

N^T® LightDiff: Ein innovatives Leichtbaukonzept für Kegelraddifferenziale

N^T® LightDiff: Innovative, Lightweight Concept for Bevel-gear Differentials

Dipl. Ing. (FH) Matthias J. Derse

Kurzfassung

In Anbetracht der ab 2012 geplanten EU-Gesetzgebung und Sanktionierung der CO₂-Flotten-Emissionen verstärkt sich der Druck auf die Automobilindustrie, das Fahrzeuggewicht weiter zu reduzieren. Zusätzlich gilt es, den Bauraum noch effizienter zu nutzen, um neuen Anforderungen im Hinblick auf Crashesicherheit und der steigenden Funktionsintegration (u. a. Doppelkupplungsgetriebe und Hybridanwendungen) Rechnung zu tragen. Das Differenzial bietet im Getriebebereich noch deutliches Potenzial zur Gewichts- und Bauraumreduzierung. In diesem Beitrag wird ein neues, gehäuseloses Differenzial vorgestellt, welches die vorgenannten Entwicklungsziele unter Beibehaltung der bekannten und erprobten Kegelradsatzbauweise erreicht. Eine simultane Produkt- und Prozessentwicklung und der Einsatz von Präzisionsschmiedetechnologien, ermöglichen eine wirtschaftliche Fertigung dieses neuen Differenzials.

Abstract

The plans for 2012 from the EU-legislative and the sanctions with regard to the CO₂ vehicle emissions are yielding to an increased pressure on the automotive industry. As a result hereof the automotive industry is challenged to reduce vehicle weights even more along with adding by the same token new improved crash safety features and integrating more efficiency supporting modules at less room consumption e.g. Double Clutch Transmissions and Hybrid Power trains. The differential offers a considerable potential to contribute especially in the aspects of weight reduction and less room consumption. This article in particular describes a new concept for a differential without a housing allowing to meet both, above objecti-

ves and continuing the proven bevel gear module technology at the same time. The combination of simultaneous product and process development but also the ability to use precision forging technologies allows Neumayer-Tekfor Group to produce a very economical differential.

Einleitung

Die Neumayer-Tekfor Gruppe ist ein globaler Partner der Automobilindustrie. Sie ist führend in der Konzeption, Entwicklung und Produktion von zukunftsweisenden Lösungen für Getriebe, Motor, Antriebsstrang, spezielle Applikationen sowie Sicherheitsmutter. Ausgehend von der Fertigung von Einzelteilen hat die NT Gruppe in den vergangenen Jahren stark in die Forschung und Entwicklung von optimierten Systemen investiert. Hauptaugenmerk liegt bei diesen Entwicklungen auf der Reduzierung der CO₂-Emissionen.

Einer der Haupttreiber für die CO₂-Emissionen ist das Fahrzeuggewicht. Angenommen, alle 65 Mio. Fahrzeuge, die im Laufe eines Jahres produziert werden, würden 1 kg weniger auf die Waage bringen, würde dies über die Lebenszeit der Fahrzeuge mit einer durchschnittlich angenommen Gesamtleistung von 150.000 km einer Einsparung von 290 Mio. Litern Kraftstoff, respektive 7.000 t CO₂, entsprechen. Zusätzlich zu der Forderung nach Leichtbau nehmen die Bauraum-Restriktionen zu. Neue Anforderungen im Bezug auf das Crashverhalten und die Integration zusätzlicher Funktionsumfänge (z.B. E-Maschinen für Hybrid-Anwendungen) stellen hohe Anforderungen an das Gesamtpaket. Es wird dadurch immer wichtiger, die Leistungsdichte im Powertrain zu erhöhen. Aus diesem Grund wurde das Kegelraddifferential für Anwendungen in Front- und Heckantrieben bzgl. Innovationspotenzial untersucht und einige viel versprechende Optimierungsansätze gefunden, die im Folgenden vorgestellt werden.

Stand der Technik

Die Motorleistung muss im Pkw auf mindestens ein linkes und ein rechtes Rad verteilt werden. Da bei Kurvenfahrt das kurveninnere Rad einen kürzeren Weg zurücklegt, als das kurvenäußere, wird ein Getriebe benötigt, das einen zwangsfreien Drehzahl- und Kräfteausgleich zulässt. Unter normalen Fahrbedingungen ist dabei eine 50:50 Aufteilung des Antriebsmoments vorzusehen. Diese Aufgabe lässt sich mit so genannten Differentialgetrieben lösen, die in verschiedenen Bauarten darstellbar sind [1]:

- Kegelraddifferenziale
- Kronenraddifferenziale
- Stirnraddifferenzial in Planetenbauweise
- Schneckenraddifferenziale

Das Kegelraddifferenzial hat sich bei den unregelmäßig genutzten Pkw-Achsgetrieben eindeutig als die dominierende Bauart für das Differenzial durchgesetzt. Dabei ist es gelungen, u. a. durch den Einsatz einbaufertig geschmiedeter Kegelräder, auf relativ kleinem Bauraum erhebliche Leistungen bzw. Momente zu übertragen: Für Radabrissmomente von 1.250 Nm (Frontantrieb, untere Mittelklasse) beträgt der Kugeldurchmesser des Differenzials (Einhüllende um die Ausgleichs- und Radwellenräder) 75 mm, für 2.400 Nm (Heckantrieb, Oberklasse) rund 100 mm, wobei Unterschreitungen dieser Werte nicht ausgeschlossen werden [2].

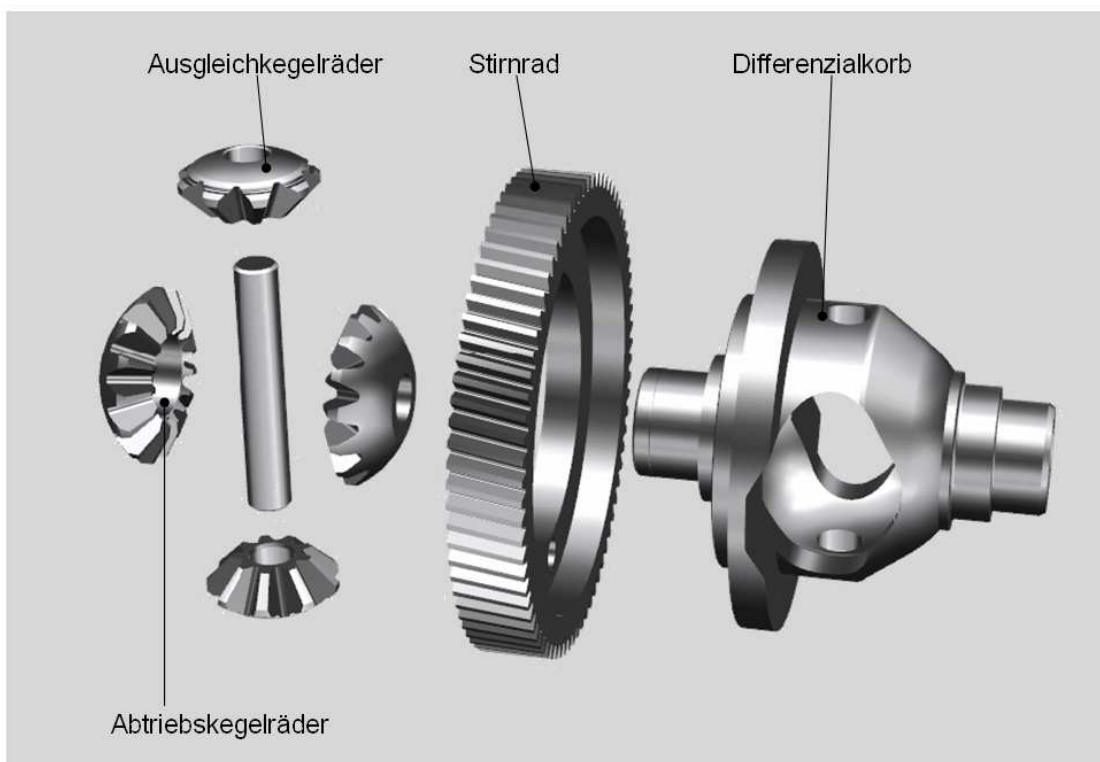


Abb. 1: Konventionelles Kegelraddifferenzial mit Differenzialkorb

In den in Serie befindlichen Differenzialgetrieben sind die Kegelräder in einem Differenzialkorb gelagert (s. Abb. 1). Es sind Ausführungen mit einem Gehäuse aus Aluminiumlegierung-

gen bekannt, um das Gewicht zu reduzieren. Auch bekannt sind Ausführungen mit geteilten und/oder geschmiedeten Gehäusen. Mit geschmiedeten Stahlgehäusen lassen sich aufgrund der höheren Festigkeit und dadurch möglichen Reduzierung der Wandstärken bereits Bauraum und Gewichtsvorteile realisieren. Weitere Optimierungen sind allerdings aufgrund der steigenden Anforderungen bzgl. Leichtbau und Bauraum anzustreben.

Herausforderungen

Vor dem Hintergrund langfristig steigender Ölpreise, der gesetzlichen Regulierung der CO₂-Emissionen und dem auch daraus bedingten Trend zu Hybrid- bzw. vollelektrischen Antriebssträngen tritt das Thema Leichtbau zunehmend in den Vordergrund. Gerade bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen hat das Fahrzeuggewicht einen entscheidenden Einfluss auf die Fahrzeugreichweite, die aufgrund der relativ geringen Batteriekapazitäten nach wie vor ein wesentlicher Schwachpunkt dieser Technologie ist. Während die Fahrzeuggewichte bis im Jahr 2004 von Modellwechsel zu Modellwechsel anstiegen, setzte sich seither eine Gegenbewegung zur Gewichtsreduzierung durch (s. Abb. 2). Weiter verschärft werden die Anforderungen durch neue Forderungen aus dem Fußgängerschutz und weiterer Crashtests. Die zunehmende Elektrifizierung des Antriebsstrangs, sowie die Integration zusätzlicher Funktionsumfänge, als auch der Trend zu automatisierten Getrieben tragen ihr Übriges dazu bei, dass die Ausnutzung des Bauraumes verbessert, und damit die Leistungsdichte des Powertrains deutlich gesteigert werden muss.

Bei den Getrieben bietet sich - neben dem Radsatz - das Differenzial zur Optimierung des Gesamtgewichts eines Antriebsstranges an. Gerade bei quer installierten Frontantriebslösungen kollidiert der Bauraum des Differenzials zusätzlich mit dem Bereich, in dem Schwungrad und Kupplungen installiert werden.

Ein weiteres Entwicklungsziel liegt in der Reduzierung des Lagerabstandes des Differenzials. Dadurch können die Seitenwellen länger bauen, die Beugewinkel reduziert und damit der Wirkungsgrad gesteigert werden.

Die wichtigsten Ziele für ein optimiertes Differenzial zur Anwendung in Front- und Heckantriebskonfigurationen lauten demzufolge:

- Leichtbau
- Reduzierung des Lagerabstandes
- Bauraumreduzierung



Abb. 2: Entwicklung der Fahrzeuggewichte (am Beispiel USA)

N^T® LightDiff - die Lösung

Die Entwicklung der Neumayer-Tekfor Gruppe setzt an dem schwersten Einzelbauteil - dem Gehäuse bzw. Korb - des Differenzials an. Differenziale ohne Korb sind aus der Literatur und aus Pkw-fremden Anwendungen bekannt. Ziel dieser Entwicklung ist, die Grundidee auf Anwendungen im Pkw-Bereich zu übertragen und ein hochfestes, kompaktes und trotzdem wirtschaftliches System zu entwickeln. Die Grundidee der Entwicklung beruht darauf, den Differenzialkorb durch einen speziell ausgelegten, sternförmigen Kegelradträger zu ersetzen (s. Abb. 3). Bei dieser Konstruktion wird der erprobte und zuverlässige Kegelradsatz im Grundprinzip nicht verändert, die Lagerung der Kegelräder erfolgt aber auf einem Träger, auf dem die Ausgleich- und Abtriebskegelräder radial und axial gelagert werden. Besonders vorteilhaft ist die Anbindung des Trägers direkt am Stirnrad, um eine maximale Gewichtsreduktion zu erhalten. Alternative Bauformen, mit aus der Mitte versetztem Stirnrad sind aber ebenfalls realisierbar.

Neben der hochfesten, einteiligen Herstellung des Kegelradträgers muss bei dieser Konstruktion besonderes Augenmerk auf die Lagerauswahl gelegt werden. Aufgrund der Substi-

tution des Differentialkorbes kommen zu den, aus der Schrägverzahnung des Stirrades resultierenden Axialkräften weitere Axialkräfte aus den Kegelradverzahnungen hinzu. Die Axialkräfte im gehäuselosen Differential liegen um ca. 60% höher als im herkömmlichen Differential mit Differenzialkorb. Dies resultiert in einer höheren erforderlichen Lagertragfähigkeit, die allerdings für die verwendeten Lagerabmessungen als unkritisch anzusehen ist. Aus Reibungsgründen und zur Erzielung einer Wirkungsgradsteigerung ist allerdings der Übergang auf Schrägkugellager vorteilhaft. Mit diesen Lagern lässt sich die Verlustenergie gegenüber den Differenzialen mit Kegelrollenlagern reduzieren, diese Bauform wird bereits in einigen Differenzialen eingesetzt [3].

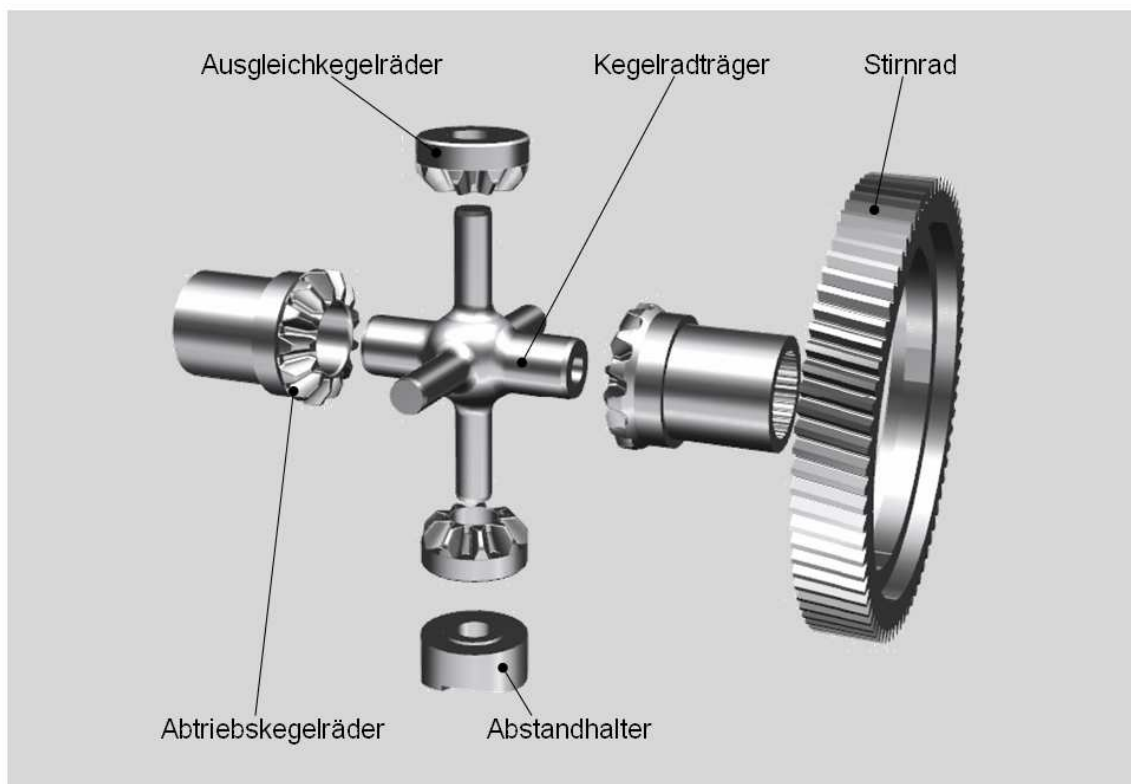


Abb. 3: Aufbau des N^T®-LightDiff

Durch diesen neuen Ansatz ist es möglich, das Gewicht eines Differenzials um ca. 25% zu reduzieren, den Lagerabstand um ca. 20% zu verkleinern und zusätzliche Vorteile in der Bauraumnutzung zu erzielen (s. Abb.4). Zusätzlich zu dem Gewinn an Bauraum führt die Reduzierung des Lagerabstandes zu einer Verlängerung der Seitenwellen und somit redu-

zierten Beugewinkeln. Dies ist im Hinblick auf Wirkungsgrad und Belastung der Gelenke vorteilhaft. Ein weiterer Vorteil dieser Konstruktion ist, dass eine Demontage der Seitenwellen ohne Ölverlust realisierbar ist. Diese Tatsache erleichtert auch die Montage in der Serienfertigung deutlich, weil die Getriebe vor der Montage der Seitenwellen mit Öl befüllt werden können.

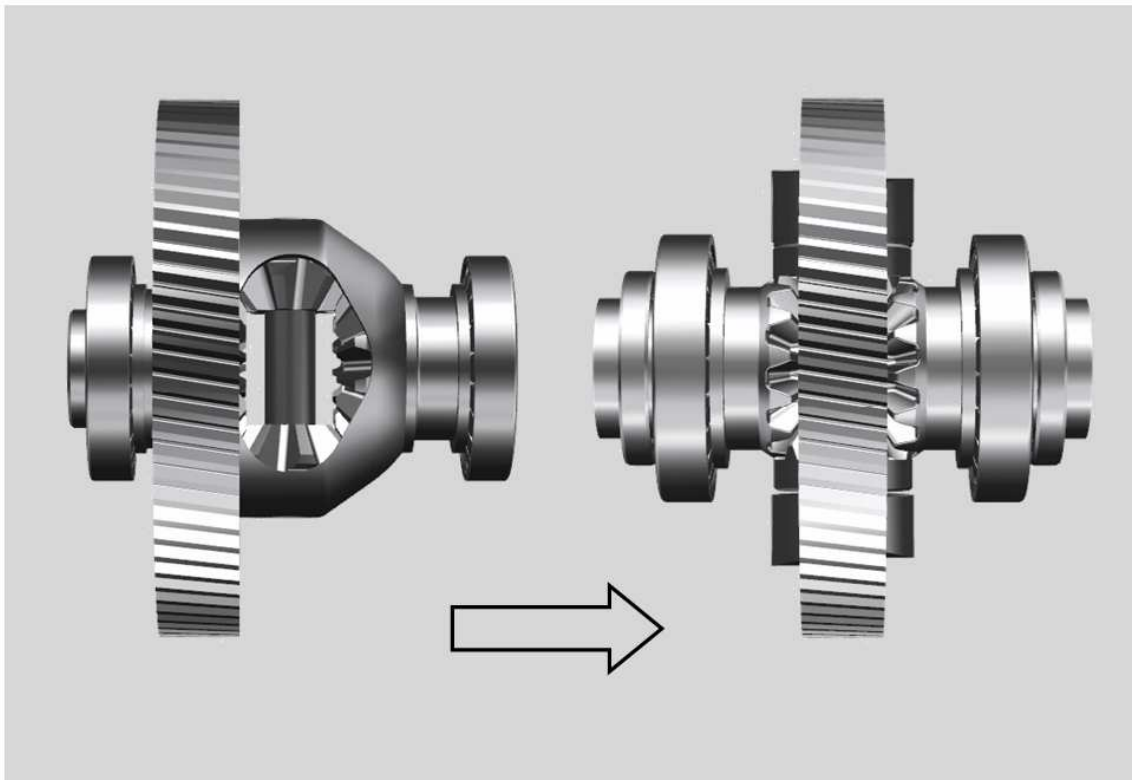


Abb. 4: Vergleich konventionelles Kegelraddifferential mit dem N^T-LightDiff

N^T-LightDiff - Herstellbarkeit und Montage

Die o. g. Entwicklungsziele werden durch die neue Konstruktion eindeutig erreicht. Neben den funktionalen Anforderungen ist aber auch die Wirtschaftlichkeit einer neuen Lösung entscheidend, um diese am Markt zu etablieren. Bei der Entwicklung des Systems stand von einem sehr frühen Zeitpunkt an die Herstellung der Bauteile mit möglichst effizienten Verfahren im Vordergrund.

Bei den Ausgleichskegelrädern kann auf die bekannte Technologie des Präzisionsschmiedens zurückgegriffen werden. Auch sind die Abtriebskegelräder so gestaltet, dass sie in bekannten Verfahren weitestgehend umformtechnisch realisiert werden können. Die Umformung ist aufgrund der optimalen Materialnutzung und geringer Taktzeiten ein sehr effizientes Herstellverfahren. Daher wurde auch der, auf den ersten Blick komplex anmutende Kegelradträger, so gestaltet, dass dieser umformtechnisch im Querfließpressen herstellbar ist. Die Umformspezialisten der Neumayer-Tekfor Gruppe haben hier - unter Einsatz moderner Simulationstechniken - einen Prozess entwickelt, der dieses Bauteil in hoher Qualität und überzeugender Wirtschaftlichkeit realisiert. Das Bauteil ist hochfest, hat einen optimalen, ununterbrochenen Faserverlauf und benötigt nahezu keine spanabhebende Bearbeitung (siehe Abb. 5). Bei dem Stirnrad kommt das erprobte und effiziente Ringwalzen bei Warmumformtemperatur zum Einsatz. Dieses Verfahren reduziert den Materialeinsatz insbesondere bei großen Ringrädern deutlich. Um die Festigkeit der Verzahnung zu erhöhen und die Wirtschaftlichkeit weiter zu verbessern, wird bei NT an einem Verfahren gearbeitet, um die Schrägverzahnung mittels Kaltumformung einzubringen. Dieser Prozess könnte das Verzahnungsfräsen ersetzen, hätte eine verbesserte Bauteilstruktur (Faserverlauf) zur Folge und – aufgrund der geringen Taktzeit – Vorteile in den Herstellkosten.

Abschließend ist noch die Herausforderung der Montage des Kegelradträgers im Stirnrad zu lösen. Für große Stückzahlen bietet sich KE-Schweißen an. Dieses Verfahren bietet den Vorteil eines geringen Wärmeeintrages und damit geringere Verzüge. Die Taktzeiten sind relativ kurz und es lassen sich auch Stähle mit einem Kohlenstoffgehalt über 0,2%, sowie gehärtete Stähle verschweißen. Es wird angestrebt, das einbaufertige Ringrad mit Hilfe spezieller Montagevorrichtungen zu dem Kegelradstern auszurichten und anschließend die Bauteile einbaufertig zu verschweißen. Für sehr kleine Stückzahlen stellen formschlüssige bzw. verschraubte Verbindungen die bevorzugten Verfahren dar.

Die Gesamtkosten des in der Entwicklung befindlichen N^T® LightDiff, das in Fahrzeugen der Mittelklasse (Frontantrieb, quer) eingesetzt werden kann, liegen bei Einsatz der im Vorfeld beschriebenen Fertigungsverfahren, in erster Annäherung nicht über den Kosten für ein konventionelles Differenzial. Somit wird für den Kunden eine „win-win“ Situation erreicht. Die beschriebenen Vorteile bzgl. Leichtbau und Bauraum werden unter Beibehaltung der Leistungsanforderungen und gleichen bzw. sogar geringeren Kosten erreicht.

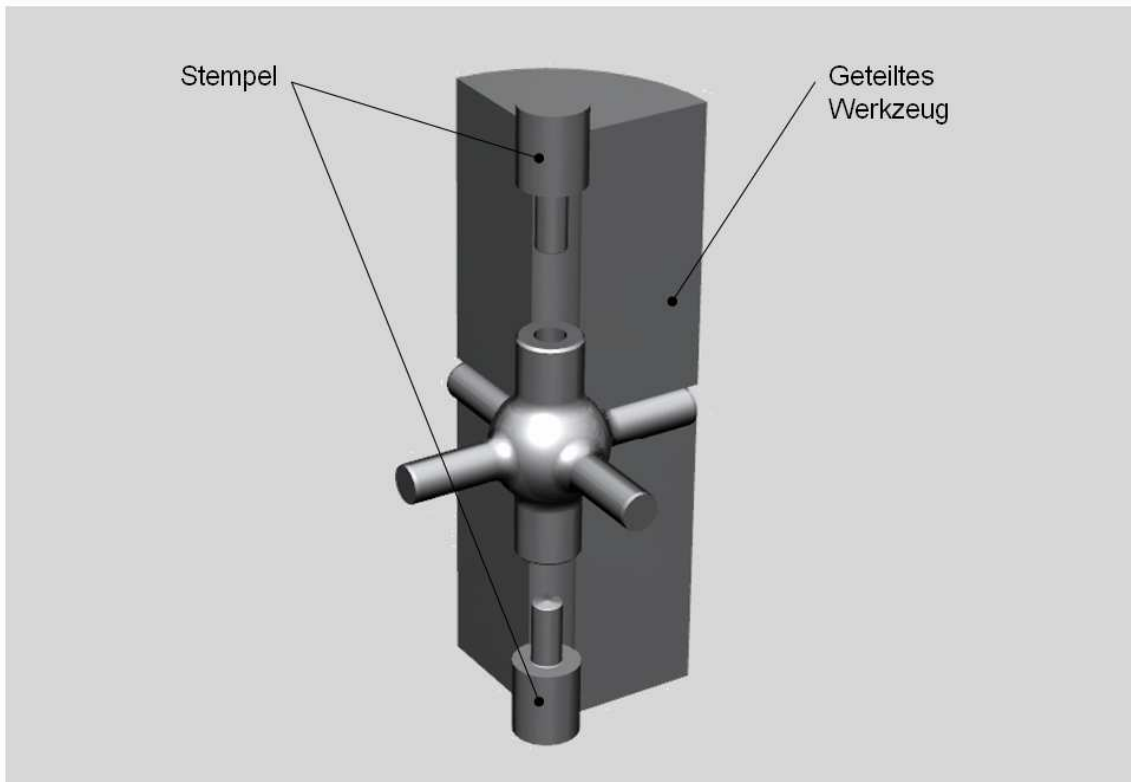


Abb. 5: Herstellung des Kegelradträgers im Querfließpressverfahren

Zusammenfassung und Ausblick

Basierend auf dem bekannten und erprobten Prinzip von Kegelraddifferenzialen ist es der Neumayer-Tekfor Gruppe gelungen, die Leistungsdichte der Differenziale deutlich zu erhöhen. Durch die Nutzung des vorhandenen Raumes im Kegelradsatz und die Lagerung der Komponenten auf einem massiven Kegelradträger kann der Differenzialkorb komplett entfallen. Besonders vorteilhaft hat sich die frühzeitige und enge Zusammenarbeit der Produkt- und Prozessentwicklungsbereiche gezeigt („Simultaneous Engineering“), um neben den funktionalen Herausforderungen auch eine interessante Wirtschaftlichkeit darzustellen.

Das Differenzial ist so aufgebaut, dass problemlos drei oder vier Ausgleichkegelräder auf dem Träger montiert werden können. Somit ist ohne Bauraumvergrößerung eine weitere Steigerung der Leistungsdichte möglich. Die Integration der Seitenwellengelenke in das Dif-

ferenzial stellt eine zukünftige Entwicklungsrichtung dar, bei der Neumayer-Tekfor auf die Erfahrungen in der umformtechnischen Realisierung von Gelenkteilen zurückgreifen kann.

Aufgrund der hohen Integration und der dadurch erzielten Gewichtsreduzierung ist das N^T® LightDiff auch sehr gut für den Einsatz in elektrischen Antriebssträngen geeignet. In diesen Fahrzeugkonzepten zählt jedes Gramm Gewicht besonders, da die Batteriekapazitäten noch relativ gering sind und sich das Gewicht umgekehrt proportional zu der erreichbaren Reichweite verhält.

Abschließend ist noch hervorzuheben, dass das N^T® LightDiff sowohl in Fahrzeuge mit Heckantrieb als auch in Konfigurationen mit Frontmotor Anwendung finden kann.

Literaturverzeichnis

- [1] Naunheimer, H., Bertsche, B., Lechner G.: Fahrzeuggetriebe, Berlin / Heidelberg 2007
- [2] Griguscheit, M.: Berechnung von geschmiedeten Ausgleichskegelrädern. Kurzbericht für Fa. Neumayer-Tekfor, Stuttgart 2002
- [3] Auffahrt, K., Petery G. v., Winkler, M.: Tandemschrägkugellager als Innovation für Achsgetriebe, ATZ April 2009