



Systematische Untersuchung der technologischen Marktentwicklung im Karosseriebau

Diplomarbeit

von

Hannes Kröss

Betreuer:

Univ. Prof. Dr.-Ing. Ralf Kolleck

Dipl.-Ing. Wolfgang Weiß

Graz im Dezember 2010

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....

(Unterschrift)

Danksagung

Abschluss und Aufbruch, beides stellt die Diplomarbeit für einen Studenten dar. Einerseits das Ende und damit Höhepunkt seiner bisherigen Ausbildung, andererseits den Aufbruch und den Neuanfang für weitere Entwicklungen. Bevor neue Ziele ins Visier genommen werden, möchte ich diese Stelle meiner Diplomarbeit all jenen Menschen widmen, welche mir während der Umsetzung dieser Arbeit sowie des gesamten Studiums unterstützend zur Seite standen.

An erster Stelle möchte ich einen besonderen Dank an das gesamte Institut für Werkzeugtechnik und Spanlose Produktion sowie das Unternehmen Magna Cosma Int. richten. Erst durch die Zusammenarbeit dieser beiden Stellen wurde diese Diplomarbeit ermöglicht.

Im Besonderen hervorheben möchte ich hierbei Herrn Univ. Prof. Dr.-Ing. Ralf Kolleck, betreuenden Professor und Vorstand des Instituts, sowie meinen unmittelbaren Betreuer Universitätsassistent Dipl.-Ing. Wolfgang Weiß. Die ausgezeichnete fachliche und persönliche Betreuung trugen maßgeblich zum erfolgreichen Abschluss der Arbeit bei. Auch Herrn Universitätsassistent Dipl.-Ing. Robert Veit gilt besonderer Dank für die Einbringung wegweisender Anregungen.

Auf Seiten des Unternehmens Magna Cosma möchte ich mich im Speziellen bei Herrn Mag. Roland Prettner bedanken. Die professionelle Zusammenarbeit und kompetenten Ratschläge waren sehr hilfreich zur Komplettierung der Arbeit.

Nicht zuletzt möchte ich meinen tiefsten Dank an meine Familie richten. Insbesondere meinen Eltern gilt für die unermüdliche Unterstützung in jeglicher Hinsicht, sowie dem unumstößlichen Rückhalt aufrichtigster Dank. Meiner Freundin Eva Trebo möchte ich für die treue Unterstützung während des Studiums und das aufgebrachte Verständnis für die Entbehrungen in dieser Zeit herzlich danken.

Kurzfassung

Die Karosserie des Automobils verbindet Ästhetik mit Funktion und ist somit Bindeglied zwischen Technik und Emotion. Trotz dieser Bedeutung ist für den Konsumenten der Aufbau und die Bauweise der Karosserie nicht kaufentscheidend. Design, Sicherheit und Funktion entscheiden über den Erfolg des Produkts und rücken den Aufbau des Automobils in den Hintergrund. Für Konstrukteure und Planer sind die Eigenschaften der Karosserie jedoch grundlegend. Die Rahmenbedingungen wie Werkstoff, Fertigungsverfahren und Halbzeuge bestimmen den Fortschritt in diesem Bereich. Nachdem Stahl für viele Jahre das Material der Wahl war, drängen vermehrt alternative Werkstoffe in den Fokus. Leichtmetalle wie Aluminium und Magnesium, innovative Kunststoffe und fortschrittliche Verbundmaterialien greifen die Vorherrschaft von Stahl an. Unterstützt durch erhöhte Sensitivität des Konsumenten im Hinblick auf Umweltverträglichkeit und Ressourcenschonung, gewinnen Themen wie Leichtbau und Energiebilanz an Bedeutung.

Ziel der Arbeit ist die Untersuchung dieser Tendenzen im Bereich des Karosseriebaus. Eine detaillierte Darstellung von Werkstoffen, Fertigungsverfahren und Halbzeugen soll das Potential der einzelnen Elemente ausdrücken. Mithilfe einer umfangreichen Literaturrecherche, dem Besuch von Fachsymposien, der Studie von Konferenz- und Tagungsunterlagen sowie der Analyse einzelner Unternehmensnachrichten soll ein Bild geschaffen werden, welches einen Ausblick auf die zukünftigen Entwicklungen gibt. Zur detaillierten Analyse werden die Themengebiete aufgespalten und jedes Element mittels standardisierter Fragen untersucht. Eine SWOT Analyse bildet den zusammenfassenden Abschluss der Erhebung.

Abstract

The car body combines aesthetic and function, therefore it is the link between technology and emotion. In contrast, for the customer the structure of the car body is not the key aspect for the purchase of a car. Design, safety and comfort affect the success of a product and push the body design into the background. For the engineers the properties of the car body are fundamentally important, instead. Materials production processes and semi-finished products determine the progress of the automobile industry. For many years steel was the material of choice but alternative materials like aluminum, magnesium, or innovative plastics have greatly gained in importance. Supported by the raise in sensitivity for environmental compatibility and sustainability, topics like lightweight design and energy balance are gaining importance. The aim of this research is the analysis of these tendencies and the impact on the car body. An accurate appraisal of different materials, production methods and semi-finished products should show the potential of each method. An extensive literature research, the analysis of conference records and the collection of selected enterprise publications leads to an outlook for the future of car body design. The different topics are split up in single elements and each is analyzed on the basis of standardized questions. A SWOT analysis completes the research.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Das Unternehmen Magna Cosma Int.....	1
1.2	Ausgangssituation	2
1.3	Aufgabenstellung/ Projektausschreibung	2
1.4	Forschungsziel	3
1.5	Vorgehensweise.....	3
1.5.1	Gliederung der Fertigungsverfahren	4
1.5.2	Gliederung der Werkstoffe.....	5
2	Stand der Technik.....	6
2.1	Karosseriebauweisen	6
2.1.1	Selbsttragende Karosserie (Schalenbauweise)	6
2.1.2	Space Frame Technologie	7
2.1.3	Hybrid Bauweise / Multi Material Bauweise	7
2.1.4	Mittragender Aufbau.....	8
2.1.5	Gitterrohrrahmen	8
2.1.6	Monoquoce	8
2.1.7	Rahmenaufbau.....	8
2.2	Leichtbau.....	8
2.2.1	Kosten des Leichtbaus	11
2.3	Energie- und Umweltbetrachtungen.....	14
2.4	Sonstige relevante Rahmenbedingungen	17
3	Fertigungsverfahren.....	18
3.1	Metalle	18
3.1.1	Tiefziehen	18
3.1.2	Warmumformung	20
3.1.3	Hydroformen.....	22
3.1.4	Rollformen	24
3.1.5	Strangpressen	25
3.1.6	Druckguss	27
3.2	Kunststoffe	29
3.2.1	Spritzgießen	29
3.2.2	RTM/SMC.....	31

4	Werkstoffe	33
4.1	Metalle	35
4.1.1	Stahl	35
4.1.2	Edelstahl	46
4.1.3	Aluminium	49
4.1.4	Spezielle Aluminium Legierungen	60
4.1.5	Magnesium	61
4.1.6	Spezielle Metalle.....	68
4.2	Kunststoffe	69
4.2.1	Unverstärkte Kunststoffe.....	70
4.2.2	Glasfaser- verstärkte Kunststoffe (GFK)	74
4.2.3	Carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK).....	80
4.2.4	Naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK)	90
4.2.5	Kunststoffe mit speziellen Verstärkungsfasern	96
5	Halbzeuge	97
5.1	Schäume	97
5.1.1	Metallschäume.....	97
5.1.2	Kunststoffschäume.....	98
5.2	Sandwich Halbzeuge.....	98
5.3	Tailored Produkte.....	100
6	Auswertung	102
6.1	Zusammenfassende SWOT Analyse	102
6.2	Trends & Case Studies	104
6.2.1	Stahl-Schalenbauweise/Tiefziehen	106
6.2.2	Warmumformung	107
6.2.3	Aluminium	108
6.2.4	Druckguss	109
6.2.5	Carbonverstärkter Kunststoff	110
7	Ausblick und Empfehlungen	111
8	Abkürzungsverzeichnis	113
9	Abbildungsverzeichnis	114
10	Tabellenverzeichnis.....	116
11	Literaturverzeichnis.....	117

1 Einleitung

Design, Sicherheit, Leichtbau – die Karosserie war schon immer Mittelpunkt und Augenfänger des Automobils. War in den vergangenen Jahrzehnten das Design das ausschlaggebende Kriterium, rücken immer mehr die inneren Werte in den Vordergrund. Den Anfang machte die Sicherheit, welche für die Konsumenten immer wichtiger wurde und die Karosserie veränderte. In den letzten Jahren rückte die Diskussion über den globalen Schadstoffausstoß in den gesellschaftlichen Fokus und damit verbunden auch das Thema Leichtbau. Diese Diskussion bringt vor allem auch Veränderungen des Antriebskonzeptes mit sich und hat damit Auswirkungen auf die gesamte traditionelle Bauform. Doch in welche Richtung verläuft die Evolution des Karosseriebaues oder steht sogar eine Revolution bevor? Die Veränderung des Antriebs ist tatsächlich ein grundlegender Wechsel, welchen es noch nie zuvor im Karosseriebau gegeben hat. Wenn im Zuge dessen Änderungen der Karosseriebauform vollzogen werden, besteht auch die Möglichkeit die Werkstoffe von Grund auf zu ändern. Damit stünde tatsächlich die Revolution an. BMW versucht mit dem Megacity Vehicle genau diesen Umsturz und verbindet den batterieelektrischen Antrieb mit einer Karosserie aus carbonfaserverstärktem Kunststoff.

Innere Werte rücken in den Fokus

Themen wie Emissionen und Ressourcenschonung gewinnen an Bedeutung

Die Diplomarbeit hat die Untersuchung dieser Entwicklungen zum Ziel, um festzustellen wie radikal die Evolution von statten geht und in welche Richtung diese abläuft. Konkret wird für das Unternehmen Magna Cosma Int. eine Trendanalyse durchgeführt, in der die unterschiedlichen Fortschritte gegliedert werden und auf das Potential untersucht werden. Ein Vorschlag für eine mögliche strategische Ausrichtung der Unternehmung bildet den Abschluss dieser Aufgabe.

In welche Richtung entwickelt sich der Karosseriebau

1.1 Das Unternehmen Magna Cosma Int.

Das Unternehmen Magna Cosma International ist Teil des austrokanadischen Magna International Konzerns, einer Unternehmensgruppe im Bereich der Automobilzulieferindustrie. Magna International ist weltweit eines der bedeutendsten Unternehmen in dieser Branche und betreibt über 240 Standorte in 25 Ländern. Über 90.000 Mitarbeiter arbeiten für das Unternehmen und generierten im Jahr 2009 einen Umsatz von 17 Milliarden Dollar.

Das Unternehmen Magna Cosma Int.

90.000 Mitarbeiter und 17 Milliarden Dollar Umsatz

Unter Magna Cosma International sind die Bereiche Blechumformung und Karosseriebau innerhalb des Magna Konzerns zusammengefasst. Dabei fertigt das Unternehmen nicht nur Blechteile oder Baugruppen, sondern bietet auch die komplette Rohfertigung von Fahrzeugkarosserien an. Die Geschäftsbereiche von Magna Cosma werden regional unterteilt

in Nordamerika, Europa und Asien. Magna Cosma Europe unterhält neun Engineering Niederlassungen sowie elf Fertigungsstandorte in ganz Europa. Kunden sind alle namhaften Fahrzeugproduzenten.

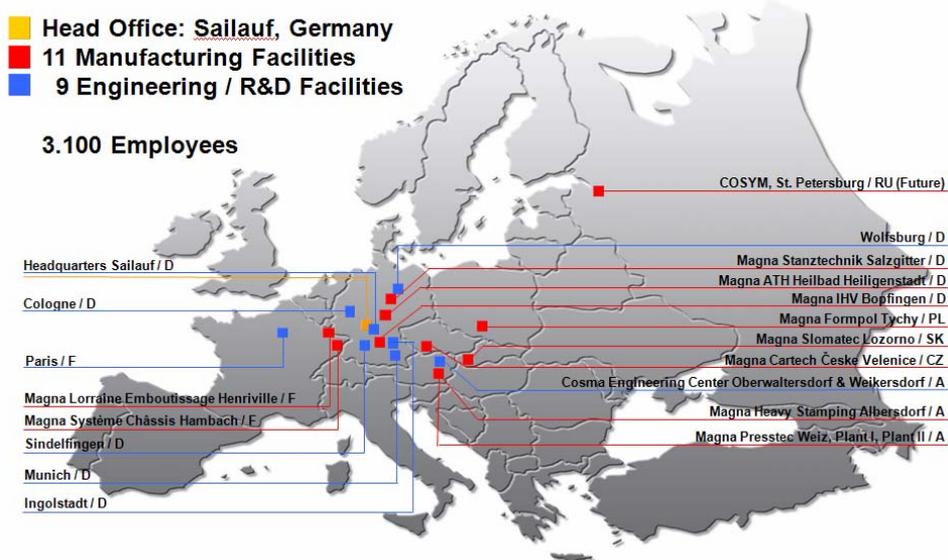


Abbildung 1 Magna Cosma Int. in Europa (1)

1.2 Ausgangssituation

Die Entwicklungen im internationalen Fahrzeugbau beschleunigten sich in den letzten Jahren zusehens und im gleichem Maße auch die Anforderungen an die Unternehmen. Um langfristige Perspektiven zu eröffnen, sowie effiziente Mittel zur strategischen Planung zu Grunde legen zu können, wurde von Magna Cosma Int. der Auftrag an T&F zur Verfassung einer Studie in Auftrag gegeben. Ziel dieser Studie ist die Erkennung von langfristigen Trends im Karosseriebau und die damit verbundenen Auswirkungen auf das Unternehmen.

Studie in Zusammenarbeit von Magna Cosma und T&F

1.3 Aufgabenstellung/ Projektausschreibung

Im Frühsommer 2010 trat das Unternehmen Magna Cosma Int. an T&F heran, um die Machbarkeit einer Studie zur Untersuchung zukünftiger Trends im Karosseriebau zu besprechen. Im Detail sollten die in den letzten Jahren in unterschiedlichste Richtungen vorangeschrittenen Tendenzen strukturiert begutachtet und auf das Potential untersucht werden. Die unterschiedlichen Entwicklungen auf Ebene der Werkstoffe, auf Ebene der Bauweisen sowie auf Ebene der Fertigungsverfahren führten zu einer Vervielfältigung der Lösungsmöglichkeiten. Um die komplexen Zusammenhänge aufzuschlüsseln und damit eine Orientierungsgrundlage zur weiteren strategischen Ausrichtung des Unternehmens zu erlangen wurde eine Diplomarbeit mit

Unterteilung der Arbeit in drei Teilbereiche

diesem Inhalt ausgeschrieben. Gemäß den Anforderungen des Unternehmens wurde die Arbeit in drei Teilbereiche unterteilt:

- Erhebung des Technologiestandes

*Erhebung des
Technologiestandes*

In dieser Phase soll das aktuelle Produktionsportfolio, die angewandten Technologien sowie die Kunden des Unternehmens Magna Cosma Int. erhoben werden.

- Technologieentwicklung

Technologieentwicklung

Basierend auf den aktuell verwendeten Technologien sollen mögliche Substitutionstechnologien erhoben und auf deren Potential untersucht werden. Mithilfe verschiedenster öffentlich zugänglicher Quellen, darunter aktuellen Forschungsergebnissen, Konferenzbänden sowie Forschungsdatenbanken, soll der aktuelle Stand der Technik abgebildet und zukünftiges Potential erhoben werden.

- Zusammenführung der Informationen

*Zusammenführung der
Informationen*

Im letzten Schritt sollen die Erkenntnisse aus den beiden vorhergehenden Punkten zusammengefasst und eine Synthese gebildet werden. Mithilfe geeigneter Werkzeuge soll der Ausblick konkretisiert und nachvollziehbar gemacht werden. Konkrete Vorschläge für eine mögliche strategische Ausrichtung des Unternehmens sollen den Abschluss bilden.

1.4 Forschungsziel

Ziel der Arbeit ist ein konkreter Ausblick in die Zukunft des Automobilbaus mit Fokus auf die Entwicklungen der Karosserie. Aktuell absehbare Trends sollen vom technischen Blickwinkel betrachtet werden und die Potentiale und Risiken verschiedener Technologien untersucht werden. Des Weiteren soll mithilfe geeigneter Werkzeuge ein objektiver Ausblick gegeben werden, welche Technologien in den kommenden Jahren von Bedeutung sein werden. Der Bericht soll die genaue Vorgehensweise dokumentieren, Annahmen und Ausblicke nachvollziehbar darstellen und damit die Nutzbarkeit für zukünftige Projekte zu garantieren.

Forschungsziel

1.5 Vorgehensweise

Zur Erarbeitung der Aufgabenstellung wurde die Diplomarbeit, basierend auf dem Konzept der Projektausschreibung, in drei Teile unterteilt. In der ersten Phase wird der aktuelle Technologiestand im Karosseriebau sowie das aktuelle Technologie- und Produktionsportfolio von Magna Cosma untersucht. Im zweiten Schritt wird auf die Technologieentwicklung im Allgemeinen eingegangen. Dazu wird eine Literaturstudie durchgeführt, welche

*Gliederung der Aufgaben
analog zur
Projektausschreibung*

auf verschiedenste öffentliche Quellen beruht. Im dritten Schritt werden die Erkenntnisse aus den vorhergehenden Punkten zusammengeführt und konkrete Schlussfolgerungen gezogen. Nachfolgend die detaillierte Aufstellung der Vorgehensweise.

Technologiestand

- Auf Basis der Daten von Magna Cosma Int. Erarbeitung eines Überblicks über die aktuelle Situation des Unternehmens

Konkrete Aufgabenplanung mit Definition der Arbeitsschritte

Technologieentwicklung

- Identifizierung der grundlegenden Möglichkeiten und Trends (Werkstoffe, Fertigung)
- Erarbeitung des theoretischen Hintergrunds
- Gliederung und Strukturierung der Aufgabenstellung
- Recherche von aktuellen Entwicklungen und Forschungsbemühungen auf Basis von aktuellen Nachrichten, Konferenzbesuchen, Tagungsunterlagen usw.
- Auswertung der Publikationen; Zusammenfassung der relevanten Aussagen
- Zusammenfassung und Auswertung

Zusammenführen der Informationen

- Zusammenfassende Übersichtsdarstellung der Ergebnisse
- Erarbeitung eines Ausblicks und Potentialabschätzung

Als Basis für die Untersuchung und um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu garantieren, wurde die SWOT Analyse als zentrales Werkzeug gewählt. Diese wird für jedes Untersuchungsfeld angewandt und ermöglicht eine übersichtliche Zusammenfassung als Abschluss. Die SWOT Analyse an sich ist eine tabellarische Auflistung der Stärken, Schwächen, Gefahren und Chancen des Analyseobjekts. Die Stärken und Schwächen können dabei auch als derzeitige Situation, die Chancen und Gefahren als Ausblick in die Zukunft betrachtet werden.

SWOT Analyse als zentrales Werkzeug

1.5.1 Gliederung der Fertigungsverfahren

Die Fertigungsverfahren des Karosseriebaus sollen in einem Überblick dargestellt werden und basierend auf normierten Fragen untersucht werden. Als Einleitung und Überblick werden die Grundlagen des einzelnen Verfahrens besprochen und auf die Vor- und Nachteile eingegangen. Des Weiteren sollen mögliche Varianten erläutert werden. Abschließend wird mithilfe der SWOT Analyse auf die gegenwärtige Situation und den Ausblick des

Definition standardisierter Fragen

Fertigungsverfahren eingegangen. Im Detail werden die Fertigungsverfahren nach folgenden Fragestellungen vertieft.

- Welche Vor- und Nachteile weist [Fertigungsverfahren] auf?
- Welche Varianten von [Fertigungsverfahren] werden derzeit eingesetzt?
- Welche Stärken (Schwächen, Chancen, Gefahren) zeichnen [Fertigungsverfahren] aus?

*Standardfragen
Fertigungsverfahren*

1.5.2 Gliederung der Werkstoffe

Um die engen Zusammenhänge und Wechselwirkungen der einzelnen Werkstoffe strukturiert durcharbeiten zu können, sowie eine übersichtliche und dennoch detaillierte Wiedergabe der ermittelten Daten zu gewährleisten, wurden fünf Standardfragen definiert. Diese Fragen gehen auf die grundsätzlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften eines Werkstoffes ein, weisen auf die derzeitigen Einsatzgebiete des Materials hin und gehen auf geeignete Formgebungsverfahren ein. Ausführlich wird die aktuelle Forschung betrachtet, die gemachten Fortschritte hinterfragt und die wesentlichen Beteiligten dokumentiert. Eine SWOT Analyse fasst die grundsätzlichen Voraussetzungen tabellarisch zusammen, bevor im letzten Schritt der Ausblick für den spezifischen Werkstoff gegeben wird. Eine Auflistung der ausformulierten Fragen wird nachfolgend dargestellt:

- Welche Vor- und Nachteile weist [Werkstoff] im Hinblick auf den Karosseriebau auf?
- Wie wird [Werkstoff] im Karosseriebau derzeit eingesetzt?
- Wie können Karosseriebauteile aus [Werkstoff] geformt werden?
- Welche Forschung wird auf dem Gebiet des [Werkstoff] – Karosseriebaus betrieben und mit welchen Ausrichtungen und Zielen?
- Welche Stärken (Schwächen, Chancen, Gefahren) hat [Werkstoff] im Karosseriebau?
- Ausblick für [Werkstoff] im Karosseriebau

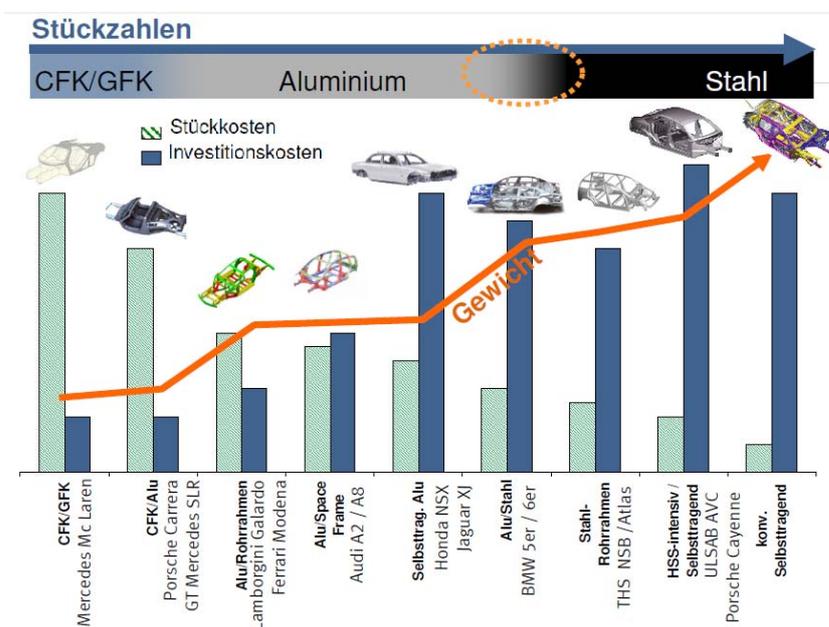
Standardfragen Werkstoffe

2 Stand der Technik

2.1 Karosseriebauweisen

Obwohl die Karosseriebauweise in der Regel wenig bis keinen Einfluss auf die Kaufentscheidung des Konsumenten hat, ist die Bauform entscheidend für wesentliche Konstruktionsmerkmale des gesamten Fahrzeuges. Serienkarosserien heutiger Fahrzeuge sind im höchsten Maße optimiert, um optimale Fertigungsbedingungen bei niedrigen Kosten zu garantieren. Einen Überblick über aktuelle Bauweisen, besonders im Hinblick auf die Kosten und das Gewicht, bietet Abbildung 2. Im Folgenden wird auf die wichtigsten Varianten näher eingegangen.

Karosseriebauweise für den Konsumenten zweitrangig



Karosseriebauweisen im Zielkonflikt Kosten-Gewicht

Abbildung 2 Karosseriebauweisen im Zielkonflikt Kosten-Gewicht (2)

2.1.1 Selbsttragende Karosserie (Schalenbauweise)

Die Schalenbauweise hat sich seit mehreren Jahrzehnten bewährt und ist auch heute die mit Abstand meist angewandte Technik zur Fertigung von Fahrzeugen. Grundmaterial ist dabei Stahl, aber auch die Aluminiumbauweise ist möglich. Die Mehrzahl der Bauteile wird aus Blech gefertigt, welches in Form von Coils angeliefert und durch verschiedene Umformprozesse in die gewünschte Form gepresst wird. Der größte Teil der Fahrzeuge besteht aus Stahlwerkstoffen in unterschiedlichsten Qualitäten. Besonders in den letzten Jahren hat die Verwendung von hoch- und höherfesten Stählen stark zugenommen. Diese Art des Fahrzeugbaus hat sich für große Serien bestens bewährt und wurde soweit optimiert, dass die Schalenbauweise die aktuell technologisch und wirtschaftlich beste Lösung darstellt. (3)

Schalenbauweise ist überlegener Marktführer

Schalenbauweise ist sehr wirtschaftlich

2.1.2 Space Frame Technologie

Diese Methode um Fahrzeuge zu bauen beruht darauf, dass ein dreidimensionales Netz aus geraden und gebogenen Profilen gebaut wird. Besonders bei Aluminium Space Frame werden diese Profile meist im Strangpress-Verfahren hergestellt. Die Profile werden an Knotenpunkten verbunden, welche meist mittels Druckguss gefertigt werden. Auf diesem Gerüst werden alle Aggregate und Schalen befestigt. Space Frame Technologien können grundsätzlich sowohl aus Stahl, als auch aus Aluminium verwirklicht werden. Auch bei der Verwendung von Stahl ergibt sich gegenüber der Schalenbauweise ein Gewichtsvorteil. Nachteilig wirkt sich der schwierige Automatisierbarkeit aus. (3)

Space Frame Technologien bauen auf ein 3-dimensionales Netz aus Profilen auf

Vorreiter auf dem Gebiet der Aluminium Space Frame Technologie ist Audi. Der Hersteller produziert das Spitzenmodell A8 bereits in dritter Generation mithilfe dieser Technologie. Merkmale dieser Technologie sind die hohen Steifigkeiten bei gleichzeitig geringem Gewicht. Moderne Supersportwagen wie Mercedes SLS, Ferrari Modena oder Audi R6 verfügen über ein Aluminium Space Frame. Die Technologie ist besonders bei kleinen und mittleren Serien wirtschaftlich, da weniger Investitionen nötig sind. (siehe Abbildung 2)

Audi ist Vorreiter der Space Frame Technologie

2.1.3 Hybrid Bauweise / Multi Material Bauweise

In diesen Bauweisen wird auf verschiedenste Materialien und Materialgütern zurückgegriffen, um für jedes Bauteil optimale Eigenschaften erlangen zu können. Diese Trends hin zu immer spezielleren Werkstoffen ist in den vergangenen Jahren vermehrt zu beobachten. Besonderes Augenmerk bei Anwendung dieser Technologien ist auf die Fügetechniken zu legen. Da sich nicht alle Materialien verschweißen lassen, treten vermehrt mechanische Fügeverfahren sowie Kleben in den Vordergrund. Problematisch sind Mehr-Material Bauweisen auch im Hinblick auf Korrosion.

Hybridbauweisen und Multi Material Bauweisen vereinen die Vorteile verschiedener Werkstoffe

Die darstellbaren Kombinationen sind aufgrund der extremen Vielfalt an Werkstoffen fast unbegrenzt. Aus diesem Grund bringen Hersteller und Zulieferer immer wieder neue Mischbauweisen auf den Markt, welche für bestimmte Aufgaben optimiert wurden. Beispielsweise setzt Jaguar für das Modell XJ eine B-Säule aus einer dreifach Kombination ein. Das Bauteil ist dabei aus einem hochfesten Stahl (DP 800) zum Erreichen der benötigten Festigkeit, Glasfaser verstärktes Polyamid zur Erhöhung der Steifigkeit sowie expandierenden Strukturkleber zur Verbindung und dem Dehnungsausgleich aufgebaut. (4)

Vielfältigste Kombinationen möglich

2.1.4 Mittragender Aufbau

Bei einer mittragenden Karosserie werden die Außenhaute auf eine selbsttragende Karosserie aufgesetzt. Im Vergleich zur Schalenbauweise ergibt sich ein Gewichtsvorteil. Diese Bauvariante stellt ein Nischenprodukt dar und hat geringe Bedeutung.

2.1.5 Gitterrohrrahmen

Gitterrohrrahmen wurden vor allem bei älteren Sportwagen eingesetzt. Die Fertigung ist aufgrund der vielen einzelnen Stäbe kompliziert und arbeitsintensiv. Mittlerweile wird diese Technologie nur mehr von Nischenanbietern für sehr spezielle Fahrzeuge angewandt. Gegenüber der selbsttragenden Bauweise ergibt sich jedoch ein erheblicher Gewichtsvorteil.

Gitterrohrrahmen waren bei älteren Sportwagen verbreitet

2.1.6 Monoquoe

Die aus der Formel 1 stammende Technik kommt nur bei Supersportwagen zum Einsatz. überragende Eigenschaften bei Steifigkeit und Crashesicherheit stehen einem sehr hohen Preis gegenüber. Bekannteste Beispiele für die Anwendung dieser Technologie sind der Porsche GT1 oder der Mercedes SLR. Durch die hohen Fertigungskosten bedingt aufgrund der Werkstoff- und Arbeitskosten, sind nur derartig hochpreisige Sportwagen wirtschaftlich darstellbar. Dafür bietet die Technik hohe Steifigkeiten und bestmöglichen Insassenschutz.

Monoquoe bietet höchste Steifigkeit und Insassenschutz

2.1.7 Rahmenaufbau

Dabei wird die Karosserie auf einen massiven Rahmen gesetzt, welcher alle Aggregate aufnimmt. Verwendung findet diese Technologie nur mehr vereinzelt bei Geländewagen. Im Nutzfahrzeugbereich ist diese Technologie Stand der Technik.

2.2 Leichtbau

Lange Zeit war das Thema Leichtbau im Automobilbau für den Konsumenten nur sehr wenig präsent. Der Ruf des Marktes nach größeren Fahrzeugen, höherer Sicherheit und mehr Komfort bei gleichzeitig niedrigen Kraftstoffpreisen ließ die Fahrzeuge im Laufe der Jahre deutlich im Gewicht wachsen. In den letzten Jahren trat der Spar- und Umweltgedanke vermehrt in das Wertegeruge des Konsumenten ein. Obwohl Konstrukteure das Thema Leichtbau schon seit einigen Jahrzehnten intensiv weiterentwickeln und einzig dadurch die Gewichtsspirale im Zaum gehalten werden konnte, ist das Thema Leichtbau damit auch in der Öffentlichkeit angekommen.

Leichtbau wird auch ein Thema für den Konsumenten

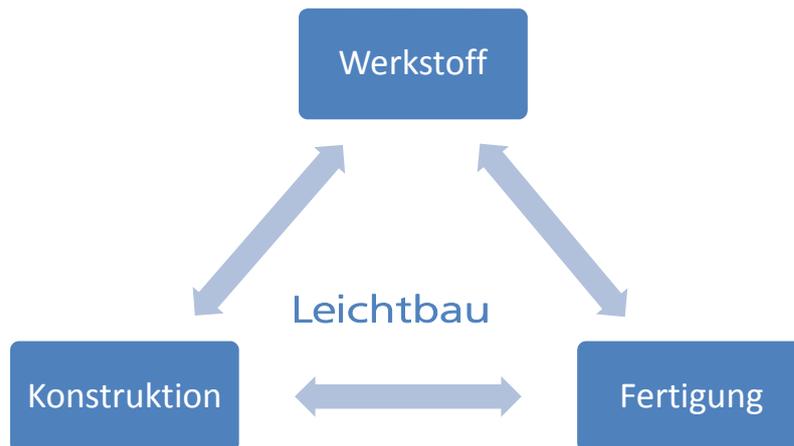


Abbildung 3 Leichtbau

Im Wesentlichen kann Leichtbau in die drei großen Themen Konstruktions-, Werkstoff- sowie Fertigungsleichtbau unterteilt werden. Der Werkstoff spielt dabei im Hinblick auf den Karosseriebau eine zentrale Rolle. Aufgrund der technischen Voraussetzungen, aber insbesondere dem Preis, welcher bei den vergleichsweise hohen Stückzahlen einen bedeutenden Einfluss hat, beeinflusst der Werkstoff wesentlich den Fortschritt. Jahrzehntlang war Stahl der zentrale Werkstoff, wird in letzter Zeit jedoch vermehrt von Alternativen bedrängt. In Gleichschritt kommen neue Bauweisen hinzu, welche der traditionellen Stahl Schalenbauweise konkurrierend entgegenreten. Die Fertigungstechnik rundet den Einfluss ab. Obwohl auf diesem Gebiet die wohl breitesten Fortschritte vollzogen wurden und damit unzählige Detailverbesserungen durchgeführt werden konnten, haben sie nicht dermaßen gravierenden Einfluss auf den Karosseriebau.

Die hohe Bedeutung von Leichtbau wird ersichtlich, wenn die Fahrwiderstände eines Fahrzeuges im Detail betrachtet werden. Wie Abbildung 4 anschaulich darstellt, können die Widerstände in Roll-, Beschleunigungs-, Steigungs- und Aerodynamikwiderstand eingeteilt werden. Bis auf Letzteren geht in alle Widerstände die Masse als bedeutender Faktor ein. Damit wird auch klar, dass im Besonderen bei kleinen Geschwindigkeiten (der Aerodynamische Widerstand ist aufgrund der quadratischen Abhängigkeit von der Geschwindigkeit nur bei höherer Geschwindigkeit bedeutend) die Masse der bedeutendste Einflussfaktor ist.

Einteilung des Leichtbaus:

- Konstruktions-
- , Werkstoff- und
- Fertigungsleichtbau

Fahrwiderstand des Fahrzeuges:

- Rollwiderstand
- Beschleunigungswiderstand
- Steigungswiderstand
- Aerodynamikwiderstand

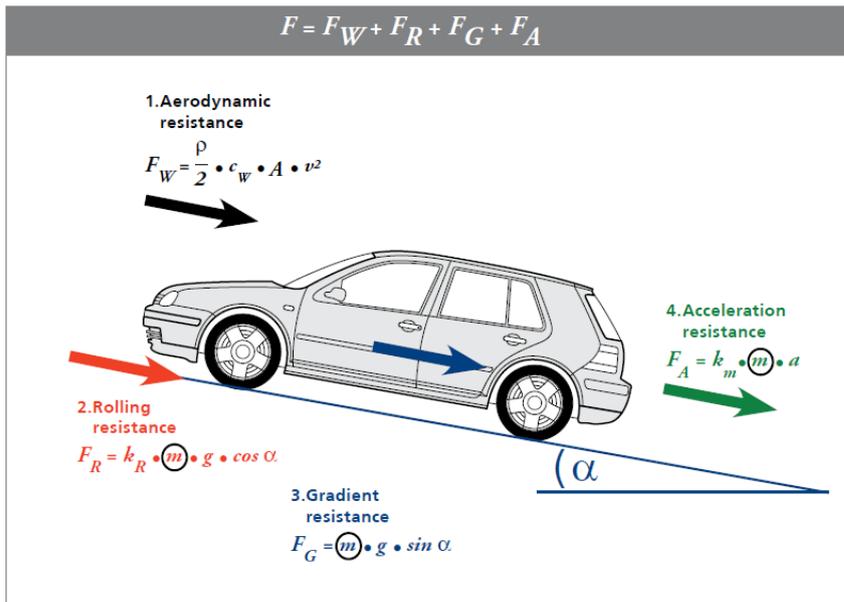


Abbildung 4 Fahrwiderstände Automobil (5)

Die hohe Bedeutung des Leichtbaus wird auch im Hinblick auf Sekundäreffekte weiter unterstrichen. Diese Effekte, weitläufig bekannt als negative Gewichtsspirale (siehe Abbildung 5), bewirken, dass bei Ansteigen des Karosseriegewichts weitere Gewichtserhöhungen nötig sind, um gleiche Funktion beizubehalten. Beispielsweise muss bei erhöhtem Karosseriegewicht ein stärkerer und schwererer Motor eingebaut werden um gleiche Fahrleistungen zu garantieren oder Federn und Bremsen müssen verstärkt werden. Dies resultiert in einer Erhöhung des Gesamtgewichtes von bis zu 16 Prozent für jedes Kilogramm Mehrgewicht in der Karosserie. Nachdem diese Spirale in den letzten Jahren stark gebremst bzw. bei einzelnen Fahrzeugen bereits umgekehrt werden konnte, wirkt sich dieser Effekt auch auf die Gewichtsreduktion aus. Vor dem Hintergrund, dass ein Fahrzeug bei einem Mindergewicht von 100 Kilogramm 0,3-0,6 Liter je 100 Kilometer sparen kann, ist eine Verminderung sowohl wirtschaftlich als auch aus Sicht der Umwelt sinnvoll. (6)

Negative Gewichtsspirale

16 Prozent Sekundäreffekte

0,3 - 0,6 Liter Kilometer Treibstoffersparnis je 100 bei 100 kg Mindergewicht

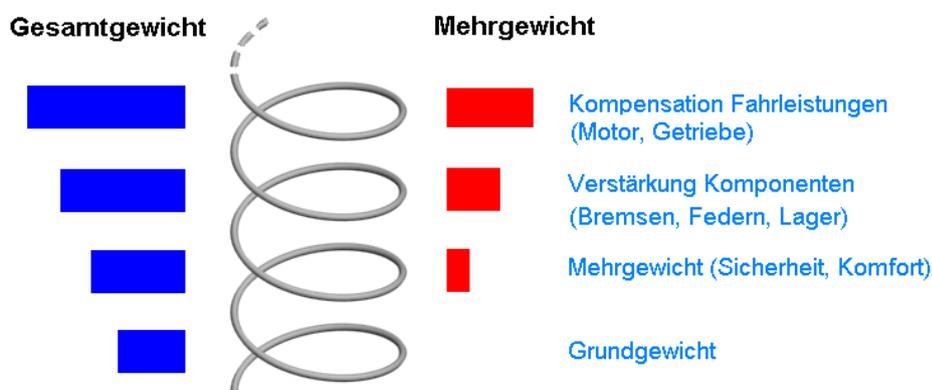
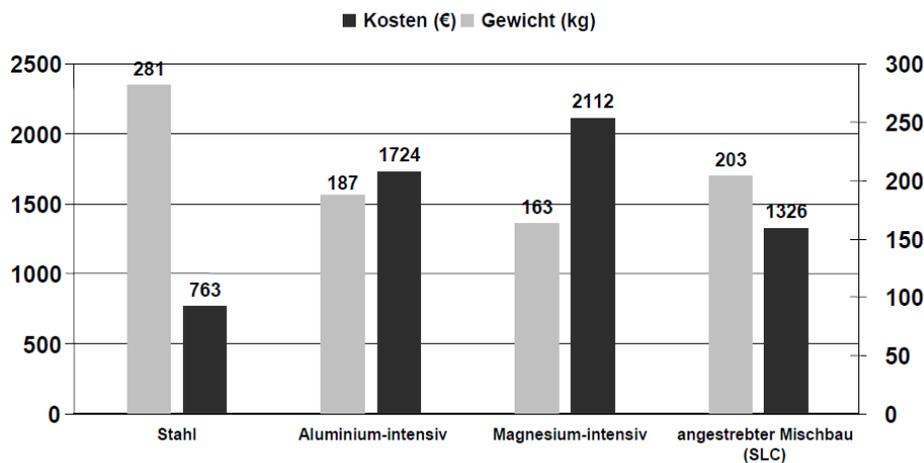


Abbildung 5 Gewichtsspirale

2.2.1 Kosten des Leichtbaus

Der Karosseriebau aus Stahl in seiner langen Tradition wurde immer wieder weiterentwickelt und perfektioniert, sodass Fahrzeuge aus Stahl heute die kostengünstige Lösung darstellen. Abgesehen davon, dass somit alternative Lösungen als Abweichung von der Großserie bereits einen Kostennachteil haben, sind leichtere Werkstoffe und deren Verarbeitung meist teurer. Einen Überblick über die Unterschiede vermittelt Abbildung 6. Aufgrund des harten Wettbewerbs in der Automobilindustrie akzeptieren die Hersteller höhere Kosten meist nicht. Vor allem auch deshalb, da für viele Konsumenten der Anschaffungspreis und nicht der Preis über den Lebenszyklus das entscheidende Kaufkriterium ist. Daher streben die meisten Hersteller danach Fahrzeuge in der Herstellung zu verbilligen, um einen niedrigen Anschaffungspreis anbieten zu können.

*Hersteller versuchen
Fahrzeuge für den Erstkäufer
günstig zu machen*

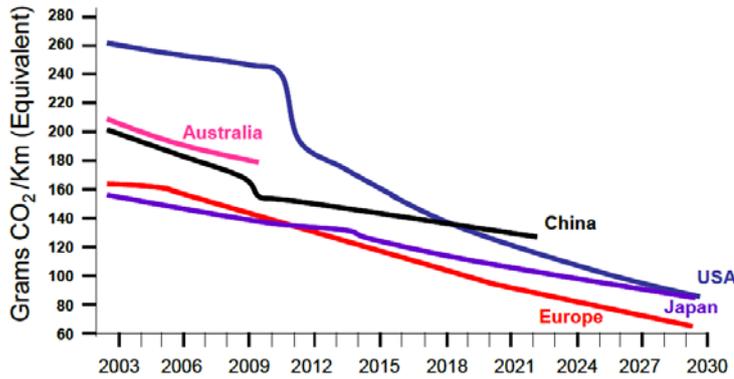


Vergleich Gewicht-Kosten

Abbildung 6 Gewichts- und Kostenvergleich verschiedener Werkstoffkonzepte am Beispiel des Super Light Cars (7)

Ein weiterer Faktor, der Leichtbau zunehmend in den Fokus der OEMs lenkt sind die verschärften Emissionsgesetze. Nicht nur westlichen Ländern, sondern vermehrt auch andere Länder führen immer strengere Auflagen für den Ausstoß von CO₂ ein. Selbst in den USA, einem der größten Erdölverbraucher weltweit, sollen bis zum Jahr 2030 Regulierungen eingeführt werden, welche den CO₂ Ausstoß fast auf ein Drittel senken. (siehe Abbildung 7)

*Strengere Emissionsgesetze
weltweit*

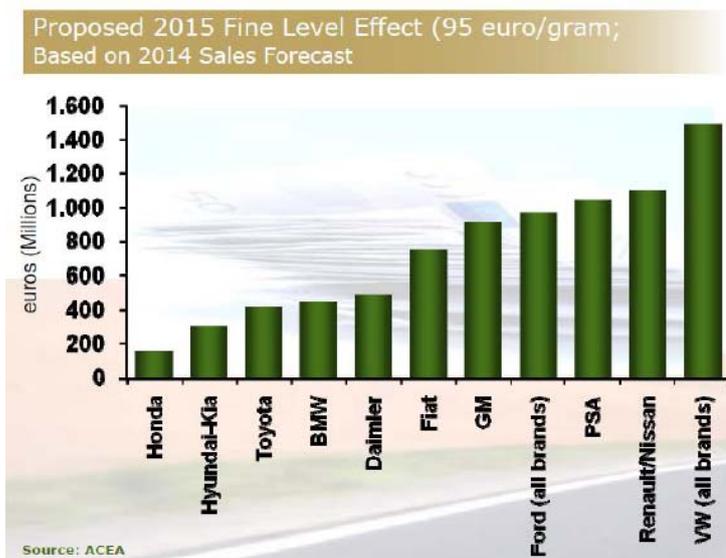


Geplante Abgasregulierungen

Abbildung 7 Internationale Abgasregulierungen (8)

Die Einführung von Strafen auf den CO₂ Ausstoß der durchschnittlichen Fahrzeugproduktion eines Herstellers erlaubt, dass Leichtbau höhere Kosten verursachen darf. Um Strafzahlungen zu vermeiden bzw. zu vermindern sind die Hersteller gezwungen die Fahrzeuge leichter zu gestalten. Unter vielen Maßnahmen ist Leichtbau ein wesentlicher Faktor und wird im Zuge dieser Entwicklung auch davon profitieren. Da große Fahrzeuge am meisten Gewicht aufweisen und diese auch preislich höher angesiedelt sind, werden diese Fahrzeugkategorien überproportional vom Trend zum Leichtbau profitieren. Hersteller wie Daimler oder BMW, welche vor allem Fahrzeuge mit höheren Emissionen herstellen, müssten die Emissionen um 30% reduzieren um Strafzahlungen zu vermeiden. Diese Voraussetzungen unterstreichen auch, dass Leichtbau bei großen Fahrzeugen einen immer wichtigeren Stellenwert einnimmt und damit höchstwahrscheinlich auch zunehmen wird. Absolut gesehen sind die großen französischen und deutschen OEMs am Meisten von den Strafzahlungen betroffen (vergleiche Abbildung 8). (9)

Verschärfte Emissionsgesetze erlauben höhere Leichtbaukosten



Hersteller von Luxusfahrzeugen zahlen höhere Strafen

Abbildung 8 Voraussichtliche Strafen der OEMs aufgrund der Überschreitung der CO₂ Emissionen (9)

2.3 Energie- und Umweltbetrachtungen

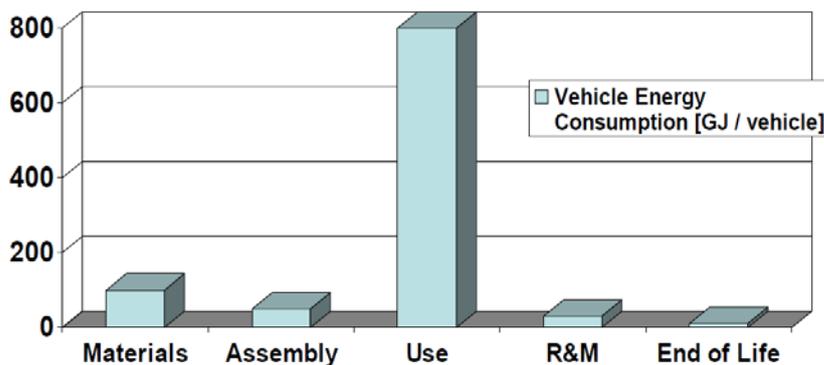
Wird über das Thema Umwelt und Energiebelastung des Automobils gesprochen, so steht meist der CO₂ Ausstoß, indirekt also der Verbrauch, im Mittelpunkt. Die Einwirkungen der Produktion, über die Montage bis hin zum Recycling werden dabei oft außer Acht gelassen. In folgendem Abschnitt sollen diese immer wichtiger werdenden Themen erörtert werden.

Energie- und Umweltthemen werden immer wichtiger

Die energetische Bilanz eines Fahrzeuges kann aus verschiedenen Perspektiven betrachtet werden und gerade in diesem Bereich werden oftmals unterschiedlichste Maßstäbe angesetzt. So kann beispielsweise ausschließlich der reine Produktionsaufwand eines Bauteiles, nur der Verbrauch des Fahrzeuges oder das gesamte Fahrzeug über den Lebenszyklus inklusive Wiederverwertung, als Grundlage verwendet werden. Diese Annahmen haben wesentliche Schwankungen zur Folge, weshalb Vergleiche in diesem Bereich besonders kritisch untersucht werden sollten. Bewusst gefördert werden diese Vergleiche auch von verschiedenen Lobbys, welche oftmals versuchen die Energiebilanzen für das entsprechende Produkt schönzurechnen. Einen Anhaltspunkt über die Verteilung des Energieeinsatzes eines Fahrzeuges über den Lebenszyklus gibt Abbildung 10.

Energiebilanzen können auf unterschiedlichsten Grundlagen basieren

Kritische Begutachtung der Energiebilanzen wichtig



- By far the most greenhouse gasses are generated in the "use-phase" of the car.
- Production and end-of-life stage represent less than 20% of the CO₂eq burden.

Abbildung 10 Energieaufwand eines Fahrzeuges über den gesamten Lebenszyklus (12)

Man erkennt deutlich, dass der Gesamtenergieaufwand eines Fahrzeuges hauptsächlich durch die Nutzungsphase bestimmt wird. Damit wird auch das Potential des Leichtbaus unterstrichen, da dieser natürlich auch in den reinen Materialaufwand und in die Montage einfließt, aber hauptsächlich in der Nutzungsphase schlagend wird.

Hauptanteil der Energie wird während der Nutzungsphase verbraucht

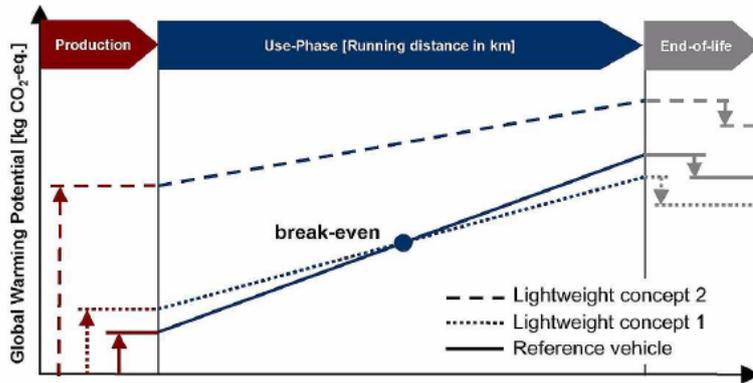
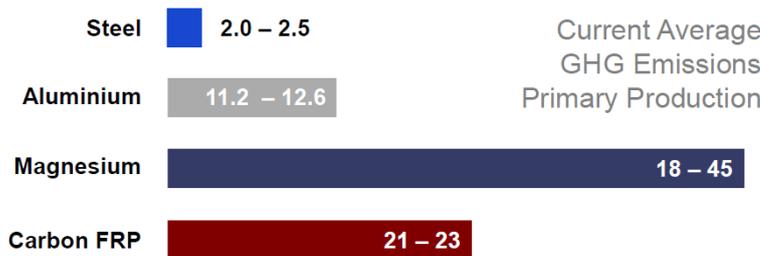


Abbildung 11 Energiebilanz über den Lebenszyklus (13)

Abbildung 11 spiegelt die Energiebilanz eines Bauteiles über den Lebenszyklus wider. Dabei wird die Energiebilanz unterschiedlicher Bauteile verglichen. Während das Referenzbauteil zu Beginn des Produktionszykluses sehr wenig Energie verbraucht, ist der Aufwand für das Leichtbaukonzept 1 höher. Über die Lebenszeit nähern sich die Energieaufwendungen an und erreichen in genanntem Beispiel bei der Hälfte der Lebenszeit den Break-Even-Point. Am Ende des Zykluses ist das Leichtbaukonzept im Vorteil. Als Beispiel für das Nicht-Erreichen der Energieziele ist Leichtbaukonzept 2 angeführt. Bedingt durch die hohen Energieaufwendungen durch die Produktion, kann auch der niedrigste Energiekonsum während der Nutzungsphase nicht verhindern, dass der kumulierte Gesamtverbrauch und folglich der gesamte Energieaufwand höher liegt.

Leichtbaukonzepte erreichen nicht immer Energieeinsparungen

GHG from Production (in kg CO₂e/kg of material)



Werkstoffe verursachen in der Produktion verschiedene Mengen an Treibhausgasen

Footnotes:
 • All steel and aluminium grades included in ranges.
 • Difference between AHSS and conventional steels less than 5%.
 • Aluminium data - global for ingots; European only for process from ingot to final products .

Abbildung 12 Energieaufwand der Werkstoffproduktion (8)

Auch wenn laut Abbildung 10 der Anteil der Produktion am Energieverbrauch relativ gering ist, besteht zwischen den einzelnen Werkstoffen erheblicher Unterschied im Bezug auf die Energieintensität. Abbildung 12 zeigt die signifikanten Unterschiede der einzelnen Werkstoffe zueinander. So verschlingt die Produktion von Aluminium bis zu fünf Mal mehr Energie als die Produktion der gleichen Menge Stahl. Besonders energieintensiv ist auch die Produktion von carbonfasern-

Aluminium verursacht um den Faktor 5 mehr CO₂ als Stahl

Faserverstärkte Kunststoffe verursacht um den Faktor 10 mehr CO₂ als Stahl

verstärkten Kunststoffen und Magnesium. Diese Materialien benötigen bis zum 10- bzw. 20fachen der Energie im Vergleich zur gleichen Menge Stahl.

Magnesium verursacht um den Faktor 20 mehr CO₂ als Stahl

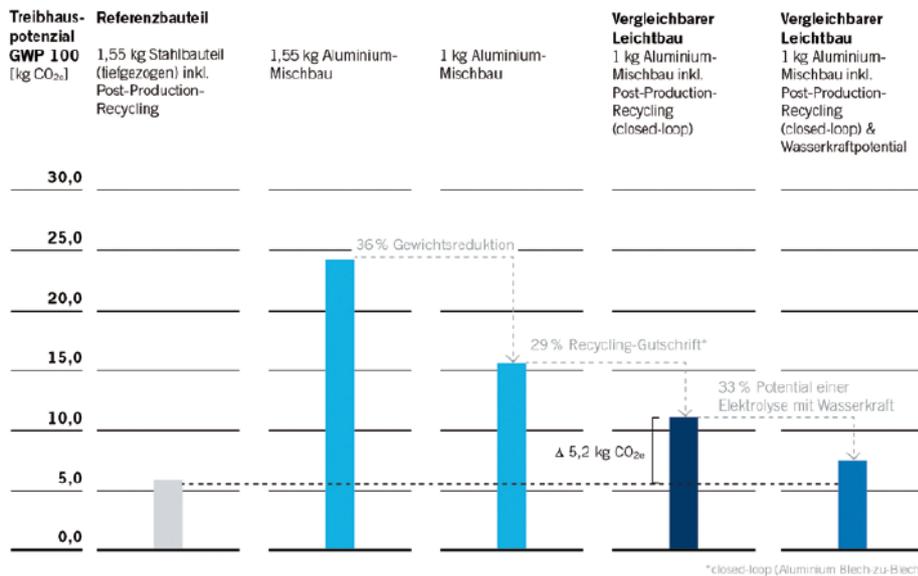


Abbildung 13 Treibhausgase eines ausgewählten Aluminium-Mischbaukonzepts (14)

Dass die Substitution von Stahlbauteilen nicht immer eine Reduktion von CO₂ Emissionen bedeutet verdeutlicht Abbildung 13. Obwohl das Aluminiumkonzept bis zu einem Drittel leichter ist, ist der CO₂ Ausstoß doppelt so hoch. Wesentlichen Anteil an den schädlichen Emissionen hat dabei die Stromproduktion. Nur unter Annahme ausschließlich erneuerbarer Energien dringt die CO₂ Ausstoßrate in den Bereich von Stahl vor. (14)

Reine Werkstoffsubstitution kaum zielführend

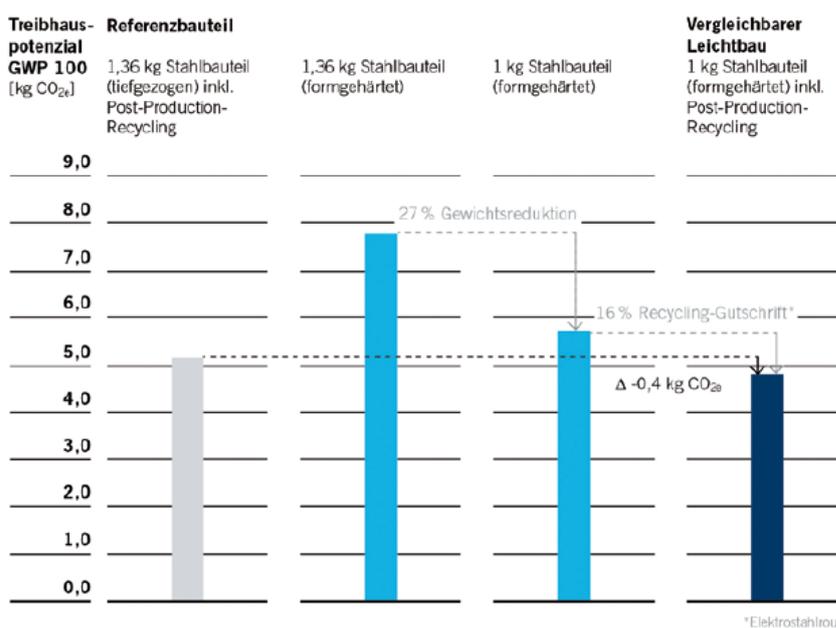


Abbildung 14 Treibhausgase formgehärteter Teile im Passat B6 (Herstellungshase) (14)

In den letzten Jahren hat der Anteil an formgehärteten Stahlbauteilen stark zugenommen. Auch hier können ähnliche Gewichtersparnisse wie bei Aluminium (ca. ein Drittel) realisiert werden. Am Ende des Herstellungsprozesses hat damit das formgehärtete Bauteil sogar weniger Energie benötigt, als das Bauteil aus herkömmlichem Stahl. Damit ist aus Sicht der Umwelt, das Bauteil ab dem ersten Kilometer „rentabel“ (vergleiche Abbildung 14). Diese Tatsache unterstreicht noch einmal das hohe Potential des Verfahrens und wird dazu beitragen, dass der Erfolgsweg von pressgehärteten Bauteilen weiter fortschreiten wird. (14)

Formgehärteter Stahl ist ab dem ersten Kilometer „rentabel“ für die Umwelt

2.4 Sonstige relevante Rahmenbedingungen

Gegen eine grundlegende Änderung der Bauweisen im Karosseriebau spricht auch der Trend hin zu neuen Antrieben. Die Hersteller sind von Seiten des Konsumenten mit oftmals unrealistischen Forderungen bezüglich alternativer Antriebe konfrontiert. Aufgrund dieses Drucks investiert die Branche hohe Beträge in die Erforschung und Entwicklung dieser Technologien. In weiterer Folge bewirkt dies aber auch, dass oftmals nicht genug personelle und finanzielle Ressourcen für die Weiterentwicklungen von neuen Karosseriebauweisen vorhanden sind. Damit wird in diesem Bereich die Entwicklung gehemmt.

Neue Antriebe verschlingen Entwicklungsressourcen

Eine weitere Entwicklung ist der Trend hin zu kleineren Fahrzeugen. War die Branche in den letzten Jahrzehnten vom Trend hin zu größeren Fahrzeugen geprägt, bildet sich diese Tendenz zusehends zurück. Viele Hersteller reagieren und erweitern die Produktpalette nach unten. Bestes Beispiel sind die Hersteller Audi und Daimler, welche bereits vor Jahren mit dem A2 bzw. dem Smart in diese Richtung vorgedrungen sind.

Leichtbau ist für kleine Fahrzeuge unwirtschaftlicher

Für innovative Karosseriekonzepte ist dieser Trend eher kontraproduktiv. Kleiner Fahrzeuge generieren weniger Umsatz und kleinere Gewinnspannen, der Kostendruck steigt. Damit verringern sich auch die Chancen für die meist teureren Leichtbauvarianten. Auch Audi hat diese Erfahrungen mit dem A2 gemacht und greift deshalb in dieser Klasse wieder auf die Stahlkarosserie zurück.

Diese Gründe führen dazu, dass der Trend innovative Technologien hauptsächlich bei hochpreisigen Kleinserien einzusetzen, beibehalten wird. (15)

Leichtbau wird bei hochpreisigen Fahrzeugen zunehmen

3 Fertigungsverfahren

3.1 Metalle

3.1.1 Tiefziehen

3.1.1.1 Welche Vor- und Nachteile weist Tiefziehen auf?

Das Tiefziehen zählt zu den Zugdruck- Umformverfahren und wird dadurch charakterisiert, dass der Werkstoff ohne Änderung der Materialdicke umgeformt wird. Beim Verfahren wird eine Platine in das Werkzeug eingelegt, durch einen Niederhalter festgestellt und durch einen festen Stempel tiefgezogen. Es entsteht ein Bauteil, welches vor dem Gebrauch beschnitten werden muss. Dies erfolgt zumeist als letzter Schritt der Pressenlinie.

Tiefziehen ist ein Zugdruck- Umformverfahren

Vorteile	Nachteile
+ hoher Wissenstand + niedrige Zykluszeit + hohe Wirtschaftlichkeit	- teure Werkzeuge

Tabelle 1 Vor- und Nachteile von Tiefziehen

3.1.1.2 Welche Varianten von Tiefziehen werden derzeit eingesetzt?

Die Varianten beim Tiefziehen unterscheiden sich vor allem über die Anlagen. Grundsätzlich werden hydraulische sowie mechanische Pressen oder Pressenlinien unterschieden. Hydraulisch gesteuerte Pressen haben dabei den Vorteil, dass die Kraft über den gesamten Weg zur Verfügung steht und die Geschwindigkeit stufenlos geregelt werden kann. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal sind die verschiedenen Niederhaltersystemen bzw. Ziehkissen. Hochwertigste Ergebnisse werden mit variablen Ziehkissen erreicht, da sich in diesem Fall die Niederhalterkräfte individuell auf die unterschiedlichen Bereiche der Platine einstellen lassen und damit optimal die Faltenbildung verhindert werden kann. Positiv wirkt sich die Verstellbarkeit auch auf die Vermeidung von Work Hardening Prozessen aus. Die Verarbeitung von Stahl ist relativ unkompliziert, dagegen brauchen Werkstoffe wie Aluminium aufwendigere Anlagen.

Hydraulische Pressen bieten variable Ziegeschwindigkeiten

Variable Ziehkissen garantieren optimale Ergebnisse

Während sich weichere Werkstoffe leicht ziehen lassen, ergeben sich bei höherfesten Werkstoffen aufgrund der geringen Bruchdehnung Probleme. Bei diesen Werkstoffen wird daher meist eine Kombination aus Tiefziehen und Streckziehen angewandt.

3.1.1.3 Welche Stärken (Schwächen, Chancen, Gefahren) zeichnen Tiefziehen aus?

Stärken

- Der Tiefziehprozess ist durch die lange und weitverbreitete Anwendung sehr gut erforscht und es kann auf breites Wissen zurückgegriffen werden. Dementsprechend optimiert wurde der Prozess und damit stellt Tiefziehen ein sehr wirtschaftliches Verfahren dar.
- Mit Zykluszeiten von bis zu 3 Sekunden lassen sich Bauteile sehr schnell fertigen. Damit stellen auch Großserien mit mehreren 100.000 Stück pro Jahr (Plattformbauteile) kein Problem dar.

Die Eigenschaften des Tiefziehprozesses sind gut erforscht

Schwächen

- Die Umformung erfordert meist mehrere Stufen, für welche jeweils ein Werkzeug benötigt wird. Die Werkzeugkosten sind daher ein beträchtlicher Einflussfaktor. Besonders bei kleineren Serien wirken sich diese dementsprechend aus.

Mehrere Werkzeuge nötig

Chancen

- Die ständigen Innovationen und Verbesserungen der Details haben den Tiefziehprozess perfektioniert. Trotzdem wird der Prozess ständig weiterentwickelt und optimiert. Daher ist auch in den kommenden Jahren von Fortschritten auszugehen. Dem Tiefziehprozess eröffnet sich damit die Chance seine Marktdominanz zu festigen und auch in Zukunft erste Wahl zu sein.
- Die grundlegende Wirtschaftlichkeit des Verfahrens ist unbestritten, es gibt jedoch Materialien, für welche das Tiefziehen nicht das bestmögliche Umformverfahren darstellt. Neue Werkstoffentwicklungen, beispielsweise bei hochfesten Stählen, Magnesium- oder Aluminiumlegierungen könnten dem Verfahren neue Anwendungsgebiete eröffnen.
- Für das Verfahren stehen umfangreiche Anlagen zur Verfügung. Die Anwendung dieser vermeidet Investitionen in neue Anlagentechnologien.

Chancen zur weiteren Verbesserung des Prozesses

Gefahren

- Neue Verfahren, vor allem im Bereich der Kunststofftechnik oder dem Metallspritzguss könnten dem Tiefziehen zusetzen und Marktanteile abwerben.

Spritzguss könnte in Teilbereichen Marktanteile gewinnen

- Aufgrund der jahrelangen Anwendung des Verfahrens und den kontinuierlichen Verbesserungen könnten die Entwicklungspotentiale ausgeschöpft sein und die Chancen, dass neue Entwicklungen den Prozess voranbringen weitgehend ausgeschöpft sein.

3.1.2 Warmumformung

3.1.2.1 Welche Vor- und Nachteile weist Warmumformen auf?

Der Warmumformprozess ist grundsätzlich ein Tiefziehprozess mit dem Unterschied, dass die Platine vor dem Umformprozess erhitzt wird. Dies hat den Vorteil, dass der Umformwiderstand des Materials erheblich vermindert wird und dadurch die Umformkräfte reduziert werden. Außerdem steigt die Bruchdehnung, sodass deutlich kompliziertere Bauteile gefertigt werden können. Nachteilig wirken sich Verzunderungen aus, welche mithilfe von geeigneten Beschichtungen teilweise verhindert werden können.

Hochfeste Teile mit komplexen Geometrien

Vorteile	Nachteile
+ komplexe Geometrien	- Aufwendigere Anlagentechnologie
+ hochfeste Bauteile	- Hohe Zykluszeiten
+ geringe Rückfederungen	- Verzunderungen
+ geringe Eigenspannungen	

Tabelle 2 Vor- und Nachteile der Warmumformung

3.1.2.2 Welche Varianten von Warmumformen werden derzeit eingesetzt?

Der wesentliche Unterschied beim Warmumformen besteht darin, wie hoch die Temperatur des Werkstückes vor dem Umformvorgang ist. Man unterscheidet dabei das Halbwarmumformen sowie das Presshärten. Ziel des Halbwarmumformens ist vor allem die Erhöhung der Umformbarkeit durch Anheben des Temperaturniveaus. Damit lassen sich auch aus Werkstoffen mit hohen Festigkeiten und niedrigen Bruchdehnungen, komplizierte Bauteile fertigen. Das unter dem Namen „Presshärten“ bekannte Verfahren der Warmumformung beruht darauf, dass die Platine auf mindestens 900°C erwärmt und damit „austenisiert“ wird. In der Presse wird das Bauteil durch ein gekühltes Werkzeug umgeformt und ausgehärtet. Durch diesen Prozess kann das Gefüge nicht umwandeln und es entsteht ein martensitischer Aufbau. Damit weist das Bauteil extreme Festigkeiten auf und ist prädestiniert für den Einsatz in crashrelevanten Zonen.

Unterscheidung Halbwarmumformen und Presshärten

Zusätzlich zu den Vortemperaturen kann zwischen direktem und indirektem Verfahren unterschieden werden. Beim direkten Presshärten wird Blech in einem Schritt zum fertigen Bauteil umgeformt. Beim indirekten Verfahren werden die Bauteile vorher kalt vorgeformt und erst im letzten Schritt erwärmt und pressgehärtet. (16)

Unterscheidung direktes und indirektes Verfahren

3.1.2.3 Welche Stärken (Schwächen, Chancen, Gefahren) zeichnen Warmumformen aus?

Stärken

- Das Verfahren ermöglicht komplexe Bauteile aus hochfesten Werkstoffen herzustellen. Dabei ist für das direkte Presshärten nur ein Werkzeugsatz nötig. Dieser muss allerdings über Kühleinrichtungen verfügen. Trotzdem vermindert das Verfahren die Werkzeugkosten.
- Laut einer Studie (vergleiche Abbildung 14) sind optimal ausgelegte Presshärtbauteile bereits in der Produktion weniger energieintensiv als herkömmliche Stahlbauteile.

Niedrigere Werkzeugkosten

Schwächen

- Für die Umsetzung des Verfahrens sind neue Werkzeugtechnologien im Hinblick auf die Kühlung notwendig. Um den hohen Temperaturen standzuhalten, sowie die notwendige Kühlgeschwindigkeit zur martensitischen Umwandlung zu garantieren, muss das Werkzeug wassergekühlt werden. Dies verteuert die Werkzeuge.
- Die Auswahl an geeigneten Werkstoffen, welche mit diesem Verfahren verarbeitet werden können ist beschränkt. Auch spezielle Beschichtungen zur Verhinderung von Zunderbildung sind begrenzt verfügbar.
- Das Verfahren beruht auf Wärmeeinbringung und macht damit zusätzliche Investitionen in Erwärmungsanlagen notwendig. Neben den Investitions- und Energiekosten hat der Prozess auch einen enormen Platzbedarf.

Die Werkzeuge müssen gekühlt werden

Ofenanlagen verlangen Investitionen und Platz

Chancen

- Mithilfe hochfester Bauteile können die Wandstärken minimiert und in weiterer Folge das Gewicht reduziert werden. Der Trend hin zu sparsamerem Umgang mit den Ressourcen, überlagert mit dem Bedürfnis höherer Sicherheit, macht den Einsatz von pressgehärteten Bauteilen interessant.

- Optimierte Beheizungstechnologien, neue Beschichtungen und verbesserte Materialien, sind nur einige der Entwicklungspotentiale des Verfahrens. Weiterentwicklungen könnten das Verfahren weiter in den Mittelpunkt rücken.
- Der Werkstoff Stahl ist relativ günstig und auch die Kombination mit dem Presshärtprozess ist im Vergleich zum Leichtbau mit anderen Materialien relativ günstig. Damit kann Presshärten als relativ preiswerter Leichtbau angesehen werden, und dementsprechende Wachstumsmöglichkeiten eröffnen sich.

Neue Beschichtungen, Werkstoffe und Methoden der Erwärmung bieten Entwicklungspotential

Stahl ist sehr günstig

Gefahren

- Neue Werkstoffe, welche im kalten Zustand Tiefgezogen werden können, stellen für das Warmumformverfahren die größte Gefahr dar.
- Energiekosten sind ein wichtiger Kostenfaktor der Produktion. Die Abhängigkeit von den Energiekosten könnte damit zur Gefahr für das Presshärten werden.

Energiekosten sind ein wesentlicher Kostentreiber

3.1.3 Hydroformen

3.1.3.1 Welche Vor- und Nachteile weist Hydroformen auf?

Hydroformen ist ein Verfahren, bei dem die Umformkräfte nicht von einem Festkörper sondern von einem Fluid übertragen werden. Die Halbzeuge werden dabei in ein Werkzeug eingelegt und mit dem Fluid, welches unter hohem Druck steht, beaufschlagt. Besonderer Vorteil des Verfahrens ist der schonende Kraftübergang und die damit verminderte Anfälligkeit für Risse.

Kraft wird mittels Fluid übertragen

Vorteile	Nachteile
+ Hohe Ziehverhältnisse im Erstzug	- Höherer Aufwand
+ gleichmäßige Blechdicken	- Hohe Taktzeiten
+ Hohe Präzision	
+ Oberflächengüten	

Tabelle 3 Vor- und Nachteile von Hydroformen

3.1.3.2 Welche Varianten von Hydroformen werden derzeit eingesetzt?

Es besteht eine Vielzahl von verschiedenen Varianten und in erster Linie lassen sich diese durch das eingesetzte Medium unterscheiden. Das Verfahren kann mit Flüssigkeiten oder auch mit Gasen durchgeführt werden. Flüssigkeiten haben den Vorteil,

Flüssigkeiten oder Gase als Medium

dass der Druck einfacher erzeugt werden kann, verunreinigen im Gegensatz aber die Werkstücke.

Bei der Blechumformung lassen sich die beiden Verfahren Hydromechanisches Tiefziehen sowie Hochdruckblechumformung unterscheiden. Ersteres greift auf das Prinzip eines festen Stempels zurück, welcher das Blech gegen einen hydraulischen Druck umformt. Die Hochdruckblechumformung hingegen wird das Blech mit Druck beaufschlagt und gegen eine Negativform gedrückt. Ein weiteres Verfahren ist das Fluidzell-Verfahren, bei welchem der hydraulische Druck nicht direkt auf das Blech wirkt, sondern auf eine flexible Membrane drückt.

Das IHU – Verfahren (Innen Hochdruck Umformen) greift auf Hohlkörper als Halbzeuge zurück und formt diese mit Hilfe eines von innen angelegten Drucks um. Die Bauteile werden in das Werkzeug eingelegt, welches die Negativ Form darstellt. Durch den hydrostatischen Druck im Inneren passt sich das Halbzeug an die Kontur des Werkzeuges an. (16)

Mit IHU lassen sich komplexe Hohlkörper erzeugen

3.1.3.3 Welche Stärken (Schwächen, Chancen, Gefahren) zeichnen Hydroformen aus?

Stärken

- Bei Verfahren die auf die Umformung mittels Fluiden aufbauen, ist in der Regel nur eine Seite des Werkzeuges notwendig. Den notwendigen Gegendruck bringt das Fluid auf. Dadurch schlagen verringerte Werkzeugkosten zu Buche.
- Mit dem Verfahren sind aufgrund der schonenden Kraftübertragung hochkomplizierte Bauteile fertigbar. Zurückzuführen ist dies auf den Druck, welcher immer senkrecht auf die Oberfläche wirkt und das Bauteil gleichmäßig belastet.

Nur eine Seite des Werkzeuges notwendig

Schwächen

- Das Verfahren ist nicht für scharfe Kanten geeignet. In diesen Zonen reicht der Druck nicht aus, um Ecken scharfkantig auszuprägen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten um enge Kanten zu fertigen, diese sind jedoch aufwendig.
- Die Zykluszeiten des Verfahrens sind besonders im Vergleich zum herkömmlichen Tiefziehen lang. Dies ist auf die Erzeugung des notwendigen Drucks, der Fließzeit des Mediums und der Verschmutzung der Platinen zurückzuführen.

Keine scharfen Kanten ausprägen

Chancen

- Besonders bei kleinen Serien, bei denen die Werkzeugkosten einen wesentlichen Anteil an den Gesamtkosten haben, sind fluidbasierte Umformverfahren wirtschaftlich einsetzbar. In Zusammenhang mit dem Trend zu Kleinserien und mehr Individualität, sind für das Verfahren Potentiale vorhanden.
- Neue Karosseriebauweisen wie die Space Frame Technologie, eröffnen vor allem für das IHU Verfahren neue Märkte.

Niedrige Werkzeugkosten bieten Chancen

Space Frame ist eine große Chance für IHU

Gefahren

- Für die Großserienfertigung ist das Verfahren nur bedingt geeignet. Sollte wirtschaftlicher Druck die Reduzierung der Zykluszeiten bedingen, könnte das Verfahren an Einfluss verlieren.

3.1.4 Rollformen

3.1.4.1 Welche Vor- und Nachteile weist Rollformen auf?

Das Halbzeug durchläuft mehrere Rollen, welche das flache Rohmaterial durch eine Vielzahl an Umformschritten in die gewünschte Form bringt. In einzelnen Zwischenschritten ist es möglich Stanzoperationen einzubinden. Vorteil des Verfahrens sind die optimal anpassbaren Werkstückgeometrien, sowie die günstigen Werkzeugkosten. Diese liegen bei 50 Prozent im Vergleich zu einem Tiefziehwerkzeug. Die Materialausnutzung ist mit über 85 Prozent sehr hoch. (17)

Rollformen ist ein einfach aufgebauter Prozess

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> + hohe Materialausnutzung + optimaler Querschnitte + geringe Werkzeugkosten + auch für hochfeste Werkstoffe 	<ul style="list-style-type: none"> - keine geschlossenen Profile - nur für großer Stückzahlen

Tabelle 4 Vor- und Nachteile von Rollformen

3.1.4.2 Welche Varianten von Rollformen werden derzeit eingesetzt?

Das grundlegende Verfahren des Rollformens ist sehr einfach aufgebaut und aus diesem Grund variantenarm. Dennoch lassen sich in die Umformlinie verschiedene Stanzvorgänge installieren, womit sich einbaufertige Bauteile produzieren lassen. Durch die Kombination mit Schweißverfahren, lassen sich auch geschlossene Profile herstellen. (17)

Rollformen ist variantenarmes Verfahren

3.1.4.3 Welche Stärken (Schwächen, Chancen, Gefahren) zeichnen Rollformen aus?

Stärken

- Das Verfahren ist relativ einfach aufgebaut und deshalb sind die Investitionen in die Anlagen relativ gering. Die Werkzeuge lassen sich zum großen Teil mittels Drehen herstellen und sind dementsprechend einfach aufgebaut. Dies verringert die Herstellkosten.
- Das Verfahren eignet sich sehr gut für die Umformung hochfester Werkstoffe. Typische Bauteile für die Fahrzeugkarosserie sind beispielsweise Schweller.
- In den Verfahrensablauf lassen sich verschiedene Stanz- und Umformoperationen einbauen. Damit können Bauteile rasch und einfach fertiggestellt werden.

Das Verfahren eignet sich zur Umformung hochfester Stählen

Schwächen

- Durch die Umformung mithilfe verschiedenster Rollen ist die Komplexität der zu erzeugenden Profile begrenzt.
- Geschlossene Bauteile sind nur mit Zusatzaufwand herstellbar.

Geschlossene Profile nur mit Zusatzaufwand

Chancen

- Der Einsatz von hochfesten Stählen eröffnet dem Verfahren neue Einsatzgebiete. Beispielsweise im Bereich der Space Frame Technologien, bei welchen die meisten Bauteile in Form von Profilen verbaut werden könnte das Verfahren Marktanteile gewinnen.

Gefahren

- Vor allem das Strangpressen stellt eine ernsthafte Gefahr für das Verfahren dar. Besonders dann wenn geschlossene Hohlprofile gefordert sind, hat das Rollformen Nachteile gegenüber dem Strangpressen.

Strangpressen ist eine Alternative

3.1.5 Strangpressen

3.1.5.1 Welche Vor- und Nachteile weist Strangpressen auf?

Strangpressen zählt zu den Verfahren der Massivumformung, auch wenn der Werkstoff nicht in vollkommen festen Zustand umgeformt wird. Vielmehr wird das Material auf eine Temperatur erwärmt, bei der der Werkstoff teigförmiger wird. In diesem Zustand wird der Werkstoff durch eine Matrize gepresst und das Profil entsteht. Aluminium und Magnesium eignen sich aufgrund der niedrigen Schmelztemperaturen gut für das Verfahren. Die

Beim Strangpressen wird ein teigförmiger Werkstoff zu komplexen Profilen verarbeitet

Formung von Stahl ist aufgrund der hohen Temperaturen nur begrenzt möglich.

Vorteile	Nachteile
+ Komplizierte Querschnitte + Funktionsintegration + einfache Werkzeuge + Kleine Serien	- Hauptanwendungen für Aluminium und Magnesium - Stahl nur begrenzt möglich

Tabelle 5 Vor- und Nachteile von Strangpressen

3.1.5.2 Welche Varianten von Strangpressen werden derzeit eingesetzt?

Für das Strangpressen können drei wesentliche Verfahren unterschieden werden. Beim direkten Verfahren, wird das Material von einem beweglichen Stempel durch eine Matrize geschoben. Beim Indirekten Verfahren hingegen liegt der Materialvorrat und die Matrize fährt über das Material. Vorteil hierbei ist die geringere Reibung. Ein weiteres Verfahren ist das hydrostatische Verfahren, bei welchem die Kraft nicht durch einen Stempel, sondern durch einen hydrostatischen Druck erzeugt wird. (16)

Wesentlicher Unterschied ist die Kraftaufbringung

3.1.5.3 Welche Stärken (Schwächen, Chancen, Gefahren) zeichnen Strangpressen aus?

Stärken

- Mithilfe des Strangpress-Verfahrens sind unterschiedlichste Querschnitte darstellbar. Diese können eine durchaus komplizierte Form aufweisen. Durch die einfachen Werkzeuge sind auch Kleinserien wirtschaftlich darstellbar.
- Halbzeuge, welche durch dieses Verfahren hergestellt werden, weisen eine hohe Präzision und gute Oberflächeneigenschaften auf.

Schwächen

- Haupteinsatzgebiet des Verfahrens sind die Aluminium- und Magnesiumverarbeitung. Die Verarbeitung von Stahl ist schwierig, da Stahl höhere Temperaturen benötigt um in den teigigen Zustand überzugehen.

*Hauptverarbeitungs-
werkstoff: Aluminium und
Magnesium*

Chancen

- Bauweisen, welche hauptsächlich aus Profilen aufgebaut sind, stellen potentielle Wachstumstreiber für das Verfahren dar. In erster Linie ist dabei die Space Frame Technologie zu nennen.

Gefahren

- Mittels Rollformen ist es möglich ähnliche Bauteile herzustellen. Jedoch hat das Rollformen den Vorteil, dass auch Stahlwerkstoffe mit hohen Festigkeiten verarbeitet werden können. Damit stellt das Verfahren einen ernsthaften Mitbewerber dar.

3.1.6 Druckguss

3.1.6.1 Welche Vor- und Nachteile weist Druckguss auf?

Beim Spritzgießen von Metall wird der Werkstoff in einem Ofen verflüssigt und unter hohem Druck und hoher Geschwindigkeit in eine Kokille gepresst, wo das Material aushärtet. Die entstehenden Werkstücke zeichnen sich durch hohe Präzision und Oberflächengüte aus. Class A Oberflächen sind aber ohne Nachbearbeitung nicht herstellbar. Das Verfahren zeichnet sich durch kurze Zykluszeiten aus und ist damit äußerst wirtschaftlich einsetzbar.

Werkstoff wird unter hohem Druck und Geschwindigkeit eingespritzt

Vorteile	Nachteile
+ optimale Versteifungen möglich + hohe Funktionsintegration + Automatisierbarkeit + Wirtschaftlich	- keine Class A Oberflächen - Stahl nur begrenzt möglich

Tabelle 6 Vor- und Nachteile von Druckguss

3.1.6.2 Welche Varianten von Druckguss werden derzeit eingesetzt?

Für das Verfahren gibt es unterschiedlichste Varianten und Versionen. Dabei variieren die unterschiedlichsten Parameter wie Druck und Geschwindigkeit, aber auch unterschiedliche Maßnahmen zur Beschleunigung, Verhinderung von Poren usw. werden umgesetzt. Beispielsweise wird beim Vakuum Druckguss die Form vor dem Einspritzen evakuiert. Dies hat zur Folge, dass das Material zusätzlich zum Druck noch in die Form gezogen wird. Außerdem wird durch die Abwesenheit von Sauerstoff die Oxidation verhindert. Andere Varianten des Verfahrens bringen nach dem eigentlichen Einspritzvorgang eine zusätzliche Kraft auf, welche zu einer Verdichtung des Werkstückes führt. Auch hiermit soll ein Verbleib von Einschlüssen und Poren verhindert werden. Hauptanwendungsgebiet des Druckgusses ist die Verarbeitung von Aluminium und Magnesium. Aluminiumlegierungen sollten höhere Anteile von Silizium enthalten, um die Fließfähigkeit sicherzustellen. Magnesiumlegierungen eignen sich besonders gut

Unterschiedlichste Verfahren

Aluminium und Magnesium verarbeitbar

für dieses Verfahren, da die Schmelze dünnflüssig und der Werkzeugverschleiß sehr gering ist. (18)

3.1.6.3 Welche Stärken (Schwächen, Chancen, Gefahren) zeichnen Druckguss aus?

Stärken

- Das Verfahren verfügt aufgrund der niedrigen Zykluszeiten, sowie der hohen Automatisierbarkeit über eine sehr hohe Produktivität. Dies resultiert in einer hohen Wirtschaftlichkeit.
- Durch das Prinzip der Formgebung im flüssigen Zustand lassen sich komplexeste Formen darstellen. Damit werden nicht nur kompliziertere Bauteile als bei Umformverfahren möglich, sondern auch Funktionsintegration lässt sich sehr leicht umsetzen. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit Versteifungen optimal anbringen zu können.

Hohe Funktionsintegration

Schwächen

- Obwohl die herstellbaren Oberflächen in der Regel eine hohe Güte aufweisen, ist es nicht möglich Class A Oberflächen zu erreichen. Diese können nur durch nachträgliches Schleifen hergestellt werden. Bei sehr großen Teilen wie beispielsweise Türkomponenten kann außerdem Verzug auftreten und eine Nachbearbeitung notwendig machen.
- Die Werkzeuge sind je nach Form sehr komplex und dementsprechend aufwendig in der Produktion. Je nach eingesetztem Werkstoff der Bauteile, tritt auch Verschleiß auf. Bei Magnesiumlegierungen ist dies im Allgemeinen weniger problematisch als bei Aluminium Werkstoffen.
- Aufgrund des Verfahrensprinzips verbleibt ein Teil des Speisers am fertigen Bauteil und muss nachträglich entfernt werden.

Gute Oberflächen aber kein Class A

Der Speiser muss nachträglich entfernt werden

Chancen

- Weiterer Drang hin zu Kostenoptimierung durch Modularisierung und Funktionsintegration könnte für Druckguss weiteres Einsatzpotential eröffnen.
- Neue Erkenntnisse im Bereich der Druckguss Fügetechnologien könnten noch komplexere Bauteile ermöglichen und damit neue Märkte erschließen.

Neue Einsatzgebiete durch Fügetechnologie

- Verbesserungen im Bereich der Oberflächen könnten speziell für den Einsatz in der Außenhaut der Karosserie neue Einsatzfelder erschließen.

Gefahren

- Wesentliche Fortschritte in der Blechumformung, sowie die Beibehaltung des hohen Stahlanteils im modernen Karosseriebau, könnten den Aluminium Druckguss auch weiterhin für Nischenprodukte vorbehalten.

3.2 Kunststoffe

3.2.1 Spritzgießen

3.2.1.1 Welche Vor- und Nachteile weist Spritzgießen auf?

Das Spritzgießen funktioniert ähnlich wie Druckguss, mit dem Unterschied dass Kunststoffwerkstoffe verarbeitet werden. Diese werden meist mithilfe einer Schnecke in den flüssigen Zustand versetzt und in eine Dauerform eingespritzt. Vorteil des Verfahrens sind die gute Automatisierbarkeit sowie die komplexen Bauteilgeometrien. Probleme bereiten die relativ niedrigen Festigkeiten und die begrenzte Möglichkeit zur Verstärkung durch Fasern.

Spritzgießverfahren haben eine hohe Produktivität

Vorteile	Nachteile
+ Hohe Automatisierbarkeit	- begrenzte Festigkeiten
+ niedrige Zykluszeiten	- geringe Faserlängen verarbeitbar
+ komplexe Bauteilgeometrien	

Tabelle 7 Vor- und Nachteile von Spritzgießen

3.2.1.2 Welche Varianten von Spritzgießen werden derzeit eingesetzt?

Für das Spritzgießen steht eine große Anzahl an Verfahren bereit, welche nicht zuletzt aufgrund der vielfältigen Eigenschaften der einzelnen Kunststoffe notwendig sind. Dementsprechend unterschiedlich sind die Merkmale der einzelnen Prozesse. Grundsätzlich gilt, dass Spritzguss sehr kurze Zykluszeiten aufweist und damit hohe Stückzahlen erreicht werden können. Für den Karosseriebau besonders interessante Verfahrensvarianten, sind das Umspritzen von anderen Werkstoffen sowie das Hinterspritzen von Folien. Damit lassen sich beispielsweise hochfeste Bauteile um- oder hinterspritzen und somit gezielt in bestimmten Bereichen verstärken. Diese Technologie findet vermehrt Anklang und dürfte über einiges an Potential verfügen. Eine weitere wichtige Möglichkeit ist der Einsatz von Fasern,

Mit einem Werkzeug sind mehrere Bauteile fertigbar

Der Einsatz von Fasern ist beschränkt

wodurch die Festigkeiten erhöht werden können. Die Länge der Fasern ist jedoch beschränkt, da ansonsten die Prozesssicherheit nicht gewährleistet werden kann.

3.2.1.3 Welche Stärken (Schwächen, Chancen, Gefahren) zeichnen Spritzgießen aus?

Stärken

- Mit dem Verfahren lassen sich sehr niedrige Zykluszeiten realisieren. Verbunden mit der Möglichkeit mehrere Bauteile in einem Werkzeug zu fertigen, lassen sich sehr große Serien fertigen.
- Ähnlich wie beim Druckguss lassen sich auch mit diesem Verfahren komplizierte Bauteile fertigen. Die Möglichkeiten der Funktionsintegration sind gegenüber den Umformverfahren deutlich erweitert.

Spritzgießen hat niedrige Zykluszeiten

Schwächen

- Die Festigkeiten der zu erzeugenden Bauteile sind aufgrund der allgemein niedrigen Festigkeit von Kunststoff ebenfalls niedrig. Mithilfe von Verstärkungsfasern lassen sich diese Nachteile teilweise kompensieren, jedoch nur bis zu einem bestimmten Punkt da lange Fasern nicht verarbeitet werden können.

Festigkeiten sind begrenzt

Chancen

- Größtes Potential für die Zukunft verspricht die Möglichkeit des Umspritzens von festeren Materialien. Damit kann schnell und einfach das Bauteil gezielt verstärkt werden. Typische Einsätze dafür wären zum Beispiel Front Ends.
- Eine ähnliche Anwendung stellt das Hinterspritzen von Folien dar. Dabei werden hochwertige Folien mit einem Kunststoff hinterspritzt und damit Bauteile mit edlen und widerstandsfähigen Oberflächen erzeugt. Dies öffnet vor allem für Außenhautbauteile Chancen.
- Erhebliches Potential haben auch die Weiterentwicklung des Prozesses und der Maschinen um längere Fasern verarbeiten zu können. Damit wären höhere Steifigkeiten und Festigkeiten möglich und die Neigung zum Kriechen würde verringert werden. Damit würden dem Fertigungsverfahren eine Vielzahl von Anwendungsgebieten zugänglich.

Umspritzen und Hinterspritzen von Verstärkungen hat großes Potential

Längere Fasern erhöhen die Festigkeit

Gefahren

- Gefahren für das Spritzgussverfahren gehen vor allem von Seiten der RTM/SMC Verfahren aus. Sollten diese

Verfahren wirtschaftlicher werden, sowie die Faserpreise im Rahmen bleiben, haben sie aufgrund der höheren Festigkeiten eindeutige Vorteile gegenüber dem Spritzgießen.

3.2.2 RTM/SMC

3.2.2.1 Welche Vor- und Nachteile weist RTM/SMC auf?

Diese Verfahren stehen für die Verarbeitung von sogenannten endlosen Faserwerkstoffen. Endlose Fasern sind hierbei theoretisch so lange wie das Bauteil und können nicht mehr in einem einfachen Spritzgussprozess verarbeitet werden. Aus diesem Grund werden bei diesen Verfahren die Grundstoffe gesondert gehandhabt. Das RTM Verfahren ist dabei an den Spritzgussprozess angelehnt, jedoch wird ein vorgefertigtes Fasergewebe in die Form eingelegt und anschließend das Matrixmaterial eingespritzt. Das Bauteil härtet in der beheizten Presse aus. Beim SMC Verfahren hingegen wird der Umweg über ein Halbzeug gegangen. Dazu werden Fasern und Matrixmaterial zu Matten verarbeitet und in Form von Platten oder Coils abgelegt. Nach einer bestimmten Zeit in der die Halbzeuge reifen, werden sie in speziellen Pressen tiefgezogen. Diese Anlagen verfügen über beheizte Werkzeuge zum abschließenden Aushärten des Bauteils.

RTM und SMC stehen für die Verarbeitung von endlosen Fasern

Vorteile	Nachteile
+ hochfeste, leichte Bauteile	- Niedrige Taktzeiten
+ komplexe Formen	- keine Class A Oberflächen

Tabelle 8 Vor- und Nachteile von RTM/SMC

3.2.2.2 Welche Varianten von RTM/SMC werden derzeit eingesetzt?

Die beiden Varianten zur Bearbeitung von Faserverstärkten Kunststoffen, stellen eine Überkategorie dar. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl an Varianten und Abwandlungen der Verfahren, welche in Frage kommen. Diese Varianten unterscheiden sich oftmals marginal oder werden nur von verschiedenen Herstellern mit unterschiedlichen Bezeichnungen geführt. Einen Überblick über mögliche Alternativen bietet Abschnitt 4.2.2.4 sowie 4.2.3.3.

Vielzahl von ähnlichen Verfahren

3.2.2.3 Welche Stärken (Schwächen, Chancen, Gefahren) zeichnen RTM/SMC aus?

Stärken

- Hochfeste und steife Bauteile können erzeugt werden, welche gleichzeitig auch sehr leicht sind. Damit sind die theoretisch leichtesten Karosserien machbar.
- Die Prozesse sind einstufig und aus diesem Grund sind die Investitionen in Werkzeuge gering. Besonders bei kleinen Serien hat dieser Effekt einen positiven Einfluss. *Einstufige Prozesse*

Schwächen

- Die Aushärtung der Bauteile im Werkzeug bedingt lange Zykluszeiten. Dies drückt die Wirtschaftlichkeit, sowie die grundlegende Eignung für große Serien.
- Nachteilig ist, das Nicht-Erreichen von Class A Oberflächen. Dies erfordert aufwendige Nacharbeiten und macht den ohnehin teuren Prozess noch teurer. *Class A Oberflächen nicht möglich*

Chancen

- Verbesserungen im Bereich der schnelleren Verarbeitbarkeit sind Grundlage für die Großserie, bringen aber auch wirtschaftliches Potential mit sich. Damit könnten RTM/SMC wesentlich interessanter für den Karosseriebau werden. *Verbesserung der Verarbeitungsgeschwindigkeit*
- Aufgrund der relativ jungen Technologie bietet sich noch eine Vielzahl von Verbesserungsmöglichkeiten an. Damit ist noch ausreichend Potential für die Optimierung der Prozesse vorhanden.

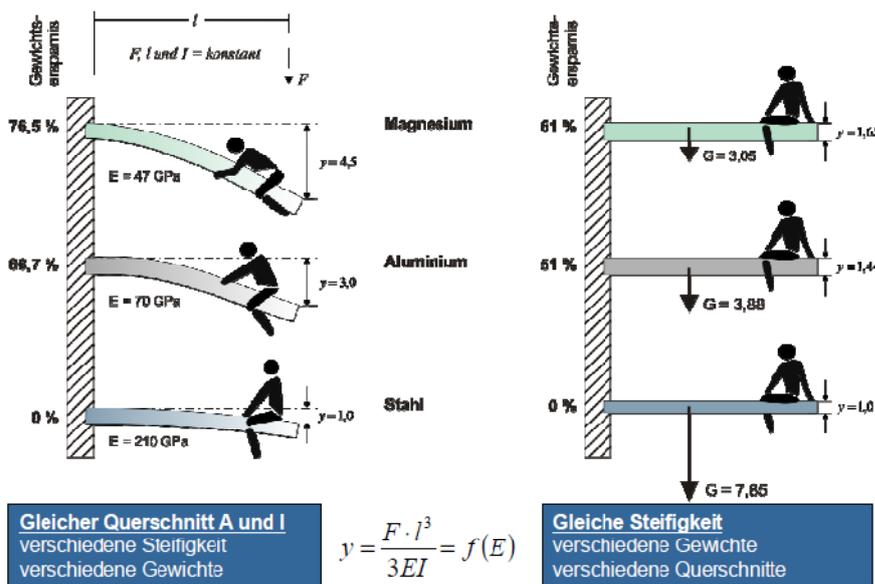
Gefahren

- Größte Gefahr für die Verarbeitungstechnologien ist der teure Grundwerkstoff. Sollten in diesem Bereich keine Fortschritte gemacht werden, sind Weiterentwicklungen im Bereich der Verarbeitungstechnologie nur bedingt hilfreich.

4 Werkstoffe

Die Werkstoffe sind die wesentlichen Treiber der Karosserieentwicklung. Der große Einfluss auf Gewicht, Sicherheit, Steifigkeit und nicht zuletzt den Kosten, macht die Materialien zur Chance aber gleichzeitig auch zur Begrenzung des Karosseriebaus. Bevor die einzelnen Werkstoffe detailliert untersucht werden, soll ein Überblick über die verschiedenen Werkstoffe gegeben werden. Grundlage für den Einsatz eines Werkstoffes im Karosseriebau ist die technische Anwendbarkeit. Im Mittelpunkt stehen dabei vor allem die Festigkeit und Steifigkeit des Grundmaterials. Abbildung 15 zeigt beispielhaft auf, wie unterschiedlich die Werkstoffe unter Belastung reagieren. Die Leichtmetalle Aluminium und Magnesium verformen sich deutlich mehr als Stahl mit dem gleichen Querschnitt. Hält man die Grundfläche allerdings konstant, so können Gewichtseinsparungen von bis zu 60 Prozent erreicht werden. Kritisch angemerkt werden muss jedoch, dass die Beispiele in Abbildung 15 lediglich den Belastungsfall „Biegung“ darstellen und dieser in der Praxis nur einer von Vielen ist.

Technische Anwendbarkeit und Wirtschaftlichkeit müssen gegeben sein



Biegung stellt nur einen Belastungsfall dar

Abbildung 15 Steifigkeits- und Gewichtsersparnis verschiedener Werkstoffe (19)

Neben der technischen Eignung des Werkstoffes spielen auch die im Kapitel Leichtbau (siehe 2.2) angesprochene Gewichtsreduktion eine immer bedeutendere Rolle. Abbildung 16 zeigt einen Überblick über die potentiellen Möglichkeiten der Gewichtsersparnis im Karosseriebau. Während mit Leichtmetallen und Kunststoffen Einsparungen von bis zu 50 Prozent für möglich gehalten werden, beschreibt die Tabelle für den Werkstoff Stahl ein Potential von maximal zehn Prozent. In herkömmlicher Bauweise wird dieser Prozentsatz durchaus seine Richtigkeit

Stahl ist deutlich steifer als Aluminium und Magnesium

haben, jedoch eröffnet sich die Frage, ob bei diesem Vergleich die Potentiale des Warmumformens vollständig eingerechnet wurden.

Material	Price	Pot weight saving (vs. steel)	Use/ applications
Steel	1€/kg	10%	Main structure, body shell, safety crash
Aluminium	4-5€/kg	20-45%	Hang on then moving into structure
Titanium	25-80€/kg	50%	For rigidity parts low series
Magnesium	10-20€/kg	30-50%	Complex use with coating
Carbon Fiber	40-80€/kg	50%	Crash, High Strength-Rigidity, skin ??

Abbildung 16 Preisübersicht und mögliche Gewichts-
einsparpotentiale der Karosseriewerkstoffe (20)

Die Relation von Preis zu Gewicht spiegelt die Leistungsfähigkeit eines Werkstoffes nur unzureichend wider. Vielmehr muss auch die Beziehung des Preises zum Volumen berücksichtigt werden, um belastbare Aussagen treffen zu können. Abbildung 17 zeigt auf Basis von Abbildung 16 die Relation vom Preis zum Volumen.

Preis zu Gewicht nur bedingt aussagekräftig

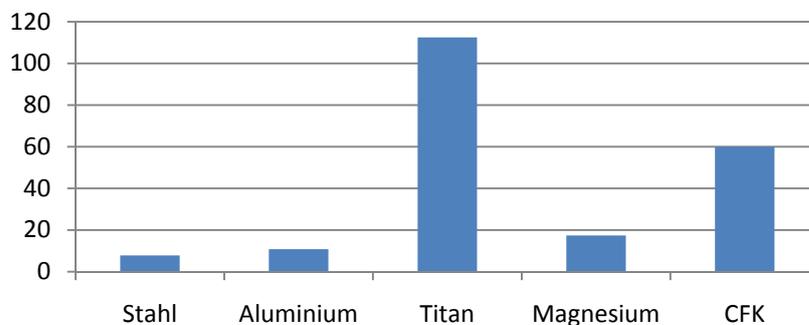


Abbildung 17 Werkstoffpreis in Abhängigkeit vom Volumen

Man erkennt deutlich, dass bei Betrachtung des Volumens anstatt des Gewichts, die Unterschiede markanter werden. Während sich die Preisdifferenz Stahl-Aluminium relativiert und Aluminium um rund die Hälfte teurer als Stahl ist (in Gewichtsrelation bis zu fünf Mal so teuer) wird ersichtlich, dass Titan und CFK auch aus diesem Blickwinkel erheblich teurer sind. Damit verringert sich die Wahrscheinlichkeit eines Einsatzes im Karosseriebau weiter.

Relation Preis/Volumen lässt die Unterschiede markanter werden

Einen nicht zu vernachlässigenden Faktor stellen auch die Stückzahlen dar. Wie schnell eine Bauweise konkurrenzfähig werden kann, beschreibt Abbildung 18. Bei kleinen Stückzahlen, ist Aluminium deutlich günstiger als Carbon. Der Brake-Even-Point

liegt in diesem Vergleich beispielsweise bei weniger als 5000 Fahrzeugen pro Jahr. Können die Kosten von Kohlefaser aber nur um wenige Prozent gesenkt werden, wachsen die rentablen Stückzahlen überproportional und weitaus größere Mengen sind wirtschaftlich produzierbar. Die im Beispiel vorgestellte Paarung Aluminium/CFK kann auch auf andere Werkstoffe umgelegt werden. Damit wird deutlich, wie selbst kleinste Preisreduktionen Auswirkungen auf die Rentabilität haben können.

Veränderung der Stückzahlen lässt oft alternative Konzepte wirtschaftlich werden

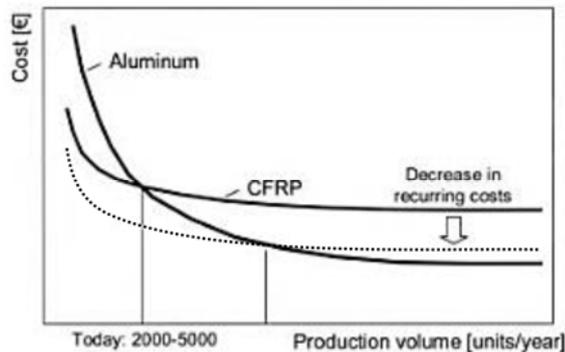


Abbildung 18 Vergleich Kosten CFRP und Aluminium (21)

4.1 Metalle

4.1.1 Stahl

Kaum ein Werkstoff im Karosseriebau wird dermaßen unterschiedlich bewertet wie Stahl. So wird oftmals die Meinung vertreten, Stahl sei veraltet und habe aufgrund des hohen Gewichts keine Zukunft im modernen Automobilbau. Andere Experten hingegen sehen Stahl aufgrund der breiten Eigenschaftsverteilung sowie der hohen Wirtschaftlichkeit, zukunftsfähiger denn je. Am Markt bedrängen Aluminium und Kunststoffe den Werkstoff Stahl in zunehmendem Maße. Vor allem die hohe Dichte ist ein gewichtiges Argument gegen die weitere Verwendung des Materials. Andererseits zeugen nicht zuletzt wiederkehrende Innovationen von der Modernität des Materials. Aufgrund der weiten Verbreitung von Stahl im Karosseriebau und der breiten Kenntnisse und Erfahrungen mit dem Werkstoff, soll an dieser Stelle nicht tiefer auf dieses Wissen eingegangen werden. Vielmehr soll der Fokus auf den Ausblick und die Zukunftsfähigkeit des Werkstoffes gelegt werden. Für weitere Informationen sei auf einschlägige Literatur, im Besonderen der Stahlstudie des Instituts für Werkzeugtechnik und Spanlose Produktion verwiesen.

Ein Werkstoff mit Tradition und Zukunft

*Weiterführende Literatur:
Stahlstudie von T&F*

Zur besseren Übersicht wird das Kapitel Stahl zusätzlich in die Unterkapitel „Stahl“ sowie „Edelstahl“ unterteilt.

4.1.1.1 Welche Vor- und Nachteile weist Stahl im Hinblick auf den Karosseriebau auf?

Vorteile	Nachteile
+ hohe Festigkeiten	- hohe Dichte
+ breite Eigenschaften	- Korrosivität
+ Lackierfähigkeit	- Entwicklungspotential beschränkt
+ sehr wirtschaftlich	
+ gute Verarbeitbarkeit	
+ hoher Forschungsstand	
+ hohe Verfügbarkeit	
+ gutes Crashverhalten	

Tabelle 9 Vor- und Nachteile von Stahl

Stahl bietet in Kombination mit verschiedenen Legierungselementen und Verarbeitungsmethoden eine extrem breite Palette von Eigenschaften. Einen Einblick über die derzeit im Karosseriebau verwendeten Stähle und deren Eigenschaften, sowie im Entwicklungsstadium befindlicher Stähle, liefert folgende Auflistung. (22)

Die „Stahlbanane“

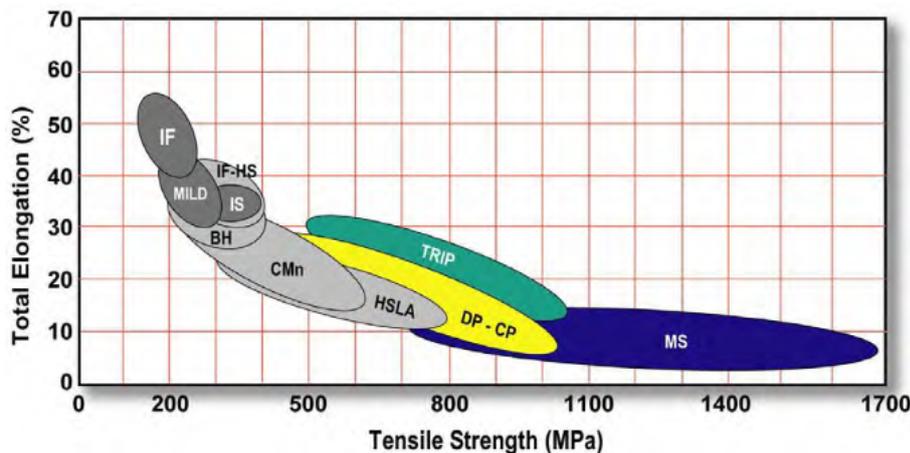


Abbildung 19 Stähle des Karosseriebaus (22)

Wie in Abbildung 19 ersichtlich lassen sich die Stähle in folgende drei große Gruppen unterscheiden.

Einteilung der Stähle in Low, High und Advanced High strength steels

- Low strength steels (LSS)–Abbildung 19 hellgrau
- High strength steels (HSS)–Abbildung 19 dunkelgrau
- Advanced high strength steels (AHSS)–Abbildung 19 farbig

Low strength steels (LSS)

Diese Stähle eignen sich vor allem um komplizierte Bauteile mit geringen Festigkeiten zu erzeugen. Deshalb finden diese Bauteile

LSS Stähle: Komplizierte Bauteile mit geringen Festigkeiten

oft in der Außenhaut von Automobilen Verwendung. Zu dieser Gruppe werden folgende Werkstoffe gezählt.

- Mild Steels

Sind die ältesten und am weitesten verbreitetsten Stähle im Karosseriebau. Aus diesem Grund werden sie oft als Referenz herangezogen. Die Stähle verfügen über eine ferritische Matrix und bringen gute Umformeigenschaften mit.

- IF Stähle

Diese Stähle sind „interstitial free“ d.h. es sind wenige Kohlenstoff Atome in der Gitterstruktur eingelagert. Der Werkstoff kann leicht fließen, da keine Fremdatome hinderlich einwirken. Erreicht wird diese Eigenschaft durch sehr geringe Anteile von Kohlenstoff (Ultra low carbon). Sehr Komplexe Bauteile mit relativ geringen Festigkeiten darstellbar.

- IS Stähle

„Isotropische“ Stähle zeichnen sich durch niedrige r-Werte aus und weisen damit praktisch gleiche Eigenschaften in alle Richtungen auf. Dementsprechend gut für Karosserieanwendungen einsetzbar.

High Strength steels (HSS)

Stähle dieser Kategorie verbinden in der Regel höhere Festigkeiten mit gleichzeitig hoher Duktilität. Einige Werkstoffe und deren Eigenschaften bildet nachstehende Auflistung ab.

HSS Stähle: Mittlere Festigkeiten und hohe Duktilität

- Bake Hardening Stähle

Diese Art von Stahl hat die besondere Eigenschaft sich bei der Erwärmung über 200°C zu verfestigen. Damit kann der Stahl sehr einfach geformt werden und hat trotzdem beachtliche Festigkeiten. Durch Integration der Wärmebehandlung in die Lackieranlage ist kein Zusatzaufwand nötig.

- IF High strength Stähle

Ähnliche Eigenschaften wie herkömmliche „interstitial free“ Stähle, jedoch mit höheren Festigkeiten. Diese werden durch höheren Legierungsgehalt von Mangan oder Phosphor erreicht. Anwendung finden diese Stähle für komplizierte Bauteile wie beispielsweise Radhäuser oder Bodenbleche.

- CMn Stähle

Diese Stähle werden mit Kohlenstoff und Mangan legiert und weisen mittlere Bruchdehnungen bei niedrigen bis mittleren Festigkeiten auf.

- HSLA Stähle

Aus dem Namen der Stahlart (High strength low alloy) geht hervor, dass diese Stähle hohe Festigkeiten trotz niedriger Legierungselemente aufweisen. HSLA Stähle finden Anwendung für allgemeine Struktur- und Karosseriebauteile.

Advanced high strength steels (AHSS)

Sehr spezielle Eigenschaften wie extreme Festigkeiten oder höchste Bruchdehnungen zeichnen diese Gruppe von Stählen aus. Nachteilig wirkt sich dabei oftmals eine Schwäche anderer Eigenschaften aus. Folgende Kategorien lassen sich unterscheiden.

AHSS Stähle: Höchste Festigkeiten und niedrige Duktilität

- Dualphasen Stähle/Complexphasen Stähle

Dualphasen Stähle bestehen aus zwei Phasen, im Allgemeinen aus einem Ferrit- und einer Martensitphase, welche in Clustern konzentriert sind. Complexphasenstähle bestehen aus dementsprechend mehr Phasen. Diese Stähle sind weitgehend isotrop und gut umformbar. Die hohe Energieabsorption prädestiniert den Stahl für Crashbauteile.

- Trip Stähle

Die Abkürzung „Trip“ steht für „Transformation induced plasticity“, da sich dieser Stahl bei der Umformung selbstständig verfestigt. Die ursprüngliche Matrix besteht aus Ferrit und metastabilem Restaustenit. Durch die Umformung wird dieser Restaustenit in Martensit umgewandelt und der Stahl erhält seine endgültige Festigkeit.

TRIP: „Transformation induced plasticity“

- Ferritisch Bainitische Stähle

Diese Stähle reihen sich zwischen den Dualphasen Stählen und den TRIP Stählen ein. Sie verfügen über ein Gefüge aus ferritischen und bainitischen Phasen. Aufgrund der guten Schweißbarkeit dieser Stähle eignen sie sich besonders für Tailored Produkte (siehe 5.3).

- MS Stähle

Martensit Phasen Stähle erreichen die höchsten Festigkeiten von bis zu 1500 MPa (es sind Stähle in Entwicklung, welche Festigkeiten von bis zu 1900 MPa besitzen; siehe 4.1.2.3) und bestehen im Endzustand fast rein aus martensitischen Anteilen. Nachteil der hohen Festigkeit sind die niedrigen Bruchdehnungen.

MS Stähle weisen Festigkeiten von bis zu 1900 MPa auf

- Presshärtbare Stähle

Diese Stähle sind in der Regel borlegiert und werden je nach Verfahren, direkt oder nach einer Kaltumformung bis in die Austenitphase erwärmt, umgeformt und im

Umformung mit vorhergehender „Austenitisierung“

gekühlten Werkzeug abgeschreckt. Damit sind extrem feste Bauteile mit komplexen Geometrien darstellbar. Rückfederungen treten sehr begrenzt auf und somit ist eine hohe Prozesssicherheit gewährleistet.

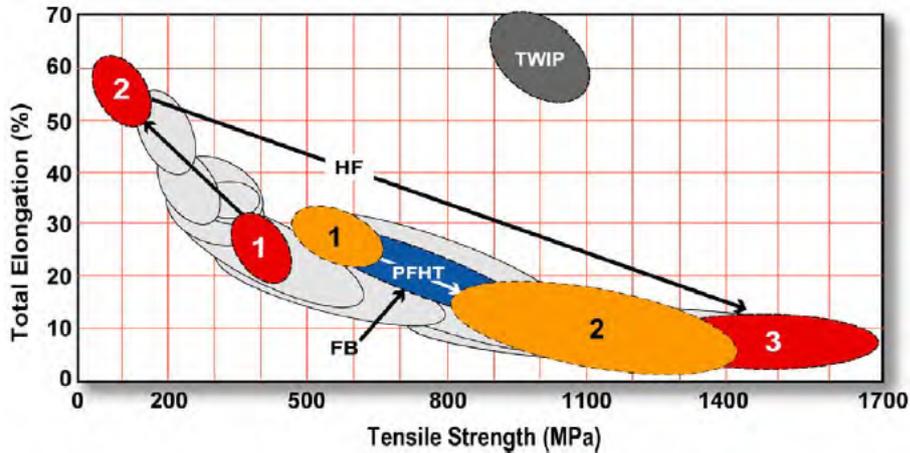


Abbildung 20 Der Presshärtprozess (22)

Die roten Markierungen in Abbildung 20 zeigen wie sich der Stahl bei diesem Vorgang verhält. Das Grundmaterial mit mittleren Festigkeiten und Bruchdehnungen (1) wird austenitisiert (2) und damit die Festigkeit herabgesetzt und die Duktilität erhöht. Diese Bedingungen stellen ideale Umformeigenschaften dar. Nach dem Aushärten (3) ist der Stahl um ein Mehrfaches fester und kann höchste Belastungen aufnehmen.

Der Ablauf des Presshärtens

- Twip Stähle

Diese Art von Stahl ist in erster Linie mit sehr hohen Mengen an Mangan legiert. Dieses Legierungselement verleiht dem Stahl eine extreme Bruchdehnung. Die Abkürzung „Twining induced plasticity“ deutet auf die Zwillingsbildung der Austenitkörner beim Anlegen einer Kraft hin und macht Dehnungen von bis zu 90% plausibel.

Twip Stähle sind extrem verformbar

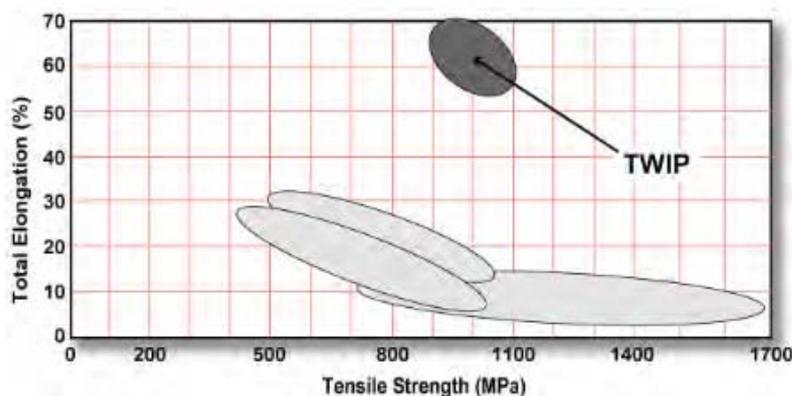


Abbildung 21 TWIP Stahl (22)

4.1.1.2 Wie wird Stahl im Karosseriebau derzeit eingesetzt?

Auf Beispiele für Stahl im Karosseriebau soll an dieser Stelle verzichtet werden, da die Anwendungen bekannt sind. Stattdessen sollen einige bemerkenswerte Beispiele angeführt werden.

- Audi

Das Luxussegment deckt der Hersteller mit dem Modell A8 ab und setzt dabei in dritter Generation auf die Aluminium Space Frame Technologie. Während das ausgelaufene Modell über eine B- Säule aus Aluminium verfügte, rollt das aktuelle Modell mit einer B-Säule aus pressgehärtetem Stahl vom Band. (23)

Der A8 baut in dritter Generation auf die Space Frame Technologie

Auch für das neue Kleinfahrzeug A1 nutzt der Hersteller nicht das Know-How aus der Aluminium Technik, sondern konzipierte das Fahrzeug in herkömmlicher Stahl Schalenbauweise. (24)

Stahl gewinnt in Bereichen wieder Marktanteile

- BMW

Der Münchner Hersteller vertraute beim aktuellen 5er Modell wieder auf einen Vorderwagen aus Stahl, während der Vorderwagen des Vorgängermodells aus Aluminium hergestellt wurde. Laut Aussagen des Herstellers bringt der Aluminiumvorderwagen keine wesentlichen Gewichtsvorteile im Vergleich zur Stahlbauweise. (25)

- VW

Der Konzern setzt laut Markenvorstand Dr. Hackenberg auf die Stahlbauweise, auch wenn die Mischbauweisen an Bedeutung gewinnen werden. Vor allem warmumgeformte Bauteile haben enormes Potential. Volkswagen investiert deshalb bereits massiv in eigene Warmumformkapazitäten und baut im Zuge dessen Standorte auf diese Technologie um oder aus. (26)

Volkswagen setzt auf die Warmumformung

4.1.1.3 Welche Forschung wird auf dem Gebiet des Stahl-Karosseriebaus betrieben und mit welchen Ausrichtungen und Zielen?

Auch im Bereich der Stahlforschung sind unzählige Hersteller, Universitäten und Forschungsinstitutionen weltweit mit der Weiterentwicklung des Werkstoffes im Allgemeinen und im speziellen für die Automobilindustrie beschäftigt. Vor allem die großen Stahlhersteller beschäftigen sich intensiv mit der Verbesserung der Stahlgüten sowie der Entwicklung von Konzeptfahrzeugen.

Stahlforschung wird weltweit von zahlreichen Organisationen betrieben

- ThyssenKrupp

Das Unternehmen hat zwei neue Stahlgüten entwickelt, welche die Festigkeit auf bis zu 1700 bzw. 1900 MPa hochschrauben. Die Bruchdehnung bleibt dabei auf einem ähnlichen Niveau wie die bisher verwendeten pressgehärtete Stähle. Damit sind weitere Optimierungen der crashgefährdeten Zonen möglich. An der Entwicklung des Stahles war neben ThyssenKrupp auch Ford maßgeblich beteiligt. (27)

ThyssenKrupp bringt Stähle mit Festigkeiten von bis zu 1900 MPa auf den Markt

- Fraunhofer

Das Forschungsinstitut beschäftigt sich u.a. mit der Erforschung von pressgehärteten IHU Bauteilen. Bisher erreichten die Forscher, bei sehr guter Reproduzierbarkeit und hohen Festigkeiten, Taktzeiten um 30 Sekunden. In Zukunft wollen die Wissenschaftler noch höhere Festigkeiten von bis zu 1900 MPa erreichen. (28)

- Max Planck Institut

Das Institut für Eisenforschung in Düsseldorf entwickelt und forscht an vielfältigen Themen um Stahl leichter und fester zu machen. Dabei war das Institut wesentlich an der Entwicklung von TRIP und TWIP Stählen beteiligt und wurde im Jahr 2009 für die Entwicklung des TRIPLEX Stahls ausgezeichnet. Dieser weist höhere Festigkeiten bei einer um bis zu 10% verringerten Dichte gegenüber herkömmlichen TWIP/TRIP Stählen auf. Zurückzuführen ist dies auf die hohen Legierungsanteile von Aluminium, Mangan und Silizium. (29)

Das Max Planck Institut zählt zu den renommiertesten Forschungseinrichtungen für Stahl

4.1.1.4 Wie können Karosseriebauteile aus Stahl geformt werden?

Die Formgebung von Stahl ist allgemein bekannt und in der Industrie seit Jahrzehnten etabliert. Zu den wichtigsten Verfahren können nachstehende Verfahren gezählt werden.

- Tiefziehen

Das Verfahren ist der Standard in der Automobilproduktion und erlaubt Zykluszeiten von bis zu 3 Sekunden. Variable Ziehpressen, gesteuerte Ziehgeschwindigkeiten oder Gegenzugvorrichtungen sind einige Hilfsmittel, welche den Prozess optimal adaptierbar machen.

Tiefziehen ist lässt große Stückzahlen zu und ist sehr wirtschaftlich

- Hydroformen

Maßgeblicher Unterschied des Hydroformens gegenüber anderen Verfahren ist, dass die zur Umformung benötigten Kräfte mittels eines Fluides und nicht eines festen Stempels übertragen werden. Damit ist die Herstellung von

komplexen Hohlkörpern ebenso möglich, wie die Bearbeitung von Blechen. Verschiedene Varianten mit unterschiedlichen Zusatzfunktionalitäten machen das Verfahren vielseitig. Der schonende Umformvorgang macht einstufige Prozesse möglich und erlaubt, in Kombination mit dem Entfall von Werkzeugen, niedrigste Werkzeugkosten. Nachteilig wirken sich die hohen Taktzeiten aus.

- Rollformen

Eine Blechplatte wird dabei durch eine Vielzahl von Rollen so umgeformt, dass längliche Profile oder Hohlkörper hergestellt werden können. Das Verfahren ist kostengünstig und kann durch Umbauen auf verschiedene Querschnitte umgestellt werden.

Rollformen ist ein kostengünstiges Verfahren

- Warmumformen

Der Prozess ist seit einigen Jahren in Verwendung und wird zunehmend stärker im modernen Karosseriebau eingesetzt. Anfangs vor allem für crashempfindliche Zonen wie beispielsweise im Bereich der B Säule angewandt, zieht das Verfahren zunehmend auch in andere Bereiche der Karosserie ein. Dieser Erfolg basiert im Wesentlichen auf den Vorteilen des Verfahrens im Bereich der Gewichtsreduktion aufgrund höherer Festigkeiten, der Möglichkeit der Teilereduktion durch komplexere Bauteile, sowie die hohe Reproduzierbarkeit der Bauteile. Diesem Verfahren wird in Zukunft großes Potential zugerechnet.

Presshärten ist für crashrelevante Teile prädestiniert

4.1.1.5 Welche Stärken (Schwächen, Chancen, Gefahren) hat Stahl im Karosseriebau?

Stärken

- Das Material ist sehr günstig. Auch hoch- und höchstfeste Stähle inkl. Warmumformung sind im Vergleich zu anderen Werkstoffen günstig.
- Stahl ist weltweit in ausreichender Menge und gewünschter Qualität verfügbar.
- Die Verarbeitungsverfahren sind bekannt und die Anlagen bereits vorhanden. Somit sind die Risiken gering und die Zusatzinvestitionen niedrig.

Stahl ist ein sehr ökonomischer Werkstoff

Schwächen

- Mit einer Dichte von $7,85 \text{ kg/dm}^3$ ist der Werkstoff fast dreimal so schwer wie Aluminium und noch deutlich schwerer als Kunststoffe oder Magnesium.

Stahl hat eine hohe Dichte

- Die Anfälligkeit von Stahl gegenüber Korrosion in Verbindung mit Feuchtigkeit, aber auch mit anderen Metallen, machen aufwendige Schutzmaßnahmen erforderlich. Dies beeinträchtigt die Verarbeitung und die Wirtschaftlichkeit.

Chancen

- Neue Entwicklungen hin zu noch höheren Festigkeiten ermöglichen kleinere Blechstärken und damit Gewichts- und Kostenersparnisse. Damit hat das Material auch die Chance auch in Zukunft im modernen Karosseriebau dominant zu bleiben.
- Neue Möglichkeiten eröffnen sich seit der großflächigen Einführung der Warmumformprozesse. Auf diesem Gebiet wird sehr viel Forschung betrieben und dementsprechende Fortschritte sind zukünftig zu erwarten. Das Potential wird in diesem Bereich sehr groß eingeschätzt.

Höhere Festigkeiten ermöglichen kleinere Blechstärken

Gefahren

- Die Materialien mit denen der Werkstoff Stahl im Wettbewerb steht, sind zahlreich und haben verschiedenste Vor- und Nachteile. Sollten bei einem dieser Werkstoffe deutliche Fortschritte verzeichnet werden, könnte die Vorherrschaft von Stahl im Karosseriebau gebrochen werden.
- Obwohl immer wieder Innovationen rund um das Produkt, die Verarbeitung und die Anwendung in die Praxis übergehen, könnte das Entwicklungspotential des Werkstoffes begrenzt sein.

Stahl hat eine Vielzahl an Mitbewerbern

4.1.1.6 Ausblick für Stahl im Karosseriebau

Stahl ist das dominierende Material im Karosseriebau und wird nach Ansicht von vielen Experten diesen Status in absehbarer Zeit nicht abgeben. Dafür spricht allem voran der günstige Preis, gefolgt von der Versorgungssicherheit und dem hohen Wissenstand in der Be- und Verarbeitung.

Forschungsbemühungen zur Erhöhung von Festigkeit und Duktilität

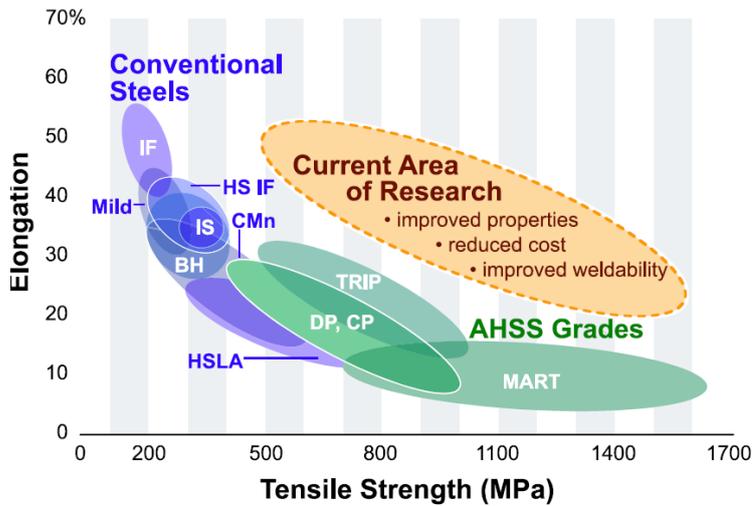


Abbildung 22 Forschung im Bereich Stahl (8)

Abbildung 22 verdeutlicht die Potentiale und Stoßrichtungen der aktuellen Forschungsbemühungen und gibt gleichzeitig die Ziele vor. So sollen vor allem die für den Automobilbau relevanten Eigenschaften verbessert werden, der Aufwand für die Produktion und die Fertigung minimiert werden und die Fügbarkeit optimiert werden. Ein mögliches Resultat dieser Bemühungen könnten laut ArcelorMittal, dem größten Stahlproduzenten weltweit, eine Reihe von neuartigen Stählen sein, welche bis 2015 zur Verfügung stehen sollen (siehe Abbildung 23).

Forschung zielt auf Verbesserung der technologischen Eigenschaften, Kosten und Fügbarkeit ab

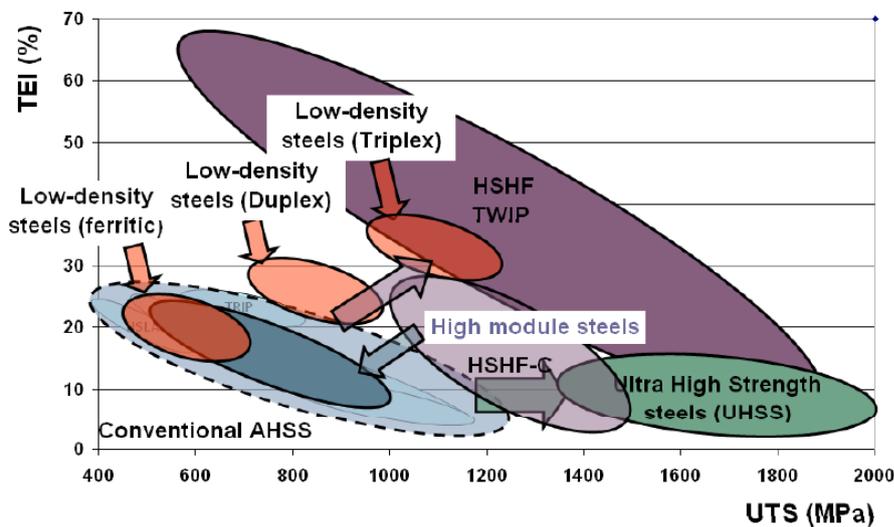


Abbildung 23 Steel Solutions for vehicles SOP after 2015 (30)

Der Trend hin zu höheren Festigkeiten hält unvermindert an und ist auch in die Kompaktklasse eingezogen. Abbildung 24 zeigt die Entwicklung der Werkstoffe am Beispiel der Modellreihe Corsa von Opel. (Anmerkung: „Old“ entspricht dem Corsa C; SOP 2000, „New“ entspricht dem Corsa D; SOP 2008). Dabei wurde der Anteil der weichen und mittleren Stähle stark reduziert und neue Stähle mit höheren Festigkeiten eingeführt. Während beim alten

Hochfestes Stähle nehmen auch in Kleinwagensegment stark zu

Modell nur 18 Prozent des Stahls über 300 MPa Festigkeit waren, sind beim neuen Corsa bereits 49 Prozent über dieser Marke.

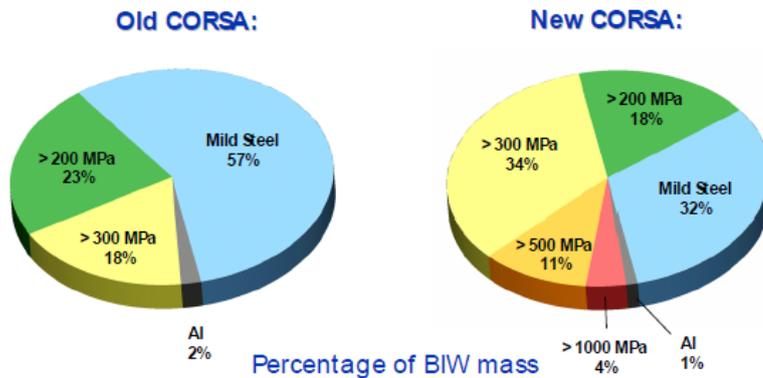


Abbildung 24 Zunahme höherfester Stähle im Kleinwagensegment am Beispiel Opel Corsa (31)

Vor allem die Warmumformung hat noch großes Potential und dementsprechende Forschungsaktivitäten sind auf diesem Gebiet zu beobachten. Fortschritte auf dem Gebiet des Werkstoffes, aber auch Vereinfachungen und Verbesserungen im Bereich des Prozesses werden diese Technologie in den nächsten Jahren stetig wachsen lassen. Waren am Anfang hochpreisige Limousinen und SUVs die Pioniere dieser Technologie, so sind warmumgeformte Karosseriebauteile auch in niedrigeren Preisklassen zu finden. Modernste Kleinwagen wie der A1 von Audi bestehen aus bis zu zwei Dritteln hoch- und höchstfesten Stählen, wovon 11 Prozent warmumgeformt werden. (24)

Moderne Kleinwagen setzen auf bis zu 2 Drittel hochfeste Stähle

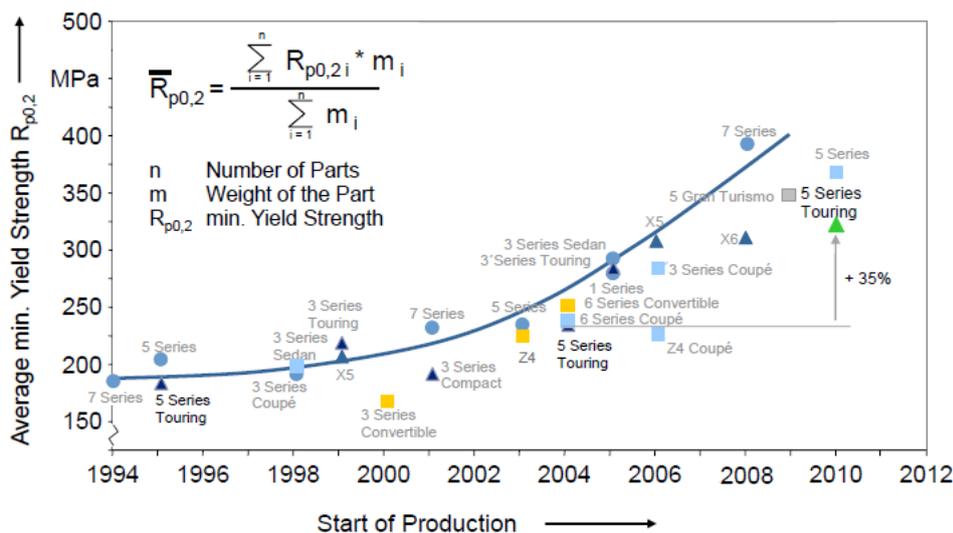


Abbildung 25 Entwicklung der mittleren Festigkeit am Beispiel BMW (32)

Eindrucksvoll unterstrichen wird dieser Trend hin zu immer höheren Festigkeiten wenn die durchschnittliche Festigkeitssteigerungen der letzten Jahre betrachtet werden. Abbildung 25 zeigt wie die durchschnittliche Festigkeit der

Die durchschnittliche Festigkeit bei Fahrzeugen von BMW liegt bereits bei knapp 400MPa

gesamten Bauteile einer Rohkarosserie im BMW Konzern zugenommen hat. Dazu wird das Produkt aus Masse und Festigkeit jedes Bauteils summiert und durch die Gesamtmasse dividiert. Seit Ende der 90er Jahre hat diese mittlere Festigkeit um mehr als 75 Prozent zugelegt und liegt heute bei knapp 400 MPa.

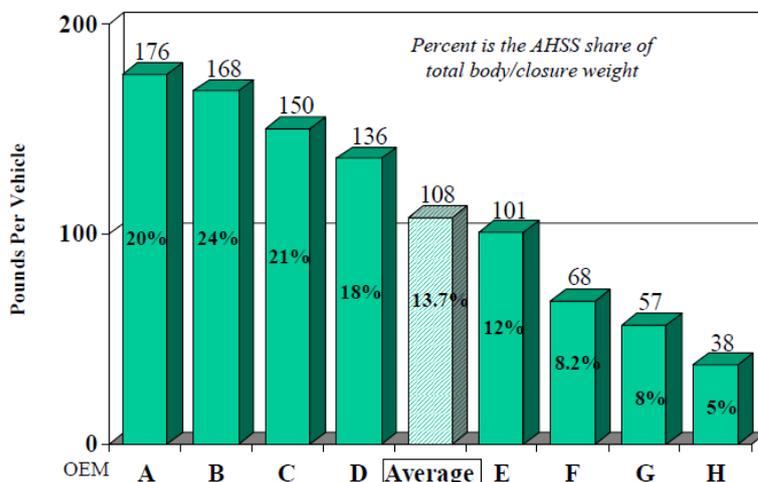


Abbildung 26 2009 AHSS for North American Light Vehicle for Body and Closure (33)

Trotz des weit fortgeschrittenen Einsatzes von hochfesten Stählen bei manchen Herstellern, hinken andere OEMs beim Wechsel hin zu neuen Stahlgüten hinterher. Abbildung 26 zeigt am Beispiel des nordamerikanischen Marktes, dass der fortschrittlichste Hersteller bereits 20 Prozent hochfeste Stähle einsetzt, während der letzte gerade auf ein Viertel dieses Anteils kommt. Allein dieser Nachholbedarf garantiert für hochfeste, insbesondere aber den warmumgeformten Stählen, in den nächsten Jahren überdurchschnittliche Wachstumsraten.

Ein Teil der Hersteller hat Nachholbedarf bei AHSS Stählen

4.1.2 Edelstahl

4.1.2.1 Welche Vor- und Nachteile weist Edelstahl im Hinblick auf den Karosseriebau auf?

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> + korrosionsbeständig + hohe Festigkeiten + gute Umformbarkeit + bestehende Anlagentechnologie nutzbar 	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Dichte - teuer - andere Werkzeugtechnologien nötig

Tabelle 10 Vor- und Nachteile von Edelstahl

4.1.2.2 Wie wird Edelstahl im Karosseriebau derzeit eingesetzt?

Der Werkstoff wurde in der Vergangenheit in einzelnen Fahrzeugen als Außenhaut eingesetzt, ist aber aktuell als Karosseriebauteil nicht im Einsatz. Verwendung findet Edelstahl jedoch in der Abgasanlage und für Kraftstofftanks. Bedeutendstes Beispiel für den Werkstoff im Serieneinsatz ist der De Lorean. (34)

Der De Lorean setzte auf eine Edelstahl Karosserie

- De Lorean

Das Fahrzeug wurde in den 80er Jahren gebaut und aufgrund wirtschaftlicher Probleme des Unternehmens nach kurzer Zeit wieder eingestellt. Das neuartige Konzept basierte auf einer Edelstahl-Karosserie, welche nicht lackiert wurde. (34)

4.1.2.3 Welche Forschung wird auf dem Gebiet des Edelstahl-Karosseriebaus betrieben und mit welchen Ausrichtungen und Zielen?

Einige Forschungsprojekte zielten auf die Untersuchung von Edelstählen für den Einsatz im Automobilbau ab, wurden in den letzten Jahren aber nicht wesentlich ausgebaut.

- Next Generation Vehicle

Der Forschungsverbund formierte sich aus fast allen wichtigen europäischen Fahrzeugherstellern sowie einigen Werkstoffproduzenten, mit dem Ziel den Einsatz von Edelstahl im Automobilbau zu untersuchen. Das 2007 beendete Projekt untersuchte sämtliche Aspekte des Werkstoffes von der Produktion über die Fertigung bis hin zum Recycling. (35)

Europäische OEMs vereinten sich zur Erforschung von Edelstahl

- Volvo

Das Unternehmen vergleicht in einer Studie einen Stoßfänger aus herkömmlichen Stahlgüten und Edelstahl. Ergebnis des Versuchs ist die Erkenntnis, dass Edelstahl bei hohen Festigkeiten sehr gut formbar ist. Das Sparpotential beim Gewicht kann aber nur bei optimaler Anpassung der Bauteile an die Eigenschaften des Werkstoffes erreicht werden. (36)

4.1.2.4 Wie können Karosseriebauteile aus Edelstahl geformt werden?

Edelstähle werden auf den gleichen Anlagen und mit den gleichen Verfahren wie herkömmliche Stähle gefertigt (siehe 4.1.1.4). Zu berücksichtigen sind dabei spezielle Eigenschaften wie höhere Festigkeit, höhere Rückfederung und höhere Duktilität.

Edelstahl läßt sich ähnlich umformen wie Stahl

4.1.2.5 Welche Stärken (Schwächen, Chancen, Gefahren) hat Edelstahl im Karosseriebau?

Stärken

- Edelstahl ist gegen Umwelteinflüsse weitgehend beständig und korrosionsresistent. Der Werkstoff bedarf damit keines zusätzlichen Korrosionsschutzes. Aufwendige Maßnahmen wie Verzinken können entfallen. Prinzipiell könnte auch komplett auf die Lackierung verzichtet werden.
- Das Material weist höchste Festigkeiten auf und lässt sich dabei auch sehr gut umformen. Damit lassen sich auch hochkomplexe Bauteile herstellen.

Edelstahl ist korrosionsbeständig

Schwächen

- Der Werkstoff ist teuer. Zurückzuführen ist dies auf die hohen Legierungsanteile, allen voran Nickel und Chrom. Der Weltmarkt für diese Zusatzwerkstoffe entwickelte sich in den vergangenen Jahren sehr dynamisch. Dies führte zu einer Verteuerung und generell einer schwierigen Planbarkeit des Marktpreises.

Preis ist schwierig planbar

Chancen

- Die hohe Festigkeit, gute Umformeigenschaften, Verzicht von Korrosionsschutz sind einige hervorragende Eigenschaften, welche dem Werkstoff großes Potential einräumen.

Gefahren

- Ein weiteres Ansteigen der Legierungspreise bzw. eine Ausweitung der Schwankungsbreite könnten Planungen behindern und den Werkstoff weiterhin unattraktiv machen.

4.1.2.6 Ausblick für Edelstahl im Karosseriebau

Der bedeutendste Faktor für einen Einsatz von Edelstahl im Karosseriebau sind weiterhin die Legierungselemente, allen voran Nickel und Chrom. Der Preis dieser Metalle bestimmt die Attraktivität und damit indirekt den Einsatz im Automobilbau. Abbildung 27 zeigt deutlich wie volatil der Preis von Nickel in den letzten Jahren war. Von 2005 an verteuerte sich das Element um bis zu 400%. Anschließend stürzte der Kurs im Zuge der Wirtschaftskrise um über 85 Prozent ab und damit unter das Niveau von 2005. Aktuell befindet der Kurs sich in einem langfristigen Aufwärtstrend deutlich niedriger als zu Boomzeiten, aber auch bedeutend höher als beispielsweise vor 10 Jahren.

Ausschlaggebend sind die Preise von Chrom und Nickel

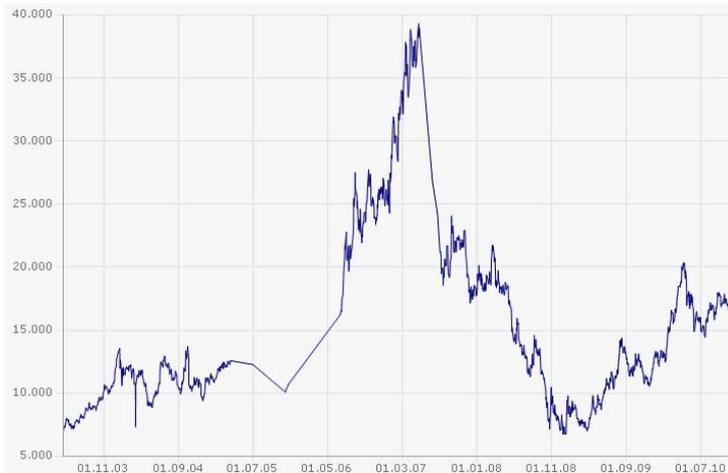


Abbildung 27 Preisschwankungen bei Nickel (37)

Nichtsdestotrotz hat das Material Vorzüge, welche den Einsatz im Karosseriebau attraktiv machen. Vor allem die Korrosionsbeständigkeit und das damit verbundene Potential aufwendige Konservierungsmaßnahmen zu verhindern, könnten einen Teil des höheren Preises ausgleichen. Attraktiv erscheint auch der Umstand dass bestehende Anlagen weitergenutzt werden können und damit die Investitionen gering sind. Mit diesen Vorteilen erscheint der Werkstoff durchaus interessant für den Karosseriebau und könnte in den nächsten Jahren in den Fokus rücken. Ein rascher Einzug in die Großserie erscheint dennoch unwahrscheinlich.

*Kostensparnis durch
Reduktion des
Korrosionsschutzes*

4.1.3 Aluminium

Wird das Thema Leichtbau angesprochen, wird sehr oft Aluminium als erste Lösung genannt. Tatsächlich weist Aluminium einige Vorteile im Bezug auf den Leichtbau auf, darunter in erster Linie die geringe Dichte, die gute Korrosionsbeständigkeit und die wirtschaftliche Fertigung. Aus diesen Gründen gewinnt der Werkstoff in den letzten Jahren auch im Karosseriebau an Bedeutung. Aufgrund des Preisunterschiedes zu Stahl ist der Einsatz von Aluminium bevorzugt in hochpreisigen Fahrzeugen zu finden. In dieser Klasse haben einige Hersteller bereits Fahrzeuge komplett aus Aluminium im Angebot. Vorreiter sind dabei Audi mit der ASF (Audi Space Frame®) Technologie sowie Jaguar.

*Aluminium gilt als das
Leichtbaumaterial
schlechthin*

4.1.3.1 Welche Vor- und Nachteile weist Aluminium im Hinblick auf den Karosseriebau auf?

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> + geringe Dichte + gute Korrosionsbeständigkeit + günstige Umformeigenschaften + stahlähnliche Verarbeitung + niedrige Zykluszeiten + gute und wirtschaftliche Gussfertigkeit + gute Recyclingfähigkeit bei geringem Energieaufwand 	<ul style="list-style-type: none"> - teuer - Niedriger Elastizitätsmodul (im Vergleich zu Stahl) - energieintensive Erstproduktion - Korrosion bei Kontakt mit anderen Metallen - höhere Wärmeausdehnung als Stahl

Tabelle 11 Vor- und Nachteile von Aluminium

Neben den grundlegenden Eigenschaften, die für alle Varianten des Werkstoffes Gültigkeit besitzen, können Aluminium und dessen Legierungen in verschiedene Gruppen unterteilt werden. Eine Übersicht mit den Legierungselementen, dem Aushärtungsverhalten sowie grundlegenden Eigenschaften verschiedener Aluminiumlegierungen sind in Tabelle 12 beschrieben.

Aluminiumlegierungen können in 8 Gruppen eingeteilt werden

	Gruppe	Legierung	Eigenschaften
Keine Wärmebehandlung	1xxx	Reines Al	Schweißbar, korrosionsbeständig, hohe elektrische Leitfähigkeit
	3xxx	AlMn	Korrosionsbeständig, gute Formbarkeit
	4xxx	AlSi	Niedriger Schmelzpunkt, dünnflüssige Schmelze
	5xxx	AlMg	Schweißbar, hohe Festigkeit, Gefahr von Spannungsrisskorrosion
Wärmebehandlung	2xxx	AlCu	Hohe Festigkeit, schwierig schweißbar
	6xxx	AlMgSi	gut schweißbar, sehr gut strangpressbar
	7xxx	AlZnMg	Nicht mit Lichtbogen schweißbar
	8xxx	Sonstige z.B. Lithium	Aufwendige Verarbeitung

Tabelle 12 Aluminiumlegierungen im Überblick (19)

Im Karosseriebau sind vor allem Legierungen der Gruppe 5xxx und 6xxx vorzufinden. Neuere Entwicklungen mit der Tendenz hin zu höheren Festigkeiten, greifen vermehrt auf die 7xxx Legierungen zurück. Nachteil hochfester Aluminiumwerkstoffe ist die bedingte Schweißbarkeit (siehe Abbildung 28).

*Hochfeste
Aluminiumlegierungen sind
nur bedingt schweißbar*

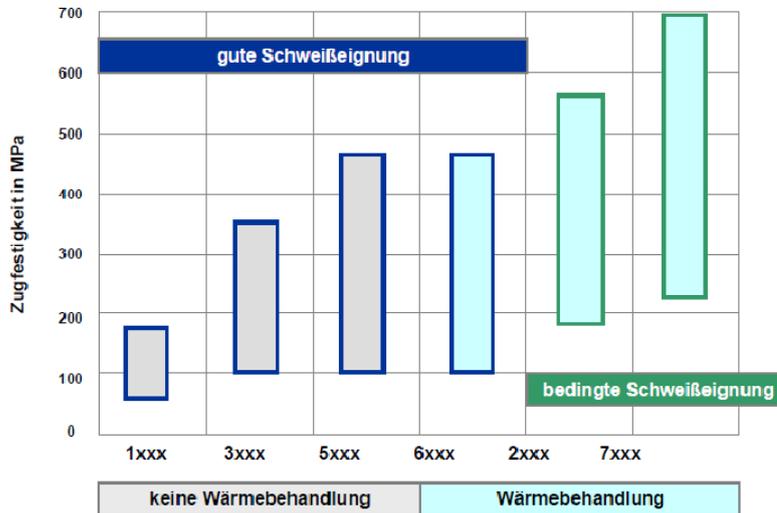


Abbildung 28 Schweißbarkeit von Aluminiumlegierungen (19)

4.1.3.2 Wie wird Aluminium im Karosseriebau derzeit eingesetzt?

Neben dem Einsatz im Motorenbereich (Motorblock, Kolben) findet Aluminium auch in der Karosserie erste Anwendungen. Einige Beispiele, in denen die Karosserie in wesentlichen Teilen aus Aluminium besteht, sind nachstehender Auflistung zu entnehmen.

- Audi

Der Hersteller fertigt das Luxus Modell A8 in dritter Generation in Aluminium Space Frame Technologie und gilt nicht nur deshalb als Leader im Bereich der Aluminiumtechnologie. Beim A8 wird auf ein Skelett aus stranggepressten und teilweise hydrogeformten Profilen eine Beplankung aus Aluminiumblech aufgebracht. Erstmals wird neben Klappen und Türen auch für den Mitteltunnel, welcher normalerweise aus Dual Phasen Stahl aufgebaut ist, ein Novelis Sandwichblech verwendet. (10) Im Gegenzug geht der Hersteller bei der B-Säulenverstärkung den umgekehrten Weg und baut, entgegengesetzt zum Vorgängermodell, eine Verstärkung aus hochfestem Stahlblech ein. (23)

*Audi gilt als
Aluminiumpionier*

- Jaguar

Für das Topmodell Jaguar XK hat das Unternehmen eine Karosserie aus Aluminium entwickelt, welche zu 8 Prozent aus Gussteilen, zu 16 Prozent aus Strangpressprofilen sowie zu 76 Prozent aus Pressteilen besteht. Ähnlich beim

*Jaguar baut Fahrzeuge in
Aluminium Schalenbauweise*

Oberklassemodell XJ, bei dem 6 Prozent Gussteile und 5 Prozent extrudierte Bauteile und 88 Prozent Pressteile sind. Fast die gesamten Pressteile sind aus Aluminium der 5. und 6. Reihe. Der Hersteller spricht von bis zu 50 Prozent Gewichtseinsparungen gegenüber einer Rohkarosserie aus Stahl. (38)

- Daimler

Der Hersteller baut mit dem SLS das erste Fahrzeug der Modellpalette komplett in Aluminium. Das Fahrzeug verfügt neben zahlreichen Blech- und Strangpressstrukturen auch aus superplastisch umgeformten Türen. In den restlichen Automobilen ist Aluminium aber weiterhin ein Nischenprodukt (E-Klasse 7%, S-Klasse 21%). Jedoch sieht der Hersteller bis 2020 eine Verdoppelung der Nachfrage nach Aluminiumblechen vorher. (39)

Daimler baut den SLS in Aluminium

- BMW

Setzt bei zukünftigen Türsystemen eine Aluminiumaußenhaut der Reihe 6xxx ein und für die Innentür ein Sandwich Blech von Novelis. Bis auf den Seitenaufprallträger besteht die komplette Tür aus Aluminium. (25) Im Gegenzug verabschiedet sich BMW in Teilbereichen wieder von der Aluminiumbauweise. Beispielsweise setzt der Hersteller bei der aktuellen BMW 5er Reihe zum Bau des Vorderwagens wieder auf die Stahlbauweise. Beim Vorgängermodell bestand dieser aus Aluminium.(25)

BMW setzt auf Anbauteile aus Aluminium

- Think City

Das Kleinelektrofahrzeug des norwegischen Herstellers basiert auf einer Stahlplattform auf welche ein Aluminium Space Frame aufgesetzt ist. Das Fahrzeug bestätigt damit den in mehreren Studien aufgezeigten Trend, kleine und mittlere Serien mit dieser Technologie auszuführen. (40)

- Volkswagen

Auch einer der weltgrößten Hersteller von Automobilen plant laut dem Markenvorstand bei zukünftigen Fahrzeugen, besonders auch mit Elektroantrieb, vermehrt Aluminium einsetzen zu wollen. Augenmerk wird dabei auf Außenhautteilen aus Aluminium gelegt. (41)

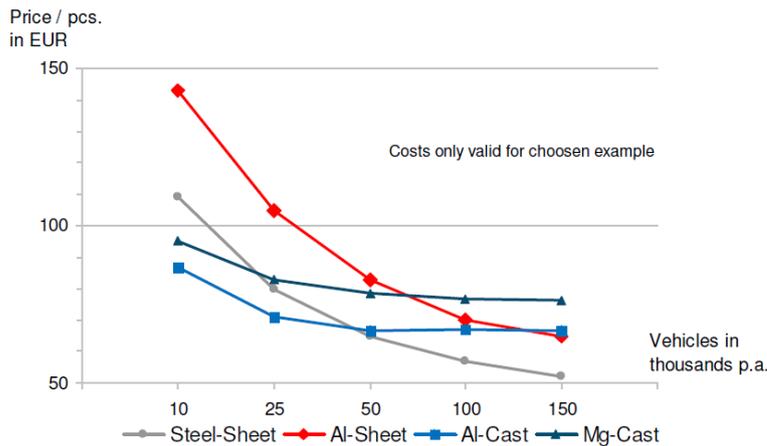
Volkswagen legt den Fokus auf Außenhautbauteile

- Georg Fischer Automotive

Der Hersteller entwickelte und produziert für mehrere OEMs Teile aus Aluminium Druckguss. Besonders interessant ist dabei die Herstellung gesamter Türen aus Aluminium Druckguss. Diese Türen zeichnen sich durch hohe Funktionsintegration und Steifigkeit bei niedrigem Gewicht aus und sind in der Klein- und Mittelserie

Georg Fischer bietet gesamte Türen aus Druckguss an

wirtschaftlich (der Hersteller spricht von Wirtschaftlichkeit bis hin zu ca. 50.000 Fahrzeugen/Jahr). Mehrere Hersteller wie Porsche, Aston Martin oder Daimler setzen diese Bauteile ein. (42) Abbildung 29 vergleicht die Wirtschaftlichkeit des Druckguss-Konzepts im Vergleich zu Stahl- oder Aluminiumtüren in herkömmlicher Bauweise. Demnach sind Bauteile aus Aluminiumdruckguss bis zu 50.000 Fahrzeugen pro Jahr wirtschaftlicher als Komponenten aus Stahl.



Druckgusstüren sind bis zu 50.000 Stück/Jahr rentabel

Abbildung 29 Verschiedene Innentürkonzepte im Kostenvergleich (42)

4.1.3.3 Welche Forschung wird auf dem Gebiet des Aluminium-Karosseriebaus betrieben und mit welchen Ausrichtungen und Zielen?

Forschungsbemühungen beim Werkstoff Aluminium verlaufen vor allem in Richtung Festigkeitssteigerungen, sowie Erhöhung der Umformbarkeit.

Unternehmen

- Novelis

Das Unternehmen hat ein Sandwichblech aus verschiedenen Aluminiumlegierungen entwickelt und patentiert. Die Mittellage wird dabei mit zwei verschiedenen legierten Decklagen gleichzeitig vergossen. Dieser Block wird dann gewalzt, bis die gewünschte Dicke erreicht ist. Die Kombination ermöglicht gleichzeitig hohe Festigkeiten sowie gute Tiefzieheigenschaften und Oberflächengüten zu erreichen. (43) Das Unternehmen liefert diese Produkte beispielsweise an Audi für den A8, an BMW für diverse Anbauteile oder an Jaguar. (44)

Novelis hat ein innovatives Sandwichblech im Angebot

- Alcan

Alcan untersucht sowohl die Möglichkeiten der Festigkeitssteigerungen bei Aluminium, als auch die Erhöhung der Formbarkeit. Während für höhere Festigkeiten vor allem Legierungen der 7xxx Reihe geeignet scheinen, lassen sich Formbarkeitsverbesserungen auch mit 5xxx und 6xxx erreichen. Einen Einblick in die Forschungsrichtungen gibt Abbildung 31. (45)

- Hydro

Forschung und Entwicklung spielen beim norwegischen Unternehmen eine zentrale Rolle und deshalb betreibt das Unternehmen mehrere konzerneigene Forschungseinrichtungen zur Erforschung von Aluminium, u.a. in Deutschland, Norwegen, Katar oder den USA. Parallel dazu bestehen Forschungsk Kooperationen mit einer Vielzahl von Hochschulen rund um den Globus. (46)

Hydro betreibt Forschung in Deutschland, Norwegen, Katar und den USA

Universitäten

- TU Braunschweig

Das Institut für Füge- und Schweißtechnik forscht neben unterschiedlichsten Fügeverfahren besonders auf dem Gebiet der Fügbarkeit von Aluminium Druckguss. Dies hat den Vorteil kleinere, einfachere Bauteile zu gießen und anschließend zu verschweißen. (47)

TU Braunschweig erforscht die Fügbarkeit von Druckguss

- TU München

An der technischen Universität München wird umfangreiche Forschung auf dem Gebiet der Aluminium Blechfertigung betrieben. Dabei geht das Institut für Umformtechnik nicht nur auf die umformtechnischen Aspekte ein, sondern beschäftigt sich auch mit der Qualität und der Umsetzbarkeit von Schneidvorgängen. (48)

Andere Institutionen/Vereinigungen

- GDA- Gesamtverband der Aluminiumindustrie e.V.

Diese Organisation hat zusammen mit 3 OEMs und mehreren Aluminiumlieferanten sowie Forschungseinrichtungen eine Arbeitsgruppe zur Standardisierung und Vereinheitlichung von Werkstoffeigenschaften ins Leben gerufen. (49)

Der GDA forciert die Standardisierung

4.1.3.4 Wie können Karosseriebauteile aus Aluminium geformt werden?

- Tiefziehen

Prinzipiell kann Aluminium wie Stahl tiefgezogen werden. Allerdings sind aufgrund der Materialeigenschaften

Aluminium kann bis auf einige Besonderheiten ähnlich wie Stahl umgeformt werden

besondere Vorkehrungen zu treffen. Aluminium verhält sich, im Gegensatz zu Stahl, empfindlich auf unterschiedliche Ziehgeschwindigkeiten. Aus diesem Grund bietet sich der Einsatz von hydraulischen Pressen an, bei denen die Geschwindigkeit variabel geregelt werden kann. Aufgrund der erhöhten Gefahr der Zipfel und Faltenbildung ist ein variables Ziehkissen vorteilhaft. Mit diesem können auch die Niederhalterkräfte individuell gesteuert werden und damit eventuell auftretende Workhardening Prozesse ausgeschlossen werden. Auch beim Werkzeug sind besondere Vorkehrungen für Aluminium einzuhalten. Radien, Ziehtiefen und Oberflächengüten müssen speziell auf das Werkstück abgestimmt werden. Besonders die Güte der Oberfläche hat Einfluss auf das Ergebnis, da Aluminium einerseits sehr empfindlich gegenüber Kratzern ist und andererseits zur Bildung von Flitern neigt. Daher ist neben der hohen Oberflächengüte unbedingt eine geeignete Schmierung bzw. Beschichtung auf das Blech aufzubringen. (50,51)

Aluminium weist eine empfindliche Oberfläche auf

Aluminium neigt zur Fliterbildung

- Hydroformen

Bei diesen Verfahren wird ein Fluid genutzt um die Umformkräfte auf das Bauteil zu übertragen. Dies hat den Vorteil, dass weniger und einfachere Werkzeuge gebraucht werden sowie komplexere Teile hergestellt werden können. Hervorzuheben ist das IHU Verfahren, bei dem Rohrkonstruktionen zu komplexen Werkstücken mit teilweise unterschiedlichen Querschnitten umgeformt werden können. Um die Ergebnisse zu verbessern, kann das Fluid zusätzlich erhitzt werden. Komplexe IHU Profile finden häufig in Space Frame Karosserien Anwendung.

IHU ist besonders für Space Frame interessant

- Druckguss

Beim Aluminium Druckguss wird unter Anwendung hohen Drucks, flüssiges Aluminium in eine gekühlte Stahlform gepresst. Diese Dauerform hält den Druck auch nach Ende des Einspritzvorganges. Mit Hilfe des Verfahrens können sehr präzise Formen erstellt werden, welche über gute Oberflächenqualität verfügen. Um Class A Oberflächen zu erhalten, müssen Flächen aber nachträglich geschliffen werden. Varianten des Verfahrens arbeiten mit Schutzgas gefüllten Formen, oder evakuieren diese vor dem Einspritzvorgang. Als Werkstoffe kommen aufgrund des guten Fließverhaltens hauptsächlich Aluminium- Silizium Legierungen zum Einsatz. Durch die hohen Taktzeiten ist das Verfahren äußerst wirtschaftlich. (18) Abbildung 30 zeigt die unterschiedlichen aufgebauten Prozesse und macht den schlanken Aufbau des Druckgießens deutlich.

Silizium setzt die Viskosität herab

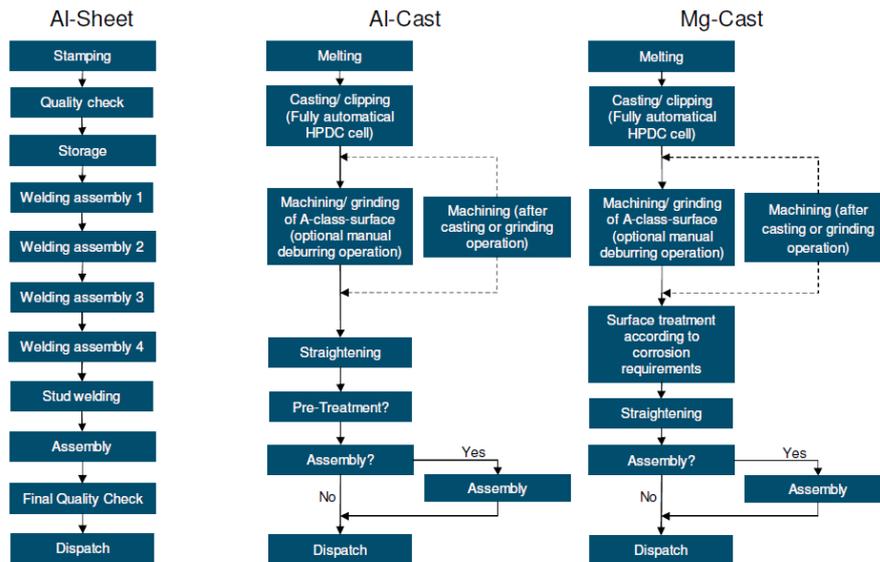


Abbildung 30 Vergleich Fertigungsprozess Druckguß und Schalenbauweise (42)

- Superplastisches Umformen

Das Spezialfertigungsverfahren beruht auf der Eigenschaft von speziellen Aluminiumlegierungen unter Zugbelastungen extreme Formänderungen vollziehen zu können. Das Verfahren funktioniert indem die Platine eingespannt wird und unter erhöhter Temperatur mit Druckluft beaufschlagt wird. Durch lange Haltezeiten und damit sehr kleinen Umformgeschwindigkeiten können hohe Umformgrade erzielt werden. Aufgrund der hohen Zykluszeiten ist das Verfahren für die Großserienfertigung nicht prädestiniert. (52)

Superplastisches Umformen ist nicht für die Großserie geeignet

4.1.3.5 Welche Stärken (Schwächen, Chancen, Gefahren) hat Aluminium im Karosseriebau?

Stärken

- Aluminium bietet einen Kompromiss zwischen geringer Dichte, akzeptablen Festigkeiten, bekannter Verarbeitung sowie hoher Verfügbarkeit. Damit bietet das Material alle grundsätzlichen Voraussetzungen um im Automobilbau eine gewichtige Rolle zu spielen.
- Aluminiumpressteile können im Wesentlichen auf konventionellen Pressenlinien gefertigt werden und benötigen damit geringe Zusatzinvestments.

Aluminium bietet einen ausgeglichenen Kompromiss der Eigenschaften

Schwächen

- Der Preis von Aluminium ist höher als der von Stahl. Außerdem ist der Preis des Metalls volatiler und damit schwieriger planbar.

- Die Qualität des Werkstoffes schwankt zwischen unterschiedlichen Herstellern und ist nicht ausreichend festgelegt und damit für den Abnehmer schwieriger zu beschaffen. Außerdem stehen relativ wenige Hersteller zur Verfügung.
- Aluminium benötigt in der Ersterzeugung sehr große Energiemengen in Form von Strom. Dies schlägt sich nicht nur auf die Kosten und die Abhängigkeit von den Energiepreisen nieder, sondern hat auch auf die Energiebilanz negative Auswirkungen.

Aluminium benötigt in der Primärerzeugung sehr viel Energie

Chancen

- Mit der Space Frame Technologie steht vor allem für Klein- und Mittelserien eine kostengünstige und flexible Lösung bereit. Zusammen mit dem Trend zu mehr Individualität und damit verbunden kleineren Serien, könnte diese Technologie Aluminium stärker in den Fokus rücken.
- Fahrzeugkarosserien aus Aluminium sind in der Entwicklung deutlich weiter als beispielsweise Kunststoffkarosserien und sind auch in Großserie herstellbar. Auch wenn die Kosten im Vergleich zu Stahl höher sind, könnten striktere Umweltregelungen den Werkstoff Aluminium in den Focus rücken.
- Sollte Leichtbau aus Gründen höherer Umweltstandards oder Verringerung der Batteriegröße höhere Kosten verursachen dürfen, könnte sich Aluminium auf breiter Front durchsetzen.

Space Frame Technologien eignen sich vor allem für Klein- und Mittelserien

Gefahren

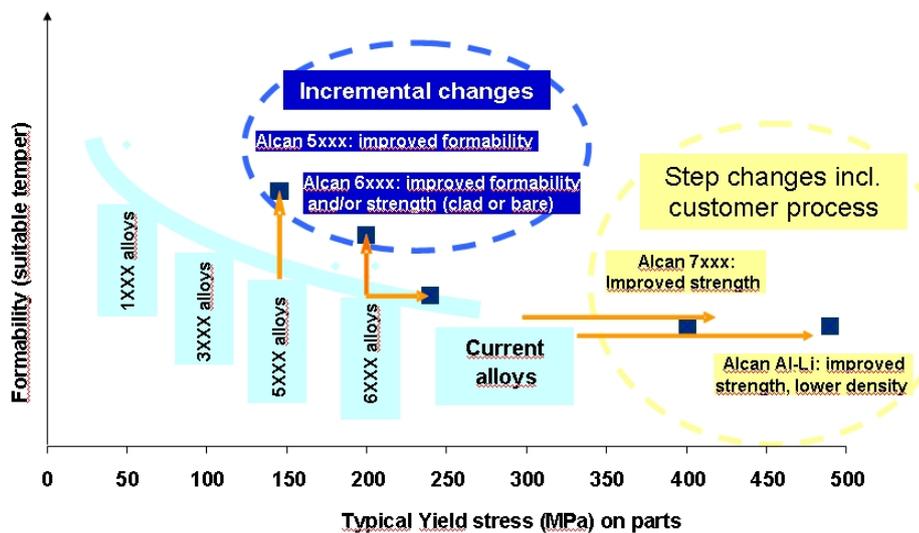
- Da die Primäraluminiumherstellung sehr energieintensiv ist, treibt dies nicht nur die Kosten, sondern schlägt sich auch auf die Energiebilanz nieder. Durch die Energieabhängigkeit ist der Preis von Aluminium volatiler als jener von Stahl. Dies macht langfristige Planungen schwierig und OEMs verzichten im Zweifelsfall. Andererseits könnte Aluminium auch aufgrund höherer Umweltauflagen oder erweiterter Kundensensibilität in Bedrängnis kommen.
- Aluminium wird einerseits durch die etablierte und günstige Stahlbauweise und andererseits durch hochmoderne Kunststoffe bedrängt. Sollten sich in einem Gebiet Entwicklungen abzeichnen, könnte Aluminium als „stuck in the middle“ Anteile verlieren.

Aluminiumpreis ist vom Energiepreis abhängig

4.1.3.6 Ausblick für Aluminium im Karosseriebau

Die Forschung im Bereich der Aluminiumwerkstoffe ist nicht so weit fortgeschritten wie jene von Stahl. Die Entwicklungstendenzen gehen in Richtung der Festigkeitssteigerungen, um damit im zweiten Moment die Wanddicken reduzieren und Gewichts- und Kostenvorteile realisieren zu können. Abbildung 31 zeigt die Entwicklungsbemühungen eines Produzenten, welche auch allgemein in der Industrie und Forschung verfolgt werden.

Erhöhung der Formbarkeit für 6xxx und 5xxx Legierungen



Erhöhung der Festigkeit für 7xxx Legierungen

Abbildung 31 Forschungs- und Entwicklungsziele bei Aluminium (45)

Bereits ein Blick auf den Anteil von Aluminium im Fahrzeugbau zeugt, dass der Werkstoff in den vergangenen Jahrzehnten den Anteil am Gesamtgewicht des Fahrzeuges deutlich ausgebaut hat. (siehe Abbildung 32) Dieser über Jahrzehnte stetige Trend, macht die Fortsetzung oder auch eine Verstärkung wahrscheinlich. Vor dem Hintergrund der aktuellen gesetzlichen und gesellschaftlichen Randbedingungen bezüglich des Umweltbewusstseins, machen einen Bruch des Trends fast unmöglich und eröffnen auch Potential für eine Verstärkung nach oben hin.

Anteil von Aluminium in den letzten Jahren stetig gewachsen

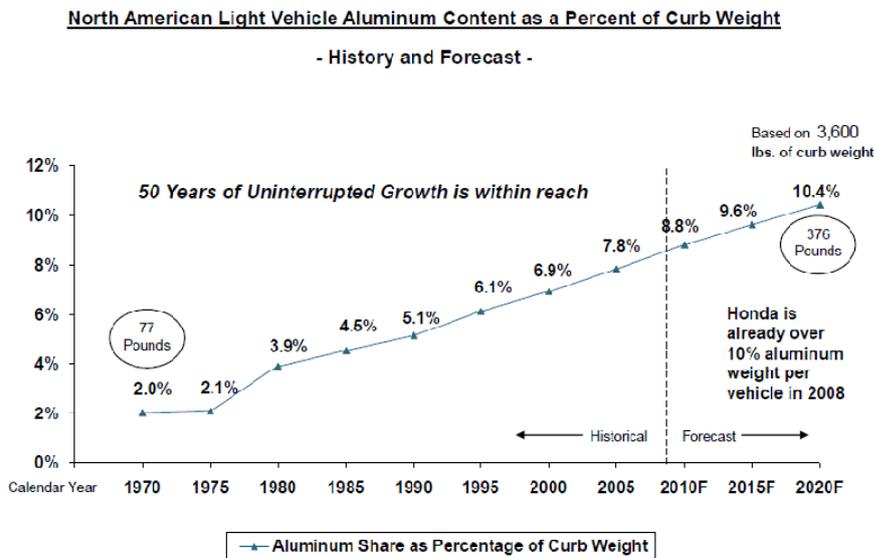
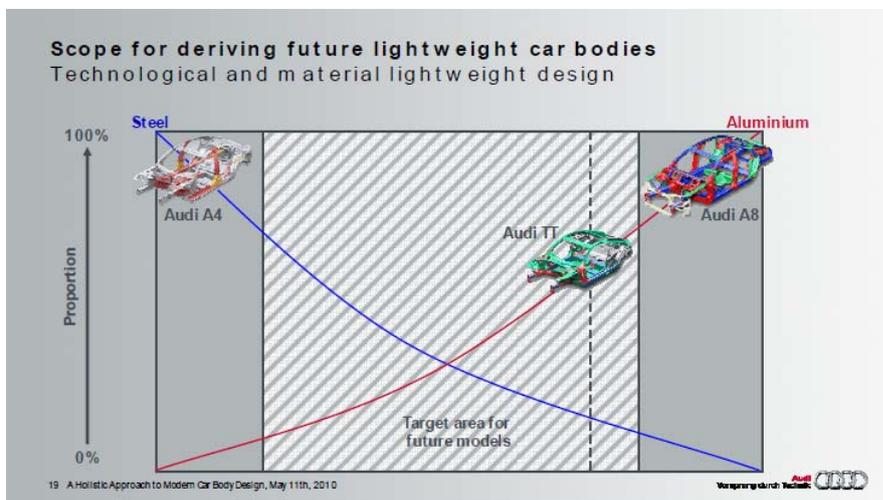


Abbildung 32 Aluminiumanteil am Leergewicht eines Fahrzeuges über die Zeit (9)

Auch der Hersteller Audi, bekannt für die frühe Einführung von Aluminium in die Serie, sieht in seiner Vision den Anteil an Aluminium in Großserienfahrzeugen, wie dem Audi A4 steigen. Im Gegensatz dazu kann Stahl bei Kleinserienfahrzeugen wieder Anteile von Aluminium zurückgewinnen, wie dies beispielsweise bei der B-Säule des neuen A8 bereits der Fall ist.



Eine Annäherung der Werkstoffkonzepte wird erwartet

Abbildung 33 Zukünftige Mischbauweise in Stahl und Aluminium (13)

Auch die Studien des renommierten Marktstudienunternehmens „Drucker Worldwide“ sehen die Zukunft des Karosseriebaus in der Mischbauweise. In einer Studie von 2009 ergab sich der in Abbildung 32 dargestellte Materialmix für die Karosserie in 2020. Demnach steigt der Anteil von Aluminium in der Rohkarosserie von auf 11,8 Kilogramm im Gegensatz zu 3,6 Kilogramm heute. Das entspricht einem Anteil von 4 Prozent in 2020 (heute 1 Prozent).

Der Aluminiumanteil wird bis 2020 um auf 4 Prozent steigen

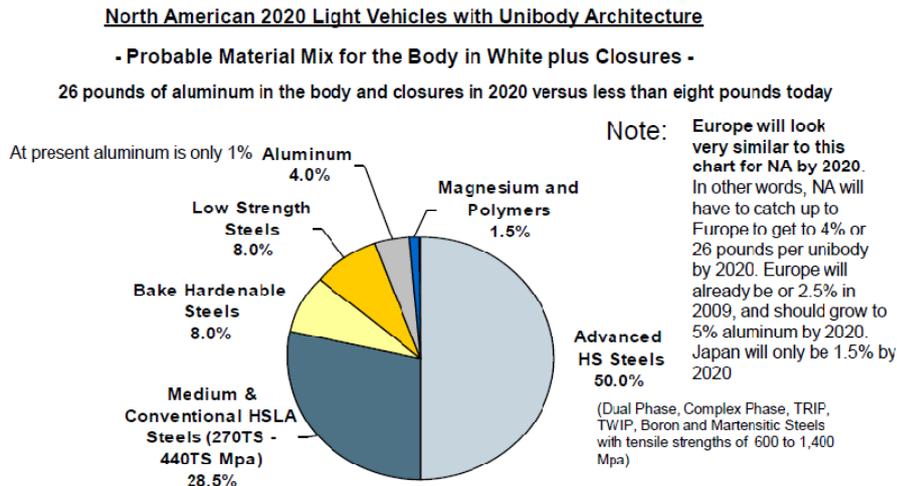


Abbildung 34 Materialmix der Karosserie 2020 (9)

Damit bestätigt die Studie das kontinuierliche Wachstum von Aluminium im Fahrzeugbau, sagt aber auch aus, dass aus Sicht der Studie keine signifikanten Steigerungen der Wachstumsrate zu erwarten ist. Für Europäische Automobile wird ein Aluminiumanteil von 4 Prozent in 2020 erwartet (die Prozentangaben basieren auf dem Gewicht des BIW inklusive Türen und Klappen).

4.1.4 Spezielle Aluminium Legierungen

4.1.4.1 Aluminium Lithium Legierungen

Lithium in Aluminiumlegierungen senkt das spezifische Gewicht des Grundwerkstoffes um bis zu 10%, bewirkt eine Erhöhung des Elastizitätsmoduls, verringert aber auch die Zähigkeit. Hauptanwendungsgebiet der Legierungen ist die Luft- und Raumfahrtindustrie. In dieser Branche hat sich das Material gegen den Aluminium-Glasfaser Verbundwerkstoff Glare® durchgesetzt. Wegen seiner hohen Reaktivität ist die Verarbeitung aufwendig, da diese unter Schutzatmosphäre erfolgen muss. Des Weiteren gilt Lithium als Zukunftsmaterial für den Bau von (Automobil)-Batterien und wird deshalb aktuell und voraussichtlich auch in den nächsten Jahren stark nachgefragt werden. Aus diesen Gründen ist das Material teuer und für den Serieneinsatz nur begrenzt einsetzbar. In speziellen Fahrzeugen und für bestimmte Funktionsbauteile sicherlich sinnvoll einsetzbar.

Aluminium Lithium weist hohe Festigkeiten auf

4.1.4.2 Aluminium Scandium Legierungen

Das Legieren mit Scandium ergibt positive Eigenschaften, darunter auch sehr hohe Festigkeiten. Diese sind durch die extreme Kornverfeinerung durch die Zugabe von Scandium begründbar. Eingesetzt wird dieses Material derzeit im Freizeitbereich und bei Kampffjets. Für den Karosseriebau ist der Preis derzeit unattraktiv.

Scandium in Aluminiumlegierungen bewirkt Kornverfeinerung

4.1.5 Magnesium

Der Werkstoff Magnesium ist seit langem im Automobilbau bekannt und eingesetzt. Bereits in den Anfangsstadien des Automobils war das Material Bestandteil des Fahrzeuges, zeigte über die Zeit jedoch ausgeprägte Schwankungen im Umfang der Anwendung. Vor einigen Jahren wurde Magnesium als Zukunft des Karosseriebaus gehandelt, doch der Werkstoff konnte diese Erwartungen in keinsten Weise erfüllen. Heute ist das Material vor allem im Bereich der Getriebegehäuse etabliert und weit verbreitet. Wichtigste indirekte Aufgabe des Materials ist die Legierung von Aluminium.

Magnesium galt in der Vergangenheit als Zukunft des Karosseriebaus

4.1.5.1 Welche Vor- und Nachteile weist Magnesium im Hinblick auf den Karosseriebau auf?

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> + geringe Dichte + sehr gut und wirtschaftlich druckgießbar + Theoretisch fast unbegrenzt verfügbar 	<ul style="list-style-type: none"> - Korrosionsanfälligkeit - aufwendige Verarbeitung - begrenztes Angebot - Blechbearbeitung kompliziert - begrenzte Schweißbarkeit - Schlagempfindlichkeit

Tabelle 13 Vor- und Nachteile von Magnesium

Die gute Verarbeitbarkeit durch Druckgießen und die gleichzeitig schwierige Verarbeitung durch Umformen (Magnesium besitzt nur 1 Gleitebene) führt dazu, dass der weitaus größte Anteil von Magnesium Druckgegossen wird. Dieses Verfahren lässt äußerst komplexe Bauteile zu und ist zudem, aufgrund höherer Taktzeiten und geringeren Werkzeugverschleißes im Vergleich zu Aluminium, sehr wirtschaftlich. Eine Übersicht über die Legierungen von Magnesium bietet Abbildung 35.

Magnesium lässt sich am besten durch Druckgießen umformen

		Gusslegierung			
		R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	A_5 %	
MgAlZn	AZ				
MgAlMn	AM				
MgAlSi	AS				
MgZnCu	ZC				
MgZnREZr	ZE				
MgYREZr	WE				
MgREAg	QE				
		EN-MC MgAl9Zn1(A) AZ 91	200-260	140-170	1-6
		EN-MC MgAl6Mn AM 60	190-250	120-150	4-14
		EN-MC MgAl5Mn AM 50	180-230	110-130	5-15

		Knetlegierungen			
		R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	A_{50} %	
MgAlZn	AZ				
MgMn	M				
		MgAl3Zn1 - AZ31-0	260	200	15
		MgAl6Zn1 - AZ61	310	230	16

Abbildung 35 Überblick über verschiedene Magnesiumlegierungen (19)

Die Primärerzeugung von Magnesium ist mit einigen Unsicherheiten behaftet, da die Produzenten sehr stark in China konzentriert sind. Die stark schwankenden Preise der letzten Jahre bewogen viele Hersteller unrentable Anlagen einzustellen, sodass in der Westlichen Welt inklusive Russland nur eine einstellige Zahl an bedeutenden Herstellern existiert. Der weitaus größte Teil wird in China von relativ kleinstrukturierten Unternehmen hergestellt. Damit verbunden sind aber auch die Unsicherheiten in der Versorgung aufgrund schwankender Ausfuhrgenehmigungen und -zöllen. (53)

China beherrscht die Produktion von Magnesium

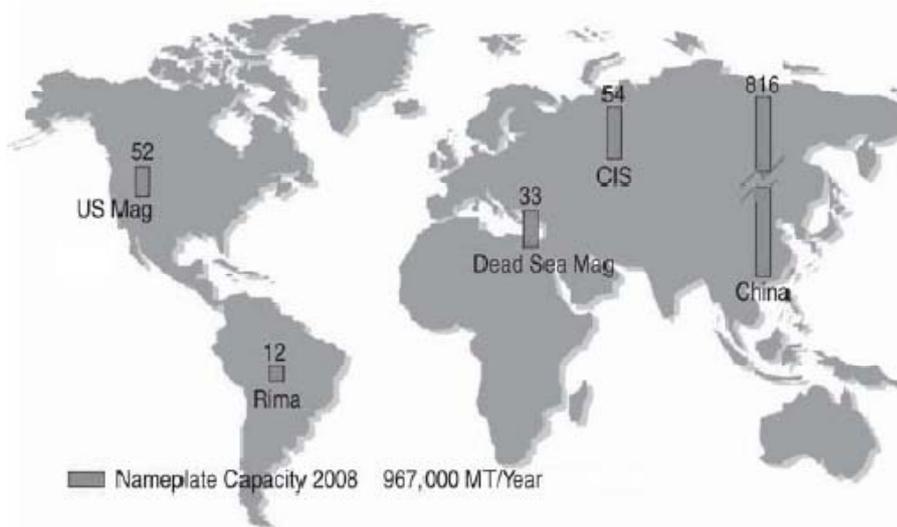


Abbildung 36 Weltweite Magnesiumproduktion 2008 (54)

Abbildung 36 zeigt eindrucksvoll wie mächtig China bei der Magnesiumproduktion ist. Nur 15 Prozent der Weltproduktion werden in westlichen Ländern inklusive Russland und Südamerika produziert. Über 85 Prozent der Produktion erfolgen in China. Um die Versorgungssicherheit zu garantieren stieg beispielsweise

China kontrolliert 85 Prozent des Marktes

VW in den 90er Jahren beim israelischen Magnesiumproduzenten Dead Sea Magnesium ein. Im Jahr 2009 wurde diese Beteiligung unter großen Verlusten wieder abgestoßen.

4.1.5.2 Wie wird Magnesium im Karosseriebau derzeit eingesetzt?

Aufgrund der hohen Korrosionsanfälligkeit ist aktuell keine Anwendung von Magnesium in der Außenhaut eines Fahrzeuges bekannt. Zwar wird das Material in Studien (siehe Abbildung 37) häufig in hohen Prozentsätzen verwendet, aber im Serienfahrzeugbau finden Bauteile aus Magnesium in der Struktur nur in geringem Ausmaß Verwendung.

In Studien wird häufig Magnesium verwendet

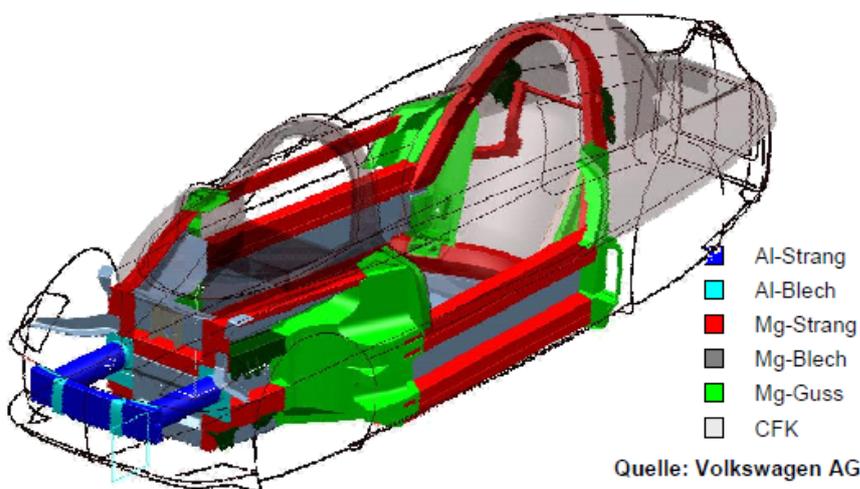


Abbildung 37 Konzeptstudie Volkswagen 1 Liter Auto (19)

- Porsche

Für das Modell Panamera entwickelte das Unternehmen in Zusammenarbeit mit Georg Fischer Automotive einen Fensterrahmen aus Magnesium. Er wird in Druckgussverfahren hergestellt und verringert im Zusammenspiel mit der aus Aluminium Druckguss bestehenden Tür, das Gesamtgewicht um bis zu 50 Prozent. (42)

Porsche setzt eine Tür aus Aluminium und Magnesium Druckguss ein

- Daimler

In verschiedenen Modellen verbaut der OEM Komponenten aus Magnesium. Beispielsweise ist die Flügeltür des SLS an einem Magnesium Druckgussbauteil angeschlagen.

- Audi

Für das Modell des Audi R8 setzt Audi auf die Vorteile der Space Frame Technologie. Neben zahlreichen Aluminium Druckgussteilen setzt der Hersteller auch ein großflächiges Magnesium Druckgussteil zur Verstärkung des Hinterrahmens ein. Zur chemischen Abgrenzung des Bauteils wird

das Strukturbauteil kathodisch tauchgrundlackiert und zusätzlich pulverbeschichtet. (55)

- Jaguar

Beim Topmodell XJ setzt das Unternehmen erstmals einen aus einem Stück druckgegossenen Frontendträger aus Magnesium ein. Er ersetzt eine geschweißte Aluminiumkonstruktion aus hydrogeformten Bauteilen. Dies bringt eine um stark verringerte Anzahl an Bauteilen mit sich und reduziert das Gewicht um ein Drittel. Positive Einflüsse hat dies auch auf die Gewichtsverteilung des Fahrzeuges. (4)

Jaguar setzt auf einen Frontendträger aus Magnesium

4.1.5.3 Welche Forschung wird auf dem Gebiet des Magnesium - Karosseriebaus betrieben und mit welchen Ausrichtungen und Zielen?

Universitäten

- TU Berlin

Die TU Berlin entwickelt automotive Teile aus Magnesium und konzentriert sich dabei vor allem auf die Gebiete Korrosionsschutz und Fügetechnik. Die Wissenschaftler haben u.a. Aluminiumfolien auf Magnesium Stranggussprofile aufgebracht um letzteres gegen Korrosion zu schützen. Weitere Projekte sind das Strangpressen von Magnesiumblech, oder das Hydrostrangpressen. (56)

TU Berlin erforscht die Fügbarkeit von Magnesium

- TU München

Unter dem Projekttitel „Mobil mit Magnesium“ forscht der Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen in Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen, an der Magnesium Blechumformung. Spezialgebiete wie beispielsweise Schneiden und Formen mit beheizten Werkzeugen gehören genauso zum Forschungsumfang wie Nachweise für Falzbarkeit. (57)

TU München betreibt das Projekt „Mobil mit Magnesium“

- TU Bergakademie Freiberg

Die Forschungseinrichtung hat Magnesium als eines ihrer zehn Kernforschungsgebiete definiert und forscht von der Herstellung über die Bearbeitung bis hin zum Recycling von Magnesium in allen Bereichen. Seit 2002 betreibt die Einrichtung eine Forschungsanlage zum Walzen von Magnesiumblechen. Das Projekt basiert auf die Zusammenarbeit mit ThyssenKrupp, sowie weiterer kleinerer Industriepartner. Außerdem sind internationale Forschungseinrichtungen in die Forschung integriert, darunter die Universität Delft, das Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik oder die Universität Dresden. (58)

TU Freiberg betreibt mit ThyssenKrupp eine Pilotanlage

- GKSS-Forschungszentrum Geesthacht

Das Forschungszentrum in der Nähe von Hamburg hat kürzlich rund sieben Millionen Euro in ein neues Magnesium Forschungslabor investiert, welches unter anderem über eine Magnesium Gießwalzanlage verfügt. Damit soll noch intensiver in die Erforschung von Magnesium eingestiegen werden. Außerdem verfügt das Labor über Laserschweißanlagen zur Erforschung der Fügbarkeit von Leichtmetalllegierungen. (59)

GKSS-Forschungszentrum Geesthacht investiert 7 Millionen in ein Forschungslabor

Unternehmen

- ThyssenKrupp/ Posco

Das Unternehmen ThyssenKrupp AG betreibt seit 2002 gemeinsam mit der TU Bergakademie Freiberg intensive Forschungstätigkeit auf dem Gebiet des Werkstoffes Magnesium. Im Mai 2010 gaben die Unternehmen ThyssenKrupp und der koreanische Stahlhersteller Posco die Kooperation auf dem Gebiet der Magnesiumproduktion bekannt. Die nach eigenen Angaben weltweit am weitesten fortgeschrittenen Magnesiumproduzenten verfolgen mit der Zusammenarbeit das Ziel die Kosten für Produktion und Forschung zu minimieren, sowie gegenseitig die Liefersicherheit für Kunden zu garantieren. (60)

ThyssenKrupp und Posco sind weltweit führend

- Salzgitter

Das Unternehmen betreibt über ein Tochterunternehmen seit 2003 eine Bandwalzanlage für Magnesiumbleche. Eine Kooperation mit der Universität Hannover besteht.

Sonstige Einrichtungen

- Fraunhofer

Das Fraunhofer Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit hat in Zusammenarbeit mit Partnern (u.a. Opel) ein Projekt zur Untersuchung und Verbesserung der Schlagzähigkeit von Magnesium in Bearbeitung. (61)

Fraunhofer erforscht die Schlagzähigkeit von Magnesium

4.1.5.4 Wie können Karosseriebauteile aus Magnesium geformt werden?

Während sich der Druckguss seit vielen Jahren etabliert hat, ist die Herstellung von Blechhalbzeugen, sowie die umformtechnische Weiterverarbeitung noch im Entwicklungsstadium anzusiedeln. Jedoch könnten Weiterentwicklungen in diesem Bereich das Material preislich attraktiv machen.

- Druckgießen

(vergleiche auch 4.1.3.4) Dazu wird das geschmolzene Material unter hohem Druck in Dauerformen aus Stahl

Magnesium eignet sich sehr gut für Druckguss

eingespritzt. Die Schmelze ist dünnflüssig und dadurch können sehr fragile und hochkomplexe Konturen erzeugt werden. Durch die hohe Wärmeleitfähigkeit können die Taktzeiten hoch gehalten werden. Die Affinität von Magnesium zu Stahl ist gering, wodurch der Werkzeugverschleiß sehr gering ist. Serienteile für den modernen Karosseriebau aus Magnesium, werden fast ausschließlich über Druckgießen hergestellt. (62)

- Umformen

Magnesiumblech als Halbzeug für weitere Verarbeitungsschritte wird zwar schon von einigen Herstellern angeboten, jedoch in sehr beschränktem Umfang. Gründe dafür sind einerseits die geringe Nachfrage aufgrund technologischer Nachteile des Materials (Korrosivität) sowie die komplexe Herstellung von Blech wegen der Neigung zur Texturbildung während des Walzprozesses. Inzwischen sind jedoch mehrere Hersteller durch spezielle Gieß- und Walzprozesse in der Lage Magnesium in Blechform anzubieten. (62) Das Umformen von Magnesium stellt eine weitere Herausforderung dar, da das Material mit seiner hexagonalen Gitterstruktur nur eine Gleitebene besitzt und daher schwer umformbar ist. Erst ab einer Temperatur von 225°C kann das Material besser geformt werden. Dies benötigt allerdings wiederum Zusatzinvestitionen in Beheizungsanlagen bzw. beheizte Werkzeuge. (63)

Die Umformung von Magnesium zu Blech ist problematisch

- Superplastizität

Auch Magnesium eignet sich zur superplastischen Umformung um damit hochkomplexe Bauteile möglichst einfach darzustellen. Im Gegensatz zur superplastischen Umformung von Aluminium ist das Verfahren nur in geringem Maße erforscht. Erste Forschungen in diese Richtung unterstreichen die grundsätzliche Eignung des Werkstoffes für dieses Verfahren. (64)

Magnesium lässt sich superplastisch formen

4.1.5.5 Welche Stärken (Schwächen, Chancen, Gefahren) hat Magnesium im Karosseriebau?

Stärken

- Das überaus günstige Verhältnis von Festigkeit zu Dichte bietet optimale Voraussetzungen für die Anwendungen des Leichtbaus und damit auch im Karosseriebau.
- Die wirtschaftliche Umsetzbarkeit von sehr komplexen Bauteilen durch Druckgießen, macht den Werkstoff in diesem Bereich sehr attraktiv.

Gutes Verhältnis Festigkeit/Dichte

Schwächen

- Die schwierige Füge-technik, vor allem mit unterschiedlichen Materialien stellt noch große Hürden für den Serieneinsatz dar und bietet noch umfangreiches Forschungspotential.
- Die erhöhte Anfälligkeit zur Korrosion sowie die Kontaktkorrosion bei Kontakt mit anderen Metallen bedingt sorgfältigen und aufwendigen Schutz.
- Durch den hohen Einfluss Chinas auf die Versorgungssicherheit birgt der großflächige Einsatz Gefahren in sich, welche kaum ein OEM in Kauf nehmen wird.

Die Neigung zur Korrosion erfordert sorgfältigen Schutz

Chancen

- Die lebhafteste Forschungstätigkeit auf dem Gebiet des Werkstoffes beweist das vorhandene Potential und wird mit der Zeit auch Fortschritte technologischer und wirtschaftlicher Art mit sich bringen. Damit könnte Magnesium an Bedeutung gewinnen.
- Aufgrund der weltweiten Verbreitung des Rohstoffes in der Erdkruste und dem Wasser, könnte in Zukunft die Produktion theoretisch in jedem Land erfolgen. Damit könnte die Rohstoffabhängigkeit westlicher Länder gemildert und die Versorgungssicherheit gewährleistet werden.

Der Rohstoff ist weltweit in der Erdkruste und im Wasser

Gefahren

- Die unsichere Versorgung des Grundmaterials könnte auch in Zukunft bestehen, oder ausgebaut werden. Denkbar wäre auch eine strategische Blockade um eigene Industriezweige zu stärken.
- Kunststoffe weisen geringere Dichten, niedrigeren Energiekonsum und niedrigere Kosten auf. Diese könnten Magnesium ernsthaft bedrängen.

4.1.5.6 Ausblick für Magnesium im Karosseriebau

Magnesium bringt hinsichtlich der technologischen Eigenschaften sehr positive Eigenschaften für den Einsatz im Karosseriebau mit. Einige Teilgebiete wie der effektive Korrosionsschutz, sowie die Fügbarkeit haben aber noch großen Forschungsbedarf.

Es ist noch breiter Forschungsbedarf gegeben

Problematisch ist auch, dass der Preis über dem von Aluminium liegt. Abbildung 38 und 39 zeigen einen Überblick über die Kosten verschiedener Hersteller in westlichen Werken und China, sowie das Verhältnis des Preises von Stahl zu Magnesium.

Westliche Produktion von Magnesium ist teuer

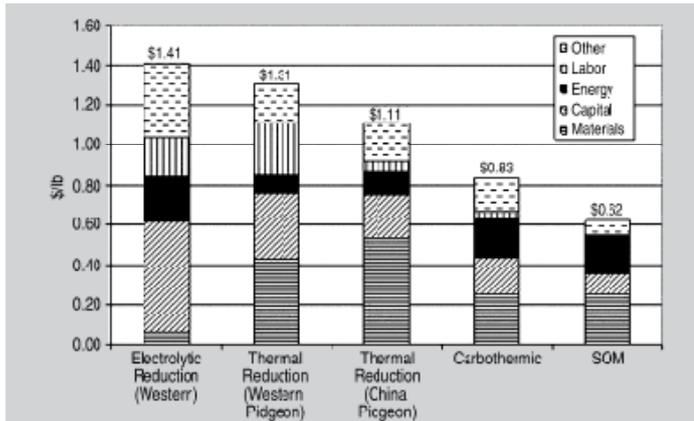


Abbildung 38 Kosten der Magnesiumproduktion (65)

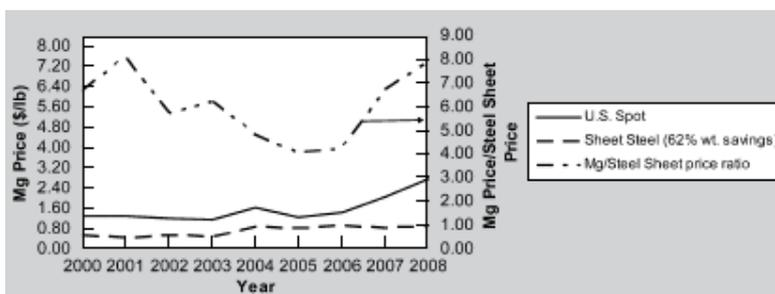


Abbildung 39 Magnesiumpreis im Verhältnis zu Stahl (65)

Zum hohen Preis kommt noch die Abhängigkeit der Versorgung hinzu. Eine Studie von 2008 besagt, dass dies einer der wesentlichen Gründe ist, weshalb der Werkstoff nicht im größeren Stil eingesetzt wird. Aus heutiger Sicht kann das Ergebnis weiterhin als gültig angesehen werden. Wesentliche Veränderungen in der Versorgung sind nicht in Sicht, da in westlichen Ländern vermehrt Magnesiumhütten aufgrund niedriger Preise und hoher Energiekosten eingestellt wurden. Neuinvestitionen in westlichen Ländern sind somit unattraktiv. (65)

Veränderungen der Versorgungsstruktur nicht in Sicht

4.1.6 Spezielle Metalle

4.1.6.1 Titan

Titan besitzt hervorragende Eigenschaften in Bezug auf die mechanischen Merkmale. In Verbindung mit der niedrigen Dichte von nur 4,5 kg/dm³ findet es vor allem in der Luft- und Raumfahrttechnik Anwendung. Durch den schwierigen Herstellungs- und Verarbeitungsprozess und den daraus resultierenden hohen Kosten findet Titan in der Automobilindustrie keine nennenswerte Anwendung.

Titan findet im Automobil kaum Anwendung

4.1.6.2 Kupfer

Dieses Metall lässt sich gut verarbeiten, weist aber geringe Festigkeiten auf. Seine wichtigste Eigenschaft ist die elektrische Leitfähigkeit. Im Karosseriebau findet Kupfer keine Anwendung.

4.2 Kunststoffe

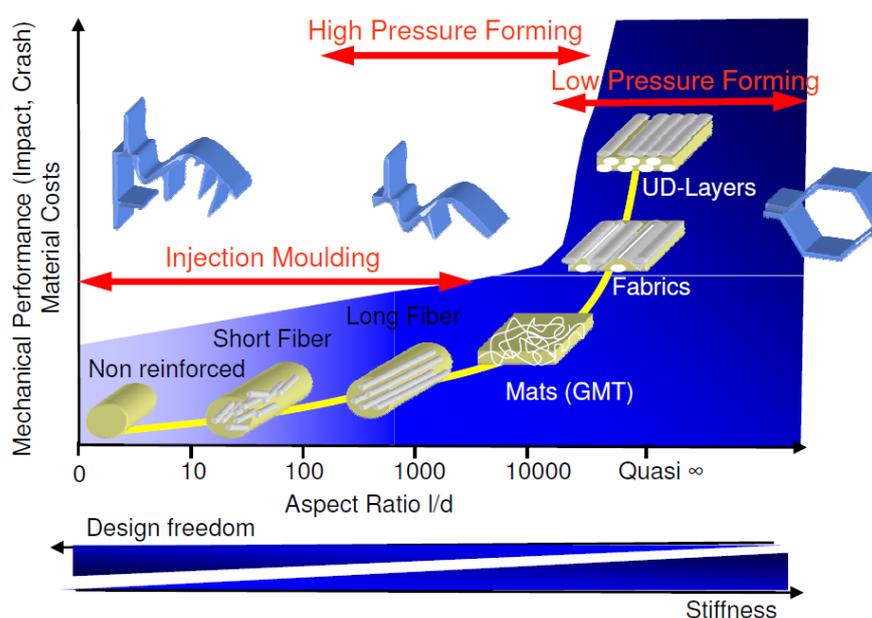
Kunststoffe sind chemisch erzeugte Werkstoffe, welche im Wesentlichen aus verzweigten organischen Molekülen aufgebaut sind. Kaum eine Werkstoffgruppe umfasst eine dermaßen umfangreiche Anzahl von Werkstoffen und dementsprechend breit lassen sich die Eigenschaften einstellen. Aus diesem Grund ist die zunehmende Verwendung im Fahrzeugbau nicht verwunderlich. Während sich der Werkstoff in der Vergangenheit hauptsächlich auf den Innenraum beschränkte, beginnen sich Kunststoffe zunehmend auch in der Karosserie von Fahrzeugen zu etablieren. Bestes und bekanntestes Beispiel für diese Entwicklung ist wohl der Smart, dessen Außenhaut zum größten Teil aus Kunststoff besteht.

Kunststoff hat vielfältige Eigenschaften

Geringe Dichten, einfache Verarbeitung und hohe Korrosionsbeständigkeit sind nur einige der Vorteile welche die Grundstoffe mit sich bringen. Neben den Duroplasten und Thermoplasten mit den bekannten Eigenschaften gibt es auch spezielle Werkstoffe wie beispielsweise Biopolymere aus abbaubaren Materialien.

Vom Innenraum zu Exteriorbauteilen

Aufgrund der im Vergleich zu Metallen mäßigen Festigkeit von Kunststoff ist besonders für den Karosseriebau die Möglichkeit der Festigungssteigerung durch Verstärkungsfasern wichtig. Dieses von der Natur vorexerzierte Konstruktionsprinzip bettet eine hochfeste Faser in eine Matrix aus Kunststoff ein. Die Faser hat die Aufgabe auftretende Zugspannungen aufzunehmen, während die Matrix vor allem Schubspannungen bewältigen muss. Die Länge der Fasern ist direkt proportional mit der erreichbaren Festigkeit der Bauteile. Auch die Kosten steigen proportional zur Faserlänge an. (siehe Abbildung 40)



Festigkeit und Kosten steigen proportional zur Faserlänge

Abbildung 40 Festigkeiten in Verhältnis zur Faserlänge (66)

Aktuell werden für Karosserieteile vor allem Glasfasern als Verstärkungen eingesetzt. Diese haben sich in den vergangenen Jahren etabliert und kommen heute in verschiedensten Formen zum Einsatz. Des Weiteren beginnt sich ein Trend in Richtung hochfester Carbonfasern zu formieren. Nicht nur aufgrund der Tendenzen in Richtung erneuerbarer Energien werden Naturfasern für den Karosseriebau interessant.

Die breite Palette an Kunststoffen ist andererseits auch ein Nachteil, da die zahlreichen Varianten Schwierigkeiten bei Auslegung, Anpassung und Produktion geben. Allein der Zulieferer Johnson Controls verfügt in seinem Portfolio über 250 verschiedene Kunststoffsorten. Die Bemühungen von Unternehmen und Organisationen zur Vereinheitlichung der Eigenschaften und zur Begrenzung der Vielfalt, ist noch nicht auf fruchtbaren Boden gestoßen. Auch bei den Fertigungsverfahren ist eine breite Palette verfügbar. Zudem sind die Verfahren oftmals ident oder besitzen nur marginale Unterschiede und trotzdem werden unterschiedliche Bezeichnungen verwendet. (67)

Die große Vielzahl an Kunststoffen ist problematisch

4.2.1 Unverstärkte Kunststoffe

Zu den unverstärkten Kunststoffen im Karosseriebau zählen Duroplasten ebenso wie Thermoplaste. Letztere gewinnen im Karosseriebau an Bedeutung u.a. als Matrix für Glasfaserverstärkungen mit einer Länge von bis zu 0,5mm. Diese können gleich wie unverstärkte Kunststoffe verarbeitet werden (Spritzguss) und dürfen deshalb in diese Gruppe eingereiht werden. (68)

Kurze Verstärkungsfasern können wie unverstärkte Kunststoffe verarbeitet werden

4.2.1.1 Welche Vor- und Nachteile weisen unverstärkte Kunststoffe im Hinblick auf den Karosseriebau auf?

Vorteile	Nachteile
+ geringe Dichte	- Lackierfähigkeit
+ rasche und einfache Fertigung	- Hitzebeständigkeit
+ breites Eigenschaftsfeld	- Kriechen
+ korrosionsbeständig	- Reparaturfähigkeit
+ Möglichkeit zur Funktionsintegration	- hoher Wärmedehnungsfaktor
+ günstig	
+ Recyclebarkeit (Thermoplaste)	

Tabelle 14 Vor- und Nachteile von unverstärktem Kunststoff

Unverstärkte Kunststoffe haben vor allem dort Vorteile, wo Festigkeit nicht von zentraler Bedeutung ist. In diesen Bereichen spricht das geringe Gewicht, die einfache und damit

Unverstärkte Kunststoffe haben vor allem dort Vorteile, wo Festigkeit nicht von zentraler Bedeutung ist

kostengünstige Fertigung, sowie die Möglichkeit der Funktionsintegration für den Einsatz dieser Materialien. Für Anwendungen im Exterior Bereich stellt vor allem die Lackierbarkeit Herausforderungen dar, da oftmals Vorbehandlungen (Primer) oder niedrigere Temperaturen Voraussetzung sind. Zwischenzeitlich konnten diese Problematiken bereits entschärft werden und zufriedenstellende Prozesse in die Serienfertigung eingebaut werden. Nichtsdestotrotz ist auf diesen Gebieten Verbesserungspotential und damit Forschungsbedarf gegeben.

4.2.1.2 Wie werden unverstärkte Kunststoffe im Karosseriebau derzeit eingesetzt?

Positive Entwicklungen in der Forschung bewirkten, dass Kunststoff auch für Exterior Bauteile Anwendung gefunden hat. Vor allem Durchbrüche bei der Online-Lackierbarkeit brachten den Kunststoffen die Möglichkeit zum breiteren Einsatz in der Automobilindustrie. Einige beispielhafte Einsätze in der Serienindustrie sollen dies verdeutlichen. (69)

- Smart

Das Unternehmen Smart nutzt für das Modells ForTwo thermoplastischen Kunststoff zu Erzeugung der gesamten Außenbeplankung (Ausnahme: Dach). Eine Besonderheit ist dabei, dass der Kunststoff komplett durchfärbt ist. Dies hat u.a. den Vorteil, dass Kratzer kaum sichtbar sind. (70)

Der Smart setzt auf eine Außenhaut aus durchfärbten Kunststoff

- Ford

Ford fertigt das vordere Seitenpanel für den Compact-SUV „Kuga“ aus online lackierfähigem Kunststoff. Dank elektrischer Leitfähigkeit und Temperaturbeständigkeit durchläuft das Bauteil alle Lackierprozesse wie die restliche Karosserie. Ford bestätigt eine um 50 Prozent leichtere Konstruktion, sowie um 50 Prozent geringere Investitionsausgaben. (71)

- BMW

Fertigt für die Modelle X5/X6 das vordere Seitenpaneel in Kunststoff. Das komplette Bauteil wird vorlackiert und mit verschiedenen Modulen wie Scheinwerfer, Airbagsensoren, Blinker vormontiert ans Band geliefert. Dies verdeutlicht die hohe Funktionsintegration sowie die Montagefreundlichkeit, setzt aber einen sorgfältigen Farbabgleich voraus. (72)

BMW nutzt Seitenpaneele welche vorlackiert ans Band geliefert werden

- Opel

Opel setzt bei verschiedenen Modellen (Astra, Signum,) die untere Stoßfängerverstärkung aus Kunststoff ein. Dies ist

vorteilhaft im Bezug auf den Fußgängerschutz sowie das Gewicht. (73)

- Think City

Das Norwegische Unternehmen hat ein Kleinfahrzeug auf Batteriebasis entwickelt und fertigt dies in Zusammenarbeit mit Valmet Automotive in einer Stückzahl von 10-15 Autos täglich. Das Fahrzeug basiert auf einer Stahlbasis mit Aluminium Space Frame Aufbau und einer Beplankung aus thermoplastischen Außenbauteilen. Diese Teile zeichnen sich durch geringes Gewicht und hoher Flexibilität bei geringen Produktionskosten aus. (40)

Think City setzt auf thermoplastische Außenbauteile

4.2.1.3 Welche Forschung wird auf dem Gebiet des Karosseriebaus mit unverstärkten Kunststoffen betrieben und mit welchen Ausrichtungen und Zielen?

Im Bereich der Kunststoffforschung sind vor allem große Chemieunternehmen führend beispielsweise BASF, Lanxess, Bayer, Savic oder Dow. An Universitäten und ähnlichen Einrichtungen wird umfangreich an verschiedensten Kunststoffthemen gearbeitet, auch wenn oftmals die Forschung nicht unmittelbar dem Automobil zugeordnet werden kann.

Große Unternehmen beherrschen den Markt

- BASF

Das Unternehmen möchte langfaserige Polyamide zum Serieneinsatz führen und fertigt mithilfe des Pultrusionsverfahrens stranggepresste Verbunde, welche anschließend zu Pellets verarbeitet werden und in herkömmlichen Spritzgussmaschinen verarbeitet werden können. Eine Anlage zur industriellen Produktion ist im Aufbau.(74)

BASF forscht auf dem Gebiet der langfaserigen Polyamide

Der Kunststoffhersteller hat außerdem einen neuen thermoplastischen Kunststoff mit extremer Temperaturbeständigkeit bis zu 140°C. Bis zu dieser Temperatur ist der Kunststoff absolut formbeständig und kann deshalb auch für Motorenteile oder motornahe Teile eingesetzt werden. Laut BASF tritt der Kunststoff gegen Aluminium an. (75)

- Bayer Material Science

Das Unternehmen hat es mit Partnern geschafft großformatige Folien aus Polycarbonat zu formen. Damit ist es nun möglich auch großflächige Karosserie- und Interior Bauteile zu fertigen. Bisher waren nur Bauteile bis zu einer Größe von DIN A4 möglich. Kennzeichen der Folien sind besonders edle Oberflächen, welche teilweise beständiger als herkömmlicher Lack sind. (76)

Bayer kann großflächige Folien aus Polycarbonat hinterspritzen

4.2.1.4 Wie können Karosseriebauteile aus unverstärkten Kunststoffen geformt werden?

Wichtigstes Verfahren zu Erzeugung von Bauteilen aus unverstärkten Kunststoffen ist das Spritzgießen. Dieses Verfahren zeichnet sich durch hohe Produktivität und geringem Ausschuss aus. Die breite Palette an Spezialverfahren bietet Möglichkeiten zur Fertigung von Bauteilen mit unterschiedlichsten Eigenschaften. Beispielsweise können Verstärkungen aus anderen Werkstoffen umspritzt werden, oder Folien mit definierten Oberflächeneigenschaften hinterspritzt werden. Die kurzen Taktzeiten des Verfahrens garantieren hohe Wirtschaftlichkeit.

*Spritzguss ist das wichtigste
Verarbeitungsverfahren*

4.2.1.5 Welche Stärken (Schwächen, Chancen, Gefahren) haben unverstärkte Kunststoffe im Karosseriebau?

Stärken

- Unverstärkte Kunststoffe sind für Bauteile geringer Festigkeiten prädestiniert. In diesem Bereich können auch komplexe Bauteile günstig und einfach erzeugt werden.
- Anpassungen der Eigenschaften sind mit einer sehr umfangreichen Palette an Füll- und Zusatzstoffen verwirklicht. In Zusammenhang mit der ebenfalls umfangreichen Auswahl an Fertigungsverfahren können komplexe Bauteile kostengünstig produziert werden.

*Umfangreiche Palette an
Füll- und Zusatzstoffen*

Schwächen

- Im Hinblick auf die Lackierung stellt der Werkstoff nicht optimale Eigenschaften (elektrische Leitfähigkeit, Temperaturstabilität) zur Verfügung, welche für reibungslose und wirtschaftliche Produktion nötig wären.

Chancen

- Die Space Frame Technologie baut auf ein steifes Grundgerüst, auf welchem die Karosseriebauteile befestigt werden. Da die Außenhaut in der Regel geringen mechanischen Belastungen ausgesetzt ist, sind unverstärkte Kunststoffbauteile für diese Anwendungen geeignet.
- Die Tendenz hochfester Materialien mit einer Stützstruktur aus Kunststoff zu umspritzen, erweitert das Einsatzpotential des Werkstoffes erheblich. Auch das Hinterspritzen von Folien eröffnet neue Möglichkeiten.

*Die Außenhaut ist meist
geringen mechanischen
Belastungen ausgesetzt*

- Neueste Entwicklungen zeigen, dass auch biologische Kunststoffe möglich sind. Diese haben, besonders auch in Verbindung mit biologischen Verstärkungsfasern, großes Potential zur weiteren Reduzierung des globalen Schadstoffausstoßes.

Es gibt auch biologisch abbaubare Kunststoffe

Gefahren

- Die Forschung auf dem Gebiet der faserverstärkten Kunststoffe könnte diese Werkstoff-gruppe verbilligen. Sollten diese unwesentlich teurer sein, könnten unverstärkte Kunststoffe verdrängt werden.

4.2.1.6 Ausblick für unverstärkte Kunststoffe im Karosseriebau

Derzeit weist Kunststoff vor allem in der Kleinserie Vorteile auf, da die Werkzeuge sehr kostengünstig gefertigt werden können. Die Problematiken der Lackierung können durch sorgfältige Abstimmung der Farben bzw. online Lackierung umgangen werden und damit kann der Werkstoff die vollen Kostenvorteile ausspielen.

Vor allem das Umspritzen und Hinterspritzen birgt großes Potential

Weiteres Potential haben unverstärkte Kunststoffe als spritzgegossenes Matrixmaterial in Verbindung mit lokalen Verstärkungen. Damit können hochfeste Bauteile einfach und kostengünstig mit Kunststoff umspritzt werden und damit schnell leichte und feste Teile erzeugt werden. Die Forschung wird die maximalen Längen der Verstärkungsfasern unter Beibehaltung der einfachen Verarbeitbarkeit in die Höhe treiben und damit noch höhere Festigkeiten erlauben. Zusätzliches Potential bietet die Space Frame Technologie, in der Kunststoffpaneele die Außenhaut bilden könnten.

Chancen von Kunststoff als Außenhautwerkstoff

4.2.2 Glasfaser- verstärkte Kunststoffe (GFK)

4.2.2.1 Welche Vor- und Nachteile weist GFK im Hinblick auf den Karosseriebau auf?

Vorteile	Nachteile
+ geringe Dichte	- komplizierte Verarbeitung
+ mittlere Festigkeiten	- Lackierbarkeit
+ korrosionsbeständig	- Hitzebeständigkeit (online Lackierung)
+ einstellbare Eigenschaften	- erreichbare Oberflächeneigenschaften
+ Möglichkeiten zur Funktionsintegration	- Reparaturfähigkeit

Tabelle 15 Vor- und Nachteile von GFK

Glasfaserverstärkte Kunststoffe können individuell auf bestimmte Aufgaben eingestellt werden und können sehr unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Je nach Faserlänge und Fasergehalt können die Merkmale von herkömmlichen Kunststoffen bis hin zu steifen und hochfesten Qualitäten reichen. Proportional zur Faserlänge und zum Fasergehalt nimmt die Festigkeit, aber auch der Kriechwiderstand zu. Negativ wirken sich die Erhöhung der Faserlängen und des Fasergehaltes aber auf die Verarbeitbarkeit der Werkstoffe aus. Dennoch ist vor allem für Klein- und Mittelserien die Wirtschaftlichkeit, bedingt durch niedrige Werkzeugkosten, gegeben. Tabelle 16 spiegelt dies am Beispiel einer Heckklappe wider.

Die Verarbeitung von GFK ist aufwendig

	SMC	Stahl
Werkzeuge	1	5
Werkzeugkosten	400.000€	2.000.000€
Zykluszeit (s)	150	20
Ausstoß (Teile/Tag)	540 Teile	4.050 Teile
Ausstoß (Teile/Jahr)	118.800 Teile	891.000 Teile
Werkzeugkosten bei 100.000 Teile/ Jahr	4 € / Teil	20€/ Teil
Annahmen: Schichtbetrieb 22,5h; 220 Arbeitstage /Jahr		

Günstige Werkzeugkosten wirken sich positiv aus

Tabelle 16 Anteilige Werkzeugkosten am Beispiel einer Heckklappe (77)

4.2.2.2 Wie wird GFK im Karosseriebau derzeit eingesetzt?

GFK hat im Fahrzeugbereich weite Verbreitung gefunden und wird von praktisch allen Herstellern eingesetzt. Vor allem im Bereich Frondend sind zahlreiche Einsätze bekannt. Neuere Entwicklungen zeigen die Möglichkeiten zur Fertigung von Klappen und Außenhautteilen. Einige aktuelle Anwendungen zur Verdeutlichung der Tendenzen werden nachfolgend gelistet.

- Daimler

Für das S Klasse Coupe entwickelte das Unternehmen eine Heckklappe, welche mit Hilfe des SMC Verfahrens geformt wird. Neben der Formgebung, welche mit konventionellen Werkstoffen nicht möglich wäre, bietet das Verfahren eine Gewichtsreduktion sowie die Möglichkeit der Funktionsintegration (Antennen). (78)

Möglichkeiten zur Funktionsintegration

- Volkswagen

Unterbodenverkleidungen werden in Fahrzeugen zum Schutz von Antriebskomponenten und zur Verbesserung der Aerodynamik eingebaut. Volkswagen setzt in diesem

Bereich auf Bauteile aus glasfaserverstärkten Kunststoffen. Diese weisen neben anderen günstigen Eigenschaften eine Gewichtsersparnis von 70 Prozent gegenüber vergleichbaren Bauteilen aus Stahl auf. (79)

- BMW

Als tragendes Strukturbauteil setzt BMW erstmals einen Getriebeträger aus 50 Prozent glasfaserverstärktem Kunststoff in der 5er Serie ein. Einer der wesentlichsten Vorteile ist die Gewichtsersparnis von bis zu 50 Prozent gegenüber einem vergleichbaren Aluminiumbauteil. Die gemachten Erfahrungen stimmen BMW positiv und deshalb plant der Hersteller weitere Strukturbauteile in dieser Technologie auszuführen. (80)

*BMW setzt einen
Getriebeträger aus GFK ein*

- Audi

Beim neuen A8 verwendet Audi eine Reserveradmulde aus spritzgegossenem Kunststoff mit einem Glasfaseranteil von 60 Prozent. Zur zusätzlichen Versteifung setzt der Hersteller außerdem lokale Metallverstärkungen ein. Das komplexe Bauteil integriert nicht nur verschiedenste Halterungen, sondern wird außerdem mit der Struktur verklebt und trägt somit zur Versteifung der Karosserie bei. Außerdem setzt der Hersteller beim selben Modell einen Frontendträger mit integrierten Organo Blechen ein. (81)

*Audi nutzt GFK
Reserveradmulde zur
Versteifung der Karosserie*

4.2.2.3 Welche Forschung wird auf dem Gebiet des GFK – Karosseriebaus betrieben und mit welchen Ausrichtungen und Zielen?

Forschung im Bereich des glasfaserverstärkten Kunststoffes läuft selten als eigenständiges Fachgebiet, sondern wird oft entweder als vermeintlich reine Kunststoffforschung eingestuft (im Bereich der Kurzfasern) oder geht Hand in Hand mit der Carbonfaser Forschung (im Bereich der Langfasern), da die Verarbeitungstechnologien ähnlich sind.

- RWTH Aachen

Im Zuge des Projektes zur Auslegung eines Unterbodens mit integrierten Verstärkungen aus glas- und carbonfaser-verstärkten Kunststoffen stellte sich heraus, dass Glasfasern in einigen Bereichen (Biegebelastung) den Carbonfasern technisch überlegen sind. Laut Forschungseinrichtung könnten faserverstärkte Inlays bis 2015 serienreif sein. (82)

*GFK Inlays teilweise
technologisch besser als CFK*

- Fraunhofer

Das Institut für Chemische Technologie forscht an vielfältigen Themen rund um faserverstärkte Kunststoffe. Darunter auch spezielle Gebiete wie die Vereinfachung und

Beschleunigung des Herstellungsprozesses von glasfaser-
verstärkten Kunststoffen und die Fertigung von Class A
Oberflächen. (83)

4.2.2.4 Wie können Karosseriebauteile aus GFK geformt werden?

Grob können die Fertigungsverfahren zwischen Press- und
Spritzverfahren unterschieden werden. Grundsätzlich können
dabei Pressverfahren für längere Fasern eingesetzt werden und
erreichen damit höhere Festigkeiten. Spritzgussverfahren arbeiten
mit kürzeren Fasern und erreichen damit niedrigere Festigkeiten.
Die Wirtschaftlichkeit des Prozesses ist allerdings höher. Eine
Übersicht über die Verfahren bietet Abbildung 41. (84)

*Vielfältiges Angebot an
Fertigungsverfahren*

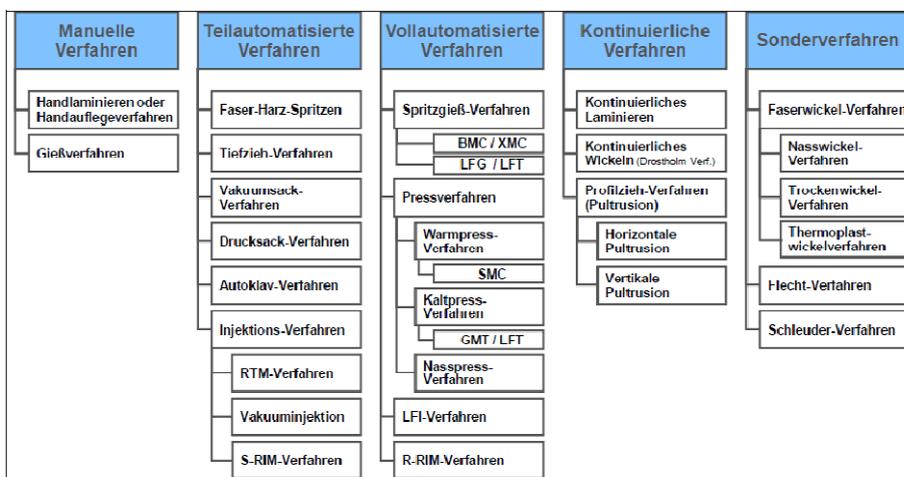


Abbildung 41 Übersicht über die Fertigungsmöglichkeiten von Faserverstärkten Kunststoffen (77)

Dabei muss angemerkt werden, dass die Verfahren teilweise nur
im Detail verschieden sind und sich auch nur wenige für die
Serienproduktion eignen. Einen aufschlussreicheren Überblick
über die Anwendbarkeit der Verfahren gibt Abbildung 42 wieder.

*Verschiedene Verfahren
eigenen sich für
unterschiedliche Stückzahlen*

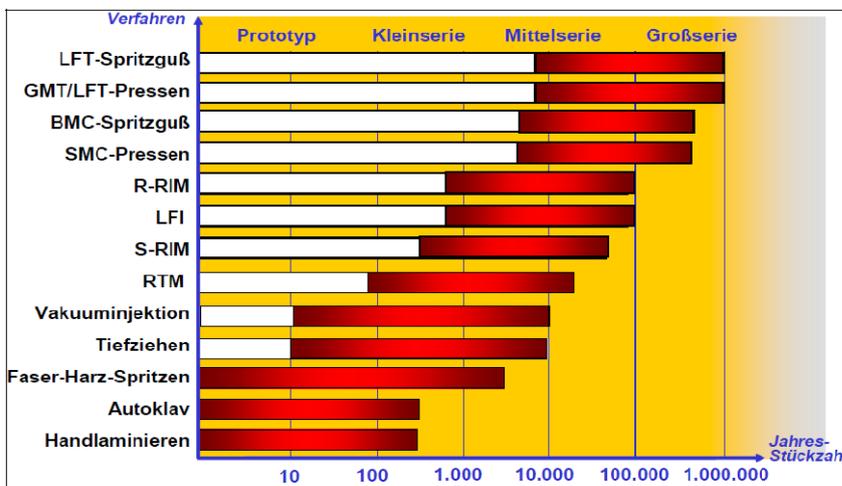


Abbildung 42 Klassifizierung der Verarbeitungsverfahren aufgrund ihrer Produktionskapazitäten (77)

Von den in Abbildung 41 und Abbildung 42 beschriebenen Fertigungsverfahren kommen im Karosseriebau hauptsächlich nachfolgende zum Einsatz:

Herstellungsverfahren unterscheiden sich in der Fertigungskapazität

- Nasspressen

Eines der wichtigsten Herstellungsverfahren für GFK Bauteile. Die offene Unterform wird mit einem Trennmittel, Fasern und Matrixmaterial bestückt und anschließend mit der Oberform verpresst. Das Verfahren ähnelt stark dem RTM Verfahren und wird heute häufig durch dieses ersetzt.

- Sheet Moulding Compound (SMC)

Bei diesem Verfahren werden vorimprägnierte Faserplatten hergestellt und ähnlich einem Coil aufgewickelt. Je nach Matrixmaterial hat der Werkstoff ein Zeitfenster in dem er verarbeitet werden muss. Dieses kann auch eine bestimmte Alterungszeit voraussetzen. Die eigentliche Verarbeitung erfolgt mittels eines tiefziehähnlichen Prozesses. Nach Abschluss des Pressvorganges härtet das Bauteil im geheizten Werkstück aus. Trotz langer Härtezeiten sind mit dem Verfahren relativ hohe Stückzahlen fertigbar.

Das SMC Verfahren zieht Halbzeuge tief

- Bulk Moulding Compound (BMC)

Das Halbzeug liegt in flüssiger Form vor und besteht aus Matrixmaterial mit Faseranteilen. Das verarbeitungsfertige Material wird auf eine Form aufgebracht und gepresst. Die Aushärtung erfolgt im Werkzeug.

- Hochdruckpressen von GMT/LFT

Bei durch Glasmatten verstärkten Thermoplasten wird eine faserverstärkte Platine verdichtet, ohne dass Fließvorgänge auftreten. Beim langfaserverstärkten Thermoplastverfahren wird unterschieden zwischen Granulat-LFT, bei dem Granulate in Form gepresst werden und Direkt-LFT, bei dem der Prozess der Matrixerzeugung und der Bauteilerzeugung in einen Prozess verpackt werden. Letzteres verbindet die Vorteile des Spritzgießens und höheren Festigkeiten in einem Prozess.

- Pultrusion

Mit dem Verfahren lassen sich Profile in verschiedenen Ausführungen herzustellen. Der Prozess ähnelt dem des Strangpressens. Die Fasern und Matten werden in Harz getränkt und in einer Ziehöse zusammengeführt. Heizungen härten das Profil aus. Anschließend wird das Endlosprofil in die gewünschte Länge geschnitten.

Mit der Pultrusion lassen sich Profile herstellen

- Wickelverfahren

Hierbei wurden die getränkten Fasern auf einen Kern

Wickelverfahren eignen sich zur Herstellung von Tanks

aufgewickelt und ein rohrförmiges Bauteil hergestellt. Anschließend härtet das Bauteil aus und der Kern wird entfernt. Hauptanwendungsgebiet im Fahrzeugbau ist die Herstellung von Tanks.

- LFI

Das LFI Verfahren nimmt die Faser in Form von Rovings und zerschneidet diese in einem Schneidkopf. Die Faserstücke werden im Mischer mit dem Matrixmaterial gemischt und flexibel über der offenen Form verteilt. Dies hat den Vorteil, dass mithilfe automatischer Sprühköpfe auf eine Form unterschiedliche Faseranteile eingebracht werden können. Es können auch Sandwichplatten erzeugt werden.

- Umformverfahren

Diese Verfahren können nur mit Thermoplasten durchgeführt werden und werden außerhalb der Presse geheizt, umgeformt und im Werkzeug gekühlt. Damit können hohe Zykluszeiten erreicht werden.

Umformverfahren sind nur mit Thermoplasten möglich

4.2.2.5 Welche Stärken (Schwächen, Chancen, Gefahren) hat GFK im Karosseriebau?

Stärken

- GFK verbindet die günstigen Formungseigenschaften der Kunststoffe mit einer zufriedenstellenden Festigkeit. Die Glasfaser stellt dabei eine kostengünstige Verstärkung dar.
- Vor allem bei Klein- und Mittelserien kann aufgrund der geringeren Investitionen in die Werkzeuge ein Vorteil gegenüber Metallen entstehen.

Schwächen

- Die Verarbeitung von endlosen Fasern bietet den Vorteil höherer Festigkeiten, ist jedoch mit Problemen in der Verarbeitung verbunden. Damit kann derzeit nicht das volle Potential der einfachen Verarbeitung und der hohen Festigkeit ausgeschöpft werden und ein Kompromiss muss angewendet werden.
- Class A Oberflächen sind mit dem Werkstoff nur schwierig herstellbar. Besonders bei steigenden Faseranteilen ist Class A nur mittels aufwendiger Verarbeitungstechniken machbar.

Lange Fasern erhöhen die Festigkeit aber sind in der Fertigung umständlich

Chancen

- GFK stellt einen Kompromiss zwischen günstigem aber schwerem Stahl und hochfesten aber sehr teuren CFK

dar und könnte als Zwischenlösung Marktanteile gewinnen.

- Die Forschung im Bereich der Verarbeitung von CFK Produkten kann direkt auf GFK Produkte umgelegt werden. Damit profitiert der Werkstoff direkt und könnte vor allem bei weiterhin teuren Carbonfasern an Bedeutung gewinnen.

GFK kann von der Forschung im Bereich CFK profitieren

Gefahren

- Sollte der Preis von Carbonfasern stark fallen, könnten die Hersteller auf diese Faserart umsteigen. Damit würde die Glasfaser vom Markt verdrängt werden.

4.2.2.6 Ausblick für GFK im Karosseriebau

GFK ist mittlerweile im Karosseriebau etabliert und hat weite Verbreitung gefunden. Vor allem in kleinen Serien haben geringe Werkzeugkosten einen positiven Einfluss auf die Verwendung von Glasfaserprodukten. Der Kompromiss zwischen guten Festigkeiten und akzeptablen Preis wird auch in Zukunft Marktpotential aufweisen. Die Trends hin zu Modularisierung sowie Funktionsintegration wird glasfaserverstärkten Bauteilen weiterhin zu Wachstum verhelfen. Absehbar ist, dass sich diese Entwicklungen in nächster Zeit vor allem im Bereich der Türen und Klappen verstärken werden. (85)

GFK hat vor allem Chancen als günstige Alternative zu CFK

4.2.3 Carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK)

4.2.3.1 Welche Vor- und Nachteile weist CFK im Hinblick auf den Karosseriebau auf?

Vorteile	Nachteile
+ geringe Dichte	- teuer
+ hohe Steifigkeit	- lange Fertigungszeiten
+ hohe Festigkeit	- eingeschränkte Prozesssicherheit
+ geringe Wärmedehnung	- problematisch bei online Lackierung
+ korrosionsbeständig	- erreichbare Oberflächeneigenschaften
+ Schall- & Schwingungsdämpfend	- Reparaturfähigkeit
+ einstellbare Eigenschaften	- Verfügbarkeit/Preisstabilität
+ annähernd dauerschwingfest	
+ Möglichkeiten der Funktionsintegration	

Tabelle 17 Vor- und Nachteile von CFK

Carbonfaserverstärkter Kunststoff zeichnet sich in erster Linie durch höchste Festigkeiten und Steifigkeiten bei gleichzeitig niedrigem Eigengewicht aus (siehe Abbildung 43). Des Weiteren ist der Werkstoff weitgehend korrosionsbeständig. Eine hohe Schwingfestigkeit und eine geringe Wärmedehnung runden das Eigenschaftenspektrum ab.

CFK weist höchste Festigkeiten und Steifigkeiten auf

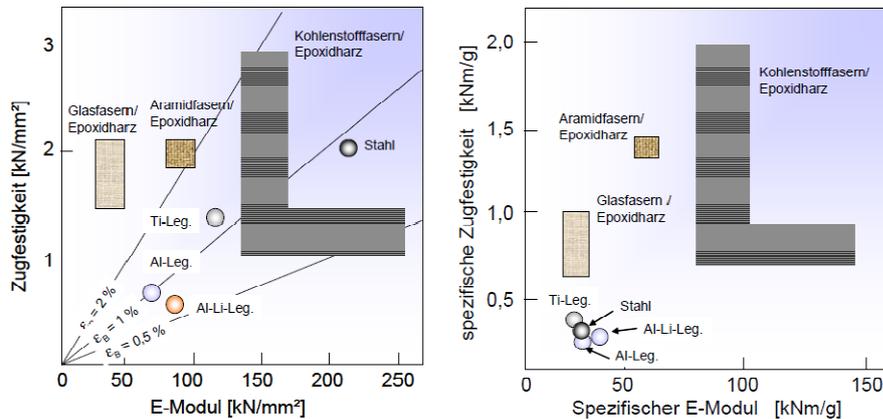
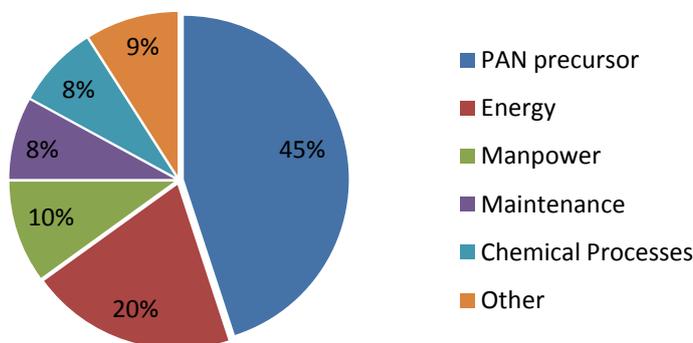


Abbildung 43 Steifigkeiten zu Festigkeiten (absolut/spezifisch) (77)

Nachteilig wirkt sich vor allem die aufwendige und zeitintensive Fertigung aus, welche je nach Fertigungsverfahren bis zu mehrere Stunden betragen kann. Dies wirkt sich neben den teuren Grundstoffen stark auf den Preis aus, welcher aktuell um den Faktor 10 bis 15 höher liegt, als für vergleichbare Stahlkomponenten. Abbildung 44 zeigt, wie sich der Werkstoffpreis aufschlüsselt. Bis zu 45 Prozent der Kosten entfallen auf den Grundstoff, weitere 20 Prozent auf die Energie. Das letzte Drittel teilt sich in Arbeits-, Wartungs-, Prozess- und Allgemeinkosten auf.

Nachteile von CFK sind der hohe Preis und die aufwendige Verarbeitung



Fast die Hälfte der Kosten sind auf das Ausgangsmaterial zurückzuführen

Abbildung 44 Carbon fibre cost driver (86)

4.2.3.2 Wie wird CFK im Karosseriebau derzeit eingesetzt?

CFK wird derzeit hauptsächlich im Motorsport und daraus abgeleiteten hochpreisigen Supersportwagen eingesetzt. Bekanntestes Beispiel sind die in CFK gefertigten Monocoques in der Formel 1. In der Serie werden Monocoques in CFK Bauweise beispielsweise beim McLaren MP4-12C, Porsche Carrera GT oder KTM X-Bow eingesetzt.

Neben diesen Großteilen werden einfachere Teile für Karosserieanwendungen verbaut. Lamborghini fertigt für das Modell „Gallardo superleggera“, u.a. Diffusor, Heckklappe und Seitenschweller aus CFK. Auch Chevrolet setzt bei der Corvette traditionell auf eine Außenhaut aus Kunststoff (GFK und CFK). Audi benutzt für seinen Supersportwagen R8 diverse Teile aus CFK (Seitenbeplankung, Dachabdeckung). Einziges CFK Bauteil welches derzeit unter annähernd großseriennahen Bedingungen produziert wird ist das Dach des BMW M3 CSL, welches BMW mithilfe des RTM Verfahrens herstellt.

Einzig BMW produziert Carbonbauteile annähernd in Serie

4.2.3.3 Wie können Karosseriebauteile aus CFK geformt werden?

Für die Fertigung von Komponenten für den Karosseriebau bieten sich folgende Verfahren an. (84)

- Handlaminieren/Faserspritzen

Diese beiden Verfahren sind kaum automatisierbar und deshalb für Großserienverfahren nicht geeignet. Spezielle Teile (z.B. Monocoques) werden auf diese Weise gefertigt. Die Aushärtung ist besonders anlagenintensiv und erfolgt für mehrere Stunden im Autoklaven. Damit verbunden sind lange Zykluszeiten sowie hohe Investitionskosten. Jedoch sind mit diesem Verfahren die höchsten Qualitäten erzielbar.

Handlaminieren garantiert höchste Qualität

- Resin Transfer Moulding (RTM)

Dieses Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass die Fasern (meist in Form von Matten oder Geweben) in das Unterwerkzeug eingelegt werden und das Oberwerkzeug angefahren wird. Anschließend wird unter Druck Harz eingespritzt ohne das Werkzeug zu entlasten. Anschließend härtet das Bauteil im beheizten Werkzeug aus. Dem Verfahren wird großes Potential zugestanden.

RTM gilt als Verfahren der Zukunft

- Spaltimprägnierverfahren

Abwandlung des RTM Verfahrens bei dem das Werkzeug erst nach dem Einspritzen vollständig angefahren wird und ein Fließprozess stattfindet. Das Werkstück härtet schneller aus. Außerdem können auch Sandwich- Elemente gefertigt

werden. Die Werkzeuge sind aufwendig, da sie nicht nur parallel verfahren werden müssen.

- Structural Reaction Injection Moulding (RIM)

Das Verfahren basiert auf dem RTM Verfahren mit dem Unterschied, dass die Matrixmasse nicht in gemischter Form vorliegt, sondern dass Harz und Härter erst in der Einspritzdüse gemischt werden. Damit können reaktivere Stoffe eingesetzt werden, die den Vorteil mit sich bringen, dass das Bauteil schneller aushärtet. Im Gegenzug sind diese Komponenten teurer als herkömmliche Matrixwerkstoffe.

Verwendet reaktivere Matrixmaterialien als RTM

- Wickelverfahren

Wickelverfahren eignen sich vor allem um Tanks und Druckbehälter herzustellen. In diesem Zusammenhang rechnen Experten mit großen Potentialen im Hinblick auf die Speicherung von gasförmigen Kraftstoffen oder auch Wasserstoff. (Vergleiche auch 4.2.2.4)

Mit CFK gewickelte Tanks sind leichter als Stahltanks

- Textilverarbeitungen

Diese Verfahren sind keine Komplettherstellungsverfahren im eigentlichen Sinne, sondern bereiten die einzelnen Rovings vor, indem diese zu Matten, Geflechtes oder kompletten Formen vernetzt werden. Diese weisen hohen Fasergehalt und damit hohe Festigkeiten auf. Die Halbzeuge werden auf komplexen Webmaschinen hergestellt.

Damit werden Matten und Geflechte gewebt

4.2.3.4 Welche Forschung wird auf dem Gebiet des CFK – Karosseriebaus betrieben und mit welchen Ausrichtungen und Zielen?

Die meisten Forschungsbestrebungen beziehen sich auf die Vereinfachung der Fertigungsverfahren um akzeptable Fertigungszeiten und damit verbundene Kostenreduktionen zu erreichen. Dazu zählen vor allem die Untersuchung verschiedener Formgebungsverfahren, deren ganzheitliche Automatisierbarkeit, sowie die Erprobung neuer Matrixwerkstoffe. Nachfolgend eine Auflistung von Initiativen zur Erforschung des Werkstoffes und dementsprechender Verarbeitungsverfahren.

Die Forschung versucht die Fertigungsverfahren zu optimieren

- Fraunhofer

Innerhalb des Fraunhofer Verbundes wird in mehreren Instituten, teilweise auch institutsübergreifend, an verschiedensten Projekten zum Thema Carbon gearbeitet. Das Institut für Chemische Technologie hat nach eigenen Angaben ein thermoplastisches RTM Verfahren entwickelt, welches Zykluszeiten von 5 Minuten erlaubt. Die Bauteile zeichnen sich durch eine 50%ige Verringerung des

Fraunhofer betreibt umfangreiche Forschung

Gewichts, sowie um die Hälfte günstigere Herstellungskosten im Vergleich zu duroplastischen Grundstoffen, aus. (87) Das Institut forscht auf dem Gebiet von RTM, SMC und LFT sowie in der Simulation. (88)

Das Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit arbeitet an der Einführung von aus SMC hergestellten Felgen in die Großserie. (89)

Das Institut für Werkstoffmechanik forscht u.a. an CFK-Schaum Verbundwerkstoffen.(90)

- RWTH Aachen/Ford

Die RWTH Aachen hat 2010 ein Projektteam installiert, welches die Möglichkeiten von CFK im Fahrzeug erörtern soll. Dabei wird der gesamte Bereich, von der Herstellung bis zum Recycling des Materials untersucht. Das Projekt soll anhand einer Motorhaube von der theoretischen Simulation bis hin zu einem fertigen Technologiedemonstrator durchgespielt werden. Ziel ist es bis Ende 2012 einen für die Großserie geeigneten Prototypen präsentieren zu können. Partner des Projekts sind unter anderem Ford, Evonik und Henkel. (91)

Die RWTH möchte 2012 einen Technologiedemonstrator präsentieren

- RWTH Aachen

Die Organisation hat ein Verfahren entwickelt, bei welchem herkömmliche Stahlkarosserien an hochbelasteten Stellen mit Inlays aus CFK Teilen verstärkt werden. Im Detail wurde ein Unterboden mit Hilfe von GFK und CFK verstärkt und eine Gewichtersparnis von 2 kg erreicht. Das Institut erwartet langfristig unter Berücksichtigung industrieller Produktion Leichtbaukosten von 15-20€/kg. Das Verfahren soll 2015 serienreif sein. (92) (82) Außerdem hat das Forschungsinstitut ein spezielles RTM Verfahren (Spaltimprägnierverfahren) entwickelt, mit welchem endkonturfertige Bauteile aus carbonfaserverstärktem Kunststoff in unter 5 Minuten hergestellt werden können. (93)

Inlays aus CFK sollen 2015 serienreif sein

- Universität Kaiserslautern

Das Forschungsinstitut berichtet über den Durchbruch bei durch Pultrusion hergestellten, endlosfaserverstärkten Profilen. Diese lassen sich auf bestimmte Anwendungen maßschneidern und sind für Faserverbundwerkstoffe relativ preiswert. (94)

- TU München

Der Lehrstuhl für Carbon Composites beschäftigt sich mit dem gesamten Lebenszyklus der Faser, von der Produktion über die Simulation bis zum Recycling. Ein

SGL finanziert den Lehrstuhl für Carbon Composites der TU München

Anwendungsgebiet im Forschungsspektrum stellt die Automobiltechnik dar. Der Lehrstuhl wird vom Unternehmen SGL Carbon finanziert. (95)

- TU Braunschweig

Die Universität unterhält am Institut für Füge- und Schweißtechnik eine Arbeitsgruppe, welche im Bereich der carbonverstärkten Kunststoffe forscht. Hauptaugenmerk ist dabei das Fügen von Faserverbundwerkstoffen. (96)

- DLR

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt forscht seit langem im Bereich CFK. Dabei deckt das Institut alle relevanten Themen (Produktion, Fügetechnik, Simulation) ab. Neben der Grundlagenforschung liegt der Forschungsschwerpunkt auf dem Flugzeugbau.

- Imperial College London

Das Imperial College London hat einen Carbon- Werkstoff entwickelt, welcher ähnlich einer Batterie, Strom speichert kann und gleichzeitig als Karosseriebauteil eingesetzt werden kann. Ein über drei Jahre laufendes, von der EU gefördertes Forschungsprojekt wurde initiiert. Involviert ist außerdem Volvo. (97)

Ein neuer Werkstoff aus Carbon speichert Strom

- FOR 860

FOR 860 ist ein Zusammenschluss des Fraunhofer Instituts für Produktionstechnologie, des Fraunhofer Instituts für Kunststoffverarbeitung sowie des Instituts für Textiltechnik der RWTH Aachen. Ziel des Konsortiums ist die Erforschung neuer Prozessketten zur Serienproduktion von endlosfaserverstärkten Kunststoffbauteilen. Das Projekt gliedert sich in acht Untergruppen auf und bildet den gesamten Herstellungsprozess eines Bauteiles ab. (98)

FOR 860 ist ein Zusammenschluss von Fraunhofer Instituten und der RWTH Aachen

Die OEMs/Zulieferer beschäftigen sich in erster Linie mit der eigentlichen Konstruktion und Berechnung der Karosserie.

- Audi

Hat im August 2010 in Neckarsulm ein neues „Leichtbau-Technikum“ eröffnet mit dem Ziel die CFK Fertigung für die Großserienproduktion weiterzuentwickeln. Audi sieht beim Prepreg und der aktuellen Fertigungszeit von mehr als 4 Stunden wenig Potential für Serienreife und favorisiert das RTM Verfahren um die Serienzeiten weiter zu drücken (aktuell 30 min). (99)

Audi hat 2010 das „Leichtbau-Technikum“ eröffnet

- Lamborghini

Eröffnet im Juli 2010 am Stammsitz in Sant`agata bolognese das „Advanced Composites Research Center

(ACRC)“, ein Forschungszentrum für Kohlefaser-Technologie. Außerdem finanziert Lamborghini in Zusammenarbeit mit Boeing eine Forschungseinrichtung an der University of Washington. (100)

- Volkswagen

betreibt am Standort Wolfsburg CFK Forschung. Dort verfügt das Unternehmen über modernste Ausrüstung um den Einsatz im Automobil auszuloten. Außerdem ist das Unternehmen Mitglied des CFK- Valley Stade. (101)

- BMW/SGL

Die Unternehmen haben im Oktober 2009 ein Joint Venture gegründet mit dem Ziel ein Fahrzeug mit CFK-Karosserie zu entwickeln. Das „Megacity Vehicle (MCV)“ soll über Elektroantrieb und eine CFK Karosserie verfügen und 2013 zu marktfähigen Preisen in Serie gehen. Die Herstellung erfolgt im Werk Landshut. Eingebunden sind auch „3 bis 4“ Zulieferer welche parallel investieren. (102)

BMW bringt 2013 die CFK Karosserie

- Daimler

Im April 2010 verkündete Daimler die Zusammenarbeit mit dem japanischen Carbon Spezialisten Toray zur Entwicklung und Herstellung von CFK Bauteilen für die Großserie. Toray ist der weltweit größte Hersteller von Carbonfasern und unterhält u.a. das „Nagoya Automotive Center“ zur Erforschung von CFK im Automobil. Die ersten Ergebnisse der Zusammenarbeit sollen innerhalb von 3 Jahren (d.h. ~ 2013) in Serie gehen. (103)

Daimler hat sich mit Toray verbündet

- Benteler/ SGL

Der Automobilzulieferer Benteler sowie das Carbon Unternehmen SGL haben ein Joint Venture gegründet um u.a. Produkte für den Karosseriebau anbieten zu können. Aktuell fertigt das Unternehmen Bauteile für Audi, Porsche oder KTM. Mit dem Zukauf der Fischer Unternehmensgruppe 2009 wurde die Ausrichtung auf den Automobil noch einmal unterstrichen. (104)

Benteler und SGL kooperieren auf dem Gebiet der Automotive Bauteile

- Schuler

Der Pressenhersteller engagiert sich im Bereich der Anlagen zur Fertigung von CFK Komponenten für die Großserie. Dafür hat Schuler bereits seit dem Jahr 1998 verschiedene Pressen entwickelt. Einen ersten Auftrag über mehrere Pressen erhielt der Hersteller im Jahr 2010. Im Frühjahr 2011 wird der Hersteller diese in Betrieb nehmen. Diese sind vermutlich für BMW zur Produktion des Megacity Vehicles bestimmt. (105)

Schuler liefert erste Pressen für die Großserienfertigung aus

Folgende Netzwerke bilden weitere Eckpunkte der CFK Forschung.

- CFK-Valley Stade

In Stade bei Hamburg (Niedersachsen) wurde das CFK Valley zur Förderung und dem Ausbau der CFK Technologie, gegründet. Mitglieder sind eine Vielzahl an Klein-, Mittel- und Großbetrieben darunter Volkswagen, SGL, Carbo Tech, Airbus, Dow, Evonik, Fraunhofer. In der Region um das Airbus Werk haben sich viele Zulieferer angesiedelt, weshalb in dem Gebiet bereits ein beachtliches Know-How im Umgang mit CFK besteht. (106)

Das Netzwerk in Stade verbindet zahlreiche Unternehmen

4.2.3.5 Welche Stärken (Schwächen, Chancen, Gefahren) hat CFK im Karosseriebau?

Stärken

- CFK bringt für den Einsatz im Karosseriebau eine Reihe von hervorragenden Eigenschaften mit. Damit ist das Potential zum Erlangen eines bedeutenden Anteiles im Karosseriebau gegeben.
- Durch die permanent höher werdenden Anforderungen an Sicherheit und Umweltverträglichkeit könnte sich CFK zur zentralen Lösung entwickeln.

Schwächen

- Der hohe Preis ist derzeit ein Hindernis für die Einführung in die Großserie. Dieser Nachteil gründet sich einerseits auf teure Grundstoffe, aber auch auf die teure Verarbeitung.
- Aufgrund der geringen Erfahrungen mit dem Werkstoff ist das Wissen und die Praxiserfahrung begrenzt vorhanden. Nicht kalkulierbare Risiken bzw. erheblicher Forschungsaufwand könnten von Nöten sein.

Der hohe Preis ist das Haupthindernis

Chancen

- Im Flugzeugbau wurde und wird sehr viel Forschung rund um das Thema CFK betrieben. Die Automobilindustrie kann auf die Forschungsergebnisse aufbauen und damit schneller und einfacher zur Serienreife finden.
- Durch optimaler Auslegung von CFK Bauteilen, die großtechnische Produktion, sowie neuer Automatisierungsverfahren, könnten die Kosten sinken und damit der Werkstoff deutlich attraktiver werden.
- Strengere Umweltvorschriften sowie höhere Sicherheitsanforderungen könnten den Werkstoff als einzige Alternative hervorbringen.

Karosseriebau kann vom Flugzeugbau lernen

Gefahren

- Das aktuelle Preisniveau ist für die Großserie zu hoch. Sollten Weiterentwicklungen keine Preisminderungen bringen besteht die Gefahr, dass es zu keiner bedeutenden Anwendung im Karosseriebau kommt.
- Durch das im Vergleich geringe Produktionsvolumen weltweit, können sich die Preise für den Rohstoff sehr volatil verhalten. Andererseits ist die Versorgungssicherheit beeinträchtigt. OEMs könnten aus diesen Gründen den Einsatz in der Serie ablehnen.

Falls keine Preisreduktionen möglich sind, droht ein Rückschlag

4.2.3.6 Ausblick für CFK im Karosseriebau

Die Konstruktion und Fertigung von Bauteilen in Carbon-Verbundbauweise hat sich im Serienkarosseriebau noch nicht etabliert. Jedoch beweisen zahlreiche Projekte namhafter Hersteller, die weltweiten Bestrebungen in Forschung und Entwicklung, sowie die Aussage verschiedenster Experten, dass CFK das Potential hat eine gewichtige Rolle im Karosseriebau zu spielen. Vergleicht man in Abbildung 45 den rasanten Anstieg des Anteils von CFK im Flugzeugenbau (von 15% auf 60% innerhalb weniger Jahre) zeigt dies, wie rasch eine Implementierung in der Großserie ablaufen könnte.

CFK hat Potential, aber wird noch nicht umgesetzt

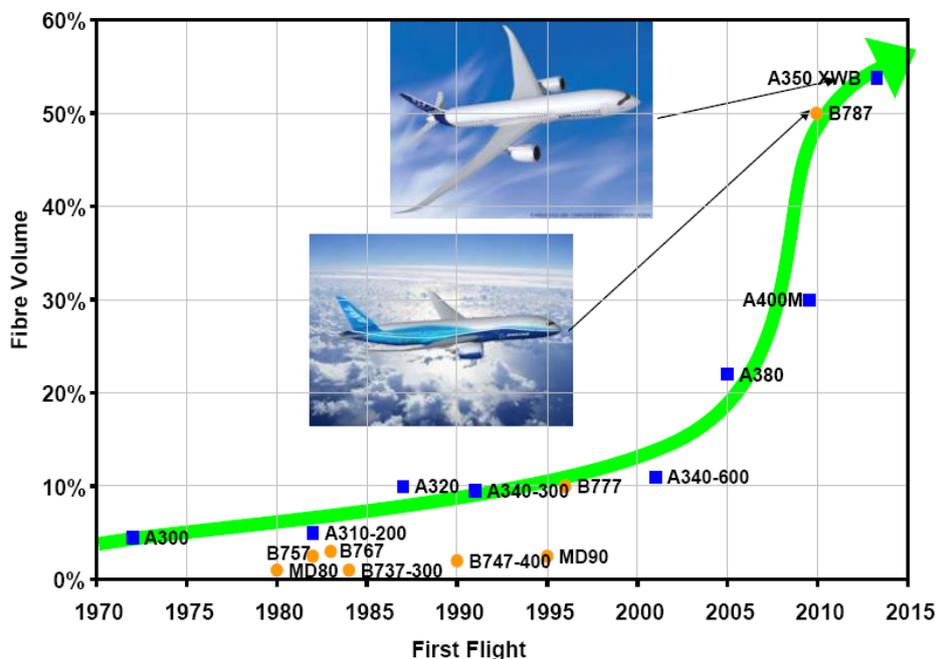


Abbildung 45 Entwicklung des Einsatzes von CFK im Flugzeugbau (107)

Das Diagramm stützt auch die These, dass OEMs erst in eine Technologie investieren, sobald diese serienreif ist, andererseits die Zulieferer erst zu Investitionen bereit sind, sobald Abnehmer vorhanden sind. Sobald sich der Stau löst, kann es daher zu

Bei Fortschritten könnte sich der Anteil sprunghaft erhöhen

sprunghaften Verläufe wie in Abbildung 45 kommen. Es besteht durchaus die Möglichkeit, dass im Karosseriebau eine ähnliche Entwicklung ablaufen könnte.

In Hinblick auf die Auslegung, Berechnung und Simulation ist der Flugzeugbau Vorreiter und eine Anlehnung an dieses Wissen kann für den Karosseriebau nur vorteilhaft sein. Die Tatsache dass weltweit intensivst an der Erforschung des Werkstoffs gearbeitet wird, zeugt von der Aktualität des Themas. Mehrere Organisationen sprechen von Durchbrüchen bei der Forschung, allerdings ist derzeit kein klarer Wettbewerbsvorteil eines Marktteilnehmers absehbar.

Unmittelbare Chancen zur Einführung von CFK Strukturen ins Automobil bieten sich als Verstärkungen in hochbelasteten Bereichen an. Vor allem in Kombination mit Spritzgussverfahren von un- oder glasfaserverstärkten Kunststoff lassen sich Bauteile günstig in Großserie darstellen. Demgegenüber steht die Meinung von verschiedenen Experten, wie beispielsweise dem Ford CEO Alan Mullan. Der ehemalige Manager von Boeing und nunmehrige Vorstand von Ford, betont dass Carbonfasern noch nicht reif für den Einzug in die Großserie sind. (108)

Verstärkungsinlays könnten bald serienreif sein

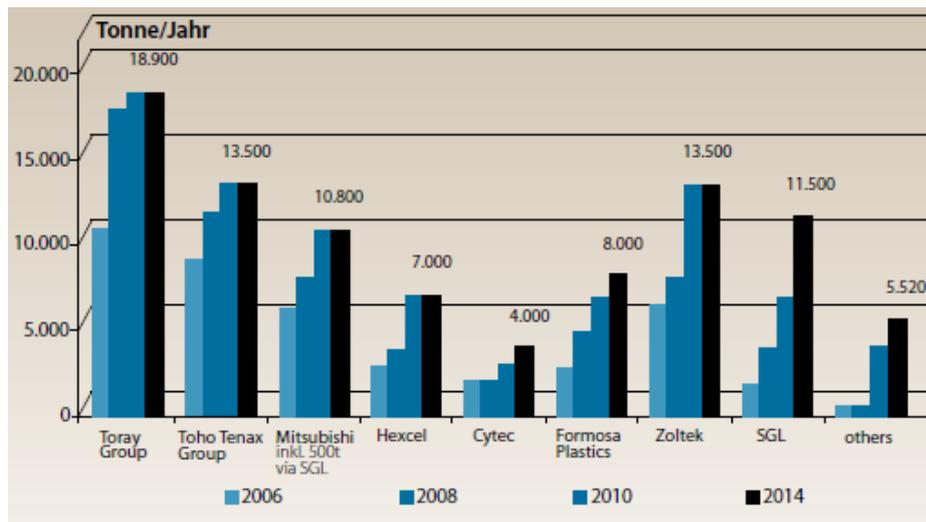


Abbildung 46 Weltweite Pan-basierte Carbonkapazität (109)

Diese These bestätigt auch Abbildung 46 welche aussagt, dass die Kapazität zur Produktion von CFK in den kommenden Jahren nicht merklich ausgebaut werden wird. Damit verbunden dürften Preisschwankungen oder auch Lieferengpässe einhergehen.

Die Produktionskapazitäten werden kaum erhöht

Unbestritten ist das Potential von carbonfaserverstärktem Kunststoff, sowie die Nötige weiterer Forschung auf dem Gebiet. Der Werkstoff wird Einzug in das Automobil halten, wenn auch in unmittelbarer Zukunft mit wenig Dynamik. Erster Gradmesser für die CFK Technologie im Fahrzeugbau wird das Megacity Vehicle von BMW und dessen Erfolg am Markt sein.

4.2.4 Naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK)

Naturfasern zur Verstärkung von Werkstoffen bilden die ältesten Bauformen von Composites. Als Rohstoffe können dabei pflanzliche Faser wie Baumwolle, Jute, Flachs und Hanf, Rohstoffe tierischer Herkunft wie Wolle oder Seide, oder mineralische Fasern wie Asbest dienen. Auch Holzfasern können je nach Bauteil zur Anwendung kommen. Naturfasern bilden grundsätzlich eine geeignete Grundlage um als Verstärkungsfaser für Karosseriebauteile zu dienen. Bereits bei ostdeutschen Trabant Modellen wurde eine mit Baumwolle verstärkte, duroplastische Außenhaut zur Verkleidung der Karosserie angebracht.

NFK bilden die ältesten Composites

4.2.4.1 Welche Vor- und Nachteile weisen naturfaserverstärkte Kunststoffe im Hinblick auf den Karosseriebau auf?

Vorteile	Nachteile
+ geringe Dichte	- gleichbleibende Qualität
+ günstig	- Verfügbarkeit
+ Energiebilanz	- geringe Festigkeit
+ Umweltverträglichkeit	- Korrosion
	- Wasseraufnahme

Tabelle 18 Vor- und Nachteile von NFK

Vorteile in der Anwendung von naturfaserverstärkten Kunststoffen ergeben sich vor allem durch die geringe Dichte und die günstige Energiebilanz. Dem steht vor allem die schwankende Materialqualität negativ gegenüber. Abbildung 47 gibt einen Überblick über typische Eigenschaften naturfaserverstärkter Kunststoffe.

Geringe Dichte und günstige Energiebilanz

Kennwerte / Werkstoff	NF-EP	EcoCor
Naturfaseranteil	65 % (Flachs & Hanf, 50:50)	50 % (Bastfasern)
Kunststoffmatrix	Epoxid (Duroplast)	Polypropylen (Thermoplast)
Dichte (g/cm ³)	0,8 – 0,85	0,86 – 0,90
Biegefestigkeit (N/mm ²)	50 – 70	45 – 55
Biege-E-Modul (N/mm ²)	4.000 – 5.000	2.300 – 2.700
Zugfestigkeit (N/mm ²)	40 – 50	25 – 30
Schlagzähigkeit (mJ/mm ²)	14 – 20	25 – 35
Fogging (mg)	0,2 – 0,6	0,3 – 0,9

Abbildung 47 Typischen Eigenschaften von NFK (Johnson Controls) (110)

In den letzten Jahren fand der Werkstoff vermehrt Einzug in den Innenraum von Fahrzeugen, u.a. als Verkleidungsmaterial in Fahrzeugtüren. Die neutrale Energiebilanz, geringe Dichten, sowie gute Recyclingfähigkeit stehen mäßigen Festigkeiten und schwankender Rohstoffqualität gegenüber. Preislich liegen die

Bereits Einsätze im Innenraum von Fahrzeugen

Werkstoffe leicht über konkurrierenden Materialien, sind aber aufgrund von Funktionsintegrationen wettbewerbsfähig. (111) Vor allem der geringe Energieverbrauch für die Erzeugung der Fasern sticht dabei ins Auge. Wie aus Abbildung 48 eindrucksvoll ersichtlich wird, benötigen beispielsweise Hanffaser nur einen Bruchteil der Energie, welcher zur Produktion von Polypropylen notwendig ist.

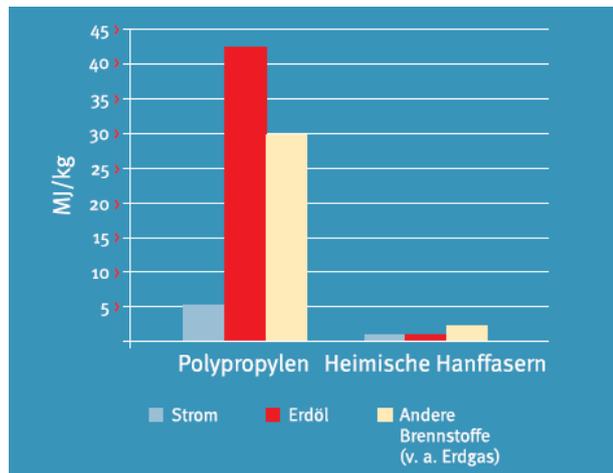


Abbildung 48 Energieaufwand zur Produktion einer Türinnenverkleidung aus NFK/PP (110)

Besonders deutlich wird die günstige Energieverteilung, wenn der Energieaufwand zur Produktion der einzelnen Bestandteile und der Verarbeitungsschritte betrachtet wird. Mehr als zwei Drittel der Energie entfallen auf Harz und Härter und unterstreichen noch einmal die Umweltfreundlichkeit des Naturstoffes.

Sehr niedriger Energieaufwand

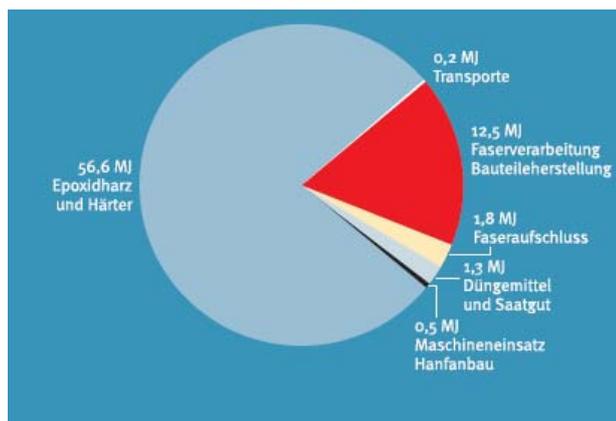


Abbildung 49 Energieverteilung zur Herstellung einer Türinnenverkleidung (110)

Negativ auf die Verwendung von Naturfasern wirkt sich vor allem die Streuung der Rohstoffeigenschaften aus. Diese werden durch unterschiedlichste Parameter beeinflusst (Wetter, Bodenqualität, Düngung usw.) wodurch verlässliche Kennwerte kaum ermittelbar sind. Deutlich wird dies in Abbildung 50, in der der rote Hintergrund die weite Streubreite darstellt.

Starke Streuung der Eigenschaften

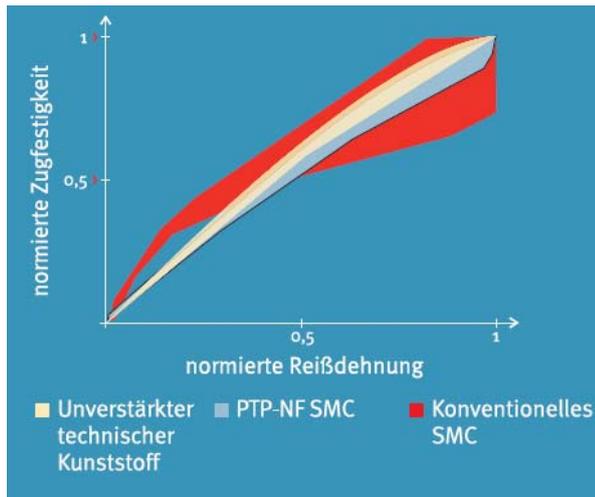


Abbildung 50 Streuung der Rohstoffeigenschaften (110)

4.2.4.2 Wie werden naturfaserverstärkte Kunststoffe im Karosseriebau derzeit eingesetzt?

Serieneinsätze für Karosserie- oder Strukturbauteile sind, im Gegensatz zu Anwendungen im Interior-Bereich, aktuell sehr wenige bekannt.

- Daimler

Mercedes verwendet für die aktuelle Baureihe der A-Klasse neben zahlreichen Bauteilen im Innenraum auch einen Teil des Unterbodenschutzes aus Naturfaserverstärkten Kunststoffen. Dazu werden Fasern einer speziellen Bananenstaude verarbeitet. (112)

Daimler ist Pionier der Technik

- Four Motors

Das Unternehmen hat die Karosserie mehrere Fahrzeuge (Ford Mustang, Renault Megane, VW Beetle) mit Biocomposites nachgebaut und bestreitet damit Rennen. Der Werkstoff besteht dabei aus Hanf und/oder Flachs und einer biologisch abbaubaren Kunststoffmatrix. (113)

Four Motors baut Karosserien aus NFK

4.2.4.3 Welche Forschung wird auf dem Gebiet des naturfaserverstärkten Kunststoff-Karosseriebaus betrieben und mit welchen Ausrichtungen und Zielen?

- Biostruct

Unter diesem Namen haben sich 20 Unternehmen unter der Führung vom Fraunhofer Institut für Chemische Technologie zusammengeschlossen um Eigenschaften von Composites auf Holzbasis zu erforschen. Neben Grundlagenforschung sollen Fallbeispiele, darunter eines aus der Automobilindustrie durchgespielt werden. (114)

- FENAF-Netzwerkverbund

Der Netzwerkname steht für „Ganzheitliche Bereitstellungs-Verarbeitungs- und Fertigungsstrategien von Naturfaserrohstoffen“ und fördert über das deutsche Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Projekte zur Erforschung von regenerativen Rohstoffen. Die folgende Tabelle soll Einblick über einige der geförderten Projekte im Bereich Automotive aufzählen.

Starke Unterstützung der Politik

Projekt	Datum	Bearbeitung durch
Studie von Bauteilen für den Autorennsport und Überführung in eine Kleinserie	01.10.2009 - 31.12.2009	DLR - Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik
Neuartige Bauteilkonzepte unter Nutzung von Holzfaserwerkstoffen mit Thermoplastmatrix in serientauglichen Verfahren	01.06.2009 - 31.05.2012	Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik
TV 9a: IMC basierte Technologien für den Einsatz von Naturfasern in innovativen Spritzgießbauteilen am Beispiel von Transportsystemen	01.06.2009- 31.05.2012	Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik
TV 6a: Neuartige Bauteilkonzepte unter Nutzung von Holzfaserwerkstoffen mit Thermoplastmatrix in serientauglichen Verfahren	01.06.2009 bis 31.05.2012	Hugo Stiehl GmbH - Kunststoffverarbeitung
TV 4a: Entwicklung eines serientauglichen Stängel-Direkthalbeugs zur kostenoptimierten Verwertung von Bastfaserpflanzen in Kfz-Innenverkleidungsbauteilen	01.06.2009 bis 31.05.2012	ISOWOOD GmbH
TV 2a: Serienfähige Konzepte zum Trennen und Schneiden sowie zielgerichteten Reinigung und Konditionierung für die Gewinnung von ganzpflanzenbasiertem Kurzfasermaterial als Naturfaserrohstoff für Fließpress- und Spritzgießverfahren	01.04.2009 bis 31.03.2012	Erzgebirgische-Flachs GmbH

Tabelle 19 Ausgewählte Projekte durch das BELV geförderte Projekte im Bereich der nachwachsende Rohstoffe (115)

Die Aufzählung der Projekte soll nur einen Ausblick über die Förderungen im Bereich der Nachwachsenden Rohstoffe geben. Die Themen zielen von der Beschaffung, über die Bearbeitung und Nutzung, bis hin zum Recycling der Materialien und sind derzeit kaum auf Karosseriebauteile ausgerichtet. Nichtsdestotrotz kann der Karosseriebau von den Forschungsergebnissen profitieren. (115)

4.2.4.4 Wie können Karosseriebauteile aus naturfaserverstärkten Kunststoffen geformt werden?

Die Forschung auf dem speziellen Gebiet der Fertigung naturfaserverstärkter Kunststoffe ist noch nicht weit fortgeschritten, daher kommen prinzipiell alle Fertigungsverfahren zum Fertigen von faserverstärkten Kunststoffen in Frage. (siehe 4.2.2.4 und 4.2.3.3)

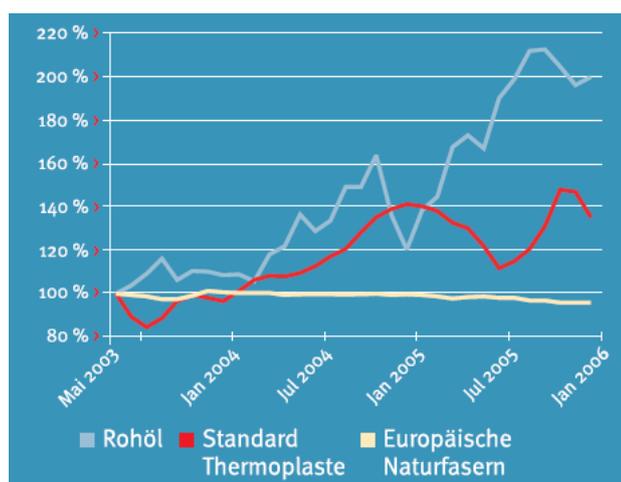
NFK werden wie andere faserverstärkte Kunststoffe geformt

In der Mehrzahl der Verarbeitungen werden die Fasern in eine Presse eingelegt, mit Bindemittel benetzt, gepresst und ausgehärtet. Die damit verbundenen Einschränkungen bezüglich der hohen Taktzeiten bestehen auch bei diesem Rohstoff.

4.2.4.5 Welche Stärken (Schwächen, Chancen, Gefahren) haben naturfaserverstärkte Kunststoffe im Karosseriebau?

Stärken

- Die geringe Dichte, die Möglichkeit komplexe Bauteile zu erzeugen und das günstige Grundmaterial sind die Vorzüge des Werkstoffes und machen das Potential für den Karosseriebau aus.
- Die Verwendung von erneuerbaren Ressourcen schont die Umwelt und ist in besonders in Verbindung mit abbaubaren oder recyclingfähigen Kunststoffen umweltfreundlich.
- Der Preis für Naturfasern entwickelt sich äußerst stabil im Vergleich zu Rohöl, dem Grundstoff für herkömmlichen Kunststoff (vergleiche Abbildung 51).



Äußerst stabile Preisentwicklung

Abbildung 51 Preisentwicklung von Rohöl, Thermoplasten und Naturfasern (110)

Schwächen

- Die Rohstoffe stehen in Konkurrenz mit der Lebensmittelproduktion und der Produktion von Biokraftstoffen. Daher könnte es in Zukunft schwierig werden Flächen für den Anbau ausbauen, ohne dass der Preis ansteigt.
- Die Festigkeiten der Werkstoffe schwanken stark und verlässliche Aussagen zur Festigkeit und Dauerfestigkeit sind daher schwierig machbar. In diesem Bereich ist breiter Forschungsbedarf gegeben.

Die Eigenschaften der Rohmaterialien schwanken

Chancen

- Sollte die ressourcenschonende Bewirtschaftung des Lebensraums Erde weiter in den Mittelpunkt rücken, könnten diese Stoffe eine wichtige Säule des modernen Karosseriebaus werden.
- Bereits aktuell werden die Rohstoffe von der öffentlichen Hand subventioniert und auch in Zukunft ist zu erwarten, dass mit zunehmendem Umweltbewusstsein diese Förderungen nicht gekürzt, sondern erhöht werden. Damit könnten diese Werkstoffe erheblich wettbewerbsfähiger werden.

Erhöhung der öffentlichen Förderung birgt Potential

Gefahren

- Steigende Lebensmittelnachfrage sowie die Ausweitung der Biokraftstoffproduktion könnte für den Anbau von Faserpflanzen weniger Flächen bereitstellen.
- Sollten Förderungen von Seiten der öffentlichen Hand ausgesetzt werden, droht diesen Rohstoffen ein erheblicher Rückschlag und ein Einsatz im Automotive-Bereich würde erheblich erschwert.

4.2.4.6 Ausblick für naturfaserverstärkte Kunststoffe im Karosseriebau

Der Trend erneuerbare Werkstoffe zu verwenden um eine ausgeglichene Energiebilanz zu erreichen, sowie die damit verbundenen Förderungen von Seiten der öffentlichen Hand haben einige Projekte im Bereich der Naturfasern ins Rollen gebracht. Die Produktion und Fertigung von Bauteilen ist aber mit den gleichen Problemen verbunden, wie alle faserverstärkten Kunststoffe. Außerdem ist die gleichbleibende Qualität bei hochwertigen Bauteilen wesentlich kritischer als bei Verkleidungs- oder Dämmungsbauteilen. Nachteilig wirkt sich auch die unmittelbare Konkurrenz zur Produktion von Nahrungsmitteln und Biokraftstoffen aus, weshalb sich schwierig freie Flächen für den Anbau finden lassen.

NFKs stehen in Konkurrenz zur Produktion von Lebensmitteln und Biokraftstoffen

Nichtsdestotrotz nimmt der langfristige Trend zur Verwendung von naturfaserverstärkten Kunststoffen im Automobilbau zu (siehe Abbildung 52). Die parallel laufenden Forschungen und Entwicklungen haben unter Laborbedingungen bereits Festigkeiten im Bereich der Glasfasern erreicht. Zusammen mit dem langfristigen Trend zum schonenderen Umgang mit den gegebenen Ressourcen, ist eine weitere Ausweitung der Anwendung im Automobilbau wahrscheinlich. Für den Karosseriebau sind umfangreiche Weiterentwicklungen nötig, um über Nischenprodukte hinauszukommen.

Langfristiger Trend ansteigend

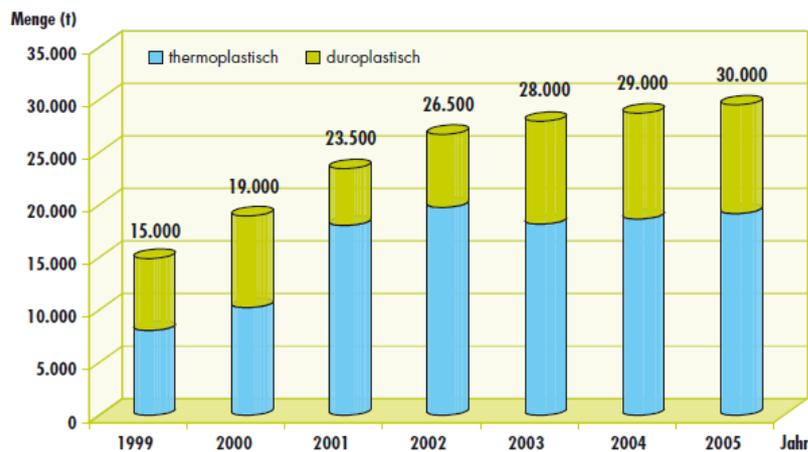


Abbildung 52 Verwendung naturfaserverstärkter Kunststoffe im deutschen Automobilbau (116)

4.2.5 Kunststoffe mit speziellen Verstärkungsfasern

4.2.5.1 Aramidfasern

Aramidfasern sind langkettige Polymere, welche vor allem unter dem Handelsname Kevlar® in Form von Bekleidung bekannt wurde. Das Material verfügt über hervorragende Eigenschaften im Hinblick auf den Leichtbau. Zugfestigkeiten bis zu 3000 MPa, sehr geringe Dichte sowie Korrosionsresistenz zeichnen das Material aus. Nachteilig wirkt sich vor allem die schwierige mechanische Bearbeitung, sowie die Auswirkung von Feuchtigkeit aus. Im Karosseriebau hat diese Faser noch keinen Durchbruch erlangt, da die Fasern im Verhältnis Kosten zu mechanischen Eigenschaften Carbonfasern unterlegen sind. Jedoch ist eine lebendige Forschung auf dem Gebiet zu erkennen, auch wenn kein Focus auf den Karosseriebau gelegt wird.

Aramidfasern sind unter dem Namen Kevlar® bekannt

4.2.5.2 Borfasern

Diese Faserart übersteigt bei Festigkeit und Steifigkeit alle anderen Fasern um ein Vielfaches. Die Herstellung und Handhabung ist jedoch sehr kompliziert und um ein vielfaches teurer. Derzeit im Automobilbau nicht einsetzbar.

Borfasern weisen die höchsten Festigkeiten auf

5 Halbzeuge

5.1 Schäume

Technische Schäume sind die Adaption, des von der Natur im Knochen vorexerzierten Prinzips hochbelastbarer poröser Strukturen. Geschäumte Werkstoffe zeichnen sich durch eine zellenförmige Struktur aus, welche mit Gas gefüllt ist. Dabei können Schäume in geschlossenporige bzw. offenporige unterschieden werden. Während bei Ersteren die Gasblasen in sich geschlossen sind, sind offenporige durchlässig und Fluide könne durch die Struktur fließen. Mithilfe von unterschiedlichen Werkstoffen und Verfahren können Schäume mit unterschiedlichen Dichten hergestellt werden. Geschäumte Werkstoffe zeichnen sich durch hohe spezifische Steifigkeiten aus und besitzen hohe Schall- und Schwingungsdämpfungseigenschaften. Besonderes Potential haben Schäume, welche in festem Zustand in die Karosserie eingelegt werden und infolge der erhöhten Temperaturen (z.B. Lackierung) aufschäumen. (117)

Schäume sind dem Knochen nachempfunden

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> + geringe Dichte + einstellbare Dichten/Festigkeiten + hohe Energieaufnahme + Steigerung der Steifigkeit + Schall- und Schwingungsdämpfend + Komplexe Geometrien möglich + große Werkstoffauswahl 	<ul style="list-style-type: none"> - Zusatzaufwand - Krafteinleitung - Haftung (bei Ausspritzen von Hohlkörpern) - Wasseraufnahme

Schäume weisen hohe Schwingungsdämpfung auf

Tabelle 20 Vor- und Nachteile geschäumter Werkstoffe

5.1.1 Metallschäume

Grundsätzlich lässt sich eine breite Palette von metallischen Werkstoffen zu Schäumen verarbeiten, beispielsweise Stahl, Zink, Aluminium oder Kupfer. In der technischen Praxis haben sich aber vor allem Schäume aus Leichtmetallen etabliert. Dies hat den einfachen Grund, dass Schäume aus Metallen mit höheren Dichten meist auf eine ähnliche Dichte wie massive Leichtmetalle aufweisen. Aus diesen Gründen ist eine Konstruktion in massiver Leichtmetall Ausführung meist günstiger und einfacher umsetzbar. Besondere Möglichkeiten ergeben auch neueste Entwicklungen bei denen sandwichartige Halbzeuge hergestellt werden, welche aus nur einem Material bestehen. Der Schaumkern geht dabei fließend in die glatten Oberflächen über.

Metallschäume werden hauptsächlich aus Leichtmetallen erzeugt

Es besteht eine metallische Verbindung, weshalb die Halbzeuge auch für Schweißkonstruktionen eingesetzt werden können. (118) Während Metallschäume in der Vergangenheit ein großes Thema in Forschung und Entwicklung waren, sind in den letzten Jahren die Bemühungen sichtlich weniger geworden. Nichtsdestotrotz werden immer mehr Anwendungen bekannt. Besonders im Maschinenbau und in der Bauindustrie werden bei leichtbauintensiven Konstruktionen vermehrt Metallschäume eingesetzt.

In der Automobilindustrie setzt beispielsweise Ferrari auf geschäumte Bauteile aus Aluminium, um damit Seitenschweller zu verstärken und im Weiteren die Crashesicherheit garantieren zu können. Beim Q7 verwendet Audi geschäumte Bauteile um die Sicherheit bei Unfällen zu erhöhen. Die Gebäcknetzhalterungen bestehen aus geschäumtem Aluminium und gewährleisten damit sehr hohe Energieaufnahmen. (119)

Ferrari verstärkt mit Schäumen die Karosserie

5.1.2 Kunststoffschäume

Der deutlichste Unterschied von Kunststoffschäumen zu Schäumen auf Metallbasis ist die deutlich leichtere Verarbeitbarkeit. Durch die enorme Vielseitigkeit von Kunststoffen können die Eigenschaften gut an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden. Aus diesem Grund sind Kunststoffschäume in der Automobilindustrie für Anwendungen im Interior Bereich Stand der Technik. Auch für Karosserieanwendungen sind Serieneinsätze bekannt. So setzt BMW in der 5er Touring Baureihe Kunststoffschäume im Bereich des Daches ein, um die Steifigkeit zu erhöhen. Ebenfalls setzt Citroen beim Modell C4 Picasso auf derartige Verstärkungen in der Fahrgastzelle. (120) Auch Lexus setzt beim neuen Sportwagen LFA im Tunnel- und Bodenbereich Schaumstrukturen aus Kunststoff ein. (121)

Kunststoffschäume lassen sich sehr einfach verarbeiten



Abbildung 53 Verstärkungseinlagen aus Kunststoffschaum am Beispiel des Citroen C4 Picasso (120)

5.2 Sandwich Halbzeuge

Unter Sandwich Verbunde versteht man im Allgemeinen das Schichtweise verbinden mehrere Werkstoffe. Aufgrund der breiten Angebotspalette an potentiellen Kombinationen sind hier die

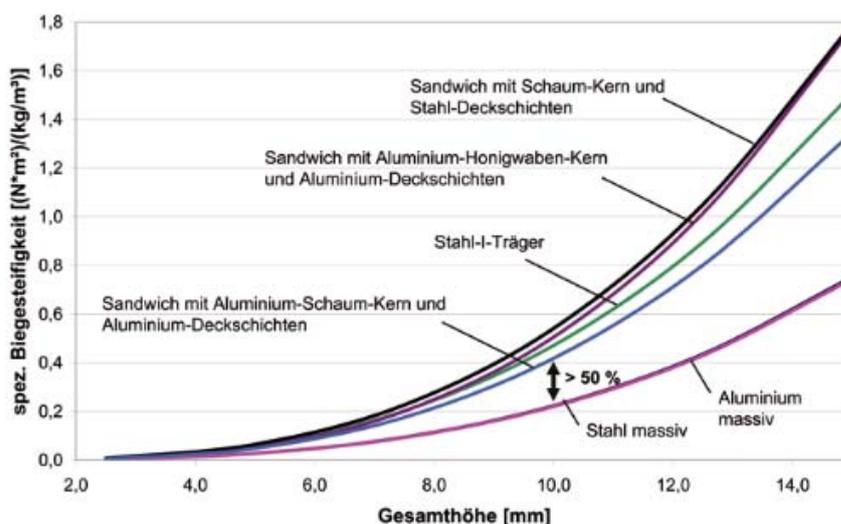
Sandwichmaterialien bestehen aus mehreren Lagen mit verschiedenen Materialien

Möglichkeiten nahezu unbegrenzt.

Vorteile	Nachteile
+ geringe Dichte	- Zusatzaufwand
+ höchste Biegesteifigkeiten	- Kräfteinleitung
+ gute Schall-, Schwingung- und Wärmeisolationseigenschaften	- problematische Recyclingbarkeit
+ hohe Energieaufnahme	
+ große Werkstoffauswahl	

Tabelle 21 Vor- und Nachteile von Sandwichstrukturen

Abbildung 54 zeigt deutlich welche Auswirkungen die Anwendung von Sandwichstrukturen auf die Steifigkeit haben. Besonders wenn die Höhe der Bauteile ansteigt kann der Steifigkeitsgewinn ein Vielfaches des massiven Metalls erreichen.



Sie Steifigkeit steigt besonders bei höheren Wandstärken stark an

Abbildung 54 Vergleich spezifischer Biegesteifigkeiten (122)

Einige exemplarische Möglichkeiten sollen an dieser Stelle zur Verdeutlichung dienen.

- Stahl/Stahl Kombination

Dabei wird eine hochfeste Lage aus martensitischem Stahl zwischen zwei Stahlgüten mit weicheren Eigenschaften gelegt und mittels Warmwalzen verbunden. Damit entsteht ein Werkstoff welcher gute Umformbarkeit und hohe Festigkeit vereint.

- Stahl/Polymer Kombination

Ein Polymer wird durch eine Unter- und Oberschicht aus Stahl begrenzt. Diese Kombination vereint positive Eigenschaften wie geringes Gewicht und hohe Schalldämpfung. Genutzt wird diese Kombination beispielsweise

ThyssenKrupp plant Markteinführung bis 2012

für geräuscharme Ölwanne oder Motorhauben, welche besonderen Fußgängerschutz bieten. Thyssenkrupp plant Serieneinsätze bis spätestens 2012. (123)

- Aluminium/Aluminium Kombination

Das Unternehmen Novelis hat unter dem Markennamen „Fusion“ ein Multi Layer Aluminium Material auf den Markt gebracht, welches die Eigenschaften unterschiedlicher Legierungen nutzt. (siehe auch 4.1.3.3)

- Aluminium/Polymer Kombination

Dieser Werkstoff hat die weiteste Verbreitung gefunden und ist beispielsweise im Bereich der Nutzfahrzeugaufbauten einer der bedeutendsten Werkstoffe. Das geringe Gewicht in Kombination mit der hohen Steifigkeit machen den Werkstoff auch für den Automobilbereich interessant. Neben anderen Eigenschaften sticht besonders auch die hohe Wärmeisolierung im Hinblick auf Elektrofahrzeuge hervor. Die Klimatisierung von Fahrzeugen ist energieintensiv und stellt batteriebetriebenen Fahrzeuge vor hohe Herausforderungen. Isolierende Werkstoffe werden daher in Zukunft an Bedeutung gewinnen. (122)

Ist in der Nutzfahrzeugindustrie weit verbreitet

5.3 Tailored Produkte

Tailored Produkte zeichnen sich dadurch aus, dass die Bauteile nicht aus einem homogenen Grundmaterial gefertigt werden, sondern in bestimmten Bereichen andere Eigenschaften aufweisen wie der ursprüngliche Grundstoff. Damit muss nicht das gesamte Bauteil die gleichen Eigenschaften aufweisen, sondern es kann gezielt auf bestimmte Anforderungen abgestimmt werden. Dies garantiert Einsparungen bei Gewicht, Umwelt und Kosten.

Tailored Produkte werden für bestimmte Aufgaben maßgeschneidert

Vorteile	Nachteile
+ optimale Eigenschaften	- Höherer Aufwand
+ geringeres Gewicht	- Hohe Taktzeiten
+ Bessere Materialausnutzung	
+ Materialersparnis	
+ Bauteilreduktion	

Tabelle 22 Vor- und Nachteile von Tailored Produkten

Folgende Verfahren haben sich in der Automobilindustrie etabliert um lokale Eigenschaften zu erreichen. (124)

- Tailor Rolled Blanks

Dieses Verfahren zielt darauf ab Platinen zu produzieren, welche an definierten Stellen unterschiedliche Blechstärken

Platinen mit unterschiedlichen Blechstärken

aufweisen. Dazu wird das Blechband durch variable Walzen so geformt, dass Bereiche mit unterschiedlichen Blechdicken produziert werden. Somit können immer der Belastung entsprechende Blechstärke eingesetzt werden. Vorteilhaft ist vor allem der kontinuierliche Übergang zwischen den verschiedenen Stärken und die damit verbundene Reduktion der Kerbwirkung.

- Tailor Engineered Blanks/ Tailored Strips

Die Verfahren basieren darauf, dass zwei Bleche mit unterschiedlichen Eigenschaften unter Beihilfe eines Lasers verschweißt werden. Dabei kann im einfachsten Fall ausschließlich die Blechstärke variieren, aber auch verschiedene Blechqualitäten können verbunden werden. Damit können Halbzeuge erzeugt werden, welche maßgeschneidert auf die jeweilige Aufgabe angepasst sind.

*Unterschiedliche
Blechstärken und
Werkstoffqualitäten möglich*

Mithilfe von Tailored Engineered Blanks können beliebig geformte Platinen erzeugt werden, da jegliche Nahtgeometrien realisierbar sind. Sonderanwendungen bei welchen hochfester AHSS Stahl (MBW 1500) mit weicheren Güten verschweißt wird und anschließend warm geformt wird, nutzt beispielsweise Audi zur Produktion von B-Säulen. (124) Tailored Strips hingegen werden hergestellt indem einzelne Blechstreifen längs verschweißt werden.

- Tailored Tubes

Um diese Bauteile zu erzeugen werden Rohre mit verschiedenen Eigenschaften oder Querschnitten verschweißt und anschließend umgeformt. Besonders vielfältige Eigenschaften lassen sich erreichen, wenn zum Umformen IHU Verfahren verwendet werden.

*Tailored Tubes sind
maßgeschneiderte Profile*

- Patchwork blanks

Patchwork blanks werden hergestellt, indem bestimmte Bereiche einer Platine durch Aufschweißen eines zusätzlichen Bleches verstärkt werden und anschließend umgeformt wird. Dies verkürzt und vereinfacht den Fertigungsprozess im Vergleich zur Fertigung im Rohbau.

*Patchwork blanks werden
durch Aufschweißen von
Verstärkungen hergestellt*

- Tailor Tempered Blanks

Das Verfahren zielt darauf ab durch Wärmebehandlungen bestimmten Bereichen des Blechs besondere Eigenschaften zuzuweisen. Damit können gezielt bestimmte Zonen zäher und andere hochfest gestaltet werden. Dies ist vor allem für crashrelevante Teile von Vorteil. Die Technologie ist relativ jung und noch nicht sehr verbreitet. ThyssenKrupp besitzt auf die Technologie das Patent. (125)

*Tailor Tempered Blanks
werden lokal
wärmebehandelt*

6 Auswertung

6.1 Zusammenfassende SWOT Analyse

Fertigungsverfahren	Heute		Ausblick	
	Stärken	Schwächen	Chancen	Gefahren
Tiefziehen	+ niedrigere Zykluszeiten + hoher Wissensstand	- hohe Werkzeugkosten	+ Weitere Optimierung + neue Werkstoffe + bestehende Anlagen	- begrenztes Entwicklungspotential - Druckguss
Warmumformen	+ Hochfeste Bauteile + wenige Umformschritte + Umweltfreundlichkeit + günstiger Leichtbau	- hohe Zykluszeiten (im Vergleich zu herkömmlichen Tiefziehen) - Aufwendige Werkzeug-/Anlagentechnologie - Energieaufwand	+ großes Entwicklungspotential + steigende Umwelt- und Sicherheitsanforderungen + neue Werkstoffe	- Energiepreis - hochfeste kaltumformbare Werkstoffe
Hydroforming	+ hochkomplexe Bauteile + geringe Werkzeugkosten	- hohe Taktzeiten - enge Radien	+ Space Frame Technologien + Klein- und Mittelserien	- hohe Zykluszeiten
Rollformen	+ geringe Investition + einfacher Aufbau des Verfahrens + hochfeste Werkstoffe	- begrenzte Bauteilkomplexität - keine geschlossenen Profile	+ Hochfeste Werkstoffe + Space Frame Technologien	- Strangpressen
Strangpressen	+ komplexe Querschnitte + niedrige Werkzeugkosten + hohe Präzision	- für Magnesium und Aluminium (Stahl) nur begrenzt möglich	+ Space Frame Technologie	- Rollformen
Druckguss (Metall)	+ hohe Produktivität, niedrige Zykluszeiten + Funktionsintegration + Komplexe Bauteile + optimale Versteifungen	- aufwendige Werkzeuge - anschließender Trennprozess notwendig - Class A Oberflächen	+ Verbesserung Oberflächen + Funktionsintegration + Fügetechnologien	- hoher Aluminium/Magnesiumpreis - Fortschritte der Umformverfahren
Spritzgießen (Kunststoff)	+ hohe Taktzeiten + komplizierte Bauteile	- geringe Festigkeiten - nur kurze Fasern verarbeitbar	+ Umspitzzen von Verstärkungswerkstoffen + Hinterspritzen von Folien + höhere Faserlängen	- RTM/SMC Verfahren
RTM/SMC	+ Hochfeste und steife Bauteile + einstufige Prozesse	- lange Zykluszeiten - Class A Oberflächen	+ Verkürzung der Zykluszeiten + hohes Entwicklungspotential	- Teurer Werkstoff - Class A Oberflächen

Werkstoffe	Heute		Ausblick	
	Stärken	Schwächen	Chancen	Gefahren
Stahl	<ul style="list-style-type: none"> + günstiger Materialpreis + Qualität und Menge weltweit verfügbar + Anlagentechnologie vorhanden 	<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Dichte - Korrosivität (insbesondere bei Pressgehärteten Bauteilen) 	<ul style="list-style-type: none"> + Verbesserte Werkstoffe + Verbesserte Prozesse (Warmumformen) + Erschließung neuer Rohstoffvorkommen 	<ul style="list-style-type: none"> - Verdrängung durch andere Werkstoffe - Ausgereiztes Entwicklungspotential
Edelstahl	<ul style="list-style-type: none"> + Korrosionsbeständigkeit + hohe Festigkeiten bei guter Formbarkeit 	<ul style="list-style-type: none"> - hoher Werkstoffpreis - Volatilität der Legierungselemente 	<ul style="list-style-type: none"> + Entfall Korrosionsschutz 	<ul style="list-style-type: none"> - Preisanstieg der Legierungselemente - Preisvolatilität
Aluminium	<ul style="list-style-type: none"> + Ausgeglicherer Kompromiss der technologischen Eigenschaften + Hohe Verfügbarkheit + geringe Zusatzinvestitionen in Anlagentechnologie 	<ul style="list-style-type: none"> - hoher Preis im Vergleich zu Stahl - Normung und Qualität schwankt zwischen den Herstellern - Hoher Energiebedarf 	<ul style="list-style-type: none"> + Space Frame und Multimaterial + Entwicklungsvorsprung gegenüber Kunststoff + Zunehmender Druck zum Leichtbau 	<ul style="list-style-type: none"> - Hoher Preis - Hohe Energieaufwand in der Primärerzeugung - Durch durchgehend mittelmäßige Eigenschaften Gefahr des „stuck in the middle“
Magnesium	<ul style="list-style-type: none"> + günstiges Verhältnis Festigkeit/Dichte + gute Druckgießbarkeit 	<ul style="list-style-type: none"> - Aufwendige Fügetechnik - Korrosivität - Versorgungssicherheit 	<ul style="list-style-type: none"> + Neue Entwicklungen im Bereich der Walzprodukte + weite Verbreitung von Magnesium; weltweite Produktion 	<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Abhängigkeit von einem Produktionsland - Kunststoffe habe noch geringere Dichten aber keine Korrosionsgefahr
Kunststoff	<ul style="list-style-type: none"> + komplexe Bauteile geringer Festigkeit einfach herstellbar + Breite Eigenschaften darstellbar 	<ul style="list-style-type: none"> - Geringe Festigkeit - Lackierfähigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> + nichttragende Außenhautbauteile + umspritzte Hybridbauteile + Biologische Kunststoffe + Funktionsintegration 	<ul style="list-style-type: none"> - Fortschritte bei faserverstärkten Kunststoffen
GFK	<ul style="list-style-type: none"> + gute Festigkeiten + niedriger Preis der Glasfasern 	<ul style="list-style-type: none"> - aufwendige Fertigung - Class A Oberflächen 	<ul style="list-style-type: none"> + Funktionsintegration + günstige Alternative zu CFK + profitiert von Fortschritten bei der Verarbeitungstechnologie von CFK 	<ul style="list-style-type: none"> - fallende CFK Preise
CFK	<ul style="list-style-type: none"> + Bestes Verhältnis mechanische Eigenschaften/Dichte + hohe Steifigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Werkstoffkosten - Fertigungstechnologie - geringe Erfahrungswerte 	<ul style="list-style-type: none"> + Nutzung des Wissens aus dem Flugzeugbau + steigende Werkstoffkosten + effizientere Fertigungsverfahren + Funktionsintegration 	<ul style="list-style-type: none"> - Grundstoffverfügbarkeit /Grundstoffpreis - unwesentliche Fortschritte bei der Fertigung
NFK	<ul style="list-style-type: none"> + günstiges Grundmaterial + umweltverträglichkeit + Stabile Preise 	<ul style="list-style-type: none"> - schwankende Materialeigenschaften - Konkurrenz zu Lebensmittel- und Biokraftstoffproduktion 	<ul style="list-style-type: none"> + Steigerung des Umweltbewusstseins + Ausweitung der öffentlichen Förderungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Steigende Lebensmittelbedarf/ Biokraftstoffbedarf - Verminderung der öffentlichen Subventionen

6.1 Zusammenfassende SWOT Analyse

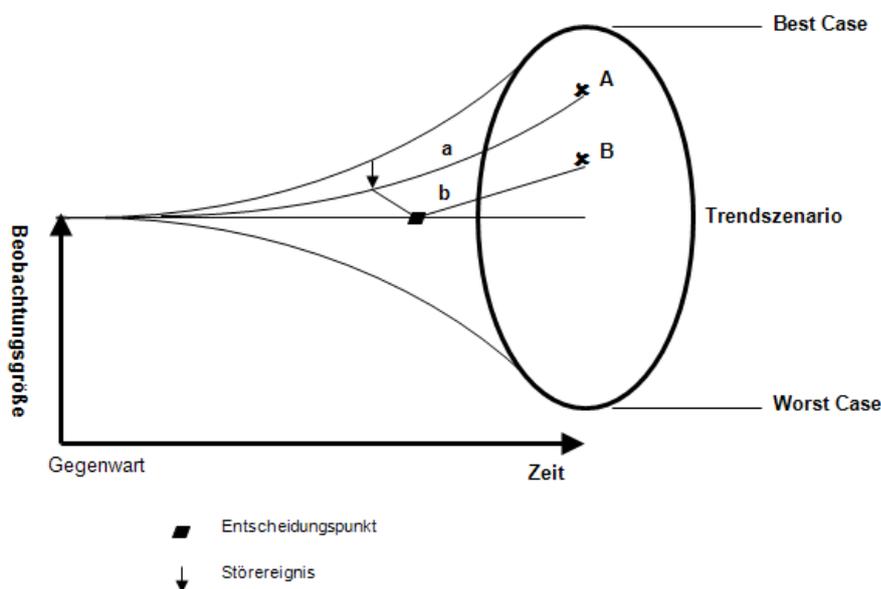
6.2 Trends & Case Studies

Um konkrete Ausblicke über mögliche Entwicklungen im Bereich der Werkstoffe und Fertigungsverfahren geben zu können, sollen in diesem Abschnitt einige ausgewählte Themen näher betrachtet werden. Anhand der Einzelanalysen wurde klar ersichtlich, dass einige Themen von besonderer Bedeutung für den Karosseriebau sind. Diese Themen sind einerseits aufgrund der aktuellen Relevanz und andererseits aufgrund des hohen Potentials interessant und sollen aus diesem Grund einer Einschätzung über möglichen Entwicklungen unterworfen werden. Im Detail handelt es sich dabei um folgende fünf Themengebiete:

Konkrete Ausblicke für ausgewählte Themengebiete

- Stahl-Schalenbauweise/Tiefziehen
- Warmumformung
- Aluminium
- Druckguss
- Carbonfaserverstärkter Kunststoff

Bei der Auswertung wird in tabellarischer Form auf die Marktstellung des Werkstoffes/Verfahrens eingegangen, mögliche Entwicklungen durchdacht, sowie die zu beachtenden Indikatoren angegeben.



Der Szenariotrichter

Abbildung 55 Der Szenariotrichter (126)

Begonnen wird mit einem kurzen Überblick über die Ausgangsposition des Werkstoffes/Verfahrens und dessen Rolle im modernen Karosseriebau. In einem zweiten Schritt wird eine an die Szenariotechnik angelehnte Untersuchung des Best, Worst und Trend Cases durchgeführt. Diese Methode basiert auf den Zukunftstrichter welcher in Abbildung 55 dargestellt ist. Dieser verdeutlicht die möglichen Entwicklungen über die Zeit und wird

Begrenzt durch Best Case und Worst Case

durch die Extremszenarien begrenzt. Nach oben hin stellt das „Best Case“ Szenario die Begrenzung dar und ist durch die Verkettung von positiven Entwicklungen gekennzeichnet. Das „Worst Case“ Szenario berücksichtigt im Gegenzug alle negativen Einflüsse. Definiert wird der „Best Case“ in dieser Analyse als Wachstum-Ansteigen, der „Worst Case“ im Gegensatz dazu als Abnahme-Rezession. Das Trendszenario hingegen interpoliert die Entwicklungen der Vergangenheit indem diese direkt auf die Zukunft umgelegt werden. Dazwischen können Störfaktoren, beispielsweise Krisen/Katastrophen, neue Erfindungen oder sprunghafte Innovationen den stetigen Trend unterbrechen und in eine andere Richtung lenken. Die Prognose soll die aktuelle Entwicklung beschreiben sowie absehbare Trends beschreiben. Den Abschluss bilden die Indikatoren. Diese sollen als einfaches und praktisches Hilfsmittel dienen, um Trends einfach beobachten zu können und sich anbahnende Änderungen rasch erkennen zu können.

*Störfaktoren können die
Entwicklung beeinflussen*

6.2.1 Stahl-Schalenbauweise/Tiefziehen

Stahl-Schalenbauweise/Tiefziehen	
Aktuell	Die Stahl-Schalenbauweise in Kombination mit dem Tiefziehprozess dominiert den modernen Karosseriebau und ist unangefochten Marktführer. Bewährte Technik verbunden mit hoher Wirtschaftlichkeit bieten Eigenschaften, die den Werkstoff unverzichtbar für den Automobilbau machen.
BEST	Nachdem die Stahl-Schalenbauweise/Tiefziehen unangefochten an der Spitze der Karosseriebauweisen steht, ist prozentuelles Wachstum kaum weiter möglich. „Best Case“ Szenario bedeutet für die Bauweise neue hochfeste und kaltumformbare Werkstoffe, Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeiten bei Klein- und Mittelserien und weitere Steigerung der Wirtschaftlichkeit.
TREND	Der Trend Case der Schalenbauweise/Tiefziehprozesses zeigt leichte prozentuelle Verluste, bedingt durch den Einzug anderer Materialien und Bauweisen. Auch wenn Stahl Schalenbauweise/Tiefziehen das dominierende System bleibt, wird die Schalenbauweise durch anderen Bauweisen und das Tiefziehen durch andere Verfahren bedrängt. Bei den Kosten sind alle Alternativen unterlegen.
WORST	Andere Karosseriebauweisen holen in der Wettbewerbsfähigkeit stark auf und verdrängen vermehrt die schwere Stahlbauweise. Neuentwicklungen nutzen kaum noch die Stahl-Schalenbauweise. Auch das Tiefziehen wird damit von anderen Verfahren verdrängt. Der Trend verstärkt sich über die Jahre exponentiell.
Prognose	Aus heutiger Sicht ist eine Entwicklung nahe dem Trendszenario wahrscheinlich. Allein die langen Entwicklungszeiten machen schnelle Änderungen fast unmöglich. Ein leichter Verlust von Marktanteilen der Schalenbauweise und des Tiefziehens erscheint aufgrund der zahlreichen Mitbewerber wahrscheinlich.
Indikatoren	<ul style="list-style-type: none"> • Bauweise seriennaher Showcars • Umweltbestimmungen • Preisrelation Stahl/Alternativ-Materialien

6.2.2 Warmumformung

Warmumformung	
Aktuell	Die Warmumformung hat in den letzten Jahren einen beachtlichen Boom, vor allem im Bereich der crashrelevanten Bauteile verzeichnet. Heute ist Warmumformen einer der wichtigsten Prozesse zur Produktion von Sicherheitsbauteilen.
BEST	Der Einsatz von hochfesten Bauteilen setzt sich nicht nur für Sicherheitsbauteile, sondern auch in anderen Bereichen der Karosserie fort. Parallel dazu bringen wesentliche Fortschritte in der Forschung technologische und wirtschaftliche Verbesserungen mit sich. Dies hat eine starke Zunahme des Einsatzes der Technologie zur Folge.
TREND	Der Trend zu Leichtbau bei erhöhter Sicherheit wächst stetig und damit auch der Trend zu warmumgeformten Bauteilen. Während manche OEMs stark in die Technologie investieren, haben andere noch Nachholbedarf. Verbesserungen im Prozess machen das Verfahren wirtschaftlicher. Insgesamt wächst der Bereich stärker als der Markt.
WORST	Neue Stahlwerkstoffe, welche eine hohe Festigkeit aufweisen und kalt umgeformt werden können, bedrängen das Verfahren. Neben den grundsätzlichen Wirtschaftlichkeitsvorteilen, schlägt sich auch der hohe Energiepreis negativ auf den Einsatz des Verfahrens nieder. Damit verliert das Verfahren stark an Bedeutung.
Prognose	Eine Fortsetzung des Trends ist vom heutigen Standpunkt gesehen als überaus wahrscheinlich anzusehen. Vielversprechende Entwicklungen im Bereich der Anlagentechnik und der Werkstoffe lassen eine weitere Ausbreitung auch über den Trend Case hinaus möglich erscheinen.
Indikatoren	<ul style="list-style-type: none"> • Neue Werkstoffe • Neue Heizverfahren • Neue kaltumformbare Stahlgüten

6.2.3 Aluminium

Aluminium	
Aktuell	Aluminium ist die erste Alternative zu Stahl, aber im Vergleich noch deutlich weniger verbreitet. Einzelne Projekte zeigen die grundsätzliche Eignung und das Potential des Werkstoffes im Karosseriebau. Die Mischung aus Vor- und Nachteilen gegenüber anderen Materialien bildet eine ausgeglichene Mischung.
BEST	Die technologischen Eigenschaften verbessern sich und sowohl die Umformbarkeit als auch die Festigkeiten erhöhen sich. Damit kann der Werkstoff alle wesentlichen Anforderungen an Karosseriebauteile abdecken. Der Preis in Relation zum Stahl verringert sich. Damit kann sich der Werkstoff auf breiter Basis durchsetzen.
TREND	Aluminium etabliert sich als Werkstoff für einzelne Bauteile in der Stahl-Schalenbauweise und baut den Anteil bei alternativen Bauweisen aus. Damit wächst der Anteil von Aluminium im Karosseriebau wenn auch mit einer relativ kleinen Wachstumsrate. Der Preis steigt weiterhin leicht an.
WORST	Der Preis von Aluminium steigt stark und verliert vor allem im Vergleich zu Stahl an Wettbewerbsfähigkeit. Die technologischen Eigenschaften können kaum verbessert werden. Alternative Bauweisen wie die Space Frame Technologien geraten in den Hintergrund. Die Bedeutung des Werkstoffes für den Karosseriebau sinkt.
Prognose	Aus heutiger Sicht scheint der Drang zu mehr Leichtbau nicht um den Werkstoff Aluminium vorbeizukommen. Die vereinzelt Versuche des Einsatzes in der Großserie der Vergangenheit, werden konkreter. Vor allem bei Beplankungen und Anbauteilen ist eine Ausweitung der Anwendung zu erkennen. Dem gegenüber steht der hohe Preis, welcher auch weiterhin im Steigen begriffen scheint. Aus dieser Sicht scheint eine Erhöhung leicht über dem Trendszenario liegende Entwicklung wahrscheinlich.
Indikatoren	<ul style="list-style-type: none"> • Aluminiumpreis • Space Frame Konzepte • Energiepreis

6.2.4 Druckguss

Druckguss	
Aktuell	Druckguss ist seit langem im Automobil bekannt und in verschiedensten Varianten im Einsatz. In jüngster Zeit dringt der Werkstoff vermehrt in die Bereiche der Karosserie vor. Dazu zählt nicht nur die Space Frame Technologie in der das Verfahren eine wesentliche Säule darstellt, sondern auch in Bereiche der Schalenbauweise.
BEST	Der Trend vom Stahl hin zu Leichtmetallen nimmt ebenso zu, wie die Tendenz zur Funktionsintegration. Bedingt durch den Ausbau der Space Frame Technologie, der Anwendung für Struktur- und Karosseriebauteile sowie dem Einsatz im Fahrwerksbereich, steigt der Anteil von Druckgussbauteilen überproportional an.
TREND	Druckguss bietet interessante Alternativen im Bereich des Leichtbaus und der Funktionsintegration. Vorteile bietet das Verfahren vor allem dort, wo die keine Class A Oberflächen gefordert sind. Daher mehren sich Anwendungen im Bereich der Strukturbauteile und der Fahrwerkstechnik. Dem entgegen steht der hohe Preis der Leichtmetalle. Damit kann das Verfahren seinen Anteil ausbauen und Marktanteile gewinnen.
WORST	Die Leichtmetallpreise steigen gegenüber dem Stahlpreis stark an. Die Umformverfahren können die Eigenschaften weiter verbessern und sind damit noch wettbewerbsfähiger. Alternative Bauweisen wie Space Frame bleiben ein Nischenprodukt. Die Bedeutung des Verfahrens für den Karosseriebau nimmt weiter ab.
Prognose	Im Bereich der Strukturbauteile und der Fahrwerkstechnik kann Druckguss mit komplexen Formen und einbaufertigen Bauteilen punkten. Im Bereich der Karosserie wird aufgrund der fehlenden Class A Oberflächen der Ausbau langsamer voranschreiten. Aus dieser Sicht ist ein leichtes Ansteigen der Anteile zu rechnen, jedoch bei begrenzter Dynamik.
Indikatoren	<ul style="list-style-type: none"> • Aluminium- und Magnesiumpreis • Energiepreis • Entwicklungen der faserverstärkten Kunststoffe

6.2.5 Carbonverstärkter Kunststoff

Carbonverstärkter Kunststoff	
Aktuell	Der Werkstoff ist derzeit im Serienautomobilbau kaum vertreten, wird aber als Zukunft des Karosseriebaus gehandelt. Zurückzuführen ist dies auf die hervorragenden Eigenschaften, die kaum Schwächen zeigen. Einzige grundlegende Schwächen sind der Preis und die eingeschränkten Verarbeitungsmöglichkeiten. Lebhaftige Forschung auf dem Gebiet sowie erste Serienprojekte zeigen das Potential auf.
BEST	Durch Weiterentwicklung der Faserproduktion und dem großtechnischen Einsatz reduzieren sich die Grundpreise des Materials signifikant. Die Verarbeitung der Werkstoffe wird verbessert, sodass auch Stückzahlen für die Großserie wirtschaftlich gefertigt werden können. Das Material etabliert sich als Basismaterials des Karosseriebaus.
TREND	Der Werkstoff weitet die Anwendungsgebiete ausgehend von den Sportwagen über die Luxusklasse in die obere Mittelklasse fort. Systematisch werden parallel dazu die Verarbeitungsmöglichkeiten verbessert. Trotzdem ist der Verarbeitungsaufwand beträchtlich und die Kosten der Fasern sinken nur langsam. Damit bleibt der Werkstoff zwar potentiell interessant, kommt aber nur sehr langsam voran.
WORST	Die Erzeugung und Bearbeitung der Fasern bleibt teuer und die vermuteten Skaleneffekte treten nicht ein. Vor allem die Verarbeitung bleibt zeitintensiv und umständlich und damit unwirtschaftlich. Die Verwendung in anderen Branchen, treibt die Faserpreise in die Höhe und machen einen wirtschaftlichen Einsatz in der Großserie unmöglich.
Prognose	Aus heutiger Sicht erscheint ein absehbarer Einsatz im Automobilbau kaum realistisch. Weder sind signifikante Reduktionen des Faserpreises zu erwarten (eingeschränkte Produktionskapazitäten, Energiekostenabhängigkeit), noch sind bedeutende Verbesserungen der Verarbeitungsmöglichkeiten absehbar. Damit bleibt mittelfristiger eine bedeutende Rolle im Automobilbau eher unwahrscheinlich.
Indikatoren	<ul style="list-style-type: none"> • Carbonpreis • Fortschritte der Verarbeitungstechnologie • Erfolg erster Serienprojekte

7 Ausblick und Empfehlungen

Die Frage nach der Weiterentwicklung des Karosseriebaus stand im Mittelpunkt dieser Arbeit und im Hauptteil wurden die Vor- und Nachteile der einzelnen Werkstoffe und Fertigungsverfahren umfangreich aufgeschlüsselt. Diese Ergebnisse sollen an dieser Stelle in kürzester Form aufgelistet und ein abschließender Ausblick gegeben werden.

Stahl war als Werkstoff des Karosseriebaus jahrzehntelang dominierend und hat auch heute noch Eigenschaften, welche von keinem anderen Material erfüllt werden können. Durchaus weist Stahl in einigen Bereichen Schwächen auf, dennoch wird das Material kurzfristig nicht zu ersetzen sein. Dies wird unterstützt vom Trend zum Einsatz von immer festeren Materialien, bei welchen der Stahl kaum Mitbewerb erfährt. Dies verschiebt die Anteile von Stahl von weichen Güten hin zu festeren, wodurch wiederum kalt- und warmumgeformte hochfeste Stähle profitieren werden. Im Besonderen der Warmumformung werden durch neue Ofenanlagen, neuen Werkstoffen und neuen Beschichtungen weitere Einsatzpotentiale zugerechnet.

Stahl wird auch weiterhin dominant bleiben

Erster Verfolger von Stahl ist Aluminium. Dieses Material bildet eine ausgeglichene Mischung von Eigenschaften, auch wenn vor allem mechanische Kennwerte nicht optimale Werte aufweisen. Die Möglichkeit komplette Fahrzeuge bzw. Module aus Aluminium zu bauen wurde von einigen Herstellern aufgezeigt, jedoch sind technologische und wirtschaftliche Hindernisse vorhanden. Viel realistischer erscheint der Einsatz des Leichtmetalls in Außenhautbauteilen und insbesondere im Bereich der Türen und Klappen. Hier dürfte in den nächsten Jahren vermehrt dieser Werkstoff Anwendung finden.

Aluminium ist erster Verfolger von Stahl

Verarbeitet wird Aluminium aber nicht nur in Blechform, sondern auch durch Druckguss. Hier weist das Verfahren Vorteile bei der Funktionsintegration und maßgeschneiderten Auslegung auf und macht den Umformverfahren, aber auch den Kunststoffen Konkurrenz. Die wirtschaftliche Fertigung und die leichte Automatisierbarkeit machen das Verfahren darüberhinaus interessant. Insofern ist Druckguss vor allem für Nicht-Flächen Bauteile eine geeignete Fertigungsmethode. Wesentliche Anteile werden allerdings nur im Bereich der Aluminiumformung gesehen. Magnesium hat mit dem hohen Energieanteil und der unsicheren Versorgung gravierende Nachteile. Aus diesem Grund wird auch der flächige Einzug von Magnesium in Form von Blechhalbzeugen mittelfristig als unwahrscheinlich gesehen.

Druckguss bietet für Nicht-Flächen Vorteile

Kunststoffe hingegen haben den Anteil in der Vergangenheit kontinuierlich ausgebaut, indem sie sich gegen unterschiedlichste Materialien durchsetzen mussten. Aufgrund von konsequenter F&E Tätigkeit wurden die Eigenschaften immer wieder den

Kunststoffe werden weitere Marktanteile gewinnen

speziellen Bedürfnissen angepasst und somit deren Einsatz gerechtfertigt. Hohe Funktionsintegration sprechen für Kunststoffe in der Großserie, kleine Werkzeugkosten prädestinieren den Werkstoff für die Kleinserie. Aus diesen Gründen ergibt sich für Kunststoffe weiterhin Potential um weitere Anteile zu gewinnen. Besonders hohen Einfluss auf den Einsatz von Kunststoff haben die Faserverbundwerkstoffe. Fortschritte bei der Verarbeitung haben Auswirkungen auf jegliche Verstärkungsfasern, weshalb sich Neuerungen in diesem Bereich besonders auswirken werden. Die Forschung in diesem Gebiet ist ungebrochen stark und deshalb sind weitere Fortschritte sehr wahrscheinlich. Sollten parallel dazu die Faserpreise akzeptable Niveaus ansteuern, bieten sich in diesem Bereich neue Möglichkeiten. Die Pionierfahrzeuge in diesem Bereich werden in wenigen Jahren Hinweise über den Erfolg der faserverstärkten Kunststoffe geben, und damit die weitere Richtung bestimmen.

*Fortschritte der
Faserverbundwerkstoffe
wegweisend*

Entwicklungen im Bereich der Halbwerkzeuge werden weitere Auswirkungen auf den Karosseriebau haben. Der Einsatz von Tailored Produkten wird sich weiter ausweiten um den ressourcenschonenden Leichtbau weiter voranzutreiben. Auch innovative Halbzeuge wie Sandwichmaterialien und Schäume werden vermehrt in den Karosseriebau Einzug halten.

*Innovative Halbzeuge
werden ansteigen*

8 Abkürzungsverzeichnis

AHSS	Advanced High strength Steel
CFK	Carbonfaser verstärkter Kunststoff
CFRP	Carbon Fibre Reinforced Plastic
GDA	Gesamtverband der Aluminiumindustrie
GFK	Glasfaser verstärkter Kunststoff
GHG	Green house gases
HSLA Stahl	High strength low alloy Stahl
IF Stahl	Interstitial Free Stahl
NFK	Naturfaser verstärkter Kunststoff
OEM	Original Equipment Manufacturer
PP	Polypropylen
TRIP	Transformation Induced Plasticity; Stahlart
TWIP	Twining Induced Plasticity; Stahlart
T&F	Institute Tools and Forming

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Magna Cosma Int. in Europa (1)	2
Abbildung 2	Karosseriebauweisen im Zielkonflikt Kosten-Gewicht (2)	6
Abbildung 3	Leichtbau	9
Abbildung 4	Fahrwiderstände Automobil (5)	10
Abbildung 5	Gewichtsspirale	10
Abbildung 6	Gewichts- und Kostenvergleich verschiedener Werkstoffkonzepte am Beispiel des Super Light Cars (7)	11
Abbildung 7	Internationale Abgasregulierungen (8)	12
Abbildung 8	Voraussichtliche Strafen der OEMs aufgrund der Überschreitung der CO ₂ Emissionen (9)	12
Abbildung 9	Mischbauweise als Treiber bezahlbarer Leichtbau- Konzepte (11)	13
Abbildung 10	Energieaufwand eines Fahrzeuges über den gesamten Lebenszyklus (12)	14
Abbildung 11	Energiebilanz über den Lebenszyklus (13)	15
Abbildung 12	Energieaufwand der Werkstoffproduktion (8)	15
Abbildung 13	Treibhausgase eines ausgewählten Aluminium-Mischbaukonzepts (14)	16
Abbildung 14	Treibhausgase formgehärteter Teile im Passat B6 (Herstellungshase) (14)	16
Abbildung 15	Steifigkeits- und Gewichtsersparnis verschiedener Werkstoffe (19)...	33
Abbildung 16	Preisübersicht und mögliche Gewichts-einsparpotentiale der Karosseriewerkstoffe (20)	34
Abbildung 17	Werkstoffpreis in Abhängigkeit vom Volumen	34
Abbildung 18	Vergleich Kosen CFRP und Aluminium (21)	35
Abbildung 19	Stähle des Karosseriebaus (22)	36
Abbildung 20	Der Presshärtprozess (22)	39
Abbildung 21	TWIP Stahl (22)	39
Abbildung 22	Forschung im Bereich Stahl (8)	44
Abbildung 23	Steel Solutions for vehicles SOP after 2015 (30)	44
Abbildung 24	Zunahme höherfester Stähle im Kleinwagensegment am Beispiel Opel Corsa (31)	45
Abbildung 25	Entwicklung der mittleren Festigkeit am Beispiel BMW (32)	45
Abbildung 26	2009 AHSS for North American Light Vehicle for Body and Closure (33)	46
Abbildung 27	Preisschwankungen bei Nickel (37)	49

Abbildung 28	Schweißbarkeit von Aluminiumlegierungen (19)	51
Abbildung 29	Verschiedene Innentürkonzepte im Kostenvergleich (42)	53
Abbildung 30	Vergleich Fertigungsprozess Druckguß und Schalenbauweise (42)...	56
Abbildung 31	Forschungs- und Entwicklungsziele bei Aluminium (45)	58
Abbildung 32	Aluminiumanteil am Leergewicht eines Fahrzeuges über die Zeit (9)	59
Abbildung 33	Zukünftige Mischbauweise in Stahl und Aluminium (13)	59
Abbildung 34	Materialmix der Karosserie 2020 (9).....	60
Abbildung 35	Überblick über verschiedene Magnesiumlegierungen (19)	62
Abbildung 36	Weltweite Magnesiumproduktion 2008 (54).....	62
Abbildung 37	Konzeptstudie Volkswagen 1 Liter Auto (19).....	63
Abbildung 38	Kosten der Magnesiumproduktion (65).....	68
Abbildung 39	Magnesiumpreis im Verhältnis zu Stahl (65).....	68
Abbildung 40	Festigkeiten in Verhältnis zur Faserlänge (66)	69
Abbildung 41	Übersicht über die Fertigungsmöglichkeiten von Faserverstärkten Kunststoffen (77)	77
Abbildung 42	Klassifizierung der Verarbeitungsverfahren aufgrund ihrer Produktionskapazitäten (77)	77
Abbildung 43	Steifigkeiten zu Festigkeiten (absolut/spezifisch) (77).....	81
Abbildung 44	Carbon fibre cost driver (86)	81
Abbildung 45	Entwicklung des Einsatzes von CFK im Flugzeugbau (107).....	88
Abbildung 46	Weltweite Pan-basierte Carbonkapazität (109).....	89
Abbildung 47	Typischen Eigenschaften von NFK (Johnson Controls) (110).....	90
Abbildung 48	Energieaufwand zur Produktion einer Türinnenverkleidung aus NFK/PP (110)	91
Abbildung 49	Energieverteilung zur Herstellung einer Türinnenverkleidung (110) ..	91
Abbildung 50	Streuung der Rohstoffeigenschaften (110)	92
Abbildung 51	Preisentwicklung von Rohöl, Thermoplasten und Naturfasern (110).	94
Abbildung 52	Verwendung naturfaserverstärkter Kunststoffe im deutschen Automobilbau (116).....	96
Abbildung 53	Verstärkungseinlagen aus Kunststoffschäum am Beispiel des Citroen C4 Picasso (120).....	98
Abbildung 54	Vergleich spezifischer Biegesteifigkeiten (122).....	99
Abbildung 55	Der Szenariotrichter (126).....	104

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Vor- und Nachteile von Tiefziehen	18
Tabelle 2	Vor- und Nachteile der Warmumformung.....	20
Tabelle 3	Vor- und Nachteile von Hydroformen	22
Tabelle 4	Vor- und Nachteile von Rollformen	24
Tabelle 5	Vor- und Nachteile von Strangpressen	26
Tabelle 6	Vor- und Nachteile von Druckguss	27
Tabelle 7	Vor- und Nachteile von Spritzgießen.....	29
Tabelle 8	Vor- und Nachteile von RTM/SMC.....	31
Tabelle 9	Vor- und Nachteile von Stahl	36
Tabelle 10	Vor- und Nachteile von Edelstahl	46
Tabelle 11	Vor- und Nachteile von Aluminium	50
Tabelle 12	Aluminiumlegierungen im Überblick (19)	50
Tabelle 13	Vor- und Nachteile von Magnesium.....	61
Tabelle 14	Vor- und Nachteile von unverstärktem Kunststoff.....	70
Tabelle 15	Vor- und Nachteile von GFK.....	74
Tabelle 16	Anteilige Werkzeugkosten am Beispiel einer Heckklappe (77)	75
Tabelle 17	Vor- und Nachteile von CFK.....	80
Tabelle 18	Vor- und Nachteile von NFK.....	90
Tabelle 19	Ausgewählte Projekte durch das BELV geförderte Projekte im Bereich der nachwachsende Rohstoffe (115)	93
Tabelle 20	Vor- und Nachteile geschäumter Werkstoffe	97
Tabelle 21	Vor- und Nachteile von Sandwichstrukturen	99
Tabelle 22	Vor- und Nachteile von Tailored Produkten	100

11 Literaturverzeichnis

- (1) Magna Cosma Int. Cosma Capabilities overview. 2010.
 - (2) A. Bühring-Polaczek TR. Karosseriebauweisen im Zielkonflikt von Gewicht und Kosten. 2006; Available at: http://opus.bibliothek.fh-aachen.de/opus/volltexte/2006/137/pdf/Roeth_automotive_international_circle_060331.pdf. Accessed 18.11.2010.
 - (3) H. Wallentowitz. Technologietrends Karosserie. In: Springer, editor. Strategien in der Automobilindustrie; 209. p. 125-151.
 - (4) Automotive Circle International, editor. Use of lightweight materials in JLR body structures and closures. Material in Car body engineering 2010; 2010.
 - (5) European Aluminium Association. Aluminium in cars. 2008; Available at: http://www.eaa.net/upl/4/en/doc/Aluminium_in_cars_Sept2008.pdf. Accessed 1.10.2010.
 - (6) Braess S. Aufbau. In: Vieweg, editor. Handbuch Kraftfahrzeugtechnik; 2007. p. 349-360.
 - (7) Leichtbaupotential durch Mischbauweise im Karosseriebau. Eurocarbody 2008; 2008.
 - (8) WorldAutoSteel. Reinventing Automotive Steel. 2010(2.11.2010).
 - (9) Drucker Worldwide. Aluminium Association Auto and light Truck Group 2009 Update on North American light vehicle aluminium content compared to the other countries and regions of the world. 2009; Available at: <http://aluminumtransportation.org/downloads/Ducker%20International%20Final%20Report%202009%20-%20II.pdf>. Accessed 6.10.2010.
 - (10) Gary S. Vasilash. On Aluminium. 2010; Available at: <http://www.autofieldguide.com/articles/071001.html>. Accessed 4.10.2010.
 - (11) Karosserieleichtbau als Baustein einer CO2 Reduzierungsstrategie. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik 2007 Aachen; 2007.
 - (12) Reducing of Greenhouse Gasses by Aluminium-Intensive Lightweight Design. Eurocarbody 2008; 2008.
 - (13) Ein ganzheitlicher Ansatz für eine moderne Karosseriestruktur. Hamburger Karosserietage 2010; 2010.
 - (14) S. Krinke et al. Automobiler Leichtbau unter Einbezug des gesamten Lebenszyklus. ATZ 2010;6:438-439.
 - (15) H. Becker. Darwins Gesetz in der Automobilindustrie. : Springer; 2010.
 - (16) E. Doege BB. Handbuch Umformtechnik. 2nd ed. Heidelberg: Springer; 2010.
 - (17) W. Frick. Renaissance der Rollen beschert Profilen einen zweiten Frühling. 2008; Available at: <http://www.blechnet.com/themen/umformen/articles/139994/index.html>. Accessed 3.12.2010.
-

-
- (18) Friedrich Ostermann. Gießverfahren. Anwendungstechnologie Aluminium; 1998. p. 285-293.
- (19) Automotive Circle International, editor. Metalle im Karosseriebau 2010. Tutorial Metalle im Karosseriebau; 17. Mai 2010; Bad Naunheim; 2010.
- (20) New Developements in Sheet Metal Forming. ; 2010.
- (21) Rudolf Strauber LV. CFRP - from Motor Sports to Automotive Series. Plastics in Automotive Engineering; 2007. p. 59-67.
- (22) WorldAutosteel. Advanced High Strenght Steel (AHSS) Application Guidelines. 2009(25.10.2010).
- (23) ATZ, editor. Die Spitze automobiler Leichtbau-Kunst: Der Audi Space Frame (ASF) des neuen A8. Karosseriebautage Hamburg 2010; 2010.
- (24) Premiumgerechte Karosserieauslegung für das Kleinwagensegment. Aachener Karosserietage 2010; 2010.
- (25) Der neue BMW 5er Touring - Dynamik in ihrer schönsten Form. Aachener Karosserietage 2010 Aachen; 2010.
- (26) Zukünftige Karosseriekonzepte für das "Weltauto". Aachener Karosserietage 2010; 2010.
- (27) Neue ultrahochfeste Stahlgüten für warmumgeformte Strukturkomponenten. Aachener Karosserietage 2010; 2010.
- (28) F. Schieck AP. Höchste Festigkeiten bei IHU-pressgehärteten Hohlprofilen erzielt. 2010; Available at:
<http://www.blechnet.com/themen/umformen/articles/289399/index2.html>.
Accessed 2.11.2010.
- (29) T. Schröder. Ausgekochter Stahl für das Auto von morgen. 2009; Available at:
http://www.mpg.de/bilderBerichteDokumente/multimedial/mpForschung/2009/heft_se/Eisenforschung_Leichtbaustaehle/Eisenforschung_Leichtbaustaehle.pdf.
Accessed 2.11.2010.
- (30) Automotive Circle International, editor. Current and future developments in advanced high strength steels to meet the lightweight design and manufacturing efficiency challenges for next generation automobiles. ; 2010.
- (31) Simulationsbasierte Fahrzeugentwicklung am Beispiel des neuen Opel Corsa. Hamburger Karosseriebautage 2008; 2008.
- (32) The New BMW 5 Series Touring. An Exploration of Beauty. Aachener Karosserietage 2010; 2010.
- (33) M. Höfemann BB. Hochfeste Stahlsorten prozesssicher laserschweißen. 2003; Available at:
http://www.blechinform.com/web/o_archiv.asp?task=999&bin_id=20071205144553-123&o_id=259515262-100&ausgabe_id=20071205141712-103&artikel_id=20071205144444. Accessed 25.10.2010.
- (34) De Lorean. Presenting the De Lorean. 1999; Available at:
<http://www.delorean.de/classicsite/titel.htm>. Accessed 10.12.2010.
-

-
- (35) Next generation Vehicle. Next Generation Vehicle. 2007; Available at: <http://www.ngvproject.org/index.htm>. Accessed 4.11.2010.
- (36) C. Magnusson. Stainless Steel as a Lightweight Automotive Material.
- (37) finanzen.net. Nickel Chart in Euro. 2010; Available at: <http://www.finanzen.net/rohstoffe/nickelpreis/Chart>. Accessed 5.11.2010.
- (38) JLR current aluminium applications and vision. Car body lightweight design based on aluminium - towards harmonised aluminium alloy usage; 2010.
- (39) Car body lightweight design based on aluminium. Car body lightweight design based on aluminium - towards harmonised aluminium alloy usage; 2010.
- (40) RWTH Aachen, editor. Th!nk City -innovative Kombination eines Stahl- und Aluminium Space Frame mit thermoplastischer Außenhautbeuteilen. ; 2010.
- (41) Johannes Winterhagen. Research and Development. 2010; Available at: <http://www.atzonline.de/Aktuell/Nachrichten/1/11736/Hamburger-Karosseriebautage-Mehr-Aluminium-in-elektrifizierten-Fahrzeugen.html>. Accessed 12.10.2010.
- (42) Leichtmetalltüren in Druckguss- Potentiale & Innovationen. Aachener Karosserietage 2010; 2010.
- (43) Automobil Konstruktion. Aluminium baut Vorteile im Leichtbau weiter aus. Automobil Konstruktion 2009 26.08.2009.
- (44) Novelis. Press releases. 2010; Available at: <http://www.the-new-aluminium.com/press.html>. Accessed 4.10.2010.
- (45) Herve Ribes. Aerospace aluminium alloys for the automotive sector. 2010; Available at: http://eaa.net/en/applications/automotive/aludrive-newsletter/_newsletter/13/_narticle/91/. Accessed 4.10.2010.
- (46) Hydro. Research and Development. 2010; Available at: <http://www.hydro.com/en/Our-business/Aluminium/Research-and-development/>. Accessed 12.10.2010.
- (47) TU Braunschweig. Leichtmetall Druckguss. 2010; Available at: <http://www.ifs.ing.tu-bs.de/institut/kompetenzbereiche/leichtmetall>. Accessed 07.10.2010.
- (48) TU München. Projekte. 2010; Available at: http://www.utg.mw.tum.de/utg_website/index2.php?page=151. Accessed 08.10.2010.
- (49) GDA. Neue Potentiale für Aluminium-Strangpressprofile im Automobilbau Arbeitskreis "Strangpressen Automotive". 2010; Available at: http://www.aluinfo.de/index.php/gda-news-de/items/neue-potenziale-fuer-aluminium-strangpressprofile-im-automobilbau.html?file=tl_files/_media/content/pdf/Presse/PDF-2010/20100719_GDA_PM_1.pdf. Accessed 11.10.2010.
- (50) Friedrich Ostermann. Ziehen von Aluminium-Karosserieblechteilen. Anwendungstechnologie Aluminium; 1998. p. 364-383.
-

-
- (51) Schuler AG. Aluminiumverarbeitung. Available at: http://www.schulergroup.com/major/pool/12_Produnkte_Verfahren/020_Blechumformung/110_Aluminiumverarbeitung/index.html. Accessed 11.10.2010.
- (52) Friedrich Ostermann. Superplastische Umformu. In: Springer, editor. Anwendungstechnologie Aluminium; 1998. p. 392-400.
- (53) Katharina Otzen. Metalle: Bei Nickel droht den westlichen Industrieländern künftig ein Versorgungsengpass. 2008; Available at: http://www.vdi-nachrichten.com/vdi-nachrichten/aktuelle_ausgabe/akt_ausg_detail.asp?cat=2&id=37407. Accessed 12.10.2010.
- (54) R. Beals et. al. Magnesium Global Development: Outcomes from the TMS 2007 Annual Meeting. 2007; Available at: <http://www.springerlink.com/content/f802410xh6231n54/fulltext.pdf>.
- (55) Automotive Circle International, editor. The material concept of the Audi R8. Materials in car body engineering 2010 Bad Nauheim; 2010.
- (56) Daimler AG. Einsatz tragender Teile im Automobil. lightweightdesign 2008(6/08).
- (57) TU München. Projekte. 2010; Available at: http://www.utg.mw.tum.de/utg_website/index2.php?page=151. Accessed 08.10.2010.
- (58) TU Bergakademie Freiberg. Magnesium-Forschung in Freiberg. 2010; Available at: <http://tu-freiberg.de/ze/magnesium/partner.html>. Accessed 13.10.2010.
- (59) GKSS Forschungszentrum Geesthacht. Neue Anlage für die Magnesiumforschung. 2010; Available at: http://www.gkss.de/institute/materials_research/news/press_release/010388/index_010388.html.de?chunk=1. Accessed 13.10.2010.
- (60) ThyssenKrupp AG. Posco und MGF: Technologieführer kooperieren bei Magnesium. 2010; Available at: <http://www.thyssenkrupp-steel-europe.com/de/presse/pressrelease.jsp?cid=2776702>. Accessed 13.10.2010.
- (61) Fraunhofer LBF. Magnesiumlegierungen - Betriebsfestigkeit und Verhalten unter schlagartiger Belastung. 2010; Available at: https://www.lbf.fraunhofer.de/detail.html?button-Common_storyContentDetail-find=&a-Common_storyContentDetail-id=2227&a-Common_OpenTree-att_NodeID=349&button-Common_OpenTree-open_tree=&kxpb-id=wd17060b62f62da239d5794f7ce12bcd36a8624a52c. Accessed 15.10.2010.
- (62) Bargel S. Magnesium und Magnesiumlegierungen. In: Springer, editor. Werkstoffkunde; 2000. p. 279-282.
- (63) Braess S. Magnesiumlegierungen. In: Vieweg, editor. Handbuch Kraftfahrzeugtechnik; 2007. p. 742-745.
- (64) Mathias Liewald JK. Superplastische Blechumformung von Magnesiumlegierungen. 2010; Available at: <http://www.dynamore.de/documents/papers/conference-08/C-II-01.pdf>. Accessed 08.10.2010.
-

-
- (65) S. Das. Primary Magnesium Production Costs for Automotive Applications. 2008; Available at: <http://www.springerlink.com/content/x0688816g648041p/fulltext.pdf>. Accessed 14.10.2010.
- (66) Intelligenter Großserientauglicher Leichtbau mittels One-shot Verfahrenskombination. ; 2010.
- (67) VDI, editor. Plastic components for future generations of vehicles. Plastics in Automotive Engineering Düsseldorf; 2010.
- (68) Rudolf Strauber LV. Plastic Applications for the Exterior. Plastics in Automotive Engineering; 2007. p. 1-6.
- (69) BASF AG. Ultramid TOP 3000, eine neue Kunststoffspezialität für online lackierbare Autoteile. 2010; Available at: http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~de_DE/portal/show/common/plasticsportal_news/2007/07_264. Accessed 02.09.2010.
- (70) Borealis. Smart ForTwo Body Panels. 2010; Available at: http://www.borealisgroup.com/pdf/literature/borealis/case-study/CAST055_GB_AA_2008_02_B.pdf. Accessed 17.09.2010.
- (71) VDI, editor. Plastics in Automotive Engineering. The development of an on-line-painted plastic fender for the Ford Kuga Düsseldorf: VDI Verlag; 2009.
- (72) Borealis. BMW X5/X6 Fender. 2010; Available at: http://www.borealisgroup.com/pdf/literature/borealis/case-study/K_CAST048_GB_AA_2007_10_B.pdf. Accessed 17.09.2010.
- (73) BASF AG. Fußgängerschutz auf breiter Front. 2010; Available at: <http://www.basf.com/group/pressemitteilungen/P-10-188>. Accessed 24.09.2010.
- (74) Andreas Wollny. Noch mehr Metallsubstituion: BASF steigt bei Langfaser-Polyamiden ein. 2010; Available at: http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~de_DE/portal/show/common/plasticsportal_news/2010/10_290. Accessed 24.09.2010.
- (75) BASF AG. Hier verzieht sich nichts mehr. 2010; Available at: <http://www.basf.com/group/pressemitteilungen/P-10-430>. Accessed 18.10.2010.
- (76) K. Pudenz. Große Polycarbonat-Folienformate präzise verformen. 2010; Available at: <http://www.atzonline.de/Aktuell/Nachrichten/1/12599/Grosse-Polycarbonat-Folienformate-precise-verformen.html>. Accessed 20.10.2010.
- (77) Hanser, editor. Status quo und Perspektiven von Faserverstärkten Kunststoffen (FVK) im Automobilbau. Die Kunststoffkarosserie- Innovative Außenhautteile und Strukturbauteile Würzburg; 2007.
- (78) Rudolf Strauber LV. Further Developements in SMC Technology. Plastics in Automotive Engineering; 2007. p. 68-74.
- (79) VDI, editor. Intelligent lightweight design whit fabric-reinforced thermoplastics for the skid plates of Volkswagen cars. Plastics in Automotive Engineering Düsseldorf; 2010.
- (80) VDI, editor. Fiber composite gearbox support; A trend-setting structural component. Plastics in Automotive Engineering Düsseldorf; 2010.
-

-
- (81) Lanxess AG. Spritzgegossene Reserveradmulde mit Fokus auf karosserieversteifender Wirkung. 2010; Available at: <http://www.lanxess.com/de/presse/presseinformationen/detail/3989/>. Accessed 10.09.2010.
- (82) RWTH Aachen, editor. Lightweight Floor Structure with Local Reinforcements of Fibre Reinforced Plastics. Aachener Karosserietage; 21-22.09.2010; Aachen; 2010.
- (83) O. Geiger. Faserverbundwerkstoffe FVW. 2010; Available at: http://www.ict.fraunhofer.de/kernko/PE/Faserverbundwerkstoffe_FVW/Faserverstaerke_Polyurethane/index.jsp. Accessed 20.10.2010.
- (84) AVK-Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e.V. (Hrsg.). Herstellungsverfahren. Handbuch Faserverbundkunststoffe. 3rd ed. Wiesbaden: Vieweg+Teubner; 2010. p. 311-542.
- (85) Die hybride thermoplastische Leichtbauheckklappe. Die Kunststoffkarosserie 2010; 2010.
- (86) VDI, editor. Carbon-reinforced plastics: the automotive material of the future? Plastics in Automotive Engineering 2010; 2010.
- (87) Katrin Pudenz. Forscher machen thermoplastische Faserverbundbauteile serienreif. 2010; Available at: <http://www.atzonline.de/Aktuell/Nachrichten/1/12193/Forscher-machen-thermoplastische-Faserverbundbauteile-serientauglich.html>. Accessed 02.09.2010.
- (88) Fraunhofer-Institut für chemische Technologie. Faserverbundwerkstoffe. 2010; Available at: http://www.ict.fraunhofer.de/fhg/Images/faser_deutsch_tcm137-89466.pdf. Accessed 20.08.2010.
- (89) Katrin Pudenz. Faserverstärkte Kunststoffe: Schadenstolerant und bei Fahrzeugrädern Aluminium überlegen. 2010; Available at: <http://www.atzonline.de/Aktuell/Nachrichten/1/12321/Faserverstaerkte-Kunststoffe-Schadenstolerant-und-bei-Fahrzeugaedern-Aluminium-ueberlegen.html>. Accessed 02.09.2010.
- (90) Institut für Werkstoffmechanik. Polymerbasierte Hochleistungsverbundwerkstoffe. 2010; Available at: <http://www.iwm.fraunhofer.de/geschaeftsfelder/polymeranwendungen/polymerbasierte-hochleistungs-verbundwerkstoffe/>. Accessed 02.09.2010.
- (91) Kristian Seidel. hightech.NRW-Projekt "KAROSSERIEBAUTEILE AUS CFK FÜR DIE GROSSERIENFERTIGUNG". 2010; Available at: http://www.ika.rwth-aachen.de/forschung/projekte/pdf/gb2-36_karosseriebauteile.pdf. Accessed 02.09.2010.
- (92) Automotive Circle International, editor. Load adapted Lightweight car body structures through the use of local reinforcements made of fibre reinforced composites. ; 18.-19.05.2010; Bad Nauheim; 2010.
- (93) Martin Grolms. Aachener Plastik macht Autos leichter. 2009; . Accessed 24.09.2010, http://www.az-web.de/sixcms/detail.php?template=az_detail&id=1161131&_wo=Lokales:Aachen
-

-
- (94) IVW - Universität Kaiserslautern. IVW-Profilier- Durchbruch bei der endlosfaserverstärkten Profilerstellung. 2010; Available at: http://www.ivw.uni-kl.de/de_aktuelles.8.html, 15.08.2010.
- (95) TU München. Forschungsallianz zwischen TU München und SGL Group vereinbart. 2007; Available at: http://portal.mytum.de/pressestelle/pressemitteilungen/news_article.2007-08-24.4884828993. Accessed 28.09.2010.
- (96) TU Braunschweig. Faserverbundtechnologie. 2010; Available at: <http://www.ifs.ing.tu-bs.de/institut/kompetenzbereiche/faserverbundtechnologie>. Accessed 07.10.2010.
- (97) Colin Smith. Cars of the future could be powered by their bodywork thanks to new battery technology. 2010; Available at: http://www3.imperial.ac.uk/newsandeventspggrp/imperialcollege/newssummary/news_5-2-2010-10-26-39. Accessed 18.08.2010.
- (98) FOR 860. FOR 860 Projekthomepage. 2010; Available at: <http://www.for860.rwth-aachen.de/index.html>. Accessed 02.09.2010.
- (99) Audi AG. Audi bündelt CFK-Kompetenzen im Leichtbau-Technikum. 2010; Available at: https://www.audi-mediaservices.com/publish/ms/content/de/public/pressemitteilungen/2010/06/24/audi_buendelt_cfk-kompetenzen.standard.gid-oeffentlichkeit.html. Accessed 02.09.2010.
- (100) Automobil Produktion. Lamborghini erforscht Kohlefaser. 2010; Available at: <http://www.automobil-produktion.de/2010/07/lamborghini-erforscht-kohlefaser/>. Accessed 02.09.2010.
- (101) CFK Valley Stade. Volkswagen AG. 2010; Available at: http://www.cfk-valley.com/de/_mitglieder/index.html?a-CompanyPopup-att_referer=self&a-CompanyPopup-att_selected_id=53&a-Common_CRMcard_input-n_ContentId=1660&a-Common_CRMcard_input-n_CompanyId=53&button-Common_CRMcard_input-loadCRMcard=&a-CompanyDetail-id=53&button-CompanyDetail-find=&wlpb-id=wdd9698b053842225e3dd52cabe12bcc1fa8624a50c. Accessed 02.09.2010.
- (102) SGL Group. SGL Group und BMW Group gründen Carbonfaser-Joint Venture. 2010; Available at: http://www.sglgroup.com/cms/international/press-lounge/news/2009/10/10292009_p.html?__locale=de. Accessed 02.09.2010.
- (103) Daimler AG. Daimler und Toray werden Leichtbau-Partner. 2010; Available at: <http://www.daimler.com/dccom/0-5-7153-49-1291729-1-0-0-0-0-9293-7145-0-0-0-0-0-0.html>. Accessed 02.09.2010.
- (104) Benteler-SGL Automotive Composites. Benteler-SGL. 2010; Available at: <http://www.benteler-sgl.com>. Accessed 02.09.2010.
- (105) Schuler AG. Auftrag von Premium-Autobauer über mehrere Pressen zur Herstellung von CFK-Bauteilen. 2010; Available at: http://www.schulergroup.com/major/pool/04_Presse/010_Pressemitteilung/2010/2010_09_14_cfk_bauteile/index.html. Accessed 14.09.2010.
-

-
- (106) CFK Valley Stade. CFK Valley. 2010; Available at: www.cfk-valley.com. Accessed 02.09.2010.
- (107) Martin Wiedemann. CFK - Statuts der Anwendung und Produktionstechnik im Flugzeugbau. 2009:03.09.2010.
- (108) Todd Johnson. Ford CEO: Composites in Automotive. 2010; Available at: <http://composite.about.com/b/2010/09/21/ford-ceo-composites-in-automotive.htm>. Accessed 27.09.2010.
- (109) K. Schult RK. Wohin geht es mit den Faserkapazitäten, Produkten und Entwicklungstrends? Lightweight Design 2010(1/2010).
- (110) nova-Institut GmbH. Naturfaserverstärkte Kunststoffe(NFK). 2006; Available at: <http://www.nova-institut.de/pdf/Road-Show-Broschuere.pdf>. Accessed 19.10.2010.
- (111) Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. Naturfaserverstärkte Kunststoffe. 2005; Available at: http://www.n-fibrebase.net/cms/uploads/documents/pdf/pdf_227nfk_2006.pdf. Accessed 19.10.2010.
- (112) Daimler AG. DaimlerChrysler verwendet Naturfaser-Bauteil im Exterieur der Mercedes-Benz A-Klasse. 2005; Available at: <http://media.daimler.com/dcmedia/0-921-657582-49-815396-1-0-0-0-0-11694-854934-0-1-0-0-0-0.html>. Accessed 19.10.2010.
- (113) Four Motors. Four Motors. 2010; Available at: <http://www.fourmotors.com>. Accessed 18.10.2010.
- (114) Fraunhofer Institut für Chemische Technologie. BioStruct. 2010; Available at: http://www.ict.fraunhofer.de/fhg/Images/BioStructFlyerDeutsch_tcm137-162745.pdf. Accessed 18.10.2010.
- (115) Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. Projektliste Faserpflanzen. 2010; Available at: <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/projekte-foerderung/projekte/aktuell/faserpflanzen/>. Accessed 19.10.2010.
- (116) nova-Institut GmbH. Verwendung naturfaserverstärkter Kunststoffe im deutschen Automobilbau. 2006; Available at: http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_227-brosch_nfk_2008.pdf. Accessed 19.10.2010.
- (117) T. Hipke, G. Lange, R. Poss. Leichtbau und Dämpfung vereint. Lightweight Design 2008;6:28-32.
- (118) Metalfoam. Stabilität vereint Leichtigkeit. 2010.
- (119) M. Hirschmann. Herstellung und Eigenschaften von spritzgegossenen Magnesium-Integralschäumen. Erlangen: Universität Erlangen-Nürnberg; 2007.
- (120) Lanxess AG. Nody reinforcement using CORE Products CBS Technology with carriers made of Durethan BKV35. 2007; Available at: <http://techcenter.lanxess.com/scp/emea/en/media/TI%202006-048%20EN%20Case%20body%20reinforcement%202007-03-02.pdf?docId=5418726>. Accessed 12.11.2010.
-

- (121) Evonik Industries. ROHACELL structural foam gains momentum in cars. 2010; Available at: <http://www.rohacell.com/product/rohacell/en/about/downloads/press-releases/Pages/detail.aspx?newsid=11101>. Accessed 12.11.2010.
- (122) G. Kopp et. al. Innovative Sandwichstrukturen für den funktionintegrierten Leichtbau. ATZ 2009;4:298-305.
- (123) ThyssenKrupp AG. Steifigkeitsoptimierter Sandwichwerkstoff. 2010; Available at: http://incar.thyssenkrupp.com/7_01_028_Sandwich.html?lang=de. Accessed 12.11.2010.
- (124) ThyssenKrupp. ThyssenKrupp Tailored Blanks. 2010; Available at: <http://www.tailored-blanks.com/produkte/tailored-products.html>. Accessed 11.11.2010.
- (125) ThyssenKrupp. ThyssenKrupp Steel Europe: Durchbruch für Tailored Tempering. 2010; Available at: <http://www.thyssenkrupp-steel-europe.com/de/presse/pressrelease.jsp?cid=2776620>. Accessed 11.11.2010.
- (126) K. Kerth HA. Szenariotechnik. In: Hanser, editor. Die besten Strategietools in der Praxis. 3rd ed.; 2008. p. 246-253.
-