

LEICHTBAU IN MOBILITÄT UND FERTIGUNG

Chancen für Baden-Württemberg





Leichtbau in Mobilität und Fertigung – Chancen für Baden-Württemberg

e-mobil BW GmbH - Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie

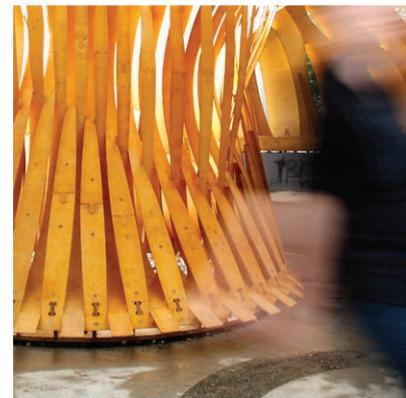
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)

Institut für Werkzeugmaschinen (IfW), Universität Stuttgart

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) Institut für Fahrzeugkonzepte

INHALT

Vorwort	4
Kernergebnisse und Implikationen	5
1 Leichtbau – Ausgangslage und Ziele	6
2 Leichtbaustrategien	7
3 Leichtbau – Chance für die Industrie	13
Fahrzeugbranche	14
Maschinen- und Anlagenbau	18
Architektur und Baubranche	19
Luft- und Raumfahrttechnik	21
Weitere Branchen	22
4 Baden-Württemberg – Zukunftskompetenz Leichtbau	27
Überblick Region	27
Aus- und Weiterbildung	30
Chancen, Risiken und Konsequenzen	33
5 Fazit	36
Literaturverzeichnis	40
Abbildungsverzeichnis	46
Experteninterviews	48



VORWORT

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Bedeutung von Energie- und Ressourceneffizienz werden Leichtbautechnologien für die Wettbewerbsfähigkeit eine entscheidende Rolle spielen.

Im Fahrzeug-, Maschinen- und Anlagenbau, der Bauindustrie sowie der Medizintechnik wird Leichtbau als eine der bedeutendsten Zukunftstechnologien angesehen, die auch für kleinere und mittlere Unternehmen gute Chancen bietet. Dabei wird gerade dem Multi-Material-Leichtbau große Bedeutung zugesprochen.

Baden-Württemberg hat beste Voraussetzungen, dieses Potenzial auszuschöpfen: Eine wichtige Grundlage für eine schnelle Umsetzung von Leichtbautechnologien in bezahlbaren und kundenorientierten Produkten ist eine enge Verzahnung von Industrie und Wissenschaft, wie sie für den Leichtbau-Standort Baden-Württemberg kennzeichnend ist.

Die vorliegende Studie soll gerade den kleinen und mittleren Unternehmen den Einstieg in diese neue Technologie erleichtern, indem sie den Leichtbau in seiner gesamten Bandbreite beleuchtet. Neben der Darstellung der technologischen Komplexität werden auch Anwendungsbereiche und Ziele des Leichtbaus sowie Chancen in potentiellen Märkten aufgezeigt.



Dr. Nils Schmid Mdl
Stellvertretender Ministerpräsident und
Minister für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg



Franz Loogen
Geschäftsführer e-mobil BW

KERNERGEBNISSE UND IMPLIKATIONEN

Leichtbau ergibt sich als Folge eines überlegten, nachhaltigen Designs und Konstruktionsprozesses und aus der Beherrschung von Fertigungstechnologien sowie einer geeigneten Werkstoffwahl. Dadurch kann bei einzelnen Elementen oder einer Gesamtstruktur die Masse reduziert und der Nutzungsgrad erhöht werden.

Leichtbau wird von Experten als eine Schlüsseltechnologie angesehen, um den Wettbewerbsvorsprung in den Industriebranchen Maschinenbau, Automobil und Luft- und Raumfahrttechnik zu halten und auszubauen.

Leichtbau ist ein branchenübergreifendes Themengebiet. Die Bündelung und Vernetzung der Kompetenzen ist Voraussetzung, damit sich der Leichtbau und somit auch die Wettbewerbsfähigkeit aller Beteiligten effizient und schnell weiterentwickeln.

Eine Branchenvernetzung findet zwar bereits statt, diese muss jedoch noch weiter vorangetrieben werden. Wichtige Punkte, um den Leichtbau voranzubringen, sind hierbei ein gemeinsames konstruktives Miteinander aller Beteiligten, branchenübergreifende Zusammenarbeit sowie die zielgerichtete Koordination.

Metalle besitzen aktuell den größten Marktanteil der Leichtbauwerkstoffe und werden auch zukünftig eine Schlüsselrolle einnehmen. Unter den Metallen besitzt Stahl den größten Marktanteil, gefolgt von Aluminium.

Faserverbundwerkstoffe haben derzeit einen eher geringen Marktanteil unter den Leichtbauwerkstoffen, besitzen jedoch ein starkes Wachstumspotential. Für den flächendeckenden Einsatz von Faserverbundwerkstoffen muss in einigen Themenbereichen noch Entwicklungsarbeit betrieben werden.

Der größte Forschungsbedarf wird noch in den Bereichen Recycling, Simulation und der Verbindungstechnik verschiedener Werkstoffe (Multi-Material-Design) gesehen. Hier bietet sich die Chance, durch innovative Lösungen neue Märkte zu erschließen. Folglich sollte die Forschung durch öffentliche Programme sowie industrielles Engagement intensiviert werden.

Die Industrie beklagt einen Mangel an Fachkräften. In der Aus- und Weiterbildung gibt es noch Nachholbedarf im akademischen als auch

im gewerblichen Bereich. Hier sind neue leichtbaurelevante Lerninhalte an Hochschulen und Berufsschulen gefordert. Auch innerbetriebliche Weiterbildung ist wichtig, um die Belegschaft auf die Herausforderungen vorzubereiten.

Nach Ansicht der befragten Experten ist Deutschland im Leichtbau international gut aufgestellt. Über den Zeitraum eines Jahres, sehen 77 % der Experten,¹ dass der Technologiestandort Deutschland gegenüber anderen Nationen an Bedeutung gewinnen wird. Mittelfristig (5 Jahre) geben sogar 85 %² einen Bedeutungszuwachs des Technologiestandortes an. Auch als Produktionsstandort wird Deutschland nach Ansicht der Experten an Bedeutung gewinnen. Kurzfristig sehen bereits 62 % eine hohe Bedeutung Deutschlands als Produktionsstandort, mittelfristig sogar 69 %.

Auf nationaler Ebene sehen die Experten mehrere Bundesländer im Spitzenfeld. Neben Baden-Württemberg wurden folgende Bundesländer mit absteigender Häufigkeit genannt: Bayern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Sachsen. Über den Zeitraum eines Jahres sehen 54 % der Experten einen Bedeutungszuwachs des Technologiestandortes Baden-Württemberg, mittelfristig sogar 69 %. Als Produktionsstandort sehen 54 % der Befragten Baden-Württemberg als Gewinner.³

Der Leichtbau bietet durch eine hohe Wertschöpfung große Chancen für die Region Baden-Württemberg. Nach Einschätzung der befragten Experten wird das Land sowohl durch weitere Arbeitsplätze als auch durch Umsatzsteigerungen profitieren. Eine steigende Nachfrage nach Leichtbau wird in allen untersuchten Bereichen erwartet. Speziell die Fahrzeugbranche und die Luft- und Raumfahrtindustrie treiben die Nachfrage nach Leichtbaulösungen voran.

Für unseren Standort werden Leichtbauweisen und Fertigungstechnologien eine herausragende Rolle einnehmen. Die energieintensive Produktion wird hingegen in Ländern stattfinden, in welchen Energie kostengünstiger zur Verfügung steht.

1 Eigene Umfrage

2 Eigene Umfrage

3 Eigene Umfrage

Kapitel 1

LEICHTBAU – AUSGANGSLAGE UND ZIELE

Was ist Leichtbau? „Leichtbau ist zunächst eine Absichtserklärung: aus funktionalen oder ökonomischen Gründen das Gewicht zu reduzieren oder zu minimieren, ohne die Tragfähigkeit, die Steifigkeit oder andere Funktionen der Konstruktion zu schmälern.“⁴

Die Studie „Leichtbau in Mobilität und Fertigung - Chancen für Baden-Württemberg“ zeigt einen breit gefächerten Überblick über das Themengebiet und die Relevanz im Bundesland Baden-Württemberg. Es werden Aspekte betrachtet, die sich aktuell aus dem Themengebiet der Elektromobilität ergeben, es werden jedoch auch Einblicke in andere innovative Branchen gegeben, welche vielleicht erst auf den zweiten Blick als Leichtbaubranchen zu erkennen sind. Der Leichtbau kann nicht einer Branche zugeordnet werden. Die Anwendungen erstrecken sich von der Luft- und Raumfahrt über den Automobilbau bis zur Architektur. Zudem sind an seiner Verwirklichung unterschiedlichste Unternehmensbereiche, von der Auslegung über die Herstellung und Produktion bis zum Kunden beteiligt. Beim bionischen Leichtbau verbinden Ideen aus der Natur beispielsweise Biologen mit Forschern aller Ingenieursdisziplinen.

Bereits einzelne Teilgebiete, wie die Serienfertigung reproduzierbarer Faserverbundbauteile, sind so komplex, dass sie nur schwer von einzelnen Firmen gelöst werden können. Eine branchenübergreifende Zusammenarbeit ist daher zwingend erforderlich, um nachhaltig eine internationale Spitzenposition zu halten und weiter auszubauen.

Der Leichtbau wird jedoch als Schlüsseltechnologie betrachtet und die Beherrschung dieser Technologie wird starken Einfluss auf die zukünftige Marktfähigkeit deutscher Produkte auf dem internationalen Parkett haben. Im Fokus stehen der Automobilbau, die erneuerbaren Energien und der Flugzeug-, Maschinen- und Anlagenbau. Abbildung 1 zeigt eine Einschätzung der Experten bezüglich der Bedeutung des Themas in kurz- und mittelfristiger Sicht.

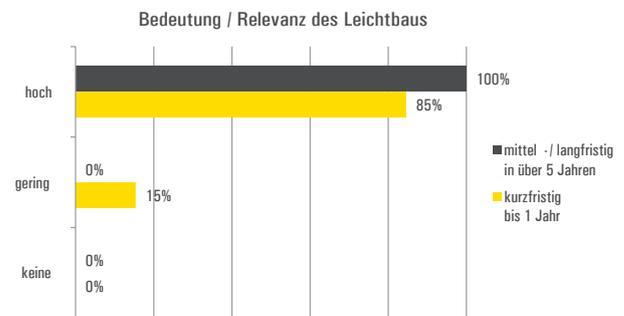


Abbildung 1 Bedeutung des Leichtbaus kurzfristig und mittel- bis langfristig⁵

Ziel dieser Studie ist es, Anwendungsbereiche und Möglichkeiten des Leichtbaus aufzuzeigen sowie eine Übersicht der beteiligten Branchen zu geben und darzustellen, welche Chancen und Risiken sich aus dem Leichtbau ergeben.

Weiterhin soll ein ganzheitlicher Überblick über die technologischen Aspekte des Leichtbaus gegeben werden. Hierzu werden zum einen Konstruktionsweisen und Werkstoffe für Leichtbau dargestellt, zum anderen wird ein Einblick in die Entwicklungen der verschiedenen Branchen gegeben. Darüber hinaus soll die Relevanz des Leichtbaus für Baden-Württemberg beleuchtet werden. Dabei werden Chancen und Risiken aufgezeigt und die Branchen identifiziert, die bereits Entwicklungen forciert vorantreiben. Die Frage, wie Baden-Württemberg in der Aus- und Weiterbildung gewerblich und akademisch ausgebildeter Fachkräfte aufgestellt ist, soll beantwortet werden und der Wirtschaftsstandort bezüglich seiner Leichtbaukompetenzen mit dem nationalen und internationalen Umfeld verglichen werden.

Im Rahmen der umfangreichen Recherchen zur Erstellung dieser Studie wurden zahlreiche Interviews mit Leichtbau-Experten aus Industrie und Forschung durchgeführt und ausgewertet. Die Aussagen der Interviewpartner ermöglichen einen tiefgehenden Einblick in die Bedeutung des Leichtbaus in den verschiedenen Branchen.

Für die Studie wurde darüber hinaus eine Befragung durchgeführt, bei welcher Experten des Themengebiets mit einem standardisierten Fragebogen befragt wurden. Die anonymisierte Auswertung dieser Fragebögen bildet die Datenbasis für die Diagramme dieser Studie. Diese sind mit der Fußnote "Datenbasis eigene Umfrage" gekennzeichnet.

4 (Wiedemann, 2007)

5 Eigene Darstellung, Datenbasis eigene Umfrage

Kapitel 2

LEICHTBAUSTRATEGIEN

Leichtbau kann mit unterschiedlichen Methoden erreicht werden, die im Folgenden näher erläutert werden. Aufgrund der engen Verknüpfung der Leichtbaumethoden untereinander ist eine exakte Abgrenzung einzelner Themen nicht immer möglich. Ein Ansatz, der mehrere Aspekte des Leichtbaus in sich vereinigt, ist das Multi-Material-Design. Das Ziel dieser Methode ist es, für jedes Bauteil das ideale Material zu finden und die Bauteile zu Baugruppen zusammenzufügen.

Eine *Leichtbauweise* kann sich lediglich auf ein Bauteil, ganze Baugruppen oder die gesamte Struktur beziehen. Welche der Bauweisen bei welchen Strukturen angewendet wird, hängt einerseits von den verwendeten Konstruktionsstrategien und -elementen, wie Wahl der Bauteilgröße und -anzahl, der Wahl der Werkstoffe bzw. der Herstellungsverfahren, und andererseits vom betrachteten Umfang bzw. Bereich ab.⁶ Eine Gesamtstruktur kann mit unterschiedlichen Bauweisen entstehen, bei denen die Teile getrennt oder zusammenhängend verbaut werden. Hierbei wird von Differential- oder Integralbauweise gesprochen.

Die *Differentialbauweise* ist eine klassische Vorgehensweise, um Gesamtstrukturen aufzubauen. Bei ihr werden additiv einzelne Konstruktionselemente, Einzelteile bzw. Bauteilelemente und Halbzeuge durch Fügen zu einer Gesamtstruktur verbunden. Die einzelnen Elemente werden dabei - verglichen mit anderen Bauweisen - verhältnismäßig einfach gestaltet. Dabei können unterschiedliche Werkstoffe durch die einzelnen Elemente kombiniert zur Anwendung kommen und dabei ihr spezifisches Leichtbaupotenzial entwickeln. Im Schadensfall können partielle Reparaturen durch den Austausch einzelner Bauteilelemente an geeigneten Bauteilgrenzen bzw. Fügstellen relativ einfach durchgeführt werden. Darüber hinaus wird dadurch eine gute Recyclebarkeit am Ende des Bauteillebens gewährleistet. Die Differentialbauweise hat neben den beschriebenen Vorteilen auch Nachteile. So kann an den Fügstellen zwischen den einzelnen Werkstoffen eine Kontaktkorrosion auftreten. Neben einem höheren Materialaufwand für einzelne Bauteile, z. B. durch Fügeflansche, ergibt sich konsequenterweise auch ein erhöhter Montageaufwand.

Die *Integralbauweise* strebt im Vergleich zur Differentialbauweise genau in die gegenläufige Richtung. Sie hat zum Ziel, die Struktur aus einem Stück herzustellen und durch die Integration von Funktionen (Anschraubpunkte, Versteifungen etc.) und Teilstücken möglichst viel Gewicht einzusparen. Die Leichtbaustrategie Konzeptleichtbau ist eng

mit dem Ziel der Funktionsintegration in der integralen Bauweise verknüpft. Die Vorteile dieser Bauweise liegen - verglichen mit der Differentialbauweise - in einem geringeren Bauteilgewicht und einem geringen Fügeaufwand innerhalb der Grenzen des Bauteils. Beispielsweise bieten integrale Gussbauteile aus Magnesium Gewichtseinsparungspotenziale von mehr als 60 % gegenüber Teilen in Differentialbauweise. Diesen Vorteilen stehen folgende Nachteile gegenüber: Die Fertigung ist teilweise aufwändiger und die Formen zur Herstellung der Bauteile sind komplexer und dadurch teurer. Des Weiteren ist die Materialvariation im Bauteil eingeschränkt.

Eine andere Art des Zusammenbaus ist die *Modulbauweise*. Dabei kann die Definition für ein Modul wie folgt zusammengefasst werden: Ein Modul ist eine Baugruppe eines größeren Zusammenbaus. Es zeigt eine starke Vernetzung innerhalb seines umfassenden Bereichs und eine im Vergleich dazu schwächere Vernetzung zu seinen Nachbarbauteilen bzw. -modulen. Die benachbarten Bauteile und Module können durch eindeutige Schnittstellen abgegrenzt sein. Die Modulbauweise eröffnet, durch eine geeignete Wahl der Schnittstellen und damit der Zusammenfassung und Abgrenzung von Modulen, die Möglichkeit der Plattformbildung und erhöht damit den Verwandtschaftsgrad in einer Produktfamilie. Mithilfe dieser Herangehensweise, die die gesamte Struktur umfasst, und der gleichzeitigen Umsetzung einer Gleichteilestrategie können Entwicklungs-, Herstellungs- und Montagekosten reduziert werden. Allerdings kann die Modulbauweise auch Nachteile bergen, da nicht immer die optimale Leichtbaulösung erreicht wird.

Auch auf *Bauteilebene* kommen Leichtbauweisen zum Einsatz. Durch das Konstruieren von Bauteilen in Leichtbauweise werden Ressourcen geschont und das Material optimal genutzt. Ein einfaches Beispiel hierfür ist etwa die Verwendung geschlossener anstelle offener Profile. Da diese deutlich steifer sind, kann folglich Gewicht eingespart werden. Eine andere Möglichkeit ist der Einsatz so genannter Sandwichstrukturen. Diese haben zwischen zwei Deckschichten einen leichten Kern, der auch aus einem anderen Material bestehen kann. Diese Sandwichstrukturen haben, im Vergleich zu Vollmaterial, bei gleicher oder verbesserter Biegesteifigkeit, ein reduziertes Strukturgewicht. Abbildung 3 zeigt eine Variation verschiedener Kernwerkstoffe, die in Sandwichbauteilen verarbeitet werden - von Schäumen aus Kunststoffen und Aluminium bis hin zu Wabenstrukturen und gefalteten Kernen.

⁶ (Kopp, Burkhardt, & Majic, 2009)

Kapitel 2

Durch Optimierung der Geometrie entsprechend des Kraftflusses wird Material gespart. Eine Möglichkeit dafür ist die Nutzung bionischer Strukturen. Leichtbauweisen und der ressourcenschonende Einsatz von Baumaterial spielen in der Natur eine große Rolle. Ein Weg, den die Natur hier aufzeigt, ist der Einsatz von Hohlräumen wie etwa in Knochen. Die zellulären Strukturen bilden sich belastungsgerecht aus. Bei stärkerer Belastung wird zusätzliches Material im Knochen aufgebaut, bei geringer Belastung findet die Strukturoptimierung durch den Materialabbau statt.⁷ Mit den von Bienen bekannten sechseckigen Honigwaben findet beispielsweise auch eine bionische Struktur ihren Eingang bei ultraleichten Sandwichlösungen.

In der *Verbundbauweise* werden verschiedene Werkstoffe in einem Bauteil vereint, um durch deren unterschiedliche Eigenschaften eine Bauteilstruktur mit reduzierter Masse bei gleichbleibenden oder verbesserten Eigenschaften zu erhalten. Typische Beispiele sind Faser-verbundwerkstoffe oder Sandwichstrukturen. Die Vorteile der Verbundbauweise sind ihr geringeres Gewicht trotz höherer erreichbarer Steifigkeit sowie funktionsintegrierend eine bessere akustische und thermische Dämmung. Eine weitere Leichtbauweise auf Werkstoffebene ist die *Hybridbauweise*. Diese stellt eine Materialmischbauweise dar. Der Materialverbund wird alleine dadurch hergestellt, dass mindestens ein Leichtmetallwerkstoff in urformender Fertigung (An-, Ein- oder Umgießen) mit einer weiteren Werkstoffkomponente verbunden wird. Durch diese Kombination werden die Eigenschaften der jeweiligen Bauteilelemente und deren unterschiedliche Werkstoffeigenschaften optimal ausgenutzt. Die einzelnen Werkstoffeigenschaften können

sich durch die Hybridbauweise ergänzen und ermöglichen dadurch ein hohes Leichtbaupotenzial. Dies bringt jedoch einen hohen Fertigungsaufwand durch das Urformen mit sich, was im Vergleich mit anderen Bauweisen zu Mehrkosten führen kann. Zudem sind Schadensbeurteilung und Reparaturmöglichkeiten eingeschränkt und die Gefahr der Korrosion an den form- und stoffschlüssigen Kontaktstellen ist schon während der Entwicklung zu beachten.

Das *Multi-Material-Design* ist die konsequente Weiterentwicklung der zuvor aufgezeigten Bauweisen. Dabei wird für jedes Bauteil ein anforderungsgerechter Werkstoff eingesetzt. In Multi-Material-Design werden Strukturen mit unterschiedlichen Werkstoffen, wie Aluminium, Magnesium, Faserverbundwerkstoffen oder Stahl, durch verschiedene Fertigungsverfahren, wie Gießen, Umformen, Pressen oder Spritzen, realisiert. Der Materialmix ist notwendig, um das volle Leichtbaupotenzial ausschöpfen zu können. Diese Mischung beinhaltet aber nicht nur die Werkstoff- und Fertigungsebene, sondern betrifft auch die Konstruktionsweisen der Gesamtstruktur auf Systemebene. Die Verwendung von unterschiedlichen Werkstoffen erfordert allerdings die Anwendung der jeweils geeigneten Fügeverfahren. Thermische Fügeverfahren, wie Schweißen oder Lötten, kommen beispielsweise für duroplastische Kunststoffe nicht in Betracht. Überwiegend kommen deshalb mechanische Fügeverfahren, wie Nieten, Stanznieten, Clinchen, Direktschrauben, oder chemische Fügeverfahren (Kleben) zum Einsatz. Eine Kombination dieser Fügeverfahren, das so genannte Hybridfügen, findet ebenfalls in Multi-Material-Designstrukturen seine Anwendung. Bei der Auswahl der jeweiligen Fügeverfahren ist der

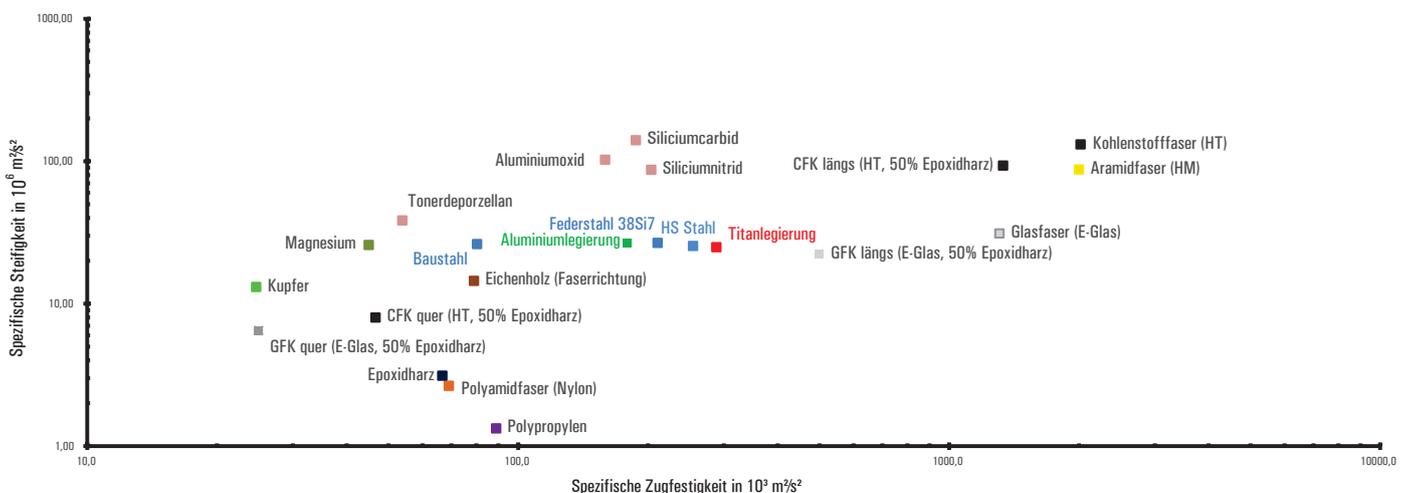


Abbildung 2 Spezifische Zugfestigkeit und Steifigkeit verschiedener Werkstoffe⁸

⁷ (Degischer & Lüftl, 2009)

⁸ Eigene Darstellung; Datenbasis (Bargel 2005, S.218); otto-fuchs.com; keramik-re.de; swiss-composite.ch; Wikipedia Aluminiumoxid; Baustahl, Epoxidharz; Federstahl; Glasfaserverstärkter Kunststoff; Kevlar; Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff; Siliciumnitrid; Specific Modulus; Specific Strength;

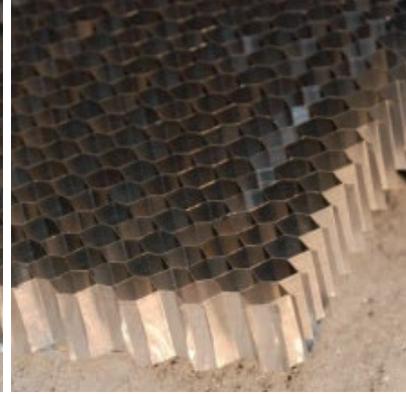


Abbildung 3 Kernwerkstoffe aus Aluminium, Kunststoff, Papier und Fasern in Form verschiedener Waben und Schäume als Beispiel für Sandwichbauteile¹⁰



Montageprozess, und damit die (ein- oder zweiseitige) Zugänglichkeit während des Fügens und der notwendige Platzbedarf für Fügevorrichtungen einzuplanen. Die mechanischen Eigenschaften in Bezug auf die Kraftübertragung sowie die Unterschiede in den thermischen Ausdehnungskoeffizienten der unterschiedlichen Werkstoffe, die Haltbarkeit bzw. Lebensdauer, die Temperaturbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit erschweren die Auswahl geeigneter Fügeverfahren. Vorteile des Multi-Material-Designs sind die diversen Möglichkeiten, ein Gewichtsoptimum durch die Variation der Parameter zu finden. Allerdings stellt diese Parametervielfalt die Entwicklung vor erhebliche Herausforderungen. Neben der Simulation der Eigenschaften, sowie der Montage- und Fügeprozesse sind Korrosions- und Recyclingaspekte nur einige Themen, die das Multi-Material-Design zu einer umfassenden Herausforderung machen.

Unabhängig von der Wahl der oben genannten Bauweisen gilt es, für jede Anwendung den idealen *Werkstoff* zu finden. Für die korrekte Auswahl sind neben Leichtbauaspekten und ökonomischen Kriterien eine Vielzahl weiterer Anforderungen zu erfüllen. Abbildung 2 zeigt die spezifische Steifigkeit verschiedener Werkstoffe über deren spezifischer Zugfestigkeit. Dieses Diagramm gibt einen Anhaltspunkt für das Leichtbaupotenzial eines Werkstoffs. Hierbei muss beachtet werden, dass es Werkstoffe gibt, deren Eigenschaften richtungsspezifisch (anisotrop) sind, wie beispielsweise Faserverbundwerkstoffe. Für diese Werkstoffe variiert die Zugfestigkeit. Abbildung 2 zeigt exemplarisch zwei unterschiedliche Werte der richtungsabhängigen (anisotropen) Faserverbundwerkstoffe GFK und CFK, einen in Faserrichtung (längs) und einen senkrecht zur Faser (quer).

Zu den klassischen Konstruktionswerkstoffen zählen vor allem *Stahl* und andere metallische Werkstoffe. Eines der imposantesten Stahlbauwerke ist der Eiffelturm. Das fast 120 Jahre alte Bauwerk ist etwa 300 m hoch. Zu seiner Errichtung waren 7300 t Stahl nötig. Würde man dieses Bauwerk nach heutigen Erkenntnissen und mit modernen Stählen und Technologien realisieren, würde seine Stahlmasse nur etwa $\frac{1}{3}$ der ursprünglichen Masse betragen, ohne dabei Abstriche an Tragfähigkeit, Stabilität und Steifigkeit hinnehmen zu müssen.⁹ Im Gegenteil: Das leidige und kostenverursachende Problem des Korrosionsschutzes würde durch heutigen Stahl in Form verzinkter Oberflächen nahezu vollständig gelöst werden.

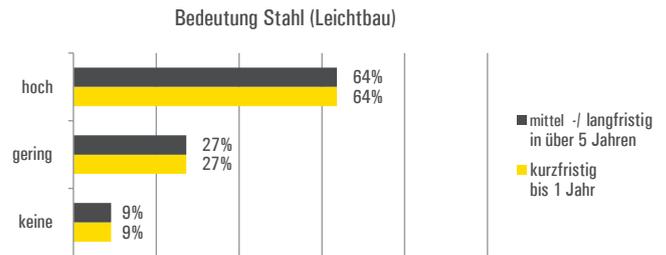


Abbildung 4 Bedeutung von Stahl für die Realisierung von Leichtbaulösungen¹¹

Die Stahlindustrie und Forschungsinstitutionen arbeiten seit langer Zeit an der Entwicklung von höherfesten Stählen mit mehr Leistungspotenzial. Hierbei wird angestrebt, die tragenden Querschnitte und damit die Masse zu reduzieren, um den Werkstoffeinsatz zu minimieren. Stahl ist bei vielschichtigen Beanspruchungen aufgrund seiner ausgewogenen mechanischen Eigenschaften vielseitig einsetzbar. Stahl wird daher auch der Hauptwerkstoff im Maschinen- und Anlagenbau und anderen Branchen bleiben. Da Stahl mit ca. 7,85 g/cm³ eine relativ hohe Dichte besitzt, müssen seine hohen Festigkeiten genutzt werden, um das Leichtbaupotenzial des Werkstoffs zu nutzen. Neben der belastungsgerechten Auslegung spielen dabei auch die werkstoffgerechte Formgebung und Verarbeitung eine große Rolle. Im Bereich höchstfester Stähle können dann Zugfestigkeiten bis 2.000 MPa erreicht werden.

9 (Rohwerder, 2005)

10 (Kopp G. F., 2009)

11 Eigene Darstellung, Datenbasis eigene Umfrage

Kapitel 2

Oliver Hoffmann [Programm Manager InCar, Thyssen Krupp Steel Europe AG] zu Leichtbau mit Stahl:

»Aus der Summe der Eigenschaften von Stahl wie z. B. E-Modul und Festigkeit ergeben sich sehr gute Leichtbauqualitäten, die jedoch gezielt eingesetzt werden müssen. Vereinfacht kann man sagen: Wähle ich höherfesten Stahl, kann ich viel dünnere Wandstärken wählen. So einfach ist an der Stelle der Ansatz des Leichtbaus.«

Aluminium stellt für den metallischen Leichtbau den klassischen Konstruktionswerkstoff dar (siehe auch Abbildung 5). Durch verschiedene Legierungstypen kann ein breites Spektrum an mechanischen und technologischen Eigenschaften erreicht werden. Während die Festigkeit des reinen Aluminiums bei 49 MPa liegt, kann diese bei Aluminiumlegierungen bis zu 700 MPa erreichen. Zu den weiteren Eigenschaften gehören die niedrige Dichte von $2,7 \text{ g/cm}^3$, die hohe Zähigkeit und die gute Formbarkeit.¹² Das Anwendungsspektrum dieses Werkstoffs erstreckt sich vom Automobilbau über die Luftfahrtindustrie bis hin zum Maschinen- und Anlagenbau sowie der Freizeitindustrie.

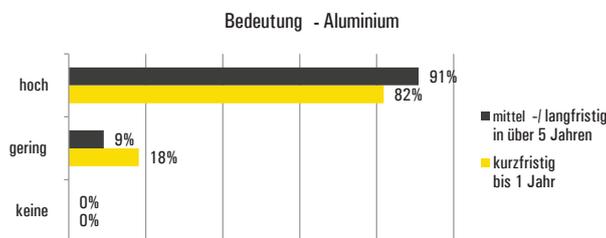


Abbildung 5 Bedeutung von Aluminium für die Realisierung von Leichtbaulösungen¹³

Die geringste Dichte unter den Gebrauchsmetallen¹⁴ hat mit $1,74 \text{ g/cm}^3$ Magnesium, das somit eine hohe Eignung für den Leichtbau besitzt. Reinmagnesium ist ohne große technische Bedeutung, nur durch Zusätze von beispielsweise Aluminium, Zink und Mangan entstehen nutzbare Legierungen mit Festigkeiten bis zu 250 MPa.¹⁵ Zu den nachteiligen Eigenschaften von Magnesium zählen die geringen Bruchdehnungen und die Korrosionsanfälligkeit. Aufgrund der sehr guten Gieß Eigenschaften und guten Bearbeitbarkeit durch spanabhebende Verfahren finden Magnesiumlegierungen eine breite Anwendung für Druckgussbauteile in Motoren, Getrieben und Gehäusen. Insgesamt wird die Bedeutung von Magnesium von den befragten Experten als eher gering eingeschätzt.

¹² (Wikipedia Aluminium; Aluminiumlegierungen)

¹³ Eigene Darstellung, Datenbasis eigene Umfrage

¹⁴ (Henning & Moeller, 2011, S. 398)

¹⁵ (Henning & Moeller, 2011, S. 262)

¹⁶ (Henning & Moeller, 2011, S. 398)

¹⁷ (Homepage Uni Duisburg)

¹⁸ Eigene Darstellung, Datenbasis eigene Umfrage

¹⁹ (Wikipedia Kunststoff)

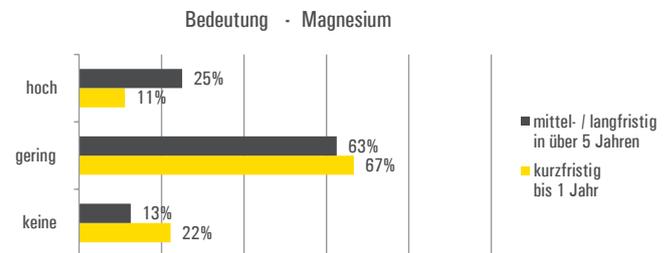


Abbildung 6 Bedeutung von Magnesium für die Realisierung von Leichtbaulösungen¹⁸

Titan wird sowohl in reiner Form als auch legiert verwendet. Titan zeichnet sich durch seine relativ geringe Dichte von $4,5 \text{ g/cm}^3$,¹⁶ sehr hohe Festigkeitswerte bis zu 1250 MPa in Legierungen,¹⁷ die geringe Wärmeausdehnung, die hohe chemische Beständigkeit und die hohe Korrosionsbeständigkeit aus. Anwendung findet Titan vor allem in der chemischen Industrie, in Luft- und Raumfahrt und in der Medizintechnik. Die Bedeutung von Titan als Leichtbauwerkstoff wird insgesamt ebenfalls als gering eingeschätzt.

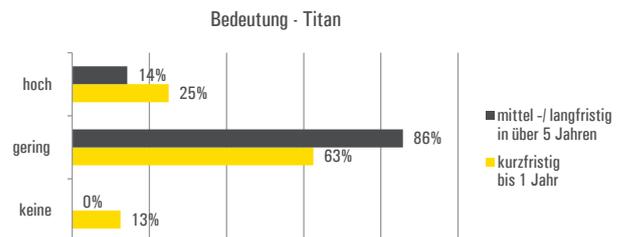


Abbildung 7 Bedeutung von Titan für die Realisierung von Leichtbaulösungen¹⁸

Auch Kunststoffe finden als Konstruktionswerkstoffe im Maschinen- und Anlagenbau immer mehr Beachtung, da sie sich auf nahezu jeden Anwendungszweck "maßschneidern" lassen. Dies wird auch durch die Expertenbefragung bestätigt, bei der 93 % den Kunststoffen langfristig eine hohe Bedeutung für den Leichtbau zusprechen. Die Dichte der meisten Kunststoffe liegt zwischen $0,8 \text{ g/cm}^3$ und $2,0 \text{ g/cm}^3$.¹⁹ Konstrukteure erkennen zunehmend ihre Vorzüge und wirtschaftliche Bedeutung. Die Werkstoffanwendung und Entwicklung ist auch im Kunststoffbereich einem ständigen Wandel unterworfen. Viele Maschinenteile, die noch vor einem Jahrzehnt ausschließlich aus Stahl oder Aluminium hergestellt wurden, werden heute in technischen Kunststoffen ausgeführt. Dieser Wandel wird sich auch in Zukunft fortsetzen, vermutlich sogar noch schneller als bisher. Dazu trägt nicht zuletzt die gestiegene Anzahl der Kunststoffe mit ihren verschiedenen

Modifikationen und Eigenschaften und den daraus resultierenden Einsatzmöglichkeiten bei. Viele Kunststoffe sind aufgrund ihrer Eigenschaften in vielen Punkten mit den konventionellen Konstruktionswerkstoffen gleichzusetzen oder haben diese bereits verdrängt.

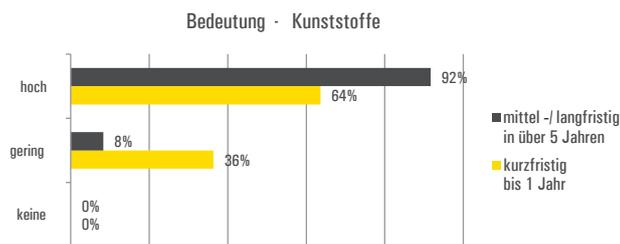


Abbildung 8 Bedeutung von Kunststoffen für die Realisierung von Leichtbaulösungen²⁰

Bei der Betrachtung von Kunststoffen muss prinzipiell zwischen Thermoplasten und Duroplasten unterschieden werden. Im Gegensatz zu Thermoplasten, die bei Erhöhung der Temperatur nach Überschreiten des Erweichungspunktes schmelzen, sich warmverformen lassen und nach der Abkühlung wieder erstarren, lassen sich Duroplaste nicht aufschmelzen. Duroplaste, oft auch als Duromere bezeichnet, erstarren durch chemische Reaktion und bleiben bei Erwärmung bis zur Zersetzungstemperatur starr.

Die größten Vorteile gegenüber den Metallen sind die Gewichtsersparnis, die gute Schwingungsdämpfung und die einfachere Bearbeitbarkeit. Die vielfältigen Kunststoffverarbeitungsverfahren ermöglichen beispielsweise auch die Hybridtechnik, die Kombination mehrerer Werkstoffe in einem Konstruktionselement, und damit die Umsetzung spezieller Anforderungsprofile. Während ein einzelner Werkstoff oftmals zu Kompromissen zwingt, können Hybridstrukturen Nachteile einzelner Werkstoffe aufheben und die Vorteile summieren.

Insbesondere für Leichtbauanwendungen spielen *faserverstärkte Kunststoffe* eine zunehmend bedeutendere Rolle (siehe auch Abbildungen 10 und 11). Diese Verbundwerkstoffe vereinen die positiven Eigenschaften beider Werkstoffe: der verstärkenden Fasern und der einbettenden Matrix. Sie zeichnen sich durch eine hohe Festigkeit in Faserrichtung aus, was durch die spezifische Festigkeit der Faser erreicht wird. „Ein Werkstoff in Faserform hat in Faserrichtung eine vielfach größere Festigkeit als dasselbe Material in anderer Form. Je dünner die Faser ist, umso größer ist die Festigkeit.“²²

20 Eigene Darstellung, Datenbasis eigene Umfrage

21 Foto: ITV Denkendorf

22 (Henning & Moeller, 2011, S. 339)

23 Eigene Darstellung, Datenbasis eigene Umfrage

24 Eigene Darstellung, Datenbasis eigene Umfrage

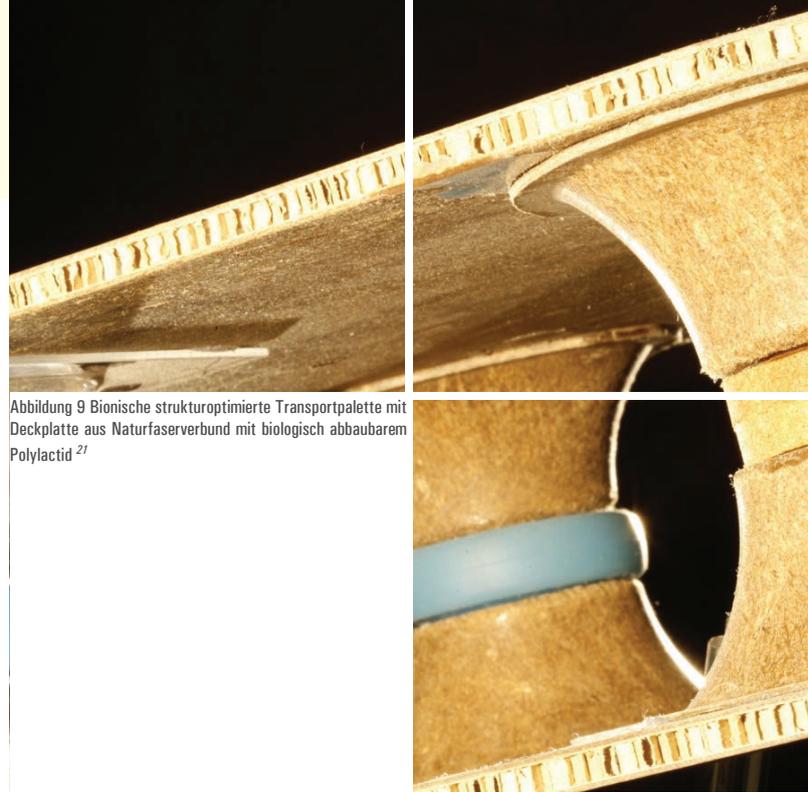


Abbildung 9 Bionische strukturoptimierte Transportpalette mit Deckplatte aus Naturfaserverbund mit biologisch abbaubarem Polylactid²¹

Es ergibt sich eine Richtungsabhängigkeit der Werkstoffeigenschaften, Anisotropie genannt. Diese muss bei der Auslegung berücksichtigt werden.

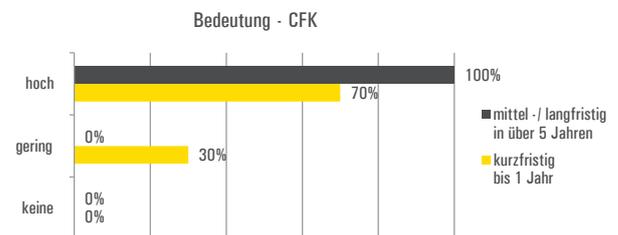


Abbildung 10 Bedeutung kohlenstofffaserverstärkter Kunststoffe für die Realisierung von Leichtbaulösungen²³

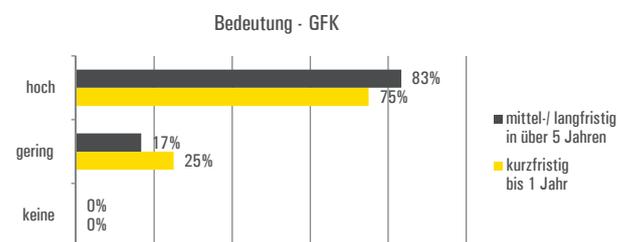


Abbildung 11 Bedeutung glasfaserverstärkter Kunststoffe für die Realisierung von Leichtbaulösungen²⁴

Kapitel 2

Faserverbundwerkstoffe lassen sich nach Faser- und Matrixmaterial wie folgt unterscheiden:

Matrix	Verstärkung	Produkt	Abkürzung
Kunststoff	Glasfasern	Glasfaserverstärkter Kunststoff	GFK
	Kunststofffasern (Bsp. Aramidfaser)	Aramidfaserverstärkter Kunststoff	AFK
	Kohlenstofffasern	Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff	CFK
Keramik	Kohlenstofffasern Keramikfasern Organische Fasern	ceramic matrix composites	CMC
Metall	Metallfasern Keramikfasern	Metal matrix composites	MMC

Abbildung 12 Übersicht Faserverbundwerkstoffe²⁵

Die hochfeste Kohlenstofffaser ermöglicht die Herstellung steifer und extrem leichter Bauteile. Der kohlenstofffaserverstärkte Kunststoff (CFK) wird meist dann eingesetzt, wenn extreme Leichtbauanforderungen die hohen Kosten rechtfertigen. Die Dichte im Faserverbund beträgt etwa $1,6 \text{ g/cm}^3$.²⁶ Experten sehen bereits mittelfristig eine sehr hohe Bedeutung von CFK. Glasfasern sind deutlich preisgünstiger als Kohlenstofffasern, besitzen eine Dichte von circa 2 g/cm^3 ²⁷ im Faserverbund und erreichen eine geringere Festigkeit. Sie werden für weniger gewichtskritische Bauteile eingesetzt, wie etwa im Rumpf von Sportsegelbooten. Ihre Bedeutung für den Leichtbau ist nach Expertenansicht ebenfalls hoch und wird weiter steigen. Aramid kommt als Verstärkungsfaser beispielsweise in schussicheren Armierungen zum Einsatz. Die Faser zeichnet sich durch ihre Zähigkeit und Festigkeit aus. Durch die sehr niedrige Dichte der Faser ist auch die Dichte des Faserverbundwerkstoffs mit etwa $1,4 \text{ g/cm}^3$ ²⁸ sehr gering. Naturfasern unterschiedlicher Pflanzen eignen sich auch zur Herstellung faserverstärkter Bauteile. Auf Basis von Holz-, Hanf-, Kokos-, Jute-, oder Flachsfasern und Biopolymeren als Matrixmaterial lassen sich umweltfreundliche, recyclingfähige Verbundmaterialien herstellen.

Auch *Massivkeramiken* eignen sich aufgrund ihrer geringen Dichte von $2,5$ bis 6 g/cm^3 ²⁹ als Leichtbauwerkstoffe. Die physikalischen, elektrischen und thermischen Eigenschaften ermöglichen die technologische Anwendung vieler Keramiken. Als Beispiel hierfür können etwa Turbolader für den Maschinenbau aufgeführt werden. Die Dichte von ca. $3,3 \text{ g/cm}^3$ und eine hohe Temperaturbeständigkeit ermöglichen hier den Einsatz von Siliciumnitrid als Keramikwerkstoff. Die Bedeutung im Leichtbau wird als sehr gering eingeschätzt.

²⁵ Eigene Darstellung, Datenbasis (Henning & Moeller, 2011)

²⁶ (Henning & Moeller, 2011, S. 398)

²⁷ (Henning & Moeller, 2011, S. 398)

²⁸ (Henning & Moeller, 2011, S. 398)

²⁹ (Henning & Moeller, 2011, S. 398)

³⁰ Eigene Darstellung, Datenbasis eigene Umfrage

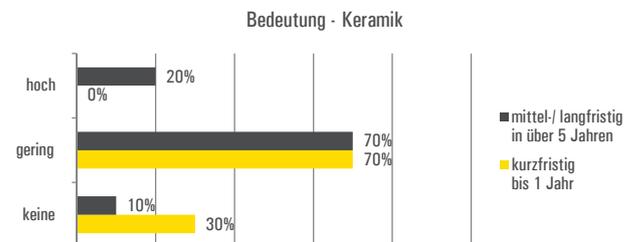


Abbildung 13 Bedeutung von Keramik für die Realisierung von Leichtbaulösungen³⁰

Keramiken können auch im Werkstoffverbund mit anderen Werkstoffen eingesetzt werden, um ihre positiven Eigenschaften wie beispielsweise die hohe Temperaturfestigkeit zu nutzen. So finden sie z. B. in der Raumfahrt Anwendung, etwa als Hitzeschilde von Raumgleitern.

Unabhängig von Werkstoffwahl und Leichtbaustrategie gilt es immer, bestehende Konzepte auf ihre aktuelle Anwendungstauglichkeit zu überprüfen und zu hinterfragen. Aufgrund moderner Technologien, Gesetzesänderungen im Bereich der Sicherheit oder geänderter Randbedingungen kann sich die Anforderung an Bauteile oder Baugruppen verschieben. Auch der Umweltschutz und Recyclinganforderungen müssen berücksichtigt werden.

Bei der Wahl geeigneter Leichtbaumaßnahmen sind in der industriellen Produktion auch die Kosten ein großes Entscheidungskriterium. Gewichtsreduktion darf nicht zu teuer sein – ansonsten lohnt sich aus wirtschaftlicher Sicht die Umstellung für die Betriebe nicht.

Kapitel 3

LEICHTBAU – CHANCE FÜR DIE INDUSTRIE

Aktuell steht Leichtbau durch die Elektromobilität stark im Fokus der öffentlichen Diskussion. Schwere Batterien erfordern Gewichtseinsparungen an anderer Stelle des Fahrzeugs, um die Effizienz zu erhöhen. Durch leichtere Fahrzeuge wird eine größere Reichweite erreicht, die Fahrdynamik wird verbessert und die benötigte Antriebsleistung sinkt. Aber nicht nur der Bereich der Mobilität kann vom Leichtbau profitieren. Auch in weiteren Bereichen der Fertigung bieten sich durch den Leichtbau interessante Möglichkeiten. Leichtbau in Mobilität und Fertigung stellt eine Chance und Herausforderung für Industrie und Wirtschaft dar.

In diesem Kapitel werden verschiedene Branchen unter dem Aspekt des Leichtbaus beleuchtet. Für die Luft- und Raumfahrt ist Leichtbau essentiell. Die ersten Flugzeuge hätten ohne Leichtbaukonstruktionen nicht abheben können. Im Maschinenbau bietet der Leichtbau Möglichkeiten, um die Maschinendynamik zu verbessern und damit beispielsweise eine höhere Produktivität der Maschine zu erzielen. Es ergeben sich darüber hinaus auch völlig neue Märkte für die Unternehmen. Der Architektur und Baubranche eröffnen sich neue Gestaltungsmöglichkeiten. Im Sinne des nachhaltigen Bauens spart Leichtbau weltweit enorme Mengen Baustoff ein.

Bei Umsatz- und Beschäftigungsentwicklung erwartet die große Mehrheit der im Rahmen dieser Studie befragten Experten steigende Zahlen.



Abbildung 14 Erwartete Umsatzentwicklung durch Leichtbau³¹

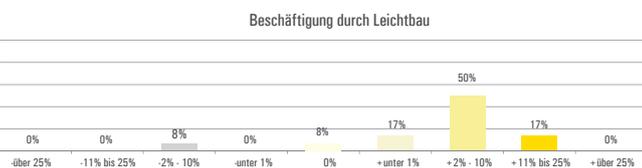


Abbildung 15 Erwartete Beschäftigungsentwicklung durch Leichtbau³²

31 Eigene Darstellung, Datenbasis eigene Umfrage

32 Eigene Darstellung, Datenbasis eigene Umfrage

33 (McKinsey, 2012)

34 Eigene Darstellung, Datenquelle (McKinsey, 2012)

35 (Degischer & Lüftl, 2009, S. 140)

36 (Degischer & Lüftl, 2009, S. 140)

37 Eigene Darstellung, Datenquelle (Degischer & Lüftl, 2009)

Auch die Studie „Lightweight, heavy impact“³³ prognostiziert, dass der weltweite Markt für Leichtbaumaterialien jährlich um 8 % wachsen und 2030 ein Volumen von über 300 Mrd. € erreichen wird. Momentan werden ausgesuchte Leichtbauprodukte branchenübergreifend in allen Industriezweigen eingesetzt, wobei die Luftfahrt deutlich führend ist. Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) besitzen ein großes Potenzial zur Gewichtsreduzierung (bis zu 50 %, verglichen mit Stahl). Allerdings liegen die Kosten auch deutlich über denen anderer Leichtbaumaterialien. Abbildung 16 zeigt einen Vergleich von Bauteilgewicht und -kosten bei der Verwendung von Stahl, hochfestem Stahl* (HSS High-strength-steel), Aluminium und kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen.



Abbildung 16 Kosten und Gewichtseinsparpotenziale verschiedener Leichtbauwerkstoffe am Beispiel eines Kotflügels und einer Jahresproduktion von 60.000 Stück³⁴

Je nach Branche werden unterschiedliche Preise je Kilogramm Gewichtersparnis rentabel. Der Transport eines Kilogramms Gewicht kostet in der Raumfahrt etwa 5.000 €. Dementsprechend aufwändig fallen die Leichtbaumaßnahmen aus. Im Automobilbau werden dagegen, je nach Art des Fahrzeugs nur Preise zwischen 3 €/kg und 20 €/kg bezahlt.³⁵ Es ist zu erkennen, dass die Preise für Leichtbauwerkstoffe umgekehrt proportional zum Marktvolumen korrelieren. Der Preis, welcher für ein Bauteil bezahlt wird, hängt stark vom Nutzen in der Anwendung ab, wie Abbildung 17 zeigt.³⁶

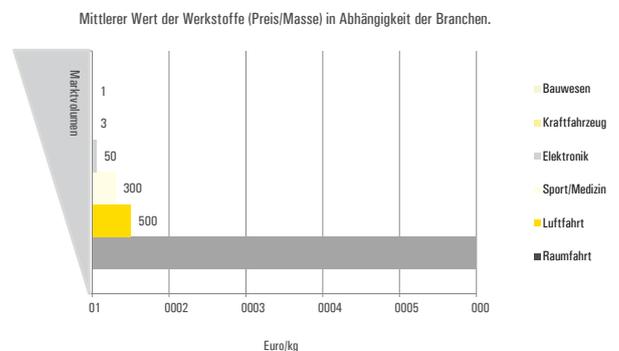


Abbildung 17 Mittlerer Wert je kg Gewichtersparnis in Abhängigkeit der Branche.³⁷

Kapitel 3

FAHRZEUGBRANCHE

Als Zentrum des deutschen Fahrzeugbaus wurden mit der Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen 2011 über 79 Mrd. € Umsatz erwirtschaftet und mehr als 203.000 Mitarbeiter beschäftigt.³⁸ „Mit der Daimler AG und der Porsche AG haben zwei der innovativsten Autohersteller ihren Hauptsitz in Baden-Württemberg. Zusätzlich unterhält die Audi AG einen wichtigen Produktions- und Entwicklungsstandort im Land“³⁹, in dem auch die Leichtbauentwicklung angesiedelt ist. Im Bereich der Nutzfahrzeuge sind die LKW-Sparte der Daimler AG, die Volvo Busse Deutschland GmbH, sowie die Kässbohrer Geländefahrzeug AG angesiedelt. Zusätzlich verfügt der Standort Baden-Württemberg über eine Vielzahl von bedeutenden Zulieferunternehmen, eine große Anzahl weltweit agierender kleiner und mittlerer Unternehmen mit Hauptsitz in Baden-Württemberg, wie auch den weltweit umsatzstärksten Automobilzulieferer, die Robert Bosch GmbH.⁴⁰

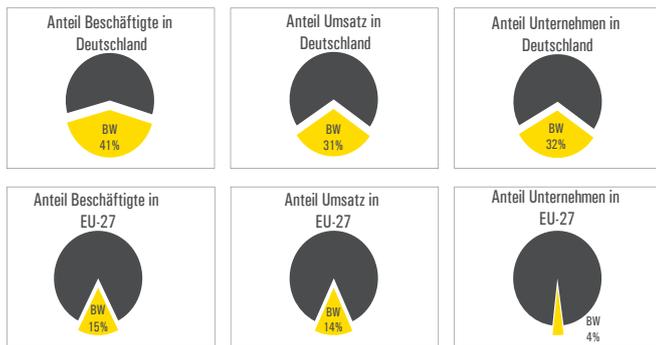


Abbildung 18 Beschäftigungs-, Umsatz- und Unternehmensanteile der Automobilindustrie⁴¹

Dass der Leichtbau für diese Industrie eine Schlüsselrolle einnimmt und einnehmen wird, sehen auch viele der Experten. Deren Einschätzung zur momentanen Nachfrage nach Leichtbaulösungen im Fahrzeugbau ist in Abbildung 19 dargestellt.

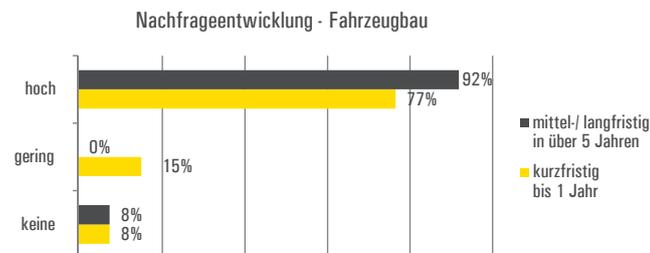


Abbildung 19 Entwicklung der Nachfrage im Fahrzeugbau⁴²

38 (Statistische Berichte Baden-Württemberg 3520 11001) "http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/Pressemit/2012115.asp pdf. Datei; Artikel-Nr. 3520 11001 produzierendes Gewerbe"

39 (Baden-Württemberg International)

40 (Baden-Württemberg International)

41 Eigene Darstellung, Datenquelle (Baden-Württemberg International)

42 Eigene Darstellung, Datenbasis eigene Umfrage

43 (MVI Group GmbH, 2011)

44 (Stroh, Katharina, 2008)

Heinz-Gunter Reichwein [R&D Vice President Epoxy and Material Science, Momentive Specialty Chemical]:

»Für Deutschland ist das Thema Leichtbau besonders wichtig, gerade unsere Premiumautohersteller setzen die Trends. Wie ich von Unternehmen außerhalb Deutschlands vernehme, schauen viele in Richtung Deutschland und haben dabei insbesondere den kommerziellen Erfolg bereits angekündigter Modelle mit hohem Composite-Anteil im Auge. Dies wird starken Einfluss auf die weitere Entwicklung der im automobilen Leichtbau eingesetzten Technologien haben.«

Die Verbesserung der Energie- und Ressourceneffizienz bewegter Massen spielt im Hinblick auf nachhaltige CO₂-Reduzierungsstrategien eine wichtige Rolle. Durch Anwendung geeigneter Leichtbaustrategien und durch neue kostenattraktive Bauweisen, wie etwa die Multi-Material-Design-Bauweise, können erhebliche Gewichtseinsparungen erzielt werden. Zukünftige Leichtbauprodukte werden daher verstärkt auf werkstoffflexible, modulare Bauweisenkonzepte mit unterschiedlichen Leichtbaustrategien setzen. Daraus ergeben sich auch Herausforderungen an die Fügetechnologie und die Notwendigkeit, die einzelnen Leichtbaustrategien während des Entwicklungsprozesses von Leichtbaustrukturen verknüpft zu betrachten. Endliche Ressourcen und die direkte Abhängigkeit schädlicher Abgase vom Kraftstoffverbrauch erfordern einen bewussten Umgang mit fossilen Brennstoffen. Die EU fordert von den Automobilherstellern bis zum Jahr 2020, den CO₂-Ausstoß der Gesamtflotte auf 95 g/km zu reduzieren.⁴³ Die Reduktion des Kraftstoffverbrauchs und der daraus resultierende CO₂-Ausstoß hängen nicht nur von effizienten und sparsamen Motoren ab, sondern sehr stark von der zu bewegenden Gesamtmasse. Leichtbau ist ein wichtiger Hebel, um Kraftstoffverbrauch und CO₂-Ausstoß des Fahrzeugs zu senken.

Je geringer die Gesamtfahrzeugmasse ist, desto niedriger ist auch der Rollwiderstand der Fahrzeuge auf der Straße. Ab einer Geschwindigkeit von bereits 40 bis 50 km/h dominieren die Reifen-/Fahrbahngeräusche gegenüber den Motorengeräuschen moderner Fahrzeuge⁴⁴ natürlich abhängig von Reifen- und Fahrbahneigenschaften. Neben dem reduzierten Kraftstoffverbrauch folgt daraus auch eine geringere Lärmbelastung im Straßenverkehr. Ein weiterer positiver Nebeneffekt: Auch die Energie bei Unfällen ist geringer, je leichter das Fahrzeug

ist. Das reduziert den Einfluss auf Sekundärschäden, also Schäden, die nicht am Fahrzeug selbst auftreten. Das Verletzungsrisiko sinkt und die Defekte an Fahrbahneinrichtungen (Leitplanken, Fremdfahrzeuge etc.) nehmen ab.

Welch hohes Interesse das Thema Leichtbau auch beim Anwender genießt, zeigt ein aktuelles Beispiel: Bei einer Umfrage der puls Marktforschung GmbH⁴⁵ gaben noch im Jahr 2010 nur 6 % der Befragten das Thema Leichtbau als Technologie an, die sie als Autofahrer in Zukunft für wichtig halten. Nur ein Jahr später kletterte dieser Punkt mit 17 % an die Spitze des Technologie-Rankings - noch vor dem Thema Elektromobilität (8 %), das zuvor mit 21 % den ersten Platz belegte. Leichtbaustrukturen finden sich bereits in den unterschiedlichsten Anwendungsgebieten. Dabei sind nicht nur Strukturen in der Raumfahrt wie Raketen und Satelliten oder Luftfahrzeuge wie Flugzeuge und Hubschrauber, sondern ebenfalls Strukturen im Straßen- und Schienenfahrzeugbau wie z. B. Automobil und Rennsport oder im Bauwesen wie Brücken zu nennen. Insbesondere im Automobilbau stellt die Entwicklung von rein elektrisch betriebenen Fahrzeugen eine besondere Herausforderung dar, da sehr große und schwere Batterieeinheiten aus Gründen der geforderten Reichweite notwendig sind und damit leichte Fahrzeugkarosserien unverzichtbar werden. Für die Gestaltung solcher Leichtbaustrukturen bedarf es einer geeigneten Strategie und besonderen Bauweise, um Gewichtseinsparungen erreichen zu können.

Neben der Karosserie betreffen auch viele andere Bereiche im Fahrzeug das Thema Leichtbau. Da die Karosserie nur etwa 35 % des Gesamtfahrzeuggewichts ausmacht, reicht für effizienten Leichtbau eine Reduktion des Gewichts der tragenden Struktur alleine nicht aus. Hier umfasst Leichtbau das Gesamtpaket. Oftmals werden in modernen Fahrzeugen durch die Struktur gewonnene Gewichtseinsparungen für Service- und Komfortausstattung genutzt. Daher sorgen, entgegen der geforderten Massenreduktion bei Fahrzeugen, stetig steigende Leistungs-, Sicherheits- und Komfortansprüche dafür, dass sich das Fahrzeuggewicht kontinuierlich erhöht. So liefern etwa diverse Servomotoren im Fahrgastraum einen hohen Bedienkomfort bei der Sitzverstellung oder dem automatisch abblendenden Innenspiegel und tragen zur Wertigkeit gerade gehobener Fahrzeugsegmente bei. Ein typisches Beispiel für die steigende Fahrzeugmasse ist die Baureihe des VW Golf, dessen Gewicht in den letzten 20 Jahren stetig anstieg.⁴⁶ Das Leergewicht steigerte sich vom Golf 1, der 1974 noch 775 kg wog, auf 1217 kg beim aktuellen Golf 6.⁴⁷ Einerseits sind Fahrzeuge immer

größer geworden, andererseits wurden weitere Sicherheitssysteme, Komfortausstattungen usw. verbaut. Um der Gewichtserhöhung entgegenzuwirken und im Idealfall eine gewichtsneutrale Kompensation der zusätzlichen Fahrzeugfunktionen zu erzielen, betrifft der Leichtbau nicht allein einzelne Fahrzeugbereiche, sondern stellt eine Herausforderung an das Gesamtpaket dar.⁴⁸ So bietet beispielsweise der Bereich des schweren Motorblocks ein oft unterschätztes Leichtbaupotenzial, wie das Beispiel in Abbildung 20 zeigt. Das Aluminium-Magnesium-Verbundkurbelgehäuse bringt nur 57 % des Gewichts eines vergleichbaren Graugussblocks auf die Waage und ist um 24 % leichter als ein Kurbelgehäuse aus Aluminium.



Abbildung 20 Leichtbau im Motorblock, Magnesium-Aluminium-Verbund-Kurbelgehäuse, 6 Zylinder Ottomotor⁴⁹

Bei allen Optimierungsmaßnahmen ist zu beachten, dass die Anforderungen an Sicherheit und Haltbarkeit ohne Abstriche erfüllt werden. Es ist daher als allgemeine Zielsetzung des Leichtbaus zu verstehen, die Anforderungen an die verschiedenen Fahrzeugkomponenten mit größtmöglicher Gewichtseinsparung umzusetzen. Ebenso gilt es, ein sinnvolles Zusammenspiel aller Belange zu erreichen. Die Abbildung 21 zeigt eine Übersicht über die verschiedensten Anforderungen an die Module und Baugruppen im Automobilbau. Leichtbau ist für das Gesamtfahrzeug gefordert, wirkt sich jedoch im Speziellen auf ein besseres Fahrverhalten, geringeren Verbrauch und eine gesteigerte Fahrleistung aus, was das Fahrerlebnis steigert. Besonders starken Einfluss besitzen Leichtbaukomponenten in ungefederten Massen oder bewegten Teilen, wie Felgen, Bremsscheiben oder rotierenden Massen in Motor und Antriebsstrang.

45 (ATZ produktion, 2011)

46 (Goede, Stehlin, & Rafflenbeul, 2008)

47 (www.volkswagen.de)

48 (Röcker, 2008)

49 Foto: © BMW AG, München (Deutschland) 06/2004

Kapitel 3

Anforderungen an Komponenten und Baugruppen



Abbildung 21 Unterschiedliche Anforderungen an die Module und Baugruppen im Automobilbau⁵⁰

Leichtbau kann nicht alleine durch die Werkstoffe realisiert werden. Die Fertigungstechnologien und Konstruktionsprinzipien müssen ebenso eingeschlossen und angepasst werden. Als Beispiel sei hier die Carbon-Keramik-Bremsscheibe genannt, welche aus kohlenstofffaserverstärktem Siliciumcarbid Verbundwerkstoff aufgebaut ist. Zur Realisierung dieses Produkts ist eine enge Zusammenarbeit aus Herstellungsverfahren, verfahrens- und werkstoffgerechter Konstruktion und Werkstoff notwendig. Der Einsatz des Hightech-Werkstoffes reduzierte das Gewicht, im Vergleich zur konventionellen Graugussbremsscheibe um rund 50 %.⁵¹ Die aufwändige Fertigungstechnologie liefert ein Leichtbauprodukt, welches zudem verbesserte Eigenschaften, wie höhere Temperaturbeständigkeit und Einsatztemperaturen besitzt. Die Konstruktion muss den richtungsabhängigen Werkstoffeigenschaften gerecht werden, um bei Bremstemperaturen von mehreren hundert Grad Celsius die Betriebssicherheit zu gewährleisten. Aufgrund der höheren Produktionskosten werden diese Bremsscheiben hauptsächlich im Luxusfahrzeug-Segment, in Sportwagen und im Rennsport eingesetzt. Leichtbau kann auf verschiedene Arten umgesetzt werden. Dabei können Einzelkomponenten oder das Gesamtsystem im Vordergrund stehen. Abhängig von fertigungstechnischen Möglichkeiten können Materialien, Geometrien oder z. B. Fügestellen verändert werden. Ein Beispiel in Modulbauweise liefert der modulare Querbaukasten (MQB) von Volkswagen. „Bestandteil des modularen Querbaukastens ist eine flexible Fahrzeugarchitektur, bei der konzeptbestimmende Abmessungen wie Radstände, Spurbreiten, Rädergröße und Sitzposition im Konzern abgestimmt und variabel sind. Andere Abmessungen wie der Abstand der Pedalerie zur Radmitte sind immer gleich und ermöglichen eine einheitliche Vorderwagensystematik.“⁵²

50 (Braess, 2003) (Friedrich, 2007)

51 (SGL Group)

52 (Volkswagen AG, 2012)

53 Foto: © Volkswagen AG, DB2012AL00066

54 Foto © DLR

55 DLR

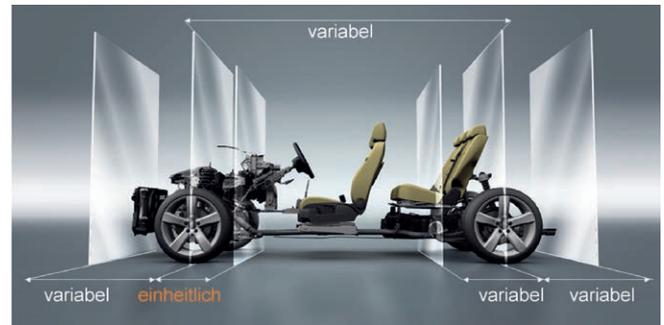
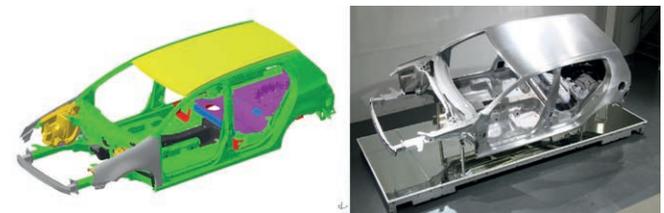


Abbildung 22 Modulbauweise am Beispiel des modularen Querbaukastens (MQB)⁵³



- Materials**
- Aluminium sheet
 - Aluminium cast
 - Aluminium extrusion
 - Steel
 - Hot-formed steel
 - Magnesium sheet
 - Magnesium diecasting
 - Glasfibre thermoplastic

Abbildung 23 Das Super Light Car des DLR in Multi-Material-Bauweise⁵⁴

Die Gewichtsreduktion durch die Multi-Material-Bauweise beim Super Light Car des DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) beträgt 35 % im Vergleich zu einer konventionellen Stahlbauweise. Im Karosseriebau, der ca. 35 % des Gesamtgewichts eines PKW ausmacht, haben sich bisher in der Serienproduktion der Stahl- und der Aluminiumleichtbau sowie entsprechende Mischbauweisen durchgesetzt.⁵⁵ Ein Beispiel dafür ist die Karosserie des Audi TT. Für den vorderen Fahrzeugbereich wird Aluminium verwendet. Der hintere Teil ist aus Stahl. Zudem werden die Space-Frame- und Schalenbauweise kombiniert.

Der Audi TT

The Audi TT
Rohkarosserie in Mischbauweise – Materialien
Body-in-white featuring composite construction – materials



Abbildung 24 Multi-Material-Design am Beispiel der Karosserie des Audi TT⁵⁶

Die Reduktion des CO₂-Ausstoßes am Fahrzeug beinhaltet, wie erläutert, eine Konzept- und z. T. Materialänderung in der Konstruktion und Fertigung. Dabei ist abhängig vom Material zu untersuchen, wie sich die Nutzung während des Life-Cycle bei der Herstellung und dem Recycling auf den CO₂-Bedarf auswirken, verglichen mit den ursprünglich verwendeten Werkstoffen. Dieser Umstand ist von Beginn an zu berücksichtigen, wenn man „unterm Strich“ effizient und ehrlich Klimaschutz betreiben will.

Auch das Thema Recycling ist im Fahrzeugbau von hoher Wichtigkeit. Die EU fordert bereits in diesem Jahr von den Fahrzeugherstellern eine Wiederverwertungs- und Recyclingrate von 80 % des durchschnittlichen Fahrzeuggewichts. Im Jahr 2015 erhöht sich dieser Wert auf 85 %. Gerade beim Multi-Material-Design stellt sich dadurch eine enorme Herausforderung für die Fügekonzepte: Um Werkstoffe effizient wieder zu verarbeiten, ist eine stoffliche Trennung der Recyclate notwendig. Fügestellen müssen sich lösen lassen, um unterschiedliche Rohstoffe wieder zu trennen.

LEICHTBAU AUCH IM SCHIENENFAHRZEUGBAU

Auch im Schienenfahrzeugbau hat die Fahrzeugmasse Einfluss auf den Fahrwiderstand. Dabei ist der Gesamtwiderstand zum Teil abhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher sich der Zug vorwärts bewegt. Zum Teil sind Widerstände wie Gleit-, Roll- und Lagerwiderstände davon jedoch auch völlig unabhängig. Über den Effekt der unabhängigen



Abbildung 25 Porsche Ceramic Composite Brake (PCCB) ⁵⁷

Widerstände erhält der Leichtbau im Schienenfahrzeugbau eine große Bedeutung. Zudem ist die zulässige Achslast eines Zuges limitiert. Bei den Waggons lassen sich durch Gewichtseinsparungen längere Wagenkästen realisieren, was die Anzahl der Waggons pro Zug reduziert. Die Gesamtlänge gängiger Hochgeschwindigkeitszüge beträgt in der Regel in Deutschland 202 m, wobei die Gesamtzuglänge aufgrund der vorhandenen Bahnsteiglängen von ca. 400 m nicht überschritten werden darf. Dabei entstehen auch weniger Übergänge zwischen den Wagen, und die Anzahl der Fahrwerke reduziert sich, was sich wiederum positiv auf den Luftwiderstand auswirkt. Gerade auf Kurzstrecken kann bei S-Bahnen der Verbrauch um 22 kWh/ 100 km pro eingesparter Tonne Masse gesenkt werden. Im Nahverkehrssektor bedeutet ein sinkendes Fahrzeuggewicht folglich auch eine höhere Zuladung.

Das DLR entwickelt derzeit beispielsweise mit dem „Next Generation Train“ ein neuartiges Schienenfahrzeugkonzept. Das Konzept wird von Beginn an die aktuellen Rahmenbedingungen angepasst, um ein effizientes, modernes Schienenfahrzeug entwickeln zu können. Das geringe Gewicht der Wagenkästen ermöglicht es, einen leistungsstarken Antrieb einzubauen.



Abbildung 26 Next Generation Train - das Konzept für ein modernes Schienenfahrzeug des DLR⁵⁸

56 Quelle AUDI AG
57 Foto: © Porsche AG
58 Foto: © DLR

Kapitel 3

MASCHINEN- UND ANLAGENBAU

Als einer der Wachstumsmotoren im Land stellt der Maschinen- und Anlagenbau eine wichtige Säule dar. Zahlreiche kleine und mittlere Unternehmen sind seit vielen Jahren Garant für eine stabile Wirtschaft und sichere Beschäftigungsverhältnisse. „Traditionelle Stärken der Branche in Baden-Württemberg sind,“ laut VDMA „hochqualifizierte Mitarbeiter, mittelständisch geprägte Firmenstrukturen und eine gute Vernetzung von Wissenschaft und Wirtschaft“⁵⁹. Mit einem Jahresumsatz von 64,3 Mrd. € im Jahr 2011⁶⁰ generierte der Maschinenbau über 20 % des Industrieumsatzes in Baden-Württemberg. Die Exportquote betrug 2011 60,6 %, was die Internationalität der Branche verdeutlicht. Mit über 289.000 Personen arbeitete 2011 fast ein Viertel der Industriebeschäftigten im Land, in dieser Branche.⁶¹ Um ihre internationale Spitzenposition zu verteidigen und weiterhin als Technologieführer auftreten zu können, sind kontinuierliche Innovationen und das frühzeitige Erkennen von Trends für die Unternehmen essentiell.

Leichtbau als aktueller Trend bietet der Branche vielfältige Möglichkeiten und Potentiale. Ein hoher Spezialisierungsgrad bietet Unternehmen die Chance, ihre technologische Spitzenposition für lukrative Produkte zu nutzen und sich so Alleinstellungsmerkmale durch Innovation zu verschaffen. Dies ist auch ein wichtiger Schritt, um die internationale Spitzenstellung des örtlichen Maschinenbaus in Zukunft zu erhalten und auszubauen. „Die Nachfrage ist hoch und wird auch weiterhin zunehmen“, betont Christoph Pelchen [Leiter Vorentwicklung Fahrwerk und Gesamtfahrzeug, ZF Friedrichshafen AG] im Interview. Diese Einschätzung wird von weiteren Experten der Branche geteilt, wie Abbildung 27 zeigt. Besonders mittel- und langfristig wird eine steigende Nachfragenentwicklung erwartet.

VERBESSERUNG UND PERFORMANCESTEIGERUNG AKTUELLER MASCHINEN UND ANLAGEN

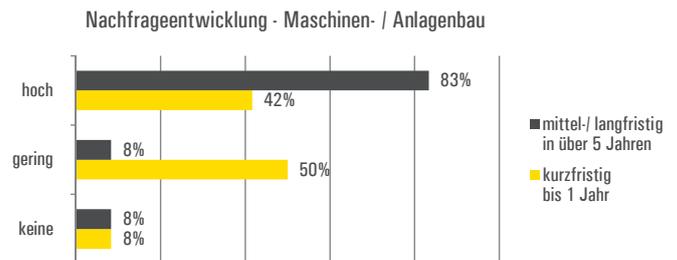


Abbildung 27 Entwicklung der Nachfrage im Maschinen- und Anlagenbau⁶²

In dieser Branche verlangen die Kunden nicht direkt nach Leichtbau. Viele der nachgefragten Eigenschaften, wie etwa höhere Produktionsleistung, lassen sich allerdings über Leichtbaukomponenten erreichen. Hieraus ergibt sich für den Maschinen- und Anlagenbau ein starkes Interesse nach Leichtbauanwendungen. Dr. Gerhard Hammann [Leiter Grundlagenentwicklung, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG] nennt Dynamiksteigerungen als vorrangige Zielsetzung beim Einsatz von Leichtbau. „Wenn wir eine neue Maschine auf den Markt bringen, ist das Verkaufsargument nicht, dass sie in Leichtbau ausgeführt ist, sondern, dass sie doppelt so produktiv ist wie das Vorgängermodell“, und erklärt, dass diese Steigerung häufig durch Leichtbau erreicht wird. Diese Einschätzung teilt auch Heribert Wille [Vorstandsvorsitzender des Leichtbauzentrums Baden-Württemberg - LBZ-BW e.V. (LBZ-BW) und Leiter System Manufacturing der Heidelberger Druckmaschinen AG]: „Unsere Kunden interessiert ausschließlich die Leistungsfähigkeit der Maschine. Wenn einzelne Bauteile die Leistungsfähigkeit begrenzen, dann müssen wir diese so gestalten, dass die Leistung gesteigert werden kann. Den Kunden interessiert dabei hauptsächlich das Ergebnis und weniger, wie wir es erreichen. Natürlich gibt es auch Themen wie beispielsweise CFK, die vermarktet werden, aber letztendlich steht die Leistungsfähigkeit im Vordergrund.“

NEUE MÄRKTE

Für die baden-württembergischen Maschinen- und Anlagenbauer entstehen durch den Leichtbau auch neue Märkte. Die Bearbeitung und Verarbeitung von Leichtbaumaterialien bietet viele neue Anwendungsfelder für den Maschinen- und Anlagenbau. Neue Verfahren und Prozesse erfordern Maschinen- und Anlagentechnik. Der Ruf nach

59 (VDMA, 2011)

60 (Statistische Berichte Baden-Württemberg 3520 11001)

61 (Statistische Berichte Baden-Württemberg 3520 11001)

62 Eigene Darstellung, Datenbasis eigene Umfrage

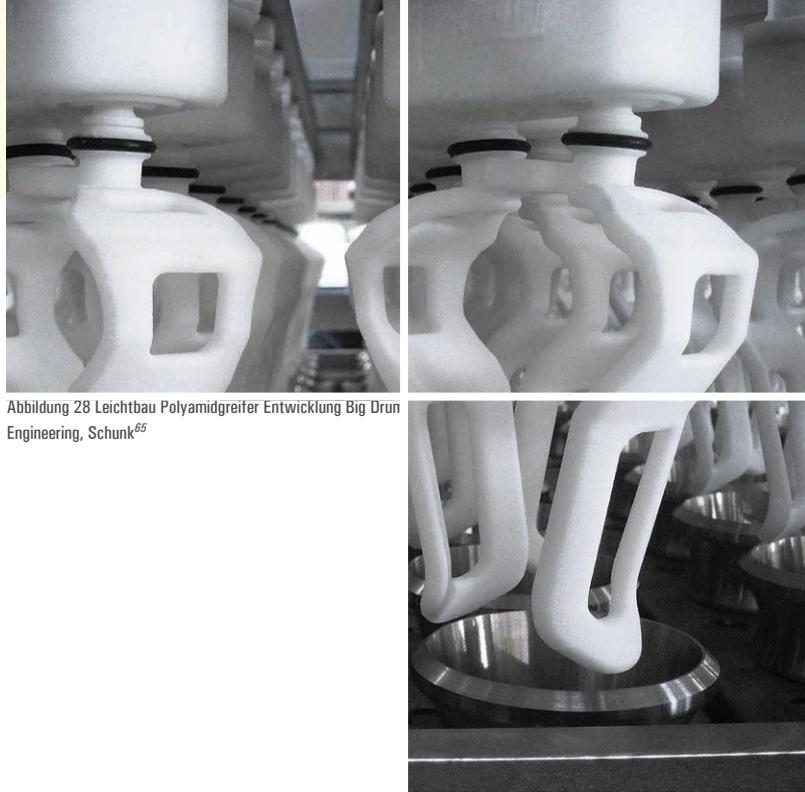


Abbildung 28 Leichtbau Polyamidgreifer Entwicklung Big Drum Engineering, Schunk⁶⁵

vollautomatisierten Lösungen in der Verarbeitung von Endlosfasern im Faserverbundbereich bietet Chancen, stellt die Branche allerdings auch vor große Herausforderungen. So sieht beispielsweise die Gühring oHG im Leichtbau ein komplett neues Geschäftsfeld. Christian Gauggel [Projektingenieur Forschung und Entwicklung, Gühring oHG] erklärt:

»Momentan beschäftigen sich in unserem Center of Excellence für Leichtbauwerkstoffe bereits 10 Mitarbeiter ausschließlich mit der Bearbeitung von Leichtbauteilen und Multimaterialbauteilen. In den nächsten 5 Jahren werden wir diese Abteilung definitiv weiter ausbauen.«

Heribert Wille [Leiter System Manufacturing, Heidelberger Druckmaschinen AG] sieht die Bedeutung des Leichtbau für das Unternehmen folgendermaßen:

»Leichtbau hat eine steigende Bedeutung in unserem Unternehmen. Wir sind in der Aufbauphase und werden uns in dem Thema engagieren, da es für uns eine wichtige Rolle spielt. Noch haben wir nicht die großen Umsätze generiert, sind aber dabei erste Aufträge zu akquirieren. Dies wird in den nächsten Jahren natürlich deutlich wachsen und eine große Relevanz bekommen. Wenn man den Zeithorizont von 5 Jahren betrachtet, dann wird das Thema Leichtbau an Bedeutung gewinnen und für das Unternehmen Heidelberger Druckmaschinen zusätzliche Geschäfte bedeuten.«

ARCHITEKTUR UND BAUBRANCHE

23.400 eingetragene Architekten arbeiten in Baden-Württemberg, was im Länderdurchschnitt der zweithöchsten Architektendichte nach Hamburg entspricht. Statistisch kommt damit auf 460 Einwohner ein Architekt.⁶³ Auch wenn in anderen Branchen die Anzahl der Beschäftigten größer ist, so ist der Hebeleffekt der Architektur im Leichtbau dennoch immens, da sie auf die gesamte Bauindustrie ausstrahlt, die einen sehr großen Anteil an Umweltbelastung verursacht. So ist sie beispielsweise mit 195 Mio. t Bau- und Abbruchabfällen für über 50 % des Brutto-Abfallaufkommens verantwortlich (Stand 2009).⁶⁴

Durch den immer wichtiger werdenden ökologischen Aspekt ist es zudem zwingend notwendig geworden, Leichtbauweisen auch in der Architektur einzusetzen. Der Einsatz von Leichtbau in der Architektur geht einher mit der Einsparung von Material, Rohstoffen und Energie. Prof. Menges [Leiter des Institute for Computational Design (ICD) der Universität Stuttgart] betont in diesem Zusammenhang die Bedeutung des Leichtbaus in Architektur und Bauindustrie für die Gesellschaft:

»Je weniger Material eingesetzt wird, desto leichter ist die Konstruktion, desto weniger Primärenergie muss aufgebracht werden. Im Großen und Ganzen ist das alles zu verstehen unter der Maßgabe des nachhaltigen oder ökologischen Bauens. Allerdings ist Nachhaltigkeit längst kein rein ideologisches Thema mehr. Konsequente Material- und Energieeinsparung bringt eindeutige wirtschaftliche Vorteile.«

Trotz des gesellschaftlichen Interesses an nachhaltigen Leichtbauweisen in der Architektur, werden diese derzeit noch nicht in ausreichendem Maße von der Baubranche eingesetzt. Leichtbau ist im Bauwesen, bis auf die Ausnahmen mobiler oder temporärer Bauwerke, noch sehr schwach vertreten. Mobile Architektur ist flexibel und in Leichtbauweise gefertigt, beeinträchtigt sensible Standorte nur gering und ist in der Lage, auf den Wandel technologischer, ökologischer und kultureller Art zu reagieren. Teilweise ist die erleichterte Montierbarkeit bei reduziertem Eigengewicht und die höhere Nutzungsflexibilität von Interesse. Darüber hinaus kommt Leichtbau bei architektonisch sehr leicht und filigran gestalteten Fassadenkonstruktionen oder bei sehr weit spannenden Konstruktionen wie Flugzeughangars oder Stadionüberdachungen zum Einsatz.

63 (Architektenkammer Baden-Württemberg (2011): Architekten und Stadtplaner in Baden-Württemberg. Hintergrundinformation.)

64 (Umweltbundesamt)

65 Foto: © Big Drum Engineering

Kapitel 3

Brandschutzbestimmungen können im Bauwesen die Materialwahl, wie etwa die Verwendung von Faserkunststoffverbunden einschränken. Prof. Werner Sobek [Leiter des Institut für Leichtbau Entwerfen und Kopnstruieren ILEK der Universität Stuttgart] schätzt, dass damit etwa nur ein Prozent dessen, was derzeit gebaut wird, in Leichtbauweisen ausgeführt ist. Die Ergebnisse der Expertenbefragung zeigen die Erwartung einer leicht zunehmenden Nachfrage nach Leichtbaulösungen in der Architektur und Bauindustrie innerhalb der nächsten fünf Jahre, allerdings auf deutlich niedrigerem Niveau als beispielsweise in der Fahrzeug- oder Flugzeugbaubranche.

Bezüglich der weiteren Entwicklung des Leichtbaus in Architektur und Bauwesen sagt Prof. Werner Sobek:

»Obwohl die Bauindustrie eher träge ist im Einbringen von Innovationen, wird aufgrund der Notwendigkeit der Einsparung von Ressourcen in den nächsten 5 Jahren eine große Veränderung eintreten. Insbesondere, da davon auszugehen ist, dass sowohl von Seiten des Gesetzgebers als auch aufgrund der Materialkosten entsprechender Innovationsdruck entstehen wird.«

Das größte Potential sieht er dabei im Bereich der primären Tragkonstruktionen, die im Hochbau auch häufig als "Rohbau" bezeichnet werden.

»Wir entwickeln gerade Technologien, mit denen wir die tragenden Strukturen um bis zu 30 % leichter machen können. Das bedeutet bei einem Bürohochhaus von 200 m Höhe eine Einsparung in der Größenordnung von 50.000 t.«

Für diese Entwicklung ist Baden-Württemberg gut aufgestellt. Prof. Menges schätzt die Lage folgendermaßen ein:

»Für die Architektur und das Bauwesen und speziell auch für die Bauingenieure ist Baden-Württemberg, insbesondere der Raum Stuttgart, jetzt schon weltweit einer der führenden was Leichtbaukonstruktionen angeht. Durch den vorhandenen Knowhow-Vorsprung der Bauingenieure und Architekten nehmen wir in Deutschland allgemein, aber speziell auch in Baden-Württemberg, momentan eine globale Spitzenposition ein, sowohl im Bereich des Leichtbaus als auch im Bereich des nachhaltigen Bauens.«

Nachfrageentwicklung - Architektur / Bauindustrie

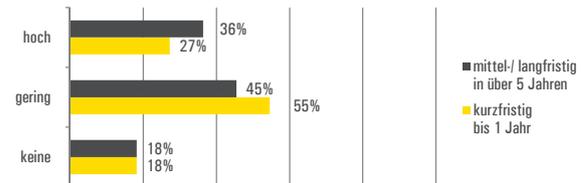


Abbildung 29 Entwicklung der Nachfrage in der Architektur und Bauindustrie⁶⁶

Die Technologien unterscheiden sich jedoch teilweise von den im Maschinen- oder Fahrzeugbau eingesetzten Methoden. In der Baubranche spielen beispielsweise ultrahochfeste Betone eine wichtige Rolle. Diese Betone weisen drei- bis fünfmal höhere Festigkeiten auf als reguläre Betone und erreichen damit Festigkeiten im Bereich niedrigfester Stähle. Leichtbau in der Architektur hat stellenweise auch einen starken Bezug zur Bionik, denn die meisten natürlichen Konstruktionen und biologischen Strukturen sind vom Prinzip her Leichtbau. Prof. Menges erklärt zu den Leichtbaumaterialien, welche am ICD aktuell erforscht werden:

»Wir untersuchen neben Membrankonstruktionen, also Bauen mit Textilien, auch den immer noch ganz wichtigen Leichtbauwerkstoff Holz. Es gibt hinsichtlich der CO₂- und Energiebilanz derzeit noch keinen vergleichbar guten Bauwerkstoff. Auch im Bauwesen ist heute der gesamte Lebenszyklus des Gebäudes ein ganz grundlegender Aspekt der Planung und wir können dabei nicht die Primärenergie außer Acht lassen.«

Beim Einsatz in Gebäuden werden teilweise sehr spezielle Anforderungen an die Werkstoffe gestellt. Prof. Werner Sobek nennt ein Beispiel:

»Der Einsatz von Synthefasern oder geklebten Konstruktionen scheitert häufig daran, dass eine gesicherte Entfluchtung im Brandfall häufig bis zu 90 Minuten lang gegeben sein muss.«

Im Brandfall sind viele Kunststoffe oder auch Klebeverbindungen nicht über derartige Zeitspannen hinreichend tragfähig. Sind die Anforderungen nicht so hoch, z. B. weil ein Brandfall ausgeschlossen oder nur von geringem Schädigungspotenzial ist, kommen immer häufiger Faserverbundwerkstoffe im Bauwesen zum Einsatz, wie bei der Skulptur 'Mae West' in München.

66 Eigene Darstellung, Datenbasis eigene Umfrage



Abbildung 30 CFK Skulptur Mae West der Künstlerin Rita McBride am Effnerplatz in München, Höhe 52m⁶⁷

LUFT- UND RAUMFAHRTTECHNIK

Die Luft- und Raumfahrttechnik erwirtschaftet in Baden-Württemberg 4,5 Mrd. € Jahresumsatz mit 14.000 Beschäftigten. Deutschlandweit wurden 2009 mit 93.700 Beschäftigten 23,6 Mrd. € umgesetzt. 15,6 Mrd. € oder 66,2 % des Gesamtumsatzes wurden in der zivilen Luftfahrt erzielt, 6 Mrd. € im wehrtechnischen Segment und 2 Mrd. € im Raumfahrtsektor. Die Ausgaben für Forschung und Entwicklung beliefen sich 2009 auf 4 Mrd. €, was 17,1 % des Gesamtumsatzes entspricht. Dieses sehr starke Engagement verdeutlicht, mit welchem Nachdruck an Innovationen und Neuerungen geforscht und entwickelt wird und wie wichtig eine technologische Spitzenposition ist. Dass dieser Spitzenplatz auf internationalem Parkett gefragt ist, verdeutlicht ein deutschlandweiter Exportanteil von 68 % in 2009.⁶⁹

67 Foto: Universität Stuttgart ILEK

68 Foto: Universität Stuttgart ICD/ITKE

69 (Bundesverband der deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie, 2012)

70 (Wikipedia Zeppelin)



Abbildung 31 Bionischer Forschungspavillon 2011 der Universität Stuttgart, ICD/ITKE⁶⁸

Der Flugzeugbau besitzt in Baden-Württemberg, besonders in der Bodenseeregion, eine lange Tradition. Bereits vor 1900 experimentierte Ferdinand Graf von Zeppelin mit dem Bau von Starrluftschiffen⁷⁰ und förderte mit der Philosophie „leichter als Luft“ den Leichtbau immens. Innerhalb des Zeppelin'schen Unternehmens entstanden in der Gegend um Friedrichshafen die Dornier Werke, welche anfangs von Claude Dornier geführt wurden. Das Unternehmen beschäftigte um 1980 bis zu 10.000 Mitarbeiter. Nach turbulenten, weniger erfolgreichen Jahren entstanden einige kleinere Einzelfirmen. Heute hat der EADS Konzern einen Standort am Bodensee.

Die Maybach-Motorenbau GmbH stellte zunächst Motoren für die Luftschifffahrt her und war wegweisend im Bereich der Flugzeugmotoren. 1960 entstand daraus die MTU (heute Tognum AG), welche sich auf die Produktion von Großdieselmotoren und Gasturbinen spezialisierte. Als einer der größten Segelflugzeugbauer produziert die Schempp-Hirth Flugzeugbau GmbH in Kirchheim unter Teck seit Jahrzehnten innovative Flugzeuge, die zahlreiche Europa- und Weltmeistertitel erringen konnten.

Leichtbau ist in der Luft- und Raumfahrt eine der elementaren Grundlagen. Ein Flugzeug hebt erst dann ab, wenn der erzeugte Auftrieb das Eigengewicht des Flugzeugs übersteigt. Zudem kostet jedes Kilogramm die Flugzeugbetreiber Geld, da der Treibstoffverbrauch hauptsächlich vom Gewicht und der Aerodynamik des Flugzeuges abhängt.

Kapitel 3

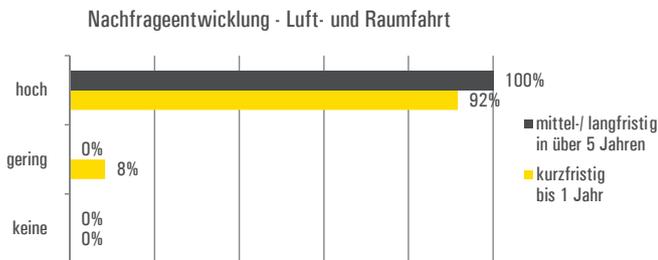


Abbildung 32 Entwicklung der Nachfrage in der Luft- und Raumfahrtbranche⁷¹

Allein die Kerosinkosten der Lufthansa AG betragen im Jahr 2010 5 Mrd. €. ⁷² Mit einer Reduktion des Treibstoffverbrauchs um 1 % können 50 Mio. € eingespart werden, was etwa dem Preis eines A318 entspricht (Stand 2008). ⁷³ Dadurch werden hohe Kosten für Gewichtsreduktionen in Kauf genommen. Bei den Leichtbaumaterialien setzt die Luftfahrtindustrie, verglichen mit den anderen Branchen, aktuell den höchsten Anteil an kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen ein, trotz der im Vergleich zu Stahl ca. 57- mal höheren Kosten (McKinsey, 2012). ⁷⁴

In der Raumfahrt treibt der Kostenfaktor sogar noch mehr, da jedes Kilogramm, das in den Weltraum befördert werden muss, mindestens 5.000 € kostet. ⁷⁵ Daraus ergibt sich ein enormer Ehrgeiz, die Summe der Einzelteile so leicht wie möglich zu konstruieren und zu fertigen, um die maximale Zuladung erhöhen zu können. Die Simulationsmethoden für den Leichtbau wurden durch Fragestellungen der Luftfahrt vorgebracht. In der Luft- und Raumfahrt sind Versuche und das Testen von Konzepten sehr kostenintensiv, sofern überhaupt durchführbar. Dieser Sachverhalt führt dazu, dass in diesem Segment sehr intensiv an der Entwicklung von Simulationsprogrammen, auch speziell für den Leichtbau, gearbeitet wird.

Das Ergebnis dieser Bemühungen ist ein großes Knowhow im Leichtbau. Von diesen Kompetenzen profitieren auch weitere Branchen. McKinsey sieht hierin einen Grund für die rasche Leichtbauentwicklung, welche in der Automobilindustrie aktuell zu beobachten ist. Für die weitere Entwicklung sind jedoch automobilspezifische Fragestellungen zu lösen. Ein Beispiel hierfür ist die Massenfertigung von Leichtbauteilen, da in der Automobilindustrie deutlich höhere Stückzahlen gefordert sind als in der Luftfahrtbranche.

WEITERE BRANCHEN

Zahlreiche weitere Branchen sind mit dem Leichtbau mehr oder weniger stark verbunden, beispielsweise Hersteller von Leichtbauwerkstoffen oder Dienstleister, welche bei Berechnung, Simulation und Auslegung unterstützen. Von der Textilbranche bis zum Gerüstbauer ist Leichtbau ein Thema. Handwerk und Kunst beschäftigen sich ebenfalls mit Fragestellungen des Leichtbaus. Die Umfrageergebnisse zeigen den hohen Stellenwert des Leichtbaus für weitere Branchen.

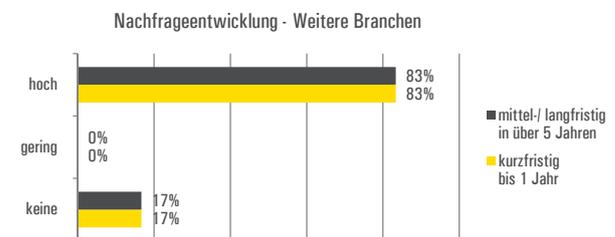


Abbildung 33 Entwicklung der Nachfrage in weiteren Branchen⁷⁶

Produktdesigner und Möbelgestalter arbeiten mit hochaktuellen Verfahren und Materialien, um ihre Ideen in Produkte umsetzen zu können. Unter Gesichtspunkten wie Gestaltungsfreiheit, Funktionalität und Funktion entstand ein vielfältiges Produktspektrum, welches die gesamte Bandbreite der Leichtbaukonstruktionen abdeckt. Die Produkte werden jedoch kaum unter diesem Aspekt wahrgenommen.

Die Verwendung aktueller Leichtbauwerkstoffe, Konstruktionsbauweisen und Fertigungstechnologien ist oftmals das Werkzeug, welches die Schaffung neuartiger Designs erst ermöglicht. Wie eng Leichtbauwerkstoffe mit Design verwandt sind, zeigt sich am Werdegang des Design-Ehepaars Eames. ⁷⁷ Ihre zeitlosen Designs arbeiteten mit den jeweils aktuellsten Materialien und Verfahren.

71 Eigene Darstellung, Datenbasis eigene Umfrage

72 (Lufthansa)

73 (Wikipedia A320)

74 (McKinsey, 2012)

75 (Degischer & Lüftl, 2009, S. 140)

76 Eigene Darstellung, Datenbasis eigene Umfrage

77 (Wikipedia Charles Eames)

So arbeitete der amerikanische Designer und Architekt Ray Eames Ende der 30er Jahre bereits an der 3-dimensionalen Verformbarkeit von Schichtholz Furnieren in seiner Firma „Plywood Group“ und gewann mit Eero Saarinen den „Organic Design in Home Furnishings“-Wettbewerb des Museum of Modern Art in New York.⁷⁸ Der Plywood Chair in Abbildung 33 ist ein Design Eames mit verformten Schichtholzfurnieren.



Abbildung 34 Plywood Chair 1945/46 von Eames⁷⁸

In den ersten Nachkriegsjahren brachte eine Optimierung der Sitzschalen Eames mit verschiedenen Werkstoffen in Kontakt. Anfänglich experimentierte er mit Draht. 1948 reichte er den Enturf eines Drahtstuhls, den „wire chair“, beim „International Competition for Low Cost Furniture“ ein (siehe Abbildung 35).⁷⁹



Abbildung 35 Wire Chair 1951 von Eames⁸⁰

Er experimentierte in seiner "Fiberglas Group" mit dem neuartigen Glasfaserverbundwerkstoff und so entstand 1950 die Serienfertigung des „Plastik Armchair“ (Abbildung 37), welchen er mit seiner Frau Ray entworfen hatte. Erst sieben Jahre später entstand das weltweit erste Segelflugzeug aus Glasfaserverbundwerkstoff an der Akaflieg Stuttgart.⁸¹

Ende der fünfziger Jahre entstanden in Eames „Aluminium Group“ mehrere Entwürfe, die den Leichtbauwerkstoff Aluminium als tragende Struktur verwendeten und in den Mittelpunkt der Wahrnehmung stellten (Abbildung 36).



Abbildung 36 Aluminium Chair 1958 von Eames⁸²

78 Foto: © vitra

79 (Wikipedia Charles Eames)

80 Foto: © vitra

81 (Wikipedia Glasfaserverstaerkter Kunststoff)

82 Foto: © vitra

Kapitel 3

Als weiterer Klassiker des Stuhldesigns greift Verner Pantons Entwurf des „Panton Chair“ die Leichtigkeit des Materials bereits im Design auf (Abbildung 38). Von der ersten Idee des freischwingenden Stuhls aus einem Stück bis zur Produktion 1967 vergingen elf Jahre.

Konstruktiv wurden die Anforderungen an einen Stuhl in einem Stück vereint, ein Musterbeispiel der Integralbauweise. Die Materialeigenschaften des Kunststoffs werden in optimaler Weise genutzt. So schmiegt sich die ergonomische Schale an den Besitzer, das federnde Element wird durch die Eigendämpfung des Materials übernommen und die geringe Wärmeleitfähigkeit schützt vor Unterkühlung. Der Leichtbau kommt beim geringen Materialaufwand und beim Stapeln der Stühle zum Tragen. Seit Produktionsbeginn hat sich das Material unter ästhetischen und ökonomischen Aspekten gewandelt, sodass der Stuhl in vier Versionen aus vier unterschiedlichen Kunststoffen produziert wurde, alle vom Schweizer Unternehmen Vitra, das auch einen Produktionsstandort in Weil am Rhein, Baden-Württemberg besitzt. Während die ersten beiden Varianten aus glasfaserverstärktem Polyesterharz und Polyurethan-Hartschaum noch lackiert werden mussten, wurde ab 1971 mit bereits eingefärbtem Polysterol gearbeitet. Seit 1999 wird der Panton Chair aus durchgefärbtem Polypropylen produziert.

Abbildung 37 Plastik chair 1950/53 von Vitra ⁸³



83 Foto: © vitra



Abbildung 38 Panton Chair von Vitra⁸⁴

Andere Designs greifen neuartige Materialien auf, wie beispielsweise die Verwendung von Keramikschaumen, die in Leuchtmitteln eingesetzt werden (Reef serien Raumleuchten GmbH, Abbildung 40).

Diese Designs nutzen gezielt Leichtbaukonstruktionsweisen (IKEA Tisch Lack, Abbildung 39) wie das Sandwichkonzept, um Ressourcen bei Transport und Material zu sparen und zugleich den Nutzen zu steigern und Kosten zu senken.



Abbildung 39 IKEA Tisch Lack in Sandwichbauweise⁸⁵



Abbildung 40 Reef Wandleuchte mit Schirm aus Schaumkeramik⁸⁶

84 Foto: © vitra

85 Foto: © Inter IKEA Systems B.V.

86 Foto: serien.lighting, Design: nextspace

Kapitel 3

Gerade um Leichtigkeit darzustellen, werden vielfach Leichtbaustrukturen verwendet. Was unter ästhetischen und ökonomischen Gesichtspunkten zählt, kann auch einen medizinischen Nutzen haben. Die Designs in Abbildung 42 und 43 sind beide nach Leichtbau-Gesichtspunkten entworfen worden, jedoch mit völlig anderen Anforderungen, Leichtbauprothesen und maßgeschneiderte Leichtbauschienen, ermöglichen maximale Bewegungsfreiheit und Belüftung bei minimalem Gewicht.



Abbildung 41 IKEA Hängeleuchte Varmluft, Schirm aus Papier, Rahmen aus lackiertem Stahl⁸⁷



Abbildung 42 Individuell gefertigte Armschiene aus lasergesintertem Polyamid mit leichter, atmungsaktiver Zellenstruktur⁸⁸

Prothesen und Orthesen unterstützen Menschen im täglichen Leben. Sie sollen ergonomisch, leicht und funktional sein. Um sie darüber hinaus ästhetisch anspruchsvoll, bezahlbar und individuell zu gestalten, werden am Fraunhofer IPA in Stuttgart Prothesen unter anderem mit generativen Fertigungsverfahren hergestellt. Diese Fertigungsverfahren erlauben eine persönliche Individualisierbarkeit in Design, Funktionalität und Größe. Das maßgefertigte Produkt ist ideal auf den jeweiligen Nutzer abgestimmt und erlaubt durch die Gestaltungsfreiheit des Verfahrens den Einsatz von Leichtbaustrukturen.



Abbildung 43 Individuell designte Fußprothese, von den ersten Skizzen zum fertigen Produkt⁸⁹

87 Foto: Inter IKEA Systems B.V.

88 Foto: Fraunhofer IPA, Design: Breuning

89 Skizze, Foto: Fraunhofer IPA, Design: Breuning

Kapitel 4

BADEN-WÜRTTEMBERG – ZUKUNFTSKOMPETENZ LEICHTBAU

ÜBERBLICK REGION

Baden-Württemberg ist das drittbevölkerungsreichste Bundesland mit 10,8 Mio. Menschen und erwirtschaftete 2010 nach Nordrhein-Westfalen und Bayern auch das dritthöchste BIP mit 362 Mrd. €. ⁹⁰ Sowohl Deutschland als auch Baden-Württemberg werden durch den Leichtbau an Zukunftsfähigkeit gewinnen. Das zeigt die Expertenumfrage (siehe Abbildung 44 bis Abbildung 47). Als Trend ist erkennbar, dass sowohl im Bund als auch in Baden-Württemberg der Technologiestandort stärker an Bedeutung gewinnen wird als der Produktionsstandort. Darüber hinaus prognostizieren die Experten für Gesamtdeutschland höhere Wachstumszahlen durch Leichtbau als für Baden-Württemberg.

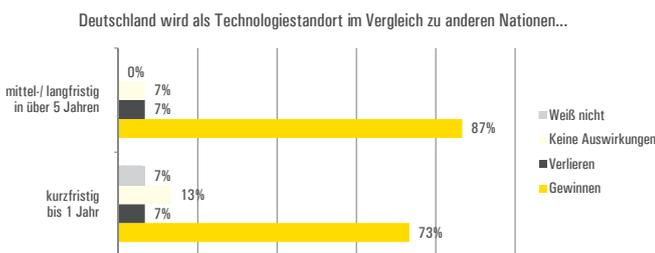


Abbildung 44 Zukunftsaussichten Leichtbau - Technologiestandort Deutschland im internationalen Vergleich⁹¹



Abbildung 45 Zukunftsaussichten Leichtbau - Technologiestandort Baden-Württemberg im nationalen Vergleich⁹²

Deutschland wird als Produktionsstandort im Vergleich zu anderen Nationen...

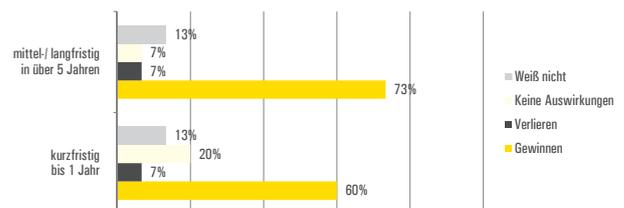


Abbildung 46 Zukunftsaussichten Leichtbau - Produktionsstandort Deutschland im internationalen Vergleich⁹³

Baden-Württemberg als Produktionsstandort im Vergleich zu anderen Bundesländern

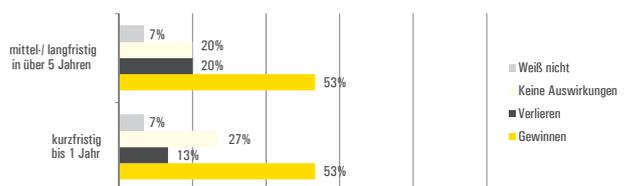


Abbildung 47 Zukunftsaussichten Leichtbau - Produktionsstandort Baden-Württemberg im nationalen Vergleich⁹⁴

Baden-Württemberg hat mit 4,8 % eine sehr geringe Erwerbslosigkeit (2010: 9,6 % EU Durchschnitt), die geringste Jugenderwerbslosigkeit in ganz Europa mit 7,0 % und belegt EU-weit den Spitzenplatz beim Innovationsindex. Europaweit und national handelt es sich um eine der wirtschaftlich leistungsfähigsten Regionen. 2010 lag die Wirtschaftskraft pro Kopf 31 % über dem EU-Durchschnitt, im nationalen Vergleich ebenfalls im ersten Drittel. Der Industrieanteil an der Bruttowertschöpfung lag bei 36,1 % und war in keinem anderen Bundesland höher.⁹⁵ Die Hauptbranchen im Industriesektor sind der Kraftwagenbau und die Herstellung von Kraftwagenteilen mit 26 % sowie der Maschinenbau mit 20,6 % Umsatzanteilen (2010).⁹⁶

Der Leichtbau stellt in der Automobilindustrie nach wie vor ein wichtiges Thema dar. Gerade bei elektrifizierten Antriebskonzepten spielt er durch seine Möglichkeiten der Gewichtsreduzierung eine zentrale Rolle, um dadurch den Energiebedarf von Fahrzeugen und somit die notwendige Batteriekapazität zu reduzieren. In diesem Themenfeld verstärken die drei in Baden-Württemberg ansässigen OEM (Daimler AG, Porsche AG und Audi AG) weiter ihre Aktivitäten.

90 Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2011): Baden-Württemberg - ein Standort im Vergleich

91 Eigene Darstellung, Datenbasis eigene Umfrage

92 Eigene Darstellung, Datenbasis eigene Umfrage

93 Eigene Darstellung, Datenbasis eigene Umfrage

94 Eigene Darstellung, Datenbasis eigene Umfrage

95 Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2011): Baden-Württemberg - ein Standort im Vergleich

96 Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg (2011): Wirtschaftsdaten Baden-Württemberg 2011

Kapitel 4

Am Standort Neckarsulm legt Audi einen Schwerpunkt der technischen Entwicklung unter anderem auf den Bereich des Karosserieleichtbaus. Der Automobilbauer Daimler plant, zukünftig mit dem japanischen Kohlenstofffaserhersteller Toray in Esslingen bei Stuttgart Leichtbauteile für seine Automobilproduktion herzustellen.⁹⁶ Neben den großen OEM beschäftigen sich zahlreiche Unternehmen aus der Zulieferindustrie mit der Thematik des Leichtbaus, wie beispielsweise der Maschinen- und Anlagenbauer Dieffenbacher mit Sitz in Eppingen, welcher ebenfalls auf faserverstärkte Kunststoffe für den Einsatz im Automobil setzt⁹⁷ oder die Firma Dürr in Bietigheim-Bissingen bei der Herstellung von Lackierrobotern.⁹⁸ Dr. Hans Schumacher [Dürr Systems GmbH]:

»Bei unseren Lackierrobotern ist das Thema Leichtbau seit Jahren relevant. Wir setzen heute schon standardmäßig GFK ein bei den Roboterarmen anstatt Aluminium, sowohl aus Gewichtsgründen als auch wegen der Isolationsfunktion beim elektrostatischen Lackieren.«

Der Maschinenbau leistete 2011 als zweite wichtige Säule der baden-württembergischen Industrie 21,2 Umsatzanteile. Mit über 289.000 Beschäftigten (2011) stellte der Maschinenbau von allen Branchen das größte Kontingent an Arbeitsplätzen.⁹⁹ Ein Drittel der 30 größten Maschinenbauunternehmen Deutschlands stammen aus Baden-Württemberg. Dazu zählen unter anderen die Heidelberger Druckmaschinen AG, die Voith AG, die Tognum AG, die Trumpf GmbH + Co. KG sowie die Schuler AG.

Die lange Tradition der Luft- und Raumfahrtbranche in Baden-Württemberg begründet sich in wegweisenden Entwicklungen wie etwa dem Zeppelin und ist verknüpft mit bedeutenden Firmennamen wie Maybach Motorenwerke oder Dornier. Auch aktuell ist die Branche gut aufgestellt und zeichnet sich durch umfangreiche und intensive Zusammenarbeit mit anderen Branchen aus. Aufgrund des überdurchschnittlichen Forschungs- und Entwicklungsaufwandes zählt sie zu den technologisch führenden Branchen, gerade im Bereich des Leichtbaus. Die Ausgaben für Forschung und Entwicklung beliefen sich 2009 auf 4 Mrd. €, was 17,1 % des Gesamtumsatzes entspricht.¹⁰⁰ Dieses sehr starke Engagement verdeutlicht, mit welchem Nachdruck an Innovationen und Neuerungen geforscht und entwickelt wird und wie wichtig eine technologische Spitzenposition ist. Einige Unternehmen im Land, deren Geschäftsfeld ganz oder teilweise in der Luft- und Raumfahrt-

branche liegt, sind: Astrium, Recaro Aircraft Seating, Diehl Aerospace und Aircabin, Schempp-Hirth Flugzeugbau und ZLT Zeppelin Luftschifftechnik. Baden-Württemberg besitzt unter den Bundesländern die zweihöchste Architektendichte nach Hamburg. Die Zahl eingetragener Architekten im Land beträgt über 23.000.¹⁰¹ Die renommierte Fakultät Architektur und Stadtplanung der Universität Stuttgart sichert die Ausbildung junger Architekten. Im Bauhauptgewerbe und der Bautätigkeit wurden 2010 in Baden-Württemberg über 10 Mrd. € mit 86.000 Beschäftigten umgesetzt.¹⁰² Beide Branchen arbeiten eng zusammen. Leichtbau ist hier ein Themenfeld, das neue Gestaltungsmöglichkeiten eröffnet und einen deutlich geringeren Verbrauch von Baumaterial ermöglicht. Der Aspekt des nachhaltigen Bauens kann auch durch Leichtbau umgesetzt werden. Die Bedeutung des Leichtbaus für den Standort Baden-Württemberg schätzt Prof. Werner Sobek folgendermaßen ein:

»Baden-Württemberg wird durch Forschung und Entwicklung im Leichtbau definitiv gewinnen! Das ist ein Zukunftsmarkt. Ich verweise beispielsweise darauf, dass wir zur Zeit sehr große Migrationen erleben. Weltweit ziehen pro Tag bis zu einer Millionen Menschen aus den ländlichen Gegenden in die großen Metropolen. Das bedeutet, dass wir pro Tag bis zu ca. 200-300.000 Habitate bauen müssen, wenn wir einmal von einer Kleinfamilienstruktur ausgehen! Multipliziert man dies mit dem durchschnittlichen Quadratmeterverbrauch pro Bewohner, in den Entwicklungsländern liegt dieser Wert bei vier bis sechs Quadratmetern, bei uns in Stuttgart liegt er bei 42 Quadratmetern, dann sieht man, von welchen Dimensionen wir sprechen. Das bedeutet letztlich, wenn wir von Stuttgarter Verhältnissen ausgehen würden, den Bau von 12 Mio. Quadratmetern Wohnraum pro Tag. Wobei ein Quadratmeter Wohnraum ungefähr 1 bis 1,5 t wiegt. Wir würden also ungefähr 18 Mio. t Material pro Tag verbauen. Natürlich sind die Zahlen bei niedrigeren Quadratmeteransätzen geringer. Aber sie sind immer noch geradezu unvorstellbar groß. Dies sind die Dimensionen, über die wir reden. Entsprechend groß ist das Einsparpotential durch Leichtbautechnologien. Baden Württemberg ist technologisch führend im Bereich der Berechnungsmethoden, also des Struktursystemeleichtbaus. Man hat auf der Ebene der Bauweisen und des Recyclings Methoden entwickelt, die es uns erlauben, 30-40 % Ressourcen zu sparen. Für die gerade genannten Zahlen ergibt sich also eine rechnerische Ersparung von ca. 6 Mio. t pro Tag, einzig und allein durch die Anwendung des in Baden-Württemberg generierten Know-hows.«

96 (Daimler AG)

97 (www.dieffenbacher.de)

98 (www.durr.com)

99 (Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg (2011): Wirtschaftsdaten Baden-Württemberg 2011)

100 (Bundesverband der deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie, 2012)

101 (Architektenkammer Baden-Württemberg (2011): Architekten und Stadtplaner in Baden-Württemberg. Hintergrundinformation)

102 (Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg (2011): Wirtschaftsdaten Baden-Württemberg 2011)

Selbst wenn wir einen sehr viel geringeren Durchschnittswert von Quadratmetern pro Person ansetzen, wie z. B. die sechs Quadratmeter, die momentan in China Standard sind, erreichen Sie immer noch eine Ersparnis von 600.000 t pro Tag! Das Einsparpotential ist enorm groß – und Baden-Württemberg verfügt über das Know-how, das erforderlich ist, um dieses Potential zu aktivieren und um es weiter zu vergrößern. Aus unternehmerischer Sicht und damit natürlich auch aus Standortsicht wäre es extrem kurzsichtig, wenn wir diese Chance nicht wahrnehmen würden. Wir brauchen eine Bündelung von Know-how und eine massive Förderung dieser Technologien im Lande – nur so können wir auch international eine Spitzenposition einnehmen, die es uns erlaubt, Arbeitsplätze zu schaffen und unsere Kompetenz für den Export von Dienstleistungen zu nutzen.»

Denkendorf sowie die Hochschulen Ravensburg-Weingarten, Esslingen und Konstanz zusammengeschlossen, um ihre Kompetenzen im Bereich Verbundwerkstoffe in Baden-Württemberg zu bündeln.¹⁰⁴

Die Allianz Faserbasierte Werkstoffe Baden-Württemberg e.V. (AFBW) stellt als branchenübergreifendes Netzwerk eine Plattform für den Austausch und Wissenstransfer von Unternehmen, Wissenschaftlern und Politik dar. Ein Themen- und Forschungsfeld dieser Allianz beschäftigt sich speziell mit dem Bereich der Mobilität.¹⁰⁵

Das Leichtbauzentrum Baden-Württemberg e.V. (LBZ-BW) bietet eine weitere Vernetzungsplattform für Forschungseinrichtungen und Unternehmen, die sich mit dem Thema des Leichtbaus beschäftigen und unterstützt seine Mitglieder etwa bei der Anbahnung von Kooperationen.¹⁰⁶



Abbildung 48 PLUSMINUS - Pneumatische Gitterschale – selbsttragende Struktur mit luftgefüllten Schläuchen¹⁰³

Neben den einzelnen Industriebranchen bietet Baden-Württemberg eine breit aufgestellte Forschungslandschaft und eine Vielzahl an Netzwerken, welche Kompetenzen bündeln. Mit der durch das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst des Landes Baden-Württemberg angeregten Gründung eines Technologieclusters Composite (TC²) haben sich diverse Forschungseinrichtungen wie das KIT (Karlsruher Institut für Technologie) und die Universität Stuttgart, das DLR, die Fraunhofer-Gesellschaft, das Institut für Textil- und Verfahrenstechnik

103 Foto: ILEK Universität Stuttgart; Entwicklung: ILEK Universität Stuttgart

104 (e-mobil BW - Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie; Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg; Fraunhofer-Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation (IAO) (Hg.) (2011): Strukturstudie BW e-mobil 2011)

105 (e-mobil BW - Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie; Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg; Fraunhofer-Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation (IAO) (Hg.) (2011): Strukturstudie BW e-mobil 2011)

106 (e-mobil BW - Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie; Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg; Fraunhofer-Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation (IAO) (Hg.) (2011): Strukturstudie BW e-mobil 2011)

Kapitel 4

AUS- UND WEITERBILDUNG

Die Zukunft liegt in den Händen der Kinder, der Jugend. Baden-Württemberg hatte im Jahr 2010/11 über 1.200.000 Schüler an öffentlichen und privaten allgemeinbildenden Schulen, über 430.000 Schüler an beruflichen Schulen und etwas mehr als 287.000 Studierende. Über 470.000 Besucher bildeten sich 2010 an den 174 Volkshochschulen des Landes weiter. Im Bereich der schulischen Ausbildung lernen über 15.000 MINT-interessierte Schüler auf landesweit 69 technischen Gymnasien, auch um sich auf ein technisches Studium oder einen technischen Beruf vorzubereiten.¹⁰⁷ Mit der verstärkten Relevanz und Ausweitung des Themas Leichtbau auf immer mehr Branchen und deren Produkte ergibt sich die Notwendigkeit einer Anpassung von Qualifikationen der betroffenen Mitarbeiter. Dies dient der Arbeitsplatzsicherung. Mit erfolgreichen und zielgerichteten Aus- und Weiterbildungen von Menschen im Bereich Leichtbau wird es gelingen, den Wirtschafts- und Hightech-Standort Baden-Württemberg weiter zu stärken. Da diese Konzepte und Angebote aber aktuell in der Schul- und Hochschullandschaft wie auch in der Industrie noch nicht überall in ausreichendem Maße vorhanden sind, ist es erforderlich, den Aufbau und Ausbau der Angebote zur Aus- und Weiterbildung verstärkt voranzutreiben. Heribert Wille [Leiter System Manufacturing, Heidelberger Druckmaschinen AG]:

»Aus- und Weiterbildung ist noch ein Thema, das stark vernachlässigt wird. Leichtbau ist eine ganz andere Technologie. Ein Mitarbeiter, der früher Stahlblech oder Komponentenstrukturen bearbeitet hat, soll jetzt Strukturen aus hybriden Materialien bearbeiten, das erfordert großen Aus- und Weiterbildungsaufwand, ob das nun Handwerker oder Ingenieure betrifft.«

Um diesen Bedarf kurzfristig zu befriedigen, planen oder praktizieren viele Unternehmen betriebsinterne Weiterbildungsmaßnahmen. Christian Gauggel [Projektingenieur Forschung und Entwicklung, Gühring oHG]:

»Bei uns im Unternehmen setzen wir auf ein zentrales Wissensmanagement. Hierbei gibt es einen internen Erfahrungsaustausch, Meetings, in denen Vorträge zu Einzelthemen gehalten werden, und eine stetig wachsende Wissensdatenbank, deren Inhalte für interne Qualifizierungsmaßnahmen und Schulungen unserer Mitarbeiter genutzt werden. Dies wird ergänzt durch regelmäßig stattfindende externe Schulungen.«

107 (Statistische Berichte Baden-Württemberg Artikel-Nr. 3231_10001)

108 (e-mobil BW (2012): Bildungsbedarfanalyse)

109 (e-mobil BW (2012): Bildungsbedarfanalyse)

110 (e-mobil BW (2012): Bildungsbedarfanalyse)

Den Bedarf an Weiterqualifikation verdeutlichen auch die Aussagen der in der Expertenbefragung befragten Unternehmen bzgl. der Planung der Weiterqualifizierung ihrer Mitarbeiter. 85 % der befragten Unternehmen gaben an, eine Weiterbildung der Mitarbeiter im Leichtbau in Planung zu haben.¹⁰⁸



Abbildung 49 Planung Weiterbildung im Leichtbau¹⁰⁹

Es ist für die Unternehmen zwingend notwendig, die aktuellen Wissenslücken kurzfristig zu schließen und den Mitarbeitern die notwendigen Kenntnisse zu vermitteln. Dieser Wissensbedarf der Facharbeiter ist im Themengebiet der Fügetechnik derzeit am stärksten ausgeprägt.

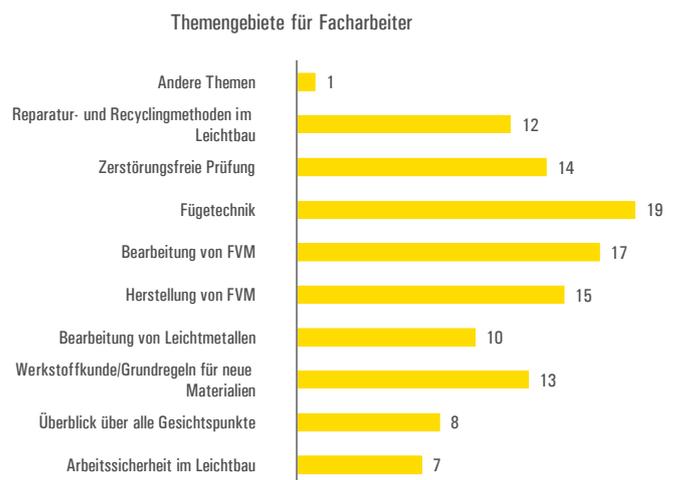


Abbildung 50 Themengebiete für Facharbeiter¹¹⁰

Beispielhaft führt Oliver Hoffmann [Programm Manager InCar, Thyssen Krupp Steel Europe AG] für die Stahlindustrie an, dass Kenntnisse über Umform-, Füge- und Simulationstechnik moderner Stähle erforderlich sind, um das Potenzial des Werkstoffs auszuschöpfen. Hierbei ist eine enge Kooperation zwischen Stahlherstellern, den Verarbeitern sowie Hochschulen erforderlich. Laut Umfrage besteht aus Sicht der Industrieunternehmen der größte Weiterbildungsbedarf im Bereich der klassischen Ingenieurwissenschaften Forschung und Entwicklung sowie Konstruktion und Auslegung.

Daneben weist der Bereich der Produktion den zweitgrößten Bildungsbedarf auf. Jedoch ergeben sich auch für die anderen Unternehmensbereiche Bildungsbedarfe.

Weiterbildungsbedarf nach Mitarbeitergruppen

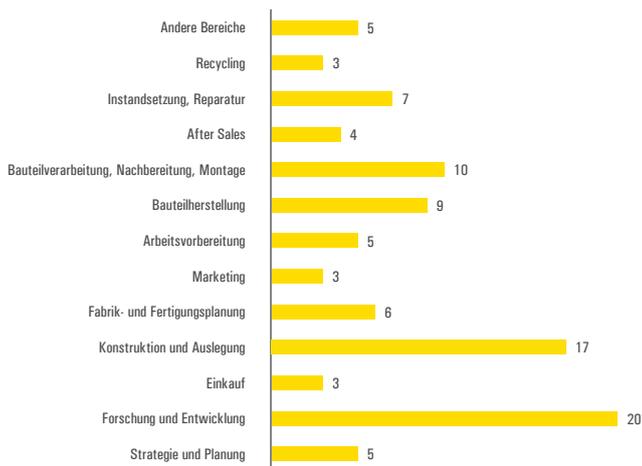


Abbildung 51 Weiterbildungsbedarf nach Mitarbeitergruppen¹¹¹

Für die aktuell am stärksten betroffene Mitarbeitergruppe der Ingenieure ergibt sich nach Angaben der Befragten im Themenfeld Leichtbauwerkstoffe der größte Qualifizierungsbedarf, um den neue Kompetenzanforderungen gerecht werden zu können. Daneben ergibt sich im Themenfeld hybride Verbindungstechnik der zweitgrößte Qualifizierungsbedarf.

Themengebiete für Ingenieure

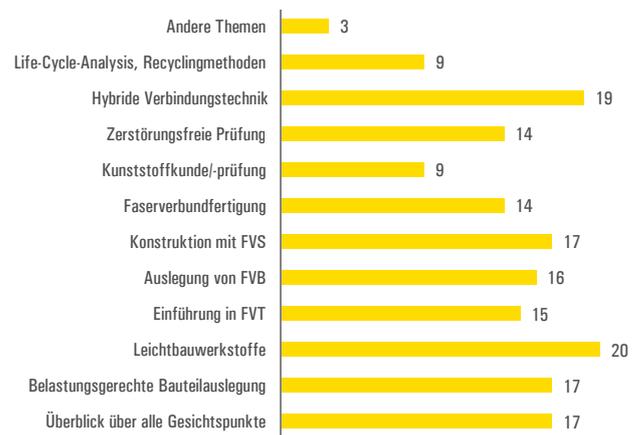


Abbildung 52 Themengebiete für Ingenieure¹¹²

Im Rahmen der Befragung wurde festgestellt, dass für den Leichtbau ein großer Bedarf an akademischer und beruflicher Bildung besteht. In Konsequenz sollte ein Konzept zur Qualifizierung im Rahmen von Aus- und Weiterbildungsangeboten im Themenfeld Leichtbau installiert und konsequent ausgebaut werden. Ziel sollte hierbei sein, die Bildungsinhalte technologieübergreifend zu vermitteln, um somit ein Verständnis des Gesamtsystems zu entwickeln.

Relevantestes Leichtbauprinzip

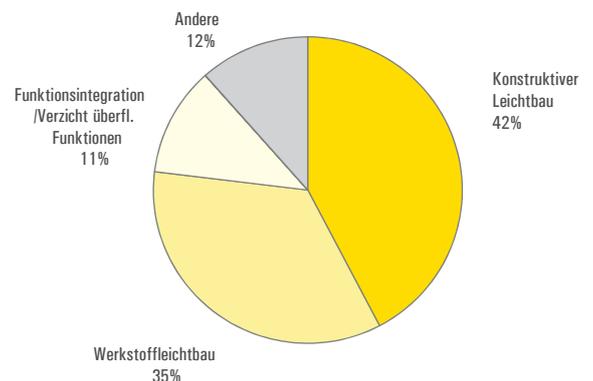


Abbildung 53 Relevante Leichtbauprinzipien¹¹³

111 (e-mobil BW (2012): Bildungsbedarfanalyse)

112 (e-mobil BW (2012): Bildungsbedarfanalyse)

113 (e-mobil BW (2012): Bildungsbedarfanalyse)

Kapitel 4

Neben der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses muss auch für die praxisorientierte Ausbildung von Facharbeitern untersucht werden, inwiefern die neuen Kompetenzanforderungen durch bisherige Ausbildungs- und Lehrinhalte abgedeckt werden. Hier ist voraussichtlich eine Erweiterung bisheriger Lehrinhalte oder der Aufbau neuer Ausbildungsberufe notwendig. Eine mögliche Orientierung kann hier das Projekt „Qualifizierungsplattform für die Aus- und Weiterbildung in der Elektromobilität“ (QEMO) bieten.

DIE HOCHSCHULLANDSCHAFT

Baden-Württemberg verfügt gerade im Hochschulbereich über eine sehr gute Infrastruktur. So ist laut dem Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst¹¹⁴ Baden-Württemberg das erfolgreichste Land in der von Bund und Ländern durchgeführten Exzellenzinitiative. Mit so namhaften Universitäten wie Freiburg, Heidelberg, Konstanz sowie dem KIT (vormals Universität Karlsruhe) befinden sich vier der bundesweit insgesamt neun Eliteuniversitäten in Baden-Württemberg. Die technischen Fakultäten des Landes befinden sich an den Universitäten Freiburg, Karlsruhe, Stuttgart und Ulm. Die mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Tübingen beschäftigt sich ebenfalls mit Leichtbau.

Landesweit beschäftigen sich 52 Universitäts-/Forschungsinstitute und Hochschulen mit Leichtbau. Die größten Standorte sind Stuttgart mit 23 Instituten und Hochschulen, Karlsruhe mit 12 und Esslingen/Denkendorf mit 3 Instituten und Hochschulen.¹¹⁵ Die Stärkung und der Ausbau dieser Infrastruktur geschieht unter den formulierten Leitlinien des Landes Baden-Württemberg.

Am Standort Karlsruhe wurden die Forschungskompetenzen der Universität Karlsruhe und des Forschungszentrums Karlsruhe zum Karlsruher Institut für Technologie (KIT) zusammengeschlossen.

„Die Forschungspolitik des Landes orientiert sich an folgenden Leitlinien:

Baden-Württembergs Position als Forschungsstandort ersten Ranges im internationalen Vergleich muss gesichert und ausgebaut werden.

Forschungsförderung bedeutet wegen ihrer langfristigen Bindung immer auch ein gewisses Risiko und verlangt einen erheblichen Vertrauensvorschuss.

Ohne eine ausreichend geförderte Grundlagenforschung gibt es keine Innovation. Sie ist Voraussetzung eines erfolgreichen Technologietransfers.

Leistungsanreize für Spitzenforschung sind ebenso unverzichtbar wie eine kontinuierliche Erfolgskontrolle.

Konkurrenzfähige Forschung muss interdisziplinär und international angelegt sein. Sie bezieht die verschiedenen Hochschularten mit ein.

Die Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft muss partnerschaftlich weiter entwickelt werden.

Dem wissenschaftlichen Nachwuchs müssen zusätzliche Chancen durch die Erweiterung seiner Möglichkeiten zur selbständigen Forschung eröffnet werden.“¹¹⁶

Der Standort Stuttgart beherbergt neben den technischen Instituten der Universität Stuttgart die Institute für „Bauweisen und Konstruktionsforschung“ und „Fahrzeugkonzepte“ des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) sowie die Institute für „Arbeitswirtschaft und Organisation“ und „Produktionstechnik und Automatisierung“ der Fraunhofer-Gesellschaft, die sich mit Leichtbau beschäftigen.

114 (Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg, 2012; Exzellenzinitiative)

115 (e-mobil BW (2012): Leichtbau in Baden-Württemberg. Forschungskompetenz)

116 (Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg, 2012; Exzellenzinitiative)



Abbildung 54 SOFIA mit geöffneter Teleskoptür in einer Flughöhe von etwa fünf km über der Mojave-Wüste (Kalifornien)¹¹⁷

Getreu der Leitlinien wird an den Hochschulen des Landes ebenfalls auf dem Gebiet des Leichtbaus geforscht. Je nach Ausrichtung der einzelnen Hochschulen und Institute, wird das Themengebiet zum Beispiel aus dem Blickwinkel Automobil, Luft- und Raumfahrt oder Bauwesen untersucht. Um die großen Chancen und Möglichkeiten dieses Gebiets im Hochschulbereich voll auszuschöpfen, sind eine engere Zusammenarbeit und weitere Kooperationen erforderlich.

Leichtbau ist auch eines der Themen der Hightech-Strategie der Bundesregierung und wird im Rahmenprogramm „Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft (WING)“ durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Diese Förderung umfasst sowohl die Grundlagenforschung der Hochschulen und Forschungsgesellschaften wie auch die praktische Applikation.

CHANCEN, RISIKEN UND KONSEQUENZEN

Ziel der Industrie Baden-Württembergs ist es, ihre Spitzenpositionen in Produktion und Fertigung zu verteidigen und weiter auszubauen. Der Leichtbau wird als wichtiges Werkzeug dieser Zukunftssicherung gesehen. Die Industrie prognostiziert dem Thema großes Wachstumspotential und sieht darin eine Chance ihren Entwicklungsvorsprung zukünftig zu sichern. Dr. Gerhard Hammann, [Leiter Grundlagenentwicklung, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG]:

„Wir haben derzeit eine weltweit führende Rolle in der Fertigungs- und Produktionstechnik! Wenn wir nichts unternehmen, dann werden wir diese sukzessive verlieren. Das heißt, wir brauchen neue Alleinstellungsmerkmale, neue Technologien, die man nicht ganz so einfach kopieren und beherrschen kann, und da ist Leichtbau sicher ein sehr interessantes Feld. Wenn wir unsere Maschineneigenschaften durch Leichtbaumerkmale verbessern können, haben wir auch einen gewissen Kopierschutz für eine bestimmte Zeit.“

Als entscheidender Faktor der Standortsicherung wird laut Umfragen der Fachkräftemangel betrachtet. Um diesem Fachkräftemangel, den die Industrie beklagt, entgegenzuwirken, findet ein engerer Austausch zwischen Industrie und Hochschulen statt, den es allerdings weiter zu intensivieren gilt. Daneben ist die Einbindung von Berufsschulen in den Dialog anzuraten, um neben dem wissenschaftlichen Nachwuchs auch die gewerblichen Auszubildenden zu erreichen und somit Vorteile für Unternehmen und junge Nachwuchskräfte in allen Bereichen zu generieren.

Fachkräfte für das Thema Leichtbau sind ausreichend vorhanden ...

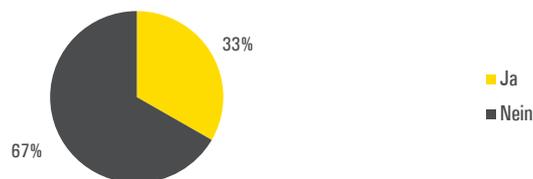


Abbildung 55 Nachfrage nach Fachkräften¹¹⁸

117 © NASA/DLR

118 Eigene Darstellung, Datenbasis eigene Umfrage

Kapitel 4

Christian Gauggel, [Projektingenieur Forschung und Entwicklung, Gühring oHG]:

»Meiner Meinung nach wird der Standort Baden-Württemberg sehr stark profitieren. Natürlich durch die Umsetzung neuer Fertigungstechnologien und Fertigungsarten, insbesondere in der endkonturnahen Fertigung von Bauteilen aus faserverstärkten Materialien und deren spannenden Nachbearbeitung werden viele Arbeitsplätze entstehen.«

Der hervorragende Ruf, welchen die Industrie Baden-Württembergs national und international genießt, beruht auf der Qualität, Zuverlässigkeit und der technologischen Spitzenposition der produzierten Waren, egal ob es sich um Automobile oder Anlagen und Maschinen handelt. Die kontinuierliche Innovationskraft der ansässigen Unternehmen wird auch zukünftig die Grundlage bilden, diese Spitzenpositionen zu halten. Claus Haverkamp [Leiter Technologie-/Eigenschaftsentwicklung Aufbau, Audi Leichtbauzentrum Neckarsulm, AUDI AG]:

»Ich denke mal, wenn es Audi und Daimler gut geht und das unter anderem auch über Leichtbau geschieht, wird auch Baden-Württemberg davon profitieren.«

Risiken für den Automobilbau liegen in der Wahl der richtigen Leichtbaustrategie. Hier gilt es, eine ausgewogene Mischung zu finden, die allen Aspekten des Automobilbaus ganzheitlich Rechnung trägt. Claus Haverkamp [Leiter Technologie-/Eigenschaftsentwicklung Aufbau, Audi Leichtbauzentrum Neckarsulm, AUDI AG]:

»Leichtbau heißt bei uns nicht, das leichteste aller denkbaren Teile herzustellen, sondern das Leichteste, was auch wirtschaftlich und ökologisch dargestellt werden kann. Auch der CO₂-Footprint spielt hier eine wichtige Rolle. Ich persönlich glaube auch, da wir ziemlich stark auf das ganze Thema Elektromobilität setzen, dass wir daher auch sehr stark auf Leichtbau setzen müssen. Wird hier jedoch einseitig auf CFK, anstatt auf die Nutzung aller Leichtbaumaterialien gesetzt, so kann schnell der Eindruck entstehen, dass das ein wenig überzogen ist. Da könnten eventuell ausgewogenere Programme helfen.«

Aktuell setzen viele OEM auf Faserverbundbauteile in Form von Kooperationen oder Beteiligungen an Faserherstellern. Sollten sich Faserverbundbauteile im Automobil in der Praxis nicht bewähren oder zu kostenintensiv werden, so wird dies zu einem deutlich geringeren Leichtbauengagement führen und auch auf weitere Branchen ausstrahlen. Als weiteres Risiko kann gesehen werden, dass BMW als Konkurrent bereits 2013 mit einem Fahrzeug auf den Markt kommen wird, das zu großen Teilen aus CFK-Strukturen besteht. Hier muss der technologische Vorsprung der Konkurrenz in der CFK-Fertigung aufgeholt werden. Die Chancen, welche sich durch Leichtbau ergeben, sind vielfältig. Leichtbau wird immer stärker mit Technologievorsprung gleichgesetzt und in gewissen Bereichen, wie im Sportwagenbau, auch vom Kunden gefordert. Audi nutzt dies seit Jahren als erfolgreiches Marketinginstrument. Gesetzliche Abgasnormen verlangen eine weitere Senkung des CO₂-Ausstoßes, ein wichtiger Stellhebel hierzu ist Leichtbau. Durch die Gewichtszunahme der alternativen Antriebe verschärft sich die Relevanz, leicht zu bauen, noch weiter.

Zwei grundsätzliche Chancen bieten sich der Maschinenbaubranche. Erstens lassen sich durch Leichtbaukomponenten Dynamiksteigerungen erzielen. Damit kann die Produktivität der Maschinen erhöht und der Energieverbrauch gesenkt werden. Die zweite Chance bietet sich durch neue Märkte, welche sich aus dem Leichtbau ableiten. Hier ergeben sich neue Geschäftsfelder für den Maschinenbau. Heribert Wille [Leiter System Manufacturing, Heidelberger Druckmaschinen AG]:

»Ich glaube, dass die Entwicklung im Leichtbau in unserem Unternehmen zweigeteilt ablaufen wird. Einerseits wird der Anteil der Leichtbaulösungen, welche wir in unseren Maschinen verwenden, überproportional steigen, besonders bei kritischen Bauteilen, welche im Betrieb stark beschleunigt werden. Als Zweites sind wir in das neue Geschäftsfeld Automatisierungstechnik und Qualitätssicherungstechnik im Bereich Leichtbau eingestiegen. Hier eröffnet sich ein neuer Markt, in welchem wir uns engagieren werden.«

Aufgrund der Vielschichtigkeit des Themas sollte die Zusammenarbeit in der Industrie sowie mit der Forschung weiter ausgebaut werden. Beim Aufbau einer Leichtbauproduktion stehen viele Unternehmen vor ähnlichen Fragestellungen. Hier kann eine enge Zusammenarbeit schnellere Lösungen hervorbringen und den personellen Aufwand verringern.

Die Weiterentwicklungen im Leichtbau bringen eine erhöhte Komplexität mit sich. Das erfordert zum einen die weitergehende Spezialisierung der Industrie, zum anderen ein solides Fundament bekannter Grundlagen. Dr. Markus Milwich [Leiter Faserverbundwerkstoffe, ITV Denkendorf] sagt dazu:

»In Baden-Württemberg sehe ich ein gewisses Risiko, dass wir uns zu wenig vernetzen, dass man in Karlsruhe nicht weiß, was in Stuttgart oder am Bodensee gemacht wird. Hier liegen noch große Chancen in der Kommunikation und der Verteilung der Kompetenzen. Wenn jeder seinen Teil beiträgt, sein Rädchen in Gang bringt, können wir uns sehr gut ergänzen und eine Komplexität erreichen, die uns allen einen Entwicklungsvorsprung verschafft.«

Die Umfrage zeigt, dass die meisten befragten Unternehmen auf eigene Forschung und Entwicklung setzen. Viele haben die Chancen einer Zusammenarbeit erkannt und arbeiten mit Kunden und in Forschungs-kooperationen zusammen. Diese Kooperationen sollten weiter ausgebaut werden. Die internationale und nationale Spitzenposition des Leichtbaus im Bauwesen ließe sich durch eine breite, branchenübergreifende Nutzung der Kompetenzen weiter ausbauen:

»Eine Schwachstelle besteht sicherlich darin, dass wir keine branchenübergreifende Vernetzung haben. Jeder Sektor – der Automobilbau, das Bauwesen, der Flugzeugbau – betreibt seine eigenen Entwicklungen.«

Wir haben in Stuttgart immerhin die größte Fakultät für Flugzeugbau in Deutschland – eine nennenswerte Kooperation mit den Architekten oder Bauingenieuren gibt es bisher aber leider noch nicht. Ob ich eine Autokarosserie, ein Flugzeug oder ein Gebäude in Leichtbauweise entwickle, macht im Grunde wenig Unterschied. Es gibt aber zu wenig Kommunikation untereinander, Gemeinsamkeiten werden nicht systematisch ausgelotet. Hier muss sich strukturpolitisch etwas tun in der Forschungslandschaft!«

So Prof. Werner Sobek [Leiter des Instituts für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren ILEK der Universität Stuttgart; Mies van der Rohe Professor am Illinois Institute of Technology in Chicago, Illinois; Gründer der Firmengruppe Werner Sobek] auf die Frage nach Optimierungspotenzial für den Leichtbau in Baden-Württemberg.

Im Bereich der Faserkunststoffverbunde, speziell im Bereich CFK wurden und werden bundesweit große Initiativen gestartet, Wissen aufzubauen und am jeweiligen Standort Knowhow zu bündeln und zu binden. Gerade in diesem Bereich werden große Zuwachsraten prognostiziert und viele Unternehmen engagieren sich stark darin. Um weiterhin konkurrenzfähig zu bleiben, müssen die Bemühungen weiter gesteigert werden, besonders um weiterhin im Spitzenfeld mit Bayern und Niedersachsen vertreten zu sein.

Mittel des Technologieaufbaus

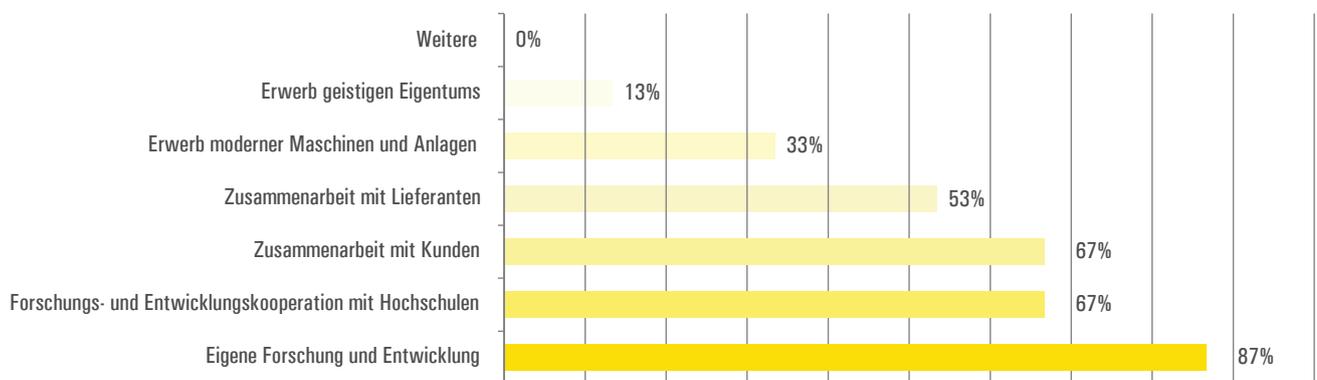


Abbildung 56 Mittel des Technologieaufbaus von Unternehmen¹¹⁹

119 Eigene Darstellung, Datenbasis eigene Umfrage

Kapitel 5

FAZIT

Experten betrachten das Thema Leichtbau als eine der Schlüsseltechnologien, um den Wettbewerbsvorsprung in den Industriebranchen Automobil, Maschinenbau, Architektur und Luft- und Raumfahrt zu halten und auszubauen.

Leichtbau ist ein branchen- und technologieübergreifendes Themengebiet. Nicht nur deshalb ist die Bündelung und Vernetzung der Kompetenzen ein Kernpunkt, damit sich der Leichtbau und somit auch die Wettbewerbsfähigkeit aller Beteiligten im Themengebiet effizient und schnell weiterentwickeln. Dies birgt für alle Beteiligten deutlich mehr Chancen als Risiken, was sich unter anderem an der Entwicklung und Zusammensetzung von mehreren Netzwerken abzeichnet. Die Netzwerke dienen dabei als Plattformen für den Wissenstransfer und Dialog von Unternehmen, Wissenschaft, Ausbildung und Politik. So hat beispielsweise das Leichtbauzentrum Baden-Württemberg e.V. (LBZ-BW) zum Ziel, branchenübergreifend alle Unternehmen und Einrichtungen, die sich im Themengebiet des Leichtbaus betätigen, zu vernetzen und Kooperationen unter den Mitgliedern anzubahnen. Weitere Netzwerke sind dagegen eher branchenspezifischer oder themenspezifischer ausgerichtet. Aus dem themenspezifischen Fokus der Elektromobilität ergeben sich ebenfalls Fragestellungen mit Bezug zum Leichtbau. Als Plattform hierfür versteht sich die e-mobil BW GmbH. Kompetenzen unter dem Gesichtspunkt faserbasierter Werkstoffe werden von der Allianz Faserbasierte Werkstoffe Baden-Württemberg e.V. (AFBW) gebündelt. Im Themenbereich der Hochleistungs-Faserverbundwerkstoffe im Raum Deutschland, Österreich, Schweiz bildet der Carbon Composites e.V. (CCeV) eine Plattform.

Die Mitarbeit vieler Unternehmen in den verschiedenen Aktivitäten und Netzwerken zeigt, dass auch die Unternehmen die Chancen, welche sich aus der Zusammenarbeit ergeben, bereits erkannt haben. Um den größtmöglichen Nutzen zu generieren, müssen die Forschung sowie die Arbeit der Verbände und Interessensgruppen koordiniert und aufeinander abgestimmt werden. Durch gezielte Zusammenarbeit der Fähigkeiten aller entsteht ein Nutzen für jeden. In einer unkoordinierten Entwicklung besteht die Gefahr, dass Entwicklungsaufwand doppelt betrieben wird, und unnötigerweise Konkurrenzsituationen entstehen. Durch gezielte Forschung, Entwicklung und Zusammenarbeit wird das gesamte Themengebiet gestärkt und somit auch die internationale Wettbewerbsfähigkeit aller Beteiligten. Die Gesamtkoordination sollte von einer unabhängigen Institution mit der erforderlichen fachlichen Kompetenz übernommen werden.

Dr. Gerhard Hamann [Leiter Grundlagenentwicklung TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG] sieht ein Risiko im Leichtbau darin:

»Dass jeder selbst versucht, dieses fehlende Knowhow aufzubauen und damit letztlich Synergien aus gemeinschaftlichem Vorgehen nicht sattfinden. Das zweite Risiko sehe ich auch darin, dass die unterschiedlichen regionalen Aktivitäten, die ja in Konkurrenz statt in Kooperation zueinander geführt werden, nicht aufeinander abgestimmt werden. Hier sollte man das Engagement nicht als Konkurrenz, sondern als Ergänzung und als Verstärkung sehen.«

Für die Hochschulen besteht der Nachholbedarf darin, über klassische Ingenieurdisziplinen hinaus, die spezielle Denkweise des Leichtbaus zu vermitteln. Dies könnte etwa über eine Ausweitung der klassischen Studienfächer auf Themen des Leichtbaus wie auch über vermehrte praktische, handwerkliche Leichtbauprojekte während des Studiums erfolgen. An Berufsschulen könnte durch eine Anpassung der Lehrpläne das vorhandene Wissen zum Themengebiet des Leichtbaus vermittelt und so eine breitere Facharbeiterbasis geschaffen werden. Die Förderung dieser Ausweitung sollte Teil der Initiative des Landes Baden-Württemberg sein, um den Nachholbedarf schnell, gezielt und entsprechend der Notwendigkeiten voranzutreiben.

Christoph Pelchen [Leiter Vorentwicklung Fahrwerk und Gesamtfahrzeug, ZF Friedrichshafen AG]:

»Als Hersteller technisch führender Produkte und vor dem Hintergrund des demografischen Wandels stehen wir täglich Herausforderungen gegenüber, die nur durch den Einsatz und die Innovationskraft unserer Mitarbeiter bewältigt werden können. Für ZF ist die Etablierung einer starken Arbeitgebermarke daher ein strategischer Erfolgsfaktor, denn nur so kann man die Besten an Bord holen, um die Technologieführerschaft langfristig zu sichern. Dennoch ist es momentan schwierig, unsere Personalanforderungen am Markt zu decken. Die Bewerberschar ist durchaus überschaubar.«

Claus Haverkamp [Leiter Technologie-/Eigenschaftsentwicklung Aufbau, Audi Leichtbauzentrum Neckarsulm, AUDI AG]:

»Die Personalressourcen werden knapp. Das heißt, wir brauchen über kurz oder lang gute qualifizierte Nachwuchskräfte zum Thema Leichtbau, das heißt Hochschulabsolventen, aber auch Personal mit Berufserfahrung, die uns hier unterstützen können. Dazu haben wir bereits entsprechende Initiativen gestartet«

Die überwiegende Meinung der interviewten Experten ist, dass Baden-Württemberg in der Schlüsseltechnologie Leichtbau international gut aufgestellt ist. Es gibt zahlreiche Firmen im Themenfeld des Leichtbaus. Von den befragten Experten sehen die meisten steigende Umsätze und Zuwachs bei der Belegschaft für ihre Unternehmen/Branchen durch den Leichtbau.

Ein Nachteil der angesprochenen Composite-Materialien, vor allem von CFK, ist deren energieintensive Herstellung. Daraus ergibt sich eine starke Abhängigkeit vom weltweiten Energiemarkt. Die befragten Experten sehen diesen Nachteil jedoch keinesfalls als unkalkulierbar an. Es eröffnen sich gegebenenfalls Möglichkeiten, diesen Nachteil durch die Entwicklung neuer Anwendungen und die Einbindung regenerativer Energieerzeugung in einen Vorteil umzuwandeln.

Eine Einschätzung aus der Automobilbranche gibt Claus Haverkamp. Er sieht Deutschland international als führend an, bemerkt jedoch:

»Wenn das Thema eine noch deutlichere Aufmerksamkeit erfahren wird, dann werden auch relativ schnell Japan und China Leichtbauthemen angreifen. USA sehe ich jetzt zunächst einmal nicht so stark. Aus England kommen auch viele Leichtbaulösungen, dort existiert jedoch keine ausgeprägte Automobilindustrie mehr. Lotus hat einiges im Niedrigvolumensegment auf die Beine gestellt, hieraus kann man auch schon einiges an Kompetenz für Leichtbaulösungen ableiten.«

Im nationalen Vergleich steht neben Baden-Württemberg, „Bayern natürlich, mit seinen Initiativen CCEV und M.A.I. Carbon, mit BMW als OEM, und Niedersachsen mit Volkswagen und dem Stade-Valley. Die sind zwar Luftfahrt - orientiert, aber das ist auch eine Keimzelle des Leichtbaus,“ so Christian Gauggel [Projektingenieur Forschung und Entwicklung, Gühring oHG] und ergänzt:

»Meiner Meinung nach sind die Produkte aus Deutschland und insbesondere aus Baden-Württemberg durch ein hohes Maß an Präzision, Qualität und Innovation gekennzeichnet. Wir in Baden-Württemberg sind Vorreiter in Sachen Spitzen-Technologie. Es ist aus meiner Sicht eine riesengroße Chance, die industrielle Umsetzung von Leichtbaukonzepten im Automobil-, Maschinen- und Anlagenbau bei uns im Land durchzuführen.«

Dr. Markus Milwich [Leiter Faserverbundwerkstoffe, ITV Denkendorf]:

»Um die Zukunftsfähigkeit für Baden-Württemberg und Deutschland allgemein zu sichern, müssen wir komplexe Themenstellungen lösen. Nur dadurch können wir unsere technologische Spitzenposition halten und nur dann können wir nicht so schnell kopiert werden. Das versuchen wir unter anderem mit dem Forschungscampus zu erreichen!«

National werden die Bundesländer Bayern, Baden Württemberg, Niedersachsen und zum Teil Sachsen als Kompetenzzentren auf dem Gebiet Leichtbau bezeichnet. Die Aussagen variieren jedoch, je nach Branche. Gerade die Länder Bayern und Niedersachsen sind mit massiven Anstrengungen aktiv dabei, ihre nationale Spitzenreiterrolle im Themengebiet weiter zu halten und auszubauen. Hier gilt es für Baden-Württemberg, seine Anstrengungen zu intensivieren und gerade auch die Zusammenarbeit aller Beteiligten aktiv zu forcieren, um langfristig im Spitzenfeld zu bestehen. Neben den Landesregierungen hat auch die Bundesregierung die Potenziale des Leichtbaus erkannt und fördert diese zum Beispiel im Rahmen eines Spitzenclusterwettbewerbs in der Region Augsburg, München und Ingolstadt mit bis zu 40 Mio. €.

Kapitel 5

Insgesamt stehen dem Spitzencluster, aufgrund der Beteiligung in gleicher Höhe durch das Konsortium, 80 Mio € für leichtbaurelevante Themen zur Verfügung. Dr. Markus Milwich [Leiter Faserverbundwerkstoffe, ITV Denkendorf]:

»Also, wir müssen aufholen gegenüber Stade und Augsburg, das wissen wir Faserverbundler. Die Bayern konnten den Spitzencluster Leichtbau gewinnen, das wird einen ungeheuren Sog erzeugen. Man spricht von 4.000 hochqualifizierten Arbeitsplätzen, die in Augsburg entstehen sollen, alles Ingenieure. Das heißt, wir müssen aufpassen, dass man unsere Region nicht abhängt! Wir können viel entwickeln und bewegen, wenn die Spezialisten eben nicht nach Augsburg oder München abwandern.«

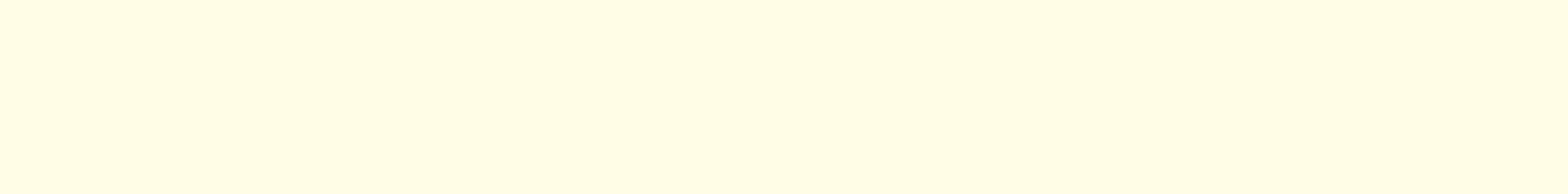
Neue Herausforderungen stellen auch die noch geringen Erfahrungen über gesundheitliche Risiken in der Verarbeitung von Leichtbauwerkstoffen, Faserverbundmaterial im Speziellen, dar. Die Beurteilung dieser möglichen Gesundheitsbelastungen sowie die Erarbeitung geeigneter Schutz- und Gegenmaßnahmen sind wichtige, zukünftige Betätigungsfelder. Gerade im Arbeitsschutz besteht zunächst der Bedarf, weitergehende Erkenntnisse zu gewinnen, aus denen sich weitere Handlungsbedarfe des Gesundheitsschutzes ableiten lassen. Ein weiter an Bedeutung zunehmendes Themenfeld ist das Recycling der Verbundwerkstoffe und Mischmaterialien. Hier sind aktuell erste Lösungsansätze in der Umsetzung und im Entstehen. Hier empfiehlt sich ein weiterer Ausbau der Forschungsaktivitäten, um auch den ökologischen Aspekten des Leichtbaus gerecht zu werden, gerade im Faserverbundleichtbau. Zudem bietet dieses relativ junge Feld große ökonomische Chancen für innovative Ideen.

Christian Gauggel, [Projektingenieur Forschung und Entwicklung, Gühring oHG]:

»Ein Risiko sehe ich im hohen Energiebedarf der bereits bei der Herstellung der Rohmaterialien entsteht. Als weitere Herausforderung sehe ich die Umweltbelastung durch die Bearbeitung von faserverstärkten Kunststoffen. In meinen Augen gibt es aber kein Risiko, dass die Unternehmen im Land Baden-Württemberg nicht durch Einsatz neuer Technologien lösen könnten. Wir sind als Technologievorreiter sicherlich in der Lage, die Risiken abzuschätzen und dann gezielt daran zu arbeiten und diese Risiken auszuräumen.«

Die gute Infrastruktur, die Fülle ortsansässiger, innovativer Unternehmen, die ausgezeichnete Forschungslandschaft und Ausbildungsstätten sind Garanten für den Erfolg des Landes Baden-Württemberg, seiner Unternehmen und Menschen. Diese Garanten kommen auch dem Themengebiet Leichtbau in Mobilität und Fertigung zugute. Die Herausforderung für die Zukunft des Themengebiets liegt im Land darin, gemeinsame Aktivitäten weiter zu fördern und forcieren und die vorhandenen Kompetenzen zu bündeln. Die unterschiedlichen Branchen zu vernetzen, kann und darf nicht Aufgabe der Politik und der Verbände allein sein. Vielmehr besteht die Notwendigkeit, dass sich alle beteiligten privaten und öffentlichen Partner aktiv einbringen und damit die Chance auf eine Spitzenposition im Leichtbau im nationalen und internationalen Vergleich auch zukünftig gesichert wird. Der so generierte Nutzen kommt allen Partnern zugute und dient damit auch der langfristigen Standortsicherung. Mit Hilfe der Entwicklung neuer Technologien, der Generierung des notwendigen Know-hows und der Schaffung neuer hochqualifizierter Arbeitsplätze in Industrie und Bildung werden neue Werte geschaffen.

Die Stärke Baden-Württembergs im nationalen und internationalen Wettbewerb wird auch zukünftig seine Innovationskraft sein. Der Leichtbau ist eine wichtige Schlüsseltechnologie, die technologische Spitzenposition des Landes auch für die Zukunft zu sichern und auszubauen.



LITERATURVERZEICHNIS

ATZonline.de

ATZonline.de. (18. 01 2012). Abgerufen am 18.01.2012 von: [http://www.atzonline.de/Aktuell/Nachrichten/1/4846/BMW-perfektioniert-seinen-Reihensechszylinder-\(R6\).html](http://www.atzonline.de/Aktuell/Nachrichten/1/4846/BMW-perfektioniert-seinen-Reihensechszylinder-(R6).html)

ATZ

Kopp, G. F. (April 2009). Innovative Sandwichstrukturen für den funktionsintegrierten Leichtbau. Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ), S. 298ff.

BDLI.de

BDLI.de. (18. 01 2012). Abgerufen am 18.01.2012 von http://www.bdli.de/index.php?option=com_content&view=bdliarticle&layout=press&id=1711&Itemid=16

Architektenkammer Baden Württemberg

Architektenkammer Baden-Württemberg (2011): Architekten und Stadtplaner in Baden-Württemberg. Hintergrundinformation. Unter Mitarbeit von Michael Schuler. Hg. v. Architektenkammer Baden-Württemberg. Stuttgart. Online verfügbar unter http://www.akbw.de/fileadmin/download/Freie_Dokumente/Berufspolitik/Wirtschaft_und_Statistik/. (Zuletzt geprüft am: 22.03.2012)

Architektenkammer Baden-Württemberg

Architektenkammer Baden-Württemberg. (kein Datum). www.akbw.de. Abgerufen am 22.03.2012 von: http://www.akbw.de/fileadmin/download/Freie_Dokumente/Berufspolitik/Wirtschaft_und_Statistik/Hintergrund_Architekten_BW_20110331.pdf

Baden-Württemberg International

<http://www.bw-invest.de/home/marktueberblick/branchen/mobilitaet/automobilhersteller-zulieferer/automobilindustrie-in-baden-wuerttemberg.html>. (Zuletzt geprüft am: 31.05.2012)

Bargel, Hans-Jürgen

Bargel, Hans-Jürgen (2005): Werkstoffkunde. Mit 85 Tabellen. 9. Aufl. Berlin ;, Heidelberg ;, New York: Springer.

Braess, H.-H. S. (2003). Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. 3. Aufl. Wiesbaden: Vieweg.

Bayrisches Landesamt für Umwelt, Wissen, Straße und Verkehr Stroh, Katharina. (2008). Bayrisches Landesamt für Umwelt, Wissen, Straße und Verkehr.

Bundesverband der deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie

Bundesverband der deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie. (06. 02 2012). [bdli.de](http://www.bdli.de/index.php?option=com_content&view=bdliarticle&layout=press&id=1711&Itemid=16). Abgerufen am 06.02.2012 von: http://www.bdli.de/index.php?option=com_content&view=bdliarticle&layout=press&id=1711&Itemid=16

Degischer, Hans-Peter; Lüftl, Sigrid (2009): Leichtbau. Prinzipien, Werkstoffauswahl und Fertigungsvarianten. Weinheim: Wiley-VCH.

Dieffenbacher

www.dieffenbacher.de. Abgerufen am 22. 03 2012 von <http://www.dieffenbacher.de/aktuelles/alle-news/details/news/mit-faserverstaerkten-kunststoffen-in-die-automobile-zukunft.html>

DSI Uni Stuttgart

DSI Uni Stuttgart (2012). dsi.uni-stuttgart.de. Abgerufen am 07.02.2012 von http://www.dsi.uni-stuttgart.de/institut/struktur_partner.html#sofia

e-mobil BW

Bildungsbedarfsanalyse. Hg. v. e-mobil BW GmbH - Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie. Stuttgart.

e-mobil BW

e-mobil BW GmbH (2012): Leichtbau in Baden-Württemberg. Forschungskompetenz. Unter Mitarbeit von Anja Walter. Hg. v. e-mobil BW GmbH - Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie. Stuttgart.

e-mobil BW

e-mobil BW GmbH. Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie; Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg; Fraunhofer-Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation (IAO) (Hg.) (2011): Strukturstudie BW e-mobil 2011. Baden-Württemberg auf dem Weg in die Elektromobilität. Online unter <http://www.e-mobilbw.de/Pages/service-wissen/strukturstudie.php>, zuletzt geprüft am 01.06.2012. <http://www.e-mobilbw.de/Pages/service-wissen/strukturstudie.php>. (Zuletzt geprüft am 01.06.2012.)

ESK.com

ESK.com. (2012). Abgerufen am 11.02.2012 von http://www.esk.com/fileadmin/esk/medien/pdf/TDS_ekatherm_d.pdf

Fraunhofer IPA

Fraunhofer IPA, Design Fraunhofer IPA, Breuninger J.

Friedrich, H. E.

Friedrich, H.W. (2007): Volkswagen AG

Gläser & Laudel

Gläser, J., & Laudel, G. (2009). Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse (3.Aufl. Ausg.). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Goede, Stehlin & Rafflenbeul

Goede, M., Stehlin, M., & Rafflenbeul, L. (2008). Leichtbaupotenzial durch Mischbauweise im Karosseriebau. Bad Nauheim: International Circle of Experts on Car Body Engineering.

Henning & Moeller

Henning, F., & Moeller, E. (2011). Handbuch Leichtbau. München: Carl Hanser Verlag.

Henning

Henning, J. (2005). Modulare Karosseriekonzepte, 2. Braunschweiger Symposium. Braunschweig.

Heuss, Müller, Sintern, Starke, & Tschiesner

Heuss, Müller, Sintern, v., Starke, & Tschiesner. (2012).

Uni Duisburg

Homepage Uni Duisburg. Abgerufen am 21.01.2012 von: http://www.uni-due.de/imperia/md/content/werkstofftechnik/sk_wtii_ss08_titan.pdf

Daimler AG

<http://media.daimler.com/dcmedia/home/de>. (kein Datum).
Von <http://media.daimler.com/dcmedia/0-921-656186-49-1362742-1-0-0-0-0-11701-614316-0-1-0-0-0-0.html> Abgerufen am 17.01.2012

ILEK Universität Stuttgart

ILEK Universität Stuttgart; Entwicklung: ILEK Universität Stuttgart. (kein Datum).

ILEK Universität Stuttgart

ILEK Universität Stuttgart; Tragwerksplanung Werner Sobek, Fertigung CGB Carbon Großbauteile GmbH. Foto.

Keramik-RS.de

Aluminiumtitanat. Abgerufen am 20.02.2012 von: http://www.keramik-rs.de/ksuche/k_detail.asp?w_id=2

Keramik-RS.de

Keramik-RS.de Siliciumkarbid. Abgerufen am 07.02.2012 von http://www.keramik-rs.de/ksuche/k_detail.asp?w_id=18

Keramik-RS.de

Keramik-RS.de Tonerdeporzellan. (kein Datum). Abgerufen am 12.02.2012 von: http://www.keramik-rs.de/ksuche/k_detail.asp?w_id=26

Klüting & Landerl

Klüting, M., & Landerl, C. (2004). Der neue Sechszylinder-Ottomotor von: BMW: Teil I: Konzept und konstruktiver Aufbau. MTZ 65, S. 868–880.

Kopp, Burkhardt & Majic

Kopp, G., Burkhardt, N., & Majic, N. (2009). Leichtbaustrategien und Bauweisen.

Lufthansa

Lufthansa. Lufthansa.com. Abgerufen am 04.02.2012 von <http://berichte.lufthansa.com/2010/gb/konzernlagebericht/ertragslage/aufwendungen.html?cat=m>

McKinsey&Company

Heuss, R., Müller, N., van Sintern, W., Starke, A., & Tschiesner, A. (2012). Lightweight, heavy impact. McKinsey&Company.

**Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst
Baden-Württemberg**

Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg (2011): Wirtschaftsdaten Baden-Württemberg 2011. Hg. v. Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg. Stuttgart. Online verfügbar unter <http://www.mfw.baden-wuerttemberg.de/sixcms/detail.php/62315>. (Zuletzt geprüft am 23.03.2012)

**Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst
Baden-Württemberg**

Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg. <http://mwk.baden-wuerttemberg.de>. Abgerufen am 08.02.2012 von: <http://mwk.baden-wuerttemberg.de/forschung/forschungspolitik/>

**Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst
Baden-Württemberg**

Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg. <http://mwk.baden-wuerttemberg.de>. Abgerufen am 06.02.2012 von: <http://mwk.baden-wuerttemberg.de/hochschulen/hochschulkarte/>

MVI Group GmbH, ATZ produktion

MVI Group GmbH. (2011). München: ATZ produktion.

Otto Fuchs

Otto Fuchs. (kein Datum). Otto-Fuchs.com. Abgerufen am 10.02.2012 von: http://www.otto-fuchs.com/fileadmin/user_upload/images/pdf/Fuchs_WI_AI_D_Scr.pdf

Porsche AG

Porsche AG. Foto

Röcker

Röcker, O. (31. Januar 2008). Untersuchungen zur Anwendung hoch- und höchstfester Stähle für walzprofilierte Fahrzeugstrukturkomponenten. Dissertation. Berlin: Technische Universität.

Rohwerder

Rohwerder, M., u. M. Stratmann: Haftende Hüllen für neue Stähle, stahl u. eisen 125(2005) Nr. 3, S. 112 – 114.

serien.lighting

serien.lighting. (13. 3 2012). Design Nextspace.

SGL Group

SGL Group. sglgroup.com. Abgerufen am 23.01.2012 von http://www.sglgroup.com/cms/international/products/product-groups/bd/carbon-ceramic-brake-disks/index.html?__locale=de

Statistik.Baden-Wuerttemberg.de

Statistik.Baden-Wuerttemberg.de. Abgerufen am 14.02.2012 von: <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/Veroeffentl/803611001.pdf>

Statistik.Baden-Wuerttemberg.de

Statistik.Baden-Wuerttemberg.de. Abgerufen am 17.02.2012 von http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/ProdGew/Landesdaten/VG-GK_BBEU.asp

Statistik.Baden-Wuerttemberg.de

http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/ProdGew/Landesdaten/kenngrWZ2008_0000.asp

Statistik.Baden-Wuerttemberg.de

http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/ProdGew/Landesdaten/VG-GK_BBEU.asp

Statistik.Baden-Wuerttemberg.de

http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/ProdGew/Landesdaten/kenngrWZ2008_0000.asp

Statistik.Baden-Wuerttemberg.de

http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/ProdGew/Landesdaten/VG-GK_BBEU.asp

Statistische Berichte Baden-Württemberg

Statistische Berichte Baden-Württemberg. (2011). Unterricht und Bildung, Artikel-Nr. 3231 10001.

Statistische Berichte Baden-Württemberg

Statistische Berichte Baden-Württemberg (2012)
Statistische Berichte Baden-Württemberg 3520 11001
<http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/Pressemitt/2012115.asp>; pdf. Datei; Artikel-Nr. 3520 11001 produzierendes Gewerbe

Statistische Berichte Baden-Württemberg

Statistische Berichte Baden-Württemberg. (2011). Unterricht und Bildung, Artikel-Nr. 3234 11001.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2011): Baden-Württemberg - ein Standort im Vergleich. Unter Mitarbeit von Carmina Brenner. Hg. v. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Stuttgart. Online verfügbar unter <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/Veroeffentl/> (Zuletzt geprüft am 01.06.2012.)

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. (2011). Industrie in Baden-Württemberg . Stuttgart.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. (kein Datum). Eurostat; (Baden-Württemberg International).

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. (kein Datum). Wirtschaftsdaten Baden-Württemberg 2010. Baden-Württemberg. Abgerufen am 03.02.2012 von http://www.bw-invest.de/deu/data/Wirtschaftsdaten_deutsch_2010.pdf

Swiss Composite

Swiss Composite. Swiss Composite.de. Abgerufen am 08-02.2012 von <http://www.swiss-composite.ch/pdf/i-Werkstoffdaten.pdf>

Umweltbundesamt

Umweltbundesamt. Umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de. Abgerufen am 07.01.2012 von <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=2320>

VDMA

VDMA. (2011). Betriebe mit mindestens 20 Beschäftigten. http://www.vdma.org/wps/portal/Home/de?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/vdma/Home/de (zuletzt zugegriffen am: 04.06.2012)

Volkswagen AG

Volkswagen AG. (2012). Pressemitteilung Nr. 47/2012.

Volkswagen

Volkswagen. Volkswagen.de. Abgerufen am 16.01.2012 von www.Volkswagen.de

Wiedemann

Wiedemann, J. (2007). Leichtbau -Elemente und Konstruktion-. Berlin: Springer.

Wikipedia

Wikipedia A320. Abgerufen am 19.02.2012 von <http://de.wikipedia.org/wiki/Airbus-A320-Familie>

Wikipedia

Wikipedia Aluminium. Abgerufen am 23.01.2012 von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Aluminium>

Wikipedia

Wikipedia Aluminiumlegierung. Abgerufen am 14.01.2012 von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Aluminiumlegierung>

Wikipedia

Wikipedia Aluminiumoxid. Abgerufen am 08.02.2012 von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Aluminiumoxid>

Wikipedia

Wikipedia Charles and Ray Eames. Abgerufen am 05.01.2012 von http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Charles_and_Ray_Eames_-_Plastic_Chair_1950-53.jpg&filetimestamp=20101205194204

Wikipedia

Wikipedia Charles Eames. Abgerufen am 10.02.2012 von: http://de.wikipedia.org/wiki/Charles_Eames

Wikipedia

Wikipedia Epoxidharz. Abgerufen am 19.02.2012 von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Epoxidharz>

Wikipedia

Wikipedia Glasfaserverstaerkter Kunststoff. Abgerufen am 12.02.2012 von: http://de.wikipedia.org/wiki/Glasfaserverst%C3%A4rkter_Kunststoff

Wikipedia

Wikipedia Kevlar. Abgerufen am 03.02.2012 von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Kevlar>

Wikipedia

Wikipedia Kohlefaserverstaerkter Kunststoff. Abgerufen am 03.02.2012 von http://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstofffaserverst%C3%A4rkter_Kunststoff

Wikipedia

Wikipedia Kunststoff. Abgerufen am 21.01.2012 von: http://de.wikipedia.org/wiki/Kunststoff#Dichte_und_Festigkeit

Wikipedia

Wikipedia Siliciumnitrid. Abgerufen am 15.02.2012 von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Siliciumnitrid>

Wikipedia

Wikipedia Specific Modulus. Abgerufen am 20.02.2012 von: http://en.wikipedia.org/wiki/Specific_modulus

Wikipedia

Wikipedia Specific Strength. Abgerufen am 16.02.2012 von: http://en.wikipedia.org/wiki/Specific_strength

Wikipedia

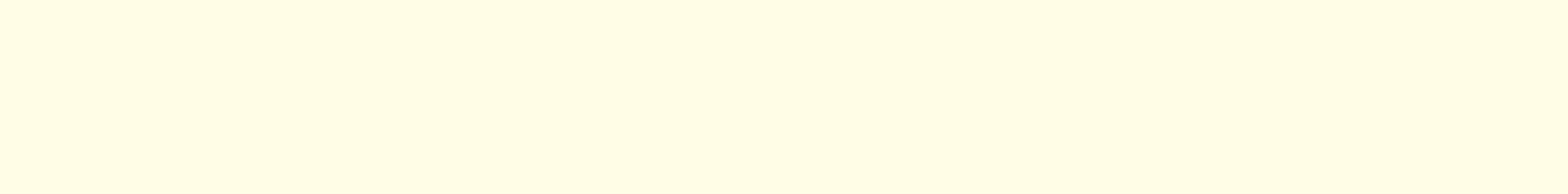
Wikipedia Zeppelin. Abgerufen am 11.02.2012 von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Zeppelin>

Wikipedia

Wikipedia Specific Strength. Abgerufen am 21.02.2012 von http://en.wikipedia.org/wiki/Specific_strength

Wikipedia

Wikipedia Zeppelin. Abgerufen am 11.02.2012 von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Zeppelin>



ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Bild Seite 1 Bionische strukturoptimierte Transportpalette mit Deckplatt aus Naturfaserverbund mit biologisch abbaubarem Poly lactid. Foto: ITV Denkendorf	
Bild Seite 3 Forschungspavillion 2010 der Universität Stuttgart, ICD/ITKE. Foto: ICD/ITKE	
Abbildung 1 Bedeutung des Leichtbaus kurzfristig und mittel- bis langfristig	6
Abbildung 2 Spezifische Zugfestigkeit und Steifigkeit verschiedener Werkstoffe	8
Abbildung 3 Kernwerkstoffe aus Aluminium, Kunststoff, Papier und Fasern in Form verschiedener Waben und Schäume, als Beispiel für Sandwichbauteile	9
Abbildung 4 Bedeutung von Stahl für die Realisierung von Leichtbaulösungen	9
Abbildung 5 Bedeutung von Aluminium für die Realisierung von Leichtbaulösungen	10
Abbildung 6 Bedeutung von Magnesium für die Realisierung von Leichtbaulösungen	10
Abbildung 7 Bedeutung von Titan für die Realisierung von Leichtbaulösungen	10
Abbildung 8 Bedeutung von Kunststoffen für die Realisierung von Leichtbaulösungen	11
Abbildung 9 Bionische strukturoptimierte Transportpalette mit Deckplatte aus Naturfaserverbund mit biologisch abbaubarem Poly lactid	11
Abbildung 10 Bedeutung kohlenstofffaserverstärkter Kunststoffe für die Realisierung von Leichtbaulösungen	11
Abbildung 11 Bedeutung glasfaserverstärkter Kunststoffe für die Realisierung von Leichtbaulösungen	11
Abbildung 12 Übersicht Faserverbundwerkstoffe	12
Abbildung 13 Bedeutung von Keramik für die Realisierung von Leichtbaulösungen	12
Abbildung 14 Erwartete Umsatzentwicklung durch Leichtbau	13
Abbildung 15 Erwartete Beschäftigungsentwicklung durch Leichtbau	13
Abbildung 16 Kosten und Gewichtseinsparpotentiale verschiedener Leichtbauwerkstoffe am Beispiel eines Kotflügels und einer Jahresproduktion von 60.000 Stück	13
Abbildung 17 Mittlerer Wert je kg Gewichtersparnis in Abhängigkeit der Branche	13
Abbildung 18 Beschäftigungs-, Umsatz- und Unternehmensanteile der Automobilindustrie	14
Abbildung 19 Entwicklung der Nachfrage im Fahrzeugbau	14
Abbildung 20 Leichtbau im Motorblock, Magnesium-Aluminium-Verbund-Kurbelgehäuse, 6 Zylinder Ottomotor	15
Abbildung 21 Unterschiedliche Anforderungen an die Module und Baugruppen im Automobilbau	16
Abbildung 22 Modulbauweise am Beispiel des modularen Querbaukasten (MQB)	16
Abbildung 23 Das Super Light Car des DLR in Multi-Material-Bauweise	16
Abbildung 24 Multi-Material-Design am Beispiel der Karosserie des Audi TT	17
Abbildung 25 Porsche Ceramic Composite Brake (PCCB)	17
Abbildung 26 Next Generation Train - das Konzept für ein modernes Schienenfahrzeug des DLR	17
Abbildung 27 Entwicklung der Nachfrage im Maschinen- und Anlagenbau	18
Abbildung 28 Leichtbau Polyamidgreifer, Entwicklung Big Drum Engineering, Schunk	19
Abbildung 29 Entwicklung der Nachfrage in der Architektur und Bauindustrie	20
Abbildung 30 CFK Skulptur Mae West der Künstlerin Rita McBride am Effnerplatz in München, Höhe 52m.	21
Abbildung 31 Bionischer Forschungspavillion 2011 der Universität Stuttgart, ICD/ITKE	21
Abbildung 32 Entwicklung der Nachfrage in der Luft- und Raumfahrtbranche	22
Abbildung 33 Entwicklung der Nachfrage in weiteren Branchen	22
Abbildung 34 Plywood Chair 1945/46 von Eames	23
Abbildung 35 Wire chair 1951 von Eames	23

Abbildung 36 Aluminium Chair 1958 von Eames	23
Abbildung 37 Plastik Chair 1950/53 von Vitra	24
Abbildung 38 Panton Chair von Vitra	25
Abbildung 39 IKEA Tisch Lack in Sandwichbauweise	25
Abbildung 40 Reef Wandleuchte mit Schirm aus Schaumkeramik	25
Abbildung 41 IKEA Hängeleuchte Varmluft, Schirm aus Papier, Rahmen aus lackiertem Stahl	26
Abbildung 42 Individuell gefertigte Armschne aus lasergesintertem Polyamid mit leichter, atmungsaktiver Zellenstruktur	26
Abbildung 43 Individuell designte Fußprothese, von den ersten Skizzen zum fertigen Produkt	26
Abbildung 44 Zukunftsaussichten Leichtbau - Technologiestandort Deutschland im internationalen Vergleich	27
Abbildung 45 Zukunftsaussichten Leichtbau - Technologiestandort Baden-Württemberg im nationalen Vergleich	27
Abbildung 46 Zukunftsaussichten Leichtbau - Produktionsstandort Deutschland im internationalen Vergleich	27
Abbildung 47 Zukunftsaussichten Leichtbau - Produktionsstandort Baden-Württemberg im nationalen Vergleich	27
Abbildung 48 PLUSMINUS - Pneumatische Gitterschale - selbsttragende Struktur mit luftgefüllten Schläuchen	29
Abbildung 49 Planung Weiterbildung im Leichtbau	30
Abbildung 50 Themengebiete für Facharbeiter	30
Abbildung 51 Weiterbildungsbedarf nach Mitarbeitergruppen	31
Abbildung 52 Themengebiete für Ingenieure	31
Abbildung 53 Relevante Leichtbauprinzipien	31
Abbildung 54 SOFIA mit geöffneter Teleskoptür in einer Flughöhe von etwa fünf km über der Mojave-Wüste (Kalifornien)	33
Abbildung 55 Nachfrage nach Fachkräften	33
Abbildung 56 Mittel des Technologieaufbaus von Unternehmen	35

EXPERTENINTERVIEWS

Für die Studie „Leichtbau in Mobilität und Fertigung - Chancen für Baden Württemberg“ wurde neben der Literaturrecherche eine Expertenbefragung durchgeführt, bei welcher die unten aufgeführten Experten interviewt wurden.

Experteninterview mit Prof. Werner Sobek

Leiter des Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren ILEK der Universität Stuttgart, Mies van der Rohe Professor am Illinois Institute of Technology in Chicago, Illinois; Gründer der Firmengruppe Werner Sobek, vom 02.02.2012

Experteninterview mit Prof. Achim Menges

Leiter des Institute for Computational Design, ICD der Uni Stuttgart, vom 13.12.2011

Experteninterview mit Heribert Wille

Leiter System Manufacturing, Heidelberger Druckmaschinen AG, vom 23.12.2011

Experteninterview mit Dr. Markus Milwich

Leiter Faserverbundwerkstoffe, Institut für Textil- und Verfahrenstechnik (ITV) Denkendorf, vom 27.01.2012

Experteninterview mit Dr. Hans Schumacher

Vorsitzender der Geschäftsführung der Dürr Systems GmbH, vom 14.12.2011

Experteninterview mit Dr. Gerhard Hammann

Leiter Grundlagenentwicklung, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG, vom 14.12.2011

Experteninterview mit Claus Haverkamp

Leiter Technologie-/Eigenschaftsentwicklung Aufbau, Audi Leichtbauzentrum Neckarsulm, AUDI AG, vom 13.01.2012

Experteninterview mit Christian Gauggel

Projektingenieur Forschung und Entwicklung, Gühring oHG, vom 02.12.2011

Experteninterview mit Christoph Pelchen

Leiter Vorentwicklung Fahrwerk und Gesamtfahrzeug, ZF Friedrichshafen AG, vom 08.12.2011

Experteninterview mit Heinz- Gunter Reichwein

R&D Vice President Epoxy and Material Science, Momentive Specialty Chemicals, vom 07.12.2011

Experteninterview mit Oliver Hoffmann

Programm Manager InCar, Thyssen Krupp Steel Europe AG, vom 23.12.2011

Darüber hinaus wurde eine Umfrage mit einem standardisierten Fragebogen durchgeführt. Hierzu wurden weitere Experten befragt. Die anonymisierte Auswertung dieser Fragebögen bildet die Datenbasis für die Diagramme dieser Studie mit der Bildunterschrift „Datenbasis eigene Umfrage“. Die angegebenen Werte bei Prozentangaben sind kaufmännisch gerundet. Dadurch kann die Summe der Einzelwerte von 100 % abweichen.



Impressum

Herausgeber

e-mobil BW GmbH – Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie Baden-Württemberg
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)
Universität Stuttgart, Institut für Werkzeugmaschinen (IfW)
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Fahrzeugkonzepte

Redaktion

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)
Steve Rommel, Raphael Geiger, Ralph Schneider, Dominik Bergold
Universität Stuttgart, Institut für Werkzeugmaschinen (IfW)
Marco Schneider, Michael Großmann
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Fahrzeugkonzepte
Gundolf Kopp, Alexandra Schmitt

Koordination Studie

e-mobil BW GmbH
Anja Walter
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)
Raphael Geiger

Layout/Satz/Illustration

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)
Carolin Siegl, Jannis Breuninger, Christiane Knöpfler, Kathrin Rochow
TEAM STRUNZ | tswa.de
Agentur für Marketing & Kommunikation

Fotos

@ HRL Laboratories, LLC
@ Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK),

Druck

Fraunhofer Informationszentrum IRB
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

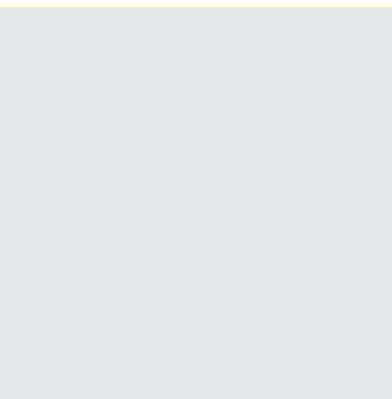
Auslieferung und Vertrieb

e-mobil BW GmbH
Leuschnerstraße 45
70176 Stuttgart
Telefon 0711 / 892385-0
Fax 0711 / 892385-49
E-Mail info@e-mobilbw.de
www.e-mobilbw.de

Erscheinungsjahr 2012

© Copyright liegt bei den Herausgebern.

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Werk ist einschließlich seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Für die Richtigkeit der Herstellerangaben wird keine Gewähr übernommen.



e-mobil BW GmbH

Leuschnerstr. 45 | 70176 Stuttgart

Telefon: +49 711 892385-0

Telefax: +49 711 892385-49

info@e-mobilbw.de | www.e-mobilbw.de

