

## SYSTEMATISCHE ENTWICKLUNG GEWICHTSOPTIMIERTER BAUTEILE

*Winfried Schmidt, Werner Puri*

### Einleitung

Leichtbau wird häufig als Motor für Innovationen angesehen. In der Luft- und Raumfahrt spielt Leichtbau schon lange eine wichtige Rolle. Im Fahrzeugbau hat der Leichtbau an Bedeutung gewonnen. Doch nicht nur in diesen Bereichen soll Leichtbau ein Motor für Innovation sein, sondern auch in Bereichen wie der Medizintechnik, allg. Maschinenbau usw. Eine Übertragung des Know-How aus der Automobilindustrie oder gar der Luft- und Raumfahrt ist jedoch nicht so einfach möglich. Insbesondere die Kosten stellen eine Hürde für den Leichtbau außerhalb der oben genannten Bereiche Zweck- und Ökoleichtbau (Wiedemann) dar. Aus konstruktiver Sicht stellt sich die Frage, welche Strategien es für den Leichtbau gibt.

### 1 Arten des Leichtbau

Leichtbau lässt sich in drei Bereiche unterteilen. Um Zweck- oder auch Funktionsleichtbau handelt es sich, wenn es darum geht, gewisse Systemfunktionen bei hohen Beschleunigungen oder extremen Ausmaßen zu realisieren oder zu beherrschen (z.B. Fluggeräte, Raumfahrt). Kosten spielen in diesem Zusammenhang eine untergeordnete Rolle. Beim Ökoleichtbau sind erhöhte Kosten für Werkstoff und Fertigung zulässig, da diese indirekt z.B. durch Energieeinsparungen ausgeglichen werden. Gerade der Fahrzeugbau ist hier ein Paradebeispiel, denn durch Reduktion der Gesamtmasse kann Treibstoff gespart werden. Sparleichtbau bedeutet, dass am Material durch bessere Ausnutzung, Abmagern bzw. funktionsgerechte Gestaltung oder am Fertigungsaufwand durch Werkstoffalternativen mit höherem spezifischem Volumen (z.B. Einsparung von Aussteifungen beim Übergang von Stahl zu Aluminium mit größeren Wandstärken) direkt Einsparungen erzielt werden [1].

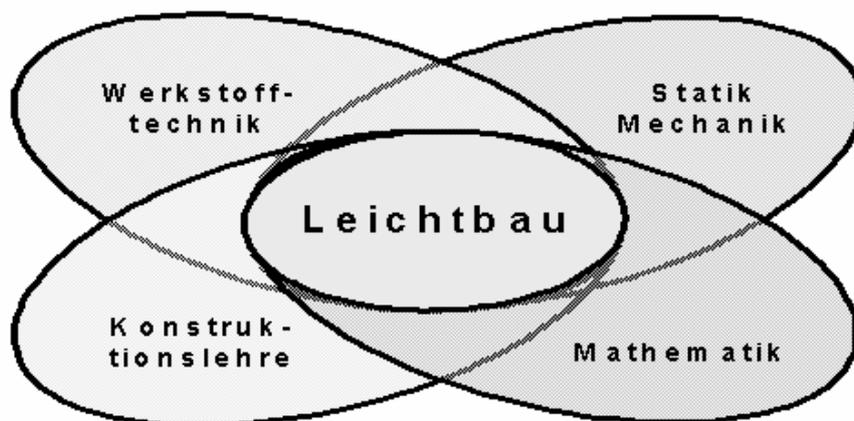


Bild 1: Disziplinen im Leichtbau

Für den Leichtbau allgemein gibt Klein in [2] Rechentechnik, Fertigungstechnologie, Werkstoffkunde und die Festigkeitslehre als wesentliche Disziplinen an. Gerade in der Konstruktion sind die Kenntnisse aus diesen Bereichen zu verbinden und sinnvoll einzusetzen, um Leichtbau effizient betreiben zu können.

## 2 Leichtbaustrategien

Durch Klein [2] werden drei Leichtbaugrundstrategien definiert: Formleichtbau, Stoffleichtbau und Bedingungsleichtbau.

- Formleichtbau* hat das Ziel durch Kräfteverteilung und Formgebung ein hohes Tragvermögen der Struktur mit geringem Stoffeinsatz zu erreichen.
- Beim *Stoffleichtbau* steht die Substitution herkömmlicher Werkstoffe durch leichtere und festere Werkstoffe im Vordergrund.
- Hauptansatzpunkte im *Bedingungsleichtbau* ist das Bestreben die überzogene Sicherheitsforderungen in Frage zu stellen sowie eine günstigere Integration eines Leichtbauteils in eine steife Umgebung.

Weitere Leichtbaustrategien sind in [3] genannt. Hier wird noch von:

- Verbundleichtbau*, bei dem fallweise eine optimale Kombination unterschiedlicher Werkstoffe, die im Konstruktionsverbund zu hoher Steifigkeit und Tragfähigkeit bei minimalem Gewicht führen, und
- Konzeptleichtbau*, der die systematische Auswahl der einzelnen Komponenten mit optimaler Anpassung an das Gesamtsystem inklusive Komponentenanordnung und Design meint, gesprochen.

## 3 Leichtbaustrategien im Konstruktionsprozess

Es ist zweckmäßig und allgemein üblich, den Planungs- und Konstruktionsprozess in folgende Hauptphasen zu unterteilen: Planen und Klären der Aufgabe, Konzipieren, Entwerfen, Ausarbeiten [4]. Wo sind die Leichtbaustrategien im Konstruktionsprozess angesiedelt? Welchen Phasen können sie zugeordnet werden, bzw. wann kommen sie zum Einsatz? Die Zuordnung der 5 obengenannten Leichtbaustrategien zu den Konstruktionsphasen ist nicht in allen Fällen eindeutig möglich. Dennoch erscheint die in Bild 1 dargestellte Zuordnung für den Konstrukteur hilfreich.

Konstruktionsprozeß			
Planen	Konzipieren	Entwerfen	Ausarbeiten
	Konzeptleichtbau		
		Formleichtbau	
		Verbundleichtbau	
		Bedingungsleichtbau	
			Stoffleichtbau

Bild 2: Leichtbaustrategien und Konstruktionsphasen

Die Substitution von Werkstoffen, der Stoffleichtbau, ist eine alte, menschlich traditionelle Art der Verbesserung von bestehenden technischen Systemen oder Bauteilen. Die Namen der frühgeschichtlichen Zeitalter deuten darauf hin: Stein-, Bronze- und Eisenzeitalter. Voraussetzung für diese Strategie ist das Vorhandensein einer vollständigen konstruktiven Lösung bei der einzig und allein der Werkstoff verändert wird. In den meisten Fällen kann aber nicht davon ausgegangen werden, dass diese Änderung keine Rückführung in die Entwurfsphase bedingt (z.B.: Verbindungstechnik). Stoffleichtbau, als meist eingesetzte Strategie, ist häufig

mit vergleichsweise wenig Aufwand durchführbar und wird daher als einfach betrachtet. Diese Strategie ist der Ausarbeitungsphase zuzuordnen.

Die Optimierung der Gestalt von Bauteilen und –gruppen mit dem Hauptziel der Steifigkeitserhöhung oder Spannungsspitzenminderung wird in der Konstruktion schon seit längerer Zeit eingesetzt. Der Formleichtbau unternimmt dieselbe Optimierung mit dem Hauptziel der Gewichtsminimierung bei gleichbleibender Steifigkeit der Struktur. Voraussetzung für den Einsatz dieser Strategie ist das Vorhandensein von Baurauminformationen, definierten Lasten sowie auch Randbedingungen. Die Optimierung durchläuft mehrere Phasen. Der Topologieoptimierung, welche auch eine Zuordnung zu der Entwurfsphase bedingt, folgt im allgemeinen eine Formoptimierung der Oberflächengestaltung die weiter hinten im Konstruktionsprozess, in der Ausarbeitungsphase, identifiziert werden kann. Baugruppen- oder Produktstrukturoptimierungen können eine Verschiebung des Strategieinsatzes in die Konzeptphase bewirken.

Der Bedingungsleichtbau verfolgt eine Gewichtsreduktion auf indirektem Weg. Nicht das Bauteil steht im Vordergrund der Untersuchung sondern zum einen die Sicherheitsanforderungen und die daraus ermittelten Sicherheitswerte und zum anderen der Versuch eine günstigere Integration des Bauteils in eine steife Umgebung zu erzielen. Voraussetzungen für den Einsatz dieser Strategie ist eine genaue Kenntnis des allgemeinen Belastungszustandes. Die Hinterfragung und genaue Ermittlung der Sicherheitsanforderungen greift im allgemeinen in der Entwurfs- und Ausarbeitungsphase in der Sicherheit bei der Dimensionierung zum Tragen kommen. Dennoch können auch allgemeine schon in der Planungsphase ermittelten Anforderungen hinterfragt werden. Die erstrebte Integration in eine steifere Umgebung mit den Auswirkungen auf die Auswahl und Gestaltung der Verbindungselemente erfolgt hauptsächlich in der Entwurfsphase.

Verbundleichtbau ist der gezielte Einsatz unterschiedlicher Werkstoffe um fallweise optimale Kombinationen zu erzielen, die im Konstruktionsverbund zu hoher Steifigkeit und Tragfähigkeit bei minimalem Gewicht führen. Verbundleichtbau bezieht sich nicht auf den bloßen Einsatz von Verbundwerkstoffen. Vielmehr bezieht sich die Strategie auf die Erfüllung von Teilfunktionen durch Werkstoffvariationen im Bauteil (z.B. eingegossene Zylinderbuchsen, Beschichtungen). Die verschiedenen Werkstoffe haben einen großen Einfluss auf die Gestaltung des Bauteils sowie auch der Verbindungselemente und positioniert diese Strategie in der Entwurfsphase.

Der Konzeptleichtbau strebt die systematische Auswahl der einzelnen Komponenten mit optimaler Anpassung an das Gesamtsystem inklusive Komponentenanordnung und Design an. Wie auch der Name andeutet ist diese Strategie der konzeptionellen Phase zuzuordnen.

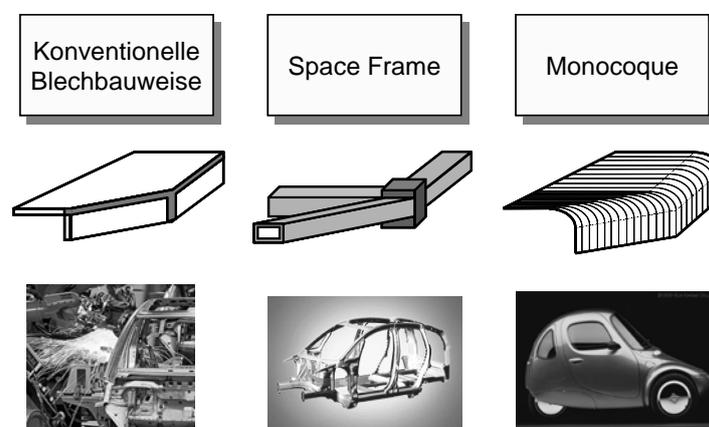


Bild 3: Leichtbaukonzepte und –bauweisen [5,6,7]

Als Beispiel für den Konzeptleichtbau sei hier der Space-Frame von Audi (A8) genannt. Hier wurden zunächst nicht einzelne Komponenten nacheinander optimiert oder durch leichtere ersetzt, sondern mit der Rahmenbauweise eine andere Konzeptalternative im Karosseriebau gewählt. Beim Space-Frame der 2. Generation (Audi A2) kamen andere Leichtbaustrategien zum tragen. Weitere Verbesserungen und Optimierungen wurden an einzelnen Bauteilen und Baugruppen vorgenommen, um z.B. die Zahl der Teile insbesondere die Gussknoten zu reduzieren, um so weniger Verbindungen und Überlappungen zu erhalten. Die Festlegung der Bauweise als Differenzialbauweise (Space-Frame) gegenüber der Integralbauweise (Monocoque) erfolgt in der Konzeptphase. Wie im obigen Beispiel dargelegt bedingt der Konzeptleichtbau Entscheidungen betreffend der Bauweise und kann somit der Konzeptphase zugeordnet werden.

## 4 Zusammenfassung

Eine genaue Trennung der Hauptphasen des Konstruktionsprozesses ist nicht in allen Fällen möglich. Die Zuordnung der 5 genannten Leichtbaustrategien zu den Konstruktionsphasen ist auch nicht mit Anspruch auf Vollkommenheit möglich. Die oben aufgeführten Strategien werden beim Entwurf oder Optimierung von Konstruktionen fast nie einzeln eingesetzt. Eher trifft man auf Mischformen innerhalb derer die Strategien nicht oder nur schwer voneinander getrennt werden können. Dennoch erscheint eine Zuordnung zu den Konstruktionsphasen in Hinblick auf eine konstruktionsbegleitende Rechnerunterstützung als hilfreich.

Häufig scheitert eine Umsetzung der Strategien aus den Bereichen, in denen Leichtbau schon sehr lange betrieben wird, auf andere Bereiche wie die Medizintechnik aus zwei Gründen [8]. Zum einen sind hier die Kosten zu nennen. Dazu werden fehlendes Know-How bzgl. Verfügbarkeit, Gestaltung und Verarbeitung dieser High-Tech-Werkstoffe genannt. Aus konstruktiver Sicht ist die Unterstützung der Gestaltung von besonderem Interesse.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Wiedemann, Johannes, "Leichtbau Band 1. Elemente", Springer, Berlin, 1986
- [2] Klein, Bernd, "Leichtbau – Konstruktion. Berechnungsgrundlagen und Gestaltung", Vieweg, Wiesbaden, 1989
- [3] Haldenwanger, H.-G., "Leichtbau mit Hybridstrukturen im Fahrzeugbau. In Funktions-integrative Hybridstrukturen in Leichtbauweise.", Dresdner Leichtbausymposium, 1998
- [4] Pahl G., Beitz W., „Konstruktionslehre, Methoden und Anwendung“, Springer, Berlin, 1997
- [5] <http://www.festo.com> (Bildquelle)
- [6] <http://www.audi.de> (Bildquelle)
- [7] <http://www.indieart.com/LowImpactLiving/sparrowspecs.htm> (Bildquelle)
- [8] [http://www.leichtbau.de/html/f\\_sta.htm](http://www.leichtbau.de/html/f_sta.htm) (Bildquelle)

Dipl.-Ing. Winfried Schmidt  
 Lehrstuhl für Konstruktionstechnik  
 FAU Erlangen-Nürnberg  
 Martensstraße 9 - D-91058 Erlangen  
 Tel: xx49-9131-85-23216  
 Fax: xx49-9131-85-23223  
 Email: [schmidt@mfk.uni-erlangen.de](mailto:schmidt@mfk.uni-erlangen.de)  
<http://www.mfk.uni-erlangen.de/>

Dipl.-Ing. Werner Puri  
 Lehrstuhl für Konstruktionstechnik  
 FAU Erlangen-Nürnberg  
 Martensstraße 9 - D-91058 Erlangen  
 Tel: xx49-9131-85-23216  
 Fax: xx49-9131-85-23223  
 Email: [puri@mfk.uni-erlangen.de](mailto:puri@mfk.uni-erlangen.de)  
<http://www.mfk.uni-erlangen.de/>