iit perspektive

Working Paper of the Institute for Innovation and Technology | Nr. 56

Leichtbau als Innovationstreiber

Eine wiederentdeckte Schlüsseltechnologie im Kontext von Klimawandel, Ressourcenschonung und CO_2-Reduzierung

Faris Kadi, Rudy Laubstein, Vico Seifert, Holger Worrack

it perspektive

Working Paper des Instituts für Innovation und Technik in der VDI/VDE-IT | Nr. 56

Faris Kadi, Rudy Laubstein, Vico Seifert, Holger Worrack

Leichtbau als Innovationstreiber – Eine wiederentdeckte Schlüsseltechnologie im Kontext von Klimawandel, Ressourcenschonung und CO_2-Reduzierung

Einleitung

Viel hilft viel – sagt der Volksmund – dies gilt aber bei weitem nicht für das Klima und die Umwelt! Das zentrale Credo des Leichtbaus „Weniger ist mehr" erlebt in diesem Zusammenhang eine Renaissance. Dabei gelten die Leichtbauprinzipien von je her. Spätestens die alten Römer haben mit ihren bahnbrechenden Bauwerken wie Amphitheatern und Aquädukten Maßstäbe im Bereich Architektur gesetzt. Denn die Reduzierung von Massen durch neue Konstruktionstechniken sowie moderne Bau- und Werkstoffe befähigen Architekt:innen und Ingenieur:innen bis heute dazu, immer atemberaubendere Visionen zu verwirklichen. Motivation für diese Entwicklungen war und ist nicht selten die Demonstration der Ingenieurskunst und das damit verbundene Wetteifern zwischen Erfinder:innen und Unternehmen oder zum Teil auch ganzen Nationen. Dass der Leichtbau in der aktuellen politischen Diskussion als „Schlüsseltechnologie", „Game Changer" und „Zukunftstrend" bezeichnet wird, liegt jedoch insbesondere in seinen Potenzialen im Kontext von Klimawandel, Ressourcenschonung und CO_2-Reduzierung begründet. Dies betrifft aber nicht nur ressourcenschonende und effiziente Lösungen für Verkehr, Bau oder Luft- und Raumfahrt, sondern bietet auch große Chancen für die Medizintechnik oder den Maschinenbau. Doch worin liegen die aktuellen Herausforderungen im Leichtbau, auch im Kontext der Elektromobilität und welche Rolle kann die deutsche Industrie – und hier vor allem der innovative deutsche Mittelstand – bei der Entwicklung und Etablierung neuer Produkte und Verfahren einnehmen?

1 Herausforderungen für die Industrie

Erfolgreich angewandte Leichtbautechnologien werden schnell mit Erfindungen aus der Luft- und Raumfahrt oder der Automobilindustrie in Verbindung gebracht. Dies lässt vermuten, dass es vornehmlich Großunternehmen sind, die Leichtbauprinzipien konsequent umsetzen und Neuentwicklungen vorantreiben. Die Gründe dafür liegen unter anderen in den hohen finanziellen und personellen Kapazitäten der Firmen, womit eine erhöhte Risikobereitschaft einhergeht. Frühzeitig werden in Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen oder in den eigenen Entwicklungsabteilungen die Potenziale der Leichtbautechnologien erkannt und der Adaptionsprozess gestartet. Doch warum ist es auch für kleinere Unternehmen wichtig und erforderlich neue Technologien umzusetzen?

1.1 Überwindung von Technologiegrenzen

Treibende Faktoren beim Umstieg oder Einstieg in neue Technologien lassen sich auch für den Leichtbau in zwei Kategorien einteilen (vgl. Henning et. al. 2011:33 f.). Zum einen ist es der nachfragegesteuerte Produktionsdruck, welcher auch als „market pull" bezeichnet wird und der Anreiz somit durch bereits bekannte Anforderungen oder Nachfragen entsteht. Zum anderen ist es der sogenannte „technology push", bei dem innovative Technologien Neuentwicklungen erst ermöglichen. Letzteres ist besonders stark im Leichtbau vertreten. Neue Verfahren, wie die additive Fertigung oder Materialentwicklungen im Bereich der faserverstärkten Kunststoffe finden vorerst keine weitverbreitete Anwendung, bieten jedoch enormes Potenzial, um Produkte effizient zu realisieren oder zu optimieren. Der richtige Zeitpunkt eines Technologiewechsels wird in vielen Unternehmen aber häufig nicht erkannt. Dies liegt vor allem daran, dass im Moment des Übergangs in der Regel erst einmal die Nachteile gegenüber bestehenden Technologien überwiegen. Nähert sich jedoch die etablierte Technologie bereits seiner Leistungsgrenze, bieten neue Ansätze meist höhere Steigerungspotenziale. Veranschaulicht wird dies durch das S-Kurven-Konzept in Abbildung 1, welches zeigt, dass die Adaption neuer Technologien mit einer schwierigen Übergangsphase verbunden sein kann, jedoch eine erhebliche Leistungssteigerung erreichbar wird.

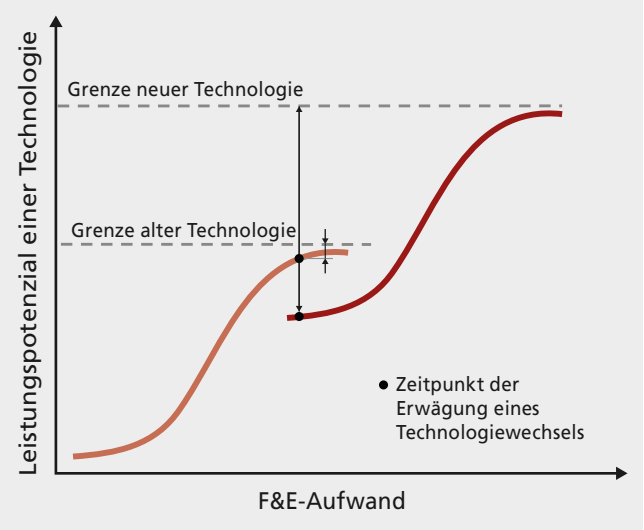

Abbildung 1: S-Kurven-Konzept (vgl. Foster 1986:111)

Wirtschaftliche Erfolgsgeschichten der Vergangenheit sind geprägt von Unternehmen, die den richtigen Zeitpunkt des Technologiewechsels erkannt haben. Auch der Leichtbau hat in diversen Branchen Entwicklungen hervorgebracht, die bei Erstanwendungen als nachteilig und unzuverlässig galten. So hat sich im Bereich der Fügetechnik das Kleben nicht nur in der Flugzeug- und Automobilindustrie zu einer Schlüsseltechnologie entwickelt (vgl. Eickenbusch et al. 2014:75). Funktionsrelevante Bauteile, werden auch im Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus oder der Elektronikindustrie verklebt, um Gewicht zu reduzieren oder wertvolle Ressourcen einzusparen.

1.2 Neue Anforderungen an die Rohstoffkreisläufe

Eine große Herausforderung stellt die Sachlage hinsichtlich der Rohstoffkreisläufe bei Leichtbaukomponenten dar. Eine wachsende Heterogenität des Materialmix ist bei einer Vielzahl von Produkten festzustellen. Während z. B. im Jahr 2010 konventioneller Stahl noch über 50 % des Gewichtes eines PKW ausmachte, wird für das Jahr 2035 eine Reduzierung des Anteils auf 13 % prognostiziert (Statista 2016). Als Ersatz werden unter anderem Verbundwerkstoffe oder Hybridbauteile eingesetzt. Zwar überzeugen die vielseitigen Vorteile der Leichtbaukomponenten während der Nutzung, doch führen solche Materialien nach Ablauf ihrer Einsatzzeit industrielle Recyclingverfahren an ihre Grenzen (vgl. Fendel 2018). Im Zusammenhang mit dem nachhaltigen Umgang mit Ressourcen, wächst auch der Bedarf, diese Materialien möglichst sortenrein zu trennen und dem Rohstoffkreislauf zurückzuführen. Maßnahmen zur Verbesserung der Ressourceneffizienz im Leichtbau sind entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu finden. Notwendig sind aber auch hierbei regulatorische Ansätze in Form von Richtlinien und Verordnungen, die einheitliche Grundlagen und Ziele vorgeben.

1.3 Standardisierung für eine erfolgreiche Markterschließung

Trotz des Wissens um die Potenziale des Leichtbaus und der möglichen positiven Auswirkungen bei konsequenter Anwendung der Technologien setzen Unternehmen weiterhin auf altbewährte Materialien und Verfahren. Gründe dafür liegen einerseits darin, dass bestehende Technologien die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit noch nicht erreicht haben. Andererseits sind insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) die wirtschaftlichen sowie technische Risiken in der Übergangsphase zu groß. Häufig werden in diesem Zusammenhang fehlende Richtlinien und Standards in den neuen Technologiebereichen genannt (vgl. Hansmersmann et. al. 2016:68 f.). Insbesondere für KMU können Richtlinien und Normen bereits in führen Phasen der Technologieentwicklung ein Wegbereiter für die Markterschließung mit neuen Produkten und Dienstleistungen sein (BMBF 2018). Erste Ansätze auf dem Weg zur Standardisierung sind Materialdatenbanken in denen relevante Kennwerte gesammelt und zur Verfügung gestellt werden. Aufgrund der rasanten Entwicklung im Bereich der Leichtbaumaterialien sind solche Datenbanken jedoch häufig unvollständig oder mit nicht belastbaren Angaben gefüllt. Informationen über das Materialverhalten bei Ermüdung, Alterung oder Verfestigung sowie die Eigenschaften jenseits der Raumtemperatur sind in vielen Fällen nicht vorhanden oder frei verfügbar. Unter anderem ist dies auch in fehlenden Prüfmethoden begründet. Bereits die Etablierung von Faserverbundwerkstoffen in der Luftfahrt oder Windkraftindustrie erforderte die Entwicklung neuer Prüfverfahren, wie z. B. die aktive Thermografie oder Computertomografie (vgl. Fery 2012:53). So besteht auch bei neuen Werkstoffen, wie z. B. Organoblechen oder Metallschäumen, der Bedarf, Mess- und Prüfverfahren zu bestimmen, um die relevanten Kennwerte ermitteln zu können. Eine solche quantitative Beschreibung der Materialeigenschaften bildet zudem die Grundlage für die rechnerische Auslegung von Bauteilen und Komponenten. Mithilfe von computerbasierten Simulationen kann dadurch die Entwicklung und Optimierung von Leichtbaukonstruktionen wesentlich beschleunigt werden.

2 Die gesamte Wertschöpfungskette im Blick

In Anbetracht einer wachsenden Weltbevölkerung und damit einhergehender stetig steigender Nachfrage an Rohstoffen spielt auch im Leichtbau das Nachhaltigkeitsbewusstsein entlang der gesamten Wertschöpfungskette eine wichtige Rolle. Für eine erfolgreiche Etablierung nachhaltiger Leichtbaukonzepte ist es jedoch erforderlich, die Wirtschaftlichkeit in jedem Abschnitt der Prozesskette zu sichern. Dies kann jedoch nur gewährleistet werden, wenn bereits bei der Auswahl der Ressourcen und Werkstoffe der Recyclingprozess berücksichtigt wird. In der Regel wird eine Kombination der verschiedenen Leichtbauarten

angestrebt, da dadurch die höchsten Leichtbaueffekte erreicht werden können. Zudem sind Leichtbau und Ressourceneffizienz eng miteinander verbunden. Es genügt nicht, lediglich das Leichtbaupotenzial des Endprodukts zu erschließen, vielmehr sollte der Leichtbau in Kombination mit Ressourceneffizienz entlang der gesamten Wertschöpfungskette betrachtet werden. Im folgenden Kapitel soll anhand ausgewählter Beispiele verdeutlicht werden, dass Leichtbau mehr bedeutet, als die reine Gewichtseinsparung eines Bauteils. Die Entwicklungen im Leichtbau beginnen bei den Rohstoffressourcen und führen über den Herstellungsprozess bis zum Recycling (Abbildung 2). Auch wenn ein vollständig geschlossener Rohstoffkreislauf zunächst eine Zukunftsvision darstellt, ist es das Ziel, soviel Rohstoffe wie möglich im Kreislauf zu erhalten. Insbesondere der Leichtbau bietet hierbei enormes Entwicklungspotenzial.

2.1 Ressourcen und Materialentwicklung

Leichtbauwerkstoffe

Die Substitution und die damit einhergehende Gewichtsreduzierung durch Leichtbauwerkstoffe ist nur dann sinnvoll, wenn Werkstoffeigenschaften wie Festigkeit, Steifigkeit und Temperaturbeständigkeit herkömmlichen Materialien überlegen sind. Die Auswahl des Werkstoffes erfolgt immer in Abhängigkeit des jeweiligen Anwendungsfalls. Daher gibt es keine klare Einordnung oder Definition eines Leichtbauwerkstoffs. Zu den bekanntesten Werkstoffen im Kontext des Leichtbaus zählen Kunststoffe, Aluminium und Titan, welche in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten für immer mehr Leichtbauanwendungen u. a. im Fahrzeug-, Flugzeug- und Hochbau sowie in der Raumfahrt verwendet werden. Aber auch in der Medizintechnik führen Leichtbaulösungen dazu, dass Prothesen und Implantate leichter und Operationsinstrumente für minimalinvasive Eingriffe kleiner werden. Die Dichten der eingesetzten Materialien reichen von 0,80 g/cm³ für unverstärkte Polymere über 2,7 g/cm³ für Aluminium bis zu 4,5 g/cm³ für Titan. Während die Dichte von Titan im Vergleich zu Polymeren relativ hoch ist, ist es deutlich leichter als die Metalle, mit denen es normalerweise konkurriert. Darunter zählen z. B. Stahl mit 7,86 g/cm³ bzw. Superlegierungen mit Dichten im Bereich von 7,8 bis 9,4 g/cm³. Die Dichte der Materialien ist jedoch nicht der alleinige Faktor für deren Einsatz als Leichtbauwerkstoff, sie muss immer auch im Zusammenhang mit weiteren Werkstoffeigenschaften wie bspw. der Zugfestigkeit betrachtet werden. So haben unverstärkte Polymere eher geringe Zugfestigkeiten im Bereich von 34 bis 103 MPa, während Titanlegierungen Zugfestigkeiten von bis zu 1.150 MPa erreichen können. Ein ähnlicher Zusammenhang ist bezüglich der Dichte und Temperaturbeständigkeit der Werkstoffe zu erkennen: Während einige der leichten Polymere nur bis ca. 66 °C verwendbar sind, können Titanlegierungen ihre wesentlichen Eigenschaften bis etwa 635 °C beibehalten und aufgrund des Schmelzpunktes von 1.660 °C sogar bei noch höhere Temperaturen eingesetzt werden (vgl. Campbell 2012:4 f).

Aktuelle Materialforschungen und -weiterentwicklungen zeigen ein wesentliches Potenzial für weitere Werkstoffe, die den Leichtbau in den kommenden Jahren deutlich prägen könnten. Mit einer Dichte von 1,73 g/cm³ steht Magnesium seit Jahren im Fokus der Entwicklung (vgl. Schlott 2016). Aufgrund der vergleichbaren Elastizität von Magnesium mit menschlichen Knochen

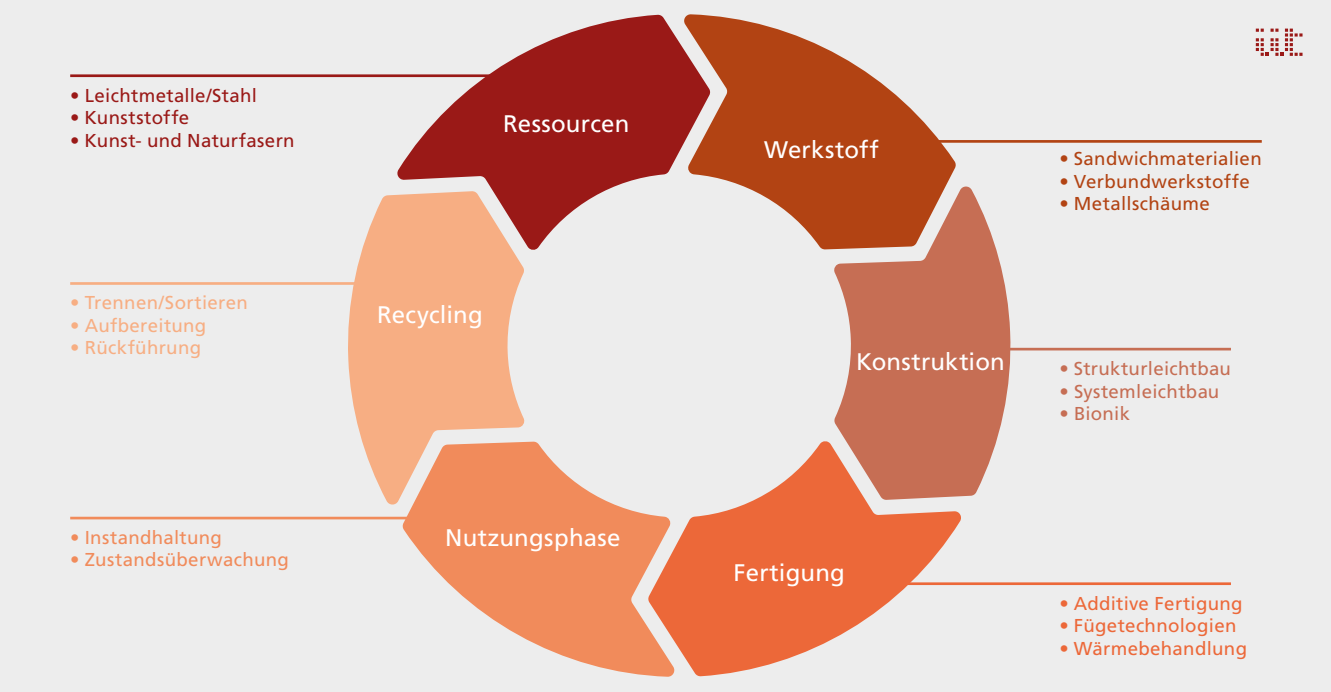

Abbildung 2: Wertschöpfungskette Leichtbau mit beispielhaften Themenfeldern

wird der Werkstoff bereits in der Medizintechnik, besonders für Implantate, verwendet. Auch in der Automobilindustrie werden Magnesiumgussbauteile vermehrt angewendet. Diverse Bauteilbestandteile, wie bspw. eine Automobilheckklappe aus Aluminium oder Stahl zeigen zudem erhebliches substitutionspotenzial durch Magnesium. Durch eine magnesiumgerechte Konstruktion der Heckklappe, wurde ein Gewicht von 5,8 kg erzielt. Dies bedeutet eine Gewichtsersparnis von 6,3 kg (- 52 %) gegenüber dem Stahlserienbauteil und 1,8 kg (- 24 %) gegenüber einer äquivalenten Aluminiumkonstruktion (vgl. Klaumünzer 2019). Aufgrund der schlechten Korrosions- und Umformeigenschaften des Werkstoffs ist bislang jedoch eine großindustrielle Produktion von Magnesiumblechen nicht umsetzbar. Aktuelle Forschungsergebnisse zeigen jedoch, dass die Herstellung von Magnesiumblechen und -bändern prinzipiell möglich ist und zugleich wirtschaftlich sein kann. Eine Übertragung der Technologie zur Herstellung von Magnesiumblechen auf einen industriellen Maßstab könnte ein wesentliches neues Anwendungsfeld für diesen Werkstoff ermöglichen (vgl. Kawalla et al. 2016).

Ein bereits seit Jahrzehnten etablierter Werkstoff ist Stahl. Lange Zeit wurde Stahl durch andere Werkstoffe im Sinne des Leichtbaus substituiert, doch in den letzten Jahren gewinnt der Werkstoff selbst immer mehr an Bedeutung für Leichtbauanwendungen. Dies ist begründet durch die zehnfache Steigerung der Zugfestigkeit des Werkstoffs innerhalb der letzten 20 Jahre. Bereits heute kommen hochfeste Stähle mit Zugfestigkeiten von bis zu 2.000 MPa zum Einsatz. So können bspw. im Karosseriebau Bauteile dünnwandiger dimensioniert und so das Gesamtgewicht der Karosserie reduziert werden. Aufgrund der etwa 50 % niedrigeren Produktionskosten gegenüber einem vergleichbaren Aluminiumbauteil wird zukünftig der Einsatz von hochfesten Stählen für Leichtbauanwendungen wahrscheinlich weiter zunehmen. Auch wenn einzelne Werkstoffe immer weiter optimiert werden, so kann in den letzten Jahren ein deutlicher Trend zur Kombination verschiedener Werkstoffgruppen im Leichtbau erkannt werden. Besonders „maßgeschneiderte" Verbundwerkstoffe prägen den Leichtbau der letzten Jahre, da durch diese Werkstoffgruppe diverse Leichtbaustrukturen überhaupt erst ermöglicht wurden (vgl. ThyssenKrupp 2019).

Materialkombinationen, Verbundwerkstoffe, Hybride Werkstoffe

Durch die Kombination von zwei oder mehr Werkstoffen entsteht ein Verbundwerkstoff (Hybridwerkstoff), welcher andere Eigenschaften besitzt als die Einzelkomponenten, aus welchen das Verbundmaterial besteht. Durch die bewusste Kombination verschiedener Werkstoffklassen werden die Vorteile aller Komponenten gezielt eingesetzt und neue Eigenschaften für neue technologische Anwendungen oder Funktionen ermöglicht. Dadurch haben sich insbesondere Faserverbundwerkstoffe im Leichtbau etabliert und prägen diesen immer mehr. Bei diesen Werkstoffen werden Fasern in Polymere, Metalle oder Keramiken eingebracht, um diese leichter, stabiler, weniger spröde oder besser formbar zu machen. Speziell kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) eignen sich durch ihre große Zugfestigkeit (ca. 900 MPa) und Steifigkeit bei gleichzeitig geringe Dichte (ca. 1,5 g/cm³) für Leichtbauanwendungen. Darüber hinaus bietet CFK diverse Möglichkeiten der Funktionsintegration. So können der Produktnutzen erhöht und integrale Fertigungskonzepte bzw. hochbelastbare Sandwichstrukturen realisiert werden. Durch die Verwendung von CFK anstatt Aluminium kann für Bauteile eine Gewichtseinsparung von bis zu 30 % und gegenüber Stahl von bis zu 60 % erzielt werden (vgl. Cikoni 2017).

Dem Gewichtseinsparungspotenzial von CFK stehen jedoch hohe Materialkosten gegenüber, so dass eine reine CFK-Bauweise in der Regel nicht wirtschaftlich ist (Abbildung 3). In der Praxis wird daher meist eine Multimaterial-Bauweise angewendet, um die Gewichtsreduzierung und Materialkosten in Waage zu halten.

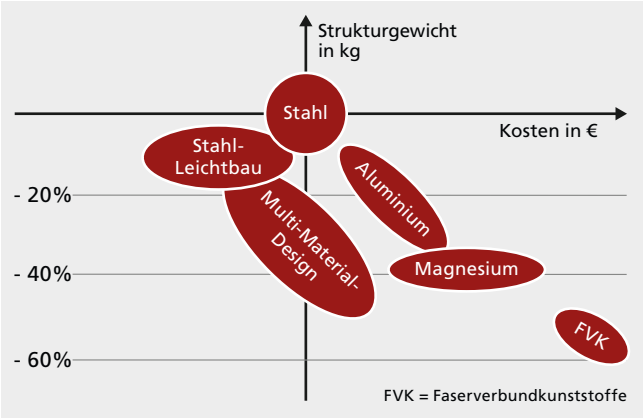

Abbildung 3: Multimaterial-Bauweise für einen wirtschaftlichen Leichtbau (vgl. Götz 2020)

Dennoch bilden aufgrund der genannten Eigenschaften Kohlenstoffverbindungen bis heute einen großen Forschungsschwerpunkt im Leichtbau. Kohlenstoffnanoröhren (carbon nanotubes – CNT) zeigen mit einer Dichte von etwa 1,3 g/cm³ und einer Zugfestigkeit von 63 GPa (entspricht dem 50-fachen von Stahl) ein wesentliches Potenzial für zukünftige Leichtbauanwendungen. Kohlenstoffnanoröhren sind zylindrische Moleküle, die aus aufgerollten Lagen einschichtiger Kohlenstoffatome bestehen. Diese können einwandig (mit einem Durchmesser von weniger als 1 nm) oder mehrwandig (mehrere konzentrisch miteinander verbundene Nanoröhren mit Durchmessern von mehr als 100 nm) sein. Ihre Länge kann mehrere Mikrometer oder sogar Millimeter erreichen. Bis auf wenige Nischen (z. B. in der Messtechnik und für Transistoren) finden CNT noch keine industrielle Anwendung. Aufgrund der

noch häufigen Einbringung von metallischen Verunreinigung und Strukturdefekten bei der Herstellung der Nanoröhren ist ein großtechnisches Fertigungsverfahren noch nicht vorhanden (vgl. Berger 2014).

Sowohl CFK als auch CNT zeigen zudem deutliche Defizite in Bezug auf die Nachhaltigkeit, da die Herstellungsprozesse sehr energieintensiv und somit ressourcenaufwändig sind. Zudem ist besonders das Recycling von CFK noch eine wesentliche Herausforderung, da die Kohlenstofffasern vollständig vom Kunststoff getrennt werden müssen. Recycelte Fasern können auch nicht für alle Anwendungen eingesetzt werden, da deren Eigenschaften nicht denen neuer Fasern entsprechen (vgl. Brünglinghaus 2014). Aufgrund der Defizite in der Recyclingfähigkeit von CFK und weiteren Leichtbauwerkstoffen tendiert die Leichtbauindustrie immer mehr zu abbaubaren Alternativmaterialien. Aktuelle Forschungen an Naturfaserverbundwerkstoffen wie bspw. Basalt, Flachs oder Hanf zeigen, dass diese Kohlenstofffasern oder Glasfasern in Verbundwerkstoffen substituieren könnten. Gleichzeitig kann der Einsatz von Naturfasern die Kosteneffizienz bei der Herstellung von Fasermaterial um 30 % steigern sowie den CO_2-Bedarf um 70 % reduzieren. Bislang ist jedoch noch keine Bereitstellung sowie Auf- und Weiterbereitung der Naturstoffe als Fasern für technische Anwendungen im Industriemaßstab möglich, so dass deren Anwendung als technische Faser bislang im Wesentlichen auf Prototypen und Nischenprodukte beschränkt ist. Dennoch steigen die Forschungsaktivitäten bzgl. nachwachsender Rohstoffe, da diese besonders durch neue Konstruktionsmöglichkeiten und Bearbeitungstechnologien den Leichtbau nachhaltig verändern könnten (vgl. Kucherskyy 2018).

Sandwichstrukturen und Schäume

Eine Leichtbaukonstruktion soll die Struktur bei einem minimalen Baueigengewicht höchstmöglich ausnutzen. Dieser Aufgabe kommen besonders Verbundstrukturen nach. Zu den wichtigsten Verbundstrukturen im Leichtbau gehört die Sandwichbauweise. In dieser Plattenbauweise umschließen zwei Außenschichten (z. B. Faserverbundwerkstoffe) einen inneren Kern (z. B. Polymerschaum oder Wabenstruktur), mit geringer Dichte und Steifigkeit. In der Regel leiten die Außenschichten die Biegemomente als Zug- und Druckbeanspruchung in Längsrichtung ab und der Kern nimmt Querkräfte auf. Diese Struktur ermöglicht somit eine hohe Biegesteifigkeit bei gleichzeitig geringem Gewicht. Aus diesem Grund werden Sandwichstrukturen überall dort eingesetzt, wo leichte, flächige Strukturen gefragt sind und hohen Belastungen standhalten müssen, wie z. B. bei Verkleidungsteilen von Flugzeugen (vgl. Rosenmaier 2018) (vgl. Schlimper 2018).

Im Fokus aktueller Entwicklungen stehen besonders Metallschäume. Metallschäume sind hochporös und durch ihre Struktur ähnlich wie Holz oder Knochen sehr leicht (Abbildung 4).

Abbildung 4: Aufbau und Struktur im menschlichen Knochen als Vorlage für Aluminiumschäume

Aufgrund des zellularen Aufbaus absorbieren Schäume zusätzlich Energie in Form von Schwingungen, Stößen oder auch Schall, so dass neben der Gewichtsreduktion zusätzlich eine Funktionsintegration erzielt wird. Bereits technisch realisierbare Schäume auf der Basis von Aluminium oder Zink weisen je nach Herstellungsverfahren Dichten von 0,5 g/cm³ und weniger auf. In Verbindung mit Stahl- oder Aluminiumblechen eignen sich Schäume besonders als innerer Kern für Sandwichbauteile (vgl. Fraunhofer IWU 2015).

Trotz einer großen Anzahl aktueller Forschungsprojekte bezüglich der Herstellung von Metallschäumen gibt es noch erhebliches Entwicklungspotenzial im Bereich der Oberflächengüte, gezielten Strukturausbildung, Brucheigenschaften und Anbindung zu anderen Flächenbauteilen, was deren Einsatz noch stark limitiert.

2.2 Konstruktion und Design

Arten des Leichtbaus

Der Leichtbau kann grundlegend in drei wesentliche Arten unterteilt werden: Material-, Struktur- und Systemleichtbau. Beim Materialleichtbau wird der ursprüngliche Werkstoff eines Bauteils durch einen anderen Werkstoff mit einer geringeren Dichte ersetzt. Der Strukturleichtbau zielt hingegen auf eine beanspruchungsgerechte Konstruktion hin, dabei sollen einwirkende Kräfte gezielt zu den gegebenen Auflagerpunkten abgeleitet werden. Der Fokus liegt auf der Art, Anzahl und Anordnung von Bauteilen zur Gestaltung einer tragenden Konstruktion mit einem minimalen Eigengewicht. Im Systemleichtbau werden neben den lastabtragenden Funktionen noch andere, wie beispielsweise speichernde, dämmende oder vergleichbare Funktionen vereint. Somit besteht die Aufgabe des Systemleichtbaus darin, tragende Bauteile multifunktional zu gestalten (vgl. Sobek 2007).

Funktionsintegration

Der Leichtbau ist auch einer der bedeutendsten Triebkräfte für eine maximale Funktionalität in möglichst wenigen Bauteilen. Die Bauteilgeometrie und spezifischen Werkstoffeigenschaften werden lokal optimal einander angepasst. Eine Funktionsintegration in ein Bauteil kann z. B. durch hybride Strukturen erzielt werden. Durch die Verwendung unterschiedlicher Materialien in einem Bauteil ergeben sich strukturelle und multifunktionelle Eigenschaften, die besonders für Anwendungen mit gegensätzlichen oder extremen Anforderungen an die Werkstoffe geeignet sind. Besonders im Zusammenhang mit der voranschreitenden Digitalisierung von industriellen Prozessen werden zunehmend Sensoren und Aktoren in Bauteile und Werkstoffe integriert, so dass diese Daten, ohne eine zusätzliche Messapparatur, direkt aufnehmen und verarbeiten können. Aktuelle Entwicklungen sollen dabei nicht nur eine Sensorintegration ermöglichen, sondern eine automatische und steuerbare Reaktion der Materialien bzw. des Bauteils selbst. Die sogenannten intelligenten Werkstoffe (Smart Materials) können sich selbstständig an variierende Umgebungsbedingen anpassen. Dadurch kann eine erhebliche Reduktion der Bauteilkomplexität erreicht werden. Außerdem ermöglichen Fertigungstechnologien wie die additive Fertigung neue Möglichkeiten der geometrischen Variabilität, so dass eine Funktionsintegration auf engstem Raum möglich ist. So können bspw. Faserverbundwerkstoffe gedruckt und gezielt auf ein Bauteil appliziert werden, um so eine lokale Funktionsintegration zu ermöglichen (vgl. Kunze 2020).

Bionik – beispielhafter Dauertrend

Die Zielstellung des Leichtbaus, unter bestimmten Randbedingungen, eine Struktur mit minimalem Eigengewicht mit bestimmter Lebensdauer und Zuverlässigkeit zu realisieren wurde in der Natur im Laufe der Evolution bereits optimiert. In natürlich gewachsenen Strukturen wird nur dort Material aufgebaut, wo es tatsächlich benötigt wird. Erste Beispiele aus der Natur wurden bereits auf den Leichtbau übertragen. In der Architektur und im Bauwesen wird Bionik schon seit Jahren genutzt, so ist die rippenartige Konstruktion des Eiffelturms vom Knochenbau inspiriert. Im Bauwesen werden viele rippenartige Konstruktionen verwendet um gezielt Druck- und Zugkräfte aufzunehmen und abzuleiten – nach dem Prinzip der Knochenbälckchen in Skeletten. Ebenfalls wurden hexagonale Strukturen, wie sie beispielsweise in Bienenwaben oder der Wölbstruktur des Schildkrötenpanzers vorkommen, ins Bauwesen und in diverse technische Anwendungen übernommen. Die Strukturen zeichnen sich durch eine hohe Stabilität bei gleichzeitig geringen Materialeinsatz aus. Je nach Anwendungsfall ermöglichen Wabenstrukturen eine Materialeinsparung von über 30 % einhergehend mit einer wesentlichen Gewichtseinsparung.

Darüber hinaus ermöglichen einige Materialien wie Metalle, Kunststoffe oder Papiere mit dünner Wandstärke eine selbstständige Ausbildung einer natürlichen sechs- oder achteckigen Wölbstruktur in einem Zylinder, wenn dieser unter Druck gesetzt wird. So können bei der Einbringung der Struktur in das Material Werkzeuge und Prozessschritte eingespart werden, wodurch die Ressourceneffizienz zusätzlich gesteigert wird. Ein weiteres Beispiel der Bionik ist der Panzer des Kofferfischs: Dieser besitzt ein geringes Volumen, niedriges Gewicht, ist aber dennoch sehr stabil. Diese Eigenschaften wurden z. B. genutzt, um eine Automobilkarosserie (Konzeptfahrzeug Mercedes-Benz Bionic Car) zu optimieren. Dadurch konnte das Gewicht der Karosserie um etwa ein Drittel gesenkt werden. Durch neue Fertigungsmethoden, wie der additiven Fertigung, bekommt die Bionik aktuell einen immer höheren Stellenwert, da diese die Herstellung komplexer und natürlicher Strukturen ermöglichen, welche bislang durch konventionelle Fertigungsverfahren nicht realisierbar waren. Im Flugzeugbau konnte durch die Kombination zweier bionischer Prinzipien (netzförmige Ausbildung des Schleimpilzes und Knochenwandwachstum) eine Trennwand konzipiert und mittels 3D-Druck gefertigt werden. So entstand eine Trennwand, die bei gleicher Festigkeit eine Gewichtseinsparung von 45 % gegenüber einer konventionellen Trennwand aufwies (vgl. Koblmiller 2019). Es wird deutlich welches Potenzial in der Bionik für den Leichtbau steckt und wie dieses besonders durch neue Fertigungsprozesse und -verfahren noch besser erschlossen werden kann.

2.3 Fertigungsprozesse und -verfahren

Additive Fertigung

Da der Rohstoffverbrauch und gleichzeitig der Ressourcenpreis weltweit stark zunehmen, rückt die additive Fertigung immer mehr in den Fokus aktueller Entwicklungen und industrieller Anwendungen. Durch das Fertigungsverfahren ist es möglich, Material nur da aufzutragen, wo es auch tatsächlich notwendig ist. Bereits im Konstruktionsprozess kann bei Bauteilen überflüssiges Material eingespart werden, welches für eine konventionelle Fertigung zwingend erforderlich wäre (vgl. EOS 2020). Neben dem gezielten Materialeinsatz ermöglicht die additive Fertigung eine neue Konstruktionsfreiheit, die es ermöglicht das Bauteildesign genau an die Ansprüche anzupassen und so eine topologische Strukturoptimierung durchzuführen. Aktuell hat sich die additive Fertigung hauptsächlich im Prototypenbau etabliert. Auch diverse Bauteile (z. B. Turbinenschaufeln, Getriebebauteile, Ersatzteile, etc.) bis hin zu Kleinserien können bereits heute additiv gefertigt werden. Um das volle Potenzial der Fertigungstechnologie auszuschöpfen, muss jedoch bereits im Design- und Konstruktionsprozess die Fertigungsfreiheit genutzt werden. Noch fehlt es jedoch in diesem Bereich an Wissen und Erfahrung und es herrscht ein zu eingeschränktes Denken aufgrund der etablierten, konventionellen Fertigungsprozesse. Zudem sind die gedruckten Strukturen oft noch von Fehlern (z. B. Lufteinschlüsse oder

Materialfehlstellen) geprägt, wodurch es oft zur führzeitigen Rissbildung im Material kommt und so die Lebensdauer wesentlich reduziert wird. Auch die noch relativ langen Druckzeiten je Bauteil, die eingeschränkte Größe des Druckraums von 3D-Druckern und deren Einbindung in bereits bestehende Produktionsprozesse stellen noch ein wesentliches Hindernis für abdeckende industrielle Verwendung dar (vgl. Kolbmiller 2019). Die steigende Zahl an Anwendungen im 3D-Druck zeigte jedoch, dass die Technik in den letzten Jahren deutliche Fortschritte in Richtung industriellen Einsatz unternommen hat und davon ausgegangen werden kann, dass auch in Zukunft die additive Fertigung ein immer wichtigerer Bestandteil auch im Leichtbau wird. Weiterwicklungen hin zur vier- und fünfachsigen additiven Fertigung sowie der generativen Herstellung von Formgedächtnisbauteilen sind aktuelle Gegenstand von Forschungsprojekten und sollen die gestalterischen Möglichkeiten generativ hergestellter Bauteile erweitern (vgl. Shea et al. 2019).

Fügetechniken

Für die Herstellung von Leichtbauteilen sind häufig spezielle oder neue Fügetechniken notwendig. Die größte Herausforderung stellt das Verbinden von artfremden Werkstoffen, wie z. B. bei der Multi-Materialbauweise dar. Das unterschiedliche Materialverhalten der einzelnen Fügekomponenten führt im Fügevorgang häufig zu einer Schädigung der Werkstoffe oder zu geringen Verbindungsfestigkeiten. Darüber hinaus sind die neu entwickelten Lösungen für das Fügen artfremder Werkstoffkombinationen häufig noch zu energieintensiv und somit oftmals nicht wirtschaftlich. Aktuelle Entwicklungsschwerpunkte liegen daher in allen wesentlichen Fügeverfahren (mechanischen Fügen, thermisches Fügen, Klebetechniken) auf der Bereitstellung ressourcenschonender und wirtschaftlicher Prozesse für das Fügen artfremder Werkstoffe. Im Bereich des mechanischen Fügens im Leichtbau ist neben dem Nieten, das Clinchen ein wesentlicher Entwicklungsschwerpunkt. Beim Clinchverfahren wird ein Formschluss durch einen Hinterschnitt im Inneren der Verbindung gewährleistet. Mit dieser Fügetechnik sind artfremde Materialverbindung prinzipiell produzierbar. Dennoch gibt es bei Metall-Kunststoff-Verbindungen auch mit diesem Verfahren noch wesentliche Herausforderungen, da Kunststoffe sich mit der Zeit bereits bei Raumtemperatur umformen, so dass es zu einem Lösen der Verbindung kommt. Zur weiteren Verbesserung solcher Verbindungen kommen in letzter Zeit vermehrt Hybridfügeverfahren zum Einsatz. Beispielsweise kann das Clinchen mit dem Fügeverfahren Schmelzkleben kombiniert werden. In diesem Fall wird der Kunststoff lokal aufgeschmolzen, um eine Schmelzverbindung zwischen Metall und Kunststoff herzustellen und zusätzlich über das Clinchen zu verbinden. Für jede Materialkombination müssen dennoch die genauen Prozessparameter ermittelt und das entsprechende Verfahren, soweit überhaupt möglich, entwickelt werden. Auch bei den thermischen Fügeverfahren (z. B. Widerstandspunktschweißen, Löten etc.) bedingen neue Werkstoffe ständig neue Verfahrensentwicklungen. Das Fügen von Stahl ist am wirtschaftlichsten durch Schweißen möglich. Die verschiedenen neu entwickelten Legierungsformen, Materialkombinationen und Werkstoffverbunde rufen beim Schweißen jedoch immer häufiger Fehler (z. B. Einschlüsse, unzureichende Anbindung etc.) aufgrund deren Artunterschiede hervor. Zukünftig wird daher die Fügetechnik zunehmend komplexer. Die Herausforderung besteht in der Entwicklung neuer Strategien der Wärmeeinbringung, so dass die spezifische Mikrostruktur des Materials nur so wenig wie möglich verändert oder die Struktur sogar in-situ generiert wird. Diese Aufgabe kann zukünftig nur gelöst werden, wenn der komplette Produktionsprozess betrachtet und dabei die Fügetechnik von Beginn an in die Produktionsstrategie einbezogen wird (vgl. Georgi 2017).

2.4 Recycling und Nachhaltigkeit

Extrem steife und leichte Multi-Material-Strukturen mit gleichzeitiger Funktionsintegration haben den Leichtbau in den letzten Jahren auf ein neues Niveau gehoben. Die Weiterentwicklungen im Leichtbau bringen jedoch auch neue Problemfelder mit sich. Hybride Werkstoffe und stoffliche Verbindungen wie bspw. Metall-Kunststoff-Verbunde, Stahl-Aluminium-Schweißverbindungen oder Polylegierungswerkstücke lassen sich bislang nur schwer, nicht wirtschaftlich oder gar nicht trennen. Besonders bei CFK-Bauteilen ist das Recycling nur mit sehr hohem Aufwand (per Pyrolyse) möglich. Hinzu kommt, dass Verbundwerkstoffe bspw. im Fall des Recyclings von Automobilen in der Regel in einer Mischung vieler (gepresster) Altfahrzeuge zu den Verwertern kommen. Eine saubere und wirtschaftliche Trennung der Werkstoffe ist dann so gut wie nicht mehr möglich. Um zukünftig Recycling im Leichtbau zu verbessern, soll z. B. durch die KI-gesteuerte und prozessübergreifende Nutzung von Prozessdaten die Fügetechnik so ausgelegt wird, dass eine möglichst vollständige Werkstoffnutzung sichergestellt und gleichzeitig ein einfaches Trennen der Fügepartner am Ende der Lebensdauer möglich wird. In den nächsten Jahren soll zudem die Vorhersage von Produkteigenschaften nach der Fertigung optimiert werden. Dabei wird die gesamte Nutzungsphase bis zum Recycling bereits in der frühen Entwicklungsphase vorausgesagt werden. Bislang fehlen dafür jedoch in der Regel noch die notwendigen Materialkennwerte. Im Rahmen des Forschungsprogramms Forel wurden in verschiedenen Projekten Ansätze für einen ökologisch-nachhaltigen Leichtbau ermittelt und in einem Leitfaden zusammengefasst (vgl. Gude et al. 2020). Der Leitfaden bietet konkrete Handlungsempfehlungen für einen nachhaltigen Leichtbau mit gleichzeitiger Voraussicht, in welche Richtung der Leichtbau sich bis 2030 entwickeln wird (vgl. Siebel 2020).

3 Chancen für Deutschland nutzbar machen

3.1 Mittelstand als Vorreiter

In Deutschland sind näherungsweise 1.800 Unternehmen (Rammer 2019) als hidden champions in ihren Bereichen Weltmarktführer und Innovationstreiber. Doch betrachten insbesondere KMU die konsequente Anwendung neuartiger Leichtbautechnologien mit einer gewissen Skepsis. „Leichtbau ist zu teuer", „Leichtbau bringt nichts" oder „Leichtbau ist zu komplex" sind oft genannte Gründe bzw. Pauschalisierungen, die dem Einsatz der Konstruktionsphilosophie entgegengebracht werden (vgl. Leichtbau BW 2015). Weiterhin scheint die Verfügbarkeit von Ressourcen und die Möglichkeiten des Recyclings hemmend für den Einsatz von Leichtbau zu sein. Im Gesamtbild werden jedoch die Vorteile des Leichtbaus anerkannt, auch wenn Sie anfänglich mit hohen Investitionskosten verbunden sind. Deshalb hat es sich unter anderem die Bundespolitik zur Aufgabe gemacht, diese Hemmschwelle zu senken.

Mit dem Technologietransfer-Programm Leichtbau stellt das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie über 10 Jahre rund 300 Millionen Euro Fördermittel zur Verfügung, um den Leichtbau in Deutschland als Innovationstreiber für ressourcenschonendes und nachhaltiges Wirtschaften zu etablieren (BMWI 2020). Weiterhin befassen sich etwa 11 % der bewilligten Projekte im Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) mit Werkstofftechnologien (Kaufmann et al. 2019:72). Somit zeigt sich, dass bereits jetzt eine Reihe von Maßnahmen auf den Weg gebracht worden sind, um Unternehmen (oftmals in Kooperation mit Forschungseinreichungen) bei der Umsetzung von Leichtbaulösungen zu unterstützen.

Deutschland bietet dank einer starken Leichtbaukompetenz in der Forschung, Produktentwicklung und Fertigung sowie der sehr guten internationalen Vernetzung eine exzellente Ausgangslage, um sich als Leitanbieter für neuartige Leichtbautechnologien am globalen Markt behaupten zu können. Auf Grund eines starken Mittelstandes sind deutsche Unternehmen bzgl. dieser Zukunftstechnologie im inter-nationalen Vergleich gut aufgestellt. Trotz der hohen Relevanz des Leichtbaus erscheint die Anzahl an Akteuren, die primär im Leichtbau aktiv sind, jedoch noch immer relativ gering. Nach den Daten aus dem statistischen Unternehmensregister gibt es ca. 3,4 Millionen Unternehmen (Stand 2018) in Deutschland, wovon mehr als 99 % als kleine und mittlere Unternehmen eingestuft werden (Statista 2020). Nach Angaben des BMWI nutzen bereits 22 % der KMU Leichtbaumaterialien, wobei das anhaltend hohe Interesse an Leichtbautechnologien an den über 1.000 Fördervorhaben erkennbar ist, die der Förderkatalog des Bundes führt (BMWI 2020).

3.2 Transformationsprozesse forcieren

Zur Steigerung des Innovationspotenzials deutscher Unternehmen ist es essenziell, den Fokus zukünftig verstärkt auf die Zusammenarbeit von KMU, Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen sowie Großunternehmen in regionalen bzw. themenorientierten Forschungs- und Unternehmensnetzwerken zu legen. Es besteht die große Herausforderung, die Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung in die Industrie zu übertragen. Dies geschieht einerseits durch die Ausbildung zukünftiger Ingenieur:innen, die bereits die Tragweite der werkstoff- und produktübergreifenden Betrachtung des Leichtbaus aufgezeigt bekommen (vgl. TU Dresden 2018). Andererseits sind Förderungen des Bundes und der Länder notwendig, um Einstiegsbarrieren bei der Adaption von Leichtbautechnologien in Unternehmen zu verringern und Unklarheiten in Bezug auf den Mehrwert des Leichtbaus zu beseitigen.

Der branchen- und technologieübergreifende Wissenstransfer schafft nachhaltige Kompetenzen bei den Partnern und ermöglicht es, in vertrauensvoller Zusammenarbeit innovative Wege einzuschlagen und als Konsortium auf die großen Anwender zugehen zu können. Mit diesem Wissen können die deutschen Unternehmen – und ganz besonders der Mittelstand – eine Vorreiterrolle einnehmen und einen hohen Beitrag zur Sicherung des Wirtschaftsstandorts Deutschlands leisten. Dabei ist noch einmal deutlich hervorzuheben, dass der Leichtbau als Querschnittstechnologie nicht allein auf Mobilitätslösungen (Auto, Schienenverkehr, Fahrrad) beschränkt werden darf, sondern wie bereits dargestellt eine Vielzahl an Branchen, wie die Medizintechnik und den Maschinenbau, einschließt. Des Weiteren bestehen Anknüpfungspunkte für deutsche Unternehmen in den Randthemen rund um den Leichtbau. Dazu zählen u. a. die bereits erwähnte Mess- und Prüftechnik für die Qualitätssicherung im Produktionsprozess sowie zur Nachweiserbringung für das Langzeitverhalten innovativer, leichter Materialien.

3.3 Mehrwert veranschaulichen

Die Entwicklungen in und um den Leichtbau in Deutschland sind durch die Heimat großer Automobilhersteller vor allem von dieser Branche getrieben. Insbesondere die Einhaltung strengerer Abgasnormen stellt die Hersteller vor immer höhere Herausforderungen. Die in der Presse diskutierten und im Raum stehenden Kriterien der anstehenden EU-Abgasnorm Euro 7, die im Jahr 2021 verabschiedet werden soll, werden aller Voraussicht nach weitere hohe Hürden für die Hersteller bedeuten. Der Weg zur Elektromobilität ist zudem vorprogrammiert und wird durch die geplanten Regelungen weiter beschleunigt werden. Welche Rolle der automobile Leichtbau in diesem Kontext zukünftig spielen wird, wurde bereits kontrovers diskutiert und die

vertretenen Positionen könnten dabei teilweise nicht unterschiedlicher sein. Auf der einen Seite wird eine erfolgreiche Umsetzung der Elektromobilität eng an die Verfolgung konsequenten Leichtbaus gesetzt, auf der anderen Seite wird argumentiert, dass geringere Batteriekosten und die Möglichkeit der Rekuperation die Bedeutung des Leichtbaus relativieren (vgl. Köth 2020, Dilba 2019). Der Leichtbau bewegt sich in dieser Thematik in einem komplexen Spannungsfeld. Das Argument, dass Leichtbau im Zuge der Elektromobilität an Bedeutung verlieren könnte, bezieht sich zunächst rein auf die Nutzungsphase des Automobils. Hier spielt das Gewicht bei ausreichend großer Antriebsleistung durch die Batterie tatsächlich zunächst eine untergeordnete Rolle. Auch die kontinuierlich sinkenden Batteriekosten (vgl. Abbildung 5) unterstützen diese Argumentation. Teure Leichtbaukonzepte würden sich demnach langfristig nicht rechnen.

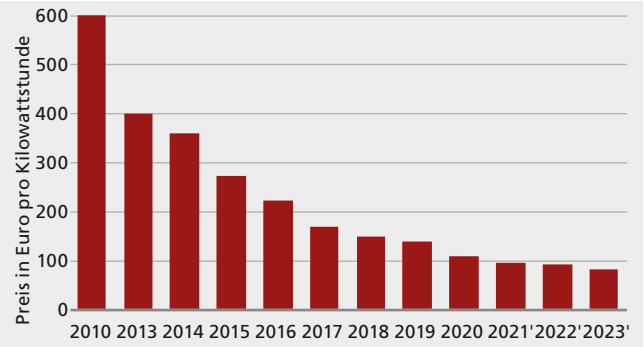

Abbildung 5: Weltweite Preisentwicklung für Lithium-Ionen-Akkus in ausgewählten Jahren und Prognose bis 2023 (Statista 2020)

Anders sieht es jedoch aus, wenn der gesamte Produktlebenszyklus sowie die klimatischen Auswirkungen betrachtet werden und dies in Zukunft weiter Einfluss auf Besteuerungen und Abgaberegelungen haben könnte. Der Großteil der CO_2-Belastung von Elektroautos, im Mittel ca. 80 kg CO_2 pro kwh (Emilsson 2019), entsteht bei der Batterieproduktion. Größere Batterien führen somit zu einer höheren Umweltbelastung im Herstellungsprozess. Des Weiteren beträgt der Anteil erneuerbarer Energien am deutschen Strommix derzeit rund 56 % (Fraunhofer ISE 2020). Ein größerer Stromverbrauch bei leistungsstärkeren Batterien führt somit aktuell zu einem höheren Bedarf nach fossilen Energieträgern und unweigerlich zu einer erhöhten Umweltbelastung. Bei leichteren Fahrzeugen können wiederum kleinere Batteriesysteme verbaut werden, was sich positiv auf die Umweltbilanz auswirkt. Zudem sind mit leichteren Autos höhere Reichweiten möglich. Automobiler Leichtbau ist somit keinesfalls ein Auslaufmodell. Es besteht vielmehr der Bedarf nach serientauglichen Lösungen, die einen aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten vertretbaren Einsatz von Leichtbau im (Elektro-)Automobil ermöglichen. Die Skalierbarkeit über die hohen Absatzzahlen im Mobilitätssektor bieten insbesondere den Unternehmen aus dem deutschen Ökosystem Leichtbau eine enorme Möglichkeit, um Leichtbau am Wirtschaftsstandort Deutschland mit Blick auf den sich vollziehenden Mobilitätswandel weiter auszubauen.

Der positive Einfluss von Leichtbauprodukten und -lösungen auf CO_2-Bilanzen ist jedoch keineswegs nur für die Automobilindustrie von Interesse. Leichtbau im Bauwesen beispielsweise ermöglicht nicht nur die Umsetzung architektonischer Visionen, sondern führt durch leichtere und zeitgleich hochfeste Materialien zu Ressourceneinsparungen und geringeren Umweltbelastungen infolge des Transports, was sich auch auf diverse andere Branchen und Anwendungsgebiete übertragen lässt, beispielsweise die Verpackungsindustrie.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Infolge des Klimawandels werden neue Entwicklungen von dem Gedanken getrieben, die Treibhausgasemissionen, die mit der Herstellung und Nutzung von Produkten einhergehen, auf ein Minimum zu reduzieren. Lange wurden die diesbezüglichen Vorteile des Leichtbaus jedoch rein auf die Nutzungsphase beschränkt. So verbrauchen leichtere Autos weniger fossile Kraftstoffe und gelten entsprechend als besonders umweltschonend. Diese Sichtweise mag über den Nutzungszeitraum zutreffen, jedoch ist schlussendlich die CO_2-Bilanz über die gesamte Wertschöpfungskette entscheidend. Leichtbau muss daher mehr sein, als die reine Gewichtsreduktion bzw. muss diese Gewichtsreduktion im Einklang mit einem ressourcenschonenden Gesamtprozess stehen. Dieses Beispiel aus der Automobilbranche zeigt die Anforderungen und auch Hindernisse, die im Kontext mit der Umsetzung konsequenten Leichtbaus und zur Erzielung eines größtmöglichen Beitrags zum Klimaschutz gestellt werden bzw. überwunden werden müssen. Hinzu kommt die Wirtschaftlichkeit.

Viele Leichtbaukonzepte und neue Materialien erlauben bereits heute die Herstellung extrem leichter und gleichzeitig leistungsfähiger Bauteile, die, wenn überhaupt, in Spezialanwendungen und hochpreisigen Produkten in vergleichsweise geringen Stückzahlen zum Tragen kommen. Um wirtschaftliche und klimaschonende Entwicklungen realisieren zu können, muss Leichtbau zukünftig noch mehr als Querschnittstechnologie aufgefasst werden. Das bedeutet zum einen, dass Leichtbau nicht nur für die Mobilität von höchster Relevanz ist, sondern in nahezu allen Industriezweigen einen Mehrwert bietet. Dieses Potenzial gilt es langfristig zu nutzen. Zum anderen erfordert ein effizienter Leichtbau entlang der jeweiligen Wertschöpfungskette ein Zusammenspiel zwischen den einzelnen Akteuren, von der Rohstoffgewinnung über die Konstruktion und die (automatisierte) Produktion bis zum Recycling. Der ganzheitliche Ansatz bei der Entwicklung muss oberste Priorität besitzen.

Diese Herangehensweise erfordert die Bündelung von Know-how und die Schaffung von Synergien bei gleichzeitiger Definition gemeinsamer Standards und Normen, die nicht nur auf das Zusammenspiel der großen Konzerne beschränkt sein darf. Für einen nachhaltigen Leichtbau müssen zwingend wirtschaftliche Verfahren und Lösungen für Großserien entwickelt werden. Neben der durchgehenden Digitalisierung von Produktionsprozessen stellt vor allem der 3D-Druck eine der vielversprechendsten Technologien dar, insbesondere da das Verfahren im Prototypenbau und in der Einzelteil- und Kleinserienfertigung etabliert ist. Mit fortschreitender Weiterentwicklung der additiven Fertigungsverfahren wird diese Technologie noch weiter in den Fokus der Produktionsprozesse des Leichtbaus rücken.

Des Weiteren geht der Trend bei der Materialentwicklung seit Längerem in die Richtung komplexer Multi-Material-Verbünde, die z. T. auch aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen. Im Gegensatz zu den reinen Faserwerkstoffen CFK/GFK, wo insbesondere die Reduzierung der Fertigungskosten im Fokus ist, steht hier die Entwicklung des Verbundes und die Verarbeitung zum Bauteil zunächst im Vordergrund. Die Entwicklung neuer Materialien und Verarbeitungsverfahren bieten vor allem deutschen Unternehmen die Chance, sich von den internationalen Wettbewerbern abzugrenzen und neue technologisch innovative Wege einzuschlagen. Großes Potenzial bietet auch das Recycling zur Verbesserung der Nachhaltigkeit, wo ebenfalls das Potenzial besteht, eine internationale Vorreiterrolle einzunehmen. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund interessant, dass Kund:innen zunehmend bewusst auf nachhaltige Lösungen setzen und sich mit den Produkten diesbezüglich identifizieren.

Quellen

Berger, Michael (2014): Carbon nanotubes – what they are, how they are made, what they are used for, www.nanowerk.com/nanotechnology/introduction/introduction_to_nanotechnology_22.php, [08.12.2020]

BMBF (2018): Materialforschung für KMU – Chancen durch Standardisierung und Normung. www.werkstofftechnologien.de/veranstaltungen/materialforschung-fuer-kmu-chancen-durch-standardisierung-und-normung, [20.11.2020]

BMWI (2020): Schlüsseltechnologien – Leichtbau, www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/leichtbau.html, [08.12.2020]

BMWI (2020): Technologietransfer-Programm Leichtbau (TTP LB), https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Technologie/technologietransfer-programm-leichtbau.html, [10.12.2020]

Brünglinghaus, Christiane (2014): Die Schattenseiten von CFK, www.springerprofessional.de/leichtbau/werkstoffe/die-schattenseiten-von-cfk/6561174, [07.12.2020]

Campbell, F.C. (2012): Lightweight Materials – Understanding the Basics, Ohio (USA): ASM International Technical Book Committee

Ceulemans, Judy/Ménière, Yann/Nichogiannopoulou, Aliki/Rodríguez, Javier Pose/Rudyk, Ilja (2020): Patents and additive manufacturing – Trends in 3D printing technologies, European Patent Office (Hrsg.), München

Cikoni (2017): Leichtbau mit Faserverbundwerkstoffen: Enabler für eine neue Generation von Bauweisen, www.cikoni.com/de/leichtbau-mit-faserverbundwerkstoffen-enabler-fuer-eine-neue-generation-von-bauweisen, [07.12.2020]

Dilba, Dennis und Hansel, Gregor: Ist Leichtbau überschätzt? www.heise.de/hintergrund/Ist-Leichtbau-ueberschaetzt-4356412.html, [09.12.2020]

Eickenbusch, Heinz und Krauss, Oliver (2014): Werkstoffinnova-tionen für nachhaltige Mobilität und Energieversorgung in Verein Deutscher Ingenieure e. V. (Hrsg.), VDI-Gesellschaft Materials Engineering – Studie, Düsseldorf: Eigendruck VDI e. V., 75

Emilsson, Erik und Dahllöf, Lisbeth (2019): Lithium-Ion Vehicle Battery Production, Status 2019 on Energy Use, CO_2 Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling: IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.

EOS (2020): Mit 3D-gedruckten hochfesten Leichtbaustrukturen Material und Kosten sparen, www.eos.info/de/industrieller-3d-druck/vorteile/leichtbau, [09.12.2020]

Fendel, Ansgar (2018): Ambivalenz von Verbundstoffen, www.remondis-aktuell.de/032018/recycling/zukunftsmusik-mit-grenzen, [20.11.2020]

Fery, Jens-Holger (2012): Zerstörungsfreie Prüfung von Faserverbundkunststoffen im Automobil in Fraunhofer IZFP (Hrsg.): Jahresbericht 2011, Saarbrücken: Fraunhofer Verlag, 53

Foster, Richard (1986): Innovation – Die technologische Offensive, Wiesbaden: Gabler

Fraunhofer ISE (2020): Presseinformation #16: Nettostromerzeugung im 1. Halbjahr 2020: Rekordanteil erneuerbarer Energien von 55,8 Prozent, www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2020/nettostromerzeugung-im-ersten-halbjahr-2020-rekordanteil-erneuerbarer-energien.html [09.12.2020]

Fraunhofer IWU (2015): Metallische Schäume – Metallschaumzentrum Chemnitz in Kompetenzbroschüre des Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (Hrsg.), Chemnitz

Götz, Thomas und Schneider Marco (2020): Geeignete Fügeverfahren für Multimaterialbauweisen ermitteln, www.konstruktionspraxis.vogel.de/geeignete-fuegeverfahren-fuer-multimaterialbauweisen-ermitteln-a-917989/, [07.12.2020]

Gude, Maik/Lieberwirth, Holger/Meschut, Gerson/Tekkaya, Erman/Zäh, Michael (2020): Forel Wegweiser, Dresden: Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, TU Dresden

Hansmersmann, Anna/Birenbaum, Christoph/Burkhardt, Jochen/Schneider, Marco/Stroka, Michael (2016): Leichtbau im Maschinen-, Anlagen- und Gerätebau in Handbuch für den praktischen Gebrauch des Fraunhofer IPA – Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl (Hrsg.), Stuttgart, 68-69

Henning, Frank und Moeller, Elvira (2011): Handbuch Leichtbau: Methoden, Werkstoffe, Fertigung, München: Hanser Verlag

Kawalla, Rudolf/Ullmann, Madlen/Neh, Kristina/Berge, Franz (2016): Magnesiumbleche und -bänder mit besseren Eigenschaften. In: Lightweight Design Heft 3/2016, 24–29

Kaufmann, Peter/Bittschi, Benjamin/Depner, Heiner/Fischl, Iris et. al. (2019): Evaluation des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) – Richtlinie 2015 Endbericht, KMU Forschung Austria, Wien, 72

Klaumünzer, David/Yi , Sangbong/ Letzig, Dietmar/Posco, Sang-hyun Kim/Posco, Jae Joong Kim(2019): Entwicklung neuer Magnesiumbleche für die Automobilindustrie, www.ingenieur.de/fachmedien/konstruktion/werkstoffe/entwicklung-neuer-magnesiumbleche-fuer-die-automobilindustrie/, [08.12.2020]

Koblmiller, Christine (2019): 5 Beispiele für Bionik im Leichtbau, www.leichtbauwelt.de/5-beispiele-fuer-bionik-im-leichtbau, [08.12.2020]

Koblmiller, Christine (2019): Leichtbau trifft … additive Fertigung, www.leichtbauwelt.de/leichtbau-trifft-additive-fertigung, [08.12.2020]

Köth, Claus-Peter (2020): Elektromobilität funktioniert nur mit Leichtbau, www.automobil-industrie.vogel.de/elektromobilitaet-funktioniert-nur-mit-leichtbau-a-908391/, [09.12.2020]

Kucherskyy, Yevgeniy (2018): Verbundwerkstoffe für Leichtbau: Nachhaltigkeit und Leistung, www.zukunft-technik.de/verbundwerkstoffe-fuer-leichtbau-nachhaltigkeit-und-leistung/, [08.12.2020]

Kunze, Holger (2020): Mehr Effizienz durch Funktionsintegration, www.iwu.fraunhofer.de/de/forschung/leistungsangebot/kompetenzen-von-a-bis-z/leichtbau/Funktionsintegration.html, [07.12.2020]

Leichtbau BW (2015): Trends und Märkte im Leichtbau, weiterführende Auswertungen der Studie: Leichtbau – Trends und Zukunftsmärkte, Landesagentur für Leichtbau Baden-Württemberg GmbH (Hrsg.), Stuttgart

Lerch, Christian/Keckl, Christoph/Stroka, Michael/Fleicher, Jürgen (2014): Wertschöpfungspotenziale im Leichtbau und deren Bedeutung für Baden-Württemberg, Landesagentur für Leichtbau Baden-Württemberg GmbH (hrsg.), Stuttgart

Rammer, Christian und Spielkamp Alfred (2019): The Distinct Features of Hidden Champions in Germany: A Dynamic Capabilities View, ZEW – Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH Mannheim

Rosenmaier, Armin (2018): Die Sandwichbauweise – Leichtbau leicht gemacht!, www.hintsteiner-group.com/blog/sandwichbauweise-leichtbau, [08.12.2020]

Schlimper, Ralf: Leistungsstarke Leichtbau-Materialien für den Flugzeugbau, www.imws.fraunhofer.de/de/kompetenzfelder/kunststoffe/highlights/Leichtbau-Luftfahrt-Sandwich-Impakt.html [08.12.2020]

Schlott, Stefan (2016): Nachholbedarf für Magnesium-Leichtbau, www.springerprofessional.de/leichtbau/werkstoffe/nachholbedarf-fuer-magnesium-leichtbau/10516400, [08.12.2020]

Shea, Kristina/Chen, Tian und Engelke, Julia: Die additive Fertigung trainiert ihre Muskeln: 4D-Druck, www.devicemed.de/die-additive-fertigung-trainiert-ihre-muskeln-4d-druck-a-882299/ [10.12.2020]

Siebel, Thomas (2020): Leichtbau soll Ressourcen schonen, www.springerprofessional.de/leichtbau/konstruktion---entwicklung/leichtbau-soll-ressourcen-schonen/18300874, [09.12.2020]

Sobek, Werner (2007): Entwerfen im Leichtbau in Themenheft Forschung – Leichtbau 03/2007, Universität Stuttgart (Hrsg.), Stuttgart

Statista (2016): Prognose zur Materialstruktur in Fahrzeugen weltweit im Jahresvergleich 2010 und 2030. www.statista.com/statistik/daten/studie/662213/umfrage/prognose-zur-materialstruktur-in-fahrzeugen, [20.11.2020]

Statista (2020): Unternehmen in Deutschland: Anzahl der rechtlichen Einheiten* in Deutschland nach Beschäftigten-größenklassen im Jahr 2018, www.statista.com/statistik/daten/studie/1929/umfrage/unternehmen-nach-beschaeftigten-groessenklassen/, [08.12.2020]

Statista (2020): Weltweite Preisentwicklung für Lithium-Ionen-Akkus in ausgewählten Jahren von 2010 bis 2019 und eine Prognose bis 2025, www.statista.com/statistik/daten/studie/534429/umfrage/weltweite-preise-fuer-lithium-ionen-akkus/, [08.12.2020]

TU Dresden (2018): Ressourceneffizienter Leichtbau bleibt Schlüsseltechnologie, www.tu-dresden.de/tu-dresden/newsportal/news/ressourceneffizienter-leichtbau-bleibt-schluesseltechnologie, [20.11.2020]

ThyssenKrupp (2019): Warmumgeformter Stahl: Karriere im Leichtbau, www.automobil-industrie.vogel.de/warmumgeformter-stahl-karriere-im-leichtbau-a-806639/, [08.12.2020]

Herausgeber

Prof. Dr. Volker Wittpahl
Institut für Innovation und Technik (iit)
in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Steinplatz 1, 10623 Berlin

Kontakt

Dr. Holger Worrack
Tel.: +49 (0)30 310078-274
E-Mail: Worrack@iit-berlin.de

iit perspektive Nr. 56

Januar 2021
Layout: EvB Mediengestaltung

ISBN: 978-3-89-750229-1

Bildnachweise:
AdobeStock
adis (Titelbild), nicolasprimola (Abb. 4, links), frog (Abb. 4, rechts)