

Maximaler Leichtbau durch Nutzung eines holistischen Ansatzes der virtuellen Produktentwicklung

In Zeiten der globalen Erwärmung und Themen wie Nachhaltigkeit im Sinne von Einsparung von Rohstoffen und Verminderung von CO₂-Ausstoß, ist Leichtbau einer der zentralen Faktoren, um die gesteckten Umweltziele der Politik und Wirtschaft zu erreichen. Leichtbau ist damit längst Gegenstand der modernen Entwicklung im Bereich der Automobil- und Luftfahrtindustrie, gewinnt aber auch zunehmend an Bedeutung in anderen Industriezweigen.



AUTOR



**Nico Rohrbach,
B. Sc.**

ist Berechnungsingenieur in der Abteilung Industrial Engineering der LEIBER Group GmbH & Co. KG in Emmingen-Liptingen

Um leichtere Komponenten zu erzielen, kommen verschiedenste Möglichkeiten in Frage. So lassen sich beispielsweise leichtere Werkstoffe einsetzen, unbelastete Strukturen eliminieren oder auch ein anderes Herstellungsverfahren wählen. Zudem ist es wichtig, die computergestützten Werkzeuge wie CAD und CAE so einzusetzen, dass man den größtmöglichen Nutzen aus ihnen ziehen kann und somit eine möglichst leichte Komponente oder ein möglichst leichtes Gesamtsystem erhält. Am Beispiel eines Lkws kann mit geringerer Eigenmasse mehr Nutzlast verladen werden, was zu einer direkten Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und damit auch zur Reduzierung der CO₂-Emissionen pro transportierter Gewichtseinheit des Ladeguts führt.

Grundsätzlich gilt es beim Leichtbau, immer das optimale Verhältnis zwischen Kosten und Gewichtseinsparung zu erreichen, denn beim Entwickler beziehungsweise Lieferanten entstehende Leichtbaukosten können auch überproportional steigen und werden nur bedingt vom Kunden bezahlt. Auch gibt es zwangsweise eine physikalische Grenze, bis zu welchem Grad Leichtbau möglich ist. Das heißt, es muss ein Material beziehungsweise ein Materialverbund eingesetzt werden, welches den geforderten Lastkollektiven gerecht wird. Neben der physikalischen Grenze gibt es in den meisten Anwendungen auch eine wirtschaftliche Grenze, bis zu der sich Leichtbau lohnt, diese wird vom Kunden vorgegeben. In der Luftfahrt zum Beispiel darf

eine Gewichtsersparnis von 1 kg nicht mehr als 500 € kosten. In der Automobilindustrie redet man sogar von nur 2 bis 10 €.[1]

In Bild 2 ist eine schematische Darstellung dieser Verhältnisse dargestellt.

Leichtbau kann auf mehrere Arten auch durch geschickte Kombinationen folgender Ansätze realisiert werden:

- **Fertigungstechnisch** können zum Beispiel entscheidende Festigkeitssteigerungen durch eine andere Wahl des Herstellungsverfahrens erreicht werden.
- **Stofflich** kann der eingesetzte Werkstoff durch einen leichteren ersetzt werden. Hierbei muss allerdings immer auch eine andere Steifigkeit sowie andere Festigkeiten mit berücksichtigt werden, damit sich die leichtere Komponente anschließend ähnlich mechanisch verhält und den Lebensdauererwartungen gerecht wird.
- **Konstruktiv** sollte die einzelne Komponente hinsichtlich ihrer Geometrie derart gestaltet werden, dass auch nur dort Material zum Einsatz kommt, wo es benötigt wird. Im Allgemeinen wird dieses Vorgehen als Topologieoptimierung bezeichnet.
- **Werkstoffverbunde** sollen den Punkt des stofflichen Leichtbaus nochmals unterstützen, in dem die Materialien gezielter verwendet werden. Beispiele hierfür sind hybridgeschmiedete Komponenten oder Faserverbundwerkstoffe.



GJS 600	
Dichte:	$\rho = 7,2 \text{ kg/dm}^3$
Streckgrenze:	$R_e = 370 \text{ MPa}$
Zugfestigkeit:	$R_m = 600 \text{ MPa}$
E-Modul:	$E_{GJS} = 174 \text{ GPa}$
Bruchdehnung:	$A_{GJS} = 3 \%$

AluXtrem®	
Dichte:	$\rho = 2,71 \text{ kg/dm}^3$
Dehngrenze:	$R_{PO,2} = 380 \text{ MPa}$
Zugfestigkeit:	$R_m = 420 \text{ MPa}$
E-Modul:	$E_{Alu} = 72 \text{ GPa}$
Bruchdehnung:	$A_{Alu} = 6 - 12 \%$

Bild 1: Gegenüberstellung zweier Luftbalgträger mit Materialkennwerten
links: GJS 600 8,5 kg; rechts: AluXtreme® 3,7 kg

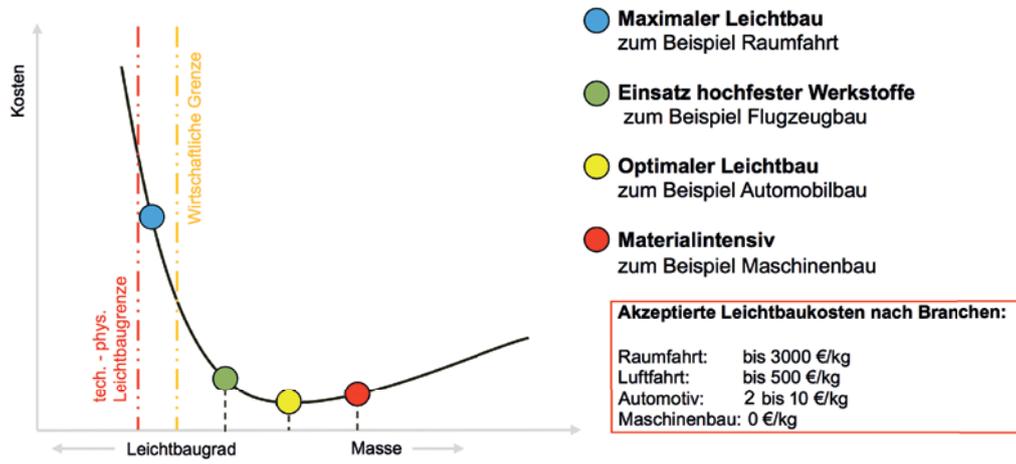


Bild 2: Leichtbaukurve (Kosten-Masse-Diagramm)

Anhand des mit dem Aluminium Award ausgezeichneten Luftbalgträgers [2] soll der Prozess des holistischen (ganzheitlichen) Ansatzes der virtuellen Produktentwicklung erläutert werden. Hierbei sind drei Arten von Leichtbau miteinander kombiniert worden:

- **konstruktiver** Leichtbau
- **stofflicher** Leichtbau – durch Ersetzen des Eisengusses durch eine Aluminiumknetlegierung
- **fertigungstechnischer** Leichtbau – durch Substitution des bisherigen Gießprozesses durch einen Schmiedeprozess

Der konstruktive Leichtbau wird dabei wie folgt umgesetzt: Zunächst wird aus der ursprünglichen Geometrie des Luftbalgträgers ein Bauraummodell erstellt, welches mit den maximalen statischen Betriebslasten beaufschlagt wird. Hierzu werden mit Hilfe der Software Solid Thinking Inspire sogenannte Designspaces und Non-Designspaces definiert und das entsprechende Lastkollektiv darauf angebracht. Unter Designspaces versteht man Volumina, welche durch die Software optimiert werden können, während Non-Designspaces Volumina beschreiben, welche nicht verändert werden können, beispielsweise Auflageflächen und Anbin-

dungspunkte. Die Software ermittelt die optimal an die Lastvorgaben angepasste Geometrie. Die Ergebnisgeometrie hat in diesem Fall ein minimales Eigengewicht bei maximaler Steifigkeit. Das Ausgabeergebnis muss anschließend nochmals überarbeitet werden, da es in aller Regel in dieser Form nur durch generative Fertigungsverfahren direkt hergestellt werden kann. Ziel ist es jedoch, den Luftbalgträger in einem Massivumformprozess zu fertigen, um AluXtreme®-Werte zu erreichen. Daher folgen noch schmiedetechnische Anpassungen, um die Herstellung mit diesem Verfahren realisieren zu können. Hierbei kommt ein CAD-System zum Einsatz, mit welchem die Geometrie, „inspiriert“ vom Inspire-Ergebnis, nochmals nachgebaut wird. Diese Geometrie wird konstruktionsbegleitend via FEM auf ihre Topologie hin überprüft, das heißt, es werden linear elastische Berechnungen durchgeführt, welche einfache Aussagen über Spannungsverteilung beziehungsweise Verschiebungen zulassen, um das Design des geschmiedeten Luftbalgträgers weiter verfeinern zu können.

Sobald ein Geometriestand erreicht ist, der die numerischen Tests besteht, beginnt die Prozessauslegung der Schmiede-

werkzeuge. Die große Herausforderung in diesem Fall ist die sehr unkonventionelle Gestaltung des Schmiederohteils, die aus Bild 3 zu entnehmen ist. Eine Konstruktion der Schmiedewerkzeuge ohne moderne Simulationstools, wie hier stellvertretend die Software simufact.forming, ist in dieser Komplexität ausgeschlossen.

Im ersten Schritt wird hierfür ein Fertigschmiedegesenk konstruiert, welches das Negativ der finalen Rohteilgeometrie wiedergibt, des Weiteren ein Biegewerkzeug, um den Vormaterialabschnitt in eine bessere Form zu bringen und ein Schnitt-/Loch-Werkzeug, um das fertige Schmiederohteil vom überschüssigen Schmiedegrat zu trennen.

Aus dem Fertigschmiedegesenk wird dann der Stadienplan abgeleitet. Ziel des Stadienplans ist es, das Material des gebogenen Halbzeugs so vorzuverteilen, dass ein fehlerstellenfreies Endprodukt garantiert und gleichzeitig ein minimaler Materialeinsatz gewährleistet ist. Aus diesem Grund steckt ein entscheidender Know-how-Anteil eines Schmiedeprozesses in der Auslegung der Stadien zur Vormaterialverteilung und der damit zusammenhängenden Abstimmung der ein-

zelnen, formgebenden Werkzeugstufen. Außerdem ist zu beachten, dass entstandene Fehler beim Vorschmieden in der Regel beim Fertigschmieden nicht mehr eliminiert werden können. Gerade bei komplexen Rohteilgeometrien mit vielen Streben und geringem massivem Anteil, ist eine optimale Verteilung des Materials ausschlaggebend für einen stabilen Prozess.

Ist ein Designstand der Vorstadien fertig konstruiert, wird eine Umformsimulation durchgeführt, um den Materialfluss im Gesenk zu visualisieren und zu überprüfen. Sollte ein fehlerhaftes Fließverhalten erkennbar sein, so muss die Konstruktion nochmals einer Änderung unterzogen werden. Diese Schleife wird so lange wiederholt, bis die Simulation eine fehlerfreie Umformung zeigt und das sogenannte Vorstadien-Teil auch im Fertigschmiedegesenk zu einem akzeptablen und fehlerfreien Ergebnis führt. Eine weitere, nicht unwichtige Größe, die man aus der Simulation erhält, ist die benötigte Umformenergie respektive Umformkraft. Dieser Wert ist, je nach Typ des Umformaggregats, ausschlaggebend für die Wahl der Maschinengröße.

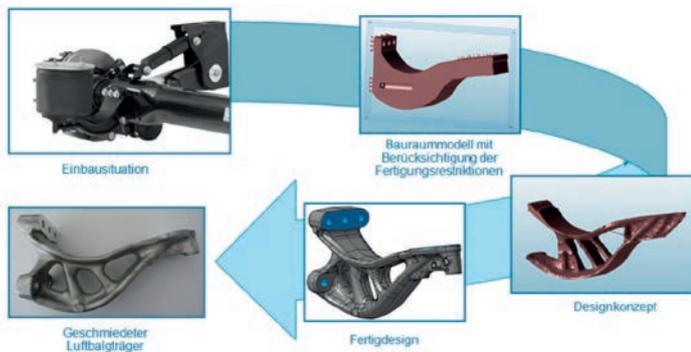


Bild 3: Designentwicklung des Luftbalgträgers

Somit kann mit Hilfe von vier CAE-Tools, nämlich Konstruktion, Topologieoptimierung, Fertigungssimulation und Strukturanalyse, ein Leichtbauprojekt realisiert werden, was vermutlich ohne die eingesetzte Software entweder gar nicht oder weit weniger erfolgreich ist. Um den Erfolg zu quantifizieren, wird die Gewichtseinsparung in Prozent angegeben. Im Falle des Luftbalgträgers beträgt die Einsparung mehr als 50 Prozent. [3]

AUSBLICK

Moderne CAE-Tools werden auch in Zukunft wichtige Helfer im Entwicklungsprozess höchst leichter Teile sein. Wie aus den vorhergehenden Abschnitten zu erkennen, ist es schon lange „state of the art“, Finite-Elemente-Simulationen im Bereich der Bauteilentwicklung einzusetzen, um den Designstand konstruktionsbegleitend hinsichtlich seiner mechanischen Eigenschaften unter Betriebslasten zu überprüfen. Häufig fällt hierbei mittlerweile der Begriff „virtueller Prototyp“. Um diese virtuellen Prototypen in puncto Aussagekraft zu maximieren, reichen die einfachen Annäherungen wie etwa durch lineares Materialverhalten oder statische Belastungskollektive nicht mehr aus. Der Trend geht schon seit längerer Zeit zu nicht linearem Materialverhalten und auch nicht-linearen Randbedingungen, welche einen erheblichen Mehraufwand sowohl bei der Modellierung als auch bei der Lösung dieser Modelle bedeuten. Mit zunehmend steigender Rechnerleistung wird dieser Mehraufwand auch für mittelständische Unternehmen immer lukrativer.

Genauere Modelle verlangen aber auch einen genaueren, meist größeren Input. So steigt zum Beispiel der Aufwand der Materialcharakterisierung und Einflüsse eines Herstellungsprozesses sollten berücksichtigt werden. Letzteres ist momentan Gegenstand der Forschung und wird noch nicht in der täglichen Praxis angewendet, da die nötigen Schnittstellen innerhalb der computergestützten Einzeldisziplinen noch nicht vorhanden oder noch in der Entwicklung sind. Zudem würde sich die konventionelle Nutzungsreihenfolge der CAE-Tools ändern. So müssten sämtliche Strukturberechnungen grundsätzlich nach der Fertigungssimulation erfolgen, um

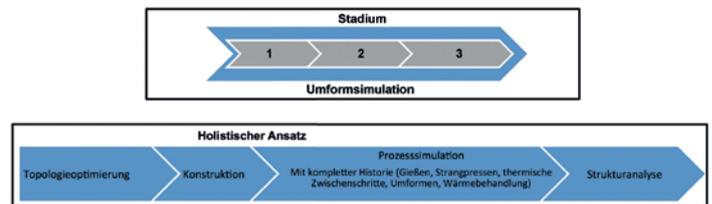


Bild 4: Konventioneller und vollständig holistischer Ansatz

Bilder: LEIBER Group

hier die Prozesseinflüsse während des Herstellens in der Struktur zu berücksichtigen.

Um alle Prozesseinflüsse sauber zu erfassen, müssen im Beispiel von massivumgeformten Teilen aber nicht nur der Schmiedeprozess, sondern alle vorgelagerten Prozesse wie Gießen, Strangpressen und sämtliche, in der Prozesskette dargestellten thermischen Zwischenprozesse, ebenfalls virtuell abgebildet werden (Bild 4). Die hierzu benötigten Schnittstellen zwischen den einzelnen Simulationstools müssen von den Softwareherstellern geschaffen werden, um auch in Zukunft Leichtbau effizient betreiben zu können, denn nur so lassen sich erhebliche Kosten bei der Entwicklung von immer leichter werdenden Komponenten sparen.



[1] Horst E. Friedrich: Leichtbau in der Fahrzeugtechnik, Springer Vieweg Verlag, Stuttgart 2013

[2] <http://www.aluminium-award.eu/2014>

[3] Andreas Kroner: Leichtbau trifft Schwerlast, Aluminium-praxis 10/2014



LEIBER Group GmbH & Co. KG
Aluminium Umform- und
Bearbeitungstechnik
Rudolf-Diesel-Straße 1-3
78576 Emmingen-Liptingen
Tel.: +49 7465 292-0
info@leiber.com
www.leiber.com