

# Leichtbau ist schwer

Neue Materialien können helfen, Fahrzeuge leichter zu machen. Dadurch sinken im Betrieb sowohl Treibstoffverbrauch als auch Emissionen. Neue Materialien sind jedoch in der Herstellung teurer und umweltbelastender als bisher gängige Werkstoffe. Um diesen Widerspruch zu lösen, wird an neuen Herstellungsverfahren gearbeitet, die Kosten und Emissionen reduzieren.

VON ROBERT F. SINGER

## Warum Leichtbau?

Leichtbau nennt man eine Konstruktionsphilosophie, die darauf abzielt, das Gewicht zu reduzieren. Früher sprach man vom „Kampf gegen die tote Last“. Leichtbau ist überall wichtig, wo große Massen schnell bewegt werden. Ein besonders prägnantes Beispiel liefert der Bau von Kraftfahrzeugen. Geringes Gewicht bedeutet weniger Treibstoffverbrauch und Emissionen. Im Grunde sind die Zusammenhänge kompliziert und von vielen Faktoren abhängig, aber als einfache Faustformel gilt:

Gewichtsreduktion von 100 kg → Minderverbrauch Treibstoff 0,25 l/100 km → Minderung Emission CO<sub>2</sub> 8,5 g/km.

In den letzten 30 Jahren sind die Fahrzeuge beständig schwerer geworden und nicht leichter. Ein VW Golf wog bei der Modelleinführung 1975 lediglich 750 kg, heute sind es mehr als 1.200 kg. Der Grund für die Gewichtszunahme liegt vor allem bei der verbesserten Karosserie, die auf Grund höherer Steifigkeit und Festigkeit bei Unfällen die Passagiere wirksamer schützt und sich beim Fahren weniger stark verwindet. Auch Mehrausstattungen, die dem Komfort dienen, erhöhen das Gewicht.

## Gewichtsreduktion durch neue Werkstoffe

Es gibt unterschiedliche Ansätze, um das Gewicht der Karosserie zu reduzieren. Einer der wirksamsten ist die Verwendung neuer Materialien, die größere Steifigkeit und Festigkeit oder niedrigeres spezifisches Gewicht aufweisen.

Eine typische selbsttragende Automobilkarosserie in Großserienfahrzeugen besteht heute vorwiegend aus Stahlblech. Insbesondere vorn und oben am Fahrzeug, wo Gewichtsreduktion wegen des von Haus aus schweren Antriebs und der Bedeutung der Lage des Schwerpunkts besonders wichtig ist, kommen auch Aluminiumbauteile zum Einsatz (Abb. 1).

Beim stofflichen Leichtbau gibt es vor allem drei Möglichkeiten (Abb. 2):

- Aluminiumlegierungen. Trotz beeindruckender Fortschritte im Bereich der höherfesten Stähle während der letzten Jahre können mit Aluminium immer noch etwas höhere spezifische Steifigkeiten und Festigkeiten erreicht werden, die sich in Gewichtseinsparungen umsetzen lassen. Im günstigsten Fall kann das Bauteilgewicht entsprechend dem spezifischen Gewicht auf ein Drittel reduziert werden.
- Magnesiumlegierungen. Das spezifische Gewicht von Magnesium ist nochmals ein Drittel niedriger als das von Aluminium. Außerdem können bei Magnesium im Druckguss, einem bevorzugten Verarbeitungsverfahren, geringere Wandstärken erreicht werden, was zusätzlich dazu beiträgt, Gewicht zu reduzieren. Im optimalen Fall sinkt das Bauteilgewicht im Vergleich zu Aluminium auf die Hälfte.
- CFK (Carbonfaserverstärkter Kunststoff). Mit Polymeren, die mit Kohlenstofffasern verstärkt sind, lassen sich auf Grund überragender Steifigkeiten und Festigkeiten besonders hohe Gewichtseinsparungen erzielen. Im optimalen Fall sinkt das Bauteilgewicht im Vergleich zu Aluminium auf ein Drittel.

Karosseriematerialien  
Materials in the body structure  
02/11

Aluminiumblech  
Sheet aluminium  
Aluminiumguss  
Cast aluminium  
Aluminiumprofil  
Aluminium sections  
Stahl warmumgeformt  
Hot-formed steel  
Stahl kaltumgeformt  
Cold-formed steel



## DER AUTOR

Prof. Dr. Robert F. Singer hat den Lehrstuhl für Werkstoffkunde und Technologie der Metalle der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) inne. Er ist außerdem Sprecher der Kollegialen Leitung des Zentralinstituts für Neue Materialien und Prozesstechnik der FAU und Geschäftsführer der Neue Materialien Fürth GmbH (NMF). 2005 wählte ihn die Bayerische Akademie der Wissenschaften zu ihrem Mitglied.



**Wo liegen die Herausforderungen?**

Obwohl uns im Prinzip hervorragende neue Werkstoffe zur Verfügung stehen, sind vor einem vermehrten Einsatz umfangreiche Forschungsanstrengungen nötig. Dies hängt mit den zahlreichen Schwierigkeiten zusammen, die es zu überwinden gilt. Eines der größten Probleme besteht in den Kosten bei der Herstellung. Die Kosten von Komponenten sind sehr stark von der Geometrie und den jeweiligen Anforderungen abhängig, aber es lässt sich in grober Näherung folgendes Schema angeben:  
 Stahl 1 €/kg → Aluminium 5 €/kg → Magnesium 20 €/kg → CFK 50 €/kg

Gewisse Mehrausgaben sind wegen der Treibstoffeinsparung zulässig. Aus der Faustformel zur Treibstoffreduktion, die oben angegeben wurde, errechnet man zulässige Mehrkosten von ca. 3,75 €/kg. Will man die entstehenden zusätzlichen Kosten mit den zulässigen Kosten vergleichen, muss man die Gewichtsreduktion pro Bauteilvolumen berechnen, die nicht nur vom spezifischen Gewicht, sondern auch von den jeweils geforderten Wandstärken abhängt. Das Ergebnis ist, dass sich unter rein wirtschaftlicher Betrachtung der stoffliche Leichtbau nicht lohnt. In der Reihung Aluminium → Magnesium → CFK klaffen zusätzliche und zulässige Kosten sogar immer weiter auseinander. Es braucht weitere Argumente wie bessere Fahreigenschaften durch

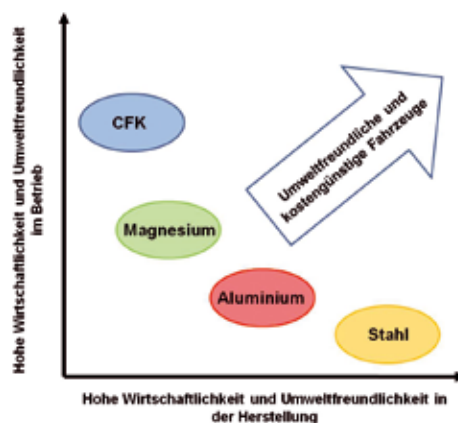
günstigere Gewichtsverteilung und Schonung der Umwelt im Betrieb, um den Einsatz eines anderen Werkstoffs als Stahl zu rechtfertigen.

Möglicherweise erhöhen sich die zulässigen Mehrkosten in der Zukunft im Zusammenhang mit der Elektrifizierung des Antriebsstrangs. Batterien sind groß, schwer und teuer. Ein leichteres Fahrzeug kommt daher mit einer kleineren Batterie aus. Wohin dies mittelfristig führen wird, weiß man nicht, aber vielleicht auf Werte für die zulässigen Kosten um 15 €/kg. Gemessen an den zu erwartenden Mehrkosten durch den Einsatz extrem leichter Werkstoffe wie CFK und Magnesium ist dies aber immer noch wenig.

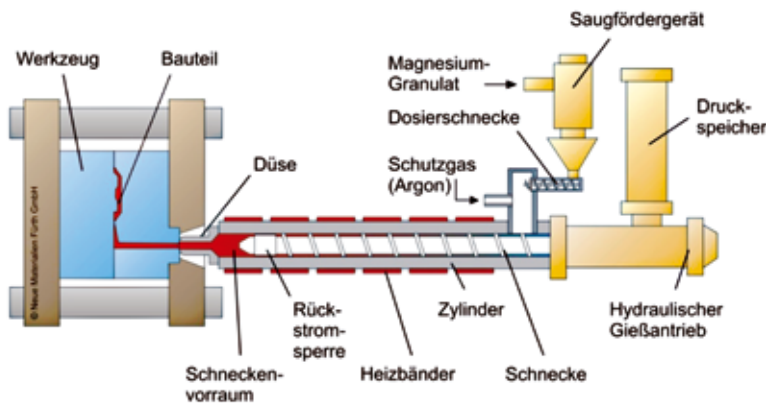
Eine andere Schwierigkeit beim Einsatz der neuen leichten Werkstofflösungen besteht in der Umweltbelastung bei der Herstellung. Alle Werkstoffe benötigen bei der Herstellung und Verarbeitung große Mengen an Energie und führen zu erheblichen Emissionen. Üblicherweise liegen etwa 30 % der Gesamtbilanz einer Volkswirtschaft in diesem Bereich. Die Reihung der Werkstoffe in Bezug auf die umweltfreundliche Herstellung ist der Reihung in Bezug auf das Leichtbaupotential genau entgegengesetzt (Abb. 2). Dies hängt ganz wesentlich damit zusammen, dass für CFK kein den metallischen Werkstoffen vergleichbares Recycling möglich ist. Bei Magnesium ist Recycling zwar grundsätzlich möglich, heute aber noch nicht vergleichbar am Markt entwickelt.

Eine dritte Problematik liegt bei den tatsächlich erreichbaren Gewichtsreduktionen. Sie bleiben deutlich hinter den optimalen Werten zurück, die oben angegeben wurden. Dies hängt mit einer Vielzahl von Faktoren zusammen. Bei Magnesium stellt sich heraus, dass bestimmte Legierungsgruppen mit guten Festigkeiten nicht verwendet werden können, da sie sich schlecht verarbeiten lassen. Bei CFK sind mehrachsige

**Abb. 1: Selbsttragende Karosserie (Monocoque) aus Stahl- und Aluminiumkomponenten, wie sie heute bei Großserienfahrzeugen üblich ist. Weil eine gleichmäßige Gewichtsverteilung und ein niedriger Schwerpunkt angestrebt werden, setzt man das leichtere Aluminium vor allem im Bereich des Motors und am Dach ein.**



**Abb. 2: Das Leichtbaupotential der Werkstoffe steigt in der Reihenfolge Stahl → Aluminium → Magnesium → CFK (mit Kohlenstoff-Endlosfasern verstärkter Kunststoff). Dem höheren Leichtbaupotential stehen aber höhere Kosten, höherer Energiebedarf und höhere Emissionen bei der Herstellung entgegen.**



**Abb. 3: Herstellung von Magnesium-Bauteilen durch Spritzgießen:** Das Verfahren ist umweltfreundlich, lässt geringe Wandstärken bei Bauteilen zu und verbessert die Verformbarkeit unter Belastung, die so genannte Duktilität.

Belastungen ungünstig, da dann nur noch wenige Fasern in Belastungsrichtung zeigen und die Festigkeiten drastisch sinken. Metallische Inserts, mit denen man dieses Problem üblicherweise löst, vergrößern wiederum das Gewicht und werfen neue Fragen auf, beispielsweise zur Korrosion.

#### Wie geht es weiter?

**Abb. 4: Herstellung von thermoplastischen CFK-Bauteilen durch Spritzpressen:** Das Verfahren ist wirtschaftlich und umweltfreundlich.

In der Forschung wird heute intensiv an der Lösung dieser Fragen gearbeitet. Dabei kommt es schrittweise zu Verbesserungen, die sich heute auch schon im zunehmenden Einsatz von Aluminium, Magnesium und CFK niederschlagen. Im Folgenden wollen wir über zwei Vorhaben berichten, die bei der NMF GmbH in Fürth durchgeführt werden, einer Landesforschungseinrichtung des Freistaats Bayern.

Beim Spritzgießen von Magnesium (Abb. 3) werden Metallbauteile mit einer Prozesstechnik hergestellt, die heute nur bei Kunststoffen bekannt ist (s. Lohmüller et al. 2005 im Literaturverzeichnis). Im Mittelpunkt steht eine Förderschnecke, die Magnesium-Granulat einzieht, transportiert,

erwärmt und durchknetet. Vor der Schnecken-spitze sammelt sich flüssiges Magnesium. Zum „Schuss“, d. h. zur Füllung der Werkzeugkavität mit Schmelze, bleibt die Schnecke stehen und bewegt sich kolbenartig mit 2 bis 5 m/s nach vorn. Das flüssige Metall wird in den Hohlraum der Form eingespritzt und erstarrt dort. Nach kurzer Wartezeit kann das fertige Bauteil entnommen werden. Das Spritzgießen hat im Vergleich zum Druckguss, dem heute allgemein eingeführten Verfahren, zahlreiche Vorteile: Insbesondere wird der Energieverbrauch deutlich reduziert, weil ein großer Warmhalteofen für Schmelze vermieden wird. Durch die komplette Kapselung des Prozesses kann auf Schutzgase verzichtet



werden, welche die Umwelt schädigen. Da man die Prozessparameter sehr gut kontrollieren kann, erreicht man geringere Wandstärken und eine bessere Verformbarkeit unter Belastung (Duktilität).

Das Spritzpressen von CFK (Abb. 4) geht von Organoblechen aus, d. h. flächigen faserverstärkten Halbzeugen mit thermoplastischer Matrix (s. Hoffmann et al. 2011). Beim Schließen der Presswerkzeuge kommt es zur Umformung der Organobleche. Über seitlich angeordnete Einspritzeinheiten können in der gleichen Aufspannung Anbindungs- oder Versteifungselemente gefertigt werden. Mit der jüngsten Weiterentwicklung der Technik, die als FIT-Hybrid bezeichnet wird und den „JEC Innovation Award“ erhielt, gelingt es auch, rohrförmige Hohlstrukturen zu erzeugen. Der Vorteil im Vergleich zu klassischen Verfahren, etwa der Prepreg-Technologie oder dem Resin-Transfer-Moulding, besteht in den verkürzten Zykluszeiten und der verbesserten Wirtschaftlichkeit.

#### Literatur

A. Lohmüller, M. Scharrer, M. Hilbinger, R. Jennings, M. Hartmann, R. F. Singer: Thixotropgießen von Magnesiumlegierungen. In: Gießereiforschung 57, 1 (2005), S. 2–9

L. Hoffmann, M. Renn, D. Drummer, T. Müller: Hochbelastbare Faserverbundbauteile großserientauglich hergestellt. In: lightweightdesign 4, 2 (2011), S. 38–43