

Werkstofftechnologie als Innovationstreiber

Trendbericht
Stand: Juni 2018

Werkstofftechnologie als Innovationstreiber

Autos, Brücken, Windräder – Schränke, Tassen, Teppiche – Knochenschrauben, künstliche Linsen, Herzkatheter – Werkstoffe umgeben uns im Alltag und dienen uns in vielfältiger Weise. Sie schützen und schmücken uns, sie heilen Wunden und retten Leben. Darüber hinaus sind sie die Basis für das produzierende Gewerbe und ein wichtiger Wirtschaftsfaktor, besonders in einem rohstoffarmen Land wie Deutschland.

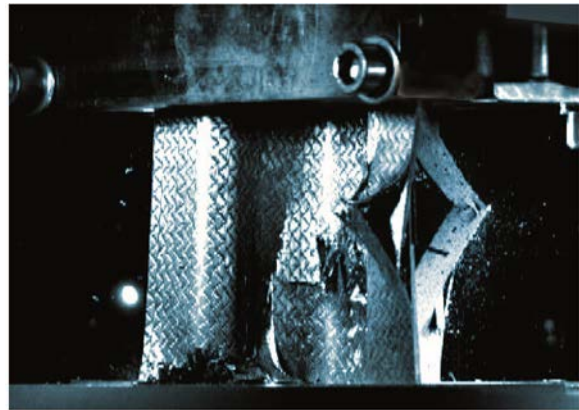
So gut wie alle umsatzstarken Industriezweige in Deutschland sind auf Innovationen aus der Materialforschung angewiesen, um im globalen Wettbewerb ihre Spitzenposition zu halten oder auszubauen. Leistungsfähige Materialien mit neuen Eigenschaften sind daher begehrt. Beispielsweise im Automobilbau, in der Luftfahrt, der Elektroindustrie oder der Medizin- und Umwelttechnik sind sie der Garant für zukunftsfähige Lösungen. Die Digitalisierung und ihre Chancen im Hinblick auf effizientere Produktionsabläufe und neue Geschäftsmodelle ist die zweite treibende Kraft. Denn um maßgeschneiderte Produkte nach individuellen Kundenwünschen ökonomisch herzustellen, brauchen Experten ein tiefgreifendes Verständnis der Werkstoffeigenschaften und damit der inneren Struktur der Werkstoffe.



1: Industrieroboter (Bild: Adobe Stock, Sasint)

Neue Ziele erreichen

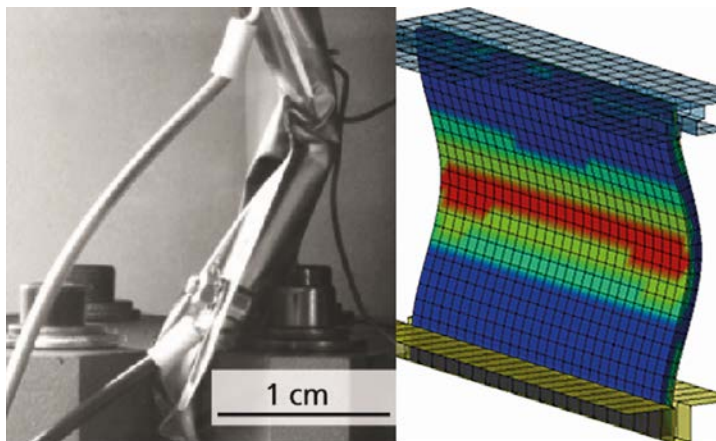
Eine Herausforderung im Hinblick auf autonom fahrende Autos und Lastkraftwagen ist beispielsweise die Gewährleistung der Sicherheit von Fahrzeuginsassen¹ und Passanten. Die Innenräume der Fahrzeuge werden in Zukunft völlig anders gestaltet sein, da die mitfahrenden Personen nicht mehr zwangsläufig in Fahrtrichtung aufrecht sitzen, sondern bequem liegend oder lesend von A nach B reisen. Hier sind neue Konzepte und Werkstoffe gefordert, um die Insassen bei einem Bremsmanöver oder



20 mm

2: Crashversuch (Bild: Fraunhofer IWM)

Aufprall entsprechend zu schützen. Sensoren, die für die Sicherheit von Passanten verantwortlich sind, müssen bei Wind und Wetter, wie Nebel, Schnee und Starkregen, zuverlässig funktionieren. Gleichzeitig ist es unabdingbar, dass alle elektronischen Systeme gegen Hackerangriffe oder Datenverlust geschützt sind, um die Ansätze von heute in die Realität von morgen umzusetzen.²³ Im Fahrzeug- und auch im Flugzeugbau spielt darüber hinaus der Multimaterialeinsatz für den Leichtbau eine immer größere Rolle. Hierbei nutzen Entwickler die einzelnen Vorteile verschiedener Werkstoffe zum Beispiel bei hybriden Bauweisen, um damit neue Einsatzfelder zu eröffnen. Als besonders zukunftssträftig stufen die Experten dabei neue Fertigungstechnologien wie die additive Fertigung ein. Bei diesem Produktionsverfahren werden die Werkstücke am Computer konzipiert und die Informationen mit einem 3D-Drucker schichtweise umgesetzt.



3: Stauch-Test einer Batterie für die Fahrzeugindustrie einer sog. Pouchzelle (links) und die entsprechende Simulation (rechts). Das Modell bildet die Versuchsdaten sehr genau ab. (Bild: Fraunhofer IWM)

Inzwischen ermöglicht es diese Technologie kleinste Bauteile mit Abmessungen von weniger als einem Tausendstel eines Millimeters herzustellen. So entstehen besonders stabile Materialien aus Miniaturgittern und -fachwerk, sehr kleine, ultra-präzise Linsen für Sensoren und Optiken, aber auch winzige Gerüste für die Vermehrung von Zellen in körperähnlicher Umgebung.⁴

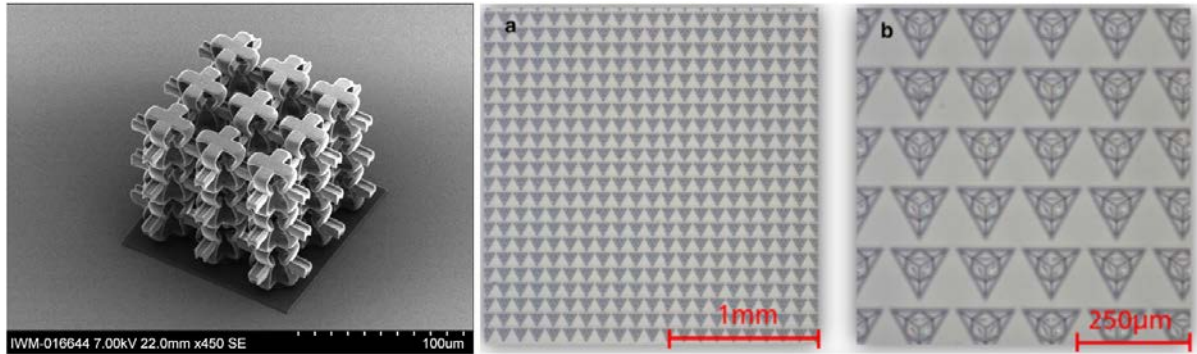
¹ Aus Gründen der Lesbarkeit wurde im Text die männliche Form gewählt. Alle Angaben beziehen sich dennoch selbstverständlich auf Angehörige aller Geschlechter.

² Weiterführender Link zu Industriestatement bzgl. Innenraumausstattung von autonomen Fahrzeugen: <https://www.mercedes-benz.com/de/mercedes-benz/next/automation/wie-autonomes-fahren-das-interieur-revolutioniert/>

³ Weiterführender Link zu einem Pressebeitrag in der ZEIT: <http://www.zeit.de/2017/29/autonomes-fahren-audi-design-innenraum>

⁴ Link zum preisgekrönten 3D-Druckverfahren des KIT, Hector Fellow Prof. Martin Wegener: <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/3d-druckverfahren-von-nanoscribe-und-kit-mit-technologiepreis-ausgezeichnet-a-688901/>

Auch die Energiewende braucht fortschrittliche Werkstoffe zur Steigerung der Effizienz und Umweltverträglichkeit, beim Transport und bei der Speicherung von Energie. Batterien für Fahrzeuge müssen nicht nur leichter und umweltfreundlicher werden – auch im Falle eines Unfalls dürfen sie nicht in Flammen aufgehen oder Schadstoffe freisetzen. Gleiches gilt für Brennstoffzellen, deren Laufzeiten durch neue Werkstoffe und Fertigungsverfahren in den vergangenen Jahren stark gesteigert werden konnten.⁵



4: Dieser mit einem speziellen 3D-Mikroverfahren hergestellte Würfel ist so strukturiert, dass er auf unterschiedliche Belastung intelligent reagiert. Bei leichtem Druck gibt er nach, aber bei einer bestimmten Stärke bleibt er steif. (Bild: Fraunhofer IWM)

Zukunftsschmiede Werkstoffmechanik

Unter der Maßgabe „sparsamer, effizienter und sicherer“ bearbeitet Prof. Dr. Peter Gumbsch in Zusammenarbeit mit seinem Forschungsteam zahlreiche dieser Innovationsthemen. Er unterstützt mit seiner Forschung Industriekonzepte für autonom fahrende Fahrzeuge, ressourcenschonende Bau- und Kraftwerke und entwirft Materialien mit völlig neuen Eigenschaften.



3: Prof. Dr. Peter Gumbsch (Foto: Achim Kaeflein)

Seine Forschungsgruppen am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und am Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM in Freiburg sorgen dafür, dass selbstfahrende Autos sicherer, Turbinen verlustärmer, Pumpen und Brennstoffzellen langlebiger und tragende Bauteile widerstandsfähiger werden. Um diese Ziele zu erreichen, werden einzelne Komponenten bis hin zu kompletten Strukturen oder Fahrzeugen tausendfach auf Prüfständen getestet. Die Teams von Prof. Gumbsch entwerfen neue Messmethoden, um bis ins Detail zu verstehen, wieso ein Werkstoff versagt. Der Zeitaufwand und damit die Kosten für diese Tests sind erheblich. Daher erstellen die Wissenschaftler darüber hinaus hochkomplexe Computermodelle, die dabei helfen, das Verformen und Versagen von Materialien im Voraus zu berechnen. Das spart Zeit und Ressourcen. Ihre Modelle setzen in Forschung und Industrie neue Maßstäbe in puncto Präzision und Verlässlichkeit.

⁵ Link zum Fraunhofer-Projekt Crashesichere Batterien:

https://www.iwm.fraunhofer.de/de/presse/pressemitteilungsliste/11_01_18_crashesicherebatterienfuere-mobility.html

Gemeinsame Projekte ermöglichen

Peter Gumbsch gehört zu den ersten Wissenschaftlern, die den Hector Wissenschaftspreis erhielten. Dieser wird seit 2008 von den Eheleuten Dr. h.c. Hans-Werner und Josephine Hector an Professorinnen und Professoren aus den MINT-Fächern für herausragende Leistungen und Engagement in den Bereichen Wissenschaft, Forschung und Nachwuchsförderung vergeben. Inzwischen wurden 23 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit dem mit 150.000 Euro dotierten Preis ausgezeichnet. Seit 2013 sind die Preisträger in der Hector Fellow Academy organisiert. Unterstützt von der Hector Stiftung werden hier gemeinsame wissenschaftliche Aktivitäten und herausragende Promotionsthemen gefördert. Ein jährliches Vernetzungstreffen mit öffentlichem Symposium stärkt darüber hinaus die Zusammenarbeit.

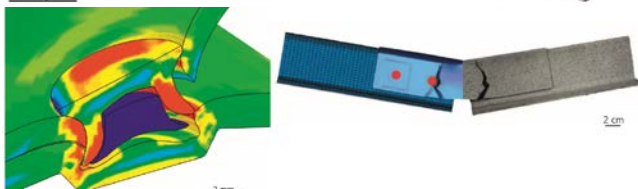
Strapazierte Werkstoffe testen

Im Tagesgeschäft konzentriert sich Peter Gumbsch mit seinen Teams darauf, was passiert, „wenn’s kracht“; also, wenn Materialien oder Materialverbünde unter Stress geraten. Ob fluktuierende extreme Hitze, mechanische Dauerbelastung oder plötzlicher Crash – am Anfang steht der Blick auf die Physik und Mechanik und am Ende ein Modell, das den Werkstoff und sein Verhalten unter Belastung exakt beschreibt und damit berechenbar macht. Ein Beispiel sind Schweißpunkte im Automobilbau. Für eine Crashesituation sind solche Stellen typischerweise nicht gemacht. Eine Schweißnaht dient dazu, zwei Bleche stabil zu verbinden.

Trotzdem kann eine Schweißnaht auch als Sollbruchstelle dienen, um im Falle eines Aufpralls gezielt nachzugeben. Wenn die Verbindung zu fest ist, könnte das gesamte Gefüge durch den Unfall in den Innenraum katapultiert werden. Dies möchten Fahrzeugbauer unter allen Umständen vermeiden. Ein Computermodell zur detaillierten Berechnung des Crashverhaltens von Schweißpunkten der Freiburger Fraunhofer-Forscher hilft Autodesignern heute dabei, einen neuen Weg zu finden. Gleiches gelang den Wissenschaftlern zum Beispiel bei der Berechnung zum Verformungs- und Bruchverhalten von Aluminiumfelgen, zur Absplitterung von Schutzschichten bei Kraftwerksturbinen oder zur Rissentstehung in zyklisch belasteten

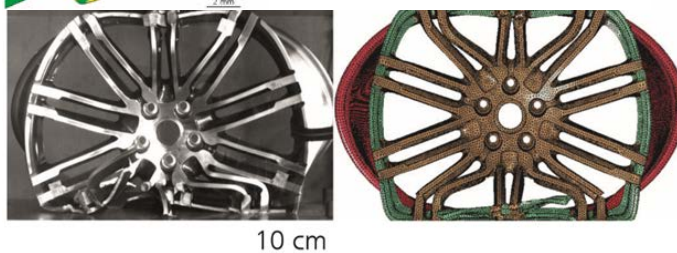


4: Diese Prozesskettensimulation beschreibt die Veränderung von Werkstoffeigenschaften im Fertigungsprozess: und zwar die Entwicklung der Mikrostruktur von Kupfer während des Drahtziehens. (Bild: Fraunhofer IWM)



Kraftwerkskomponenten.

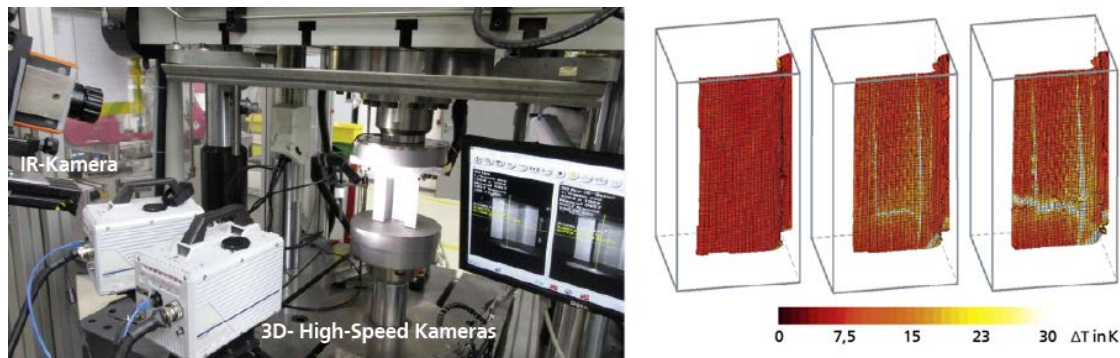
5: Simulation des Versagens einer Nietverbindung von zwei Stahlblechen im Crashfall (links). Übereinstimmung des vorhergesagten Bruchverhaltens einer gefügten Fahrzeugstruktur mit dem entsprechenden Experiment (rechts). (Bild: Fraunhofer IWM)



6: Theorie und Praxis stimmen sehr gut überein. Hier bei realen Tests (links) und Simulationen (rechts) zum Verformungs- und Bruchverhaltens von Aluminiumfelgen. (Bild: Fraunhofer IWM)

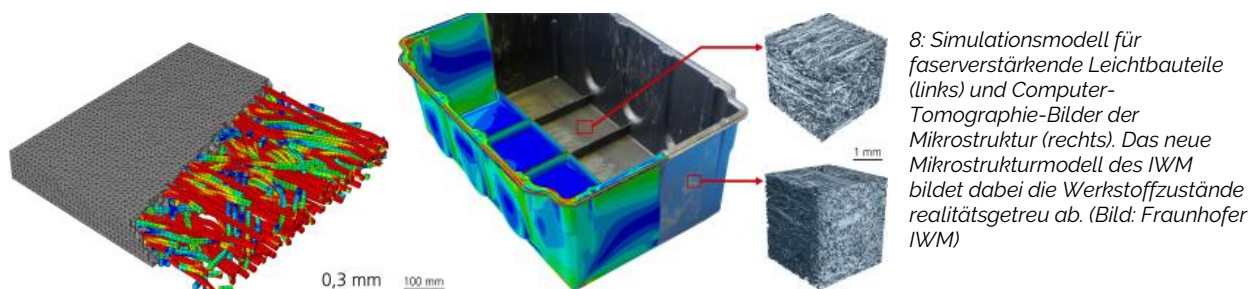
Verlässliche Modelle entwickeln

Neue Möglichkeiten beim Leichtbau von Fahrzeugen oder Windradflügeln, aber auch neue Herausforderungen für die Sicherheit stellen Faser-Verbundwerkstoffe dar. Mithilfe einer Wärmekamera konnten Prof. Gumbsch und seine Mitarbeiter belegen, wie und an welchen Stellen sich die Energie eines Aufpralls konkret in einem Verbundwerkstoff in Wärme umwandelt. Da solche Werkstoffe einerseits sehr wärmeempfindlich sind und andererseits Wärme sehr schlecht leiten, spielt die lokal an der Bruchstelle erzeugte Energie offenbar eine sehr zentrale Rolle für das Zerreißen des Werkstoffs. Bisher wurde aber genau dieser Aspekt in den Crashmodellen nicht berücksichtigt. Die Forscher arbeiten daher daran, diesen Punkt so schnell wie möglich in ihre Computermodelle zu integrieren. Das Ziel ist die Herstellung von neuartigen Verbundwerkstoffen mit verbesserten Materialeigenschaften.



7: Wie bricht Verbundwerkstoff? Links der Versuchsaufbau im Labor mit High-Speed- und Infrarotkameras und rechts die entsprechende Computersimulation. (Bild: Fraunhofer IWM)

Auch die Art und Weise wie die Fasern verarbeitet sind, ihre Orientierung zueinander und die Verflechtung wirken sich auf die Stabilität und das Bruchverhalten aus. In ihrer Promotion untersucht Zalikha Murni Abdul Hamid, gefördert von der Hector Fellow Academy, wie und unter welchen Bedingungen verschiedene Verbundwerkstoffe reißen. Gleichzeitig entwickelt sie ein Rechenmodell, das es später ermöglichen soll, Leichtbauteile mit genau definierten Merkmalen am Computer zu entwerfen. Ein solches Modell würde in Zukunft dabei helfen, die Zuverlässigkeit von Verbundstoffen unter verschiedenen Belastungen vorzuberechnen und somit wesentlich zur Sicherheit dieser Werkstoffe beizutragen und erheblich Kosten einzusparen.

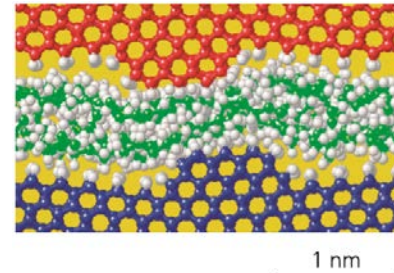


8: Simulationsmodell für faserverstärkende Leichtbauteile (links) und Computer-Tomographie-Bilder der Mikrostruktur (rechts). Das neue Mikrostrukturmodell des IWM bildet dabei die Werkstoffzustände realitätsgetreu ab. (Bild: Fraunhofer IWM)

Grundlagenforschung betreiben

Der Blick in die Tiefe der Werkstoffe hinein ist nach Einschätzung von Prof. Gumbsch auch ein wesentlicher Pfeiler für eine effizientere Energiegewinnung. In den Lagern von Windrädern wirken beispielsweise enorme Kräfte. Durch Reibung geht einerseits viel Energie verloren und andererseits verformen und verschleiben die Lager. Diese Effekte betreffen unendlich viele technische Anwendungen.

Gut verstanden sind die hier auftretenden physikalischen Phänomene heute aber noch nicht. Deshalb analysieren Prof. Gumbsch und seine Mitarbeiter am KIT, was unter der Oberfläche der strapazierten Materialien passiert. Erst seit wenigen Jahren sind die Forscher mit Hilfe spezieller bildgebender Verfahren in der Lage, die Veränderungen im Inneren der verformten Werkstoffe zu erfassen. Kupfer als weiches Metall und Saphir als extrem hartes Gegenstück dienen den Experten dabei als Beispielsysteme, die entscheidende physikalische Daten für die anschließenden Modellrechnungen liefern.



g. Mit Simulationsmodellen werden Reib- und Verschleißprozesse an der Grenzfläche zwischen zwei Festkörpern simuliert. Dabei wird auch die Wirkung von Schmiermitteln und unterschiedlichen Oberflächenstrukturen bewertet. (Bild: Fraunhofer IWM)

Vielfältig ausbilden und Ideen verwirklichen

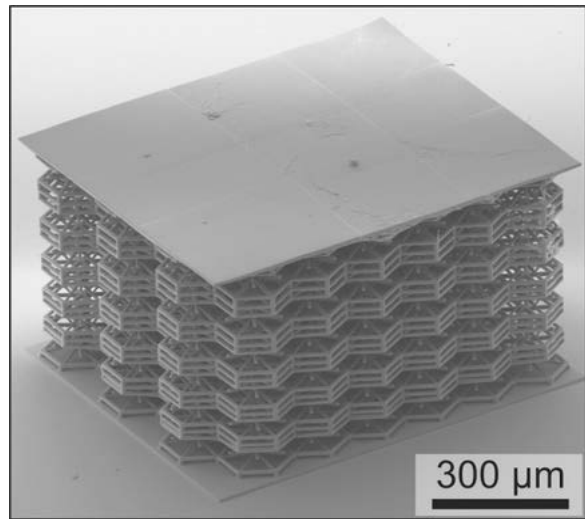
Die enge Vernetzung von Grundlagenforschung, konkreter Anwendung und theoretischer Modellierung zeichnet die Teams und die Lehre von Prof. Peter Gumbsch aus. So profitiert auch die kommende Generation Maschinenbauer sowie Werkstoff- und Materialwissenschaftler davon, dass der Hochschullehrer stets Beispiele aus der Praxis in seine Vorlesungen und Seminare integriert. Gleichzeitig stehen den zukünftigen Ingenieuren über zahlreiche Kooperationsprojekte die Türen zur Industrie offen.

Für einen weiteren intensiven und kreativen Austausch über Fächergrenzen hinweg sorgt die Hector Fellow Academy: So entstand eine Idee zur Zusammenarbeit zwischen den beiden Hector Fellows Prof. Dr. Peter Gumbsch und Prof. Dr. Martin Wegener vom Institut für Angewandte Physik und Institut für Nanotechnologie am KIT. Ihr gemeinsames Ziel ist es Metamaterialien mit besonderen mechanischen Eigenschaften zu entwickeln. Die Forscher stellten sich hierbei die Frage, ob und wie auch kollabierbare, instabile Strukturen praktisch genutzt werden könnten. Als Ergebnis präsentierten ihre Projektmitarbeiter dreidimensionale Gitterformen mit überraschenden Eigenschaften: Die einen eignen sich als wiederverwertbare, leichtgewichtige Stoßdämpfer und die anderen als wabenförmige Tarn-Abdeckungen, die darunterliegende Gebilde verbergen. Prof. Wegeners Expertenteam ist in der Lage, diese Materialien als hochpräzise dreidimensionale Nanostrukturen mit einem am KIT entwickelten 3D-Laserdruckverfahren herzustellen.

Dank der Hector Fellow Academy konnten die Wissenschaftler solche, eher unkonventionellen Ideen institutsübergreifend umsetzen und schlussendlich auch in einer renommierten Zeitschriften publizieren. Die Forscher sind sich sicher, einem Werkstoff der Zukunft auf der Spur zu sein. Sie

prüfen derzeit, inwieweit sich die Grundzüge des wiederverwertbaren Stoßdämpfers und der Tarnstruktur auch kommerziell nutzen lassen⁶.

Das unkonventionelle Projekt eines stabilen Stoßdämpfers aus instabilen Grundstrukturen gilt als Paradebeispiel, in welche Richtung sich die Werkstoffforschung zukünftig entwickeln wird: Komplexe Computermodelle erlauben neue Testverfahren, ungewöhnliche Werkstoffdesigns und ausgefallene Materialkombinationen, die sich später in der Praxis bewähren. Die zunehmende Digitalisierung ermöglicht schon jetzt effektivere Fertigungsstrategien und neue Geschäftsideen, die speziell auf die Kunden zugeschnittene Lösungen ermöglichen. Für Industrie und Handel gilt es diese Chancen heute und in Zukunft wahrzunehmen und in innovative Produkte und Dienstleistungen umzusetzen.



10: Die Grundstruktur eines wiederverwertbaren und trotzdem leichtgewichtigen Stoßdämpfers. (Bild: Karlsruher Institut für Technologie; Fraunhofer IWM)

⁶ Publikation: Frenzel T., **Findeisen C.**, **Kadic M.**, **Gumbsch P.**, **Wegener M.**, Adv. Mater., DOI: 10.1002/adma.201600610 (2016) Link: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27159205>, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/adma.201600610>

Verwendungsrichtlinien

Die Verwendung von Textmaterial und Abbildungen darf zu Presse Zwecken im Rahmen einer Berichterstattung über die Hector Fellow Academy und die im Trendbericht genannten Personen erfolgen. Die Verwendung ist kostenlos. Der Pressestelle ist ein Belegexemplar zu überlassen.

Pressestelle Hector Fellow Academy

Jorinne Sturm
Schlossplatz 19
76131 Karlsruhe
E-Mail: jorinne.sturm@hector-fellow-academy.de
Telefon: +49 721 608 48076