

© Initiative Massiver Leichtbau

AUTOREN



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



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.

Durch stetig bessere Möglichkeiten der Stoffflusssimulation können immer komplexere Bauteile geschmiedet werden. In ihrer dritten Phase zeigt die Initiative Massiver Leichtbau, zu der nun auch internationale Partner gehören, welche Leichtbaupotenziale in einem Split-Axle-Hybrid-Pkw und in den Subsystemen eines schweren Lkw liegen. Nach den Maßnahmen zum werkstofflichen Leichtbau werden hier die Aspekte des Schmiede-Leichtbaus aufgezeigt. Speziell beim Nutzfahrzeug konnte durch Leichtbaumaßnahmen etwa an Brems-träger, Getriebe-Vorgelegewelle und Kardanwellen-Anschlussflansch eine beachtliche Massenreduzierung von 124 kg erzielt werden.

KONSEQUENTE WEITERENTWICKLUNG

Nachdem die Initiative Massiver Leichtbau in der ATZ 3/2019 [1] Punkt für Punkt die Maßnahmen zum werkstofflichen Leichtbau ihrer dritten Phase an Hybrid-Pkw und schwerem Lkw vorgestellt hat, folgen hier die Betrachtungen zu Aspekten des Schmiede-Leichtbaus.

Die Massivumformtechnik hat sich in den letzten Jahren konsequent weiterentwickelt. Durch immer bessere Möglichkeiten der Stoffflusssimulation können komplexere Bauteile geschmiedet werden. Die Nutzung der Bauteilberechnungs-FEM von Massivumform-Unter-

nehmen erlaubt eine immer bessere Abstimmung der Bauteilauslegung mit dem Umformprozess. Dadurch lassen sich Leichtbaupotenziale entdecken und weiter ausreizen. Dies soll im Folgenden an zahlreichen Beispielen aus einem Split-Axle-Hybrid-Pkw und am Ende des Artikels an Nutzfahrzeug-Bauteilen aufgezeigt werden.

LEICHTBAUPOTENZIALE IM VERBRENNUNGSMOTOR

Der Pleuel im Ottomotor des Split-Axle-Hybrid-Pkw besteht aus dem mikrolegierten Stahl 23MnVS3 mit einer Zugfestigkeit von 850 MPa. Hier sind neue mikro-

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

legierte Stähle am Markt, die mit einer Zugfestigkeit von 1160 MPa und dadurch ohne Beeinträchtigung des Sicherheitsfaktors eine Reduzierung des Schaftquerschnitts zulassen und damit eine Gewichtsreduzierung um 51 g ermöglichen. Moderne bainitische Stähle mit noch höherer Zugfestigkeit versprechen ein Potenzial zur Gewichtseinsparung von weiteren 20 g.

Die Nockenwelle ist aus Eisengussmaterial als Vollwelle gefertigt. Gebaute Lösungen mit geschmiedeten Nocken sind der weitverbreitete Stand der Technik, der auch als Leichtbauvorschlag von Tekfor unterbreitet wurde. Der in **BILD 1** dargestellte Vorschlag setzt auf Rohrmaterial auf, das durch eine Innenhochdruckumformung mit multidirektionalen Werkzeugbewegungen mit der Funktionskontur versehen wird. Eine Gewichtsreduktion von 400 % wird möglich. Dabei müssen Festigkeit und Verschleißbeständigkeit der Nocken sicherlich noch detaillierter untersucht werden.

Für die Kurbelwelle werden verschiedene Vorschläge für optimierte Stahlwerkstoffe unterbreitet: Höherfeste mikrolegierte oder bainitische Stähle, die ebenso wie der aktuelle Werkstoff keine zusätzliche Wärmebehandlung nach dem Schmieden benötigen, oder Stähle mit einem sehr hohen Reinheitsgrad durch abgesenkten Schwefelgehalt dürf-

ten aufgrund ihrer höheren Lebensdauer eine kleinere Dimensionierung zulassen.

Aber auch konstruktiv-umformtechnische Lösungen werden vorgeschlagen: Hatebur bietet an, die Kurbelwelle aus Einzelteilen zu bauen. Damit ließen sich schmiedetechnisch einfache Taschen und Bohrungen in die Einzelteile einarbeiten. Schuler erweitert diesen Gedanken um das Fügen der Einzelteile per Schrumpfsitz. Trumpf geht noch weiter und schlägt vor, auch hohle Lagersitze zu verwenden und diese durch Laserschweißen mit den geschmiedeten Einzelteilen zu fügen.

LEICHTBAUPOTENZIALE IN POWER-SPLIT-GETRIEBE UND ANTRIEBSSTRANG

Die Rotorwelle im Power-Split-Getriebe ist als zweiteilige Lösung ausgeführt, **BILD 2**. Dabei ist der hohle Schaft mit einem Presssitz in den Elektrolechträger gefügt. Um das Drehmoment zu übertragen, ergibt sich notwendigerweise eine recht dickwandige Lösung. Der hier vorliegende Leichtbauvorschlag zielt darauf ab, das Lager-Biegemoment über einen viel größeren Durchmesser, über den Sitz des Elektrolechpakets, zu führen und damit in der Summe Masse einzusparen.

Im weiteren Antriebsstrang findet sich ein Schiebegelenk in der Seitenwelle. Die

Außenseite des Gelenks (Tripode, **BILD 2**) ist rund und überdreht. Der Leichtbauvorschlag zielt darauf ab, die Außenseite umformtechnisch mit einer Kontur zu versehen, die der Innenseite folgt. Dabei verbleibt genügend Wandstärke für die Induktivhärtung der Innenseite. Ein weiteres, hier noch nicht quantifiziertes Leichtbaupotenzial besteht darin, das Bauteil aus dem Stahl 50CrMnB5-3 (H50) 1.7136 umzuformen. Dadurch wird eine höhere Kernfestigkeit direkt durch Abkühlung aus der Halbwarmwärme als bei dem induktivhärtenden Kohlenstoffstahl erzeugt, der im Bauteil verwendet wurde. Dies könnte die Tragfähigkeit der Oberfläche verbessern und damit eine kleinere Auslegung des Gelenks ermöglichen.

Der Anschlussflansch, der den Ausgang des Differenzialgetriebes mit der Seitenwelle verbindet (wird an den Flansch des vorher erwähnten Gelenkgehäuses angeschraubt) könnte ebenso circa 10 % Masseneinsparung realisieren. San Grato schlägt hier eine tiefere Kavität vor, die kostengünstig schmiedetechnisch herstellbar ist.

Im analysierten Fahrzeug ist die Verbindung zwischen Innen- und Außenseite der Gleichlaufgelenkwelle eine Vollwelle. Im gewichtsoptimierten Vorschlag wird die Seitenwelle als Hohlwelle ausgehend von einem Rohr durch Rundkneten hergestellt.

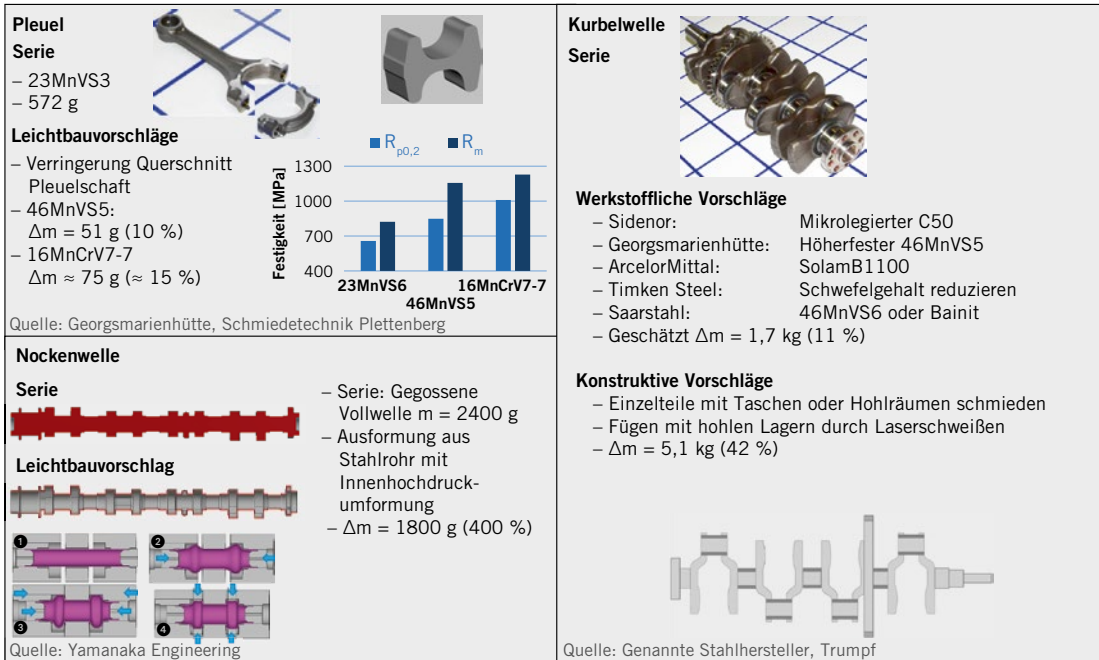


BILD 1 Leichtbaupotenziale im Verbrennungsmotor des Split-Axle-Hybridantriebs (© Initiative Massiver Leichtbau)

LEICHTBAUPOTENZIALE IM ELEKTRISCHEN HINTERACHSANTRIEB

Der erste Leichtbauvorschlag in diesem Anwendungsbereich zielt darauf ab, im Differential sechs statt vier Kegelräder zu verbauen, **BILD 3**. Dadurch wird die Drehmomentübertragung auf die doppelte Anzahl Zahnradflanken verteilt und das Gesamtsystem kann bedeutend kleiner gebaut werden.

Außen am Differentialgehäuse wird das Eingangsrad befestigt. Hier adressiert der Vorschlag von Hirschvogel einerseits eine Materialeinsparung unterhalb der Zahnfüße in den Bereichen, in denen auslegungsseitig auch weniger Drehmoment in die Zähne eingeleitet wird. Zudem kann beim Lochen im Schmiedeprozess eine konturierte Bohrung eingebracht werden, die zwischen den Anschraublöchern Gewicht einspart. Auch hier (wie beim Pleuel) könnte der Einsatzstahl 16MnCrV7-7 (H2) 1.8195 mit

kostengünstigen härtebarkeitssteigernden Legierungselementen die Verzahnungsbelastbarkeit durch eine erhöhte Zahnfußfestigkeit weiter steigern. Daido schlägt für Verzahnungsbauteile seinen DCDG-Stahl vor, der 40 % höhere Pittingfestigkeit und 20 % erhöhte Zahnfuß-Ermüdungsfestigkeit aufweist und damit eine kleinere und leichtere Dimensionierung erlaubt.

Quantifizierbare Daten liefert Timken Steel in seinem Leichtbauvorschlag, der auf zahlreiche leistungsübertragende Bauteile angewendet werden kann [2, 3]. Ein Bauteil, bisher aus einem Einsatzstahl der ME-Güte, kann bei Verwendung hochreiner Stähle um 300 MPa höher auf der Flanke belastet werden. Je nach Belastungszustand der Komponenten wird dadurch eine mögliche Masseneinsparung von 10 bis 30 % angegeben.

Im vorliegenden Pkw ist das Eingangsrad mit dem Differentialgetriebe mit zahlreichen Schrauben befestigt. Trumpf schlägt ein Laserschweißen auf Stoß vor, mit dem etwa 1 kg Werkstoff entfallen würde.

Der Träger, der das Differential mit dem Fahrwerkrahmen verbindet, besteht aus Gusseisen und wiegt 6,56 kg. Bharat Forge, Hammerwerk Fridingen, Hirschvogel und Lasco schlagen hier gewichtsoptimierte Versionen vor, die 10-20 % Gewicht einsparen könnten. Hirschvogel und Leiber schlagen den

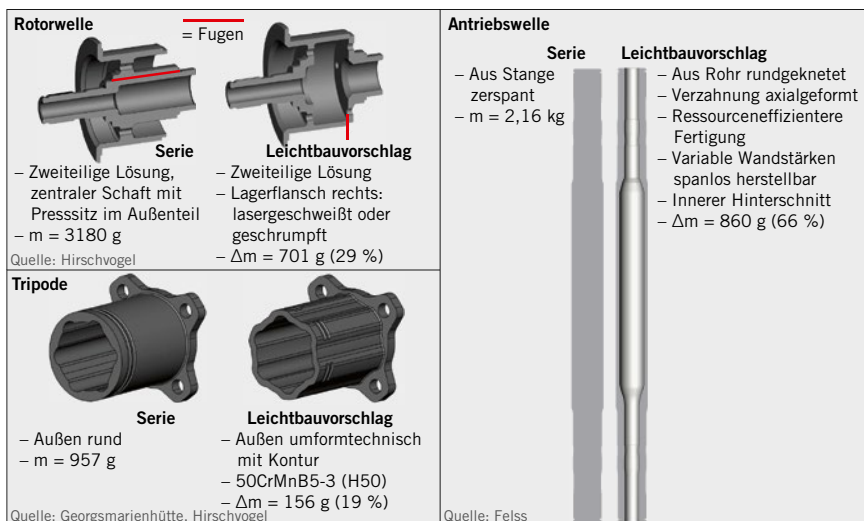


BILD 2 Leichtbaupotenziale im Power-Split-Getriebe und im weiteren Antriebsstrang (© Initiative Massiver Leichtbau)

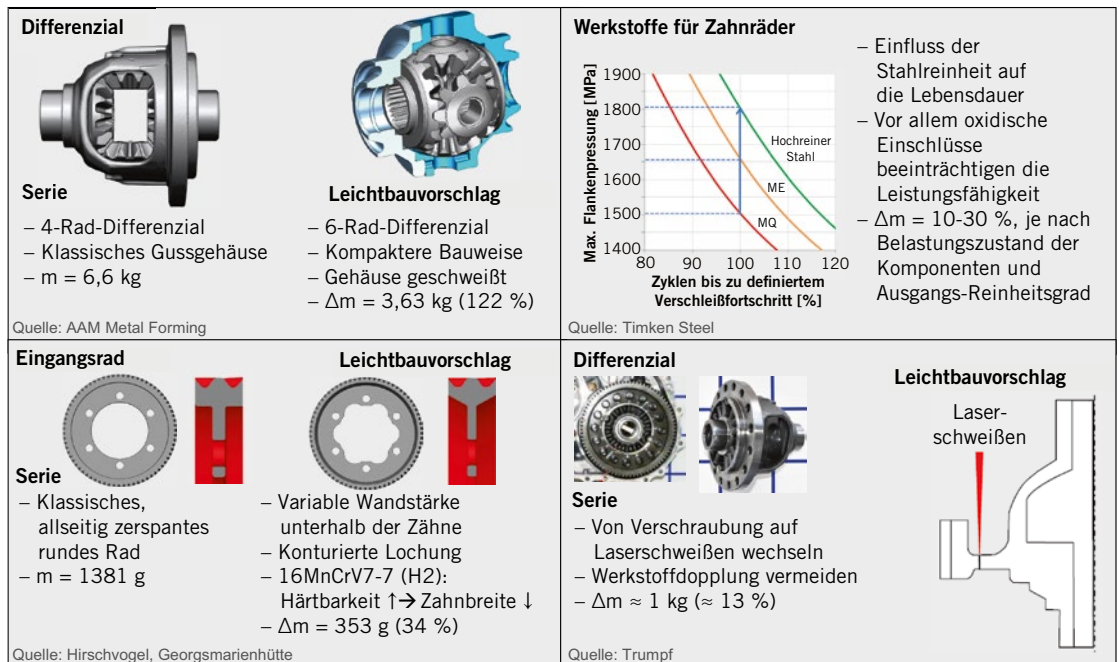


BILD 3 Leichtbaupotenziale im elektrischen Hinterachsantrieb (© Initiative Massiver Leichtbau)

Wechsel zu geschmiedetem Aluminium vor, das zu einer Masseneinsparung von 30 % führen dürfte.

LEICHTBAUPOTENZIALE IM FAHRWERK

Ein Vorschlag zielt auf den Stabilisator ab, **BILD 4**. Dieser ist im Fahrzeug ein gebogenes Rohr mit konstanter Wandstärke. Benteler schlägt hier als Ausgangsmaterial ein Rohr mit variabler Wandstärke vor, in dem die hochbelasteten Bogenbereiche eine dickere, weniger belastete Teile jedoch eine dünnere Wandstärke besitzen. Durch diese beanspruchungsgerechte Gestaltung ließen sich 1,55 kg im Stabilisator einsparen. Voestalpine unterbreitet den weiteren Vorschlag, für dieses Bauteil einen höherfesten Federstahl einzusetzen, um leichter dimensionieren zu können.

Das Federbein-Domlager ist im analysierten Fahrzeug ein aufwendiges, aus mehreren Stahlblechen gefügtes Montage-teil. Hier ließe sich durch eine Umstellung auf ein Aluminium-Schmiedeteil eine Gewichtseinsparung von circa 200 g erzielen.

Die direkte Verbindung des Fahrwerks zum Fahrer, die Lenkung, bietet ebenso Leichtbaupotenzial. Yamanaka Engineering schlägt hier für die Lenkungs-Zahnstange vor, ausgehend von Rohr-Vormaterial die Lenkverzahnung über einen

Dorn einzuschmieden. Dieser Vorschlag wird als Ansatz ohne abstützenden Dorn auch von der Schmiedegruppe von Nisan unterstützt. Hohlschmiedevorgänge für solche Bauteile sind auch durchaus schon in Anwendung. JFE schlägt die Verwendung eines höherfesten Stahls in der Verzahnung vor, um damit insgesamt kleiner und damit leichter zu dimensionieren.

Schwenklager und Radträger aus Gusseisen, **BILD 5**, lassen sich nahezu ohne geometrische Änderungen durch geschmiedetes Aluminium ersetzen, da sehr ähnliche Festigkeitswerte erreicht werden. Je nach Anforderung können kleine geometrische Anpassungen notwendig sein, um gleiche Steifigkeitswerte des Bauteils zu erreichen. Aus schmiedetechnischer Sicht wäre eine geometrische Optimierung zur Qualitätssteigerung des Bauteils sinnvoll.

Der hintere Querlenker kann als weiteres Leichtbaubeispiel dienen: Durch Umstieg von einer Stahlblech-Schweißkonstruktion auf eine Aluminium-Schmiedelösung besteht eine größere Flexibilität bezüglich versteifender Elemente, sodass trotz des viel geringeren E-Moduls eine Gewichtseinsparung bei erhöhter Längssteifigkeit erzielt werden kann.

Bei der Radnabe zielen ausgehend vom rotationssymmetrischen Bauteil zahlreiche Vorschläge auf die Wegnahme von Material von der runden

Außenseite ab. Cotarko schlägt ein Lochen von Durchbrüchen in den Flansch vor, das auch auf der Umformpresse durchgeführt werden kann. Aber auch konzeptionelle Leichtbauvorschläge werden unterbreitet: Der Ersatz des Verbindungstopfs der Brems-scheibe durch sternförmige Arme der Radnabe bietet neben der Bauraum-einsparung in Breitenrichtung ein signifikantes Leichtbaupotenzial.

LEICHTBAUPOTENZIALE IM SCHWEREN NUTZFAHRZEUG

In der dritten Phase der Initiative Massiver Leichtbau wird zusätzlich das Segment der schweren Lkw analysiert, um die Leichtbaupotenziale der Massivumformung auch für diesen Anwendungsbereich darzustellen. Anhand eines Getriebes, einer Kardanwelle und einer Hinterachse lassen sich zahlreiche Mas-seneinsparungspotenziale aufzeigen. Die Hinterachse ist hier eine Schweißkonstruktion aus einem mittig befindlichen Gussbauteil, einem Bremsträger und einem hohlen Achsstummel.

Der Bremsträger an der Hinterachse ist dabei ein sehr planares Schmiedebauteil. Der Leichtbauvorschlag in **BILD 6** zielt darauf ab, nur an den Lastpfaden Material zu konzentrieren. Lochungen und Vertiefungen sowie filigranere Strukturen können beim Schmieden ohne gro-



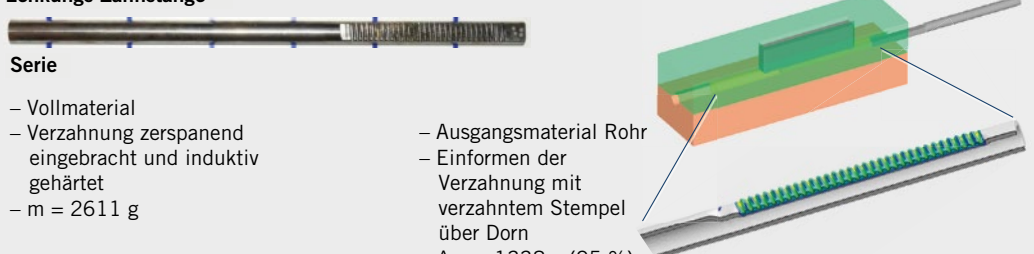
<p>Stabilisator</p>  <p>Serie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rohr mit konstanter Wandstärke - m = 3880 g <p>Leichtbauvorschlag</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rohr mit variabler Wandstärke - Verdickung im Bogenbereich - $\Delta m = 1550$ g (66,5 %) <p>Quelle: Benteler</p>	<p>Federbein-Domlager</p>  <p>Serie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bauteil aus mehreren Blechteilen mit Gummilager gefügt - m = 960 g <p>Leichtbauvorschlag</p> <ul style="list-style-type: none"> - Al-Schmiedeteil - Gummilager eingebördelt - $\Delta m \approx 200$ g (≈ 25 %) <p>Quelle: Leiber, Schuler, Hirschvogel (Bild)</p>
<p>Lenkungs-Zahnstange</p>  <p>Serie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vollmaterial - Verzahnung zerspanend eingebracht und induktiv gehärtet - m = 2611 g <p>Leichtbauvorschlag</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ausgangsmaterial Rohr - Einformen der Verzahnung mit verzahntem Stempel über Dorn - $\Delta m = 1338$ g (95 %) <p>Quelle: Yamanaka Engineering</p>	

BILD 4 Leichtbaupotenziale im Fahrwerk – Stabilisator, Federbein-Domlager und Lenkungs-Zahnstange (© Initiative Massiver Leichtbau)

ßen Aufwand eingebracht werden, sodass eine beachtliche Massenreduzierung von 29 % bei einem Bauteil mit 10,32 kg Serienmasse erzielt wird.

Aber auch unter Beibehaltung der Rotationssymmetrie können im Getriebereich klare Gewichtseinsparungen erzielt werden, wie die Anwendung Vorlegewelle zeigt. Hier wird von Linamar Seissenschmidt eine Umstellung von der Voll- auf eine Hohlwelle vorgeschlagen. Ausgehend vom Rohrmaterial kann eine Hohlform durch Rundkneten hergestellt

werden. In direkter Nähe zu den Wellen schlägt Richard Neumayer an Zahnradern im Getriebe Masseneinsparung durch stärker ausgeprägte Konturen vor.

Der Anschlussflansch der Kardanwelle ist weitgehend rotationssymmetrisch ausgeführt. Schmiedetechnisch ist es einfach möglich, weniger belastete Werkstoffbereiche zu entfernen, um somit ein leichteres Bauteil zu erzeugen.

Kamax stellt Leichtbaupotenziale bei Verbindungselementen durch die Einbringung eines Innensechskants in den

Schraubenkopf vor, der zudem noch bei der Montage Vorteile aufweisen kann. Aber auch die Verwendung eines höherfesten Werkstoffs mit der Festigkeitsklasse 15.9U unter Berücksichtigung aller Randbedingungen (zum Beispiel Resistenz gegen Wasserstoff) kann deutliche Gewichtseinsparungen erzielen. Leichtbaupotenzial durch hochfeste Schrauben sieht auch der Stahlhersteller Nippon Steel durch den Einsatz eines Stahls mit guter Beständigkeit gegen Wasserstoffversprödung. Insgesamt



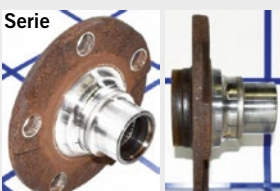
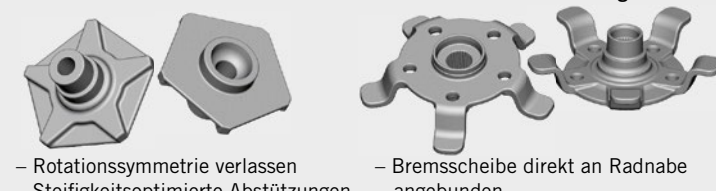
<p>Schwenklager</p>  <p>Serie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gusseisen - m = 5,06 kg <p>Leichtbauvorschlag</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geschmiedetes Aluminium - $R_{p0,2} = 350$ MPa, $R_m = 390$ MPa - $\Delta m = 3320$ g (191 %) <p>Vorschlag: Hirschvogel, Lasco, Leiber, Nissan, Schuler, Setforge</p>	<p>Querlenker hinten</p>  <p>Serie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Schweißkonstruktion aus Blechtiefzieh- und Stanzbiegebauteilen - m = 3080 g <p>Leichtbauvorschlag</p> <ul style="list-style-type: none"> - Al-Schmiedeteil (hier noch vereinfacht) - Steifigkeit in Längsrichtung +4 % - $\Delta m = 310$ g (11 %) <p>Quelle: Hirschvogel</p>
<p>Radnabe</p>  <p>Serie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Induktiv gehärteter Stahl - m = 1637 g <p>Leichtbauvorschlag I</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rotationssymmetrie verlassen - Steifigkeitsoptimierte Abstützungen - $\Delta m = 436$ g (36 %) <p>Quelle: Linamar Seissenschmidt Forging</p>	<p>Leichtbauvorschlag II</p>  <ul style="list-style-type: none"> - Bremsscheibe direkt an Radnabe angebunden - Topf an der Bremsscheibe entfällt - $\Delta m \approx 400$ g <p>Quelle: Hirschvogel</p>

BILD 5 Leichtbaupotenziale im Fahrwerk – Schwenklager und Radträger, hinterer Querlenker sowie Radnabe (© Initiative Massiver Leichtbau)

<p>Bremsträger Hinterachse Serie</p>  <p>– Schmiedebauteil – m = 10,32 kg</p> <p>Leichtbauvorschlag</p>  <p>– Schmiedebauteil mit filigraneren Strukturen und Lochungen – $\Delta m = 2,32$ kg (29 %)</p> <p>Quelle: Hammerwerk Fridingen</p>	<p>Vorgelegewelle Getriebe Serie</p>  <p>– Vollwelle – m = 23,99 kg</p> <p>Leichtbauvorschlag</p>  <p>– Hohlwelle rundgeknietet – Ausgangsmaterial Rohr – $\Delta m = 6,54$ kg (37,5 %)</p> <p>Quelle: Linamar Seissenschmidt Forging</p>
<p>Anschlussflansch Kardanwelle Serie</p>  <p>– m = 4 kg</p> <p>Leichtbauvorschlag</p>  <p>– Wegnahme von Werkstoff an geringer belasteten Bereichen – $\Delta m = 420$ g (11,7 %)</p> <p>Quelle: Buderus Edelstahl</p>	<p>Verbindungselemente Serie</p>  <p>M12</p> <p>Leichtbauvorschlag</p>  <p>M10</p> <p>– KXtreme: Verkleinern auf M10 durch Festigkeitsklasse 15.9U – KXhead: Leichtbaukopf – $\Delta m_{\text{Hybrid-Pkw}} = 5,6$ kg – $\Delta m_{\text{Lkw}} = 1,6$ kg</p> <p>Quelle: Kamax</p>

BILD 6 Leichtbaupotenziale im Antriebsstrang des schweren Nutzfahrzeugs – Bremsträger an der Hinterachse, Getriebe-Vorgelegewelle, Anschlussflansch der Kardanwelle und Verbindungselemente (© Initiative Massiver Leichtbau)

wurde im Zuge der Studie ein Leichtbaupotenzial für den schweren Lkw von 124 kg identifiziert.

GESAMTFAZIT

Die Massivumformung ist zwar die älteste Fertigungstechnik von Metallen, aber die Branche erarbeitet ständig kreative Weiterentwicklungen, die sich für Leichtbauoptimierungen nutzen lassen. Dies gilt sowohl auf industrieller Ebene, wie die zahlreichen Beispiele hier verdeutlichen, als auch in akademischen Zusammenhängen. Letzteres demon-

striert der Forschungsverbund „Massiver Leichtbau“, der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) über drei Jahre gefördert wurde (von 2015 bis 2018) [4].

Im Zusammenspiel von Verbesserungen aus werkstofflicher und fertigungstechnischer Sicht kann – unter Beteiligung aller Prozesskettenpartner – ein deutlicher Leichtbaufortschritt erzeugt werden, wie in den Beispielen eindrücklich aufgezeigt wurde. Die Unternehmen der Stahl- und Massivumformbranche stehen den Kunden für diese Herausforderungen zur Verfügung.

LITERATURHINWEISE

- [1] Wurm, T.; Busse, A.; Raedt, H.-W.: Initiative Massiver Leichtbau – Phase III: Werkstofflicher Leichtbau für Hybrid-Pkw und schweren Lkw. In: ATZ 121 (2019), Nr. 3, S. 16-23
- [2] Damm, E. B.; Glaws, P. C.; Findley, K. O.: The Effects of Non-Metallic Inclusions on Mechanical Properties and Performance of Steel. AISTech 2016, Pittsburgh (USA), 16.-19. Mai 2016
- [3] Timken Steel: Clean Steels Improve Gear Performance. Online: <https://www.youtube.com/watch?v=DjdAZUI6bk>, aufgerufen am 25.06.2018
- [4] Industrieverband Massivumformung: Forschungsverbund für den massiven Leichtbau. Online: <http://www.massivleichtbau.de/forschungsverbund/>, aufgerufen am 25.06.2018



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

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



YOUR PARTNER FOR MECHATRONIC SOLUTIONS

Optimizing current technologies while innovating for the future? Our engineers will bring you a tailor-made solution.

- 0 ppm often approached, always improving
- 1.5 billion actuators already at your service
- Designed for harsh environments



Get in touch! We are ready for your challenge!

sonceboz.com/git

FROM MIND TO MOTION