

Ökoeffiziente Material- und Prozesstechnologien für die Luft- und Raumfahrt von morgen

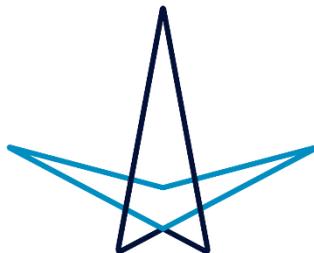
White Paper

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

Fachbereich Werkstoffe – Verfahren – Bauweisen

Leitung, Zusammenstellung und Herausgabe:
Ulf Breuer, Christian Weimer

Oktober 2020



DGLR

Inhalt

Autoren und Mitglieder der Arbeitsgruppe	3
Hintergrund	4
Genesis	6
Herausforderungen	7
Notwendige Befähigungen und Schlüsseltechnologien.....	10
Handlungsempfehlungen.....	12
Zusammenfassung	13
Quellen.....	14

Autoren und Mitglieder der Arbeitsgruppe

(in alphabetischer Reihenfolge)

Ulf Breuer und Nicole Motsch
Institut für Verbundwerkstoffe GmbH

Ralph Funck
CirComp GmbH

Marco Göttinger
Voith Group

Thomas Herkner
GKN

Moritz Hübler
CompActive GmbH

Markus Klingseis
Diehl Aviation

Jens Klüsener und Christian Weimer
Airbus

Michael Kupke und Florian Krebs
DLR Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie

Jörg Meyer
Liebherr

Peter Middendorf und Stefan Carosella,
Institut für Flugzeugbau, Technische Universität Stuttgart

Christian Mittelstedt und Andreas Kappel,
Fachgebiet für konstruktiven Leichtbau und Bauweisen, Technische Universität Darmstadt

Jarlath McHugh
MT Aerospace

Frank Mund und Hans-Christian Kobow
Hexcel

Alexander Sänger und Klaus Kalmer
Premium Aerotec GmbH

Alexander Schult
Rolls-Royce Deutschland Ltd Co KG

Martin Schütt, Henrik Schmutzler
Lufthansa Technik

Markus Steeg
Automation - Steeg und Hoffmeyer GmbH

Martin Wiedemann
DLR Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

Bernd Wohlmann, Willem Jan ter Steeg
Teijin Carbon Europa GmbH

Joachim Zettler
Apworks

Hintergrund

Der Fachbereich "Werkstoffe - Verfahren - Bauweisen" der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt - Lilienthal - Oberth e.V. hat sich zum Ziel gesetzt, den vorwettbewerblichen Austausch und die Diskussionen von Luft- und Raumfahrzeugh Herstellern, -zulieferern und KMU sowie ihren Forschungspartnern aus der Wissenschaft zu ökoeffizienten Material- und Prozesstechnologien weiter zu verbessern. Hiervon sind sämtliche Werkstoffklassen betroffen.

Auf diese Weise sollen wichtige Beiträge zu den Vorgaben der *UN Sustainable Development Goals* und den *Green Deal* - Zielen der Europäischen Kommission sowie der deutschen Bundesregierung ermöglicht, die Forschung und Entwicklungen vielversprechender neuer Technologien beschleunigt, der Technologietransfer gefördert und die Marktposition der beteiligten Unternehmen nachhaltig verbessert werden.

Um dieses Ziel zu erreichen wurden in einer Arbeitsgruppe mit Vertretern namhafter Hersteller, Zulieferer und Forschungseinrichtungen in gemeinsamen Workshops Herausforderungen, Schlüsseltechnologien und mögliche Lösungsansätze sowie wichtige Handlungsempfehlungen für ökoeffiziente Material- und Prozesstechnologien der Zukunft identifiziert.

Das vorliegende White Paper fasst die wesentlichen Ergebnisse zusammen.

Die DGLR wird die Ergebnisse nutzen, um gegenüber Entscheidungsträgern in Wirtschaft, Wissenschaft und Politik Handlungsempfehlungen auszusprechen, sich auf nationaler und europäischer Ebene für die notwendige Forschungsförderung einzusetzen und die Zusammenarbeit entlang der Wertschöpfungskette zu initiieren und zu begleiten.

Vorbemerkung aus Anlass der COVID-19-Pandemie

Die Grundlagen der Erarbeitung dieses Papiers erfolgten noch vor dem Ausbruch der COVID-19-Pandemie, der Verhängung einschneidender Maßnahmen in Europa und weltweiter wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Konsequenzen. Aus Sicht der Arbeitsgruppe werden die Relevanz der Ergebnisse und die Handlungsempfehlungen durch die Pandemie und ihre Folgen jedoch in keiner Weise verringert, sondern eher noch weiter verstärkt:

- Der wirtschaftliche Druck auf Hersteller und Betreiber hat durch die Pandemie weiter zugenommen. Verbesserungen von Werkstoffen, Verfahren und Bauweisen müssen noch stärker zur Effizienzsteigerungen beitragen und zusätzlich weitere Systemanforderungen erfüllen (z.B. f. *Zero-Emission Aircraft*).
- Die Diskussionen um das berechnete Sicherheitsbedürfnis der Nutzer von Transportmitteln führen zu einer Verstärkung der Herausforderungen für fortschrittliche Lösungen gerade auch im Bereich der Werkstoffe, Verfahren und Bauweisen.
- Die Entwicklungen auf nationaler und internationaler Ebene untermauern die Bedeutung eines regelmäßigen Informationsaustausches sowie eines abgestimmten Vorgehens zwischen Wirtschaft, Wissenschaft und Politik. Die Arbeitsgruppe möchte deswegen dazu beitragen, dafür bereits bestehende Instrumente im Bereich der Werkstoffe, Verfahren und Bauweisen noch besser zu nutzen und wo sinnvoll um neue Möglichkeiten zu ergänzen.
- Die Pandemie hat die Auswirkungen auf bestehende Lieferketten deutlich gemacht und Abhängigkeiten in einzelnen Bereichen aufgezeigt (z.B. Rohstoffe, Zwischenprodukte). Die Notwendigkeit einer ganzheitlichen Betrachtung der Lieferketten im Hinblick auf Robustheit und Auswirkungen auf die Effizienz der Produktionssysteme wird infolge der COVID-19-Pandemie verstärkt sichtbar.

Genesis



Bild 1: Genesis des White Paper
*„Ökoeffiziente Material- und Prozesstechnologien
für die Luft- und Raumfahrt von morgen“*

Herausforderungen

Vor dem Hintergrund der *Sustainable Development Goals* der Vereinten Nationen [1], der Vorgaben der Europäischen Union [2-6], den Zielen des Luftfahrtforschungsprogramms der Bundesregierung [7], der globalen wettbewerblichen Herausforderungen und der erwarteten Entwicklung der Märkte [8-9] sowie wichtigen industriepolitischen und gesellschaftlichen Aspekten [10] werden für ökoeffiziente Material- und Prozesstechnologien für zukünftige Produkte Herausforderungen in den Bereichen **Nachhaltigkeit**, **Sicherheit** und **Wirtschaftlichkeit** gesehen, Bild 2:

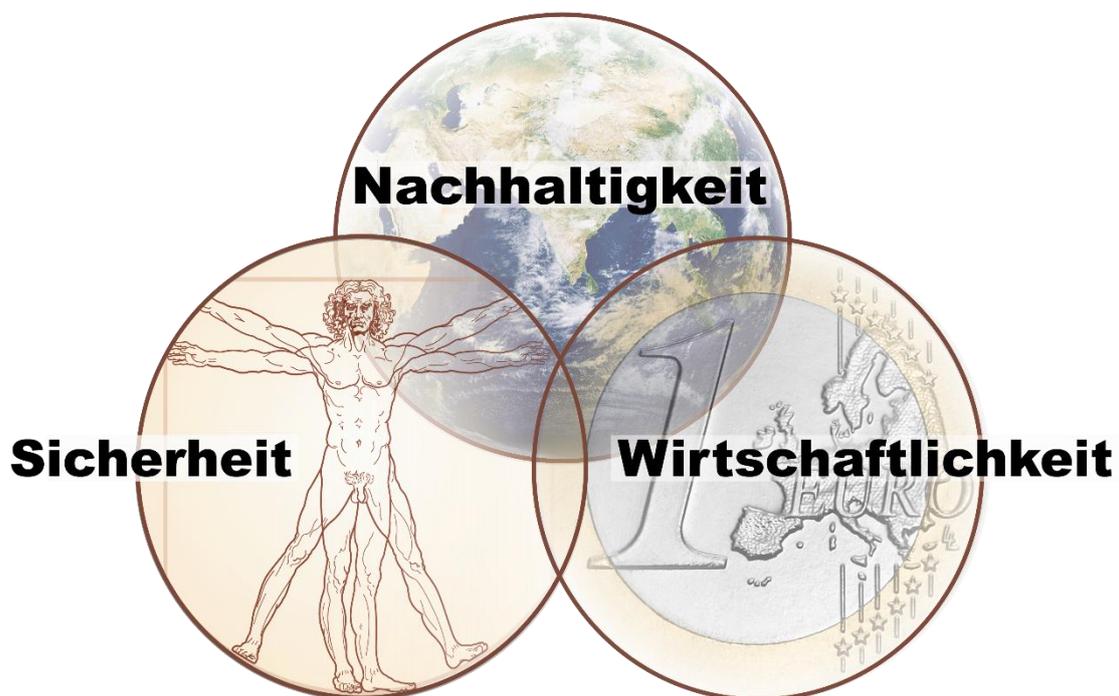


Bild 2: Herausforderungen Ökoeffizienter Material- und Prozesstechnologien:
Erforderlich sind nachhaltige, sichere und wirtschaftliche Materialien und Prozesse.

- **Nachhaltigkeit**

Die Arbeitsgruppe geht für die kommenden Jahre von weiteren regulatorischen Vorgaben und Verschärfungen insbesondere in Bezug auf die Reduktion von klimaschädlichen Emissionen („Emissionsfreies Fliegen“), Lärm und verbesserter Nachhaltigkeit im Sinne von Ressourcenschonung bei Herstellung und Betrieb, Vermeidung von Abfall sowie langlebigerer und möglichst vollständig wiederverwertbarer Strukturen bzw. Materialien aus.

Bei der zukünftigen Materialauswahl wird noch stärker als bislang der gesamte Lebenszyklus, beginnend beim Bezug der Rohmaterialien bis zu ihrer Wiedereinspeisung (u.a. durch Trennung von Multimaterialbauweisen bei *End of Life*), mit der beteiligten Lieferkette zu berücksichtigen sein.

- **Sicherheit**

Sowohl aus Vorgaben der EU sowie aus gesellschaftlicher Erwartungshaltung für die weitere Erhöhung der Sicherheit der Transportsysteme in Bezug auf eine Verringerung verletzter oder getöteter Personen ergeben sich Herausforderungen beispielsweise zur Verbesserung der Langzeitbeständigkeit, der Schadenstoleranz und zerstörungsfreier Prüfung tragender Strukturen sowie der Eigenschaften bei Crash und im Brandfall.

Weitere Herausforderungen ergeben sich auch im Hinblick auf regulatorische Vorgaben durch die Möglichkeiten der Digitalisierung bei Material- und Prozeßqualifikationen sowie der Verifikation von Nachweisführungen für die Zertifizierung in Form von *Virtual Testing*.

Hinzu kommen Herausforderungen bezüglich der Verbesserungen der Arbeitssicherheit sowie der Sicherheit von Produktionssystemen.

- **Wirtschaftlichkeit**

Wie in anderen Branchen muss auch für die Luft- und Raumfahrt eine Verlagerung wertschöpfender Produktionsprozesse insbesondere in den asiatischen Raum befürchtet werden. Zusätzlich drängen Anbieter aus USA, Asien und Russland nicht nur auf eigene, sondern auf internationale Märkte. Notwendig zur Stärkung europäischer Anbieter im Sinne von Wettbewerbsfähigkeit und *Technology Leadership* sind deswegen *Differentiating Structure Technologies*, die nicht in kurzer Zeit durch Dritte kopierbar sind.

Die erwarteten enormen Zuwächse und der Bedarf an neuen Transportsystemen bei gleichzeitiger Substitution alter Systeme bedeutet eine große Herausforderung im Hinblick auf die zu produzierenden Stückzahlen. Die Mehrkosten für umweltverträglichen Leichtbau auf der Herstellerseite dürfen den Mehrwert, der dadurch im Betrieb erreicht wird, nicht übersteigen. Daraus ergeben sich auch weiterhin große Herausforderungen für die Reduktion der Herstellkosten von Leichtbaustrukturen. Dabei geht die Arbeits-

gruppe von einer Zunahme der Nachfrage nach individualisierten Produkten und Strukturen aus, woraus sich besonders große Herausforderungen für die Material- und Produktentwicklung sowie für die Produktion ergeben.

In der Luftfahrt beträgt die übliche Dauer zur Entwicklung neuer Fluggeräte über 7 Jahre, in der Raumfahrt erheblich länger. Verkürzungen dieser Zeit zur Reduktion von Entwicklungskosten und Verbesserung der Position am Markt (*Time to Market*) bedeuten enorme Herausforderungen in Bezug auf die Beschleunigung der Qualifikation neuer Materialien und Prozesse, der Entwicklung und Fertigung von Produktionsmitteln (*Long Lead Time Items*) sowie die Produktentwicklung und Nachweisführung (*Tests*).

Notwendige Befähigungen und Schlüsseltechnologien

Um den o.a. Herausforderungen begegnen zu können, hat die Arbeitsgruppe folgende notwendigen Befähigungen bzw. Schlüsseltechnologien identifiziert (*Auflistung entlang der Wertschöpfungskette*):

- **Ausbildung und Training**
Erforderlich sind multidisziplinär ausgebildete Fachkräfte, deren bisherige Fähigkeiten und Fertigkeiten der klassischen Ingenieurwissenschaften gezielt vor allem durch Informatikkompetenz (Befähigung zur eigenständigen Programmierung, Datenmanagement, Anwendung von KI-Methoden wie bspw. Neuronale Netzwerke und *Machine Learning*) und mechatronische Kompetenzen ergänzt wird.
- **Life Cycle Analysis**
Erforderlich sind ganzheitliches Verständnis und standardisierte Methoden, mit denen zielgerichtete Analysen bzgl. der ökologischen Auswirkungen von Materialien und Prozessen auf Basis geprüfter und transparenter Daten ermöglicht werden.
- **Nachhaltige und Multifunktionale Materialien**
Hierunter werden innovative Materialien für lasttragende Strukturen mit erhöhtem Leichtbaupotential verstanden, mit denen richtungsabhängige, mechanische und bruchmechanische, elektrische, thermische, tribologische, sensorische, energetische, adaptive und aktuatorische Funktionen realisierbar und in weiten Grenzen für die beabsichtigte Anwendung einstellbar und kombinierbar sind. Dies beinhaltet auch neue Möglichkeiten zur Zustandsüberwachung von Halbzeugen und Strukturen. Erforderlich ist außerdem die Entwicklung und Evaluierung neuer Technologien zur Nutzung nachhaltiger Materialien für Strukturen, die in Kreisläufen wirtschaftlich und sicher eingesetzt werden können.
- **Vereinfachte Materialstandardisierung**
Vereinfachte, standardisierte Methoden zum Materialscreening und zur Qualifikation können Entwicklungszeiten verkürzen. Hierzu sind fortschrittliche Digitalisierungstechnologien und statistische Methoden einzusetzen.
- **Daten-getriebenes Engineering und Produktion**
Die Digitalisierung ermöglicht, Fertigungsprozesse sowohl innerhalb eines Unternehmens als auch für die gesamte Lieferkette von Komponenten zu vernetzen. Um zukünftig noch wirtschaftlicher produzieren zu können, müssen entsprechende Vernetzungspotentiale auf allen Ebenen evaluiert und gehoben werden. Daten-getriebenes Engineering und Produktion können auch zur Beherrschung von Variantenreichtum bzw. hohen Individualisierungsgraden von Komponenten genutzt werden. Plattformbasierte und vollautomatisierte Technologien können eine effizientere Produktion komplexer Strukturbauteile ermöglichen. Zu entwickeln sind verifizierte und zulassungsfähige Technologien zur vollständigen virtuellen Abbildung und multidisziplinären Optimierung von Materialien, Produktionsprozessen, Strukturen und Tests. Dies beinhaltet auch die Nutzung KI-basierter Methoden. Erforderlich sind eine sichere und standardisierte Integration von Prozessen, die durchgängige Erfassung und intelligente Vernetzung von Produktdaten sowie die konsequente Nutzung von Automationspotentialen.

- **Innovative Werkzeugtechnologien**
Die Entwicklung und Fertigung von Formwerkzeugen insbesondere für große Bauteile (Flügelschalen, Rumpfschalen,..) verursacht hohe Kosten und Zeitaufwände. Notwendig sind Technologien, mit denen große Formwerkzeuge auch für komplexe Bauteilgeometrien entweder ganz vermieden oder mit reduziertem Aufwand bereitgestellt werden können.
- **Ressourceneffiziente Produktionsprozesse**
Methoden zur additiven Bauteilfertigung (AM) müssen durch neue Technologien so verbessert werden, dass gegenüber der heutigen Referenz ein Faktor 10 des Masendurchsatzes erreicht werden kann. Dies beinhaltet auch die Weiterentwicklung von AM-Technologien zur Herstellung topologisch und funktions-optimierter Bauteilgeometrien.
- **Fortschrittliche Verbindungs- und Oberflächentechnologien**
Die heutige Standard-Verbindungstechnik im zivilen Flugzeugbau ist das Nieten. Niete und die dafür erforderlichen Strukturbauteildicken haben einen nicht vernachlässigbaren Anteil an Masse (Gewicht) und Kosten der heutigen Primärstrukturen. Erforderlich ist die Entwicklung aufwandsärmerer, zertifizierbarer Verbindungstechnologien. Lackierungen und Blitzschutzmaterialien verursachen hohe Kosten und Gewicht. Es sind Technologien zu entwickeln, mit denen diese Funktionen bei reduziertem Aufwand realisiert werden können.
- **Reparaturtechnologien**
Es sind zertifizierbare Prozessketten zu entwickeln, mit denen lokale strukturelle Reparaturen „über Nacht“ vollständig automatisiert und qualitätsgesichert durchgeführt werden können. Dies beinhaltet Lösungen zur Vermeidung von strukturellen Massen, die derzeit alleine aufgrund von gebolzten strukturellen Reparaturen vorgehalten werden müssen. Weiterhin müssen Reparaturkonzepte bereits im Design- und Produktionsprozess berücksichtigt werden, um einen kosteneffizienten Produktlebenszyklus zu ermöglichen.
- **Recyclingtechnologien**
Notwendig sind effiziente Technologien zur Trennung hybrider Strukturen sowie zur Trennung multifunktionaler Materialien, um wertvolle Werkstoffe zurückzugewinnen. Dies beinhaltet die Entwicklung wirtschaftlicher Technologien und qualifizierter Nachweismethoden, die die Wiederverwertung von Materialien nach ihrem ersten Leben idealerweise für den ursprünglichen Zweck erlauben.

Handlungsempfehlungen

- Universitäten, Hochschulen und Ausbildungsstätten müssen die Kompetenzen der „Fachkräfte von morgen“ im Bereich der Strukturentwicklung, Produktion und Wartung insbesondere im Hinblick auf deren Informatik-, System- und Mechatronikfertigkeiten weiter ausbauen und stärken. Brückenbildende Maßnahmen sind zu definieren und umzusetzen.
- Die vorhandenen europäischen Förderprogramme sowie die Förderprogramme der Bundesregierung müssen durch Wissenschaft und Industrie konsequent für die Erarbeitung von Lösungen der von der Arbeitsgruppe identifizierten Schlüsseltechnologien genutzt werden. Neuaufrufe des Luftfahrtforschungsprogramms und neue Schwerpunktprogramme der Bundesregierung müssen die dargestellten Handlungsfelder so konkret wie möglich aufgreifen.
- Zur Entwicklung ökoeffizienter Material- und Prozesstechnologien, mit denen die Wettbewerbsfähigkeit erhalten und ausgebaut werden kann, sowie zur Sicherung hochqualifizierter Fachkräfte, sind in Zusammenarbeit von öffentlichen Fördermittelgebern, Industrie und Forschungseinrichtungen neue Promotionsprogramme zu entwickeln und zu implementieren. Weitere neue Formen der Zusammenarbeit zwischen Industrie und Wissenschaft sind zu entwickeln.
- Die zunehmenden Möglichkeiten der Digitalisierung zur Optimierung von Materialien, Produktionsprozessen, Strukturen und Tests müssen in den regulatorischen Vorgaben der Zulassungsbehörden (wie z.B. den *Acceptable Means of Compliance AMC*) adäquat reflektiert werden.
- Die Start-Up-Förderung im Bereich ökoeffizienter Material- und Prozesstechnologien muss weiterbetrieben und ausgebaut werden. Bei vorhandenen Modellen zur Förderung z.B. durch BMWI EXIST sowie durch *Public Private Partnership* (PPP) sind im Bereich ökoeffizienter Material- und Prozesstechnologien Schwerpunkte zu setzen.
- Aufbau und Sicherstellung zukünftiger Lieferketten in nachhaltigen Materialkreisläufen bedürfen einer ganzheitlichen Betrachtung „Materialien im Produktlebenszyklus“. Eine entsprechende Systemfähigkeit muss entwickelt werden, die Industrie und Innovationen fördert.
- Ökoeffiziente Material- und Prozesstechnologien müssen einen Schwerpunkt auf Fachkonferenzen wie z.B. dem Luft- und Raumfahrtkongress DLRK und der SAMPE Deutschland bilden und die identifizierten Herausforderungen und Schlüsseltechnologien adressieren.

Zusammenfassung

Unter Führung des Fachbereichs "Werkstoffe - Verfahren - Bauweisen" der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt - Lilienthal - Oberth e.V. (DGLR) hat eine Arbeitsgruppe aus Vertretern namhafter europäischer Hersteller, Zulieferer, KMU und Forschungseinrichtungen in einem ganzheitlichen Ansatz wesentliche Herausforderungen, Schlüsseltechnologien und Lösungsansätze für ökoefiziente Material- und Prozesstechnologien der Zukunft identifiziert. Dies betrifft die komplette Wertschöpfungskette, vom Ausgangswerkstoff über die Strukturen im Betrieb bis zur Wiederverwertung. Die vorliegenden Ergebnisse sollen genutzt werden, um die notwendigen Forschungs-, Vorentwicklungs- und Innovationsarbeiten zu initiieren und den Technologietransfer zu beschleunigen.

Quellen

- [1] UN, „Sustainable Development Goals“ [Online] <https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs>
[Zugriff am 19 11 2019]
- [2] EU, „Flightpath 2050 - Europe's Vision for Aviation,“ EU Bookshop, 2011
- [3] EU, „Horizont 2020 - das europäische Forschungsrahmenprogramm“ [Online] <https://www.bmbf.de/de/horizont-2020-das-europaeische-forschungsrahmenprogramm-281.html> [Zugriff am 29 11 2019]
- [4] EU, Horizon Europe, [Online] https://ec.europa.eu/info/horizon-europe_en
[Zugriff am 05 11 2020]
- [5] Ein Europäischer Green Deal [Online] https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de
[Zugriff am 05 11 2020]
- [6] Cleansky2, [Online] <https://www.cleansky.eu>
[Zugriff am 29 11 2019]
- [7] Themenschwerpunkte des Luftfahrtforschungsprogramms VI [Online] <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Technologie/luftfahrttechnologien-02.html>
- [8] Airbus, „Global Market Forecast 2019-2038“ [Online] http://gmf.airbus.com/?_ga=2.187927406.732376605.1575025232-1253458690.1575025232
[Zugriff am 29 11 2019].
- [9] Boeing, „Commercial Market Outlook 2019 – 2038“ [Online] <https://www.boeing.com/commercial/market/commercial-market-outlook>
[Zugriff am 29 11 2019].
- [10] S. Levedag, U. Klingauf, M. Hornung, J. Klenner, E. Messerschmid und R. Radespiel, „Zukunftsfähigkeit der Luftfahrtforschung in Deutschland. Diskussion Nr. 17.“ Nationale Akademie der Wissenschaften – Leopoldina, Halle (Saale), 2018