

Bedeutung eines ganzheitlichen Life Cycle Engineerings für den automobilen Leichtbau

Ausgangssituation

Leichtbau stellt eine Schlüsseltechnologie in der modernen Fahrzeugentwicklung dar. Der Einsatz innovativer Materialien und die Entwicklung neuer Fertigungstechnologien ermöglicht die Realisierung von Strukturbauteilen, welche zur Erfüllung der erhöhten technischen Anforderungen zukünftiger Fahrzeuge beitragen. Die Reduzierung des Gewichts gegenüber konventionellen Strukturen wird erreicht, indem entweder weniger Material verwendet oder indem die Funktionalität der Strukturelemente pro Gewichtseinheit erhöht wird. Werkstoffe für Leichtbaustrukturen im Bereich Elektromobilität umfassen hoch- und höchstfeste Stähle, Aluminium, Magnesium, verstärkte Duro- und Thermoplaste sowie Faserverbundwerkstoffe. Diese Werkstoffe werden zunehmend in Mischbauweisen eingesetzt und ermöglichen eine Integration verschiedener Funktionen, welche die Erreichbarkeit geforderter mechanischer Eigenschaften erleichtern [1].

Leichtbau wird vom VDI Zentrum Ressourceneffizienz beschrieben als „Musterbeispiel, um Potenziale der Ressourceneffizienz aufzuzeigen“ [2]. Leichtbau in der traditionellen Betrachtung adressiert zunächst die Senkung des Energiebedarfs in der Nutzungsphase von Fahrzeugen. Die Reduktion der Fahrzeugmasse beeinflusst direkt den Energiebedarf zur Überwindung der Fahrwiderstände. Die Nutzungsphase mobiler Produkte stand daher im Fokus vergangener Untersuchungen [2]. Die Anwendung neuer Werkstoffe und Herstellungsverfahren führt jedoch häufig zu einer Erhöhung der Umweltbelastung in den Phasen der Rohstoffgewinnung und Produktion. Verglichen mit konventionellen Stahlbauweisen werden erhöhte Treibhausgasemissionen mit einem Faktor zwischen 1-1,5 (hochfester Stahl, Abschätzung basierend auf einer internen Studie von thyssenkrupp Steel Europe) und 10 (Faserverbundwerkstoff aus 50% Kohlenstofffaser und 50% Polyamid 6, Abschätzung nach [3] und [4] basierend auf Daten des Fraunhofer IBP sowie PlasticsEurope) pro Kilogramm Material beobachtet. Neueste Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt MAI Enviro 2.0 zeigen allerdings, dass die optimierte Anwendung gängiger Verarbeitungsverfahren für die Herstellung von kohlenstofffaserverstärkten Verbundstrukturen (CFK) eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen bis zu 60% erwarten lässt [6, 7], wodurch der Mehraufwand der Herstellung wieder deutlich gemindert werden kann.

Insgesamt gilt werkstoffübergreifend, dass die Mehraufwendungen aus der Herstellung durch mögliche Gewichtseinsparungen nur unter idealer Ausnutzung der Materialeigenschaften kompensiert werden können. So werden beispielsweise für kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe Massereduktionen zwischen Faktor 2 und 5 gegenüber konventionellen Stahlbauweisen berichtet [3]. Verbleibende Mehraufwände sind durch sinkende Energiebedarfe über die Nutzungsphase zu kompensieren, wobei ein „Break-Even“ innerhalb der typischen Nutzungsdauer von Fahrzeugen erzielt werden sollte [5]. Neben Treibhausgasemissionen ist diese Untersuchung auch für weitere lokale und globale Umweltwirkungen vorzunehmen.

Weiterhin zu berücksichtigen sind die Kreislaufführung von Produktionsabfällen und das Recycling von Leichtbaustrukturen am Ende der Lebensdauer. Die Vielfalt der eingesetzten Leichtbauwerkstoffe erschwert zunehmend den Einsatz etablierter und effizienter Recyclingstrategien für Produktionsabfälle [1]. Derzeitige Recyclingsysteme für Gesamtfahrzeuge sind ausgerichtet auf konventionelle Bauweisen. Die Einführung neuer Fügetechnologien beeinflusst die Trennbarkeit verschiedener Werkstoffe [2]. Zu beachten ist auch der mögliche Qualitätsverlust von Rezyklaten, z.B. durch Verunreinigungen oder eine verringerte Faserlänge, welche eine hochwertige Sekundäranwendung erschweren und für eine verringerte Akzeptanz in der Industrie sorgen [1].

Neben dem Fahrzeug selbst ist außerdem immer dessen Einsatzszenario zu betrachten. Ein Beispiel ist der signifikante Einfluss der eingesetzten Energieträger zum Laden eines Elektrofahrzeugs auf die öko-

logische Vorteilhaftigkeit von Leichtbaustrukturen [5]. Darüber hinaus hängen die erwarteten Effizienzgewinne aus dem Einsatz von Leichtbaustrukturen von der Entwicklung von Märkten, z.B. Absorption von Sekundärmaterial, sowie den verfügbaren technischen Systemen ab. Die Umweltbewertung von Leichtbaustrukturen in technischen und wirtschaftlichen Zusammenhängen ist daher mit verschiedenen methodischen Herausforderungen verbunden.

Handlungsbedarfe

Insgesamt ergibt sich damit ein vielschichtigeres Bild hinsichtlich der Effekte von Leichtbau in der Fahrzeugkonstruktion, als zu Beginn der ersten Förderperiode der Nationalen Plattform Elektromobilität erwartet wurde. Die Frage ist weniger, ob sich Leichtbau grundsätzlich lohnt und wie er am besten zu realisieren ist, sondern eher, wann, unter welchen Bedingungen und in welchem Maße der Einsatz von Leichtbaukonzepten sinnvoll ist? Hierbei ist es wichtig den Fokus von der vornehmlichen Analyse der Nutzungsphase auf den gesamten Lebenszyklus zu erweitern, da Energie- und Treibhausgaseinsparungen in der Nutzungsphase ggf. durch erhöhte Verbräuche und Emissionen während der Produktion oder beim stofflichen Recycling konterkariert werden. Diese Gegenläufigkeit wird mit Blick auf die zunehmende Bedeutung der Elektromobilität und der angestrebten Umstellung der Stromversorgung auf regenerative Energieträger zukünftig verstärkt an Relevanz gewinnen.

Mit dem Life Cycle Assessment (LCA) nach ISO 14040/44 existiert bereits eine elaborierte Methode und ein in Industrie und Wissenschaft anerkannter Standard, um den ökologischen Einfluss von Produkten, Materialien und Prozessen über deren gesamten Lebenszyklus systematisch zu bewerten. Ziel ist die Aufdeckung potenzieller Schwerpunkte („Hotspots“) sowie möglicher Zielkonflikte („Trade-offs“) zwischen Lebenszyklusphasen oder Umweltwirkungen. Eine Übertragung auf das zuvor skizzierte Spannungsfeld ist daher nicht nur möglich, sondern vor dem Hintergrund des bisherigen Stands der Forschung auch dringend geboten. Da sich Deutschland jedoch nicht nur dem Umweltschutz sondern dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung insgesamt verschrieben hat, ist dieser Ansatz noch um die soziale und ökonomische Dimension zu erweitern. Hierzu gibt es bereits erste Ansätze, es besteht allerdings noch weiterer Forschungsbedarf. Entscheidend ist zudem die Möglichkeit zur Integration verschiedener Prämissen bezüglich Fahrzeugklassen, Einsatzzweck, Einsatzort im Sinne geographischer Bedingungen und angenommener Nutzungsprofile, da die Automobilindustrie in technischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Hinsicht zurzeit die größte Veränderung seit vielen Jahren erfährt. So investieren die Automobilhersteller trotz globalem Wettbewerb und hohem Preisdruck aktuell beträchtliche Summen in die Elektrifizierung und Autonomisierung der zukünftigen Fahrzeuge. Zudem wird immer stärker über alternative Geschäftsmodelle nachgedacht, um neuen Nutzungskonzepten in der Mobilität gerecht zu werden (Stichworte: Shared Mobility, Product-Service-Systems, autonomes Fahren usw.). Der Leichtbau bietet für viele der genannten Themen enorme Chancen und Optimierungspotenziale, aber auch Herausforderungen:

- Recyclingmöglichkeiten von Leichtbauwerkstoffen sowie Einsatzoptionen und Märkte für resultierende Recyclingprodukte müssen evaluiert werden.
- Die mit dem Leichtbau verbundene Änderung der Komplexität in der Fahrzeugproduktion inkl. der dahinterliegenden Lieferkette vor dem Hintergrund der aktuellen Bestrebungen der Automobilhersteller, Komplexität aus dem Produktionsprozess herauszunehmen, gilt es zu bewerten.
- Es ist zu klären, ob der Leichtbau den möglichen Übergang zu neuen, alternativen Nutzungskonzepten, die das Mobilitätsverhalten der Bürgerinnen und Bürger grundlegend verändern könnten, begünstigt.

Je nach Kombination möglicher Entwicklungen in diesen zentralen Punkten und in Abhängigkeit unterschiedlicher Nutzungsprofile, Fahrzeugklassen, Geographie etc. sind unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich der Nachhaltigkeit von Leichtbaukonzepten zu erwarten. Mal wird Leichtbau geringere negative und größere positive ökologische, ökonomische und soziale Auswirkungen pro Funktionseinheit im Vergleich zu konventionellen Strukturen aufweisen, mal ist es umgekehrt. Geht man davon aus, dass sich Nachhaltigkeit als gesellschaftliches Leitbild und zentraler Wettbewerbsfaktor weiter etablieren und langfristig durchsetzen wird, ist es für die Zukunftsfähigkeit des Standorts Deutschland von großer Bedeutung, Leichtbau in der Elektromobilität vorwiegend dort zum Einsatz zu bringen, wo dies ökologisch, ökonomisch und sozial sinnvoll erscheint und die damit verbundene Komplexität entsprechend gerechtfertigt ist. Hierzu ist es wichtig, systematisch und fundiert ermitteln zu können, wann, wo und unter welchen Umständen dies der Fall ist. Und dies sollte nicht nur im Zuge einer nachträglichen Bewertung wie bei klassischen LCAs üblich erfolgen, sondern vielmehr im Sinne eines ganzheitlichen *Life Cycle Engineerings* (LCE), das die Nachhaltigkeit des Gesamtkonzepts bezüglich aller drei Nachhaltigkeitsdimensionen schon bei der Konzeption und Entwicklung von Fahrzeugdesigns umfassend berücksichtigt.

Mit Blick auf die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie sollte das Thema szenarienbasierte LCA und – darauf aufbauend bzw. dies weiterführend – szenarienbasiertes LCE für die Bewertung von Leichtbaukonzepten in der Elektromobilität somit unbedingt politisch unterstützt und voran gebracht werden. Doch nicht alle der skizzierten, hierzu erforderlichen Handlungsfelder werden derzeit ausreichend beforscht, da sie teilweise nicht in die aktuellen Calls passen. Die öffentliche Hand sollte für Forschungsbemühungen in diesen Bereichen, daher zusätzliche Gelder zur Verfügung stellen. Eine konsequente Fortführung und weitere Förderung der Forschungs- und Innovationsbemühungen der Nationalen Plattform sowie eine Erweiterung dieser um einen Cluster „Life-Cycle-Assessment und -Engineering von Leichtbaukonzepten“ ist folglich dringend geboten.

Quellen:

- [1] M. Gude, H. Lieberwirth, G. Meschut, M.F. Zäh. FOREL-Studie - Chancen und Herausforderungen im ressourceneffizienten Leichtbau für die Elektromobilität, 2015 <http://plattform-forel.de/>.
- [2] O.S. Kaiser, O. Krauss, H. Seitz, S. Kirmes. Ressourceneffizienz im Leichtbau, 2016 https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/Kurzanalyse_17_Ressourceneffizienz_im_Leichtbau.pdf.
- [3] e-mobil BW. Leichtbau in Mobilität und Fertigung - Ökologische Aspekte, 2012 <http://www.e-mobilbw.de/de/service/publikationen.html?file=files/e-mobil/content/DE/Publikationen/PDF/Leichtbau-Studie-Oekologische-Aspekte-150.pdf>.
- [4] PlasticsEurope. Polyamide 6 (PA6) Eco-Profile. 6 (2014) <http://www.plasticseurope.org/plastics-sustainability-14017/eco-profiles/browse-by-flowchart.aspx?LCAID=r501>.
- [5] P. Egede. Environmental Assessment of Lightweight Electric Vehicles, Springer International Publishing, Cham, 2017 <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-40277-2>.
- [6] A. Hohmann, R. Ilg, S. Albrecht, J.P. Lindner: Energieeffizienz und Umweltaspekte in der Fertigung von CFK-Bauteilen. Konferenz: WerkstoffPlus Auto. Stuttgart, 21. Februar 2018
- [7] A. Hohmann, S. Albrecht, J. P. Lindner, D. Wehner, M. Kugler, T. Prenzel, T. Pitschke, M. Seitz, D. Schüppel, S. Kreibe, T. von Reden: Recommendations for resource efficient and environmentally responsible manufacturing of CFRP products - Results of the Research Study MAI Enviro 2.0. Carbon Composites e.V. Spitzencluster MAI Carbon (Hrsg.). 2018. ISBN: 978-3-9818900-0-6

Liste der beteiligten Institutionen:

ARENA2036 e. V.

Dr.-Ing. Max Hoßfeld (Chief Technology Officer)

BENTELER Automobiltechnik GmbH

Hubertus Prinzler (Forschung & Entwicklung)

Composites Germany

Dr. Elmar Witten (Vorstand)

Carbon Composites e.V.

Alexander Gundling (Hauptgeschäftsführer)

Dr. Tjark van Reden (Stellvertretender Geschäftsführer und Abteilungsgeschäftsführer MAI Carbon)

Daimler AG

Dr. Karl-Heinz Füller (Forschung Materialien und Konzepte)

Dr. Klaus Ruhland (Konzernumweltschutz- Umweltbewertung Produkt)

Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V. (FAT)

Prof. Dr.-Ing. Claudia Langowsky (Geschäftsführerin)

Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA)

Fraunhofer Allianz-Leichtbau

Prof. Dr.-Ing. Andreas Büter (Leiter Geschäftsstelle)

Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP

Dr. Stefan Albrecht (Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung GaBi)

Hochschule Bochum

Prof. Dr.-Ing. Friedbert Pautzke (Institut für Elektromobilität)

Prof. Dr. rer. pol. Marcus Schröter (Nachhaltige Entwicklung)

Prof. Dr.-Ing. Michael Toth (Produktionsmanagement und Logistik)

Institut für Leichtbau mit Hybridsystemen (ILH)

Prof. Dr. Thomas Tröster (Vorstand)

Institut für Umweltinformatik Hamburg GmbH

Andreas Genest

Kirchhoff Automotive GmbH

Prof. Christoph Wagener (Forschung & Produktentwicklung)

Leichtbau BW GmbH

Dr. Wolfgang Seeliger (Geschäftsführer)

Open Hybrid LabFactory e. V.

Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann (Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik)

Plattform FOREL

Prof. Dr.-Ing. habil. Maik Gude, Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, TU Dresden

Prof. Dr.-Ing. Holger Lieberwirth, Institut für Aufbereitungsmaschinen, TU Freiberg

Prof. Dr.-Ing. Gerson Meschut, Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik, Universität Paderborn

Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften, TU München
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. A. Erman Tekkaya, Institut für Umformtechnik und Leichtbau, TU Dortmund

PRISMA Zentrum für Nachhaltigkeitsbewertung und -politik, Lehrstuhl für Betriebliche Umweltökonomie, TU Dresden, Prof. Dr. Edeltraud Günther (Vorstand)

RWTH Aachen, Institut für Kraftfahrzeuge (ika)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lutz Eckstein (Direktor)

Stahlinstitut VDEh

Dr.-Ing. Peter Dahlmann (Geschäftsführendes Vorstandsmitglied)

thinkstep AG

Jürgen Stichling (Bereich Mobilität)

thyssenkrupp Steel Europe AG

Prof. Dr. Hans Ferkel (Bereich Technologie & Innovation)

Universität Stuttgart, Institut für Akustik und Bauphysik

Daniel Wehner (Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung)

VDMA-Arbeitsgemeinschaft Hybride Leichtbau Technologien

Dr. Walter Begemann (Projektleiter)

Volkswagen AG

Dr. Georg Bäuml (Leiter Konzernforschung – Umwelt Produkt)