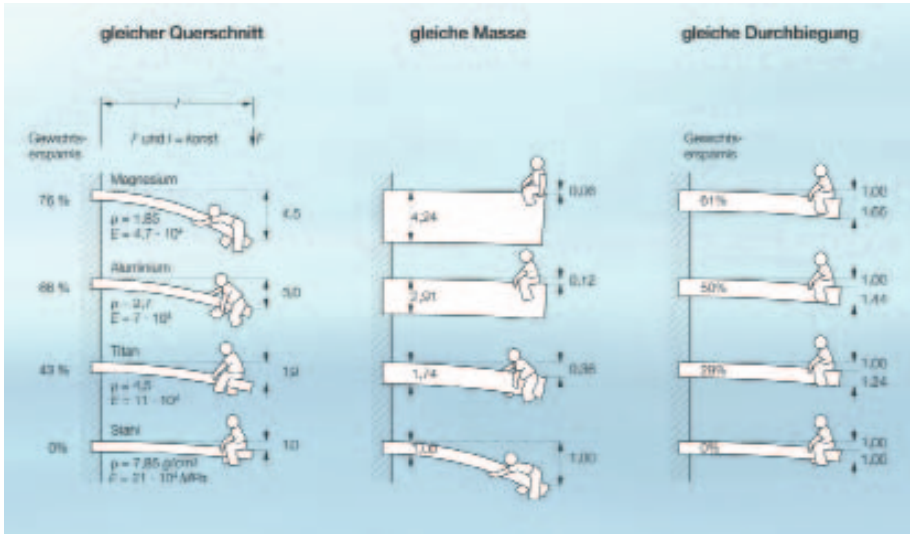


Die Kunst der Vielseitigkeit

Beim Leichtbau geht es um mehr als nur um Werkstoffe geringer Dichte. Wie sich Bauteile verhalten, hängt vielmehr ab von Geometrie, Materialeigenschaften und Fertigungsablauf. Auch die Kosten zählen. Leichte, hoch belastbare Teile setzen die Berücksichtigung aller Parameter, IT-Werkzeuge und das Wissen der Zulieferer voraus.



Werkstoffvergleich anhand von Zugstäben unter gleicher Last, deren Durchmesser aber entweder auf gleiche elastische Dehnung oder auf Fließbeginn ausgelegt wurden.
Bild: IMU

„Beim Leichtbau geht es um Komponenten und Gesamtkonstruktionen mit der geringstmöglichen Masse, die die gewünschte Funktion mit der erforderlichen Zuverlässigkeit erfüllen“, sagt Andreas Kucharzewski, beim Industrieverband Massivumformung e.V. (IMU) in Hagen zuständig für Forschung und Technik. Dabei stehe die Funktion im Mittelpunkt. Es gehe nicht darum, den „leichtest möglichen“ Werkstoff einzusetzen. Dies berücksichtige nicht, dass die Funktion der Bauteile nicht nur von der Werkstoffdicke abhängt, sondern von einer Vielzahl unterschiedlicher Eigenschaften wie Festigkeit, Zähigkeit, E-Modul, Korrosionsverhalten, Bearbeitbarkeit und natürlich auch den Kosten. „Für jede Konstruktion ergibt sich deshalb ein eigenes und oft komplexes Anforderungsprofil. Dessen Vorgaben lassen sich mit den zur Auswahl stehenden Werkstoffen und Fertigungsverfahren mehr oder weniger gut erfüllen“, betont Kucharzewski. Es gebe aber keine idealen, sondern nur optimale Lösungen, wobei der Konstrukteur den besten Kompromiss zwischen teils konträren Vorgaben finden müsse.

„Am einfachsten zu realisieren wären Konzepte, bei denen man das gleiche Bauteil aus einem Werkstoff mit geringerer Dichte her-

stellt“, ergänzt Udo Zitz, bei der Hammerwerk Fridingen GmbH zuständig für strategische Projekte und Kundenberatung. Als Substitution für Stahl, der mit rund $7,85 \text{ g/cm}^3$ Dichte als „schwer“ eingestuft wird, bieten sich Aluminium und Magnesium an. Die Dichte des Aluminiums liegt mit $2,7 \text{ g/cm}^3$ rund $2/3$ unter der von Stahl. Magnesium mit $1,74 \text{ g/cm}^3$ ist um Faktor 4,5 leichter. In der Realität zeigt sich jedoch sofort, dass es mit Substitution nicht getan ist, weil auch Elastizitätsmodul und Festigkeit große Rollen spielen. Moder-



Die Teilefunktion hängt ab von der Werkstoffdichte, Festigkeit, Zähigkeit und Bearbeitbarkeit, dem E-Modul und Korrosionsverhalten sowie last but not least den Kosten.
Bild: Klaus Vollrath

ne Stähle erreichen Festigkeiten, die weit oberhalb der Werte gängiger Leichtmetall-Legierungen liegen. Wird dies genutzt, um die Bauteilabmessungen entsprechend der geforderten Stabilität zu reduzieren, kann dies sogar einen Gewichtsvorteil für den vordergründig „schweren“ Stahl ergeben. Ein Beispiel sind Stahlkolben für Dieselfahrzeuge. Vorteile sind geringes Gewicht der Kolbenbaugruppe sowie eine geringere Bauhöhe dank höherer Steifigkeit und Festigkeit. Dies ermöglicht einen flacher bauenden Motor oder längere Pleuel zur Reduzierung der Kolbenwandkräfte. Die mit dem Gusseisen-Motorblock annähernd übereinstimmende Ausdehnung der Stahlkolben verringert die im Motor auftretenden Reibungsverluste. Allein dies ermöglicht laut Kolbenhersteller Mahle eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs um 2 % bis 5 %.

Stofflich und konstruktiv leichtbauen

Weiteres Beispiel sind Pkw-Räder, wo vor allem im höheren Preissegment Aluminium dominiert. Dank neuer, hochfester Stahlgüten wiegen moderne Stahlräder heute weniger als solche aus Aluminium. „Bei der Auswahl des Werkstoffs spielt auch die Geometrie eine Rolle“, sagt Udo Zitz. Auch komme es auf die Vorgaben an. Die Zusammenhänge sind bereits bei einfachen Biegebalken komplex. Je nachdem, ob Biegung bei gleicher Geometrie und Last, bei gleichem Teil-



Diese geschmiedete Ausgleichswelle ist 33 % leichter als der gegossene Vorgänger. Induktiv gehärtete Lagerflächen ermöglichen Nadellager ohne Innenring.
Bild: Schaeffler KG/Hirschvogel

gewicht oder Gewichtsersparnis bei gleicher Biegung gefordert wird, ist mal der eine, mal der andere Werkstoff geeigneter. Ähnlich komplex ist der Vergleich von Werkstoffen anhand von Zugstäben, die mit gleicher Last beaufschlagt werden, jedoch in ihrem Durchmesser entweder auf gleiche elastische Dehnung (Steifigkeit: siehe blau unterlegte Grafik, linker Teil) oder auf Fließbeginn (Festigkeit: rechtes Teilbild) ausgelegt wurden. Der Durchmesser der Datenpunkte gibt den relativen Zugstabdurchmesser im Vergleich zu C45V an. Hier zeigt sich, dass Stahl bei gleicher Dehnung die leichteste, bauraumeffektivste und günstigste Lösung ermöglicht. Steht dagegen Festigkeit im Vordergrund, das heißt: der Beginn des plastischen Fließens, so ist der Alustab leichter als der aus C45. Ein Stab aus 42CrMoS4V ist gleich schwer, jedoch günstiger und nutzt besser den Bauraum.

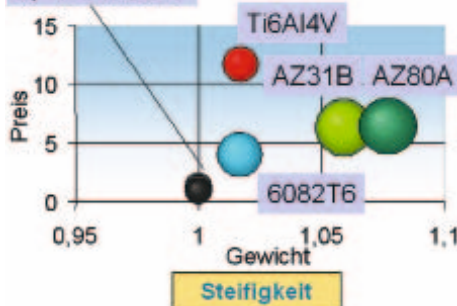
Der Einfluss der Geometrie

Generell gilt, dass es bei der Wahl des Werkstoffs auf die Abwägung der Aspekte des Einsatzfalls ankommt. Zwar gilt oft die Daumenregel, dass bei engem Bauraum oft Stahl im Vorteil ist, während bei größeren Freiheitsgraden Leichtmetalle ihre Vorzüge ausspielen können. Sie muss jedoch nicht immer zutreffen. „Die Beispiele zeigen, dass bei fast jeder Leichtbaulösung die Konstruktion modifiziert werden muss“, erklärt Andreas Kucharzewski. In der Praxis komme man selbst bei zunächst simpel erscheinenden Fällen von stofflichem Leichtbau nicht um eine Neukonstruktion herum.

Für den Konstrukteur ist die Herausforderung, alle Werkstoff-, Geometrie- und Prozesseigenschaften harmonisch zur Erfüllung der Bauteilanforderungen zu nutzen. Oft zeige sich, dass Substitution durch „leichtere“ Werkstoffe weniger bringt als konstruktives Optimieren der Geometrie oder des Herstellprozesses unter Beibehaltung der Werkstoffgruppe. Entscheidend sei, dass der Konstrukteur rechnergestützte Werkzeuge wie Topologie-Optimierung, Belastungsanalyse mit Hilfe der Finite-Elemente-Berechnung (FEM) sowie Geometriedaten zur Ableitung von Werkzeugkonturen und Prozessparametern optimal einsetzt. Typisch beginnt ein solcher Entwicklungspfad mit der Übernahme der Anforderungen des Lastenheftes und deckt alle Aspekte bis zur Lieferung der einbaufertigen Teile ab. Welche Erfolge hierbei möglich sind, sieht man an präzisionsgeschmiedeten Zahnrädern mit angeschmiedeter Kuppelverzahnung. Die Schmiedung ist so präzise, dass keine mechanische Bearbeitung der Verzahnung mehr nötig ist. Weitere Vorteile sind eine 25 % höhere Zahnfußfestigkeit sowie eine reduzierte Bauhöhe, da der bisher

Achsen normiert auf C45V=1

- 1) C45V
- 2) 38MnVS6
- 3) 42CrMoS4V



Zugstäbe unter gleicher Last, entweder auf gleiche elastische Dehnung oder Festigkeit dimensioniert.
Bild: Hirschvogel

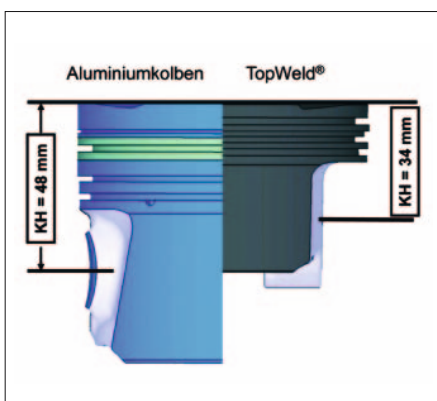
für die Zerspanung erforderliche Auslaufweg für das Werkzeug entfällt. „In den letzten Jahren hat die Massivumformbranche in Zusammenarbeit mit Stahlherstellern und Hochschulen die Entwicklung neuer Stahlwerkstoffe mit verbesserten Eigenschaften vorangetrieben“, sagt Udo Zitz. Im Vordergrund stand dabei die Gruppe hochfester duktiler bainitischer Schmiedestähle (HDB-Stähle) die helfen sollen, die Eigenschaftslücke zwischen den preisgünstig aus der Schmiedehitze durch kontrollierte Abkühlung in ihren Eigenschaften einstellbaren, aber weniger festen ausscheidungshärtenden ferritisch-perlitischen Stählen (AFP-Stähle) und den hochfesten, aber teuren Vergütungsstählen zu schließen.

Ziel war die Entwicklung lufthärtender bainitischer Schmiedestahl-Legierungen mit hoher Festigkeit und guter Duktilität. Zum aktuellen Entwicklungsstand ist anzumerken, dass die gesteckten Ziele (Streckgrenze $R_{p0,2} > 850$ MPa, Zugfestigkeit $R_m > 1200$ MPa, Bruchdehnung $A > 10$ % und Bruchzähigkeit ISO-V > 27 J bei RT) an zwei Ver-

suchsbauteilen – Achsschenkel und Common-Rail – nahezu erreicht wurden. Zwar zeigten die Versuchsbauteile noch nicht das gewünschte R_p/R_m -Verhältnis, das hohe Bauteilfestigkeit bei guter Bearbeitbarkeit bedingt. Bei einer neueren Entwicklung wurden diese Ziele inzwischen betriebsicher erreicht. Eine weitere interessante Werkstoffgruppe sind die so genannten TRIP-Stähle (Kürzel für Transformation Induced Plasticity). Deren Gefüge enthält einen hohen Anteil an metastabilem Restaustenit, der sich bei plastischer Deformation zu hochfestem Martensit umwandelt. Dies bewirkt eine gleichzeitige Steigerung der Härte und der Umformbarkeit bei plastischer Beanspruchung in der Produktherstellung oder -verwendung. Von Vorteil ist dies vor allem bei Bauteilen wie Common-Rail-Komponenten, die dynamisch hoch belastet werden. Von Interesse ist ebenfalls die Gruppe lufthärtender duktiler Schmiedestähle mit erhöhten Mangan-Gehalten (LHD-Stähle). Ziel ist, einen lufthärtenden Stahl mit mittleren Mangangehalten zu entwickeln.

Kooperation optimiert die Konstruktion

Er soll die Eigenschaften eines Vergütungsstahls besitzt und durch 20 % Restaustenit eine hohe Duktilität aufweist. Angestrebt werden folgende Eigenschaften: Streckgrenze $R_{p0,2} > 850$ MPa, Zugfestigkeit $R_m > 1200$ MPa, Bruchdehnung $A > 10$ % und Bruchzähigkeit ISO-V > 30 J bei RT. Erreicht werden sollen diese Ziele durch systematisches Legierungsdesign. Dabei dienen die erhöhten Mangangehalte nicht nur der Verzögerung der Umwandlung, sondern auch der Stabilisierung von hohem Restaustenit-Gehalten bis zu 20 Volumenprozent. „Wesentliche Voraussetzung für optimalen Leichtbau ist die zeitige und enge Kooperation von



Mahle Pkw-Stahlkolben: Vergleich der Höhe von Aluminiumkolben und Top-Weld-Stahlkolben.
Bild: Mahle



Zahnräder mit angeschmiedeter, einbaufertiger Kuppelverzahnung: Weitere Vorteile sind eine 25 % höhere Zahnfußfestigkeit und reduzierte Bauhöhe.

Bild: Sona BLW

Kunde und Lieferant in der Entwicklungsphase“, sagt Kucharzewski. Die Erfahrung zeige, dass der Prozess das Produkt ausmacht: Die realen Werkstoffeigenschaften differieren teils erheblich je nachdem, wie der zur Entstehung der Kontur eingesetzte Prozess abgelaufen ist. So können sich Härte und Festigkeit eines Bauteils als Folge kombinierter Warm- und Kaltumformung lokal stark unterscheiden. Auch bildet sich beim Schmieden eine Faserstruktur aus, die in Längsrichtung dynamisch höher belastbar ist als quer. Ein anderer Aspekt sind Machbarkeiten: Schmiedewerkzeuge unterliegen durch mechanische und thermische Wechselbelastung enormem Verschleiß, was einen erheblichen Teil der Fertigungskosten aus-

macht. Auf diesen Verschleiß haben Konstruktionsdetails, die zunächst nebensächlich erscheinen, wie Tiefe und Kantenradien von Taschen, erheblichen Einfluss.

Diese Zusammenhänge kann der Konstrukteur des Endkunden in der ersten Entwicklungsphase selten in vollem Umfang kennen und nicht ausreichend berücksichtigen. So kann es kommen, dass die Konstruktion Vorgaben macht, die sich im Produktionsprozess als kontraproduktiv erweisen. Die Folgen reichen von verschenkten Gewichtsvorteilen bis zu Rückrufaktionen, etwa wenn die dynamische Festigkeit von Bauteilen nicht den Erwartungen entspricht. Wird dagegen das Prozesswissen des Massivumformers schon bei der Konzeption der Teile berücksichtigt, ergeben sich in der Regel optimale Lösungen.

Udo Zitz, Hammerwerk Fridingen, und Andreas Kucharzewski, Industrieverband Massivumformung



TRIP-Stähle eignen sich gut für Common-Rail-Bauteile, die hohen dynamischen Belastungen ausgesetzt sind.

Bild: Hirschvogel

Hammerwerk Fridingen GmbH

Dr.-Werner-Esser-Straße 1
78567 Fridingen/Donau
Tel.: +49 7463 81-0
E-Mail: u.zitz@hammerwerk.de
Internet: www.hammerwerk.de

Industrieverband Massivumformung e.V.

Goldene Pforte 1, 58093 Hagen
Tel.: +49 2331 9588-0
E-Mail: akucharzewski@metalform.de
Internet: www.metalform.de