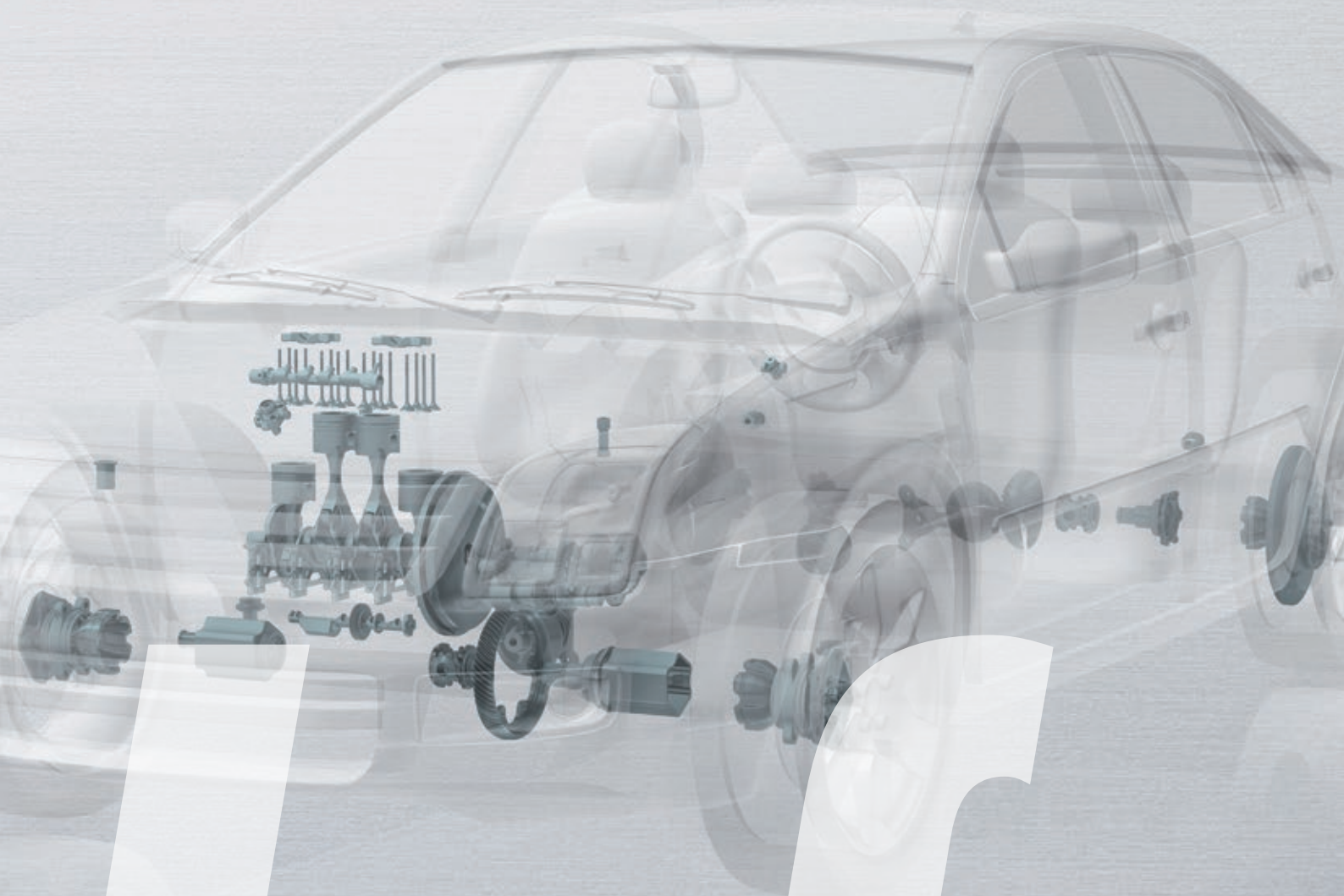


# Massiver Leichtbau

Potenziale massivumgeformter Komponenten



# INTO EXTRA



# Vorwort

Die Forderungen an alle am Automobilbau beteiligten Technologien sind vom Gesetzgeber klar umrissen: Strenge EU-Emissionsvorgaben motivieren die Hersteller, den Anteil an Leichtbauteilen in ihren Fahrzeugen während der kommenden zwei Dekaden mehr als zu verdoppeln.

Mit dieser Zielstellung sind insbesondere die Zulieferer der Branche gefordert. Die Massivumformung in Deutschland versteht sich dabei seit Jahrzehnten aufgrund ihrer besonderen Stärken als ein wichtiger innovativer Partner der Automobilbauer. Diese Stärken begründen sich in der Entwicklung und Herstellung hoch belasteter Bauteile sowie in der Ausschöpfung aller Möglichkeiten der prozessgeeigneten Werkstoffe, die sich im Wesentlichen aus Stählen rekrutieren.

Vor diese Aufgabe gestellt, gleichzeitig auch in Kenntnis richtungsweisender Ergebnisse mehrerer Leichtbauprojekte, die sich in den Jahren 1994 bis 2002 überwiegend auf den Bereich der Fahrzeugkarosserie konzentriert haben, wurde im Februar 2013 die Initiative Massiver Leichtbau ins Leben gerufen. Neun Unternehmen der Stahlindustrie als Langprodukte-Hersteller und 15 Unternehmen der Massivumformung unter Federführung des Industrieverbands Massivumformung e. V. bilden die Teilnehmer der Initiative und nutzen den unternehmens- und branchenübergreifenden Charakter mit der gebündelten Kompetenz aus Werkstoffwissen und Umformtechnologie für die Übertragung aller Erkenntnisse in die Zulieferteile für Automobile.

In einer ersten in drei Workshops durchgeführten Studie konnte das Potenzial zur Gewichtseinsparung an einem Mittelklassefahrzeug durch massivumgeformte Bauteile aufgezeigt werden. Dabei wurden vorrangig die Bereiche des Antriebsstrangs und Fahrwerks untersucht und die 400 daraus entwickelten Ideen auf ihre Umsetzbarkeit geprüft.

Das vorliegende EXTRA-Info berichtet über die Motivation der vorwettbewerblichen Zusammenarbeit der Teilnehmer der Initiative und widmet sich vorrangig der Vorgehensweise und den Ergebnissen, die aus der gemeinsamen Potenzialbetrachtung gewonnen worden sind. Weil hier Kompetenzen aus Stahlherstellung und -verarbeitung zusammengeführt wurden, konnten die Optimierungsvorschläge von allen Seiten beleuchtet werden.

Die vorgestellten Leichtbaupotenziale machen deutlich, dass eine Fortführung der Untersuchungen und damit Ausweitung der Analyse auf weitere Fahrzeugklassen sinnvoll ist. Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse erheblichen Forschungsbedarf, dem bereits mit der Ausarbeitung eines umfassenden Forschungsantrags Rechnung getragen wurde.

Wir freuen uns, allen an der Entwicklung im „Massiven Leichtbau“ Interessierten und Beteiligten auch mit dieser neuesten Ausgabe der Schriftenreihe EXTRA-Info wieder wirkungsvolle Unterstützung bei allen Fragestellungen um zeitgemäße, zukunftsgerichtete Produkte und Prozesse geben zu können und wünschen uns eine vielfache aktive Nutzung dieser Schrift.

---

Dr.-Ing. Hans-Joachim Wieland  
Geschäftsführer  
Stahlinstitut VDEh  
Forschungsvereinigung  
Stahlanwendung e. V. (FOSTA)

40237 Düsseldorf

Dr. Theodor L. Tutmann  
Geschäftsführer  
Industrieverband Massivumformung e. V.

58093 Hagen, im April 2014

# Impressum

Autor:	Dipl.-Ing. Frank Severin, Bochum
Vorlage dieses Dokuments:	Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Christian-Simon Ernst, fka Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen Dr.-Ing. Hans-Willi Raedt, Hirschvogel Automotive Group, Denklingen Dipl.-Ing. Frank Wilke, Deutsche Edelstahlwerke GmbH, Siegen
Bilder:	Siehe Bilderverzeichnis Seite 41
Verantwortlich für die Gesamtherstellung:	Industrieverband Massivumformung e. V., Hagen, Dorothea Bachmann Osenberg <a href="http://www.massivumformung.de">www.massivumformung.de</a> / <a href="http://www.massiverLEICHTBAU.de">www.massiverLEICHTBAU.de</a>
Layout und Titelbild:	simplon., Agentur für Werbung und Marketing-Kommunikation, St. Ingbert
Druckschriften-Nr.:	EI-LB-0414-25
Ausgabe:	April 2014
ISBN:	978-3-928726-33-7

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung und Vervielfältigung, vorbehalten. Auszugsweise Wiedergabe des Inhalts nur nach Rückfrage beim Industrieverband Massivumformung e. V. mit Quellenangabegestattet. Den Veröffentlichungen des Industrieverbands Massivumformung e. V. liegen die Ergebnisse der Gemeinschaftsforschung der im Industrieverband Massivumformung e. V. zusammengeschlossenen Unternehmen zugrunde.

# Massiver Leichtbau

Potenziale massivumgeformter Komponenten

Herausgeber:  
Industrieverband  
Massivumformung e. V.

Goldene Pforte 1  
58093 Hagen, Deutschland  
Telefon: +49 2331 958830  
Telefax: +49 2331 958730  
E-Mail: [info@massivumformung.de](mailto:info@massivumformung.de)

[www.massivumformung.de](http://www.massivumformung.de)  
[www.massiverLEICHTBAU.de](http://www.massiverLEICHTBAU.de)



# Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	3
Impressum	4
<b>1 Einleitung</b>	<b>9</b>
1.1 Trends und Treiber für den automobilen Leichtbau	9
1.2 Motivation für die Initiative Massiver Leichtbau	10
1.3 Auswahl bisheriger Leichtbau-Innovationen in der Massivumformung	12
<b>2 Leichtbaupotenzial massivumgeformter Komponenten im Pkw</b>	<b>15</b>
2.1 Durchführung der Potenzialstudie	15
2.1.1 Ablauf und Vorgehensweise	15
2.1.2 Bilanzierung der Potenzialstudie	15
2.2 Beispiele für identifizierte Leichtbaupotenziale	22
2.2.1 Potenziale im stofflichem Leichtbau	23
2.2.2 Potenziale im konstruktiven und Fertigungsleichtbau	25
2.2.3 Potenziale im Konzeptleichtbau	30
2.3 Zusammenfassung und Fazit	31
<b>3 Übertragung auf Entwicklungsprozesse und Forschungsvorhaben</b>	<b>32</b>
3.1 Übertragung auf Entwicklungsprozesse	32
3.2 Forschungsansätze	32
<b>4 Weitere Leichtbaupotenziale in der Massivumformung</b>	<b>33</b>
<b>5 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>36</b>
<b>6 Literaturverzeichnis</b>	<b>39</b>
<b>7 Bilderverzeichnis</b>	<b>41</b>





# Einleitung

„Massiver Leichtbau“ – zu Beginn steht ein Begriff, der auf den ersten Blick ein Paradoxon beschreibt. Im allgemeinen Sprachgebrauch werden zunächst nur die Bedeutungen „solide“ oder „voll“ im Gegensatz zu „hohl“, und damit „schwer“ als Synonym zum Wort „massiv“ verstanden. Die Sinnhaftigkeit des Begriffs „Massiver Leichtbau“ erschließt sich aber, wenn die technisch zutreffenderen Synonyme „fest“, „dauerhaft“ und „belastbar“, ebenso wie die weiteren geläufigen Begriffe „durchsetzungsstark“ und „wirkungsvoll“ herangezogen werden.

Somit ist das Bestreben zu verstehen, mobile Technik in den meisten Anwendungsfällen dauerhaft und belastbar auszulegen, gleichzeitig aber auch die technische Lösung mit dem geringstmöglichen Masseneinsatz zu finden.

Dies gilt insbesondere dann, wenn diese Massen angetrieben werden müssen, weil Mobilität die Aufgabe der betrachteten technischen Komponente ist. Die Muskelkraft des Menschen ist für den Antrieb von mobilen technischen Geräten derart begrenzt, dass fast immer motorische Antriebe eingesetzt werden müssen, was einerseits die Verbrennung fossiler Brennstoffe bei der Energiebereitstellung oder -erzeugung notwendig macht, andererseits den Ausstoß von Treibhausgasen in die Umwelt zur Folge hat.

Aus diesem hohen Mobilitätsanspruch der Menschheit ist seit mehr als 100 Jahren die Automobiltechnik hervorgegangen, für die die Branche der Stahlherstellung hochwertige Werkstoffe zur Verfügung stellt und die Branche der Massivumformung mit ihren zahlreichen und vielfältigen Verfahren wichtige Bauteile und Komponenten herstellt. Der wirkungsvolle Leichtbau, eben jener „massive Leichtbau“ entsteht somit aus einem Megatrend der Automobiltechnik.

## 1.1 Trends und Treiber für den automobilen Leichtbau

Seit Beginn der Automobilität steigt das Streben nach individueller motorisierter Fortbewegung in der Weltbevölkerung umgekehrt proportional zum Erdvorrat der benötigten fossilen Brennstoffe. Gleichzeitig haben sich Komfort- und Sicherheitsanforderungen an die Fahrzeuge in einer Weise erhöht, dass die Gesamtfahrzeuggewichte stark gestiegen sind.

Im Detail sind die Verbesserung der Fahrdynamik mit stetig besseren Brems- und Beschleunigungseigenschaften und die Reduzierung von Anschaffungs- und Betriebskosten zu nennen [1]. Darüber hinaus wird das sekundäre Leichtbaupotenzial angesprochen, welches

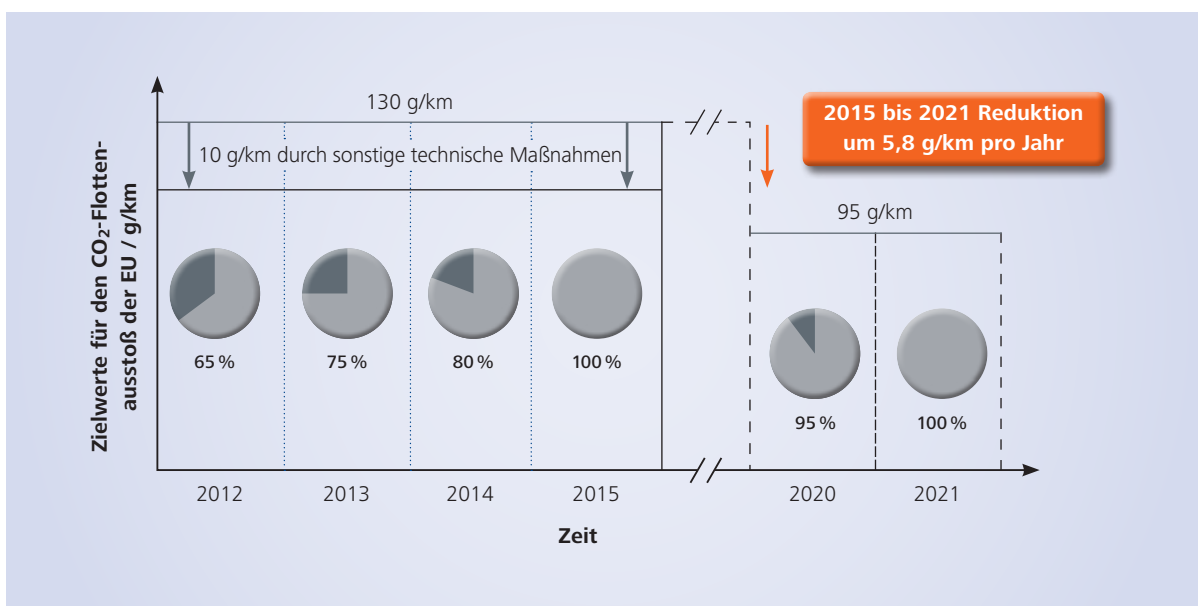


Abbildung 1: CO<sub>2</sub>-Zielvorgaben für die europäische Neuwagenflotte 2012 bis 2021

durch die reduzierte Fahrzeugmasse skaliert werden kann. Dies betrifft z. B. die Handlungsbereiche Antrieb, Bremsen und Federung (also Fahrwerk) und wird mit einem Anteil von 30 % des Primärpotenzials beziffert.

Vor allem ist es aber der Gesetzgeber, der eine ambitionierte Herausforderung formuliert. Gemeint ist die Gesetzgebung zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung der Europäischen Union und hier speziell die 2009 in Kraft getretene Verordnung zur Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Pkw. Sie verpflichtet die Automobilhersteller bis 2015 die Emissionswerte aller Neuzulassungen auf einen Grenzwert von 130 g/km und bis 2021 von 95 g/km zu begrenzen. Die vor 2015 geltenden Werte gemäß einer stufenweisen Anpassung (sogenanntes Phase-in) sind in Abbildung 1 wiedergegeben [2].

Die technischen Maßnahmen, die zu geringerem Verbrauch und folgerichtig zur Verringerung der Abgas-mengen führen, sind zahlreich. Massivumgeformte Komponenten können hier in den Handlungsfeldern Verbrennungsmotor, Getriebe und vor allem Leichtbau technische Entwicklungen unterstützen und zum angestrebten Fortschritt beitragen [3], d. h. die Antworten auf diese Megatrends haben die Massivumformer bereits parat.

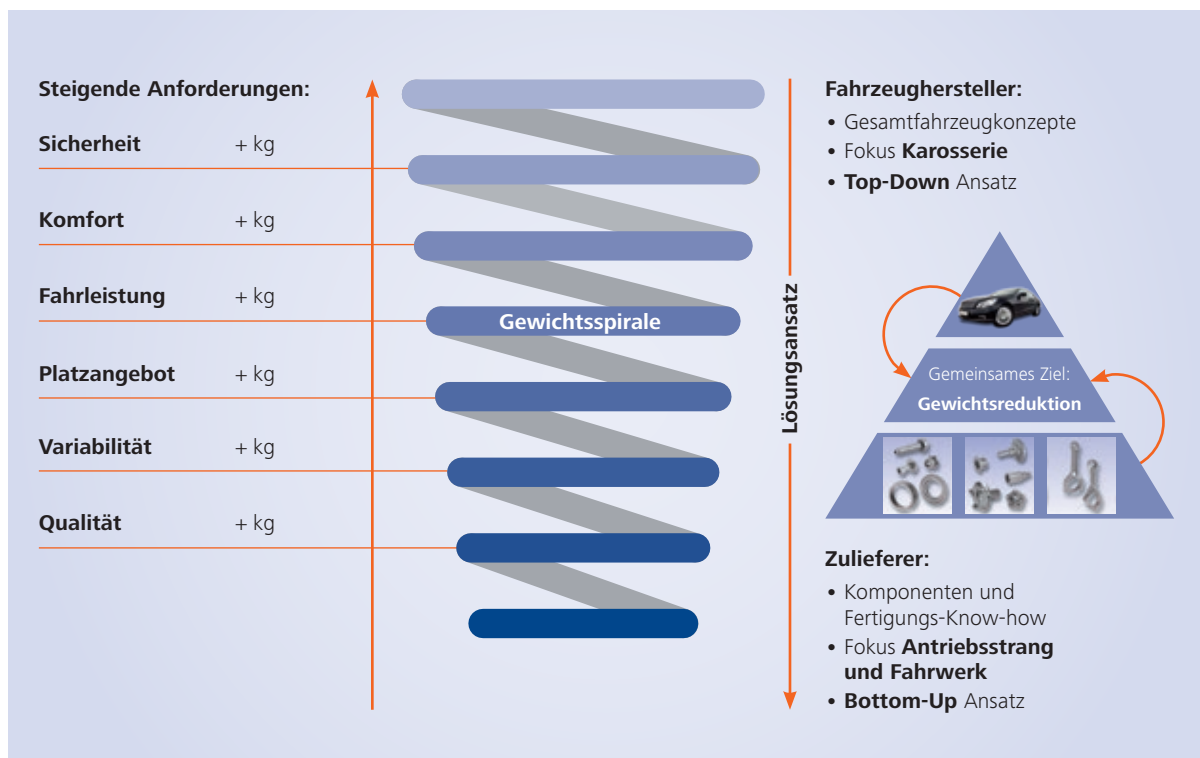
## 1.2 Motivation für die Initiative Massiver Leichtbau

Die grafische Darstellung der sogenannten Gewichtsspirale (Abbildung 2) verdeutlicht die Notwendigkeit zur Umkehr von einer aufwärtsgerichteten in eine abwärtsgerichtete Bewegung und ist unter anderem in [4] näher beschrieben.

Im Wesentlichen findet sich in der linken Bildhälfte die Situation der vergangenen Jahrzehnte wieder: Steigende Anforderungen an die dargestellten Parameter bedingten den Gewichtsanstieg der Karosserie, infolgedessen wurden Fahrwerk, Antriebsstrang und auch Komponenten wie der Tank verstärkt bzw. vergrößert. Als Folge musste wiederum die Karosserie angepasst werden und der Weg in der Spirale nahm seinen Lauf.

Das Durchbrechen dieser Spirale gelang erst durch Nutzung von Leichtbaupotenzialen im Handlungsspielraum der Karosserie. Durch diesen in der rechten Hälfte der Grafik dargestellten Lösungsansatz der Fahrzeughersteller ist der Spielraum für die Zulieferer mit Fokus auf Antriebsstrang und Fahrwerk eröffnet.

Bisher hat sich demnach der automobiler Leichtbau sehr stark auf die Blechumformung und Fahrzeugkarosserie



**Abbildung 2:** Umkehrung der Gewichtsspirale durch Leichtbau in Antriebsstrang und Fahrwerk

konzentriert. Dies ist ablesbar an den wichtigsten großen Leichtbauprojekten von unterschiedlichen Initiatoren (Stahlindustrie, einzelne Stahlhersteller oder Zulieferer, OEMs), die in einer chronologischen Übersicht in Abbildung 3 zusammengestellt sind.

Es ist festzustellen, dass die aktuellen Potenziale bei der Karosserie als größten Einzelposten in Sachen Fahrzeuggewicht durch moderne Werkstoff- und Verarbeitungskonzepte zurzeit als weitgehend erschlossen gelten. Dafür rücken der Antriebsstrang und das Fahrwerk in den Fokus, die zusammen durchschnittlich 41 % des Fahrzeuggewichts ausmachen [5].

Ein erheblicher Motivationsfaktor zur Gründung einer Brancheninitiative aus Stahlherstellern und Massivumformern war somit gegeben: Die Initiative Massiver Leichtbau [6] ist Anfang 2013 aus dem Zusammenschluss von 15 Unternehmen der Massivumformung und 9 Stahlherstellern unter dem Dach des Industrieverbands Massivumformung e. V. und des Stahlinstituts VDEh entstanden. Ohne öffentliche Mittel finanziert dieses Konsortium die im Kapitel 2 näher erläuterte Studie „Leichtbaupotenziale massivumgeformter Komponenten im Pkw“ mit dem Ziel, die massivumgeformten Komponenten aus Stahl im Pkw hinsichtlich des Leichtbaus

zu optimieren. Es handelt sich bei der Initiative Massiver Leichtbau um das bisher größte vorwettbewerbliche Gemeinschaftsprojekt dieser beiden Branchen.

Die Idee dazu entstand bereits 2011 aus der Überzeugung, dass einzelne Firmen kaum ein so breites Niveau an Einfallsreichtum und Kreativität erreichen können, wie es in einer Kooperation der Fall ist. Viele Automobilhersteller schienen sich vorwiegend für junge Herstellungsverfahren und Technologien zu interessieren, während sie der Entwicklung von bewährten Prozessen zu wenig Beachtung schenkten. Der branchenübergreifende Charakter mit der gebündelten Kompetenz aus Werkstoffwissen und Umformtechnologie sollte in dieser Initiative entscheidender Multiplikator sein. Aus Sicht der Stahlhersteller schien es sehr wichtig, die voranschreitenden Werkstoffentwicklungen in Endprodukte zu übertragen. So würde die Branche die Potenziale der modernen hochfesten Stähle optimal nutzen und neue Anwendungsmöglichkeiten schaffen können, die auch den ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten Rechnung tragen [7]. Durch die Bündelung von Kompetenzen, beginnend bei der Stahlzusammensetzung bis teilweise hin zur einbaufertigen Komponente ist ein ganzheitlicher Optimierungsansatz möglich.











Projekt	Jahr	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	Konsortium (Lead)	
 <b>ULSAB</b> UltraLight Steel Auto Body																							WorldAutoSteel
 <b>ULSAS</b> UltraLight Steel Auto Suspension																							WorldAutoSteel
 <b>ULSAC</b> UltraLight Steel Auto Closures																							WorldAutoSteel
 <b>ULSAB-AVC</b> UltraLight Steel Auto Body – Advanced Vehicle Technology																							WorldAutoSteel
 <b>NewSteelBody</b>																							TKS
 <b>SuperLIGHT-Car</b> Sustainable Production Technologies for CO <sub>2</sub> -Emission Reduced Lightweight Car concepts																							EUCAR
 <b>InCar</b> Innovative Car																							TKS
 <b>FutureSteelVehicle</b>																							WorldAutoSteel
 <b>LDV Mass Reduction</b> Light-Duty Vehicle Mass Reduction and Cost Analysis – Midsize Crossover Utility Vehicle																							FEV / EDAG
 <b>CULT</b> Cars' Ultralight Technologies																							Magna

Abbildung 3: Übersicht einiger wichtiger Leichtbauprojekte im automobilen Umfeld (1994 bis 2013)



**Abbildung 4:** Logo der Initiative Massiver Leichtbau

Die Initiative Massiver Leichtbau wurde ins Leben gerufen, um die Fachwelt dafür zu sensibilisieren, welche Beiträge die Massivumformung zum automobilen Megatrend des Leichtbaus leistet. Darüber hinaus sollen über einen rechtzeitigen und zielführenden Dialog zwischen Stahl- und Komponentenzulieferer auf der einen und Automobilkunden auf der anderen Seite die möglichen Potenziale in die frühen Phasen einer System- und Bauteilentwicklung einbezogen werden. Gleichmaßen gilt es, mit den bewährten Methoden des Simultaneous-Engineering neue Lösungsansätze aus dem Konzept-Leichtbau anzustoßen.

### 1.3 Auswahl bisheriger Leichtbau-Innovationen in der Massivumformung

Die Möglichkeiten und physikalisch-technologischen Zusammenhänge in den verschiedenen Disziplinen des Leichtbaus durch Massivumformung, die sich in stofflichen Leichtbau (Werkstoffanforderungen), in konstruk-



**Abbildung 5:** Pkw-Hinterachsradträger – links: Stahlausführung, rechts: Nachfolgeneration aus Aluminium mit verringertem Systemgewicht

tiven Leichtbau (Topologie- und Gestaltoptimierung) und in fertigungstechnische Maßnahmen (Faserverlauf, Oberflächenbehandlungsverfahren) untergliedern lassen, sind unter anderem in [8] und [9] ausführlich beschrieben. Daher wird im Folgenden eine beispielhafte Auswahl von innovativen Lösungen ohne jeglichen Anspruch auf Vollständigkeit vorgestellt, die einen groben Überblick über bereits in die Serie umgesetzte Leichtbaulösungen geben soll.

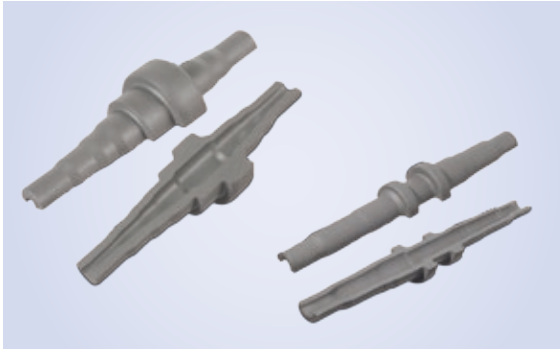
Im Bereich des stofflichen Leichtbaus im Fahrwerk ist die Substitution von Stahlkomponenten durch Bauteile aus Aluminium bereits recht etabliert. Ein solches Beispiel zeigt der in Abbildung 5 dargestellte Pkw-Hinterachsradträger, der im Rahmen eines Modellwechsels stark überarbeitet wurde. Durch die verbesserte Auslegung als Aluminium-Schmiedeteil konnte in Verbindung mit einer veränderten Lagergeneration das Systemgewicht um 1,8 kg reduziert werden. Ein Teil der Gewichtsreduzierung ist demzufolge nicht dem Materialwechsel zuzurechnen, dennoch werden die Möglichkeiten der Massivumformung deutlich [10].

Außerhalb des Pkw-Bereichs werden Aluminium-Schmiedeteile mit den Vorteilen der gestaltungs- und anforderungsoptimierten Ausführung auch in Motorrädern eingesetzt, wie der Längslenker in Abbildung 6 beweist [11], dessen filigrane Ausführung vor Jahren noch als „unerschmiedbar“ galt.

Deutlich wird bei den vorgenannten Beispielen, dass die Geometrie bzw. der zur Verfügung stehende Einbauraum einer Komponente ebenfalls eine wesentliche Rolle spielt. Die Praxis beweist auch bei zunächst simplen Aufgabenstellungen im Bereich des stoff-



**Abbildung 6:** Motorrad-Längslenker als Aluminium-Schmiedeteil



**Abbildung 7:** Massivumgeformte Rohteile für hohle Getriebewellen, links 27 % und rechts 38 % Gewichtsreduzierung

lichen Leichtbaus sehr häufig die Notwendigkeit zur umfangreichen Modifizierung der Konstruktion. In solchen Fällen zeigt sich dann, dass Substitution durch „leichtere“ Werkstoffe nicht effektiver ist als konstruktives Perfektionieren der Geometrie oder des Herstellungsprozesses unter Beibehaltung der Werkstoffgruppe [12].

Diese Erkenntnis führt sowohl zu konstruktiven als auch fertigungstechnischen Lösungen in der Massivumformung, aus denen die Gattung der Hohlwellen hervorgegangen ist. Speziell im Getriebebereich erlangen hohl ausgeführte Wellen, bedingt durch die technische Notwendigkeit z. B. bei Doppelkupplungsgetrieben oder einigen Elektroantriebskonzepten, immer größer werdende Bedeutung. Weiterhin besitzt die Ausführung von Getriebewellen als Hohlwellen das erforderliche Leichtbaupotenzial, da u. a. die geforderte Torsionssteifigkeit kaum vom Kern der Welle beeinflusst wird. Die Einsparung kann hier also durch die Reduktion nichttragender Querschnitte erzielt werden. In Abbildung 7 sind Hohlwellenrohlinge für Getriebewellen abgebildet, die durch einen mehrstufigen Kaltumformprozess in Kombination mit Zerspanung hergestellt wurden und deren Gewichtseinsparung 27 % bzw. 38 % beträgt [10], [13].

Betrachtet man darüber hinaus die vielfältigen Fertigungstechnologien der Massivumformung, sind durch die Verfahren Rundkneten und Axialformen etliche weitere Leichtbauwellen, die als hohle Wellen ausgeführt sind, möglich. Der Anwendungsbereich erstreckt sich dabei über hohle Lenkwellen (Abbildung 8) und hohle Getriebe- und Antriebswellen bis hin zu Stoßdämpferelementen. Mit dieser Fertigungstechnik können extrem hohe Oberflächengüten erzeugt werden, durch die auf eine nachfolgende spanende Bearbeitung meist



**Abbildung 8:** Beispiele für hohle rundgeknetete Lenkwellen

verzichtet werden kann. Ermöglicht wird dies durch die inkrementelle Umformung mit sehr hoher Hubfrequenz bei gleichzeitig sehr geringer Formänderung pro Hub. Durch die insgesamt beim Rundkneten erzielbaren hohen Umformgrade ist eine große Designvielfalt herstellbar. Darüber hinaus sind mit dem Axialformen die häufig ebenfalls an einer Welle gewünschten Verzahnungselemente stabil und in hochpräziser Qualität zu gewährleisten [14].

Es sind noch zwei weitere etablierte Prinzipien für den Leichtbau in der Massivumformung zu erwähnen: die Funktionsintegration und die gebaute Komponente. Funktionsintegration von bislang getrennt geschmiedeten Bauteilen wird z. B. beschrieben, indem ein Lkw-Achsschenkel und der dazugehörige Spurhebel nach grundlegender FE-Analyse zu einem integralen Schmiedeteil zusammengeführt wurden [15].

Der entgegengesetzte Weg wird beispielsweise bei der gebauten Nockenwelle bestritten: Hierbei wird, statt das Rohteil klassisch in einem Stück zu schmieden, die eigentliche Welle als Rohr ausgeführt und die Nocken separat als Massivumformteil erstellt. In diesem Fall stellt die Fertigung auf vollautomatischen Horizontal-Mehrstuftenpressen, die die Fertigung der Nocken in hoher Taktfrequenz bei gleichbleibend hoher Qualität gewährleistet, auch die kostengünstigste Variante dar.

Mit diesem Erfahrungspotenzial begannen die Teilnehmer der Initiative Massiver Leichtbau mit einer Studie zum Leichtbaupotenzial ihre erste wesentliche Projektphase, dessen Ergebnisse im anschließenden Kapitel vorgestellt werden.



# Leichtbaupotenzial massivumgeformter Komponenten im Pkw

## 2.1 Durchführung der Potenzialstudie

### 2.1.1 Ablauf und Vorgehensweise

Die Initiative Massiver Leichtbau bestritt in ihrem ersten Arbeitsschritt im Zeitraum von Februar bis Oktober 2013 eine Potenzialstudie zum Thema Leichtbau in Form mehrerer Workshops. Zugrunde gelegt wurde eine methodische Vorgehensweise mit fünf aufeinander aufbauenden Arbeitspunkten. Der Projektablauf ist in Abbildung 9 dargestellt.

Im ersten Arbeitsschritt wurde durch die Übersicht bisher veröffentlichter Forschungsergebnisse und -vorhaben aus diesem Bereich sowie durch eine Analyse der akzeptierten Leichtbaukosten je Fahrzeug ein systematischer Überblick über Leichtbaupotenziale für den Antriebsstrang und das Fahrwerk eines Pkws geschaffen.

Anschließend wurde im zweiten Arbeitsschritt ein Benchmarking aufgesetzt. Hierzu wurde ein neuwertiges Referenzfahrzeug beschafft und systematisch durch die fka Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen, die mit der Studie beauftragt wurde, zerlegt. Die Wahl für das Referenzfahrzeug fiel auf einen Mittelklasse-Kombi, ein Volumenmodell eines deutschen Herstellers, welches mit einem Dieselmotor mit Doppelkupplungsgetriebe sowie Allradantrieb ausgestattet war. Bereits beim Zerlegen des Gesamtfahrzeugs wurde nach den für die Studie maßgebenden Kategorien Antriebsstrang, d. h. Motor und Getriebe sowie Fahrwerk und weiteren Komponenten differenziert.

Alle Baugruppen und Einzelteile wurden analysiert, dazu wurden die Parameter Abmessung, Werkstoff und selbstverständlich auch das Gewicht in einer Online-Datenbank gespeichert. Zur Bestimmung des Werkstoffs wurde gegebenenfalls eine Analyse im Werkstofflabor durchgeführt. Darüber hinaus ist als wichtiges Hilfsmittel auch die umfangreiche Fotodokumentation zu nennen, die durch Baugruppendarstellungen des Herstellers ergänzt wird.

Den Kernpunkt der Studie bildeten drei moderierte Hands-on-Workshops zu den Fahrzeugbereichen Antriebsstrang, Fahrwerk und weiteren Komponenten. Hierzu kamen Experten aus den Entwicklungs- und Produktionsabteilungen der teilnehmenden Unternehmen zusammen, um die Bauteile nach zuvor erfolgter Vor-evaluierung durch die fka zu begutachten und Leichtbauideen zu entwickeln und zu formulieren. Eindrücke zu den Workshops sind in Abbildung 10 wiedergegeben.

In allen Workshops waren die Teilnehmer aufgefordert, Leichtbauvorschläge zu erarbeiten, indem sie neben der Skizzierung und/oder der Beschreibung ihrer Idee auch eine eigene Bewertung in den drei Kategorien Leichtbaupotenzial, Kostenpotenzial und Realisierungsaufwand vornehmen mussten, um zu einer mehrdimensionalen Bewertung zu kommen. Alle vorgenannten Angaben wurden auf Leichtbau-Ideen-Bögen notiert, welche als Informationsträger zur Implementierung in die Datenbank dienten. Dieser Aufbau bzw. die Pflege der Online-Datenbank gilt neben der jeweiligen Ergebnisprotokollierung und -präsentation sowie der Visualisierung der Ergebnisse für eine spätere Weiterverwendung in anderen Veranstaltungen der Initiative als begleitender, übergeordneter Arbeitsschritt.

Im abschließenden Arbeitspunkt wurde durch weitere Ausarbeitung der Ideen zu Leichtbauvorschlägen mithilfe erster konzeptioneller CAD-Entwürfe oder überschlägiger Belastungsrechnungen das Leichtbaupotenzial der massivumgeformten Komponenten im Kraftfahrzeug identifiziert.

Beispiele für konkrete Leichtbauvorschläge, die in dieser Phase der Studie gewonnen wurden, werden im nachfolgenden Kapitel 2.2 erläutert.

### 2.1.2 Bilanzierung der Potenzialstudie

Die systematische Zerlegung des Referenzfahrzeugs brachte die Anzahl von ca. 3.500 zu analysierenden Bauteilen zu Tage. Die Analyse führte zur Formulierung von 399 Leichtbauideen, welche in den drei Workshops

### Umfeldanalyse

Es liegt ein systematischer Überblick über vorangegangene Leichtbaupotenziale im Antriebsstrang und Fahrwerk vor.

### Benchmarking

Ein Referenzfahrzeug wurde systematisch demontiert, dokumentiert und erfasst.

### Drei Hands-on-Workshops

Durchführung von moderierten Workshops zu Antrieb, Fahrwerk und weiteren Komponenten.

### Ideensammlung und Ableitung von Leichtbaupotenzialen

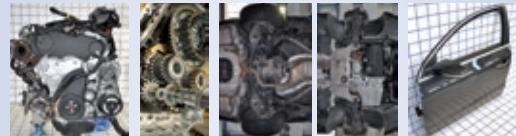
Bisher unbekanntes Leichtbaupotenzial wurde an massivumgeformten Komponenten im Pkw identifiziert und in konkrete Leichtbauvorschläge umgesetzt.

## 1. Bestimmung des Fahrzeuggesamtgewichts

### Referenzfahrzeug:

125 kw / 170 PS  
2,0 l Turbo-DI Dieselmotor  
Doppelkupplungsgetriebe, Allradantrieb  
Gesamtmasse: 1.740 kg

## 2. Zerlegung des Gesamtfahrzeugs



Verbrennungsmotor

Getriebe

Fahrwerk

Tür, Sitz, Gurt, AHK

## 3. Listen und Benennung aller Einzelteile

## 4. Einzelteilanalyse

Stanzcode	Bezeichnung	Gewicht [kg]	+	-	+	-	Stanzcode
22108020001	Zahnrad Parksperr	0,027	16	16	16	16	Stahl
22108020002	Einbaulage	0,027	16	16	16	16	Stahl
22108020003	Einbaulage	0,027	16	16	16	16	Stahl
22108020004	Einbaulage	0,027	16	16	16	16	Stahl
22108020005	Einbaulage	0,027	16	16	16	16	Stahl
22108020006	Einbaulage	0,027	16	16	16	16	Stahl
22108020007	Einbaulage	0,027	16	16	16	16	Stahl
22108020008	Einbaulage	0,027	16	16	16	16	Stahl
22108020009	Einbaulage	0,027	16	16	16	16	Stahl
22108020010	Einbaulage	0,027	16	16	16	16	Stahl

## 5. Gewichtsbalanzierung Baugruppen



## 6. Fotodokumentation

- Normansichten
- Detailansichten
- Ggf. Einbaulagen
- Digitale Entfernung der Herstellerlogos

Zahnrad Parksperr



## 7. Datenbankimplementierung mit Vorschlägen zum Leichtbaupotenzial



Abbildung 9: Projektablauf der Leichtbaupotenzialstudie





**Abbildung 10:** Projektteilnehmer und Präsentation der ausgebauten Komponenten während eines der drei Hands-On-Workshops

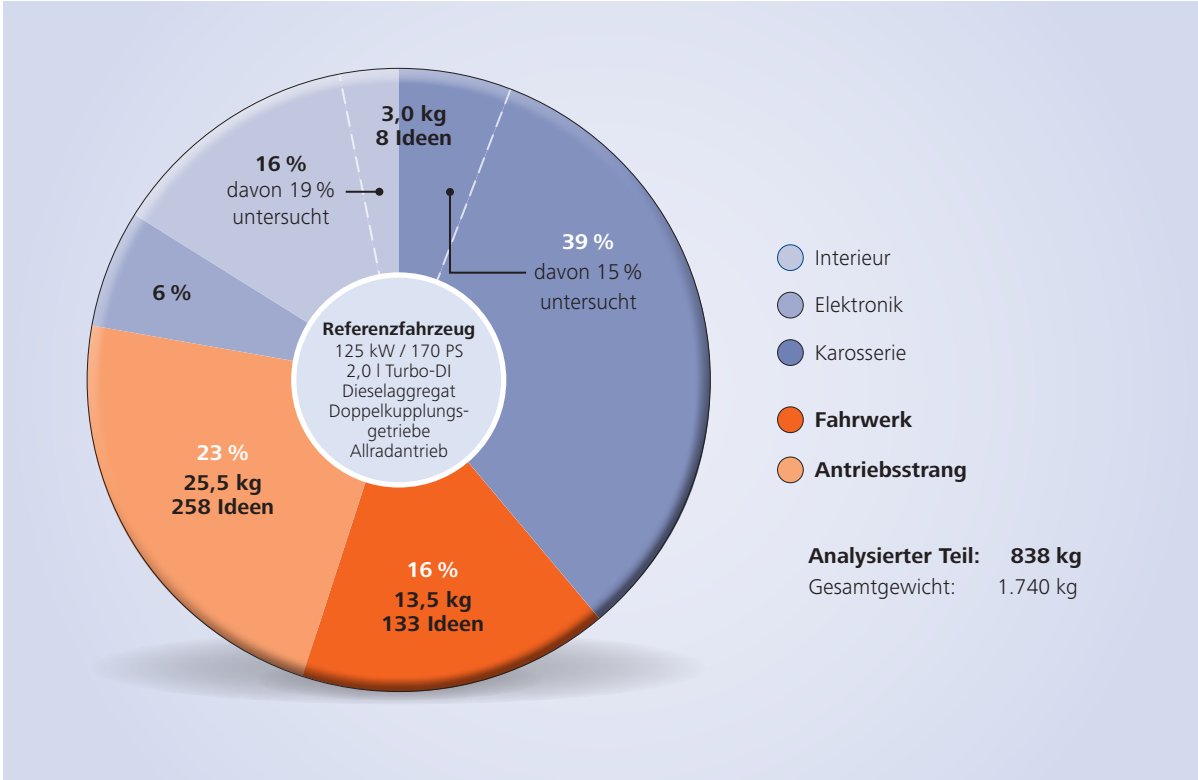
von insgesamt 65 verschiedenen Personen aus 30 Unternehmen und Forschungsgesellschaften formuliert wurden. In Summe nahmen an den Workshops 123 Personen teil [1].

Es ist sinnvoll, sich bei Darstellung der Gewichtsbalanzierung des Referenzfahrzeugs auf die Gesamtbilanzierung sowie auf den Anteil massivumgeformter Komponenten zu beschränken: Das Fahrzeug bringt ein Gesamtgewicht von 1.740 kg in die Untersuchung. Wie in Abbildung 11 gezeigt, teilt sich in der Gewichtsbalanzierung das Gesamtgewicht auf die Komponenten der Karosserie (39%), Antriebsstrang (23%), Fahrwerk (16%), Interieur (16%) und Elektronik (6%) auf.

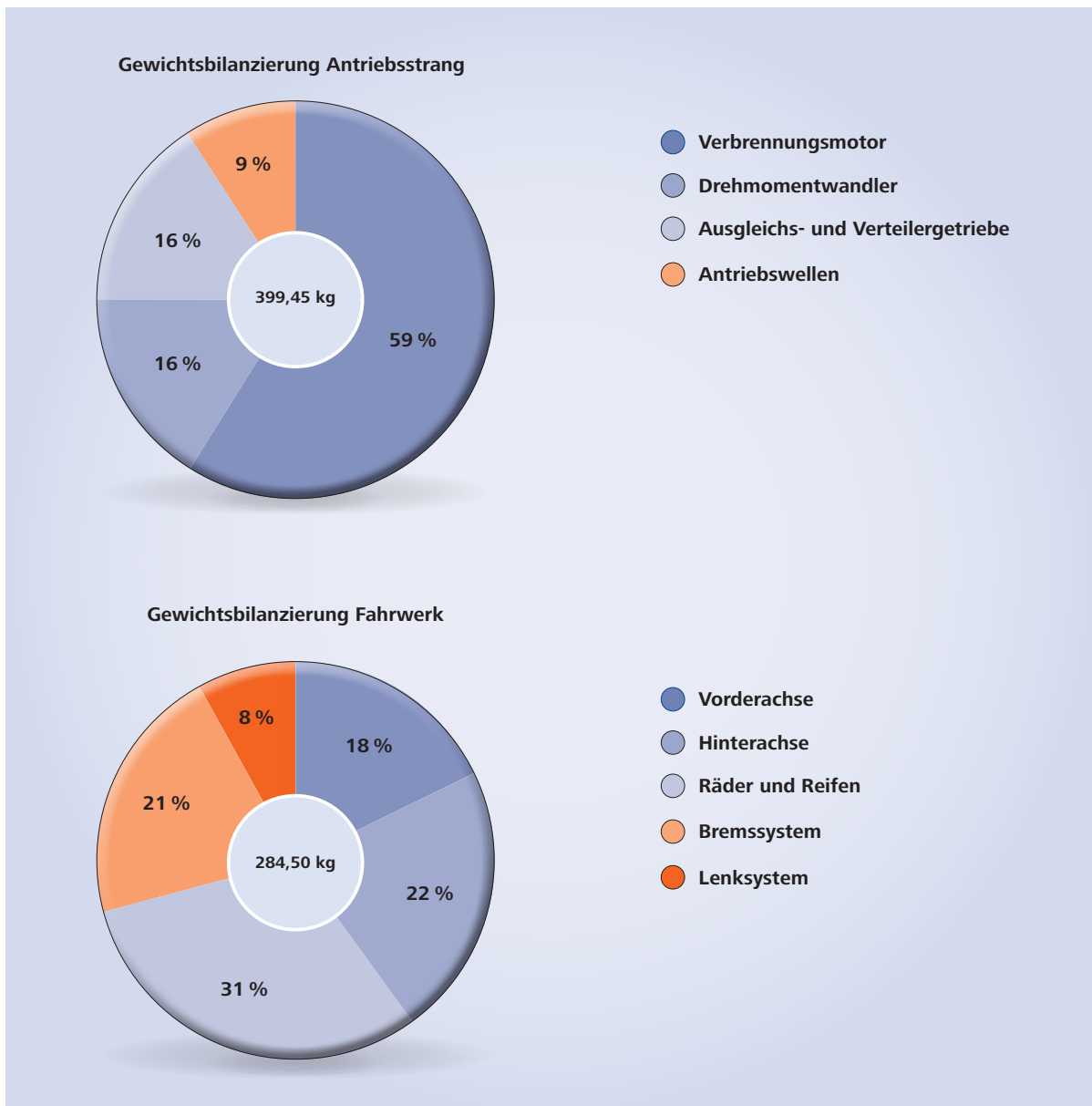
Da für die Massivumformung in erster Linie die Komponenten aus Antriebsstrang und Fahrwerk für Leichtbauideen interessant sind, wurden in diesen Sektionen auch je 100 % der zugeordneten Bauteile untersucht. Zusätzlich wurde ein Anteil von 19 % des Interieurs (Vordersitze und Gurtsystem) sowie von 15 % der Karosserie (Vordertüren und Front-Bumper-System sowie Verbindungselemente) in die Analyse mit einbezogen.

Damit ergeben sich genau 838 kg oder ca. 48 % als Masse bzw. Anteil des in der Untersuchung analysierten Teils.

In der detaillierten Gewichtsbalanzierung des Antriebsstrangs überrascht nicht, dass der Verbrennungsmo-



**Abbildung 11:** Gewichtsbalanzierung des Referenzfahrzeugs



**Abbildung 12:** Gewichtsbalanzierung Antriebsstrang und Fahrwerk

tor mit einem 59 %-Anteil dominiert, während auf Drehmomentwandler (Doppelkupplungsgetriebe) und Ausgleichs- sowie Verteilergetriebe je 16 % entfallen und für die vier Antriebswellen 9 % verbleiben (Abbildung 12, oben).

In der Gewichtsbalanzierung des Fahrwerks zeigt sich dagegen eine gleichmäßigere Verteilung: Räder und Reifen vereinnahmen 31 % auf sich, während Vorder- und Hinterachse sich 18 bzw. 22 % teilen, für das Bremssystem werden immerhin 21 % bilanziert und der verbleibende Anteil von 8 % auf das Lenksystem entfällt (Abbildung 12, unten).

Das Ergebnis der den Workshops vorausgeleiteten Vor-evaluierung ist in Abbildung 13 zu sehen: Deutlich wird,

dass einige gewichtige Fahrzeugkomponenten für eine Potenzialanalyse überhaupt nicht in Frage kommen, da hierfür die Massivumformverfahren technisch oder wirtschaftlich nicht angewendet werden können. Hierzu zählen in erster Linie Motorblock, Abgasanlage und hinterer Subframe. Für die übrigen Komponenten aus Antriebsstrang und Fahrwerk wird die Klassifizierung in

- Langprodukte,
- Potenzial zur Massivumformung,
- massivumgeformt und
- Verbindungselemente („Schrauben und Muttern“)

vorgenommen.

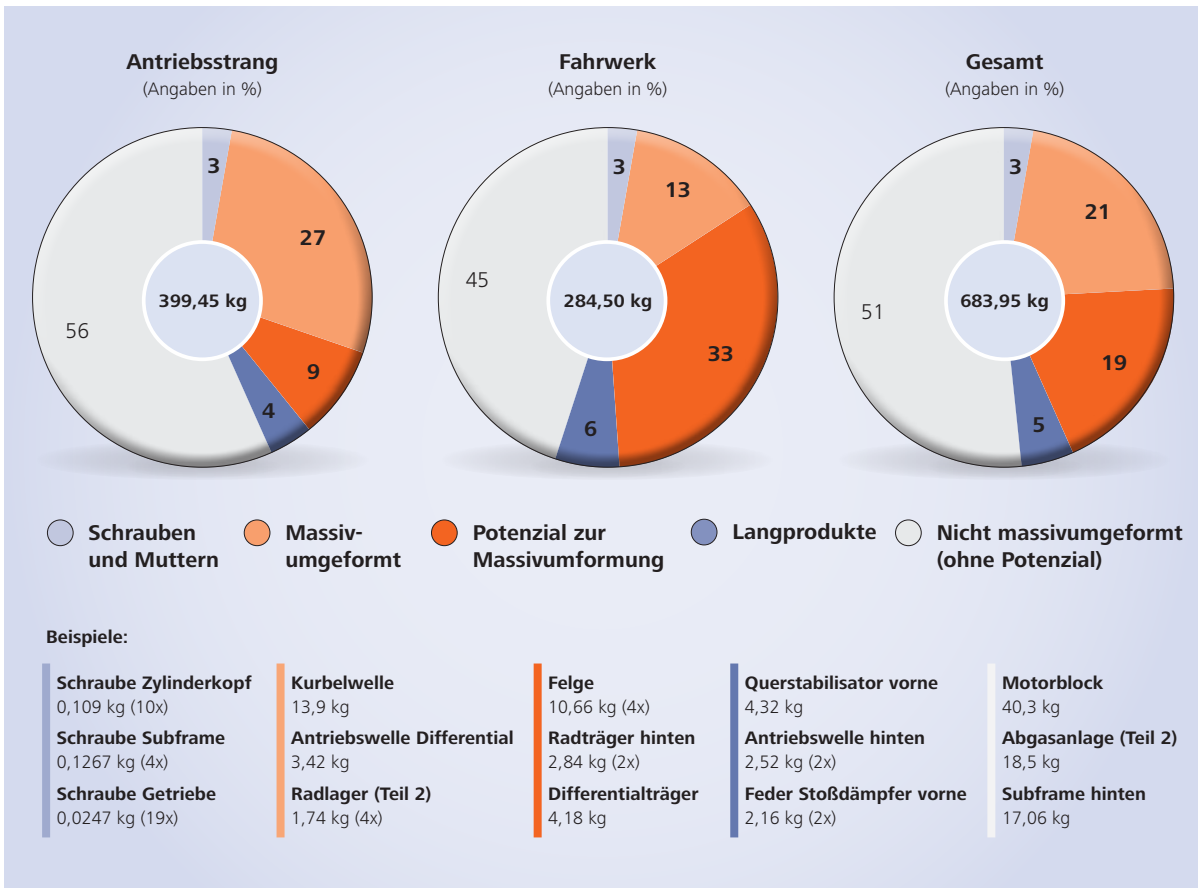


Abbildung 13: Anteil massivumgeformter Komponenten

Abbildung 14 verdeutlicht in einfacher Weise die Aufteilung der eingereichten Leichtbauiden und des ermittelten Leichtbaupotenzials auf Antriebsstrang, Fahrwerk und weitere Komponenten. Insgesamt wurde ein Potenzial von 42 kg ermittelt, was einem erstaunlichen

Anteil von über 5 % der analysierten Gesamtmasse von 838 kg entspricht.

Um diese Ideen zu priorisieren, wurden zwei Portfolios erstellt, die die Bewertung der Leichtbauiden aus

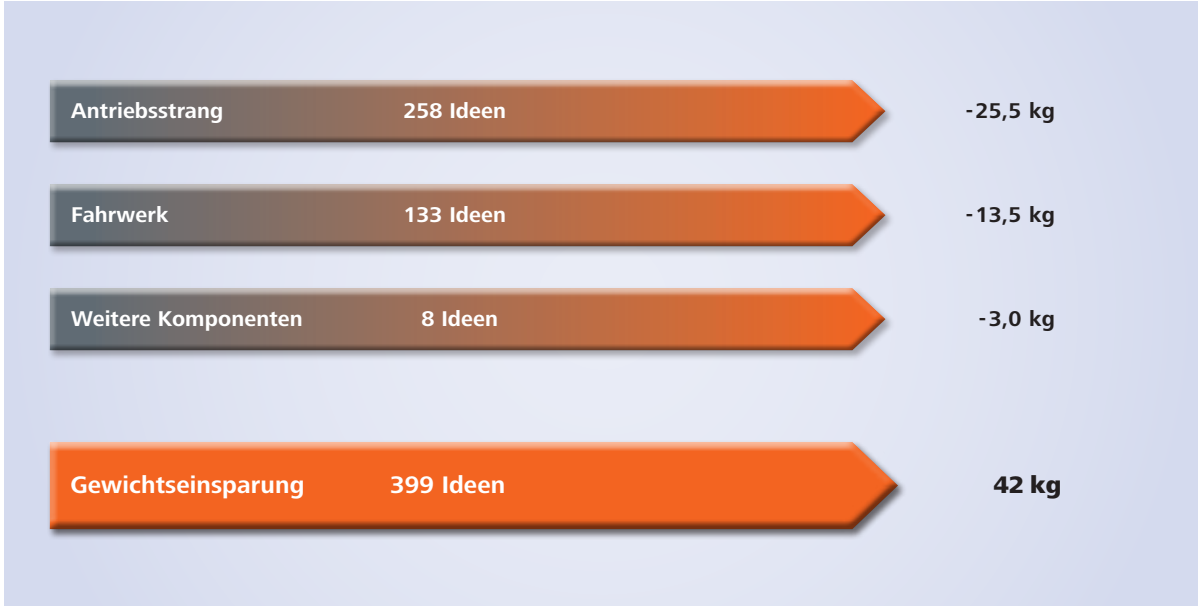


Abbildung 14: Auswertung und Einsparpotenzial der 399 Ideen

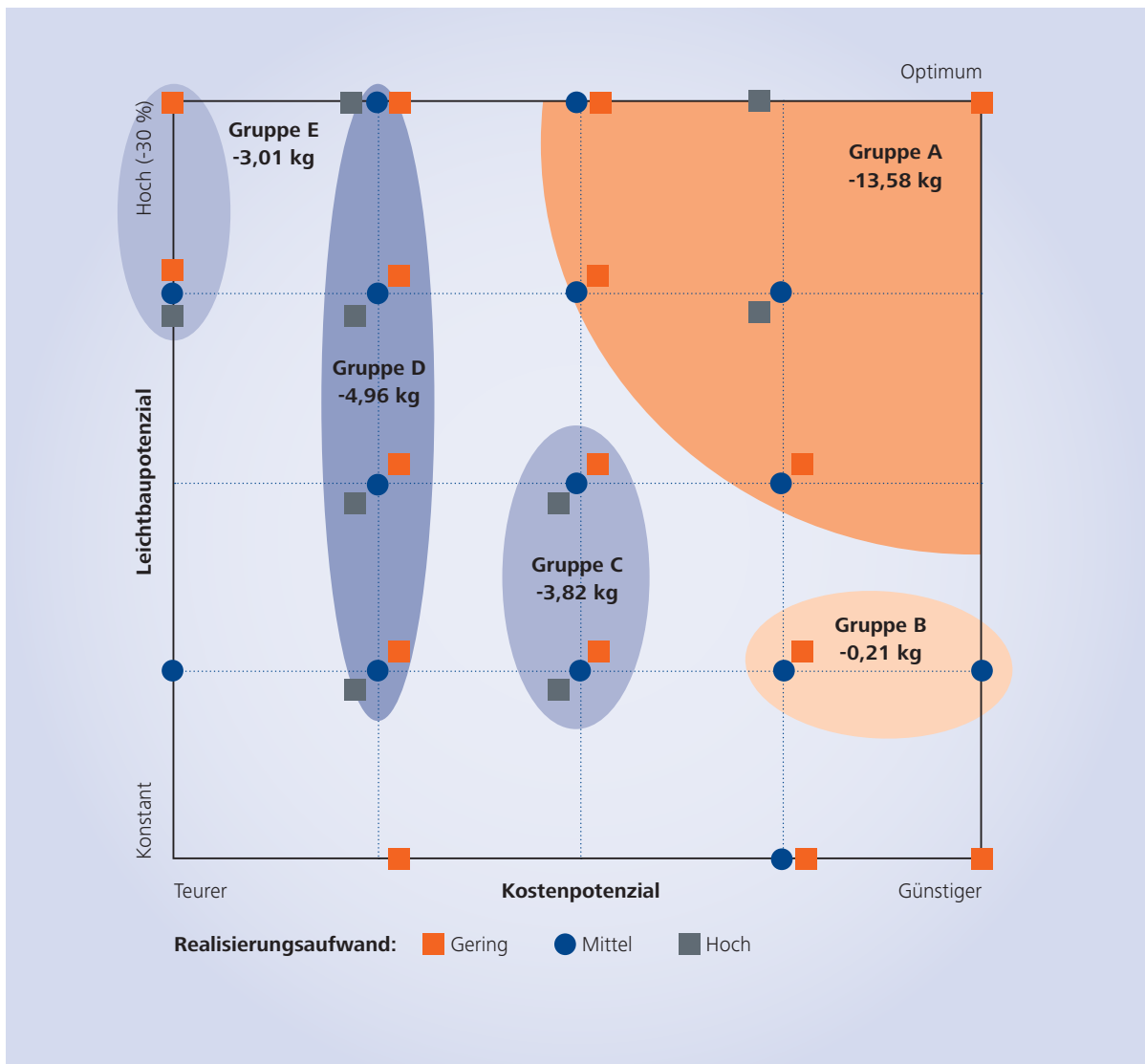


Abbildung 15: Portfolio zur Priorisierung der Leichtbau-Ideen im Antriebsstrang

den Workshops zum Antriebsstrang und Fahrwerk eingruppiert und eine sehr gute visuelle Unterstützung anbieten. Dabei ist jeweils das Kostenpotenzial gegen das Leichtbaupotenzial aufgetragen. Zusätzlich wird der eingeschätzte Realisierungsaufwand farblich unterschieden. Abbildung 15 und Abbildung 16 zeigen die beiden Portfolio-Darstellungen, wobei zu beachten ist, dass die Werte des Leichtbaupotenzials auf der Ordinate sinnvollerweise in Relation zum Ursprungswert „Bauteilgewicht“ dargestellt sind und dass sich bis auf wenige Ausnahmen hinter einem Symbol mindestens 5 und bis zu 36 Vorschläge verbergen.

Auf eine Darstellung des Portfolios für die weiteren Komponenten in dieser Form wird hier verzichtet, da sich der Fokus der Untersuchungen auf die Bereiche Antriebsstrang und Fahrwerk richtet.

Die Priorisierung macht deutlich, dass eine Gruppierung vorgenommen werden kann: Die Gruppe A stellt sich dabei als Optimum zwischen Potenzial und Kosten dar, hier liegt nach Einschätzung der Experten Gewichtsreduzierung bei gleichzeitiger Kostensenkung vor. Diese Ideen stellen sogenannte Quick-Wins dar. Maßnahmen aus der Gruppe E sind hingegen eher der vollständigen Ausreizung des Leichtbaupotenzials zuzurechnen, da der Umsetzungsaufwand auf der Entwicklungsseite allgemein kostenintensiver beurteilt wird.

In der kumulierenden Darstellung in Abbildung 17 kann man das Gesamtergebnis erkennen: Die vorgenannten Quick-Wins beschreiben den kostengünstigen Leichtbau, ein hohes Umsetzungspotenzial im Volumensegment ergibt eine Einsparung von bereits ca. 25 kg und mit dem Einsparpotenzial von bis zu 42 kg ist die volle Ausreizung des Leichtbaupotenzials beschrieben.

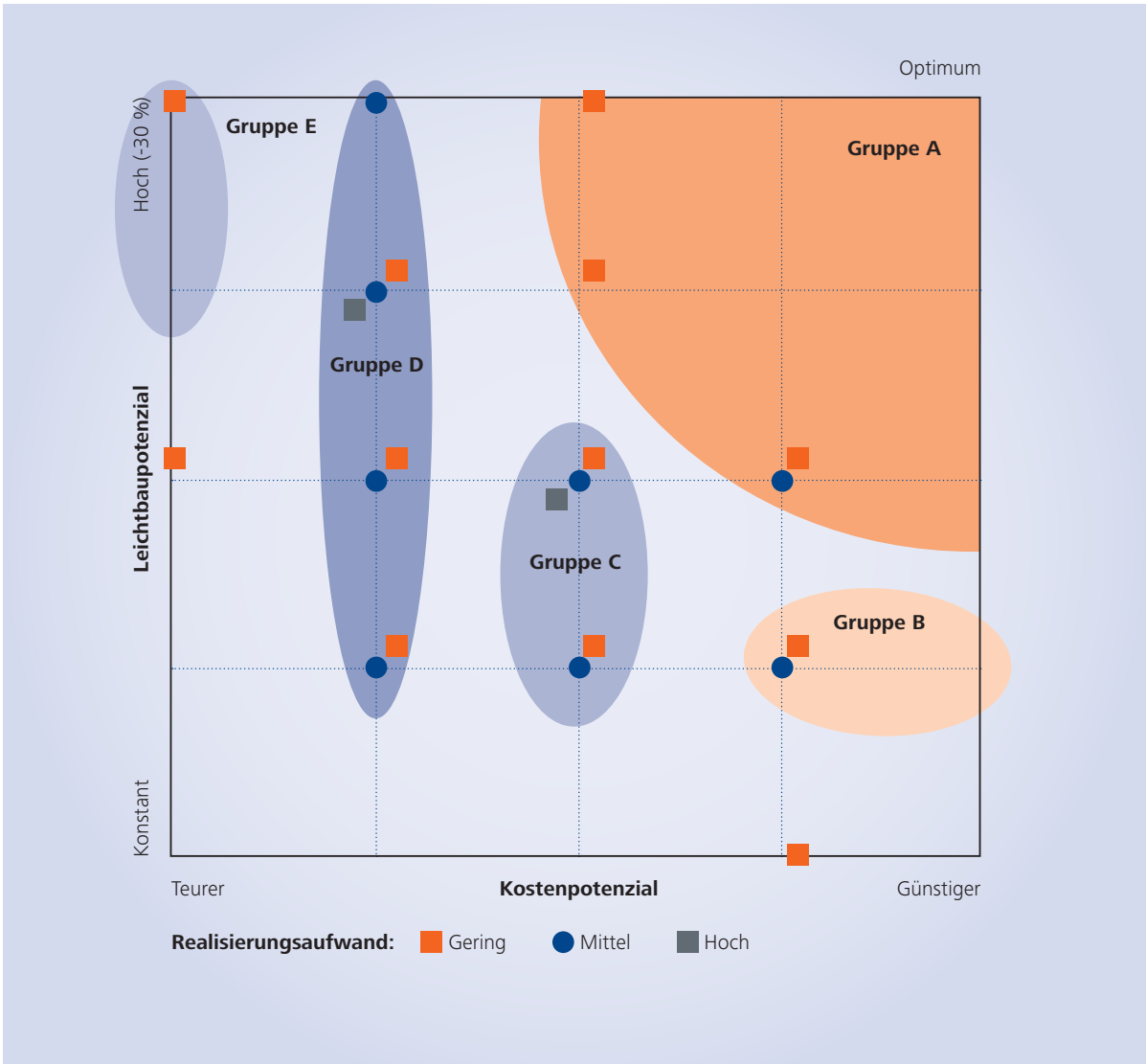


Abbildung 16: Portfolio zur Priorisierung der Leichtbau-Ideen im Fahrwerk

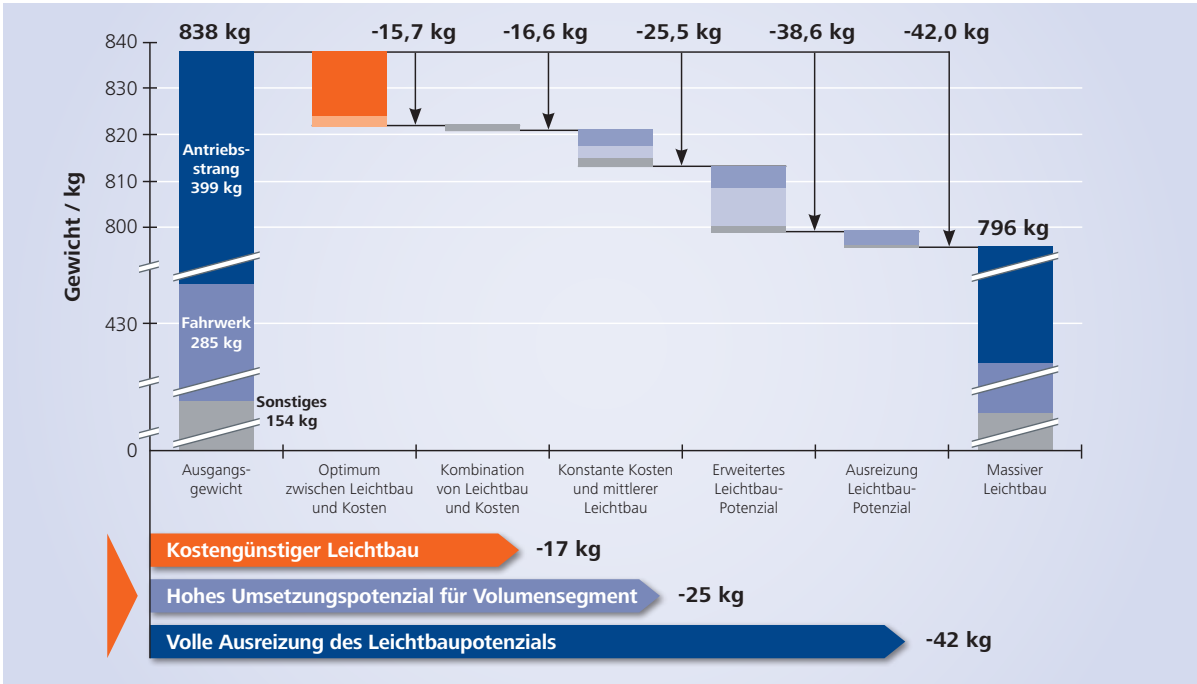


Abbildung 17: Kumulierte Darstellung der Leichtbaupotenziale nach Priorisierung

Die Massivumformung ist also in der Lage, den untersuchten Anteil von 838 kg am Fahrzeuggewicht durch deutliche Einsparung auf verbleibende 796 kg zu senken.

Eine weitere Darstellung der Leichtbauideen, kategorisiert nach

- stofflichem Leichtbau/  
alternativem Werkstoffeinsatz,
- konstruktivem und Fertigungsleichtbau sowie
- Konzeptleichtbau

wird in Abbildung 18 dargestellt.

Danach folgen ca. 33 % der Leichtbauideen dem stofflichen Leichtbau (Kapitel 2.2.1), der je nach Bauteil eine konstruktive und topologieoptimierte Neuauslegung des Bauteils erfordern kann. Die Studie kommt in dieser Hinsicht zur Empfehlung der weiteren Analyse von Leichtbaupotenzialen im Rahmen eines AiF-Forschungsprojekts (Kapitel 3).

Den Großteil von ca. 75 % der Leichtbauideen beinhaltet Potenzial, das aus der Kernexpertise der Projektteilnehmer resultiert, nämlich aus adaptierten Konstruktionen auf Basis der kontinuierlichen Entwicklung der großserientauglichen Massivumformung. Die Beispiele hierfür werden in Kapitel 2.2.2 näher erläutert. Hier

bestätigt sich als Empfehlung eine Intensivierung der Kommunikation zwischen Zulieferer und Kunden und aus Sicht des Fahrzeugherstellers eine frühzeitige Einbindung der Entwickler auf Seiten der Massivumformer mit dem Ziel der Etablierung dieser Ideen in der Serie.

Weitere ca. 6 % der Ideen beinhalten innovative Konzepte mit eher disruptivem Charakter (Kapitel 2.2.3), die somit die aufwendigste Verbesserung eines bestehenden Systems beschreiben. Die gesamte Neukonstruktion von Systemen stand nicht im Projektfokus, eine Empfehlung kann dennoch in Richtung einer weiteren Prüfung der technischen Realisierbarkeit ausgesprochen werden, welche wiederum ausschließlich durch die intensive Kommunikation auf hohem fachlichen Niveau zwischen Massivumformern und den Konstrukteuren bei den Kunden erreicht werden kann.

## 2.2 Beispiele für identifizierte Leichtbaupotenziale

Selbstverständlich ist es nur möglich, einen ausgewählten Teil der Leichtbauideen in dieser Schrift zu erläutern, im Folgenden sind daher ausgesuchte Lösungen vorge-



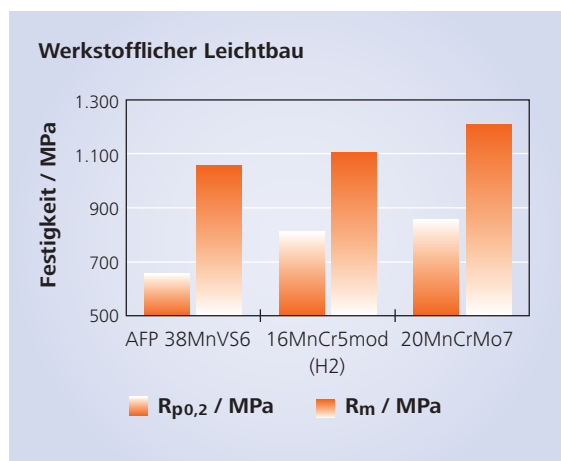
Abbildung 18: Auswertung der Potenzialideen nach Technologien

stellt, die aus der beschriebenen systematischen Analyse innerhalb der Workshops für die Bereiche Antrieb und Fahrwerk hervorgegangen sind. Hierbei ist eine Einteilung in ein werkstoffliches sowie konstruktives und fertigungstechnisches Leichtbaupotenzial sinnvoll. Darüber hinaus werden aber auch Konzept-Ideen dargestellt, die in einer innovativen Form antreten, heutige Lösungen zu substituieren.

Es handelt sich bei den vorgestellten Ideen nicht um bereits bis zur Serienreife entwickelte Lösungen. Zum einen Teil ergeben sich erste skizzenartige Vorschläge, denen weitere Untersuchungen durch Einsatz moderner Berechnungsverfahren aus dem Bereich des Simultaneous Engineering folgen müssen. Zum anderen Teil handelt es sich um Konstruktionsvorschläge, die bereits für vergleichbare Aufgabenstellungen bei den Entwicklern der Massivumformer durchgeführt wurden. Nicht auszuschließen ist ferner, dass einigen Vorschlägen systemtechnische Anforderungen entgegenstehen, die dem Teilnehmerkreis der Potenzialstudie unbekannt sind. Die 3.500 Bauteile stehen demnach stellvertretend für die Komponenten vergleichbarer Fahrzeugtypen, um zu Denkanstößen zu motivieren: Es sind konventionelle Fertigungstechniken zu hinterfragen und alternative werkstoffliche sowie konstruktive Möglichkeiten aufzuzeigen, was – wie im Folgenden dargestellt – nachweislich gelungen ist.

### 2.2.1 Potenziale im stofflichen Leichtbau

Ein erster Gedanke für Überlegungen des „leicht Bauens“ geht verständlicherweise in Richtung der Substitution eines vorhandenen Werkstoffs höheren



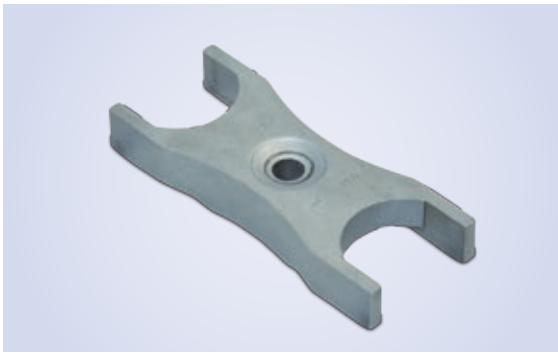
**Abbildung 19:** Vergleich der Belastbarkeit von AFP- und HDB-Stählen

spezifischen Gewichts durch einen mit geringerem spezifischen Gewicht. Dies führt dazu, dass in der öffentlichen Wahrnehmung die metallischen Werkstoffe Aluminium, Magnesium und Titan, andererseits carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK) kursieren. Zahlreiche Beispiele, vorrangig aus der Fahrwerkstechnik, verdeutlichen z. B. den zunehmenden Anteil von Komponenten, die aus Aluminiumlegierungen umgeformt werden [11], [16]. Gegen diese Konkurrenz fühlen sich die Stähle für die Massivumformung jedoch durchaus gewappnet. Die Argumente hierfür sind beste mechanische Eigenschaften und beherrschbarer Kostenaufwand. Des Weiteren beweisen sich die zahlreichen neuen Entwicklungen, z. B. kostengünstige höherfeste Güten im Bereich der Stahlwerkstoffe für Schmiedeteile, die die Stahlhersteller in der Initiative Massiver Leichtbau mit in das Projekt und somit in die Workshops einbringen, auf der Waagschale.

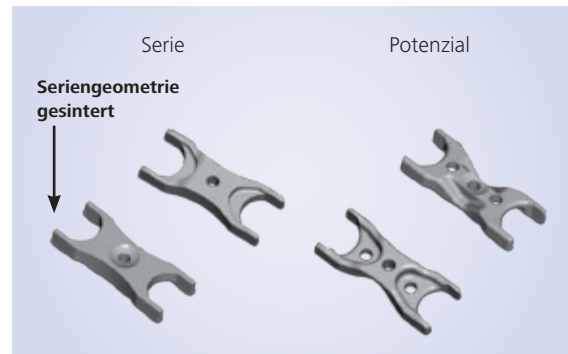
Gerade die Anforderungen an die Bauteile aus den im Projekt untersuchten Bereichen Antriebsstrang und Fahrwerk setzen höhere mechanische Kennwerte voraus. Dies hat zur Folge, dass häufig auf Vergütungsstähle statt auf kostengünstige AFP-Stähle zurückgegriffen werden muss. Sowohl durch höhere Legierungskosten als auch durch Kosten für zusätzliche Wärmebehandlung und Rissprüfung müssen dabei erhebliche preisliche und prozesstechnische Nachteile in Kauf genommen werden. Diese Lücke wird gegenwärtig durch die Entwicklung hochfester duktiler bainitischer (HDB)-Stähle geschlossen [17], die ohne zusätzliche Vergütungsbehandlung verarbeitet werden, deren mechanische Kennwerte aber die Werte der Vergütungsstähle erreichen. Die HDB-Stähle orientieren sich hinsichtlich der Verarbeitungskosten also an den kostengünstigen AFP-Stählen.

Schon auf dem Markt verfügbar ist mit 20MnCrMo7 [18] eine Stahlgüte, bei der durch kontrollierte Abkühlung von Schmiedetemperatur ein bainitisches Gefüge ausgebildet wird. Als zweites Beispiel ist die Güte 16MnCr5mod (H2) zu nennen, hervorgegangen aus einer kooperativen Entwicklungsarbeit zwischen zwei Herstellern aus der Stahl- und Massivumformindustrie [19], [20]. Abbildung 19 verdeutlicht die Kennwerte dieser beiden Stähle im Vergleich zum AFP-Stahl 38MnVS6.

Beiden Stählen gemeinsam ist also die direkte Eigenschaftsbildung aus der Warmumformung heraus, die



**Abbildung 20:** Spannpratze für Injektoren



**Abbildung 21:** Spannpratze für Injektoren – Einsparpotenzial bei Verwendung eines höherfesten Werkstoffs und nachfolgenden Designanpassungen



**Abbildung 22:** links – Antriebswelle vorne, rechts – Koppelstange vorne

jedoch sowohl einen sehr exakten Prozessverlauf während der Umformung selbst als auch ganz gezielt geregelte Abkühlgeschwindigkeiten nach der Warmumformung erfordern [21].

Die Nutzung dieser verbesserten Materialeigenschaften spielt in zahlreichen Beispielen der Leichtbauuntersuchung eine Rolle. Die grundsätzliche Optimierungsüberlegung ist dabei immer eine – oft lokale – Reduzierung der Materialstärke bzw. des Materialeinsatzes durch die vorliegende höhere Festigkeit, die nach Umstellung auf einen höherfesten Stahl vorliegt.

Aus dem Bereich Motor kann dies z. B. für die in Abbildung 20 dargestellte Spannpratze für die Injektoren der Einspritzanlage angeführt werden: Als Schmiedeteil aufgrund des Einsatzes eines höherfesten Stahls gestaltungsoptimiert ausgelegt, wird ein Potenzial von ca. 20 % ausgewiesen (Abbildung 21).

Zwei Bauteile, die ebenfalls mit dieser Leichtbauidee beaufschlagt sind, stellen stellvertretend aus dem Antriebsstrang die vorderen Antriebswellen mit einer

möglichen Gewichtseinsparung von ebenfalls 20 % dar (Abbildung 22, links). Für den Bereich des Fahrwerks stehen stellvertretend die Koppelstangen mit einem eingeschätzten Potenzial von 5 % (Abbildung 22, rechts). Letzterer Vorschlag nennt beispielsweise die Substitution des bisherigen ausscheidungshärtenden ferritisch-perlitischen Kaltstauchstahls durch einen HDB-Stahl.



**Abbildung 23:** Kugelkopf der Anhängerkupplung





**Abbildung 24:** Kurbelwelle des Referenzfahrzeugs

Ein weiteres Beispiel für eine leichtere Dimensionierung infolge der Werkstoffumstellung auf einen festeren und gleichzeitig zäheren Stahl stellt die Anhängerkupplung als Vertreter der Anbauteile dar. Für die in Abbildung 23 wiedergegebene Anhängerkupplung wird dadurch eine mögliche Gewichtsreduzierung von 10 % ermittelt.

Ein bislang hier noch nicht vorgestelltes Einsparungspotenzial ergibt sich durch den Einsatz von Verbindungselementen mit höherer Festigkeitsklasse und wechselwirkender kleinerer Dimensionierung. Aus der Studie geht die Idee hervor, Schrauben zur Verbindung von Pleueldeckel und -schaft von der bisherigen Dimensionierung M8 auf M7 zu verringern und derart weitere Überlegungen zur Gewichtseinsparung des geschmiedeten Pleuels zu ermöglichen (Kapitel 2.2.2). Dadurch ergeben sich zudem sekundäre Leichtbaupotenziale an Kurbelwelle und sonstigen Masseausgleichssystemen.

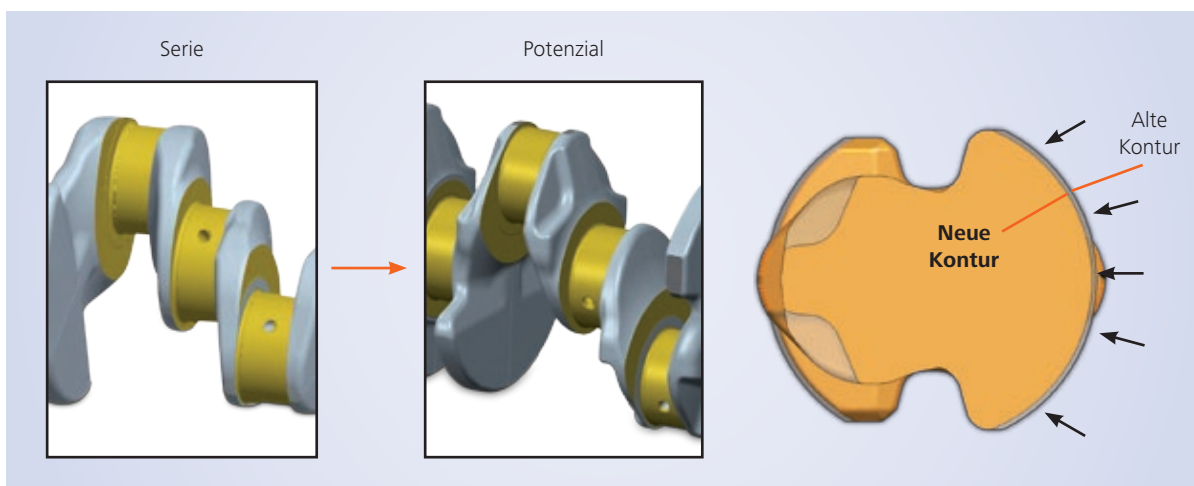
Insbesondere unter Berücksichtigung der großen Anzahl an Verbindungselementen im Fahrzeug summiert sich die im Einzelfall sicherlich geringe Einsparung zu einem bemerkenswerten Einsparpotenzial und führt die Überlegung fort, statt der anzuschraubenden Komponenten die Festigkeit der Verbindungselemente zur auslegungbestimmenden Größe zu erheben.

### 2.2.2 Potenziale im konstruktiven und Fertigungsleichtbau

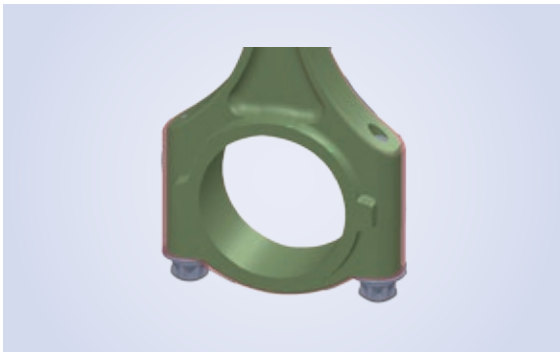
Durch konsequente Anwendung und Verfolgung der gängigen FE-Methoden bereits in einer frühzeitigen Phase der Entwicklung können zusätzliche Leichtbaupotenziale in konstruktiver und fertigungstechnischer Hinsicht erhoben werden, wie folgende Beispiele aus der Potenzialanalyse beweisen.

Die ausgebaute geschmiedete Kurbelwelle als anspruchsvolles Bauteil des Motors ist in Abbildung 24 gezeigt.

Durch geometrische Optimierungen an der Kurbelwelle mit einer ermittelten Masse von 13,9 kg kann Material im gekennzeichneten Bereich der Hublager durch Einschmieden von Einschnürungen reduziert werden (Abbildung 25, links und mitte). Aus einer nachfolgenden überschlägigen Wuchtberechnung resultiert die zusätzliche Werkstoffeinsparung an den Gegengewichten (Abbildung 25, rechts).



**Abbildung 25:** Kurbelwelle – Gegenüberstellung des Serienzustands zum Leichtbauvorschlag



**Abbildung 26:** Pleuel – Geometrisches Einsparpotenzial durch Einsatz festerer Schrauben und Reduzierung des Schraubendurchmessers

Das bereits im vorangegangenen Kapitel vorgestellte Leichtbaupotenzial durch Einsatz festerer Verbindungselemente für die Lagerschalen des Pleuels kann für eine geometrische Änderung der Pleuel genutzt werden: Unter Beibehaltung der benötigten Wandstärken kann nun das Pleuel (Abbildung 26) schmäler und dünner ausgeführt werden. Zudem ergeben sich gerade bei solchen Gewichtsminierungen an bewegten Massen größere Sekundäreffekte im Motor, die wiederum weiteres Verbesserungspotenzial an Lagern oder Ausgleichswellen anstoßen.



**Abbildung 27:** Common-Rail-Leiste



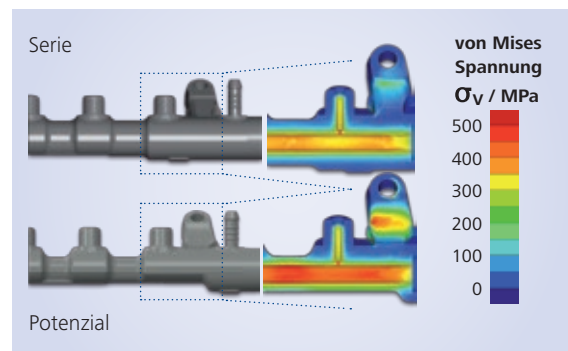
**Abbildung 29:** Zahnrad 5. Gang der Antriebswelle

Berücksichtigt man diese Sekundäreffekte, errechnet sich das optimale Einsparpotenzial zu ca. 1 kg.

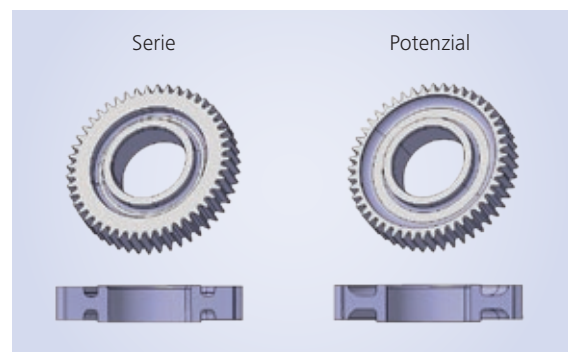
Weiteres Leichtbaupotenzial erschließt sich ebenfalls, wenn die Formgebungsmöglichkeiten der Schmiedetechnik voll ausgenutzt werden. In den Abbildungen 27 und 28 sind die analysierte Common-Rail-Leiste des Referenzfahrzeugs und ein Vorschlag zur Reduzierung der Bauteilquerschnitte gegenübergestellt.

Zwingend notwendig ist bei diesem Vorschlag, die in [22] beschriebenen Erkenntnisse zu berücksichtigen, die große Stauchungen des Stahls ohne Abfall der Werkstoffbelastbarkeit zulassen. Zusätzlich muss der Einsatz eines schwefelarmen Einsatz- oder AFP-Stahls die Materialeinsparung unterstützen. Wie in der Gegenüberstellung von Serienzustand und Potenzialvorschlag zu erkennen, ist der Vergleichsspannungszustand fast identisch.

Gelten die zuletzt vorgestellten Optimierungspotenziale für Elemente des Motors im Referenzfahrzeug, widmen sich die folgenden Ideen den Komponenten in Getriebe oder Verteilergetriebe.



**Abbildung 28:** Common-Rail-Leiste: Gegenüberstellung der Geometrien



**Abbildung 30:** Gangrad 5.Gang: Gegenüberstellung des ursprünglichen mit geändertem Profil



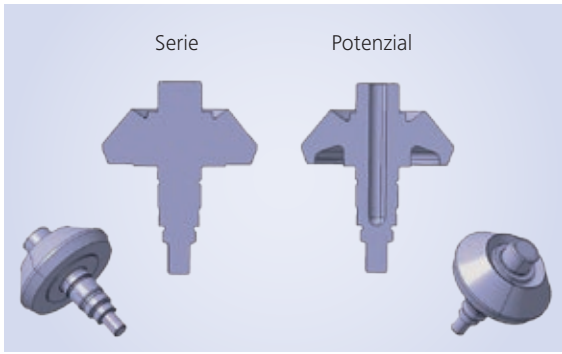
**Abbildung 31:** Stirnradwelle des Verteilergetriebes – Realbauteil im ausgebauten Zustand

Im ersten Beispiel spielt die Erkenntnis eine Rolle, dass bei balligen und mittentragenden Verzahnungen, wie sie hier vorliegen, die höchste Biegebelastung in der Zahnmitte liegt und daher das Material unter den jeweils äußeren Bereichen minimiert werden kann. Die hier gezeigte Komponente des Gangrads für den 5. Gang auf der Antriebswelle legt in Serie eine Masse von 0,41 kg an den Tag (Abbildung 29). Diese kann, vorbehaltlich weiterer vorzunehmender Festigkeitsrechnungen, um 20 % reduziert werden. In Abbildung 30 ist das gewichtsoptimierte Design in einer gekippten Draufsicht und im Querschnitt wiedergegeben.

Als zweites Beispiel zeigt Abbildung 31 die Stirnradwelle im Verteilergetriebe mit einem Gewicht von 1,38 kg. Das Leichtbaupotenzial wird hier unterhalb der Hypoidverzahnung, d. h. im Übergangsbereich zur Welle, identifiziert und mit etwa 20 % beziffert (Abbildung 32). Entsprechend kann dort schon im Schmiedeprozess



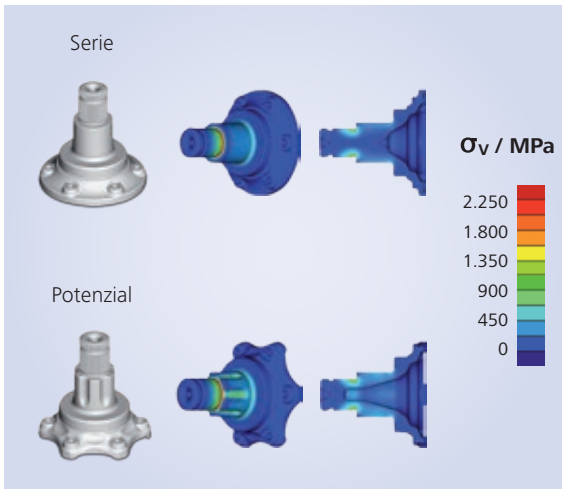
**Abbildung 33:** Anschlussflansch Antriebswelle hinten rechts



**Abbildung 32:** Stirnradwelle des Verteilergetriebes – Gegenüberstellung des Serienzustands zum Leichtbauvorschlag

eine ringnutartige Aussparung eingebracht werden, die je nach Wuchtanforderung nicht mehr überdreht werden muss. Des Weiteren kann eine Bohrung im Wellenzentrum eingebracht werden. Letztere kann in dieser Form umformtechnisch nicht wirtschaftlich erzeugt werden. Dadurch ist zwar ein kleiner zusätzlicher Aufwand in der Weichzerspannung notwendig, die Relation „Kosten pro kg Umformbauteil“ dürfte aber trotzdem günstiger als im Serienzustand sein [23].

Im weiteren Verlauf der Kraftübertragung hinter dem Verteilergetriebe (Differenzial) finden sich Anschlussflansche zur Anbindung der Antriebswellen. Die hier vorgefundene Ausgangsmasse beträgt 1,2 kg für den linken und 1,9 kg für den rechten Flansch (Abbildung 33). Als folgendes Beispiel ist ein Leichtbauvorschlag für die Anschlussflansche des hinteren Antriebs aufgezeigt. Das Potenzial setzt sich aus mehreren Vorschlägen zusammen: Am auffälligsten ist dabei der Verzicht auf eine ro-



**Abbildung 34:** Anschlussflansch der Antriebswelle hinten – Gegenüberstellung des Serienzustands zum Leichtbauvorschlag



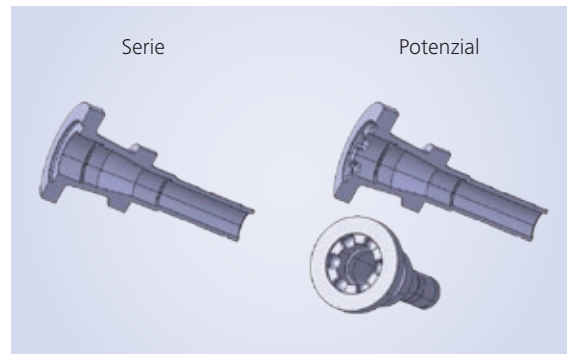
**Abbildung 35:** Antriebswelle – Realbauteil im ausgebauten Zustand

tationssymmetrische Kontur, da die Kontur zwischen den Befestigungspunkten stark eingeschnürt werden kann. Ferner wird die zylindrische Form des Schafts durch radial eingeschmiedete Taschen unterbrochen. Eine intensive Materialeinsparung ergibt sich nicht zuletzt durch eine kegelartige Innenkontur, die deutlich tiefer als in der Serie angelegt wird. Aus ersten Untersuchungen geht aber auch hervor, dass die Verdrehsteifigkeit bei dieser Lösung um ca. 14 % sinkt. Die vorgestellten Maßnahmen summieren sich zu einem Einsparpotenzial von etwa 0,21 kg, was beim linken Flansch eine Einsparung von 21 % ausmacht (Abbildung 34).

Bei der in Abbildung 35 wiedergegebenen Antriebswelle mit einer Masse von 1,34 kg wurde durch ein gewichtsoptimiertes Design für die Umformung in Form einer Materialentnahme im Übergang von Hohlwelle zum Flansch, wie in Abbildung 36 zu erkennen, ein Potenzial von rund 5 % ausgemacht.



**Abbildung 37:** Radlager vorne links im ausgebauten Zustand

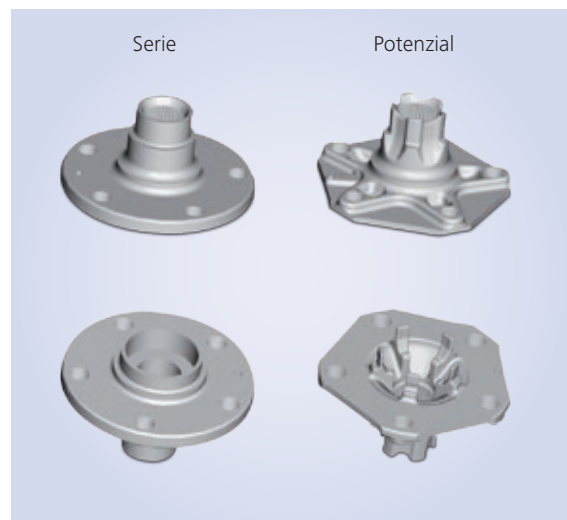


**Abbildung 36:** Antriebswelle – Gegenüberstellung des Serienzustands zum Leichtbauvorschlag und Realbauteil im ausgebauten Zustand

Im untersuchten Bereich des Fahrwerks wiederum wurde eine große Anzahl an Leichtbauideen für die vier im Fahrzeug verbauten Radlager (Abbildung 37) gefunden. Dies verdeutlicht die große Bedeutung dieser Bauteile, deutet gleichzeitig aber darauf hin, dass diese Bauteile bislang als rotationssymmetrische Teile eher unter wirtschaftlichen Prioritäten denn unter Leichtbauaspekten ausgelegt wurden.

Sie bringen eine Gesamtmasse von immerhin 6,96 kg an das Fahrzeug und fordern daher zur Ausschöpfung des Leichtbaupotenzials heraus.

Die hier vorgestellte Lösung darf als recht ambitioniert gelten und stellt auch die Verfahrenstechniker vor eine Herausforderung: Zunächst wird der rotationssymmetrische Flansch durch Einschnürungen in eine pentagonale Außenkontur überführt. Darüber hinaus verbleiben für die Befestigungsaufgabe der Felgen fünf einzelne

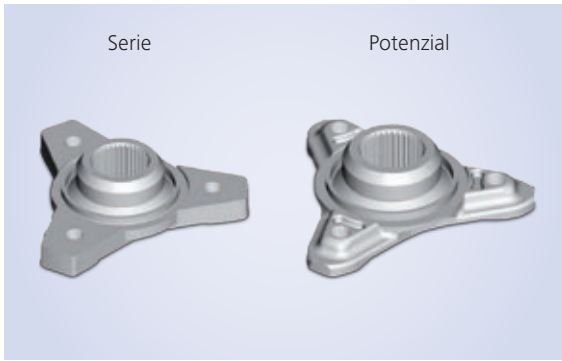


**Abbildung 38:** Radlager – Gegenüberstellung des Serienzustands zum Leichtbauvorschlag



**Abbildung 39:** Anschlussflansch der Kardanwelle im ausgebauten Zustand

Stege in der erforderlichen Stärke, zwischen denen das Material deutlich dünner als in der Serie gefertigt wird. Des Weiteren ist der Lagersitz der Nabe unterbrochen worden und auf der dem Lagerzapfen abgewandten Seite wird eine steifigkeitsfördernde Innenkontur vorgeschlagen und darüber hinaus der bisherige Zentriering für die Felgenbohrung mehrfach unterbrochen, was

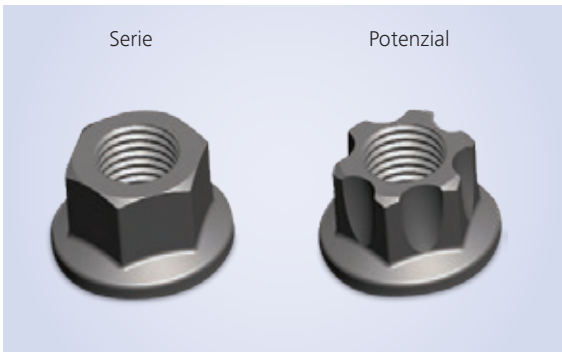


**Abbildung 40:** Anschlussflansch der Kardanwelle – Gegenüberstellung des Serienzustands zum Leichtbauvorschlag

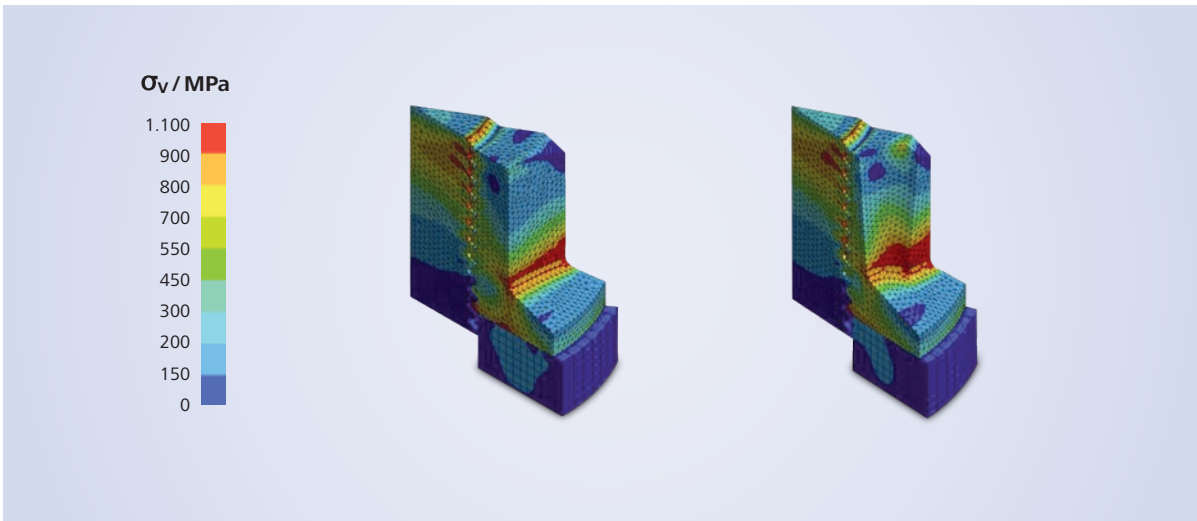
das Bauteil insgesamt schmiedetechnisch wesentlich anspruchsvoller macht (Abbildung 38). Das Gesamteinsparpotenzial ist mit 2,88 kg ermittelt worden.

Gleichartige Überlegungen führen zum nachfolgenden Leichtbauvorschlag für die Anschlussflansche der Kardanwelle (Abbildung 39), die mit je 0,56 kg im Referenzfahrzeug zu finden sind: Durch Materialreduzierung im Bereich der Schraubaufnahmen und auf der der Nabe gegenüberliegenden Seite, wie in Abbildung 40 dargestellt, wird ein Einsparpotenzial von ca. 20 % ermittelt.

Es ist naheliegend, dass in der Leichtbauanalyse die vermeintlich komplexen Komponenten aus Antriebsstrang und Fahrwerk den größeren Anteil am Potenzial ausmachen, wofür auch die vorangegangenen Beispiele sprechen.



**Abbildung 41:** Sechskantmutter mit Flansch vor und nach der Gewichtsoptimierung



**Abbildung 42:** Vergleichsspannungszustand  $\sigma_v$  (von Mises) anhand eines Prüflastversuchs nach DIN EN ISO 898-2 links: Sechskantmutter, rechts: Leichtbaumutter, jeweils mit Flansch, M 14 x 1,5

Bei der weiteren Betrachtung der zahlreich verbauten und als unverzichtbar geltenden Verbindungselemente wird eine weitere einschneidende Idee angeführt: Die geometrische Form einer Sechskantmutter mit Flansch wird durch Materialeinsparung an den Flanken unter Nutzung der Gestaltungsmöglichkeiten der Kaltmassivumformung grundlegend verändert (Abbildung 41).

Diese Maßnahme erfordert Festigkeitsnachweise in Simulation und Versuch. Abbildung 42 verdeutlicht beispielhaft die Ergebnisse der orts aufgelösten numerischen Auslegung einer Sechskant- und einer Leichtbaumutter mit Flansch anhand eines Prüflastversuchs nach DIN EN ISO 898-2 [24].

Werden die Ergebnisse der strukturmechanischen Simulationen für die Referenzgeometrie mit den Ergebnissen für die Leichtbaugeometrie verglichen, zeigen sich sowohl unter Betrachtung des Vergleichsspannungszustandes (von Mises) als auch der plastischen Vergleichsdehnung analoge Ergebnisse. Somit wird aufgezeigt, dass es prinzipiell möglich ist, unter Einhaltung gegebener strukturmechanischer Randbedingungen eine Massenminimierung durch die definierte Reduktion von Teilvolumina, die nicht unmittelbar zur Tragfähigkeit und zur mechanischen Funktion beitragen, zu vollziehen [25].

Die Entwicklung dieser patentierten Leichtbaumutter wird mit einer Massenreduzierung von bis zu 20 % gegenüber konventionellen Norm-Muttern unter nachgewiesener Gewährleistung der Verschraubung mit konventioneller Schraubtechnik und dem Entfall der Wärmebehandlung (Vergüten) zur Erzielung einer Festigkeitsklasse „10“ gemäß DIN EN ISO 898-2 angegeben [26].

Absolut gesehen beträgt die Einsparung am Einzelteil nur wenige Gramm, durch die große Anzahl der eingebauten Verbindungselemente wird das Potenzial jedoch sehr interessant.

### 2.2.3 Potenziale im Konzeptleichtbau

Potenzialen durch neue Konzepte stehen grundsätzlich größere Überlegungen zur Umsetzung gegenüber, da sie als sogenannte disruptive Technologien etablierten Produkten anfangs unterlegen sind. Gerade durch die Ausnutzung des Vorteils des geringeren Masseinsatzes sind sie jedoch in der Lage, zukünftig eine starke Resonanz zu erfahren.

Ein Beispiel hierfür ist der in Abbildung 43 dargestellte Leichtbauvorschlag, dessen Umsetzung noch verifiziert werden muss. Der Vorschlag sieht vor, dass die bisher geschraubte Flanschverbindung zur Drehmomentüber-

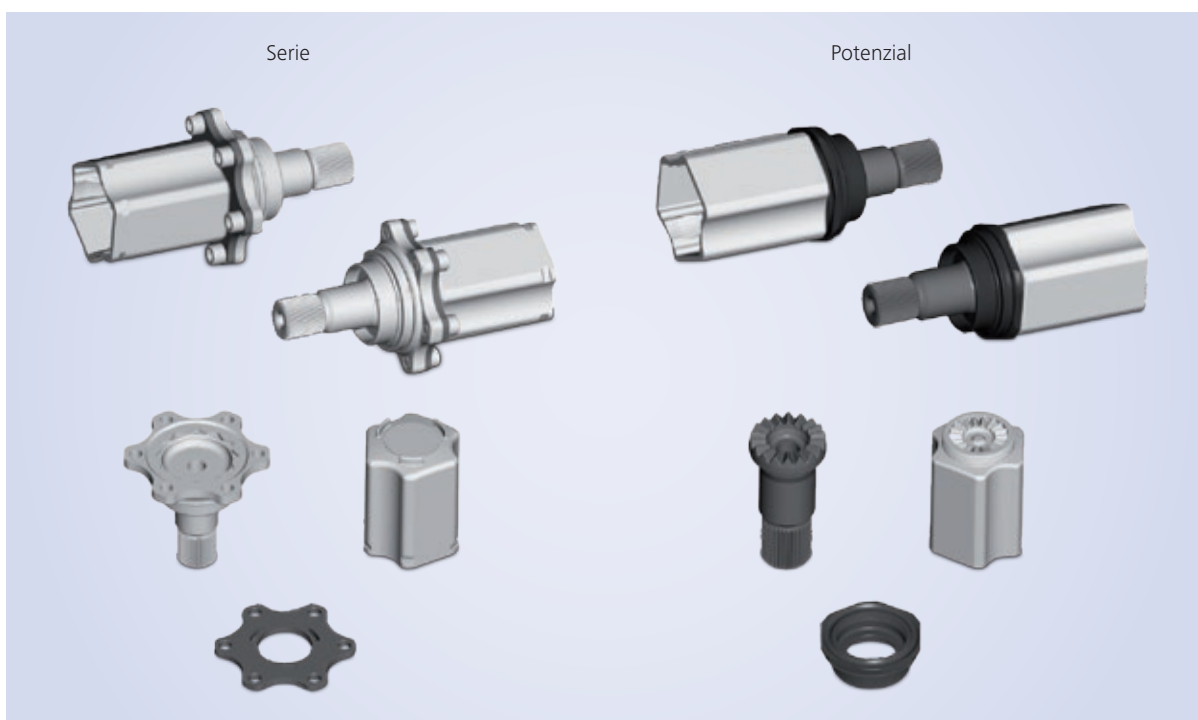


Abbildung 43: Konzeptleichtbau im Antriebsstrang

tragung durch eine sehr tragfähige Hirth-Verzahnungs-paarung realisiert wird, die sowohl am Ausgangsflansch wie auch an der Tripode einbaufertig durch Umformung hergestellt werden kann. Gut zu erkennen ist auch die Substitution der bislang sechs Verbindungsschrauben durch eine einzige Überwurfmutter. Dieser Vorschlag kann damit nicht nur zu einer Reduzierung des Gewichts um 828 g oder 25 %, sondern auch zum Wegfall des Schweißprozesses und zu einer Verringerung des Aufwands in der Fahrzeugmontage führen.

## 2.3 Zusammenfassung und Fazit

In dem bislang größten vorwettbewerblichen Gemeinschaftsprojekt „Initiative Massiver Leichtbau“ haben 15 Unternehmen der Massivumformung zusammen mit 9 Stahlherstellern eine Leichtbaupotenzialstudie durchgeführt. Ziel war das Aufzeigen und die detailliertere Beschreibung von Leichtbaupotenzialen massivumgeformter Komponenten und die Umsetzung in konkrete Leichtbauvorschläge für einen PKW.

Inhalte dieser Studie waren

- eine Umfeldanalyse zum Überblick über vorangegangene Untersuchungen und Veröffentlichungen zum Thema Leichtbau,
- ein Benchmarking der Komponenten eines Referenzfahrzeugs, welches zu diesem Zweck systematisch zerlegt, erfasst und dokumentiert wurde,

- die Identifizierung und Dokumentation von Leichtbauideen mit Hilfe von drei unabhängig voneinander durchgeführten Hands-On-Workshops und
- das Ableiten von Leichtbaupotenzialen und die Umsetzung in konkretisierte Leichtbauvorschläge.

Aus diesem Projekt sind insgesamt 399 formulierte Vorschläge mit einem Gesamtpotenzial von über 42 kg hervorgegangen, die einerseits aus den untersuchten Baugruppen

- Antriebsstrang,
- Fahrwerk und
- weiteren Komponenten

hervorgehen und bezüglich der unterschiedlichen Disziplinen in der Fertigung in

- werkstofflichen Leichtbau,
- konstruktiven und fertigungstechnischen Leichtbau und
- Konzept-Leichtbau

zu untergliedern sind.

Zudem wurden zu jedem der Vorschläge Kostenimpact und Umsetzungsaufwand abgeschätzt, was letztendlich in eine Klassifizierung des übergeordneten Umsetzungspotenzials mündet. Anhand dieser mehrdimensionalen Betrachtungsweise können diese Ergebnisse verwendet werden und stellen einen hohen Nutzen für weitere bilaterale Projekte zwischen Werkstoff- und Komponentenzulieferer mit dem Automobilkunden dar.

# Übertragung auf Entwicklungsprozesse und Forschungsvorhaben

## 3.1 Übertragung auf Entwicklungsprozesse

Es spricht selbstredend für die bereits vor Durchführung der Potenzialstudie vorhandene Entwicklungskompetenz der teilnehmenden Unternehmen aus Massivumformung und Stahlerzeugung, dass ein Großteil der gewonnenen Erkenntnisse nicht als grundlegend neu gelten darf. Im Gegenteil: Es wurden zum Teil bereits veröffentlichte Entwicklungen oder gar patentierte Verfahren in die Studie eingebracht. Die teilnehmenden Experten gestalteten durch ihre weiteren Ideen, die nur durch fachübergreifende Überlegungen zustande kommen können, das Ergebnis von insgesamt 42 kg möglichem Einsparpotenzial am Referenzfahrzeug, indem sie die hohe Fachkompetenz in den geforderten Disziplinen der metallischen Werkstoffe sowie der Umformtechnologie und Wärmebehandlung in die Ideen umsetzen.

Das Weiterarbeiten mit den in der Initiative gemeinsam interdisziplinär entwickelten Ideen und das Übertragen auf weitere Herausforderungen, die sich mit jeder neuen Anfrage der Kunden an die jeweiligen Zulieferer stellt, muss hier als das Hauptergebnis der Zusammenarbeit in der Potenzialstudie herausgestellt werden. Insbesondere haben diejenigen Unternehmen profitiert, die sich bislang weniger intensiv mit der werkstofflichen Optimierung ihrer Produkte beschäftigt haben.

Alle Beteiligten nehmen mit, dass sie durch das Zerlegen des Fahrzeugs und die Eindrücke der sehr haptischen Hands-On-Workshops einen vertieften Einblick in den aktuellen Stand der Technik gewonnen haben. Dadurch wird den Beteiligten vielfach verdeutlicht, in welchen Anwendungen der Automobilkunde die Verfahren der Massivumformung eingesetzt oder aber vielfach auch noch nicht identifiziert hat.

Schließlich kann zurecht behauptet werden, dass der vor längerer Zeit begonnene Umdenkprozess weiterge-

führt wird: Zusammenarbeit, auch mit wissenschaftlichen Instituten und Verbänden, wird deutlich positiver empfunden. Entwicklungszeit kann durch frühzeitige Kooperation reduziert werden und kostentreibende, weil ineffiziente Entwicklungsschleifen sollen mit Stahlherstellern und Massivumformern generell vermieden werden.

## 3.2 Forschungsansätze

In den Ausführungen der in Kapitel 2 detailliert beschriebenen Erkenntnisse der Potenzialstudie ist bereits der Hinweis auf notwendigen Forschungsbedarf gegeben. Die Initiative Massiver Leichtbau beteiligt sich an der Ausschreibung „Leittechnologien für KMU“ von AiF/BMWi.

Ziel ist die Ausschöpfung von Leichtbaupotenzialen massivumgeformter Bauteile in der Automobiltechnik durch die Entwicklung neuer Verfahren und Prozesse in der Massivumformung und der Entwicklung sowie Verwendung von leistungsfähigeren Stählen und deren Wärmebehandlung.

Hierzu sind die führenden Forschungsinstitute aus der Prozesskette Stahlherstellung – Massivumformung – Wärmebehandlung – Zerspanung integriert worden und haben, aufbauend auf den Ergebnissen der Leichtbaupotenzialstudie Forschungscluster erarbeitet, die in den kommenden drei Jahren gemeinsam mit über 50 Unternehmen der Branche weiterentwickelt werden.

Die hier genannten Aktivitäten untermauern somit die Kooperation zwischen Stahlherstellern und Entwicklern aus der Massivumformung als solide Basis für eine kompetente Entwicklungspartnerschaft für die Automobilindustrie, um sich der Aufgabe der Emissionsreduzierung nicht nur zu stellen, sondern diese auch frühzeitig in serienreife Lösungen umzusetzen.



## Weitere Leichtbaupotenziale der Massivumformung

Die Leistungsfähigkeit der Branche zeigt sich über die bereits vorgestellten Beispiele hinaus auch an Optimierungsbeispielen, die außerhalb der Workshops zur Potenzialanalyse entwickelt werden. Im Folgenden werden Leichtbaulösungen aufgeführt, die nicht für das Referenzfahrzeug entwickelt wurden, sondern bereits in anderweitigen Anwendungen Umsetzung fanden.

Aufgrund der hohen Gesamtstückzahl ziehen Gangräder in Getrieben besondere Aufmerksamkeit auf sich. Ausgangsüberlegung für ein innovatives Leichtbau-Konzept sind die sogenannten Steg- und Wellenprofile, wie in Abbildung 44 gezeigt. Durch die neuartige und patentierte Bauweise kann das Material unter der Verzahnung um ein Drittel verringert werden. Gleichzeitig wird das Rad hinsichtlich seines Verzugsverhaltens bei Wärmebehandlungsverfahren perfektioniert. Dadurch

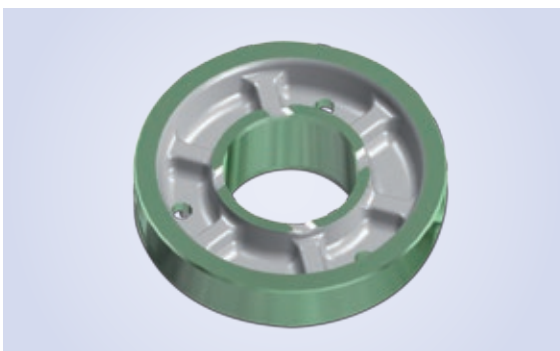
kann das Zahnrad mit dem optimalen Faserverlauf die Vorteile einer geschmiedeten Fahrzeugkomponente voll ausspielen, da dieser dem Belastungsfall angepasst werden kann und letztendlich das Ziel der höheren Dauerfestigkeit erreicht wird [28]. Das Ergebnis sind leichte, aber dennoch hochfeste Stirn- und Ausgleichsräder.

Dementsprechend zeigt auch Abbildung 45 eine CAD-Studie zur weiteren Entwicklung von Getriebebauteilen mit der Intention, die rotatorischen Massen zu reduzieren und die Leistungsdichte der Bauteile zu erhöhen: Verringerte Wandstärken und die Abkehr von der rotationssymmetrischen Auslegung werden auch hier konsequent verfolgt.

Ähnliches gilt für das präzisionsgeschmiedete Stirnrad in Abbildung 46. Ausgehend vom klassischen rotations-



**Abbildung 44:** Wellenprofilierter Zahnrad



**Abbildung 45:** Gangradstudie zur Reduzierung der rotatorischen Massen

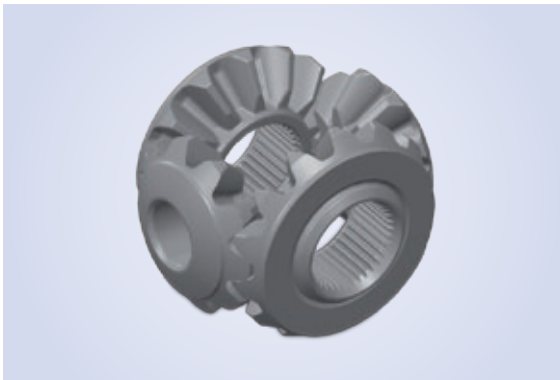


**Abbildung 46:** Near-Net-Shape-Auslegung eines präzisionsgeschmiedeten Stirnrads

symmetrischen Querschnitt wurden in ausreichender Anzahl steifigkeitsfördernde Arme radial zwischen Nabe und Zahnkranz ausgestaltet. Darüber hinaus wurden die dazwischenliegenden Flächen ausgelocht, um die maximale Gewichtsreduzierung zu erreichen.

Letztendlich muss auch die permanente Weiterentwicklung von Differenzialkegelrädern (Abbildung 47) als Leichtbaupotenzial angeführt werden. Zum einen resultiert aus der Optimierung der Verzahnungsgeometrie eine Steigerung der Belastbarkeit und somit unter gleichbleibenden Anforderungen ein Downsizing des Differenzials durch kompaktere Bauweise.

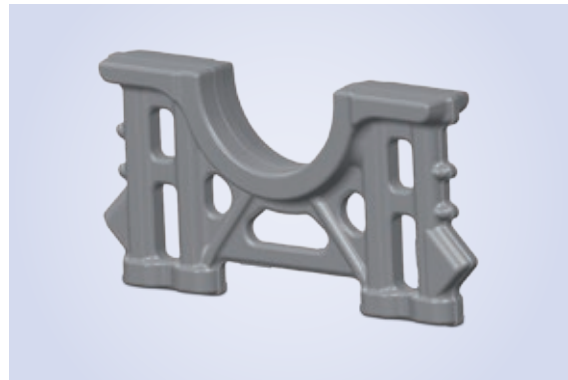
Einen Vorschlag, ausgehend von der Überlegung zur Substitution des Herstellverfahrens von Guss auf ein geschmiedetes Bauteil, verbunden mit einer stark veränderten Geometrieauslegung zeigt Abbildung 48. Für ein Kurbelwellenlager eines Schiffsmotors kann durch eine belastungsoptimierte Struktur als geschmiedetes Bauteil ein Gesamteinsparpotenzial von 0,28 kg erreicht werden.



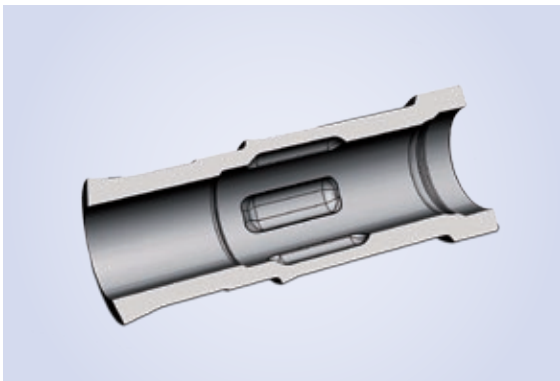
**Abbildung 47:** Optimierter Differenzialkegelradsatz

Aus einer Verfahrenskombination von traditionellem Kaltfließpressen und Radialschmieden entsteht die in Abbildung 49 dargestellte Leitradwelle für ein Automatikgetriebe, welche sich ebenfalls nicht im Referenzfahrzeug wiederfindet. Neben dem optimalen Materialeinsatz und der daraus resultierenden Leichtbauweise sind hier die kaltverformten Ölnuten zu erwähnen, die der Leitradwelle zusätzlich eine funktionsoptimierte Innenkontur bescheren [16].

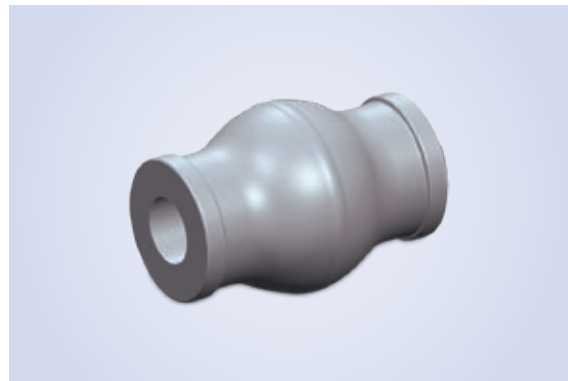
Ähnlich der Überlegung zu den Verbindungselementen ist auch das Einsparpotenzial bei den Bauteilen geringerer Größe stets in die Gesamtbetrachtung zur Gewichtseinsparung mit einzubeziehen. Auch bei den in Abbildung 50 und Abbildung 51 vorgestellten Fahrwerkslagern multipliziert sich die Gewichtsdivergenz mit der Anzahl der Lagerstellen: In Abbildung 50 ein viermal im Fahrzeug verbautes Lager der Hinterachse, welches nicht nur hohl ausgeführt ist, sondern auch innen Hinterschnitt aufweist. Diese Innenkontur ist in der Kaltmassivumformung kostengünstig zu erstellen. Zusätzlich wurde bei diesem Lager stofflicher Leichtbau



**Abbildung 48:** Kurbelwellenlager als geschmiedetes Bauteil in gestaltungsoptimierter Ausführung



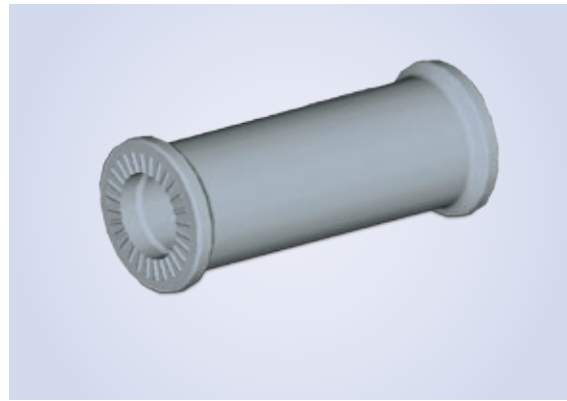
**Abbildung 49:** Leitradwelle eines modernen Automatikgetriebes mit gewichtsoptimiertem Design



**Abbildung 50:** Fahrwerkslager für Hinterachse aus Aluminium

angewendet, da das Vorgängerteil in Stahlausführung durch den Nachfolger aus Aluminium mit gleichzeitig vergrößerter Auflagefläche ersetzt wurde.

Ein Vertreter für einen anderen bereits erläuterten Weg des stofflichen Leichtbaus stellt das Fahrwerkslager für einen Dreiecklenker der Vorderachse (zweimal verbaut) dar: Man entschied sich hierbei für einen höherfesten Stahl als substituierendes Material und nutzte gleichzeitig den im Abbildung 51 gut zu erkennenden Hinterschnitt zwischen den Auflageflächen als konstruktives Optimierungsprinzip der Kaltmassivumformung.



**Abbildung 51:** Fahrwerkslager für einen Dreiecklenker der Vorderachse aus Stahl

## Zusammenfassung und Ausblick

Hervorgegangen aus Gesprächen am Rande einer der Automobilanwendungen zugeordneten Stahltagung, der SCT im Jahre 2011, gründete sich Anfang 2013 ein Konsortium aus 9 Stahlherstellern (Stahlinstitut VDEh) und 15 Unternehmen der Massivumformung zur Initiative Massiver Leichtbau. In einem ersten Projekt wurde im Zeitraum von Februar bis Oktober 2013 eine Leichtbaupotenzialstudie durchgeführt. In dieser Studie konnte das Leichtbaupotenzial eines Referenzfahrzeugs (Volumenmodell, Kombi, Diesel, Doppelkupplungsgetriebe, Allrad) nach erfolgter Zerlegung an einzelnen Komponenten im Rahmen von drei Workshops entwickelt werden. Als Ergebnis ergaben sich 42 kg oder über 5 % Potenzial, bezogen auf die analysierten, für den Bereich der Massivumformung zutreffenden Fahrzeugbereiche. Die Studie wurde von der fka Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen durchgeführt und dokumentiert.

Das Fazit sowohl der Stahlhersteller als auch der Massivumformer fällt dabei durchweg positiv aus: Die Stahlhersteller begrüßen die verbesserte Kommunikation zwischen Betrieben der Massivumformung und den Stahlwerken [7]. Ferner hat sich in der gemeinsamen Diskussion bestätigt, dass werkstoffseitig sehr viele ähnliche, aber nicht gleiche Werkstoffe zum Einsatz kommen, die sowohl Vorratshaltung als auch Fertigungsaufwand erheblich vergrößern und somit verteuern. Auffallend war auch, dass die verwendeten Werkstoffe als Werkstoff selbst, aber auch bezüglich des Eigenschaftsbilds sehr konservativ angelegt waren, d. h. es wurden unterforderte Werkstoffe ermittelt. Gleichmaßen fanden die Experten Werkstoffe vor, deren technische Möglichkeiten unter Berücksichtigung entsprechender Sicherheiten nicht oder nur teilweise ausgenutzt wurden [21]. Die Teilnehmer kommen überein, dass die Bereitschaft der OEMs, neue Stähle in den Komponenten ihrer Fahrzeuge zu verwenden, ausbaufähig ist. Nach wie vor ist die Bereitschaft, mit dem Aufwand der Bauteilanpassung auf neuere, vermeintlich leichtere Nichteisenwerkstoffe umzustellen, deutlich höher als die Bereitschaft, die Gewichtsersparnis durch Einsatz eines hochfesten Stahls mit entsprechender Geometrieänderung zu realisieren.

Die Erwartung zeigt sich nun durch das gemeinsame Auftreten in der Initiative Massiver Leichtbau dahingehend, dass diese Hindernisse bei den Automobilherstellern leichter zu meistern sein sollten. Weiterhin sollte es möglich sein, bei den Herstellern die ermittelten Ideen und Konzepte in einer Form darzustellen, welche einem einzelnen Mitglied der Initiative so nicht möglich wäre [28].

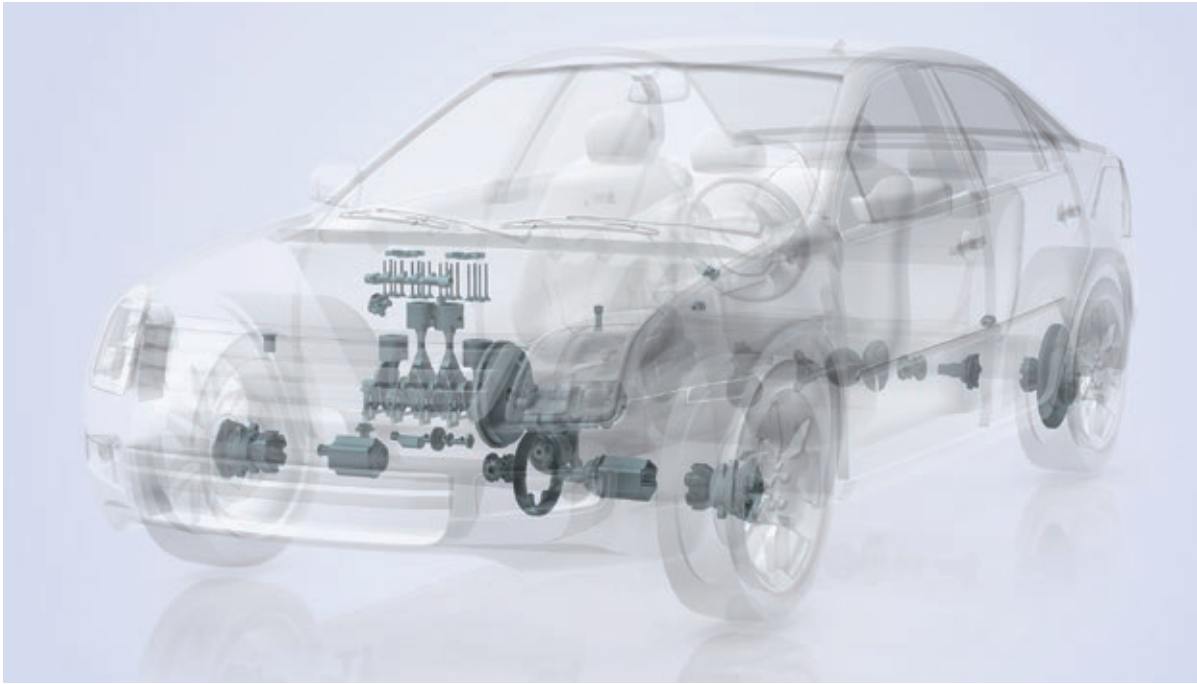
Aus Sicht der Massivumformer ist das Thema an sich nicht neu (Kapitel 1), vielmehr motiviert die unternehmensübergreifende Bündelung der Kompetenzen über die gesamte Prozesskette hinweg zur Teilnahme an der Initiative. Die Praktiker bemerken hier umso stärker das Spannungsfeld zwischen geforderter Gewichtsreduktion, Kostenpotenzial und vor allem Realisierungsaufwand. Daher ist es für die Massivumformer zwingend notwendig, werkstoff- und umformtechnische Potenziale in die frühen Phasen einer System- und Bauteilentwicklung mit einzubeziehen. Hier gibt es bewährte Prozesse des Simultaneous-Engineering, die aber für deutlich mehr Komponenten als derzeit genutzt werden müssen. Der Einkaufsprozess des Automobilbauers muss in einer deutlich früheren Phase der Entwicklung einsetzen, nämlich dann, wenn Leichtbauvorschläge des Zulieferers aus der Werkstoff- oder Fertigungstechnik noch in die Bauteilgestaltung einfließen können.

Es darf auch nicht vergessen werden, dass bei den Leichtbauideen für den Antriebsstrang mit einem Gewichtsreduzierungsvolumen von 25,5 kg allein 7,9 kg nur gegen Mehrkosten von 10 bis 20 % zu verwirklichen sind. Dies kann zum Teil über andere Leichtbaukomponenten ausgeglichen werden, die günstiger als bisher gefertigt werden können. Fakt ist aber: In der Summe wird die leichtere Bauweise die Autos in der Anschaffung auch leicht teurer machen. Positiv dabei ist die in mehreren Studien belegte Bereitschaft der Automobilkäufer, für ökologische Ansätze auch mehr zu bezahlen – insbesondere vor dem Hintergrund, dies durch einen geringeren Energieverbrauch später kompensieren zu können. Auch dies wird den Leichtbautrend fördern [27].

Eine weitere gemeinsame Erkenntnis des Benchmarks ist, dass mit der neuesten Stahlwerkstoff- und Massiv-

umformtechnik die Kosten pro Kilogramm sogar unter denen liegen, die für manche neuartige Technologie aufgewendet werden muss. Mehr noch: Einige Leichtbaupotenziale versprechen sogar Kostenneutralität. Insgesamt beweisen die Ergebnisse sowohl in quantitativer, vor allem aber in qualitativer Hinsicht, über welche Innovationskraft Stahlhersteller und Massivumformer gemeinsam verfügen [29].

Zukünftige Aktivitäten der Initiative Massiver Leichtbau werden u. a. die permanente Fachkommunikation der Ergebnisse auf Fachtagungen und -konferenzen der Automotivebranche sein. Hierzu zählen auch eigene Vortragsveranstaltungen, die in regelmäßigen Abständen stattfinden werden, um die Ergebnisse der teilnehmenden Firmen in großer Tiefe vorstellen und die Leichtbaupotenziale mit einer großen Anzahl Experten direkt diskutieren zu können.



**Abbildung 52:** Leichtbaupotenziale massivumgeformter Komponenten im Automobil



# Literaturverzeichnis

- [1] Ernst, C.-S.; Göbbels, R.; Olschewski, I.: Leichtbaupotenziale massivumgeformter Komponenten im Pkw, Abschlusspräsentation Initiative Massiver Leichtbau, 24. Oktober 2013, Düsseldorf.
- [2] Ernst, C.-S.; Eckstein, L.; Olschewski, I.: CO<sub>2</sub>-Reduzierungspotenziale bei Pkw bis 2020, Abschlussbericht Dezember 2012, ika, RWTH Aachen.
- [3] Brücher, T.; Raedt, H.-W.: Megatrends im Automobilbau – Beitrag Massivumgeformter Komponenten, Neuere Entwicklungen in der Massivumformung, 3. -5. Juni 2013, Fellbach, ISBN 978-3-88355-395-5.
- [4] Friedrich, H. E. (Hrsg.): Leichtbau in der Fahrzeugtechnik, ATZ/MTZ-Fachbuch, Springer Vieweg, 2013, ISBN 978-3-8348-1467-8.
- [5] Bartsch, K.: Stahlhart und doch federleicht?, SEISSENSCHMIDT-NEWS 03/2013, Kundenmagazin der Seissenschmidt-Gruppe, Plettenberg.
- [6] [www.massiverLEICHTBAU.de](http://www.massiverLEICHTBAU.de)
- [7] Dahme, M.: „Massiver Leichtbau“ – Eine Strategie für Leichtbaulösungen durch Massivumformung, Schmiede-JOURNAL, September 2013, S. 14-17, Industrieverband Massivumformung e. V. (Hrsg.), ISSN 0933-8330.
- [8] Raedt, H.-W.: Leichtbau durch Massivumformung, Info-Reihe für die Massivumformung, Extraausgabe, 2010, Industrieverband Massivumformung e. V. (Hrsg.), ISBN 3-928726-20-X.
- [9] Kucharzewski, A.: Massivumformung – eine Prozesskette für den Leichtbau, lightweightdesign 2/2010, S. 34-40, Springer Fachmedien, Wiesbaden, ISSN 1865-4819.
- [10] Weidel, S.: Intelligenter Leichtbau durch Massivumformung, lightweightdesign 1/2013, S. 34-38, Springer Fachmedien, Wiesbaden, ISSN 1865-4819.
- [11] Vollrath, K.; Severin, F.: Leicht, hochfest und äußerst zuverlässig, Vorteile von Aluminium-Schmiedeteilen, SchmiedeJOURNAL, Ausgabe März 2014, S. 20-25, Industrieverband Massivumformung e. V. (Hrsg.), ISSN 0933-8330.
- [12] Zitz, U.; Kucharzewski, A.: Die Kunst der Vielseitigkeit, UMFORMtechnik 3/2012, S. 25-28, Meisenbach, Bamberg, ISSN 0300-3167.
- [13] Quintenz, G.; Raedt, H.-W.: FEM-optimierte Leichtbau-Hohlwellen für das Getriebe, Automobiltechnische Zeitschrift ATZ 12/2009, Springer Fachmedien, Wiesbaden, ISSN 0001-2785.
- [14] Grupp, P.: Leichtbau inside, Automobil Industrie insight, Sonderausgabe September 2012, S. 62-64, Vogel Business Media, Würzburg, ISSN 0005-1306.
- [15] Vollrath, K. et. al.: Simulation in der Massivumformung, Info-Reihe für die Massivumformung, Extraausgabe, 2013, Industrieverband Massivumformung e. V. (Hrsg.), ISBN 978-3-928726-30-6.
- [16] Witt, S.: Innovationsmotor Massivumformung, Sonderveröffentlichung Industrieverband Massivumformung e. V. mit ATZ, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2010.

- [17] Raedt, H.-W.; Speckenheuer, U.; Vollrath, K.: Neue massivumgeformte Stähle, Energieeffiziente Lösungen für leistungsfähigere Bauteile, *Automobiltechnische Zeitschrift ATZ* 03/2012, Springer Fachmedien, Wiesbaden, ISSN 0001-2785.
- [18] Engineer, S.; Justinger, H.; Janßen, P.; Härtel, M.; Hampel, C.; Randelhoff, F.: Technological Properties of the New High Strength Bainitic Steel 20MnCrMo7, 3. International SCT (Conference Steels for Cars and Trucks), June 5-9, 2011, Salzburg, Austria, 2011.
- [19] Raedt, H.-W.; Speckenheuer, U.; Vollrath, K.: Neue Stähle für die Massivumformung, Info-Reihe für die Massivumformung, Extraausgabe, 2012, Industrieverband Massivumformung e. V. (Hrsg.), ISBN 978-3-928726-28-3.
- [20] Projekt IFG 260 ZN: Effektive Prozessketten und neue hochfeste (bainitische) Stähle zur flexiblen Darstellung hoch beanspruchter Strukturbauteile (HDB-Schmiedestahl, Bainite), Industrieverband Massivumformung e. V., 2007.
- [21] Wilke, F.: Stabstahl und Schmiedestücke aus hochfesten Stählen, *SchmiedeJOURNAL*, Ausgabe März 2014, Industrieverband Massivumformung e. V. (Hrsg.), ISSN 0933-8330.
- [22] Raedt, H.-W., Herz, M., Schuster, A.: Ausfälle durch verformte Mangansulfide, *Konstruktion* Januar/Februar 1-2/2012, ISSN 0720-5953.
- [23] Raedt, H.-W.; Wilke, F.; Ernst, C.-S.: Initiative Massiver Leichtbau – Leichtbaupotentiale im Automobil durch Massivumformung, *Automobiltechnische Zeitschrift ATZ* 3/2014, S. 58-64, Springer Fachmedien, Wiesbaden, ISSN 0001-2785.
- [24] DIN EN ISO 898-2: Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl, Teil 2: Muttern mit festgelegten Festigkeitsklassen – Regelgewinde und Feingewinde, Deutsche Fassung, August 2012.
- [25] Unseld, P., Kertesz, L., Meißner, G.: Geometrischer und stofflicher Leichtbau durch im Kaltumformverfahren hergestellte mechanische Verbindungselemente, Konferenz „Neuere Entwicklungen in der Massivumformung“, 4.-5. Juni 2013, S. 253-270, ISBN 978-3-88355-395-5.
- [26] Unseld, P., Kertesz, L., Meißner, G.: Leichtbau durch Kaltverformung mechanischer Verbindungselemente, *SchmiedeJOURNAL*, Ausgabe März 2014, Industrieverband Massivumformung e. V. (Hrsg.), ISSN 0933-8330.
- [27] Bartsch, K.: Megatrend Leichtbau – Unternehmen der Massivumformung sind Partner mit dem notwendigen Know-how, *SchmiedeJOURNAL*, Ausgabe März 2014, Industrieverband Massivumformung e. V. (Hrsg.), ISSN 0933-8330.
- [28] Günther, Chr., Saarstahl AG: Persönliche Mitteilung, Dezember 2013.
- [29] Kippels, D.: Umformtechnik speckt Automobile ab, *VDI-Nachrichten* Nr.1/2014, VDI-Verlag, Düsseldorf.



# Bilderverzeichnis

Abbildung 1	ika Institut für Kraftfahrzeuge RWTH Aachen University
Abbildung 2, 3, 9, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 20, 22, 23, 24, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 39	fka Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen
Abbildung 4, 14, 18, 19	Initiative Massiver Leichtbau
Abbildung 5, 7, 21, 28, 34, 38, 40, 43	Hirschvogel Automotive Group
Abbildung 6	Bharat Forge Aluminiumtechnik GmbH & Co. KG
Abbildung 8	Felss Systems GmbH
Abbildung 10	Industrieverband Massivumformung e. V.
Abbildung 25	CDP BHARAT FORGE GmbH
Abbildung 26	KAMAX Automotive GmbH
Abbildung 30, 32, 36, 44	SEISSENSCHMIDT AG
Abbildung 41, 42	HEWI G. Winker GmbH & Co. KG
Abbildung 45	Sona BLW Präzisionsschmiede GmbH
Abbildung 46	metallumform GmbH
Abbildung 47, 49	Metaldyne Zell GmbH & Co. KG
Abbildung 48	Hammerwerk Fridingen GmbH
Abbildung 50, 51	A. + E. Keller GmbH + Co. KG
Abbildung 52	anidesk, Saarbrücken





Industrieverband  
Massivumformung e. V.

Goldene Pforte 1  
58093 Hagen, Deutschland  
Telefon: +49 2331 958830  
Telefax: +49 2331 958730

E-Mail:  
info@massiverLEICHTBAU.de

Weitere Informationen unter  
**[www.massivumformung.de](http://www.massivumformung.de)**  
**[www.massiverLEICHTBAU.de](http://www.massiverLEICHTBAU.de)**

ISBN: 978-3-928726-33-7

Den Veröffentlichungen  
des Industrieverbands  
liegen die Ergebnisse der  
Gemeinschaftsforschung  
der im Industrieverband  
Massivumformung e. V.  
zusammengeschlossenen  
Unternehmen zugrunde.

Stand: April 2014

EI-LB-0414-25