



Fraunhofer
MATERIALS

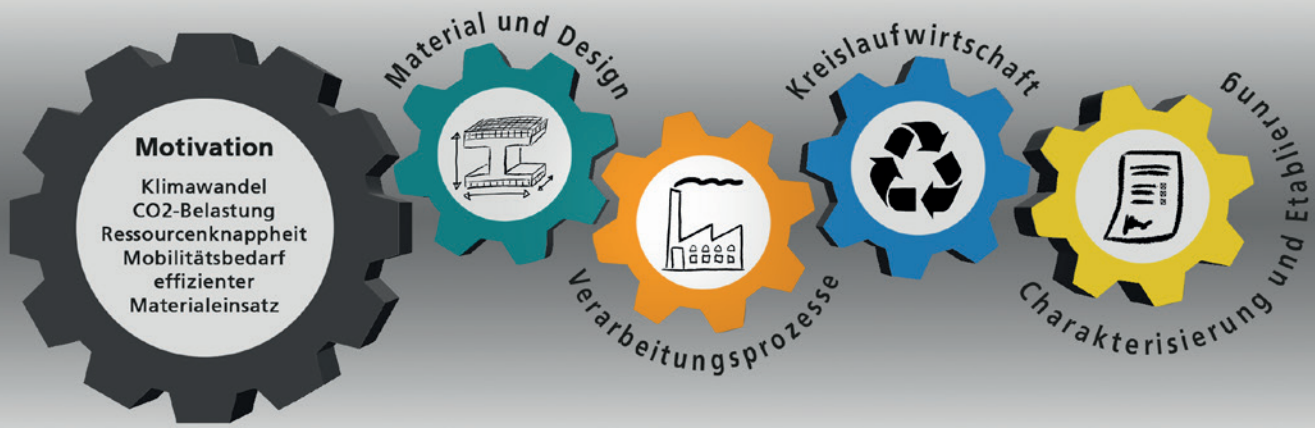
**HYBRIDER SYSTEMLEICHTBAU –
SCHLÜSSEL ZUR NACHHALTIGKEIT**
POSITIONSPAPIER



HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Der Leichtbau der Zukunft bedarf einer ganzheitlichen Bearbeitung, angefangen von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung von Leichtbaumaterialien, über die Entwicklung von zielorientierten Designmethoden für Werkstoffe und Bauteile und über ressourceneffiziente Verarbeitungsprozesse bis hin zum Recycling. Um Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit konsequent miteinander in Einklang zu bringen, sind aus Sicht des Fraunhofer-Verbunds MATERIALS folgende Punkte essenziell:





1. **Leichtbaumaterialien und Hybridstrukturdesign** zur Reduzierung des Bauteilgewichts bei gleichbleibenden oder verbesserten mechanischen Eigenschaften:
 - Entwicklung von metallischen, polymeren und hybriden Leichtbaumaterialien für beanspruchungs- und ressourcenoptimierten Leichtbau
 - Entwicklung industriell anwendbarer Produktentwicklungsmethoden und Fertigungsprozesse, die eine Kombination unterschiedlicher Materialien im Hybridstrukturdesign ermöglichen
2. **Produktorientierte Verarbeitungsprozesse**, die eine Fertigung von Leichtbaustrukturen in der Serie ermöglichen:
 - Evaluierung, Weiterentwicklung und Optimierung vielversprechender Fertigungsprozesse, z. B. für reproduzierbare Produkteigenschaften im Bereich der Faserverbundkunststoffe oder der additiven Fertigung,
 - Entwicklung von kombinierbaren, aufeinander abgestimmten Verarbeitungsprozessen, die eine gezielte, ressourceneffiziente Herstellung von Hybridstrukturen ermöglichen
3. **Nachhaltige Materialien in der Kreislaufwirtschaft** als Fundament des Leichtbaus:
 - Substitution fossiler durch nachwachsende Rohstoffe für Leichtbaumaterialien
 - Etablierung ineinandergreifender Konzepte, ausgehend von der Material- und Energiereduzierung (reduce) über die Wiederverwendung (reuse) und Reparatur (repair) bis hin zur Rückgewinnung (recycle) von Materialbestandteilen
4. **Disziplinübergreifende Material- und Bauteilbewertung und Etablierung** des Leichtbaus in nachhaltigen Produkten:
 - Digitalisierte Erfassung von Material- und Bauteileigenschaften sowie normierte Aus- und Bewertungsmethoden für Leichtbaumaterialien
 - Disziplinübergreifende Etablierung von standardisierten Leichtbaumaterialien, Fertigungsprozessen und Bewertungsmethoden in Lehre, Anwendung und Weiterbildung



Motivation

Der Klimawandel, Ressourcenknappheit und gleichzeitig steigender Bedarf an Mobilität sind wesentliche Treiber für den Leichtbau. So ist Ressourceneffizienz bei der gewichtsoptimierten Auslegung von Bauteilen nicht nur ein Schlagwort, sondern zentraler Zielparame-ter des Entwicklungsprozesses. Forciert durch politische Rahmenbedingungen, beispielsweise den European Green Deal, treten der vermehrte Einsatz nachwachsender Rohstoffe sowie eine weitgehende Substitution fossiler Rohstoffe in den Vordergrund. Auch ressourcentech-nische Analysen des gesamten Produktlebenszyklus (LCA), von der Auswahl der Rohstoffe über die Fertigungsverfahren mit Rückführung von Reststoffen bis hin zum Recycling, gewinnen an Bedeutung. Vor allem eine sinnvolle, aktive Nutzung recyclingfähiger Materialien sowie eine recyclingoptimierte Produktauslegung (sortenreine Demontagemöglichkeit) stellen das produzierende Gewerbe derzeit in zahlreichen Branchen vor erhebliche Herausforderungen.

Treiber für den Leichtbau sind auch die damit verbundenen wirtschaftlichen Potentiale, die der Einsatz moderner Materialien, Fertigungs- und Produktionsmethoden mit sich bringen können. Eine Minimierung des Energieverbrauchs von Kraftfahrzeugen und die damit verbundene Reduzierung der Betriebskosten kann essenzielle Marktvorteile eröffnen. In der Luftfahrt können die Reichweite sowie die mögliche Zuladung maximiert werden. Gleiches gilt für einen Leistungszuwachs, beispielsweise bei Turbinen, ohne Zunahme des Gewichtes. Diese Ziele stehen in Einklang mit ökologischen Zielen wie der Minimierung der Emission von Treibhausgasen (Abb. 1).

 0,25 l weniger Benzin für 100 km [0,6 kg weniger CO ₂]	 20 km mehr Reichweite pro Batterieladung [1,2 kg weniger CO ₂]
 12.000 kg weniger Kerosin pro Jahr [37.800 kg weniger CO ₂]	 9.500 kWh weniger Strom im Lebenszyklus [3.800 kg weniger CO ₂]

Ökonomischer und ökologischer Nutzen durch 100 kg Gewichts-einsparung

Unterstützt werden diese Aspekte durch Möglichkeiten der Digitalisierung, die auch im Bereich der Materialien Einzug genommen hat. So sind neben Simulationstools auf Basis normierter Materialkennwerte insbesondere Initiativen zur Digitalisierung von Materialien, z. B. MaterialDigital (BMBF) und Materials Data Space ® (Fraunhofer), zu nennen. Ziel dieser Initiativen ist es, unternehmensübergreifend digitale Daten zu Materialien und Werkstoffen entlang der gesamten Wertschöpfungskette bereitzustellen. Durch die Vernetzung werden kürzere Entwicklungszeiten, lernende Fertigungsverfahren und neue Geschäftsmodelle möglich. Zudem ergeben sich enorme Potentiale für Material- und Produktionseffizienz sowie für das Recycling.



Das Nockenwellenmodul aus faserverstärkten Duromeren senkt das Gewicht des Motors. © Fraunhofer ICT



Nachhaltig entwickelte, sichere und zuverlässige Lösungen für die nächste Generation von Lastenrädern, z. B. Leichtbauahmen mit integriertem Batteriesystem. © Fraunhofer LBF

Leichtbaumaterialien und Hybridstrukturdesign

Stofflicher Leichtbau basiert auf dem Ansatz, konventionelle Materialien durch Materialien mit niedrigerem spezifischen Gewicht zu ersetzen. Hierbei ist es das Ziel, eine Verringerung des Strukturgewichts bei gleichbleibenden oder verbesserten (meist mechanischen) Eigenschaften für das Anwendungsprofil zu erreichen. Neben den insbesondere im High-Performance-Sektor, z. B. in der Luft-/Raumfahrt und im Motorsport verstärkt eingesetzten Verbundmaterialien aus Matrixwerkstoff und Verstärkungskomponente (z. B. CFK) sowie Hochleistungskeramiken sind Leichtmetalllegierungen (Aluminium, Magnesium und Titan), höherfeste Stähle und Polymere von hoher Bedeutung. Diese können neben ihren isotropen Eigenschaften insbesondere mit ausgereifteren Fertigungsprozessen sowie meist besseren Recycling- und Reparatureigenschaften punkten.

Hybridstrukturdesign bedeutet, unterschiedliche Materialien gezielt zu kombinieren, um besondere Leistungsfähigkeit zu erzielen. Für eine effiziente Anwendung in der industriellen Produktion werden innovative Produktentwicklungsmethoden und Fertigungsprozesse benötigt. Grundlage hierfür sind Simulations- und Fertigungsansätze, die werkstoffseitige Potenziale, anforderungsgerechte Auslegung sowie die Nachhaltigkeitsbetrachtung der gesamten Wertschöpfungskette vereinen. Die optimierte Produktentwicklung basiert somit nicht nur auf Materialdaten, sondern integriert digitale Fertigungsinformationen im Sinne der Industrie 4.0 und nutzt maschinelles Lernen zur Design- sowie Prozessoptimierung. Ferner berücksichtigt sie fortschrittliche Fertigungstechniken wie beispielsweise additive Fertigung und lösbare Klebverbindungen und beinhaltet auch Versagensmodelle inklusive einer zuverlässigen Lebensdauervorhersage.

Prioritäre materialwissenschaftliche Ziele

Metalle

- Funktionsoptimierte Leichtmetalllegierungen für kreislauffähige Leichtbaulösungen
- Hochfeste Stahlliegierungen für besondere Anforderungsprofile (z. B. Crash) und kostenorientierten Stahlleichtbau

Kunststoffe

- Kreislauffähige Kunststoffe für Leichtbau mit hoher Designfreiheit und weitestgehender Verzicht auf fossile Rohstoffe
- gezielte Beeinflussung der Eigenschaften von Kunststoff-Compounds mit funktionalen Füllstoffen und Additiven

Keramik

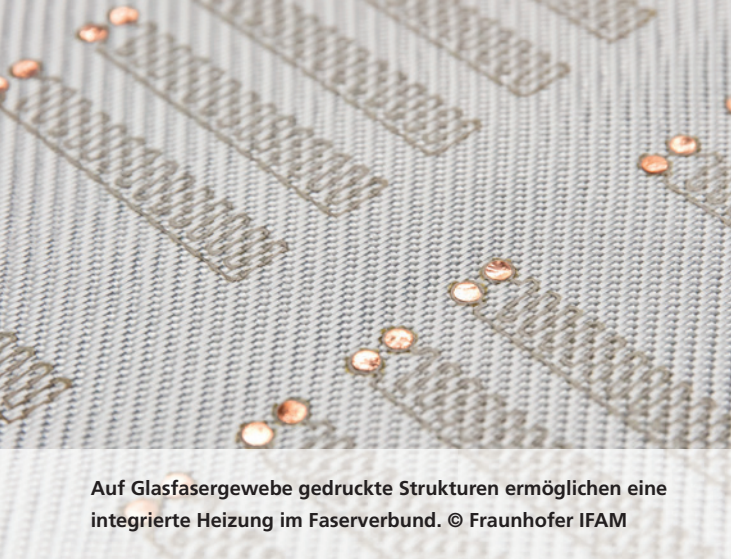
- Oxid- und Nichtoxidkeramik mit gezielt einstellbaren elektrischen, thermischen, mechanischen und optischen Eigenschaften
- Hochtemperaturfeste Keramiken, z. B. für Flugzeugtriebwerke

Verbundmaterialien

- Matrixwerkstoffe geringer Dichte und Verstärkungskomponenten hoher Festigkeit
- Kosteneffiziente, schadenstolerante Verbundstrukturen
- Hochtemperaturstabile CFK

Hybridstrukturdesign

- Systematisieren von Fügestellenkonfigurationen und Berücksichtigung des späteren Entfügens
- Übergreifende Simulation von Material, Prozess, ökologischen und ökonomischen Auswirkungen im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung
- Berücksichtigung fortschrittlicher Fertigungstechniken beim Produktdesign, z. B. Bedrucken mittels 3D-Druck



Auf Glasfasergewebe gedruckte Strukturen ermöglichen eine integrierte Heizung im Faserverbund. © Fraunhofer IFAM



Automated Fiber Placement und maßgeschneiderte Preprags für hochbelastete FV-Komponenten. (Fraunhofer IAP) © WFBB

Produktorientierte Verarbeitungsprozesse

Für den erfolgreichen Einsatz von Leichtbau in Serienprodukten ist meist eine Kombination unterschiedlichster, z. T. noch unausgereifter Verarbeitungsprozesse erforderlich. Insbesondere Prozesse zur Fertigung von Faserverbundkunststoffen sind verglichen mit Prozessen der Metallverarbeitung weniger erforscht und aufgrund des Aufbaus des Materials aus mindestens zwei Komponenten schwieriger zu beherrschen. Abweichungen an Bauteilen, die über entsprechende toleranzangepasste Füge- und Montageverfahren ausgeglichen werden müssen, sind häufig die Folge.

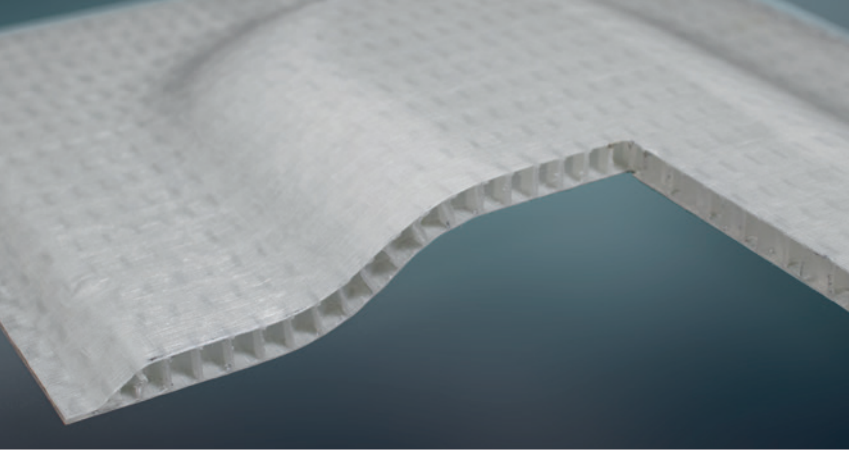
Im Bereich der metallischen Verarbeitungsprozesse ermöglichen u. a. innovative Gießverfahren für Leichtmetalllegierungen kombiniert mit entsprechenden Simulationsmethoden die Herstellung von hochkomplexen, dünnwandigen Strukturen bis hin zu extrem leichten Metallschäumen. Auch Gießverfahren für dünnwandige Stahlstrukturen gewinnen an Bedeutung für den Leichtbau.

Da Leichtbaustrukturen häufig unterschiedlichste Anforderungen erfüllen müssen, die nur durch eine Kombination verschiedener Materialien realisiert werden können, nimmt die Bedeutung von Verbindungstechniken zu. Neben leichtbautypischen Verbindungsarten wie dem Kleben oder thermoplastischen Schweißen sind auch Hybridgussverfahren zu nennen, die eine prozessintegrierte Erzeugung hochfester Verbindungen von Faserverbundkunststoffen und Metallen ermöglichen.

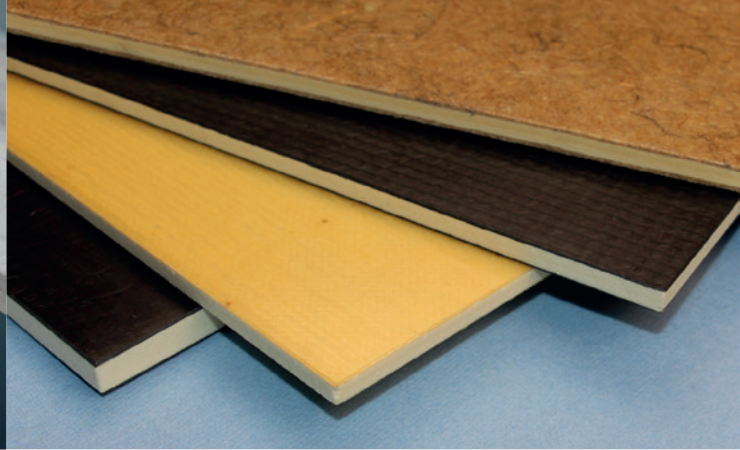
Leichtbau ist außerdem einer der zentralen Treiber additiver Fertigungsprozesse. Hierbei stehen Metalle und Kunststoffe im Fokus. Zusätzliche Potentiale eröffnet die additive Fertigung hybrider Werkstoffkombination, z. B. der 3D-Druck von endlosfaserverstärkten Faserverbundstrukturen.

Prioritäre materialwissenschaftliche Ziele

- **Metallverarbeitung**
 - Gießverfahren für hochkomplexe, dünnwandige Strukturen und Metallschäume aus Leichtmetalllegierungen
 - Press- und Umformtechnologien für Leichtbau in Großserienanwendungen
- **Kunststoffverarbeitung**
 - Verarbeitung biobasierter Kunststoffe in Formkörpern (Fasern, Folien, 3D-Bauteile, Composite)
 - Technologien zur Multi-Materialverarbeitung
- **Keramikverarbeitung**
 - Technologien für keramische Hochtemperaturbauteile
 - Fügetechnologien für Keramik/Metall- und Keramik/Keramik-Verbindungen
- **Prozesse für Verbundmaterialien**
 - Entwicklung großserientauglicher, reproduzierbarer Basistechnologien
 - Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz der Verarbeitungsprozesse
- **Füge- und Entfügetechnologien**
 - Prozessübergreifende Untersuchung der Adhäsion von Materialien untereinander über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg
 - Entwicklung gezielter Entfügeprozesse zur sortenreinen Trennung der Wertstoffe
- **Additive Fertigung**
 - Prozessgerechte Materialentwicklung zur Kompensation der Wechselwirkung von Material und Prozess
 - Multimaterialsysteme durch Bedrucken von Halbzeugen oder durch direktes Drucken mehrerer Materialien



Die Organosandwich-Technologie ermöglicht die effiziente Fertigung von leichten Bauteilen in Sandwichbauweise. © Fraunhofer IMWS



PU-Sandwichplatten mit Decklagen aus unterschiedlichen Fasern oder Vliesen. © Fraunhofer IWKS

Nachhaltige Materialien, Kreislaufwirtschaft

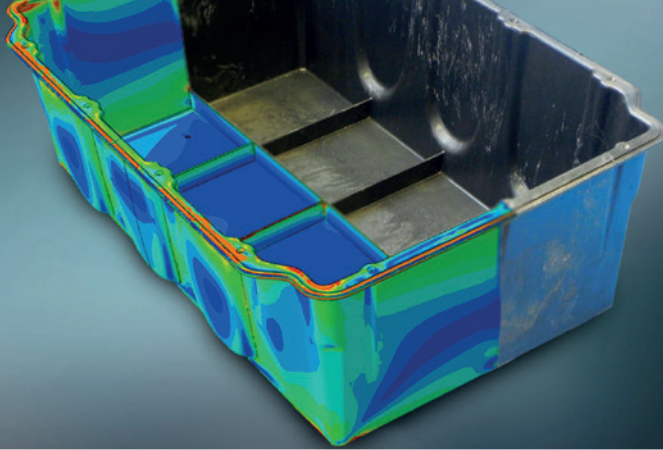
Die Substitution fossiler durch nachwachsende Rohstoffe für Leichtbaumaterialien, die Auswahl der Werkstoffe im Kontext der Re-Integration sowie die Nutzung von recyclingfähigen Materialien und demontierbaren Produkten tragen wesentlich zur Verbesserung der Nachhaltigkeit bei.

Neue, nachhaltige Technologien für den Leichtbau benötigen neue, nachhaltige Materialien. Dies hat auch einen Wandel im Rohstoffbedarf zur Folge. Die daraus resultierende Rohstoffproblematik kann über verschiedene Ansätze adressiert werden:

Materialwissenschaftliche Konzepte wie Substitution, Lebensdauererlängerung und Regeneration sind die Basis für einen effizienten Ressourceneinsatz im Leichtbau. Außerdem können wichtige Beiträge zur Etablierung einer Kreislaufwirtschaft erbracht werden. Grundsätzliches Ziel hierbei ist es, Materialien und Produkte möglichst effizient zu nutzen und möglichst lange im ökonomischen Kreislauf zu halten. So sollte bspw. durch Materialeffizienz der Materialeinsatz im Leichtbau reduziert werden (reduce), da derzeit rund 45% der Herstellungskosten auf Material und Energie zurückzuführen sind. Weiterhin ist eine Wiederverwendung (reuse) noch nutzbarer Produkte oder Komponenten anzustreben. Falls dies nicht möglich ist, sollte eine Reparatur (repair) in Betracht gezogen werden. Ist auch dies nicht möglich, sind enthaltene Materialbestandteile soweit wie möglich wiederzuverwerten (recycle), aufzubereiten und als Sekundärrohstoffe der Herstellung neuer Materialien zuzuführen. Dies gewährleistet eine effiziente und nachhaltige Nutzung von Leichtbaumaterialien.

Prioritäre materialwissenschaftliche Ziele

- **Nachhaltige Rohstoffe und Energie**
 - Substitution fossiler durch biobasierte Rohstoffe, z. B. PLA-basierte Harzsysteme und Fasern aus biobasierten Präkursoren
 - Ersatz fossiler Energieträger zur Herstellung von Leichtbaumaterialien, z. B. mittels grünem Wasserstoff aus Windkraft
- **Reduce: Effizienter Materialeinsatz**
 - Möglichst geringer Einsatz von Leichtbaumaterialien zur Zielerreichung
 - Endkonturnahe Bauteilfertigung zur Minimierung von Prozessabfällen
- **Repair: Reparatur von Leichtbaustrukturen**
 - Normierte Methoden zur Schadensbeurteilung
 - Standardisierte Reparaturverfahren, insbesondere im Bereich der FVK-Reparatur
 - Lösbare Fügeverbindungen zwecks Austausch / Reparatur einzelner Komponenten
- **Reuse: Wiedernutzung von Leichtbaumaterialien**
 - Second-Use-Strategien für Leichtbaumaterialien und -strukturen
 - Etablierung standardisierter, wieder nutzbarer Faserverbundmaterialien
- **Recycle: Rückgewinnung von Leichtbaumaterialien**
 - Recyclinggerechtes Bauteildesign für eine leichte Rückführung der Materialbestandteile in den Stoffkreislauf
 - Demontierbare Verbindungen zur sortenreinen Materialtrennung



Simulation von Vergleichsspannungen (vordere Hälfte) zur Bewertung der Integrität eines Batteriebehälters aus Faserverbundkunststoff.
© Fraunhofer IWM



Zerstörungsfreie Prüfung mit Roboter
© Fraunhofer IZFP

Disziplinübergreifende Bewertung und langfristige Etablierung

Eine disziplinübergreifende Erfassung von Material- und Bauteileigenschaften sowie eine normierte Aus- und Bewertung dieser tragen wesentlich zu Transparenz und Vergleichbarkeit von Leichtbaumaterialien und -strukturen bei. Ausgehend von der Simulation über die Materialcharakterisierung bis hin zur zerstörungsfreien Prüfung von Leichtbaustrukturen ist eine durchgängige, standardisierte Betrachtung zwingend erforderlich, um Leichtbaumaterialien nachhaltig in Produkten zu etablieren. Hierbei wird neben standardisierten Verfahren auch die Digitalisierung von Materialien einen wichtigen Beitrag leisten können, auch vor dem Hintergrund einer beschleunigten Entwicklung.

Mit der Initiative Materials Data Space® (MDS) legt der Fraunhofer-Verbund MATERIALS eine Roadmap zu Industrie-4.0-tauglichen Materialien vor. Ziel des MDS ist es, digitale Daten zu Materialien und Werkstoffen entlang der gesamten Wertschöpfungskette bereitzustellen. So gewinnen Material- und Prozessdaten zunehmend an Bedeutung und werden zu einem wesentlichen Wirtschaftsfaktor. Neben der Steigerung der Ressourceneffizienz durch Vergleichbarkeit ist der wissenschaftliche Austausch zwischen Material-, Umweltforschung und Ingenieurwissenschaften essenziell zur Entwicklung künftiger Leichtbaumaterialien. Nur eine disziplinübergreifende Vernetzung, gekoppelt mit einer forcierten Kooperation zwischen grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung bei gleichzeitiger Etablierung in Lehre und Weiterbildung ermöglicht eine erfolgreiche Einführung neuer, wettbewerbsfähiger Leichtbaumaterialien.

Prioritäre materialwissenschaftliche Ziele

- **Charakterisierung von Leichtbaumaterialien**
 - Simulation von Materialeigenschaften und Leichtbaustrukturen
 - Standardisierte Prüfmethoden für Leichtbaumaterialien und -fügeverfahren
- **Normung von Leichtbaumaterialien**
 - normierte Materialeigenschaften und -zusammensetzungen
 - normierte Prüfverfahren
- **Zerstörungsfreie Prüfung**
 - Schnelle, verlässliche und rückstandsfreie Prüfmethoden
 - Permanente Prüfung im Einsatz (Structural Health Monitoring, inline Monitoring) für eine bedarfsgerechte Wartung
- **Digitalisierung**
 - Materialdatenbanken entlang der gesamten Wertschöpfungskette beschleunigen die Produktentwicklung
 - Digitale Freigabeprozesse ersparen einzelne Prüfschritte
- **Weiterbildung und Lehre**
 - Leichtbaumaterialien als Bestandteil der technischen Ausbildung und akademischen Lehre
 - Leichtbauorientierte Weiterbildungsprogramme für die Industrie

FRAUNHOFER MATERIALS – ZUKUNFT MATERIALISIEREN!

Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS bündelt die Kompetenzen der materialwissenschaftlich orientierten Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft. Materialforschung bei Fraunhofer umfasst die gesamte Wertschöpfungskette von der Entwicklung neuer und der Verbesserung bestehender Materialien über deren Herstelltechnologien im industrienahen Maßstab, die Charakterisierung der Materialeigenschaften bis hin zur Bewertung des Einsatzverhaltens im Bauteil. Entsprechendes gilt für das Verhalten der aus den Materialien hergestellten Bauteile in Systemen.

Der Verbund setzt sein Know-how schwerpunktmäßig in den volkswirtschaftlich bedeutenden Handlungsfeldern Mobilität und Transport, Umwelt und Energie, Gesundheit, Sicherheit sowie Bauen und Wohnen ein. Ziel ist es, mit maßgeschneiderten Werkstoff- und Bauteilentwicklungen Systeminnovationen für diese Handlungsfelder zu realisieren. Die Basis hierfür ist die skalenübergreifende Materialkompetenz entlang industrieller Wertschöpfungsketten.

Der Fraunhofer-Verbund Materials beschäftigt über 4800 Mitarbeitende und macht einen FuE-Umsatz von jährlich etwa 500 Millionen Euro.

© Fraunhofer, Februar 2021

© Bilder Titelfoto von oben links nach unten rechts:
Fraunhofer LBF, Fraunhofer LBF, Fraunhofer IMWS,
BTU/ Sebastian Rau (Fraunhofer IAP), Fraunhofer IMWS,
Fraunhofer WKI

Kontakt

Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile - MATERIALS
www.materials.fraunhofer.de



Prof. Dr. Peter Gumbusch
Verbandsvorsitzender

Fraunhofer Institut für
Werkstoffmechanik IWM
Wöhlerstraße 11
79108 Freiburg



Prof. Dr. Bernd Mayer
Stellv. Verbandsvorsitzender

Fraunhofer Institut für
Fertigungstechnik und Angewandte
Materialforschung IFAM
Wiener Straße 12
28359 Bremen



Dr. phil. nat. Ursula Eul
Geschäftsführung

Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile
- MATERIALS
Bartningstr. 47
64289 Darmstadt
Telefon +49 6151 705-262
ursula.eul@materials.fraunhofer.de