



© Initiative Massiver Leichtbau

AUTOREN



Dr.-Ing. Thomas Wurm
ist Leiter Technische Kundenberatung und Anwendungsentwicklung bei der Georgsmarienhütte GmbH in Georgsmarienhütte.



Alexander Busse, M. Sc.
ist Consultant bei der fka GmbH in Aachen.



Dr.-Ing. Hans-Willi Raedt
ist Vice President Advanced Engineering bei der Hirschvogel Automotive Group in Denklingen.

LEICHT UND MASSIV

Massiver Leichtbau wirkt sprachlich wie ein Widerspruch. Er zeigt sich bei näherer Beschäftigung mit der Schmiedetechnik aber als kostengünstiger und großserienfähiger Ansatz, um deutliche Leichtbaufortschritte in automobilen Anwendungen zu erreichen. Durch Ausnutzung der Technikpotenziale der Massivumformung lassen sich 42 kg Masse bei einem Mittelklasse-Pkw und 99 kg bei einem leichten Nutzfahrzeug reduzieren [1, 2].

In der jetzigen Phase III ihres Projekts zeigt die Initiative Massiver Leichtbau – nun mit einer internationalen Partnerstruktur [3] –, welche Leichtbaupotenziale in einem Split-Axle-Hybrid-Pkw und in den Subsystemen eines schweren Lkw liegen.

VORGEHENSWEISE UND UNTERSUCHTE FAHRZEUGE

Die Ermittlung von Leichtbaupotenzialen wird anhand eines konkreten, repräsentativen Fahrzeugs durchgeführt. Referenz ist ein Allrad-Vollhybrid-SUV mit elektrisch unterstütztem Ottomotor (VKM)

vorne und einem Elektromotor auf der Hinterachse in Split-Axle-Ausführung. Neben dieser Pkw-Anwendung wird das Segment schwerer Lkw anhand der Subsysteme Getriebe, Kardanwelle und Hinterachse untersucht.

Um die Leichtbaupotenziale zu bestimmen, werden die Fahrzeuge und Subsysteme bei der Automotive-Forschungseinrichtung fka in einzelne Bauteile zerlegt und in einer Datenbank dokumentiert. In Workshops erarbeiten Experten der beteiligten Unternehmen anschließend ihre Leichtbauideen.

BILD 1 zeigt den Projektlauf und die technischen Fahrzeugdaten: 733 beziehungsweise 251 Leichtbauideen wurden kreiert.

ÜBERSICHT ÜBER DIE LEICHTBAUPOTENZIALE

Im Rahmen der Studie wurden im Hybrid-Pkw Fahrzeugteile mit einem Gesamtgewicht von 816 kg betrachtet – dies entspricht etwa 51 % des Referenzfahrzeugs. Mehr als 3600 Komponenten aus Antriebsstrang, Fahrwerk und Elektronik des Hybrid-Pkw wurden untersucht und insgesamt 733 Leichtbauideen

Initiative Massiver Leichtbau – Phase III: Werkstofflicher Leichtbau für Hybrid-Pkw und schweren Lkw

Von umsetzbaren Leichtbaupotenzialen lässt sich besser reden, wenn sie anhand eines konkreten, repräsentativen Fahrzeugs aufgezeigt werden. In ihrem dritten Projekt zeigt die Initiative Massiver Leichtbau mit internationaler Partnerstruktur, welche Leichtbaupotenziale in einem Split-Axle-Hybrid-Pkw und in den Subsystemen eines schweren Lkw liegen. Zu den Ergebnissen am Beispiel Antriebswelle, Stoßdämpfer, Radträger und Pleuel zählen Gewichtseinsparungen um 23 bis 35 %.

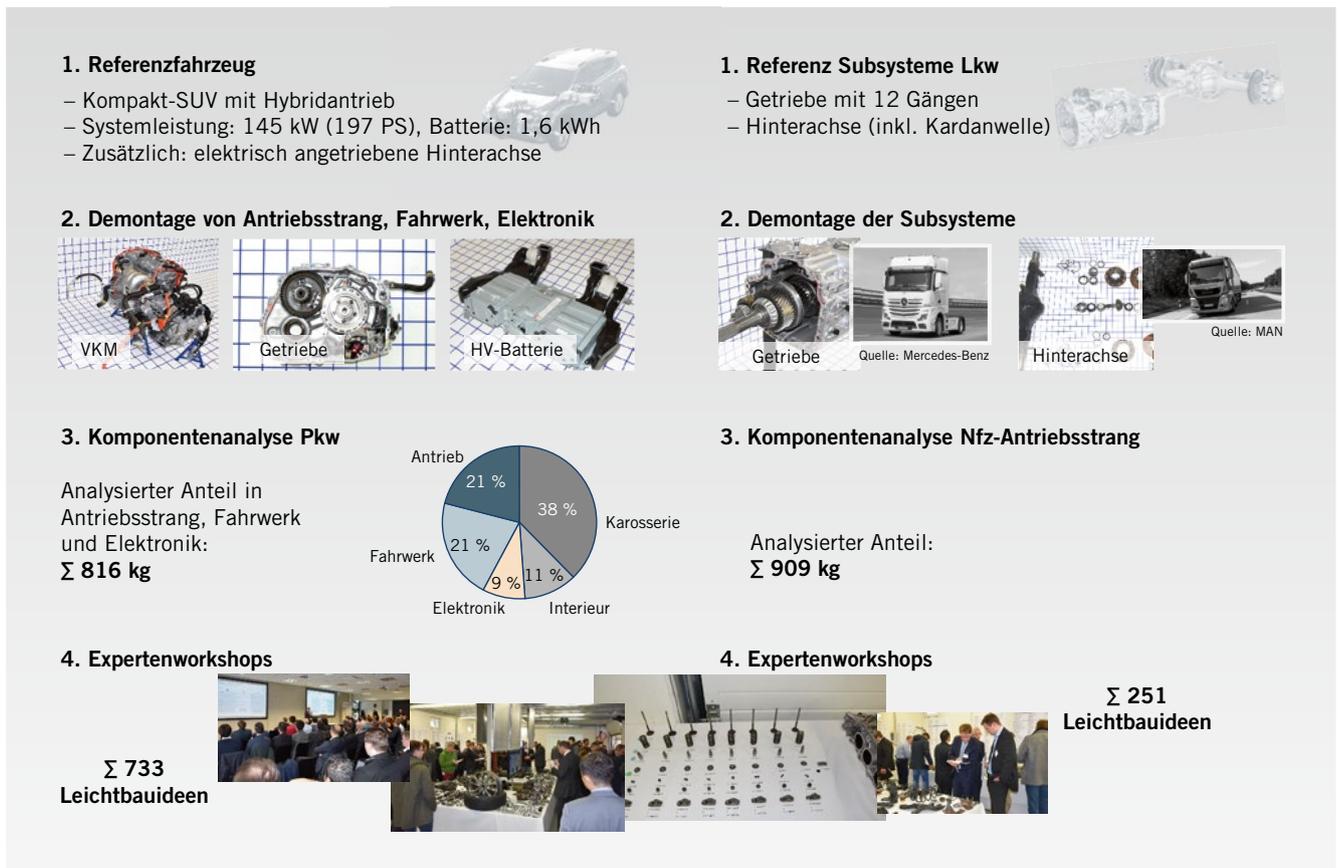
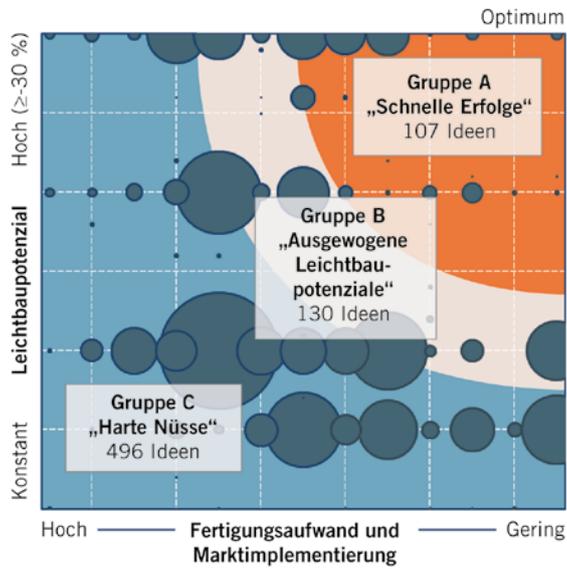


BILD 1 Projektablauf in vier Schritten sowie Fahrzeugdaten für Hybrid-Pkw und schweren Lkw (© Initiative Massiver Leichtbau)

Portfolio der Leichtbauideen



Portfolioauswertung

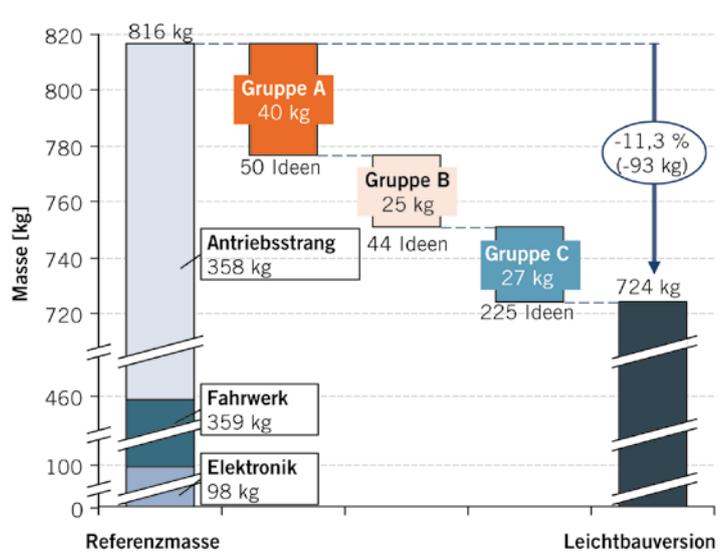
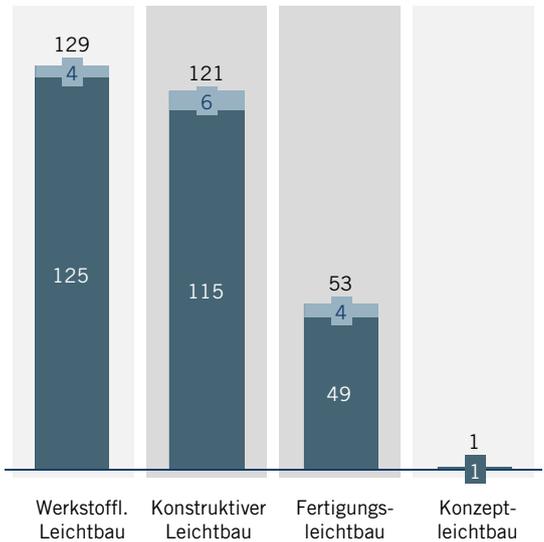
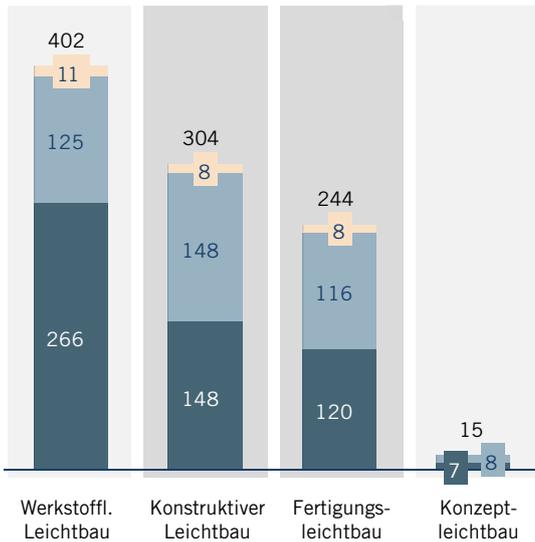


BILD 2 Portfolio der Leichtbauideen und seine Auswertung für den Hybrid-Pkw (© Initiative Massiver Leichtbau)



Manche Leichtbauideen können mehreren Leichtbaustrategien zugeordnet werden. So kann zum Beispiel der Einsatz eines neuen Werkstoffs einen angepassten Fertigungsprozess zur Folge haben.

BILD 3 Clustering der Themen: Ideenzuordnung nach werkstofflichen oder gestalterischen Gesichtspunkten (© Initiative Massiver Leichtbau)

entwickelt. Diese Ideen wurden im Anschluss bilanziert und nach den Kriterien Leichtbaupotenzial, Fertigungsaufwand und dem Aufwand zur Marktimplementierung klassifiziert. Dies erlaubt eine Auswertung der relevanten Ideen hinsichtlich ihres Leichtbaupotenzials als Nutzen-Aufwand-Verhältnis, **BILD 2**.

Insgesamt wurde im Zuge der Studie ein Leichtbaupotenzial für den Hybrid-Pkw von 93 kg identifiziert, dies entspricht etwa 11 % der untersuchten Bauteilmasse. Die Ideen lassen sich dann in schnelle Erfolge, ausgewogene Leichtbauideen und harte Nüsse unterscheiden, je nach

potenzieller Gewichtseinsparung und Implementierungsaufwand.

Im zweiten Fokus der Phase III des Projekts, dem Antriebsstrang des Nutzfahrzeugs, wurden insgesamt 460 Komponenten mit einem Gesamtgewicht von 909 kg im Konstruktionsvergleich betrachtet. Hiervon entfallen 290 kg auf

das Getriebe und 619 kg auf die Kardanwelle sowie die Hinterachse. Im Zuge der Expertenworkshops wurden mehr als 250 Ideen für technische Möglichkeiten des Leichtbaus entwickelt. Das resultierende Leichtbaupotenzial summiert sich zu insgesamt 124 kg, circa 14 % der analysierten Bauteilmasse.

Die Leichtbauideen können in werkstoffliche, konstruktive oder Fertigungskonzepte klassifiziert werden. Dabei lassen sich diese Konzepte nicht ganz scharf trennen, oder sie bedingen sich gegenseitig, **BILD 3**.

LEICHTBAU DURCH WERKSTOFFINNOVATIONEN

Moderne, höherfeste Stähle können einen signifikanten und wirtschaftlichen Beitrag leisten, das Gewicht einzelner Bauteile und damit das Fahrzeuggesamtgewicht zu reduzieren. Von den an der Initiative beteiligten Stahlherstellern und Umformunternehmen [3] wurde die Verwendung von etwa 20 verschiedenen höherfesten Stählen vorgeschlagen, die gewichtsreduzierte, schlankere Bauteilkonstruktionen ermöglichen. Diese Stähle umfassen ein breites Spektrum an Zusammensetzungen, Gefügen und Eigenschaften. Einige der vorgeschlagenen ausscheidungshärtenden ferritisch-perlitischen (AFP-), Vergütungs- (Q+T für quenched and tempered) oder bainitisch aus der Umformtemperatur heraus umwandelnden höherfesten Stähle und deren Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften sind im Werkstoffstammbaum,

BILD 4, aufgeführt. Um die gewünschten mechanisch-technischen Eigenschaften zu erzielen, ist zum einen ein sorgfältiger Stahlherstellungsprozess nach dem Stand der Technik notwendig, zum anderen auch eine gezielte bauteil-, aber auch werkstoffgerechte Weiterverarbeitung zum Beispiel durch Warm-, Halbwarm- oder Kaltumformung. Solche höherfesten Stähle ermöglichen höhere Belastungen, Leistungsfähigkeiten und Festigkeiten auch von dynamisch beanspruchten Bauteilen wie Kurbelwellen, Pleueln, Zahnradern oder Lagern.

Höherfeste AFP-Stähle wie 38MnVS6 und 46MnVS6, die ihre mechanischen Eigenschaften bereits durch kontrollierte Abkühlung aus der Schmiedehitze heraus und ohne einen zusätzlichen Vergütungsprozess erreichen, werden von Saarstahl, Sidenor und Georgsmarienhütte für Bauteile wie Pleuel, Kurbelwellen oder Radträger vorgeschlagen. Die Festigkeiten solcher AFP-Stähle können die von klassischen Vergütungsstählen, zum Beispiel die eines 42CrMo4, zum Teil schon übertreffen.

Hochfeste bainitische Stähle erreichen durch kontrollierte Abkühlung aus der Umformwärme teilweise noch höhere Festigkeiten bei gleichzeitig verbesserten Zähigkeitseigenschaften. In **BILD 4** sind zahlreiche Bainite aufgeführt. In **BILD 5** sowie in der Folgeveröffentlichung in der nächsten ATZ [4] werden zahlreiche Bainite für konkrete Anwendungen vorgeschlagen. Dabei gibt die Prozentzahl in **BILD 5** an, um wieviel das Serienbauteil schwerer ist als der Leichtbauvorschlag.

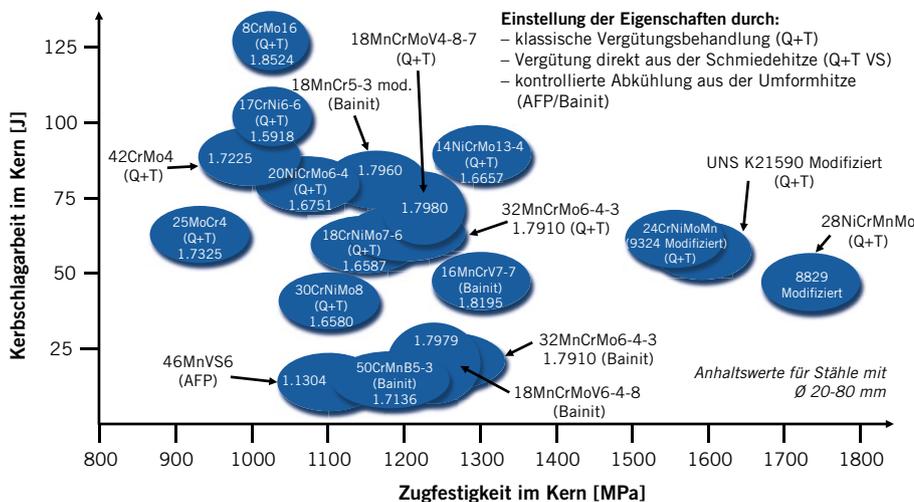


BILD 4 Werkstoffstammbaum für hochfeste Edelmittelstähle (© Initiative Massiver Leichtbau)



Ziehen Sie die richtigen Talente an.

Sichern Sie sich die Aufmerksamkeit der Entwicklungsingenieure namhafter Unternehmen und künftiger Absolventen.



ATZrecruiting bietet Ihnen für Ihre Personalsuche eine exklusive und individuell für Sie gestaltete Beilage in unseren Fachmedien **ATZ**, **MTZ** und **ATZelektronik**.

Unsere ATZ-Fachredakteure unterstützen Sie bei der Erstellung der Beilage mit Best Practice Bericht, Stellenangeboten und Interviews. Finden Sie direkt den Weg zu potenziellen Kandidaten.

So geht Personalsuche heute.

Ich berate Sie gerne

Nina Ziss
 Sales Manager Corporate Solutions
 + 49 (0) 611 / 78 78 – 124
 nina.ziss@springernature.com

TimkenSteel präsentiert Stähle mit vergleichsweise hohen Kerbschlagarbeiten bei hohen Festigkeiten. Bei solchen hohen Festigkeiten kommt dem metallurgischen Reinheitsgrad der Stähle eine kritische Bedeutung zu. TimkenSteel setzt daher laut eigenen Angaben seine „Ultrapremium Clean Steel“-Technik während des Fertigungsprozesses ein.

Höchste Zugfestigkeiten erzielen Federstähle, zum Beispiel der 55Cr3, der von Saarstahl vorgeschlagene thermomechanisch gewalzte 54SiCrV6, der 60SiCrV7 oder der von ArcelorMittal aufgezeigte Solam M2050 S-Cor mit einer Festigkeit bis 2050 MPa. Solche Stähle ermöglichen Gewichtsreduzierungen von Fahrzeugbauteilen wie Querstabilisatoren oder Federn.

Gewichtseinsparungen durch den Einsatz höherfester Stähle sind aber nicht nur bei massiv umgeformten Bauteilen möglich, sondern auch durch den Einsatz geschmiedeter, höher belastbarer Stähle als Alternative zu gegossenen Bauteilen. So schlagen die Deutschen Edelstahlwerke vor, gegossene Lkw-Bremsscheiben mit einem Gewicht von 35,5 kg zu substituieren durch einen rostfreien, verschleißbeständigen, hoch-

kohlenstoffhaltigen und stickstofflegierten Stahl. Sidenor sieht in dieser Anwendung durch den Einsatz des verschleißbeständigen Mn-legierten Stahls 1.3401 (X120Mn12) Leichtbaupotenzial.

In **BILD 5** (oben links) ist das Leichtbaupotenzial beispielsweise für eine im untersuchten Hybrid-SUV verbaute Differenzial-Antriebswelle aufgezeigt. Die Hohlwelle, aktuell hergestellt aus einem CrMn-Einsatzstahl SCr420H, weist ein Gewicht von 1182 g auf. Als höherfeste Alternative zu solchen CrMn-Einsatzstählen hat die Georgsmarienhütte zusammen mit Hirschvogel einen mikrolegierten bainitischen Stahl des Typs 16MnCrV7-7 (1.8195) entwickelt. Dieser Stahl ist auch einsatzhärtbar und bis zu einer Aufkohlungstemperatur von 1050 °C feinkornstabil. Er zeichnet sich auch durch eine höhere Härte aus. Eingesetzt für die Differenzial-Antriebswelle verspricht dieser höherfeste Stahl in Verbindung mit einer dadurch ermöglichten optimierten, dünnwandigeren Konstruktion eine Gewichtsreduzierung von 307 g.

Die Analysen im Rahmen dieser Initiative zeigen auch auf, dass bei Rohren, die zum Beispiel in Stoßdämpfern ver-

baut sind, erhebliche Gewichtseinsparungen realisiert werden könnten. So schlägt Benteler vor, anstelle eines Rohrs aus dem Stahl E235+CR mit einer Streckgrenze von mindestens 235 MPa einen höherfesten, ferritisch-bainitischen Mehrphasenstahl FB590 mit einer Streckgrenze von 500-600 MPa einzusetzen. Hierdurch lasse sich die Wandstärke des Behälterrohrs von 2,8 auf 2,0 mm reduzieren und ein entsprechendes Leichtbaupotenzial von 250 g realisieren, **BILD 5** (unten links).

Den Einsatz ferritisch-perlitischer Stähle oder seines bainitischen Stahls Solam B1100 schlägt ArcelorMittal als Leichtbaualternative zu Gusswerkstoffen zum Beispiel für Radträger vor. Die genannten Gewichtseinsparungen sind durch FEM-Simulationen am Bauteil abgeschätzt. Durch den Einsatz des bainitischen Schmiedestahls ist eine Gewichtsreduzierung von 5060 g des Gussbauteils auf etwa 4100 g realisierbar, und das ohne einen aufwendigen Vergütungsprozess, sondern nur durch kontrollierte Abkühlung von der Umformtemperatur. Der Stahlhersteller Sidenor schlägt zur Gewichtsreduzierung des in **BILD 5** (oben rechts)

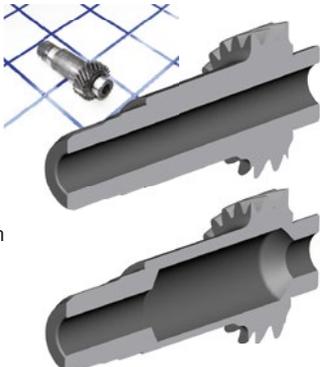
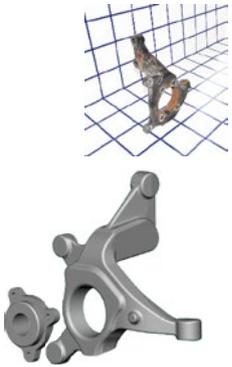
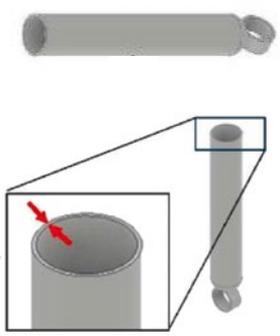
<p>Differenzial Eingangswelle</p> <p>Serie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Einsatzstahl SCr420H - m = 1182 g <p>Potenzial</p> <ul style="list-style-type: none"> - Höherfester Einsatzstahl 16MnCrV7-7 (H2) und verbesserte Fertigung ermöglichen Querschnittsverringerungen - m = 875 g - Δm = 307 g (35 %) <p>Quelle: Hirschvogel, Georgsmarienhütte</p> 	<p>Radträger vorne links</p> <p>Serie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gusseisen ($R_m = 400-600$ MPa) - m = 5060 g <p>Potenzial</p> <ul style="list-style-type: none"> - Stahlschmiedeteil aus ferritisch-perlitischem oder bainitischem Stahl, z. B. Solam B1100 - $R_m = 1100$ MPa - m ≈ 4100 g - Δm ≈ 960 g (23 %) <p>Quelle: ArcelorMittal</p> 
<p>Stoßdämpfer</p> <p>Serie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Stahlrohr, z. B. E235 (1.0308) - Wandstärke 2,8 mm - m = 1054 g <p>Potenzial</p> <ul style="list-style-type: none"> - Höherfestes Stahlrohr FB590 - Wandstärke 2,0 mm - m = 804 g - Δm = 250 g (31 %) <p>Quelle: Benteler</p> 	<p>Pleuel</p> <p>Serie</p> <ul style="list-style-type: none"> - 23MnVS3 - m = 572 g <p>Potenzial</p> <ul style="list-style-type: none"> - Höherfester Stahl 36/46MnVS6Mod → Δm ≈ 35 % - Weitere höherfeste Stähle: 27/30/38 MnVS6 o. Ähnliches; 16MnCrV7-7, S40C + P <p>Quelle: TimkenSteel, Nissan Motor, Deutsche Edelstahlwerke, Nippon Steel & Sumitomo Metal, Schmiedetechnik Plettenberg, Georgsmarienhütte, Saarstahl, ArcelorMittal</p> 

BILD 5 Leichtbaupotenziale durch den Einsatz höherfester Stähle an vier Beispielen –Antriebswelle, Stoßdämpfer, Radträger und Pleuel (© Initiative Massiver Leichtbau)



**Hirschvogel
Automotive Group**

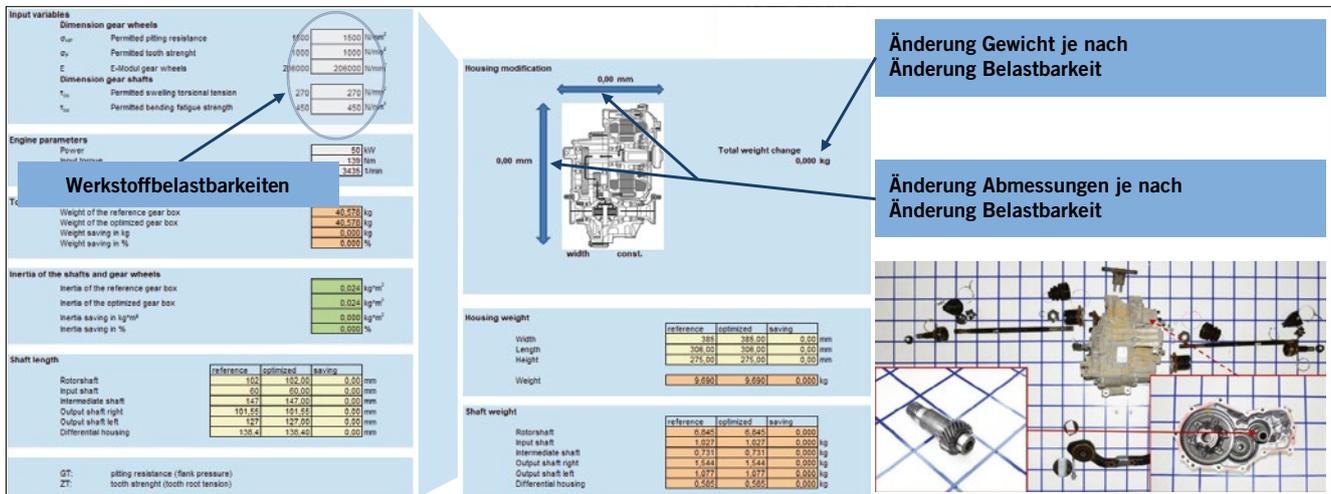
Traditionally innovative.

**DIE ZUKUNFT
WIRD IMMER
LEICHTER.**



Unsere Innovationsstärke in der Massivumformung und Weiterveredelung ist messbar: Wir entwickeln Bauteile, die immer leichter werden und zugleich hohen Belastungen standhalten. Das kommt an – in der Automobilindustrie und in vielen weiteren Branchen.

www.hirschvogel.com



Zahnflankenfestigkeit [MPa]	Zahnfußfestigkeit [MPa]	Schwellende Torsionsfestigkeit [MPa]	Biegeermüdungsfestigkeit [MPa]	Δ Gewicht [g]
1500 → 1800	1000	270	450	-129
1500 → 1800	1000 → 1200	270	450	-1216
1500 → 1800	1000 → 1200	270 → 324	450	-1722
1500 → 1800	1000 → 1200	207 → 324	450 → 540	-1875

BILD 6 Berechnung des erreichten Leichtbaupotenzials durch belastbarere Einsatzstähle am Beispiel des Hinterachsgetriebes im Split-Axle-Antriebsstrang (© Initiative Massiver Leichtbau)

dargestellten Radträgers die Verwendung seines Stahls Micro1100 (44MnSiVS6) vor. Durch Abkühlen direkt aus der Schmiedewärme wird ein ferritisch-perlitisches Gefüge mit einer Zugfestigkeit von 1100 MPa erzeugt. Sidenor sieht hierdurch ein Leichtbaupotenzial von circa 20 %.

Vorschläge für Leichtbau der Pleuel reichten ArcelorMittal, Deutsche Edelstahlwerke, Georgsmarienhütte, Nippon Steel, Nissan, Saarstahl, Schmiedetechnik Plettenberg, Schuler und TimkenSteel ein. Basierend auf Untersuchungen von Mahle [5] schätzt TimkenSteel ein Leichtbaupotenzial bis zu 35 % durch den Einsatz der höherfesten Stähle 36/46MnVS6Mod für geschmiedete Pleuel ein, BILD 5 (unten rechts). Wird nur der Pleuelschaft betrachtet, so bewerten die Georgsmarienhütte und Schmiedetechnik Plettenberg durch den Einsatz eines höherfesten AFP-Stahls 46MnVS5 oder eines bainitischen Stahls 16MnCrV7-7 das Leichtbaupotenzial mit 10 bis 15 %.

LEICHTBAU IM GETRIEBE: SCHLÜSSELFaktor WERKSTOFF

Getriebe zur Wandlung von Drehmomenten und Drehzahlen finden auch im hybriden Antriebsstrang an beiden Achsen Anwendung. Neben zahlreichen geometrischen und umformtechnischen Vorschlägen zu den verwendeten Getriebeteilen bieten natürlich auch die verwendeten Werkstoffe ein hohes Leichtbaupotenzial. Lassen sich Zahnräder an Flanke und Zahnfuß höher belasten, und können die Wellen mehr Torsions- und Biegebelastung aufnehmen, dann kann das gesamte System kleiner und damit leichter ausgelegt werden, wobei auch der Presssitz von Zahnrädern auf Wellen mit einbezogen werden muss. Um das Leichtbaupotenzial werkstofflicher Optimierungen abzuschätzen, wurde das Institut für Produktentwicklung (Ipek) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) beauftragt, ein Modell der verwendeten Getriebe in einer Tabellen-

kalkulation aufzubauen. Dieses Modell hat als Eingangsgrößen Belastungs- und Belastbarkeitsdaten und schätzt über die Getriebetopologie das Systemgewicht ab.

Durch Variation der Belastbarkeitsgrößen kann nun die Wirksamkeit von werkstofflichen Optimierungen auf den Leichtbau des Getriebes abgeschätzt werden. In BILD 6 dargestellt ist die Berechnung für das Getriebe an der Hinterachse. Es werden der Reihe nach die verschiedenen Werkstoffeingangsgrößen um 20 % erhöht, wie es durch hochreine Einsatzstähle von TimkenSteel möglich erscheint [6]. Entsprechend berechnet die Tabelle mögliche Gewichtseinsparungen und verkleinerte Bauräume. Auf diese Weise lässt sich die Steigerung der Belastbarkeiten, am besten in Kombination miteinander, für Leichtbaureserven aufdecken. Es lohnt also, sich mit verbesserten Stahlwerkstoffen zu beschäftigen, um den Leichtbau auch in Getrieben voranzutreiben.

FAZIT

Stahl ist der wichtigste und ein weitentwickelter Konstruktionswerkstoff für die Automobilindustrie. Trotzdem zeigt sich, dass auch weiterhin neue Erkenntnisse generiert werden, mit denen die Leistungsfähigkeit als auch die Wirtschaftlichkeit von Stahlwerkstoffen (zum Beispiel durch kontrollierte Abkühlung aus der Schmiedehitze) weiter gesteigert werden können. Die dargestellten Beispiele demonstrieren dies eindrucksvoll. Es wird aber zunehmend wichtiger, alle Partner der Prozesskette – vom Stahlwerk über den Massivumformer bis hin zum Hersteller der

fertigen Komponente – bei der Optimierung in den gemeinsamen Entwicklungsprozess mit einzubeziehen.

LITERATURHINWEISE

- [1] Raedt, H.-W.; Wilke, F.; Ernst, C.-S.: Initiative Massiver Leichtbau – Leichtbaupotenziale durch Massivumformung. In: ATZ 116 (2014), Nr. 3, S. 58-64
- [2] Raedt, H.-W., Wilke, F., Ernst, C.-S.: Initiative Massiver Leichtbau – Phase II: Leichtbaupotenziale für ein leichtes Nutzfahrzeug. In: ATZ 118 (2016), Nr. 3, S. 50-53
- [3] Industrieverband Massivumformung: Zwei Branchen – Ein Ziel. Online: <http://www.massiverleichtbau.de/en/>, aufgerufen am 25.06.2018
- [4] Raedt, H.-W.; Wurm, T.; Busse, A.: Initiative Massiver Leichtbau – Phase III: Schmiede-Leichtbau für Hybrid-Pkw und schweren Lkw. In: ATZ 121 (2019), Nr. 4, in Vorbereitung

[5] Mahle: Gewichtsoptimierte Pleuel für höchste Beanspruchung. Online: <https://www.mahle.com/de/news-and-press/press-releases/Gewichtsoptimierte-pleuel-fur-hochste-beanspruchung-504>, aufgerufen am 25.06.2018

[6] TimkenSteel: Clean Steels Improve Gear Performance. Online: <https://www.youtube.com/watch?v=DjdAZUli6bk>, aufgerufen am 25.06.2018



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

Test now for 30 days free of charge:
www.atz-worldwide.com



Starten Sie in die Zukunft des automobilen Leichtbaus. Besuchen Sie die neue Website [ultralights by voestalpine](http://ultralights.by.voestalpine) und abonnieren Sie den Newsletter „Automotive-Notes“. Ihr Informationsvorsprung über innovative Märkte, Fertigungstechnologien, neue Trends und Lösungen kostet nichts, außer einen Klick auf: www.ultralights.at

