurs, l'accent est mis sur les technologies de fabrication de haute précision et rentables pour le traitement des alliages à base de titane et de nickel à haute résistance mécanique. Les composants importants pour la construction des moteurs sont soumis aux exigences aérodynamiques, thermiques et structurelles les plus élevées pendant le fonctionnement. L'expertise industrielle pour la fabrication de ces composants garantit la position concurrentielle de l'industrie allemande.

Les nouveaux systèmes de matériaux à haute résistance en cours de développement sont plus difficiles à former, de sorte qu'il faut mettre au point des procédés de formage améliorés pour exploiter pleinement le potentiel de ces nouveaux alliages. Outre l'optimisation des procédés d'usinage conventionnels tels que le fraisage, le tournage, le meulage des développements nouveaux ou futurs de procédés alternatifs sont également en cours de développement. Il s'agit, par exemple, de procédés électrochimiques qui éliminent les matériaux métalliques avec une grande précision sans l'effet de la température ou de la force. En plus des procédés de fabrication assistés par laser, les procédés CVD (Chemical Vapour Deposition) et PVD (Physical Vapour Deposition) existants doivent également être développés pour de nouveaux systèmes de revêtement destinés à protéger contre l'oxydation, la corrosion et l'érosion.



Für hochtemperaturbeständige faserverstärkte Keramiken ist es notwendig, eine komplett neue Wertschöpfungskette vom Faserlieferanten über den Halbzeuglieferanten bis hin zu den OEM-Herstellern aufzubauen. Die Tatsache, dass keramische Materialien wie Al₂O₃ oder SiC auch als Abrasivstoffe eingesetzt werden, macht die große Herausforderung für die Entwicklung wirtschaftlicher Bearbeitungsverfahren inkl. der dazu notwendigen Prüftechnologien für diese Werkstoffe deutlich.

Hybriden Bauweisen aus Aluminium, Titan oder Superlegierungen mit und ohne Faserverbundanteil wird ein hohes technologisches und wirtschaftliches Potenzial beigemessen. Das strukturelle Kleben und Fügen in hybriden Bauweisen stellt besondere Herausforderungen an die Aktivierung der Fügeflächen und deren Integrität unter Einsatzbedingungen im Flugbetrieb. Aktuell werden für Raumfahrtanwendungen, aber auch für spezielle Anwendungen in der Verteidigungstechnik (z.B. beim Bau von unbemannten Fluggeräten) automatisierte Ablegetechniken für die Herstellung dünnwandiger hybrider Strukturen entwickelt.

Neben der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Werkstoffe und der Herstellprozesse kommt der Forschung im Bereich der Oberflächentechnik eine herausragende Bedeutung zu. Hohe Umwelt- und Arbeitsschutzanforderungen sowie strenge Vorgaben aus der europäischen Chemikalienverordnung REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals), erfordern den Ersatz bestehender Oberflächenschutzsysteme wie z.B. Beschichtungen und Lacke mit gesundheitsgefährdenden Inhaltsstoffen. Vorrangiges Ziel muss dabei die weiterhin volle Gewährleistung der notwendigen Funktionalitäten in Bezug auf Korrosions- und Erosionsschutz sowie Oberflächengüte sein.



Pour les céramiques renforcées de fibres résistantes aux hautes températures, il est nécessaire d'établir une chaîne de valeur entièrement nouvelle allant des fournisseurs de fibres aux fournisseurs de produits semi-finis et aux fabricants OEM. Le fait que des matériaux céramiques tels que l'Al₂O₃ ou le SiC soient également utilisés comme abrasifs montre clairement le grand défi pour le développement de procédés d'usinage économiques, y compris les technologies de test nécessaires pour ces matériaux.

Les méthodes de construction hybrides en aluminium, titane ou superalliages avec ou sans fibre composite sont considérées comme ayant un fort potentiel technologique et économique. Le collage structural et l'assemblage dans les méthodes de construction hybrides posent des défis particuliers à l'activation des surfaces d'assemblage et à leur intégrité dans les conditions d'exploitation en vol. Actuellement, des techniques de dépôt automatisé pour la production de structures hybrides à paroi mince sont en cours de développement pour des applications aérospatiales, mais aussi pour des applications spéciales dans la technologie de défense (par exemple, la construction de véhicules aériens sans pilote).

Outre le développement continu des matériaux et des procédés de fabrication, la recherche dans le domaine de la technologie des surfaces est d'une importance capitale. Des exigences élevées en matière de protection de l'environnement et de sécurité au travail ainsi que des exigences strictes du règlement européen sur les produits chimiques REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) nécessiteront le remplacement des systèmes de protection de surface existants tels que les revêtements et les laques contenant des ingrédients dangereux. L'objectif premier doit être de continuer à garantir pleinement les fonctionnalités nécessaires en matière de protection contre la corrosion et l'érosion ainsi que la qualité des surfaces.

In Deutschland, einem Hochlohnland mit hohen Energiekosten, verlagert sich der Fokus auf die systematische Steigerung der Produktionseffizienz. Ein wesentliches Element sind automatisierte Prozesse und die darauf aufbauende „Fabrik der Zukunft / Industrie 4.0“ in Verbindung mit einer umfassenden digitalen Vernetzung der Produktionsmittel innerhalb der Zulieferkette. Daraus resultiert die Fähigkeit der exakten Planung und Vorhersage robuster Produktionsabläufe bis hin zur Echtzeitsteuerung und -regelung.

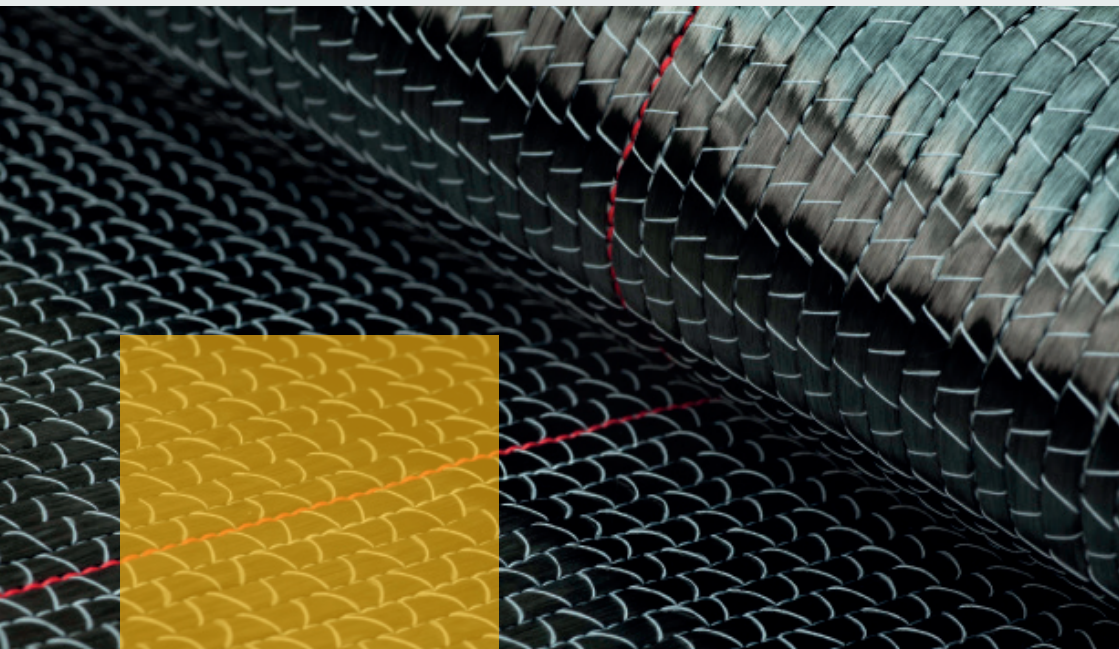


Produktionsabläufe müssen in der gesamten Prozesskette den Kriterien einer nachhaltigen Produktion entsprechen, um die ambitionierten Zielsetzungen der europäischen Luftfahrtindustrie im Rahmen der ACARE Vereinbarungen (Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe) in Bezug auf Emissions- und Lärmvermeidung zu erfüllen. Die Unterstützung auf europäischer und nationaler Ebene durch entsprechend ausgestattete und strukturierte Forschungsförderprogramme hat sich in diesem Zusammenhang als zielführend und äußerst erfolgreich erwiesen.

En Allemagne, pays où les salaires sont élevés et les coûts énergétiques élevés, l'accent est mis sur l'augmentation systématique de l'efficacité de la production. Les processus automatisés et l'"Usine du futur / Industrie 4.0" qui en découle, ainsi que la mise en réseau numérique complète des moyens de production au sein de la chaîne d'approvisionnement, en sont un élément essentiel. Il en résulte la possibilité de planifier et de prévoir avec précision des processus de production robustes jusqu'au contrôle et à la régulation en temps réel.



Les procédés de production doivent répondre aux critères de production durable tout au long de la chaîne de production afin de répondre aux objectifs ambitieux de l'industrie aéronautique européenne dans le cadre des accords ACARE (Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe) en matière de réduction des émissions et du bruit. Le soutien apporté aux niveaux européen et national par le biais de programmes de financement de la recherche bien équipés et structurés s'est révélé efficace et extrêmement fructueux dans ce contexte.



ADDITIVE FERTIGUNG / FABRICATION D'ADDITIFS



SICHERSTELLEN UND AUSBAU EINER NATIONALEN KERNKOMPETENZ / ASSURER ET DÉVELOPPER UNE COMPÉTENCE DE BASE NATIONALE



Die sich rasant entwickelnden 3D-Druck-Verfahren haben das Potenzial, die industrielle Fertigung zu revolutionieren. Das Technologieportfolio für 3D-Druck in der Luft- und Raumfahrt ist breit gestreut. Es umfasst die Herstellung von Bauteilen aus metallischen und polymeren Pulvern und Drähten bzw. Filamenten durch schichtweises Verschmelzen mittels Laser- oder Elektronenstrahl bzw. Heißdüsen. Eine Vielzahl von Anwendungen sind bereits in den Bereichen Struktur, Systemkomponenten, Kabine und im Triebwerksbau zu finden.

Optimierte 3D-gedruckte Bauteile können kurzfristig über Substitutionen in bestehenden Flugzeug- und Triebwerksprogrammen Anwendung finden. Mittel- und langfristig wird dieser Optimierungsprozess zu komplett neuen Bauweisen für zukünftige Luft- und Raumfahrzeuge führen. Topologie-Optimierungsverfahren leisten hier einen wichtigen Beitrag.

Durch die Möglichkeit der schnellen Umsetzung von Designänderung und Designoptimierung können Kundenforderungen für komplexe Systeme flexibel und in einem kurzen Zeitrahmen realisiert werden. Bei der Qualitätssicherung ist für diese Technologie eine vollautomatisierte Echtzeitauswertung von Schlüsselparametern als nächster Schritt bereits in der Entwicklung.

L'évolution rapide des procédés d'impression 3D a le potentiel de révolutionner la fabrication industrielle. Le portefeuille technologique pour l'impression 3D dans l'industrie aéronautique est très diversifié. Elle comprend la production de composants à partir de poudres et de fils ou de filaments métalliques et polymères par fusion en couches au moyen de faisceaux laser ou électroniques ou de buses chaudes. Un grand nombre d'applications peuvent déjà être trouvées dans les domaines de la structure, des composants de systèmes, de la cabine et de la construction de moteurs.



Des composants imprimés en 3D optimisés peuvent être appliqués à court terme par le biais de substitutions dans les programmes d'avions et de moteurs existants. A moyen et long terme, ce processus d'optimisation conduira à des conceptions complètement nouvelles pour les futurs avions et engins spatiaux. Les processus d'optimisation de la topologie jouent un rôle important à cet égard.

Grâce à la possibilité d'implémenter rapidement des modifications de conception et d'optimiser la conception, les exigences des clients pour des systèmes complexes peuvent être réalisées de manière flexible et dans un court délai. Dans le domaine de l'assurance qualité, une évaluation en temps réel entièrement automatisée des paramètres clés est la prochaine étape dans le développement de cette technologie.

Deutschland hat beim Gesamtprozess der verschiedenen 3D-Druck-Verfahren eine führende Position im Weltmarkt inne. Ziel ist, die Technologie der additiven Fertigung am Standort Deutschland serienreif zu machen und damit bestehende Wettbewerbsvorteile weiter auszubauen.



Bei den für 3D-Druck notwendigen Ausgangsmaterialien steht die Entwicklung geeigneter Werkstoffe im Vordergrund. Diese umfassen sowohl hochwertige Kunststoffe als auch metallische Pulver und Drähte aus Aluminium-, Titan- und Nickellegierungen für das Pulverbettverfahren und für Verfahren höherer Produktivitätsrate (High Deposition Rate Additive Manufacturing). Die mechanischen Eigenschaften polymerbasierter 3D-Druck-Bauteile können durch Integration von Fasern (kurz, lang, endlos) verbessert werden.

Die Wirtschaftlichkeit der additiven Verfahren hängt in großem Maße von ihrer Prozessstabilität und der Kosteneffizienz vor- und nachgeschalteter Bearbeitungsprozesse ab. Daneben werden erhebliche Anstrengungen für die Entwicklung von Prozessen, Verfahren und Technologien zur Qualitätsüberwachung und -sicherung additiv hergestellter Bauteile unternommen. Bedarf besteht darüber hinaus an leistungsfähigen physikalisch basierten Simulationsverfahren für Werkstoffe und für den Druckprozess, um das Prozessverständnis weiter zu vertiefen. Mitentscheidend für den breiteren Einsatz der Technologie ist die Verfügbarkeit experimentell validierter Berechnungsverfahren. Diese müssen in der Lage sein, die Bauteillebensdauer und die Schadenstoleranz unter Berücksichtigung verfahrensbedingter Eigenspannungen sowie innerer und äußerer prozessbedingter Fehlstellen vorherzusagen. Bei 3D-gedruckten Bauteilen im Triebwerk ist zusätzlich der Einfluss der mechanischen, thermischen und chemischen Betriebslasten zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere auch bei Reparaturverfahren auf der Basis von 3D-Druckverfahren, bei denen die Betriebssicherheit und die erzielbare Lebensdauererweiterung numerisch abgeschätzt und experimentell validiert werden muss.

L'Allemagne occupe une position de leader sur le marché mondial pour l'ensemble du processus des différents procédés d'impression 3D. L'objectif est de rendre la technologie de fabrication d'additifs prête pour la production en série en Allemagne et de renforcer ainsi les avantages concurrentiels existants.



Le développement de matériaux adaptés aux matières premières nécessaires à l'impression 3D est une priorité. Il s'agit notamment de matières plastiques de haute qualité, de poudres métalliques et de fils en aluminium, en titane et en alliages de nickel pour le procédé en lit de poudre et pour les procédés ayant un taux de productivité supérieur (High Deposition Rate Additive Manufacturing). Les propriétés mécaniques des composants d'impression 3D à base de polymères peuvent être améliorées en intégrant des fibres (courtes, longues, sans fin).

L'efficacité économique des procédés additifs dépend dans une large mesure de leur stabilité et de la rentabilité des procédés d'usinage en amont et en aval. En outre, des efforts considérables sont déployés pour mettre au point des procédés, des procédures et des technologies de contrôle et d'assurance de la qualité des composants fabriqués par addition. En outre, il est nécessaire de disposer de puissants processus de simulation physique des matériaux et du processus d'impression afin d'approfondir la compréhension du processus. La disponibilité de méthodes de calcul validées expérimentalement est également décisive pour une utilisation plus large de la technologie. Ceux-ci doivent être capables de prédire la durée de vie des composants et la tolérance aux dommages, en tenant compte des contraintes résiduelles liées au processus ainsi que des défauts internes et externes liés au processus. Dans le cas de composants du moteur imprimés en 3D, l'influence des charges mécaniques, thermiques et chimiques doit également être prise en compte. Ceci s'applique en particulier aux procédures de réparation basées sur des procédés d'impression 3D, où la sécurité de fonctionnement et la prolongation de la durée de vie réalisable doivent être estimées numériquement et validées expérimentalement.

GRÜNE TECHNOLOGIEN FÜR DIE WELT VON MORGEN / TECHNOLOGIES VERTES POUR LE MONDE DE DEMAIN



Die Erhöhung der Effizienz sowohl der Werkstoffe als auch der Fertigungstechnologien stellen einen signifikanten Beitrag zum Umweltschutz dar. Energiebedarf, Wasserverbrauch und Emissionen werden in der kompletten Prozesskette weiter drastisch gesenkt. Modernste Fertigungsverfahren garantieren eine optimale Nutzung der hochwertigen Materialien, die in der Luft- und Raumfahrttechnik Verwendung finden.

Durch die konsequente Weiterentwicklung von Faserverbund- und metallischen Werkstoffen und den Technologien an den Schnittstellen dieser Materialgruppen werden hybride Strukturen (z.B. Metall/CFK) und ein hybrides Design ermöglicht. Dies führt auch zur Entwicklung neuer Werkstoffkonzepte für Anwendungen bei neuen innovativen elektrischen Antrieben und Energiespeichersystemen, wie sie für Unmanned Aerial Vehicle (UAV) und Urban Air Mobility (UAM) entwickelt werden.



L'amélioration de l'efficacité des matériaux et des technologies de fabrication est une contribution importante à la protection de l'environnement. Les besoins en énergie, la consommation d'eau et les émissions sont considérablement réduits tout au long de la chaîne du processus. Des procédés de fabrication ultramodernes garantissent une utilisation optimale des matériaux de haute qualité utilisés dans la technologie aérospatiale.

Grâce au développement constant des matériaux composites fibreux et métalliques et des technologies à l'interface de ces groupes de matériaux, des structures hybrides (par ex. métal/CFRP) et une conception hybride sont rendues possibles. Cela conduit également au développement de nouveaux concepts de matériaux pour des applications dans de nouveaux entraînements électriques et systèmes de stockage d'énergie innovants, tels que ceux développés pour les domaines des drones (UAV) et de la mobilité aérienne urbaine (UAM).

Eine zusätzliche Herausforderung für die Entwicklung neuer Werkstofftechnologien ergibt sich aus den Erfordernissen der bereits genannten europäischen Chemikalienverordnung REACH. Mit der Entwicklung einer komplett chromat- und cadmiumfreien Prozesskette erfüllt die deutsche Werkstoffindustrie im Verbund mit globalen Partnern die strengen Anforderungen hinsichtlich ökologisch verträglicher Prozesse.



Im Rahmen der mit den REACH-Anforderungen verbundenen Weiterentwicklungen aktueller Lacksysteme und Oberflächentechnologien, liegt ein besonderes Augenmerk auf der Entwicklung von Oberflächensystemen mit selbstreinigenden Eigenschaften, verbessertem Korrosionsschutz, einem aktiven Beitrag zur Minimierung des Oberflächenwiderstandes sowie einem vergrößerten Funktionsspektrum (Functional Coatings).

Weitere Anstrengungen werden auf dem Gebiet der Wiederverwendung unternommen. Ein geschlossener Materialkreislauf, wie er für Aluminium- bzw. Nickellegierungen bereits etabliert ist, ist auch für die strategisch wichtige Werkstoffgruppe der Titanlegierungen von herausragender Bedeutung. Auch bei den CFK-Werkstoffen liegt ein Fokus auf der Wiederverwendung. Technische Schwierigkeiten, Polymer und Carbonfaser zu trennen, führten lange Zeit dazu, dass Faserverbundverschnitt lediglich thermisch verwertet oder als Füllmaterial im Spritzguss eingesetzt wurde.

werden Abfälle mit geringem zusätzlichem Aufwand einer Wiederverwertung zugeführt, z.B. als neues Ausgangsmaterial für das Spritzgießen von Befestigungswinkeln im Kabinenbereich. Der zweite Pfad zielt darauf ab, die hochwertige Carbonfaser weitgehend ohne Eigenschaftseinbußen rückzugewinnen. Faser und Polymermatrix werden hierbei durch Pyrolyse voneinander getrennt und die so gewonnen Carbonfasern z.B. zu Filzmatten verpresst und danach wieder mit Polymermaterial imprägniert.

Eine nachhaltige Produktgestaltung und -herstellung zielt auf Recyclingraten von 95% bis 100% bis zum Jahr 2050 für das Gesamtsystem Verkehrsflugzeug.

Un défi supplémentaire pour le développement de nouvelles technologies de matériaux résulte des exigences du règlement européen REACH sur les produits chimiques déjà mentionné. Avec le développement d'une chaîne de processus entièrement exempte de chromate et de cadmium, l'industrie allemande des matériaux, en collaboration avec des partenaires mondiaux, satisfait aux exigences strictes des processus écologiquement compatibles.



Dans le cadre du développement des systèmes de peinture et des technologies de surface actuels associés aux exigences de REACH, une attention particulière est accordée au développement de systèmes de surface avec des propriétés autonettoyantes, une meilleure protection contre la corrosion, une contribution active à la réduction de la résistance des surfaces et un spectre fonctionnel étendu (revêtements fonctionnels).

Des efforts supplémentaires sont déployés dans le domaine de la réutilisation. Un cycle fermé des matériaux, comme c'est déjà le cas pour les alliages d'aluminium et de nickel, est également d'une importance capitale pour le groupe de matériaux stratégiquement important des alliages de titane. Les documents du PRFC sont également axés sur la réutilisation. Pendant longtemps, les difficultés techniques liées à la séparation des fibres de polymère et de carbone ont conduit à l'utilisation du mélange composite de fibres uniquement à des fins thermiques ou en tant que matériau de charge dans le moulage par injection.

Les approches modernes de recyclage suivent essentiellement deux voies de développement. Dans le premier cas, les déchets sont recyclés avec peu d'efforts supplémentaires, par exemple comme nouveau matériau de départ pour le moulage par injection des équerres de fixation dans la cabine. La deuxième voie vise à récupérer la fibre de carbone de haute qualité sans perte de propriétés. Les fibres et la matrice polymère sont séparées l'une de l'autre par

pyrolyse et les fibres de carbone qui en résultent sont pressées dans des matelas de feutre, par exemple, puis imprégnées à nouveau de matériau polymère.

La conception et la fabrication de produits durables visent des taux de recyclage de 95 % à 100 % d'ici 2050 pour l'ensemble du système des avions commerciaux.

SIMULATION ZUR LEISTUNGSSTEIGERUNG UND VERKÜRZUNG DER ENTWICKLUNGSZYKLEN / SIMULATION POUR AUGMENTER LA PERFORMANCE ET RACCOURCIR LES CYCLES DE DÉVELOPPEMENT



Simulation ist die Lösung für die Erreichung notwendiger kürzerer Innovationszyklen. Sie ermöglicht eine vorgeschaltete virtuelle Entwicklung und den Test von neuen Luftfahrzeugkonzeptionen bei gleichzeitiger zulassungsrelevanter Nachweisführung.

Im Bereich der Werkstoff- und der Herstellprozessentwicklung hat sich die computergestützte Simulation inzwischen zu einem wesentlichen Erfolgsfaktor entwickelt. Die strategische Bedeutung einer prozesskettenübergreifenden Simulation im Sinne eines Integrated Computational Materials Engineerings (ICME) wurde dabei frühzeitig erkannt. Es gibt eine Vielzahl von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auf diesem Gebiet. Dennoch sind die zurzeit vorhandenen ICME-Werkzeuge für die Werkstoff- und Prozessentwicklung im Wesentlichen nur bei der Analyse spezieller Fragestellungen hilfreich. Eine übergreifende Prozesskettenbetrachtung ist noch nicht erreicht. Erst mit zunehmender Vorhersagegenauigkeit von Simulations-Werkzeugen, einer Standardisierung und der Verknüpfung von Simulationsplattformen wird der Nutzen der ICME für die Werkstoff- und Prozessentwicklung das notwendige Niveau erreichen.

Es ist unabdingbar, 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, Bauteile lange vor der physischen Verfügbarkeit zuverlässig zu optimieren und Zeitvorteile zu realisieren. Das „Virtuelle Luftfahrzeug“ oder der „Digitale Zwilling“ muss als Abbild des realen Produktes alle benötigten Entwicklungsdaten in Bezug auf die Gesamtheit der Eigenschaften und Fähigkeiten zur Verfügung stellen.

Viele Voraussetzungen für das „Virtuelle Luftfahrzeug“ sind im Rahmen des deutschen Luftfahrt-Forschungsprogramms (LuFo) bereits erarbeitet worden. Deutschland ist mit seiner breit aufgestellten Erfahrung und Kompetenz im Bereich der Simulation prädestiniert, eine Führungsrolle in diesem Bereich einzunehmen.



La simulation est la solution pour raccourcir les cycles d'innovation nécessaires. Il permet le développement virtuel et l'essai en amont de nouveaux concepts d'avions avec vérification simultanée de leur pertinence pour la certification.

Dans le domaine du développement des matériaux et des procédés de fabrication, la simulation assistée par ordinateur est devenue un facteur clé de succès. L'importance stratégique de la simulation de la chaîne de processus croisée dans le sens de l'ingénierie intégrée des matériaux par ordinateur (ICME) a été reconnue très tôt. Il existe de nombreux projets de recherche et développement dans ce domaine. Néanmoins, les outils ICME actuellement disponibles pour le développement des matériaux et des procédés ne sont essentiellement

utiles que pour l'analyse de problèmes particuliers. Une analyse complète de la chaîne de processus n'a pas encore été réalisée. Ce n'est qu'en augmentant la précision de prédiction des outils de simulation, en normalisant et en reliant les plates-formes de simulation que les avantages d'ICME pour le développement des matériaux et des procédés pourront atteindre le niveau nécessaire.

Il sera indispensable de simuler d'abord l'avion conceptuellement dans l'ordinateur en tenant compte de toutes les exigences de développement et de fabrication et de le "piloter" dans des conditions réalistes générées par un logiciel. Il est ainsi possible d'optimiser de manière fiable les composants bien avant qu'ils ne deviennent physiquement disponibles et de réaliser des gains de temps. L'"avion virtuel" ou le "jumeau numérique" doit fournir toutes les données de développement requises en ce qui concerne toutes les propriétés et capacités comme image du produit réel.

Dans le cadre du programme de recherche aéronautique allemand (LuFo), de nombreuses conditions préalables pour l'"avion virtuel" ont déjà été développées. Grâce à sa vaste expérience et à ses compétences dans le domaine de la simulation, l'Allemagne est prédestinée à jouer un rôle de premier plan dans ce domaine.





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 Daten und eine übergreifende Zusammenarbeit bei der Detailentwicklung sicher. In diesem Zusammenhang muss die IT-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.

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 dafür der bestimmende Faktor. Die Simulation erfasst neben dem physikalischen Verhalten der Strukturen auch die Optimierung der Herstellprozesse und der Fertigungskosten.



Le modèle virtuel forme également le pont entre le produit et la chaîne d'approvisionnement. Dans le processus de développement, il assure la mise en réseau précoce au sein de la chaîne d'approvisionnement, l'échange de données et une coopération globale dans le développement détaillé. Dans ce contexte, la standardisation informatique, la mise en réseau et la disponibilité d'ordinateurs performants doivent être garanties. Sur cette base, les applications Cloud spécifiques à l'industrie ouvriront de nouvelles possibilités d'interaction et de communication transnationales dans le domaine de la logistique industrielle et de la conception axée sur l'automatisation.

La réduction des temps de développement des produits est un facteur de succès décisif pour assurer la compétitivité sur le marché international. La position sur le marché peut être renforcée par une intégration plus poussée des différentes disciplines de l'ingénierie dès les premiers stades du développement des produits. L'intégration des capacités de simulation numérique correspondantes et des outils de conception virtuelle en est le facteur déterminant. Outre le comportement physique des structures, la simulation enregistre également l'optimisation des procédés de fabrication et des coûts de fabrication.

LUFTFAHRT-SUPPLY-CHAIN 4.0 / CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT DE L'AVIATION 4.0



Die Umsetzung des Hightech-Strategieprojektes „Industrie 4.0“ in der Luftfahrtindustrie weist einen hohen Grad an Komplexität auf:

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

Um die neuen Technologien im Zusammenhang mit der „Fabrik der Zukunft“ zu erproben und die Risiken einer Produktionsumstellung abzuschätzen, ist deren Beherrschbarkeit in einer Modellumgebung zu demonstrieren. Damit kann die Einführung neuer Technologien und Materialkonzepte bei gleichzeitig ansteigendem Hochlauf der Produktionszahlen – eine der zentralen, stetigen Herausforderungen in der Luft- und Raumfahrtindustrie – mit überschaubarem Risiko erfolgen.

Zu den kurzfristigen Zielen gehören die Vernetzung von Produktionsmitteln und die automatische Erfassung und Erkennung von 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 im Produktionsumfeld.

Eine digitale Fabrik beinhaltet die Fähigkeiten zur genauen Planung und Vorhersage der Produktionsprozesse bis hin zur Echtzeitverfolgung und Steuerung der Produktionsabläufe. 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.

Bei den deutschen Unternehmen in der Luft- und Raumfahrt findet, entgegen dem Trend in manch anderen Branchen, ein großer Teil der Wertschöpfung im eigenen Land statt. Dies wird insbesondere durch Erhöhung des Automatisierungsgrades in der Fertigung sowie die fortwährende Optimierung der Prozessgestaltung und der Qualitätskontrolle ermöglicht.

La mise en œuvre du projet de stratégie high-tech "Industry 4.0" dans l'industrie aéronautique est très complexe:



- *L'aspect sécurité est déterminant pour le cycle de vie complet de l'avion. La chaîne d'approvisionnement doit répondre à des exigences élevées en matière de sécurité.*
- *Un avion est un produit techniquement très complexe. Les gros avions se composent de plus d'un million de pièces détachées.*
- *Le marché exige une grande flexibilité dans l'adaptation et la configuration des avions de base et de l'intérieur selon les besoins des clients.*
- *La chaîne de valeur est internationale et comprend un grand nombre de fournisseurs. Le développement, la production, le service, la logistique et la maintenance sont généralement répartis sur de nombreux sites.*

Afin de tester les nouvelles technologies dans le cadre de "l'usine du futur" et d'évaluer les risques d'un changement de production, leur contrôlabilité doit être démontrée dans un environnement modèle. Cela signifie que l'introduction de nouvelles technologies et de nouveaux concepts de matériaux peut se faire avec un risque gérable, alors que les chiffres de production augmentent en même temps - l'un des défis centraux et constants de l'industrie aérospatiale.

Des objectifs à court terme font partie la mise en réseau des moyens de production ainsi que l'enregistrement et la reconnaissance automatiques des composants, y compris leur position, leur forme et leurs écarts par rapport aux caractéristiques de qualité définies. L'objectif à moyen et long terme est la mise en œuvre de processus automatisés, tolérants aux pannes, qui permettent d'apporter des corrections indépendantes en cas d'écarts, ainsi qu'une meilleure coopération entre les personnes et les machines équipées de capteurs intelligents dans l'environnement de production

Une usine numérique permet de planifier et de prédire avec précision les processus de production, y compris le suivi et le contrôle en temps réel des opérations de production. L'objectif est l'acquisition continue de données dans le flux de production, y compris la modélisation de la production et la simulation de processus, ainsi qu'une visualisation avancée jusqu'à l'utilisation de la "Réalité Augmentée", l'expansion artificielle des connaissances et des sens.

Contrairement à la tendance observée dans de nombreux autres secteurs, une grande partie de la valeur ajoutée des entreprises aérospatiales allemandes se fait au niveau national. Ceci est rendu possible en particulier par l'augmentation du degré d'automatisation de la production et l'optimisation continue de la conception des processus et du contrôle qualité.

IMPRESSUM / EMPREINTE:

BILDNACHWEISE/FOTOS: ADOBE STOCK, AIRCRAFT PHILIPP GROUP, ALERIS, HEXCEL, DLR, MTU AERO ENGINES,
KAI MYLLER, PIXABAY, ROLLS ROYCE, SIEMENS, NICK ROCHOWSKI

HERAUSGEBER / ÉDITEUR:

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

ATRIUM Friedrichstr. 60
10117 Berlin
+49 (0)30 206140-0
kontakt@bdli.de
www.bdli.de

Verantwortlich / Responsible: Cornelia von Ammon
Layout/ Conception: Katja Zehe

Juni/Juin 2020

