

Vorteile von Stahl für nachhaltigen Leichtbau

Studie zu CO₂-Bilanz und Gesamtbetriebskosten für eine Tür-Baugruppe

Hintergrund

Fahrzeughersteller stehen ständig vor neuen Herausforderungen. Derzeit verändern Trends wie Globalisierung, Individualisierung und Digitalisierung sowie Werteverchiebungen die Automobilindustrie nachhaltig. Darüber hinaus beeinflussen strengere Vorschriften und gestiegene Kundenerwartungen im Hinblick auf Sicherheit und CO₂-Emissionen das zukünftige Fahrzeugdesign. Mit Emissionen verbindet man in diesem Fall gewöhnlich die bestmögliche Kraftstoffeffizienz für den geringstmöglichen CO₂-Ausstoß pro Kilometer. Hier gilt aus Werkstoffsicht der Leichtbau oft als Schlüsseltechnologie zur Verringerung der Emissionen. Fahrzeugentwickler suchen daher permanent nach Wegen, die Fahrzeugmasse durch alternative Werkstoffe wie Aluminium oder faserverstärkte Kunststoffe zu reduzieren.

Die Leichtbau-Diskussion konzentriert sich aktuell allerdings hauptsächlich auf eine Phase des Fahrzeug-Lebenszyklus: die Betriebsphase. Doch wenn es darum geht, den tatsächlichen Umwelteinfluss eines Fahrzeugs zu messen, müssen noch weitere Phasen von der Fertigung bis hin zum Recycling berücksichtigt werden.

Eine Methode für diese ganzheitliche Messung der Umweltbelastung einzelner Fahrzeugkomponenten ist das Life-Cycle Assessment (LCA). Eine Studie von Tata Steel zeigt, dass alternative Werkstoffe die CO₂-Emissionen in der Betriebsphase reduzieren können. Wegen ihrer Performance in anderen Bereichen wie bei der Herstellung oder beim Recycling sind sie allerdings nicht unbedingt die nachhaltigste Lösung. Außerdem müssen Automobilhersteller weitere Faktoren in ihrer Nachhaltigkeitsstrategie berücksichtigen, wie den zunehmenden

Kostendruck und die spätere Kosteneffizienz für den Endverbraucher. Hier sind niedrige Gesamtbetriebskosten (TCO) entscheidend. Auch eine einfache Fertigung, die globale Verfügbarkeit von Materialien und das Aussehen eines Autos spielen eine große Rolle.


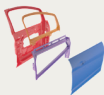


Studienaufbau

Die von Tata Steel durchgeführte Studie vergleicht vier Werkstofflösungen (Bild 1). Bewertet werden nicht nur die CO₂-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus hinweg, sondern auch ihr Leichtbaupotenzial und ihre Erschwinglichkeit. Als Testobjekt wurde eine Tür-Baugruppe von einem Mittelklasse-Fahrzeug gewählt, da es sich um ein gut abgegrenztes Teil handelt, das mit verschiedensten Werkstoffen unter realen Bedingungen und mit gleicher Funktionalität konstruiert werden kann.

Das Referenzmodell basiert auf Stahl. Die Außenhaut besteht aus einem Bake-Hardening-Stahl (BH220), der Innenteil aus Tiefziehstahl (DX56). Der Türträger ist aus warmgeformtem Stahl (22MnB5) gefertigt und der Längsträger wurde aus einem kaltgewalzten höchstfesten Stahl (DP1000) gefertigt. Für die Verstärkungen kommt hochfester, niedriglegierter (HSLA-) Stahl zum Einsatz.

Die drei anderen Konzepte setzen auf andere Werkstofflösungen: Option 1 ist ein fortschrittliches Stahlkonzept, das auch einen Bake-Hardening-Stahl für die Außenhaut verwendet, jedoch mit einer erhöhten Festigkeit (BH260). Der Rahmen besteht aus warmgefertigtem Stahl und die neu gestalteten Innenteile aus maßgeschweißten Formteilen. Damit kommen in diesem Konzept weniger und gleichzeitig festere Teile zum Einsatz.

Bild 1: Übersicht der vier Werkstofflösungen

	Basisstahl	Fortschrittlicher Stahl	Stahl & SMC	Aluminium
				
	Ausgangskonzept mit Basisstahl	Maßgeschweißte Formteile innen Warmgewalzter Rahmen BH260 Außenhaut	Stahl-Innenblech und -Verstärkung kombiniert mit SMC-Außenhaut	Optimiertes Konzept mit Aluminiumblechen und Extrusion 5xxx, 6xxx
Gewicht [kg]	15,8	13,1	13,9	10,9
Gewichteinsparung [%]	ref	17	12	31
Kostenaufwand [€/kg eingespart]*	ref	1,5	3	6
Kostenaufwand [€/gr/km CO ₂ eingespart]*	ref	19	38	75

Das Basisstahlkonzept und drei Alternativen wurden entwickelt, um die Leistungsanforderungen für die jeweiligen Lastfälle wie versetzte und verbogene Türen und Beulsteifigkeit zu erfüllen.

*Abgasemissionen profitieren von Leichtbau; durchschnittlich 8 gr/km CO₂ eingespart / 100 kg Gewichtsreduzierung

Option 2 ist ein Multi-Werkstoff-Konzept, das als Grundlage die gleichen Stähle wie das Referenzmodell verwendet. Ein Teil der Baugruppe wurde allerdings durch Kunststoff ersetzt. So wurden die Türinnenteile und Verstärkungen aus Stahl mit einer Außenhaut aus SMC (Sheet Moulding Compounds) kombiniert.

Option 3 verwendet 5xxx und 6xxx Aluminiumbleche und Extrusionsprofile. In dieser Variante wurden nicht nur die Stahlbleche durch Aluminium ersetzt, sondern das gesamte Design optimiert. Dadurch sollen die spezifischen Anforderungen an die Türkonstruktion unterschiedlicher Lastfälle wie Türverschiebung und Türauslenkung sowie die dynamische und statische Beulsteifigkeit erfüllt werden.

Gewichtseinsparungen

Für alle vier Konzepte haben Ingenieure von Tata Steel das Gewicht der Tür in der Masseneinheit „Kilogramm“ und die prozentuale Gewichtseinsparung bestimmt. Nach der Ermittlung der Umweltbelastungen wurden die Kosten für die Gewichtseinsparung bestimmt. Wie erwartet bieten alle drei neuen Designs im Vergleich zum herkömmlichen Türkonzept aus Stahl Gewichtseinsparungen. Das Multi-Werkstoff-Konzept liefert die geringste Gewichtsreduzierung (12 %), während das fortschrittliche Stahlkonzept um 17 % leichter als das Referenzmodell ist und das Aluminiumkonzept mit 31 % das meiste Gewicht einspart. Aufgrund dieser Ergebnisse werden im Folgenden nur noch die Varianten aus fortschrittlichem Stahl und Aluminium weiter untersucht, obwohl in der vollständigen Studie alle vier Konzepte betrachtet wurden.

Neben den Anforderungen der Türstruktur an Festigkeit und Steifigkeit und den damit verbundenen Gewichtseinsparungen müssen noch weitere Anforderungen bei der Werkstoffauswahl berücksichtigt werden. So kann beispielsweise das NVH-Verhalten der kompletten Aluminiumtür im Vergleich zu Stahlkonstruktionen den Einsatz zusätzlicher Werkstoffe erfordern. Daher können anfängliche Gewichtseinsparungen teilweise wieder eingebüßt werden. Dieser Aspekt wurde für die Bewertung hier nicht weiter berücksichtigt.

Bewertung des CO₂-Lebenszyklus

LCA ist eine standardisierte Bewertungsmethode, die CO₂-Emissionen aus der Werkstoff- und Fahrzeugproduktion, aus der Betriebsphase sowie im Rahmen der Recyclingfähigkeit berücksichtigt (Bild 2). Während sich die Gesetzgebung vor allem auf die Reduzierung von Abgasemissionen in der Betriebsphase konzentriert, erfasst LCA als ganzheitlicher Ansatz alle CO₂-Quellen. Bild 3, die Übersicht über die Voraussetzungen, zeigt, dass die vorliegende Studie günstige Annahmen für Aluminium trifft und damit grundsätzlich positivere LCA-Ergebnisse für die Aluminiumlösungen entstehen.

Bild 2: Ganzheitlicher Ansatz zur CO₂- Reduktion mittels LCA



- Die Abgasemissionen der Autoindustrie haben den größten Einfluss auf die Umwelt
- Die Gesetzgebung soll die Abgasemissionen reduzieren
- Ein ganzheitlicher Ansatz zur Reduzierung der Abgasemissionen muss alle CO₂-Faktoren miteinbeziehen
- LCA ist eine standardisierte Methode zur Messung von CO₂-Emissionen, die in der Material- und Fahrzeugherstellung, Betriebsphase und Recyclingphase entstehen

Betrachtet man die Produktionsphase, dann zeigt sich, dass die Umweltbelastung der Aluminiumproduktion stark durch die Wahl des Strom-Mixes beeinflusst wird. Der Strom-Mix ist wiederum stark von der geographischen Lage abhängig. Jede in der EU hergestellte Aluminium-Bramme erzeugt 11,2 kg CO₂ pro Kilogramm Aluminium. Global ist der CO₂-Ausstoß mit 15,9 kg jedoch noch höher, da die Energie in Europa zu einem großen Teil aus Wasserkraftwerken gewonnen wird und viele Hersteller – speziell in Asien – ihre Energie aus Kohlekraftwerken beziehen. Stahlbrammen erzeugen dagegen nur 1,87 kg CO₂ pro Kilogramm Stahl. Für die Studie wurde die Umweltbelastung der Aluminiumherstellung auf Basis der etwas günstigeren EU-Werte ermittelt. Beim Materialnutzungsgrad, der zeigt, wieviel Werkstoff wirklich im Auto endet und nicht im Fahrzeugherstellungsprozess ausscheidet, sind die gewählten 58 % für Aluminium realistischer als für Stahl. Dessen Nutzungsrate ist tendenziell etwas höher.

In der Betriebsphase wird die Umweltbelastung der Tür-Baugruppe errechnet, indem man die Emissionen des Fahrzeugs ohne die Baugruppe betrachtet. Jedem weiteren Kilogramm für die Tür werden dann zusätzliche CO₂-Emissionen zugerechnet. Sekundäre Gewichtseinsparungen bei Bremsen, Rädern oder kleineren Motoren und ihr Einfluss auf geringere Emissionen werden nicht berücksichtigt. Bei dieser Bewertung sind Kraftstoffeinsparungen durch Gewichtsreduktion ein wichtiger Faktor. Die Kraftstoffverbrauchsdaten basieren auf dem jüngsten Testverfahren WLTP, dem weltweit harmonisierten Zyklus für Leichtbaufahrzeuge. Hier wurde zusätzliches Gewicht zu einem Kompaktklasse-Benzinfahrzeug hinzugefügt, um die Änderung des Kraftstoffverbrauchs zu beurteilen. WLTP ist strenger als der traditionelle EU-Testzyklus NEDC (Neuer Europäischer Fahrzyklus), der zuletzt 1997 aktualisiert wurde.

Bild 3: Übersicht Voraussetzungen

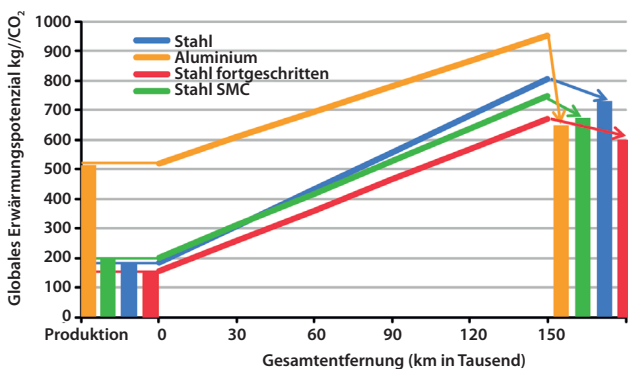
Phase	Kriterien	Wert in der Studie	Skala	
			pro Stahl	pro Aluminium
Produktionsphase	CO ₂ pro kg Stahl	1,87 kg CO ₂ eq/kg	1,87 kg CO ₂ eq/kg Globale Daten	1,87 kg CO ₂ eq/kg EU Daten
	CO ₂ pro kg Aluminium	11,2 kg CO ₂ eq/kg	16,5 kg CO ₂ eq/kg	11,2 kg CO ₂ eq/kg
	Einsatz von Metall	58%	20%	100%
Betriebsphase	Fahrzyklus	WLTP	NEDC	WLTP
	Entfernung	150.000 km	100.000 km	300.000 km
	Kraftstoffeinsparung	Mit Größenanpassung des Motors	Ohne Größenanpassung des Motors	Mit Größenanpassung des Motors
Recyclingphase	Recycling eingeschlossen		nein	ja
	Vorgehensweise	End-of-Life-Recycling	recycelt	End-of Life-Recycling
	Rückgewinnungsrate	90% Stahl 80% andere	50%	100%

Es wurde eine Laufleistung von 150.000 km gewählt, um eine realistische Nutzung und die aktuelle EU-Norm zu repräsentieren. Um den Wert der Kraftstoffreduzierung ermitteln zu können, wurde auch eine Verkleinerung des Motors berücksichtigt, da dieser einen starken Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch hat. Tata Steel hat diese Parameter gewählt, um die Daten so realistisch wie möglich darzustellen.

In der Recyclingphase haben Metalle gegenüber anderen Werkstoffen wie Kunststoffen Vorteile für die gesamte LCA. Um Metalle wiederverwenden zu können, müssen sie geschmolzen werden. Dafür wird weniger Energie benötigt als für die Primärmetallproduktion. Da Stahl auf bis zu 1.300 °C und Aluminium nur auf 650 °C erwärmt werden muss, wird mehr Energie für das Einschmelzen von Stahl benötigt. In Bezug auf die Wiederverwendung von Altmetall können zwei verschiedene Modelle verwendet werden: Recycelte Inhalte und End-of-Life-Recycling. Beim Ansatz „recycelte Inhalte“ geht man davon aus, dass die Umweltbelastung niedriger ist, je mehr Altmetall im Produkt enthalten ist. Dieser Ansatz ignoriert allerdings, dass derzeit fast kein Metall aus Altfahrzeugen für Fahrzeugbleche wiederverwendet wird. Daher wählte Tata Steel für eine konservative Bewertung das End-of-Life-Recycling-Modell, welches die Menge Altmetall berücksichtigt, die aus einem Altfahrzeug tatsächlich für neue Produkte wiederverwendet wird und somit die realistischere Recycling-Praxis widerspiegelt. Die bei der Bewertung eingesetzten Rückgewinnungsraten betragen für Stahl 90 % und für Aluminium 80 %, was die gesamte Rückgewinnung aus Sammlung, Sortierung und Umschmelzung mit einschließt.

Wie bereits erwähnt konzentriert sich die derzeitige Gesetzgebung rein auf die Abgasemissionen. Bild 4 zeigt, dass das globale Erwärmungspotenzial (GWP) der Aluminiumlösung etwas höher ist, als das GWP der fortgeschrittenen Stahllösung (beide knapp über 800 kg CO₂). Somit können die niedrigeren CO₂-Emissionen während der Betriebsphase des Fahrzeugs in Kombination mit dem Erwärmungspotenzial aus dem Recycling die hohen CO₂-Emissionen bei der Produktion des Primärprodukts nicht kompensieren. Der Anstieg der Kurve zeigt die Auswirkungen von Leichtbau in der Betriebsphase. Die Kurve für Aluminium ist niedriger als die Kurve für Stahl. Allerdings wird die reale globale Erwärmung eines Fahrzeugs nicht nur durch seine Betriebsphase, sondern auch durch die Produktionsphase und die Recyclingvorteile bestimmt. Die Betrachtung des vollständigen Lebenszyklus der Komponenten zeigt, dass das fortschrittliche Stahlkonzept die geringsten CO₂-Emissionen verursacht.

Bild 4: Ergebnisse des WLTP Fahrzyklus



Kostenauswirkungen

Während das Gewicht und die CO₂-Einsparungen bei jedem getesteten Konzept variieren und jedes von ihnen in unterschiedlichen Bereichen Vorteile bietet, gibt ein Blick auf die Kosten Auswirkungen den Herstellern einen Hinweis auf die effizienteste Lösung. Das Multi-Werkstoff-Konzept bietet die geringste Gewichtseinsparung (12 %) und bringt dennoch eine relativ hohe Kostensteigerung mit sich – rund 3 € pro eingespartem Kilogramm. Die Gewichtseinsparung ist also nur marginal und durch die höheren Kosten unattraktiv.

Gute Gewichtseinsparungen erzielen dagegen das fortschrittliche Stahlkonzept (17 %) und das Aluminiumkonzept (31 %), wobei letzteres hinsichtlich des deutlich reduzierten Gewichts am besten abschneidet. Betrachtet man jedoch die Umweltbelastung eines Autos über den gesamten Fahrzeuglebenszyklus hinweg, bietet das neue Stahlkonzept mehr Vorteile.

Insgesamt gesehen ist das fortschrittliche Stahlkonzept auch im Hinblick auf die Kosten für den Fahrzeughersteller die bevorzugte Lösung, denn es bietet die beste Balance aus eingespartem Gewicht und dadurch entstehenden Kosten. Während beim Stahlkonzept für jedes eingesparte Kilogramm 1,5 € zu veranschlagen sind, verursacht Aluminium mit 6 € deutlich höhere Kosten.

Zusammenfassung

Stahl ist eine zuverlässige Lösung für die Herausforderung einer nachhaltigen CO₂-Reduktion. Je mehr Technologien zur Verringerung der Abgasemissionen durch die Gesetzgebung vorangetrieben werden, desto geringer wird die Bedeutung der Betriebsphase für die Gesamtmweltbelastung durch Autos. Daher können die Vorteile von Aluminium in diesem Bereich nicht seine Nachteile in anderen Lebenszyklusphasen kompensieren. Das Life-Cycle Assessment (LCA) zur ganzheitlichen Messung der Umweltbelastung wird daher immer wichtiger. Die Studie zeigt, dass das fortschrittliche Stahlkonzept in Bezug auf Treibhausgase die geringste Umweltbelastung über den Fahrzeuglebenszyklus hinweg verursacht, unabhängig vom Testzyklus, und dass Stahl dank seiner Vorteile in der Produktions- und Recyclingphase ein erschwinglicher Leichtbau-Werkstoff ist.



www.tatasteeleurope.com

Tata Steel

Automotive

Postfach 10.000

1970 CA IJmuiden

Niederlande

connect.automotive@tatasteel.com

www.tatasteeleurope.com/de/automotive

AM0216:1250:DE:0617

Die in diesem Dokument enthaltenen Informationen wurden auf ihre Exaktheit hin geprüft. Tata Steel Europe Limited und ihre Tochtergesellschaften übernehmen jedoch keine Verantwortung bzw. Haftung für Fehler oder Informationen, die sich als irreführend herausstellen.

Tata Steel Europe Limited ist in England unter der Nummer 05957565 und mit Sitz an der Anschrift 30 Millbank, London, SW1P 4WY, im Handelsregister eingetragen.

Copyright 2017
Tata Steel Europe Limited