




GETPRO

Kongress zur Getriebeproduktion

11./12. März 2009, Congress Centrum Würzburg

Innovative massivumgeformte Getriebekomponenten

Vortragender	Quintenz, Gisela Hirschvogel Umformtechnik GmbH Mühlstraße 6 86920 Denklingen		 Hirschvogel Umformtechnik
Weitere Autoren	Hofmann, Tobias Hirschvogel Umformtechnik GmbH	Raedt, Hans-Willi, Hirschvogel Umformtechnik GmbH	

Kurzfassung

Ein Großteil aller Getriebekomponenten wird durch Massivumformung hergestellt, da dies ein äußerst wirtschaftliches Fertigungsverfahren ist. Insbesondere die ständig steigenden Stahlpreise verteuern eine spanende Fertigung im Vergleich zur Massivumformung.

An einigen Beispielen wird aufgezeigt, wie hohle Getriebewellen durch Massivumformung kostengünstig hergestellt werden können. Bei speziellen Geometrien ist eine Kombination der Verfahren Kalt-, Halbwarm- oder Warmumformung vorteilhaft. Da bei der Hirschvogel Automotive Group sowohl für die Zerspanung als auch für die Umformung alle erforderlichen Verfahren zur Verfügung stehen, wird bei jedem Bauteil die optimale Prozesskette identifiziert und angewandt.

Für die Umstellung von der massiven zur hohlen Getriebewelle versteht sich die Hirschvogel Automotive Group nicht nur als Bauteillieferant, sondern auch als kompetenter Entwicklungspartner. Eine gewichtsoptimierte Bauteilauslegung erfolgt inhouse mittels linear-elastischer Simulation. Bei komplexen Geometrien kommen Topologie- und Gestaltoptimierung zum Einsatz. Auslegungsbegleitend werden sämtliche Umformprozesse mittels Stofffluß-FEM abgebildet und überprüft. Dazu stehen die entsprechenden Softwaretools jedem Hirschvogel-Konstrukteur zur Verfügung.

Neben den Hohlwellen ist auch die umformtechnische Herstellung von Verzahnungen eine aktuelle Entwicklung, die an Bedeutung gewinnt. Durch Fließpressen können sowohl innen- als auch außenverzahnte Bauteile dargestellt werden. Spline-, Sensor- und Lamellenverzahnungen werden einbaufertig gepresst. Im Allgemeinen lassen sich Qualitäten IT 7-8 (nach DIN 5480) erreichen und wegen des nicht angeschnittenen Faserverlaufs können sich hier Vorteile hinsichtlich Festigkeit ergeben.

Die Hirschvogel Automotive Group ist einer der leistungsfähigsten Massivumformer weltweit. Für die Automobilindustrie werden verschiedenartigste Bauteile zwischen 0,5 und 30 kg in hohen Stückzahlen hergestellt. Die Mitarbeiter können ihre Kunden durch langjährige Erfahrung und hohe Entwicklungskompetenz von der ersten Bauteilidee bis hin zur einbaufertig getesteten Komponente unterstützen.



Innovative massivumgeformte Getriebekomponenten

Marktanforderungen für Massivumformteile

Die moderne Bauteilentwicklung im automotive Bereich erfolgt derzeit mit Fokus auf die Themen „CO₂-Reduzierung“ und „Kostensenkung“. Für Getriebewellen bedeutet dies meist eine Ausführung als Hohlwellen. Dadurch kann ganz erheblich Gewicht gespart und somit auch der Kraftstoffverbrauch minimiert werden. Um Kosten zu senken, muss vor allem darauf geachtet werden, die Einsatzmaterialmenge zu reduzieren, denn die zeitweise rapide steigenden Materialpreise sind hauptverantwortlich für hohe Stückkosten. Ein weites Feld für Bauteil-Neuentwicklungen ist schließlich noch die Optimierung der Herstell-Prozesskette. Damit für jedes Bauteil das effizienteste Verfahren angewandt werden kann, müssen innerhalb einer Firma verschiedenste Fertigungsmöglichkeiten vorhanden sein. In der Massivumformung stehen drei Umformtemperaturen zur Verfügung, die sich zur Herstellung unterschiedlicher Bauteilgruppen eignen. Die Kaltumformung erfolgt bei Raumtemperatur und liefert hervorragende Oberflächen und hohe Genauigkeiten. Sie kommt zur Anwendung bei rotationssymmetrischen Bauteilen wie Getriebewellen mit einfachen Flanschen. Die Halbwarmumformung bei 950 C ist gut geeignet für Ritzelwellen mit großem Kopfdurchmesser und Bauteilen mit Napf, wie z.B. Gelenkstücke im Antriebsstrang. Die bei 1200 C stattfindende Warmumformung ermöglicht die Herstellung komplexer Geometrieformen. Aufgrund der Zunderbildung liegen hier aber grobe Oberflächen und geringere Genauigkeiten vor.



20°C

Kaltumformung

950°C

Halbwarmumformung

1200°C

Warmumformung



Bild 1: Massivumformung

Hohlwellen

Die verstärkte Nachfrage nach hohlen Getriebewellen ist zum einen auf die bereits angesprochenen Leichtbau-Anstrengungen zurückzuführen, zum anderen aber auch technologisch begründet, denn in Stufenautomat- und Doppelkupplungsgetrieben sind zwei oder mehr Wellen konzentrisch angeordnet, so dass die äußeren Wellen in Hohlausführung vorliegen müssen.



In Bild 2 sind die typischen Schaltgetriebe-Bundwellen abgebildet. Aufgrund der starken Wandstärkenvariation zwischen Bund und Schaft ist die Hohlumformung dieser Bauteilgruppe sehr anspruchsvoll. Die optimale Hohlform-Prozessfolge erfordert je nach Wellengeometrie eine unterschiedliche Kombination der Verfahren „Warm-/Halbwarmgeschmieden“, „Kaltumformung“, „Abschnitt bohren“ und „Rundkneten“. Die Hirschvogel Automotive Group ist mit diesen Prozessen vertraut und beteiligt sich aktiv an der Entwicklung von kostengünstig herstellbaren Hohlgeometrien. In enger Zusammenarbeit mit dem Kunden gelingt es dabei durchaus, den beiden Zielen Gewichtsreduzierung und Kostensenkung gerecht zu werden.



Bild 2: Hohlwellen für Schaltgetriebe

Aktuell werden Getriebewellen häufig am Ende der Fertigungsprozesskette mit erheblichem Aufwand hohlgebohrt. Diese Leichtbau-Mehrkosten gilt es zu minimieren. Aufgrund der zeitweise sehr hohen Stahlpreise und Legierungszuschläge ist außerdem besonders darauf zu achten, dass zur Bauteilherstellung möglichst wenig Einsatzmaterial verwendet wird. Da das Hohlbohren des Fertigteils eine große Menge Werkstoff verschwendet, sind spanlose bzw. umformende Fertigungsverfahren gefragt.



Bild 3: Prozessvergleich Hohlbohren - Hohlumformen



Eine Kostenanalyse der Hohlwellen-Herstellmöglichkeiten zeigt, dass die konventionelle Fertigung, bei der die Operation Hohlbohren gegen Ende des Herstellprozesses erfolgt, die teuerste Vorgehensweise ist (oranger Balken in Bild 4). Der kostengünstigste Herstellprozess ergibt sich für die massive Vollwelle ohne jegliche Hohlfertigungsaufwände (gelber Balken in Bild 4). Allerdings ist diese Bauform durch ihr hohes Gewicht im Zusammenhang mit der Verbrauchs- bzw. CO₂-Reduzierung nicht mehr zeitgemäß. Eine akzeptable Kostensituation ergibt sich, wenn eine Hohlumformung zu Beginn des Herstellprozesses stattfindet (hellblauer Balken in Bild 4). Die Kosten sind dabei zwar meist geringfügig höher als bei der Vollwelle, liegen aber deutlich unter den Kosten für die konventionelle Fertigung. Auch ein kombinierter Zerspan-/Umform-Prozess mit günstigem Bohren vor der Umformung (dunkelblauer Balken in Bild 4) ist wirtschaftlicher als die konventionelle Fertigung.

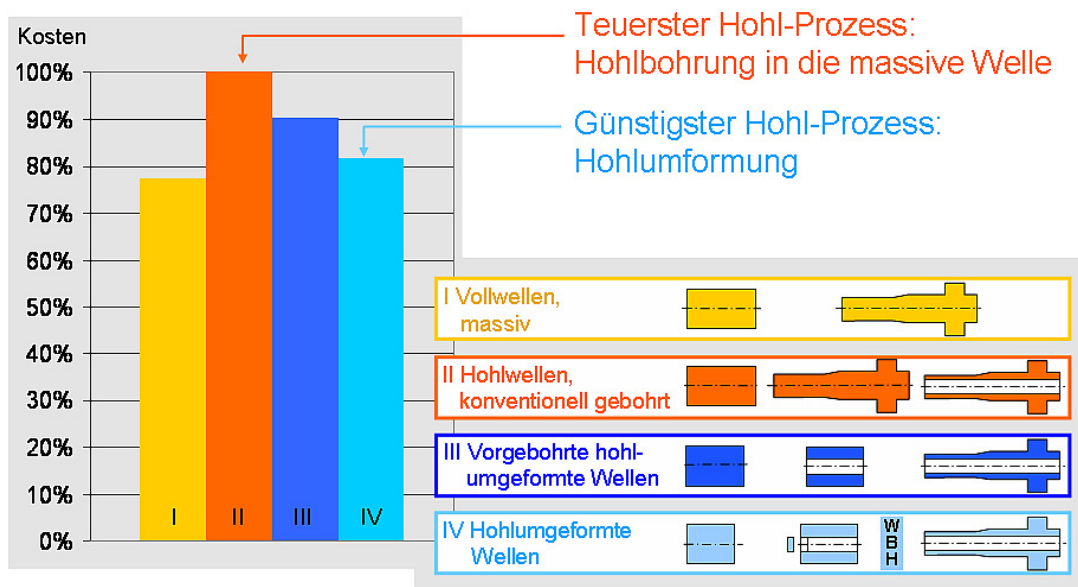


Bild 4: Hohlwellen - Kostenanalyse

Um den optimalen Verlauf der Innenkontur und die erforderliche Mindestwandstärke zu ermitteln, werden für die hohlen Wellenvarianten FEM-Festigkeitsberechnungen durchgeführt. In Bild 5 ist das links abgebildete konventionell gebohrte Design 430 g schwerer als die optimierte Umformgeometrie.

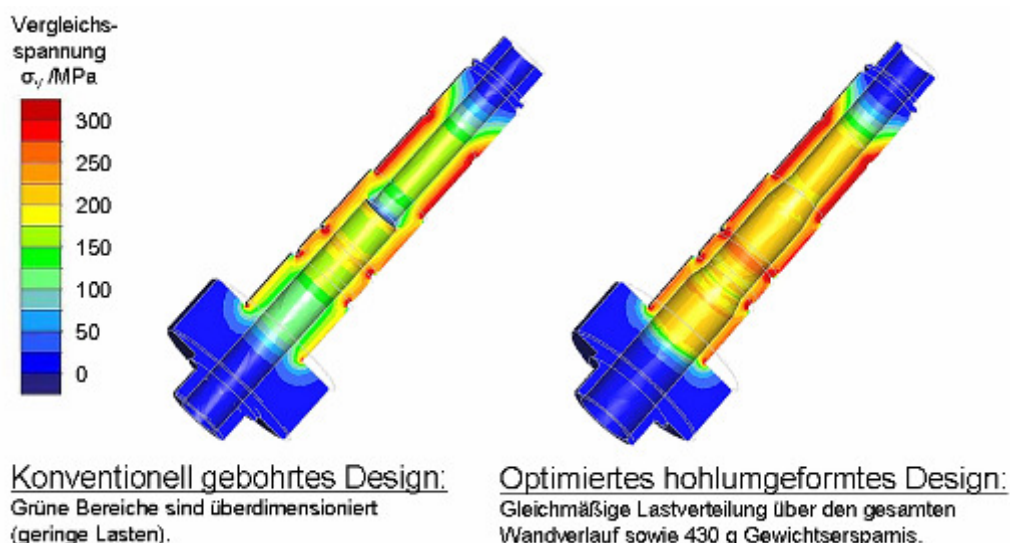


Bild 5: Gestaltoptimierung von Bundwellen



Kostenreduzierung durch Optimierung der Herstellprozessfolge

Neben dem Leichtbau ist auch die Verkürzung der Prozesskette ein wichtiges Thema. In Bild 6 sind kostenoptimierte Umformteile gezeigt. Einige aufwändige Zerspanoperationen konnten hier durch effiziente Umformung ersetzt werden. Bei dem abgebildeten Planetenträger werden die Planeten-Laufflächen in einem Kaltpress-Hub kalibriert, so dass das Schleifen entfällt.

Steck- oder Lamellenverzahnungen können unter Einhaltung aller Verzahnungstoleranzen massivumgeformt werden und somit sind teure Wälzfräsprozesse nicht mehr notwendig.

Bei mehrteilig gefügten Bauteilen ist häufig die Umwandlung in ein umformtechnisch erzeugtes einteiliges Design möglich. Mittels Warm- oder Halbwarmumformung ist insbesondere die Herstellung eines Wellenschaftes zusammen mit einem großen Napf oder einem scheibenförmigen Flansch aus einem Stück möglich. Fügekosten entfallen dann komplett.

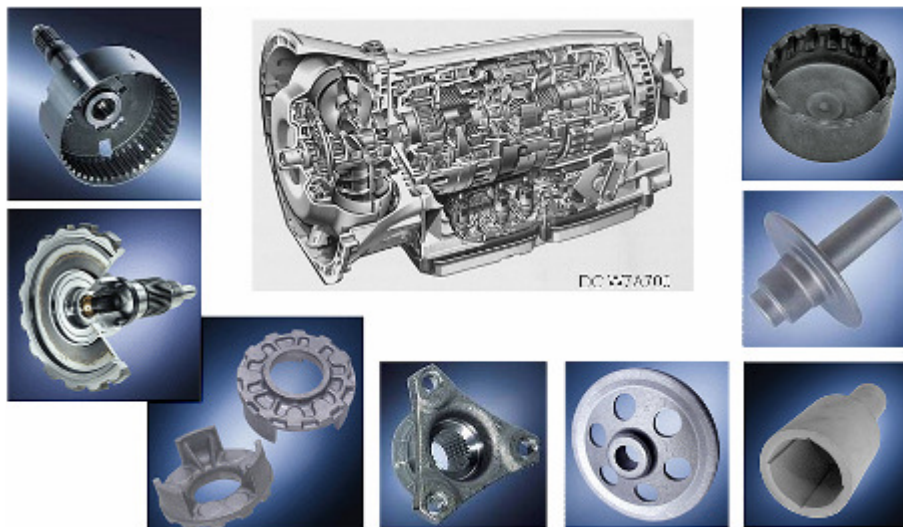


Bild 6: Massivumformteile für Automatikgetriebe

Bild 7 zeigt einen einteilig umgeformten Lamellenträger mit Schaft und Innenverzahnung. Ursprünglich bestand dieses Bauteil aus drei miteinander verschweißten Einzelteilen. Durch den Entfall der Fügeaufwände konnten die Herstellkosten stark reduziert werden. Da beim Umformen der Innenverzahnung eine Kaltverfestigung stattfindet, liegt in der Lamellenverzahnung eine ausreichende mechanische Festigkeit vor, ohne dass eine teure Wärmebehandlung erforderlich ist.

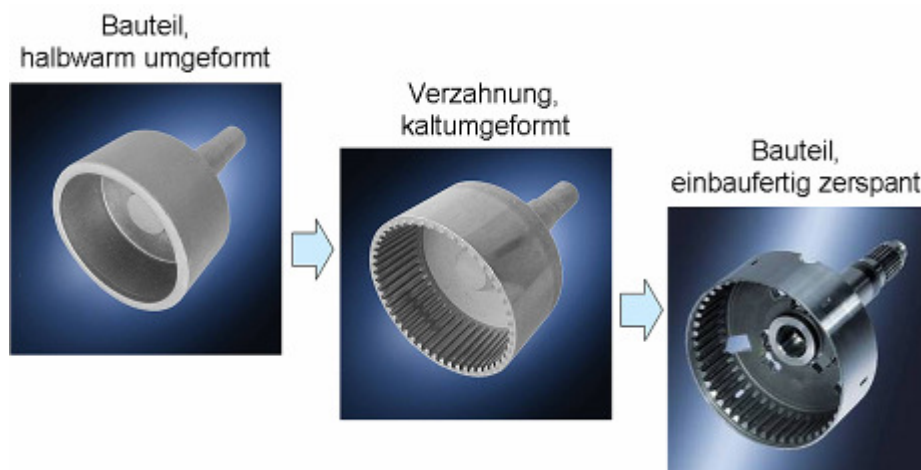


Bild 7: Lamellenträger mit umgeformter Innenverzahnung



Massivumgeformte Verzahnungen

Neben der Kostenersparnis ist häufig auch eine Bauraumverkürzung wünschenswert. Bild 8 zeigt ein Endstück mit Aussenverzahnung, das als Umformteil deutlich kürzer ausgeführt werden kann, denn die für ein Wälzfräswerkzeug notwendige Freimachung muss nicht vorgesehen werden. Die umgeformte Variante (Bild 8 rechts) weist deshalb eine stabilere Schaftanbindung auf. Außerdem wirkt sich der nicht angeschnittene Faserverlauf günstig auf die Dauerfestigkeit aus.

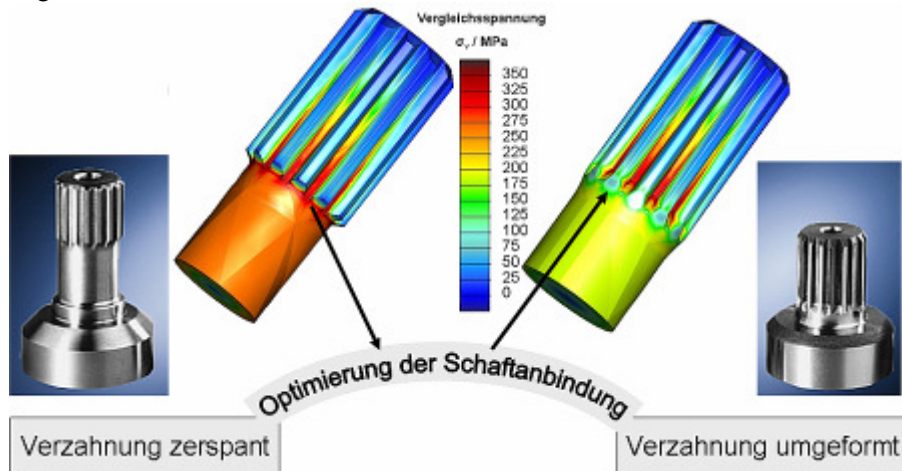


Bild 8: Endstück mit umgeformter Außenverzahnung

In Bild 9 sind weitere umgeformte Verzahnungen zu sehen. Innenverzahnungen können umformtechnisch ggf. ohne Auslauf bis zum Boden durchgezogen werden, so dass keine herstellbedingten Bauraumverluste entstehen. Die Kupplungshülse zeigt dies in Bild 9, links unten. Neben den verschiedensten Innenprofilen können auch Aussenverzahnungen, Parksperr-Räder oder Sensorverzahnungen umformtechnisch erzeugt werden. Im Allgemeinen lassen sich Qualitäten IT 7-8 (nach DIN 5480) ohne Nachbearbeitung prozesssicher erreichen. Im Entwicklungsstadium befindet sich die Umformung von Laufverzahnungen. Die hierfür erforderlichen engen Verzahnungstoleranzen können nicht allein durch Massivumformung erzielt werden. Eine zerspanende Fertigbearbeitung ist hier unverzichtbar. Der Vorteil einer Vorform mit massivumgeformten Zähnen (z.B. das Tellerrad in Bild 9) besteht in der beachtlichen Einsparung von Material und der Verkürzung des Zerspan-Aufwandes.

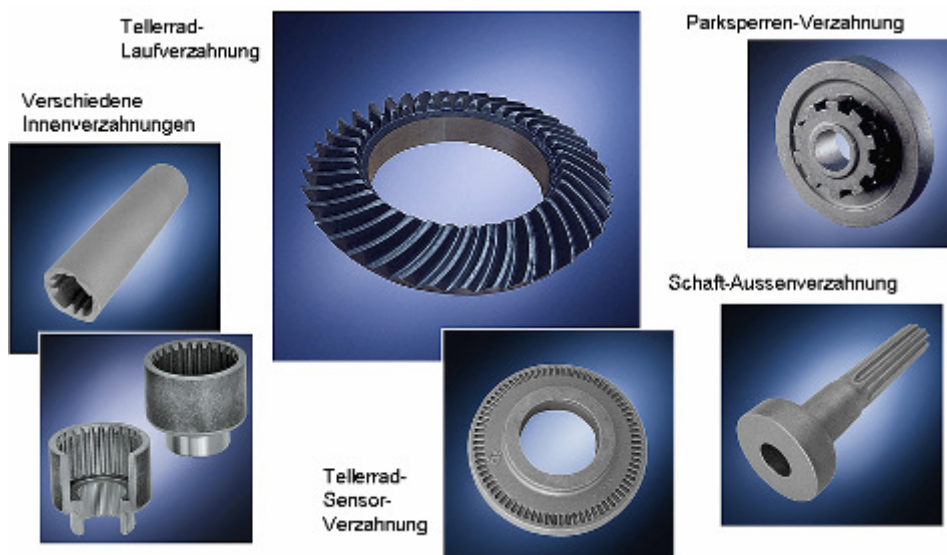


Bild 9: Weitere Bauteile mit umgeformter Verzahnung



Hohle Antriebskegelräder

In Winkelgetrieben ist die Gewichtsreduzierung der Antriebskegelräder ein wichtiges Thema. Durch Hohlausführungen können hier ohne Festigkeitseinbußen etwa 0,5 bis 1,5 kg Material eingespart werden. Bei großen Kopfdurchmessern liegt das meiste Gewichtspotenzial in einer Hohlgestaltung des Ritzelkopfes (Bild 10, Bauteil rechts unten). Bei Bauformen mit langem Schaft ist es dagegen wichtig, diesen hohl zu gestalten (Bild 10, Bauteil rechts oben).

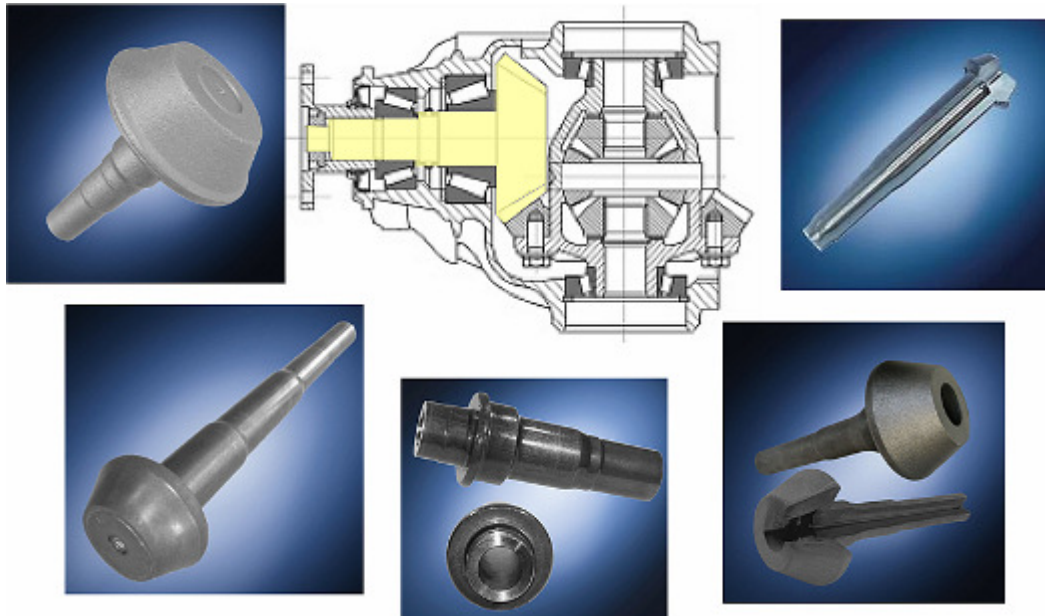


Bild 10: Wellen für Achs- und Verteilergetriebe

In manchen Fällen wird die Gewichtsreduzierung durch kopfseitiges Bohren erzielt (Bild 11, Design A). Teilweise erfolgt dies als letzter Prozessschritt, d.h. es wird der bereits gehärtete Werkstoff teuer zerspannt. Hier ist aus Kostengründen eine umformtechnische Alternative anzustreben. Bild 11 zeigt verschiedene mögliche Hohlformen auf. Diese müssen für jede Ritzelgeometrie separat unter folgenden Gesichtspunkten diskutiert werden: Herstellbarkeit, Kosten, Leichtbaupotential, Steifigkeit/Festigkeit, Zerspanungs-Erstaufnahme. Meist ist prinzipiell auch eine zweiteilige Ausführung möglich – diese ist aber immer mit deutlich höheren Kosten verbunden und somit nicht attraktiv.

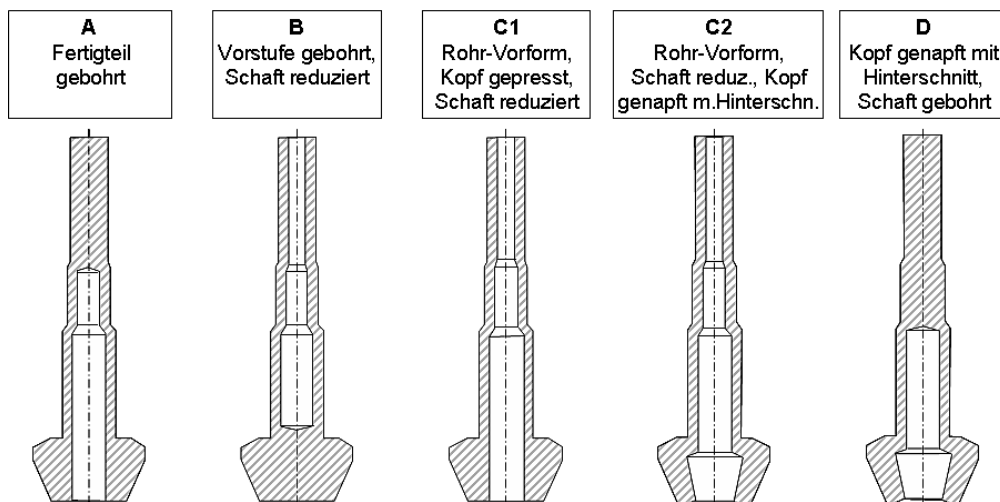


Bild 11: Designvarianten für hohle Antriebskegelräder



Festigkeitsberechnungen zeigen, dass sich die Spannungen im Zahnfuß bereits innerhalb weniger Millimeter abbauen, so dass das volle Torsionsmoment von einem hohlen Ritzelkopf ohne Einschränkungen übertragen werden kann (Bild 12). Der nächste Entwicklungsschritt bei diesen Bauteilen ist ein umfangreiches Testing, um die Auswirkungen der Hohlgeometrie auf die Bearbeitung, das Verzugsverhalten oder auch auf die Achsgetriebe-Akustik festzustellen.

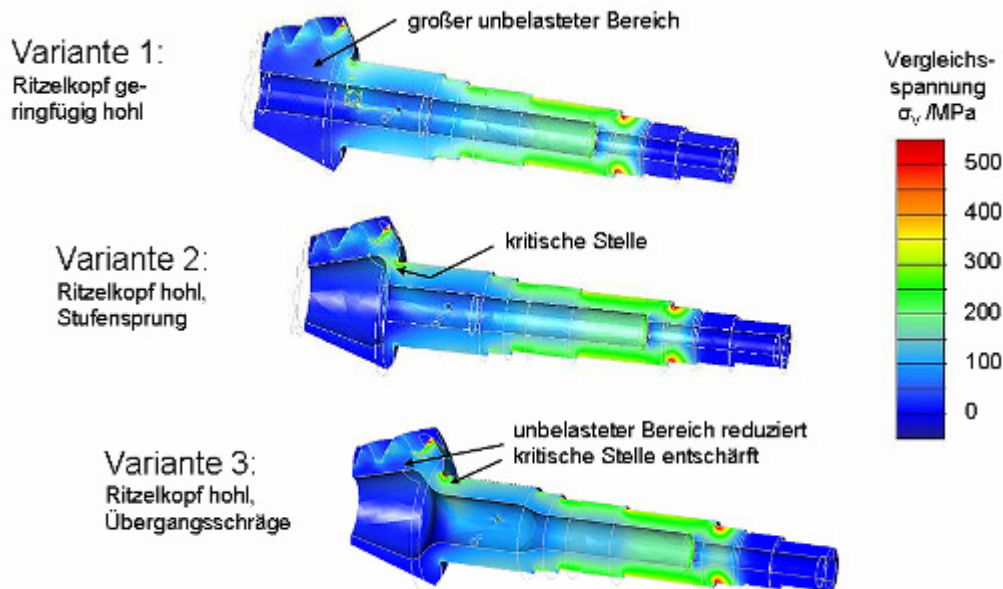


Bild 12: Innegeometrie-Optimierung

Optimierte Zwischen- und Seitenhohlwellen

Bild 13 zeigt die optimierte Geometrie einer Verteilergetriebe-Zwischenwelle. Durch die Vergrößerung des Außendurchmessers und des Innenhohl volumens im Hinterschnittbereich gelang eine Erhöhung der Torsionssteifigkeit und -festigkeit bei gleichzeitiger Gewichtsreduzierung um 14 %. Da der Zerspanaufwand im Hinterschnittbereich entfällt, konnten außerdem die Fertigungskosten des Bauteils reduziert werden.

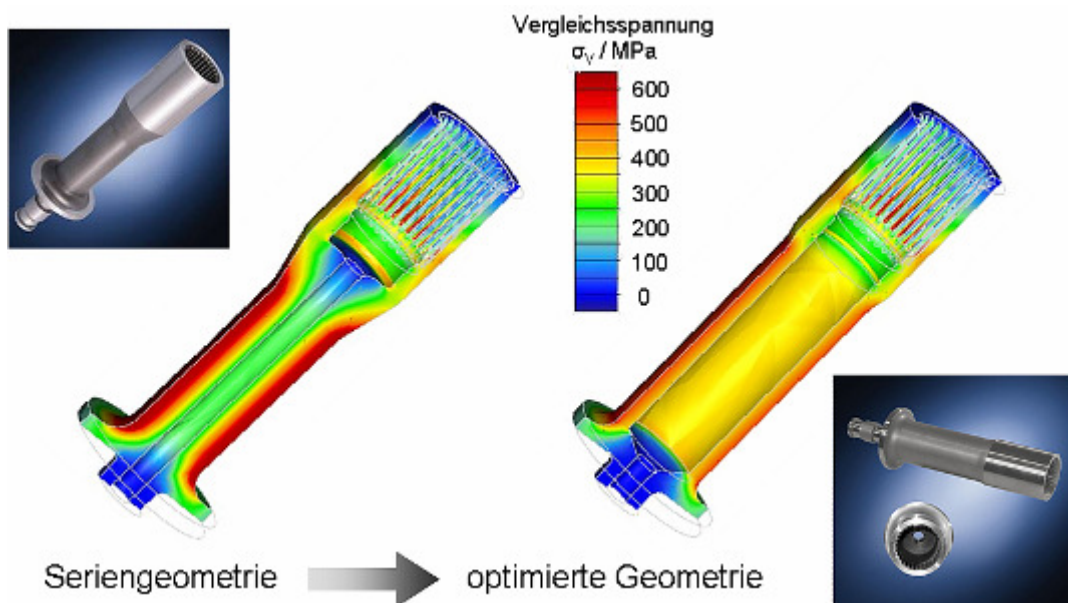


Bild 13: Gesamtoptimierung einer Zwischenwelle



Auch wenn sie eigentlich keine Getriebewellen sind, sollen zuletzt noch die langen Flansch- bzw. Seitenwellen erwähnt werden. Wegen der großen Wellenlängen von 300 bis 600 mm kann durch eine Hohlausführung das Gewicht dieser Bauteile deutlich reduziert werden. Konstruktiv sollte dabei der größtmögliche Außendurchmesser über der gesamten Länge beibehalten werden. In Verbindung mit einer kleinen Wandstärke ergibt sich dann ein leichtes torsionsfestes Bauteil. Das in Bild 14 gezeigte Beispiel ergibt eine Gewichtsersparnis von 1 kg bei einer Bauteillänge von 450 mm.

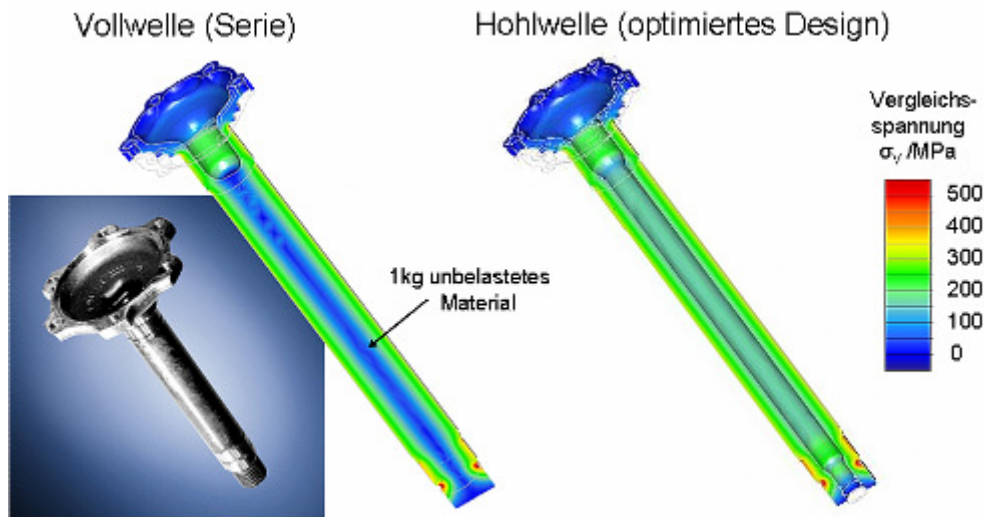


Bild 14: Gewichtsreduzierung von Seitenwellen

Die optimale Fertigung der langen Flansch- oder Seitenwellen erfolgt als kombinierter Prozess. Der Formflansch wird bei 1200 C durch Warmumformung erzeugt. Danach wird durch Rundkneten der Schaft auf seine komplette Länge gestreckt. Die Oberflächen verbleiben roh. Nur die Lagersitze und Verschraubungspunkte werden noch spanend nachbearbeitet. Bei Herstellung einer hohlen Seitenwelle wird die warmumgeformte Vorform tieflochgebohrt und anschließend über Dorn auf die doppelte Länge rundgeknetet. Hierbei können Absätze und Wandstärkenvariationen angeformt werden.

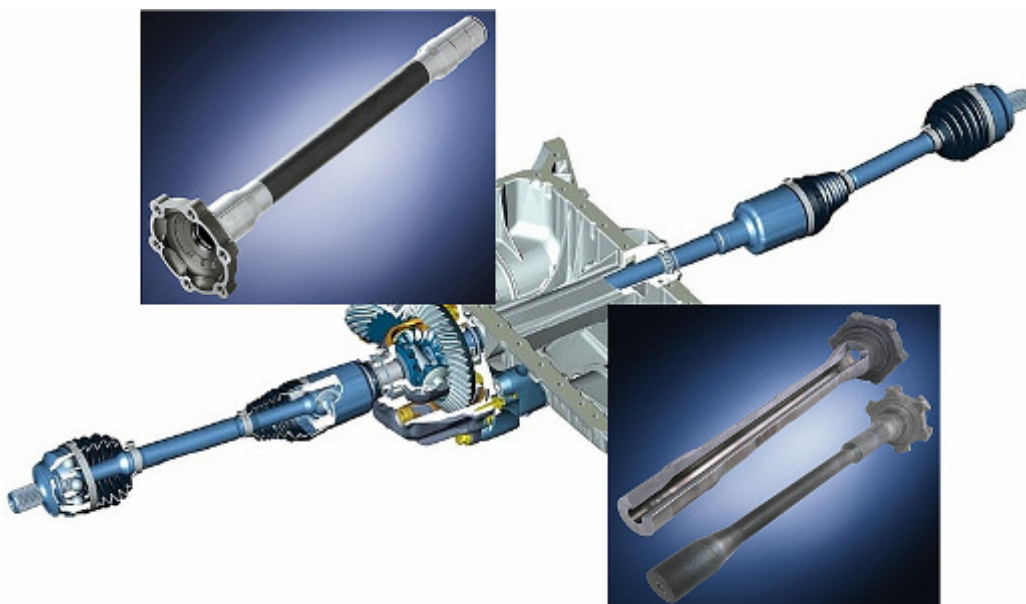


Bild 15: Seitenwellenherstellung im Kombi-Verfahren



Hirschvogel Automotive Group

Die Hirschvogel Automotive Group entwickelt und fertigt all die vorgestellten Produkte im eigenen Haus. Auch das serienbegleitende Testing wird inhouse durchgeführt. Die Vielzahl der Fertigungsmöglichkeiten innerhalb der Hirschvogel Automotive Group verhilft zu einer kostenoptimalen Prozesskette mit hohen Genauigkeiten. Durch die hauseigene Zerspanung werden Schnittstellen reduziert und die Durchlaufzeiten verkürzt. Hervorragende Mitarbeiter stellen ihre langjährige Erfahrung dem Kunden weltweit zur Verfügung und bieten Unterstützung von der Bauteilidee bis zur einbaufertigen Komponente in Großserie. Letztendlich ist es aber vor allem die enge Kooperation dieser Experten, die den technologischen Vorsprung sicherstellt, denn nur durch die Kombination von Werkstoff-Wissen, Entwicklungskompetenz und Produktionserfahrung, begleitet von modernen Laboranalyse- und Simulationstools, ist die Entstehung innovativer kostengünstiger Hochleistungsbauteile möglich.

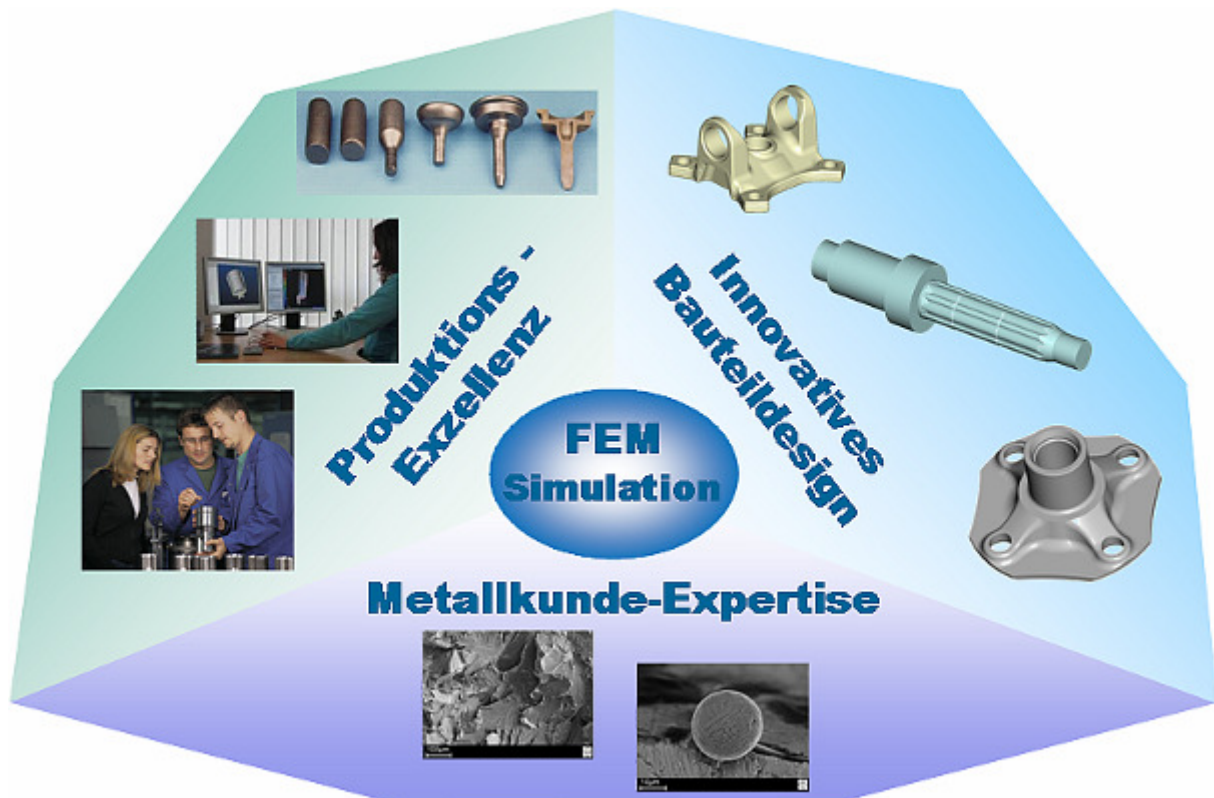


Bild 16: Leistungen der Hirschvogel Automotive Group