

Bow String Structure (BSS) – Aufbau einer Fahrzeugstruktur für ein batteriebetriebenes Leichtfahrzeug

Prof. Dipl.-Ing. Claus Fleig
Fakultät für Maschinenbau
und Verfahrenstechnik

Badstraße 24
77652 Offenburg
Tel. 0781 205-47 46
claus.fleig@hs-offenburg.de

1976: geboren in Ettenheim

1996–2001: Studium Allgemeiner Maschinenbau an der Universität Karlsruhe (TH), Schwerpunkte: Kraftfahrzeugbau, Verbrennungsmotoren

2001–2003: Entwicklungsingenieur in der Motorenentwicklung bei Stihl, Waiblingen

2003–2009: Entwicklungsingenieur bei der Robert Bosch GmbH Schwieberdingen, Tätigkeitsfelder: Konzeptkonstruktion Abgasurbolader, Konstruktion und Fertigung von elektrohydraulischen Aktuatoren. Zuletzt Teamleiter der Mechanikentwicklung elektrische Luftverdichter für mobile Brennstoffzellenanwendungen

Seit 2009: Professor für Maschinenelemente, Technische Mechanik und Grundlagen des Maschinenbaus an der Hochschule Offenburg



Forschungsgebiete: Technische Mechanik, Maschinenelemente, Produktentwicklung

1.6 Bow String Structure (BSS) – Aufbau einer Fahrzeugstruktur für ein batteriebetriebenes Leichtfahrzeug

Prof. Dipl.-Ing. Claus Fleig*
Prof. Dr. Ulrich Hochberg*
B.Sc. Jörg Lienhard* **
B.Sc Markus Jung**
Dipl.-Ing. Frank Huberth**
*Hochschule Offenburg
**Fraunhofer EMI, Freiburg

Einleitung

Das Team „Schluckspecht“ stellte sich im September 2010 einer besonderen Herausforderung. Neben der jährlichen Teilnahme am Shell Eco-Marathon ging das Team mit einem neu entwickelten Elektrofahrzeug an den Start der South Africa Solar Challenge. Für die Nutzung von Akkumulatoren als Energielieferant im Leichtfahrzeug „Schluckspecht E“ (im weiteren Verlauf als Batterien bezeichnet) wurde ein neues Strukturkonzept in Zusammenarbeit der Hochschule Offenburg mit dem Fraunhofer-Institut für Kurzzeiddynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI entwickelt.



Abb. 1.6-1: „Schluckspecht E“ in Südafrika

Rohrbogen tragen Batterien und Fahrer wie eine Hängebrücke die Fahrbahn. Dieses Konzept führte zur Namensgebung Batterie Bow String Structure (BBSS) oder allgemein Bow String Structure (BSS).

Die steife und sichere Rahmenstruktur erfüllt die Anforderungen einer kurzfristigen Zulassung des Fahrzeugs für den öffentlichen Straßenverkehr. Die Sicherheit für den Fahrer im Crashfall und die statische Belastungssimulation wurden durch FEM-Simulationen überprüft.

Das Leichtfahrzeug (Abbildung 1.6-1) erreichte mit diesem Konzept ohne Nachladen der Batterien 626,6 km auf Südafrikas Straßen. Somit ist der „Schluckspecht E“ das erste Elektrofahrzeug, das diese Reichweite im öffentlichen Verkehr erreicht und sogar noch weiteres Potenzial hatte, da die Batterien noch Restkapazität aufwiesen.

E-Mobilität: Herausforderung an das Fahrzeugkonzept

Seit der Entwicklung der Verbrennungsmotoren vor über einem Jahrhundert werden Automobile angepasst auf diese Aggregate entwickelt und gefertigt. Es hat sich in den meisten Fällen durchgesetzt, den Motor im Frontbereich vor der Fahrgastzelle zu platzieren. Strukturelle Maßnahmen wurden im Lauf der Zeit verbessert, um die Sicherheit im Crashfall zu erhöhen.

Um mit Elektrofahrzeugen die gewünschte Reduktion der CO₂-Emissionen zu erreichen, müssen diese konse-

quent umgesetzt werden. Ein möglichst hoher Gesamtwirkungsgrad kann nur erreicht werden, wenn die Antriebskomponenten auf ein Minimum reduziert werden. Der Antriebsstrang eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor kann komplett entfallen. Effiziente Radnabennmotoren, Leistungselektronik und Batterien mit einer hohen Leistungsdichte ersetzen diesen. Damit sind die Sicherheitsanforderungen an die Rahmenstruktur des Fahrzeugs eine grundlegend andere, als dies bisher der Fall war.

Da der Antrieb direkt im Rad integriert ist, muss nur dessen Energieversorgung und elektronische Steuerung in der Struktur untergebracht werden, um das Fahrzeug fahrbereit zu machen.

Bei der Verwendung von Batterien zur Energiebereitstellung, können diese nach Wunsch verteilt werden. Für die Fahrdynamik wird jedoch an verschiedenen Stellen auf die Vorteile der Batterieunterbringung im Fahrzeugboden hingewiesen [1, 2].

Die Reduktion der Antriebskomponenten lässt auch eine Verminderung des Gesamtfahrzeuggewichts und eine erhöhte Designfreiheit erwarten. Gegenüber der strukturellen Neuentwicklung für den Elektrofahrzeugtyp wird mit der Integration eines Elektroantriebs in ein vorhandenes Verbrennungsfahrzeugkonzept lediglich ein kleiner Teil dieser Erwartungen erfüllt [3].



Abb. 1.6-2: Rahmenstruktur des „Schluckspechts E“ – „Bow String Structure“

Prinzip „Bow String Structure“

Das Cityfahrzeug des Teams „Schluckspecht“ wurde schon als Elektrofahrzeug mit Radnabenmotoren entwickelt. Für die Integration von 120 kg Lithium-Ionen-Batterien musste das Fahrzeugkonzept grundlegend überarbeitet werden. Der Umbau des „Schluckspecht City“ zum Elektroauto mit Batterien wurde wegen des 10-fachen Gewichts der Batterien gegenüber der bisherigen Wasserstoff-Brennstoffzelle verworfen. Daraufhin entwickelte und fertigte das Team innerhalb von acht Wochen eine komplett neue Struktur für den „Schluckspecht E“, die „Bow-String-Structure“ (BSS), die speziell auf die Abmaße und das Gewicht der Li-Ionen-Batterien angepasst wurde (Abbildung 1.6-2). Dabei wurde das Team besonders bei der Konstruktion der Struktur durch das Fraunhofer EMI unterstützt. Die Außenhaut des „Schluckspecht-Citys“ blieb als einzige erhalten und diente als Designraum.

Das Prinzip bisheriger Fahrzeugkonzepte basiert auf zwei Grundträgern, die im Fahrzeugboden als Hauptankerpunkt für das Chassis dienen. Sie tragen das gesamte Fahrzeuggewicht und müssen entsprechend stabil ausgelegt werden. Die Abmaße der zwölf Li-Ionen Batteriepacks (30 kWh), die jeweils etwa die Größe einer normalen Autobatterie haben, verhinderten die Unterbringung zusammen mit zwei Grundträgern im Fahrzeugboden des „Schluckspechts“. Die Sitzposition des Fahrers wäre in diesem Fall zu hoch und würde die Anforderungen an die Sicherheit und das Reglement der Federation Internationales de l'Automobile (FIA) [4] zur Kopffreiheit nicht erfüllen.

Je leichter das Fahrzeug ist, desto wichtiger ist die gleichmäßige Verteilung der Batterien, um eine straßentaugliche Fahrdynamik und Sicherheit zu gewährleisten. Im „Schluckspecht E“ gab es keine Alternative zur Unterbringung der Batterien im Fahrzeugboden. Aus diesem Grund wurde das Prinzip einer Hängebrücke verwendet. Bogen tragen die darunter aufgehängte Last. Zwei U-Profile dienen als Batterieboxen und sind links und rechts neben dem Fahrersitz positioniert. Diese werden ebenso wie der Fahrer und die Elektronikbauteile von der Bogenkonstruktion getragen. Die beiden Bogen spannen sich zwischen dem vorderen und dem hinteren Fahrwerk auf. Um eine hohe Verwindungssteifigkeit des Fahrzeugs zu gewährleisten, kreuzen sich diese Bogen hinter der Kopfposition des Fahrers. An diesen Bogen aus Aluminium-Rundprofilen, vom Durchmesser 40 mm und 2 mm Wandstärke sind zwei weitere Querbogen im vorderen Bereich und als Überrollschutz hinter dem Fahrer befestigt. Diese sind mit den Batterieboxen und den Querstreben im Bodenbereich fest verbunden und hängen diese Komponenten in der BSS auf. Zusätzliche Steifigkeit bietet ein zentraler aus Aluminium gefräster Ringverbinder, der als Anbindung der Längs- und Querbogen im Kreuzungspunkt dient.

Die BSS vereinigt mehrere Funktionen in einem. Sie trägt nicht nur das gesamte Gewicht des Fahrzeugs von 320 kg und gewährleistet eine gute Fahrdynamik durch hohe Verwindungssteifigkeit und einem niedrigen Schwerpunkt, sie bietet auch eine bessere Verteilung der auftretenden Spannungen. Die Lasten werden

über die Bogen abgeleitet und verteilen sich über die gesamte Struktur. Durch die Verwendung von Bogenprofilen konnte die Anzahl der Knotenpunkte minimiert und dadurch hohe lokale Biegemomente vermieden werden. Somit ist eine erhöhte Sicherheit gegen Versagen im Crashfall erreicht worden.

Verbindungen

Bei der Anbindung der Bogen untereinander sowie an den Komponenten der Batterieunterbringung, der Fahrwerke und des Bodenbereichs wurde größtenteils auf einen Stoffschluss verzichtet. Der Leichtbauwerkstoff Aluminium EN AW 6082 T6 hat den Nachteil, dass er unter Temperatureinfluss beim Schweißen an Festigkeit verliert. Seine Streckgrenze von 310 N/mm² wird stark reduziert. An allen wichtigen Anbindungsstellen wurde daher der Form- und Reibschluss durch Flansche und Klemmen bevorzugt. Ein von der FIA vorgegebener Belastungstest [4] der Struktur wurde durch statische FEM-Untersuchung durchgeführt, um die Stabilität der Struktur zu verifizieren. Dabei wurden an dem Ringverbinder je eine Last von vorn, von oben und der Seite aufgebracht. Vereinfacht wurde nur der obere Teil der BSS untersucht und diese an den Anbindungspunkten zu den Fahrwerken und Batterieboxen gegen alle Freiheitsgrade gesperrt (Abbildung 1.6-3).



Abb. 1.6-3: Randbedingungen für die statische Belastungssimulation nach FIA-Reglement

Die Untersuchungsergebnisse, abgebildet in Tabelle 1, zeigten ausreichende Sicherheiten für alle Belastungen zu der Zugfestigkeit des Materials, aber auch der Verformung der Rahmenstruktur. Die angeführten Sicherheiten beziehen sich auf lokal auftretende Spannungsmaxima.

	Last [kN]	Spannungen (GEH) [N/mm ²]	Sicherheitsfaktor	max. Verschiebung [mm]
von oben	16,3	215	1,44	5,7
von vorne	12,3	256	1,21	14,7
von der Seite	3,3	67	4,62	2,6

Tabelle: Ergebnisse der statischen Belastungssimulation

Crashsicherheit

Die Unterbringung der Li-Ionen-Batterien links und rechts des Fahrersitzes bergen ein Risiko im Crashfall für den Fahrer. Durch die Aufteilung der Batterien in zwei getrennte Stränge ist das Gefährdungspotenzial beim Seitenaufprall bereits deutlich reduziert. Die Batteriekästen sind aus Sicherheitsgründen zum Fahrer geschlossen.

Der Extremfall eines Crashes musste für diese Konfiguration analysiert und entsprechende Maßnahmen daraus abgeleitet werden.

Die Simulation eines Seitenpflaupralls nach EURO-NCAP (Abbildung 1.6-4) wurden am Fraunhofer EMI ebenso wie eine Untersuchung der Batteriemodule bei dynamischer Belastung durchgeführt [5]. Neben anderen möglichen Maßnahmen wurde zunächst zwischen Batteriekästen und Außenhaut ein Crashabsorber aus einem in extrudiertem Polypropylenschäum (EPP) eingelassenes Aluminium-Vierkantprofil an der Rahmenstruktur des „Schluckspecht E“ angebracht (Abbildung 1.6-4).

Diese Maßnahme verhindert ein Versagen der Batteriekästen bei den in der Simulation untersuchten Belastungen. Die Schutzwirkung bleibt somit im Fall einer Zellreaktion trotz der Deformation erhalten.

Zusammenfassung

Mit der Rekordfahrt des „Schluckspecht E“ in Südafrika wurde die BSS-Fahrzeugstruktur erfolgreich einem Härte-test unterzogen.

Durch konsequenten Einsatz rechnerunterstützter Methoden wie CAD und FEM konnte in kürzester Zeit ein Prototyp mit entsprechender Steifigkeit und Sicherheit realisiert werden, der den Praxistest hervorragend bestanden hat.

Im Hinblick auf den Shell Eco-Marathon 2011 dient dieses Konzept als Grundlage für die Entwicklung eines neuen, wesentlich leichteren Fahrzeugs mit einem kleinen Batteriepack für die Wettbewerbsstrecke von nur 30 km, das ein vergleichbares Sicherheitsniveau aufweisen wird. Dazu werden wieder die virtuellen Entwicklungswerkzeuge CAD und FEM intensiv genutzt. Das Konzept

wurde beim Shell Eco-Marathon am 28.5.2011 auf dem Eurospeedway Lausitz mit dem Technical Innovation Award, vergeben von dem Southwest Research Institute of Illinois, ausgezeichnet

Referenzen

- [1] Mitchell W. J., Borroni-Bird C. E., Burns L. D. (2010): Reinventing the Automobile – Personal Urban Mobility for the 21st Century. Massachusetts Institute of Technology (MIT)
- [2] Krinke S., Koeffler C., Deinzer G., Heil U.: Automobil Leichtbau unter Einbezug des gesamten Lebenszyklus. ATZ 06/2010
- [3] Kraus W.: Fahrzeugdesign und alternative Antriebskonzepte. ATZ, 06/2009
- [4] Federation Internationale de l'Automobile: Technical Regulations for Alternative Vehicles. FIA Sport – Technical Department, 10/2009
- [5] Huberth F. et al: Crashsicheres Leichtbaukonzept für Elektrofahrzeuge - Umsetzungen an dem Beispiel des Niedrigenergiefahrzeugs „Schluckspecht E“. Würzburger Automobil Gipfel, Würzburg, 11/2010

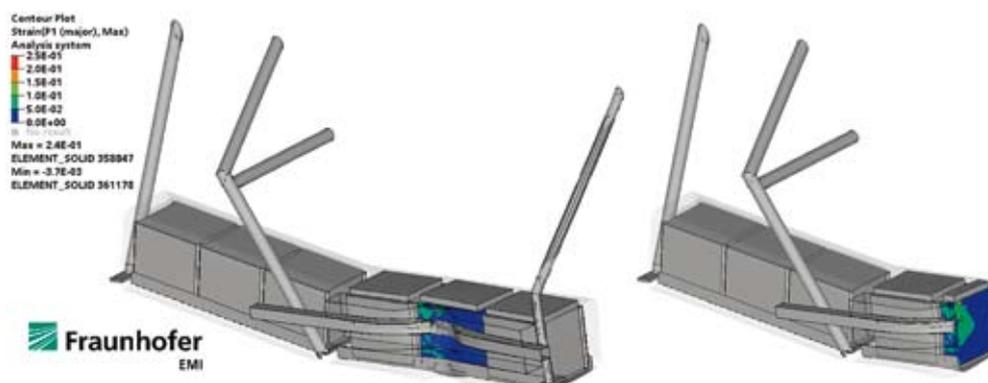


Abb. 1.6-4: Simulation eines Seitenpflaupralls nach EURO NCAP mit Crashabsorber