



## FEM-optimierte Leichtbau-Hohlwellen für das Getriebe

Im Getriebebereich kann durch die Verwendung hohler Getriebewellen ganz erheblich Gewicht und damit CO<sub>2</sub> gespart werden. Hirschvogel hat es geschafft, trotz geringerem Materialeinsatz unverändert hohe Lasten zu übertragen. Diese geschmiedeten Leichtbauwellen können sowohl im Handschaltgetriebe als auch im Achs- und Verteilergetriebe von Personenwagen oder Nutzfahrzeugen eingesetzt werden.

## 1 Einleitung

Die Optimierung von Getriebekomponenten hat derzeit drei Zielrichtungen: CO<sub>2</sub>-Reduzierung, Kostensenkung und Erhalt der guten mechanischen Eigenschaften. Die CO<sub>2</sub>-Reduzierung wird vor allem durch Leichtbaumaßnahmen erreicht, denn mit geringerem Fahrzeuggewicht sinkt auch der Kraftstoffverbrauch. Im Getriebebereich kann durch die Verwendung hohler Getriebewellen ganz erheblich Gewicht gespart werden. Die leichteren Bauteile sollen aber unverändert hohe Lasten übertragen.

Um die mechanischen Eigenschaften auf dem erforderlichen hohen Niveau zu halten, müssen bei der Gestaltung der Hohlgeometrie Steifigkeits- und Festigkeitsanalysen mittels FEM durchgeführt werden. Neben der Gewichtsreduzierung ist jedoch auch noch die Kostensenkung zu beachten. Hierfür muss vor allem darauf geachtet werden, die Einsatzmaterialmenge zu reduzieren und die Verfahrenskette geschickt auszulagern [1].

## 2 Leichtbau

Hohle Leichtbauwellen, **Bild 1**, können sowohl im Schaltgetriebe als auch im Achs- und Verteilergetriebe eingesetzt werden. Insbesondere bei Kegelradwellen ist im Pkw-Dimensionsbereich durch Hohlformung eine wesentliche Gewichtsreduzierung von über 1 kg pro Welle ohne Festigkeitseinbußen möglich. Bei schweren Wellen für Nutzfahrzeuge ergeben sich Materialersparnisse zwischen 4 und 6 kg. Auch Seitenwellen sind hohl herstellbar, sofern der Bauraum diese Konstruktion erlaubt. Bei Frontantrieb werden eine lange und eine kurze Seitenwelle benötigt. Die lange Ausführung mit zirka 600 mm Länge bietet ausgezeichnete Möglichkeiten zur Gewichtsreduzierung bei gleichzeitiger Erhöhung der Torsionssteifigkeit.

Die Herstellung von Leichtbauwellen erfordert häufig eine Kombination spezieller Fertigungsverfahren wie Tieflochbohren und Rundkneten. Formflansche können spanlos durch Warmumformung erzeugt werden. Bei manchen Anwendungen sind Wellen mit geschlossenen Enden erwünscht. Dies kann durch eine zweiteilige gefügte Konstruktion ermöglicht werden. Allerdings erhöhen sich dabei die Herstell-

kosten beträchtlich, so dass dann meist die Verwendung eines Verschluss-Stopfens eine mögliche Alternative ist.

## 3 Kostenreduzierung

An diesen ersten Beispielen wird bereits schnell deutlich, dass die Kostensituation bei Hohlwellen sehr kritisch betrachtet werden muss. Das Einbringen des Hohlraums durch Bohren, durch Massivumformung oder durch Rohrwalzen im Stahlwerk ist in jedem Fall ein kostenverursachender zusätzlicher Prozessschritt. Um also die Kosten zu senken, muss zum einen auf die Minimierung der eingesetzten Materialmenge geachtet werden, und zum anderen müssen Benefits in der Prozesskette konsequent genutzt werden. Insbesondere die Massivumformung (das Schmieden) bietet hierbei die Möglichkeit, weitere Formelemente ohne Mehrkosten in den Umformprozess zu integrieren.

**Bild 2** zeigt einen kostenoptimierten Lamellenträger mit Schaft und Innenverzahnung. Ursprünglich bestand dieses Bauteil aus drei miteinander verschweißten Einzelteilen. Bei der optimierten Ausführung ergab sich eine einteilige massivumgeformte Konstruktion. Durch den Entfall des Fügens und der spanenden Splines-

oder Verzahnungsherstellung konnten die Fertigungskosten stark reduziert werden. Da außerdem beim Umformen der Verzahnung eine Kaltverfestigung stattfindet, wird die Zielfestigkeit der Lamellenverzahnung erreicht, ohne dass eine teure Wärmebehandlung erforderlich ist.

## Die Autoren



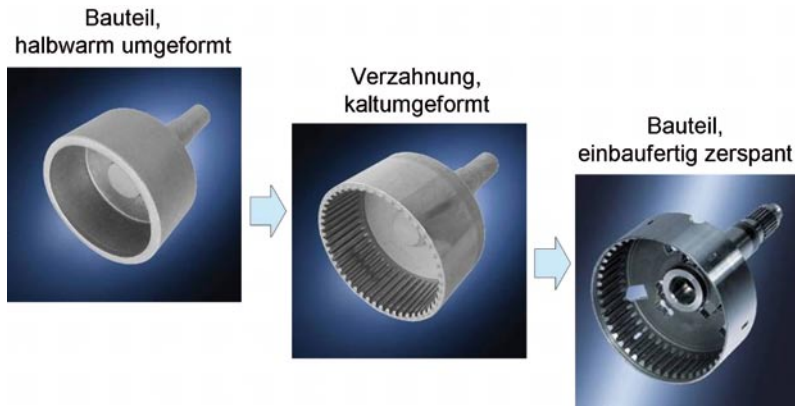
Dipl.-Ing.  
**Gisela Quintenz**  
ist Leiterin Profit-Produktions-Center 1 der Hirschvogel Umformtechnik GmbH in Dencklingen.



Dr.-Ing.  
**Hans-Willi Raedt**  
ist Hauptabteilungsleiter Produktentwicklung der Hirschvogel Umformtechnik GmbH in Dencklingen.



**Bild 1:** Bauartenvielfalt von Hohlwellen für Getriebeanwendungen



**Bild 2:** Kostenoptimierter Herstellprozess eines Lamellenträgers – vom halbwarm geschmiedeten Basisbauteil (links) über die kaltverformt eingebrachte Verzahnung (Mitte) bis zum einbaufertig zerspannten Bauteil (rechts)

Bei der Herstellung solch komplizierter maßgenauer Formelemente wie Spline- oder Lamellenverzahnungen wird die Umformqualität im Vorfeld mittels FEM-Stoffflusssimulation überprüft und optimiert. **Bild 3** zeigt die Umformung einer Splineverzahnung ohne und mit Prozessoptimierung. Links ist erkennbar, dass beim Verzahnenden Material aufgeschoben wird, was zu einer Störung des Faserverlaufs und Verringerung der Bauteilqualität führt. Rechts in Bild 3 ist das Simulationsergebnis des fehlerfrei umgeformten Bauteils gezeigt.

#### 4 Geometrieoptimierung per FEM

Vor der Stoffflussoptimierung wird die Bauteilgeometrie mittels linearelastischer FEM-Analysen optimal ausgelegt. Bei der Bauteilgestaltung wird darauf geachtet, gute mechanische Eigenschaften zu gewährleisten und gleichzeitig das Gewicht und die Herstellkosten zu reduzieren.

In **Bild 4** ist links die Basisgeometrie einer Zwischenwelle gezeigt. Bei einer Torsionslast von 2400 Nm ergibt sich für die Basisgeometrie eine maximale Vergleichsspannung von 690 MPa sowie eine maximale Verdrehung von 0,65 mm. Das Optimierungsziel ist es, bei gleicher Last eine höhere Festigkeit zu erreichen. Nach Prüfung des verfügbaren Bauraums besteht konstruktiv die Möglichkeit, den Schaft-Außendurchmesser zu vergrößern. Damit sich dadurch das Gewicht nicht erhöht, muss gleichzeitig der innere Hohlraum erweitert beziehungsweise die Wandstärke

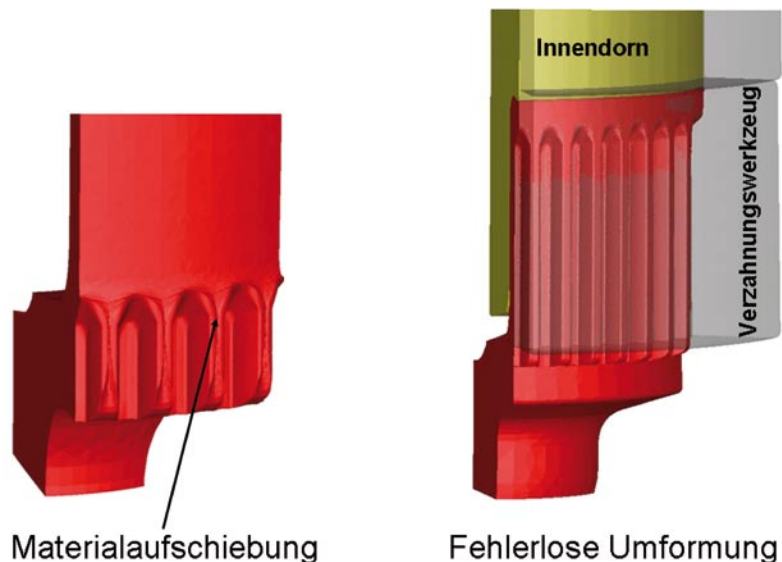
reduziert werden. Die optimierte Konstruktion ist in Bild 4 rechts zu sehen. Es weist niedrigere Spannungswerte von maximal 500 MPa und eine Verdrehung unter 0,45 mm auf. Des Weiteren ergeben sich eine Gewichtsreduzierung von 13,6 % und schließlich sogar eine Senkung der Herstellkosten, weil der Zerspannungsaufwand außen reduziert wird und die Tieflochbohrung innen entfällt.

Ein ähnlicher Fall lässt sich am Beispiel einer Achsgetriebewelle beschreiben. Diese Getriebewelle wird am linken Bund über ein umlaufend angeschweißtes Tellerrad angetrieben und mit 2000 Nm bis zur rechten Steckverzahnung tordiert. Auch hier müssen zu Beginn der Geometrie

rieoptimierung die Bauraumgrenzen definiert werden, denn meist führt die verbesserte Bauteilgeometrie zu einer Reduzierung der Wandstärken und einer Vergrößerung des Wellen-Außendurchmessers.

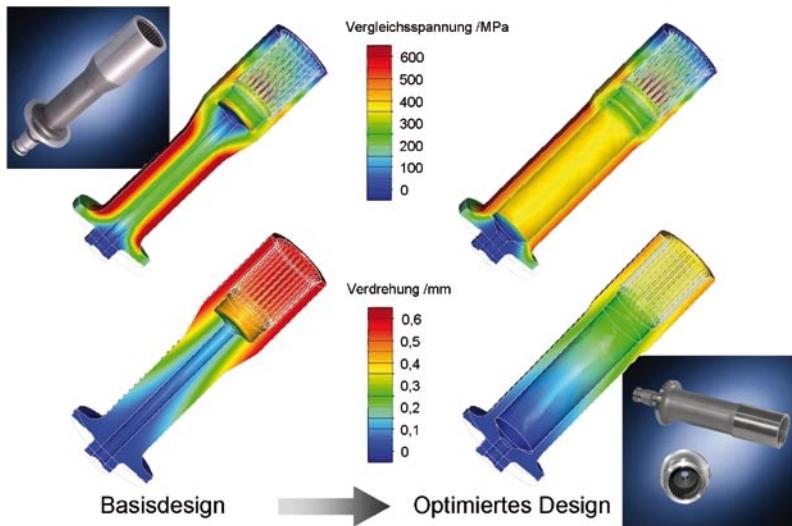
**Bild 5** zeigt die FEM-Ergebnisse der Steifigkeits- und Festigkeitsanalysen für die Basiskonstruktion (links) der Achsgetriebewelle und die optimierte Geometrie (rechts). Die höchste Belastung ergibt sich an der Steckverzahnung. Der Durchmesser und die Wandstärke können an dieser Stelle aus Bauraumgründen nicht variiert werden. Auch die Lagerdurchmesser bleiben unverändert. Variabel gestaltet werden können die Innenkontur und der Wandverlauf zwischen dem Lager- und dem Tellerradsitz.

Bei der Basiskonstruktion ist die Wandstärke unter dem Lagersitz kaum belastet und somit überdimensioniert. Bei der gewichtsoptimierten Geometrie wird diese Wandstärke verringert und belastungsgerecht gestaltet, so dass dort unkritische Spannungen von maximal 250 MPa anliegen. Im weiteren Verlauf bis zum Tellerradsitz wird der zur Verfügung stehende Bauraum voll ausgenutzt und die Wellenkontur weit nach außen verlegt. Dadurch ergibt sich eine Spannungsreduzierung auf unter 120 MPa. Die Wandstärke könnte somit eigentlich in diesem Bereich noch weiter minimiert werden. Dies ist jedoch prozessbedingt nicht möglich. Der sich ergebende Hohlraum kann spanend nicht effizient her-

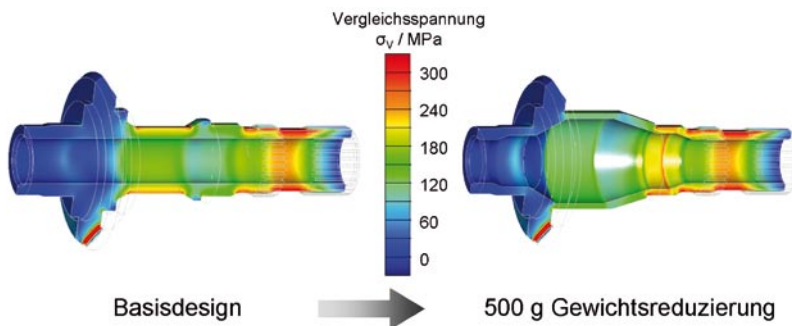


**Bild 3:** FEM-Umformsimulation mit fehlerfrei umgeformtem Bauteil (rechts)

effizient  
integriert  
innovativ



**Bild 4:** Geometrieoptimierung einer Zwischenwelle hin zu einer optimierten Konstruktion (rechts)



**Bild 5:** Gewichtsoptimierung einer Achsgetriebewelle um 20 % oder 500 g

gestellt werden. Mittels Massivumformung ist eine solche Kontur aber machbar. Der Hauptvorteil der optimierten Geometrie ist das um 20 % beziehungsweise 500 g verringerte Bauteilgewicht.

## 5 Zusammenfassung

In den Beispielen zeigt Hirschvogel deutlich, dass Getriebewellen Einiges an Optimierungspotenzial hinsichtlich Gewicht und Kosten bieten, ohne dass sich dabei die guten mechanischen Bauteileigenschaften verschlechtern. Schmieden, Tieflochbohren und Rundkneten führen zu maßgenauen hohlen Leichtbauwellen für Pkw und Lkw.

Derartige optimierte Konstruktionsvarianten müssen allerdings in einem möglichst frühen Entwicklungsstadium vom Anwender und Lieferanten gemeinsam definiert werden, denn Änderungen zu

einem späteren Zeitpunkt – nach Serienfreigabe – sind meist mit hohen Kosten verbunden. Nur wenn die Bauteilgeometrie, der Werkstoff und die Fertigung aufeinander abgestimmt sind, gelingt eine umfassende Optimierung. Um frühzeitig solche optimalen Produkte zu entwickeln, steht die Hirschvogel Automotive Group ihren Kunden mit modernen Entwicklungswerkzeugen, erfahrenen Mitarbeitern und innovativen Ideen weltweit zur Verfügung.

## Literaturhinweis

- [1] Raedt, H.-W.: Hochleistungsbauteile aus massivumgeformten Werkstoffen. In: ATZ 108 (2006), Nr. 9. S. 732 – 737

Download des Beitrags unter  
[www.ATZonline.de](http://www.ATZonline.de)

ATZ  
online

ATZ

Read the English e-magazine.  
Order your test issue now:  
SpringerAutomotive@abo-service.info



## Unser Produktspektrum

- Prüfstände zum Test von
  - Abgasturboladern
  - Getriebe und Antriebsstrang
  - Motoren
  - Fahrzeugbatterien
  - Hybrid- und Elektroantriebe
- Batteriesimulatoren
- Software für Testdaten- und Prüffeldmanagement

**kratzer**  
AUTOMATION

München / Stuttgart / Wolfsburg / Paris / Shanghai / Puebla

Mehr Infos unter  
[www.kratzer-automation.com](http://www.kratzer-automation.com)  
oder telefonisch unter  
+49 (89) 32152-100