



## Der nächste Meilenstein: Hohlradfertigung zukunftsweisend optimiert

PRÄWEMA Antriebstechnik ergänzt Technologieportfolio um das Honen von Innenverzahnungen

Im Zuge der wachsenden Bedeutung des Planetengetriebes im Bereich von Automatik- und insbesondere Elektrofahrzeugen sowie der damit einhergehenden Notwendigkeit einer noch präziseren Herstellung verzahnter Getriebekomponenten baut der DVS-Verzahnungsspezialist PRÄWEMA Antriebstechnik seine Technologiekompetenz weiter aus. Denn nunmehr realisiert das Unternehmen aus dem nordhessischen Eschwege ganzheitliche Zerspanungslösungen für die  $\mu$ m-genaue Einbringung und Optimierung von nicht nur Außen-, sondern auch Innenverzahnungen. Ein detaillierter Einblick in die weitreichende Experti-

se des Markt- und Technologieführers in Bezug auf die hochkomplexe Fertigung innenverzahnter Hohlräder von Planetengetrieben.

Umlaufrädergetriebe – besser bekannt unter der Bezeichnung Planetengetriebe – sind prädestiniert für den Einsatz im Kontext des Antriebsstranges von Automatik- und insbesondere Elektrofahrzeugen. Denn im Vergleich zu konventionellen Stirnradstufen ermöglichen Planetengetriebe die Aufteilung des Leistungsflusses in drei oder mehr Stränge. Eine Tatsache, die höhere Über- bzw. Untersetzungen und damit die Erreichung einer größeren Leistungsdichte erlaubt – und das bei



### Highlights

- Deutlich höhere Oberflächenqualität für innenliegende Verzahnungen an Hohlrädern
- Optimierte Laufruhe des Hohlrades
- Besonders empfehlenswert für Planetengetriebe mit sehr hohem Drehmoment

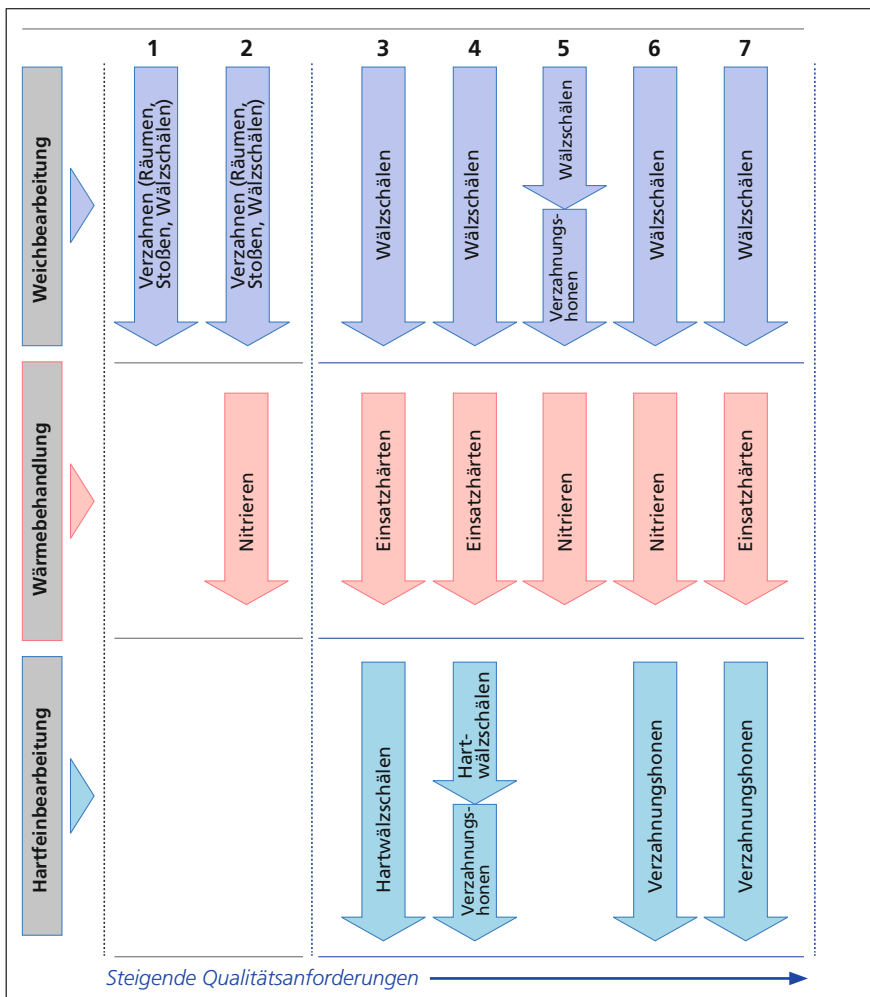
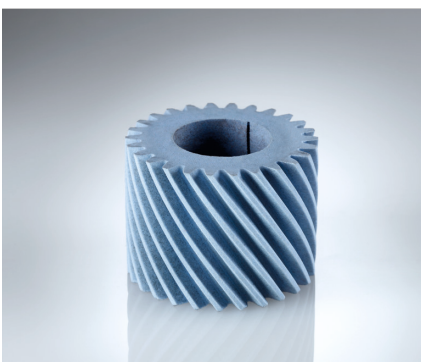


Abbildung 1: Mögliche Prozessvarianten der Hohlradfertigung in Abhängigkeit des anwenderseitigen Qualitätsanspruches an das resultierende Hohlrad



Hohlrad für das Verzahnungshonon von Innverzahnungen

geringerer Masse und Bauraum sowie gesteigerter Laufruhe. Auf diese Weise erfüllen sie die im Bereich von Elektroantrieben, die sich durch vergleichsweise höhere Motordrehzahlen von bis zu 17.000 Umdrehungen pro Minute auszeichnen, bestehende Notwendigkeit höherer Drehmomente bei gleichzeitiger Platz- und Gewichtsreduzierung.

Fertigungsseitig resultieren diese Faktoren in engeren Form- und Lagetoleranzen und damit in der komplexen Erfordernis einer noch präziseren, NVH-optimierten Bearbeitung entsprechender Bauteile des Planetengetriebes, insbesondere in Bezug auf die Qualität einzubringender Verzahnungen. Das Eschweger DVS-Unternehmen PRÄWEMA Antriebstechnik realisiert diese Anforderungen mit maßgeschneiderten Technologie-, Maschinen- und Werkzeuglösungen zur hochgenauen Verzahnungseinbringung und -optimierung.

## Maßgeschneiderte Lösungen zur Weich- und Hartfeinbearbeitung des einfachen Planetensatzes

Basierend auf der umfassenden Expertise hinsichtlich seiner weltweit führenden Optimierungstechnologie außenliegender Verzahnungsoberflächen, dem PRÄWEMA-Verzahnungshonon, entwickelte der DVS-Verzahnungsspezialist diese Technologie nun auch für die Hartfeinbearbeitung von Innenverzahnungen weiter. Ergänzt durch den Einsatz der hochproduktiven Verzahnungstechnologie Power Skiving, dt. Wälzschälen, sowie die Möglichkeit der Integration weiterer Bearbeitungsschritte wie dem Entgraten bietet PRÄWEMA damit nunmehr ein Gesamtpaket zur hochpräzisen Weich- und Hartfeinbearbeitung des einfachen Planetensatzes – also nicht mehr nur außenverzahnnten Planeten- und Sonnenrädern, sondern auch innenverzahnnten Hohlradern.

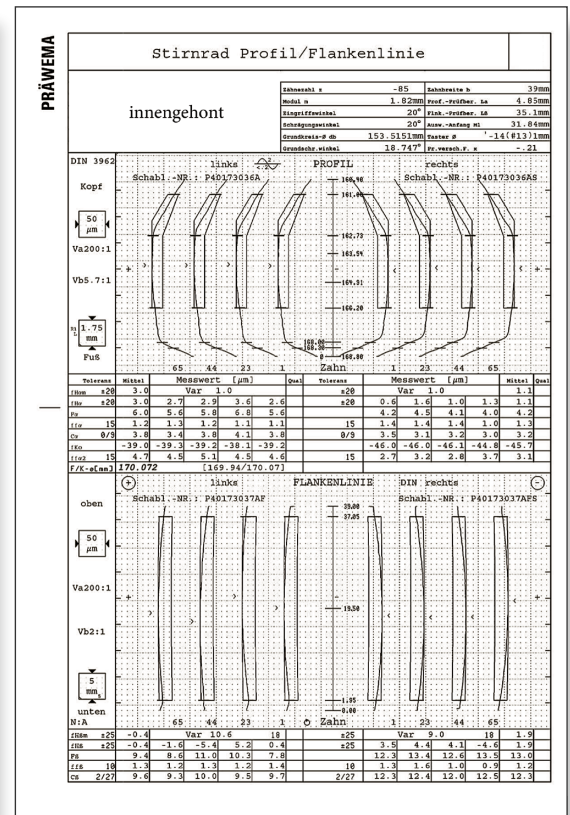
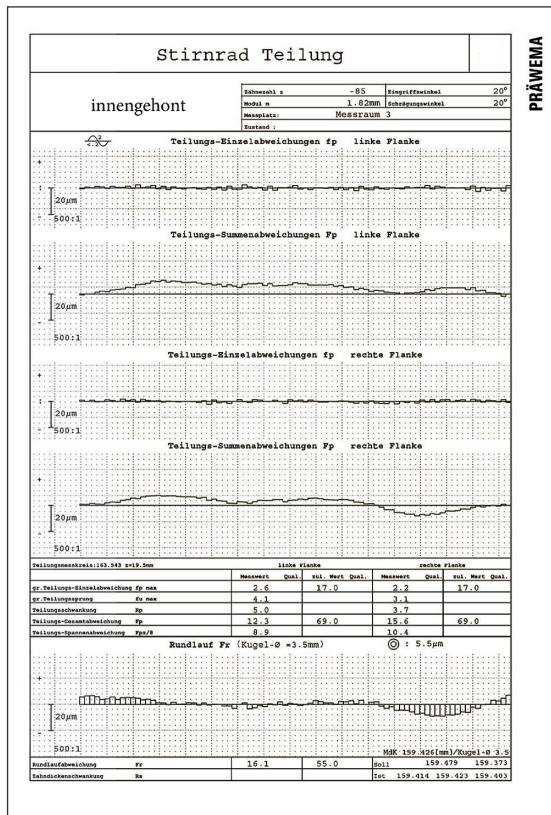
Denn wurden an die Fertigungsgüte innenverzahnter Hohlradern in der Vergangenheit geringere Qualitätsmaßstäbe angelegt als an die außenverzahnnten Planeten- und Sonnenrädern, so wandelt sich dieser Umstand in Anbetracht der gegenwärtigen Entwicklung im Bereich des Antriebsstranges. Die bislang geringeren Qualitätsansprüche gründeten in zweierlei Faktoren. Zum einen ist die Zahnfußtragfähigkeit angesichts günstigerer Geometrieverhältnisse, insbesondere im Zahngrund, weniger kritisch als bei Planeten- und Sonnenrädern. Zum anderen mangelte es aufgrund der vergleichsweise geringeren Losgrößen von Hohlradern an entsprechend hochentwickelten Bearbeitungstechnologien.

## Steigende Anforderungen an die Fertigungsgüte von Hohlradern

So erfolgte die Steigerung der Leistungsfähigkeit und des NVH-Verhaltens von Planetengetrieben herstellerseitig bisher – mittels des Einsatzes einer Bearbeitungsfolge von sowohl Weich- als auch Hartfeinbearbeitungsverfahren – fast ausschließlich über die kontinuierliche Optimierung der Bearbeitungsqualität der Planeten- und Sonnenrädern. Entsprechend verfügen diese Bauteile über hohe Verzahnungs-



Abbildung 2: Beispielhafte Messergebnisse nach PRÄWEMA-Verzähungen einer innenliegenden Hohlradverzahnung



qualitäten sowie Festigkeitswerte und erlauben eine Vielzahl von Verzahnungskorrekturen. Konträr dazu wird die Innenverzahnung der typischerweise aus Vergütungsstahl bestehenden Hohlräder bis dato lediglich weichbearbeitet und erfährt nach der Verzahnungsherstellung i.d.R. keine zusätzliche Wärmebehandlung. Die Folge: Limitierte Korrekturmöglichkeiten sowie durchschnittliche Festigkeitswerte und Verzahnungsqualitäten, die sich negativ auf das Verschleiß- und Geräuschverhalten und damit auf die Funktionseffizienz des Getriebes auswirken.

Dahingehend von PRÄWEMA in Bezug auf die Hohlradfertigung identifizierte Optimierungspotentiale, deren Umsetzung nicht nur Kompetenz im Bereich der Verzahnungsherstellung, sondern vielmehr aller Prozessschritte erfordert, liegen damit sowohl in der Tragfähigkeitssteigerung durch Einsatzhärtung als auch im Einsatz präziser und wirtschaftlicher Hartfeinbearbeitungsverfahren im Anschluss an die Wärmebehandlung. Speziell hierfür entwickelte bzw. optimierte das Unternehmen neben einem geeigneten Maschinen-

konzept auch zugehörige Weich- und Hartbearbeitungsverfahren.

In Abhängigkeit des anwenderseitigen Qualitätsanspruches an das resultierende Hohlrad, veranschaulicht *Abbildung 1* mögliche Prozessfolgen im Bereich der Hohlradfertigung. Die Varianten 1 und 2 zeigen den bereits erörterten konventionellen Herstellungsprozess, wobei die in Variante 2 enthaltene optionale Wärmebehandlung durch Nitrieren eine Tragfähigkeitsteigerung ermöglicht, jedoch zugleich einen negativen Einfluss auf die Verzahnungsqualität ausübt. Die Varianten 3, 4 und 7 zeigen Prozessfolgen, welche die Realisierung von Optimierungen hinsichtlich Tragfähigkeit und Verzahnungsqualität erlauben – jeweils unter Anwendung einer Wärmebehandlung durch Einsatzhärtung. Dieses Härteverfahren, umgesetzt bspw. durch Dornhärtung oder Niederdruckaufkohlung mit nachfolgender Hochdruckabschreckung, steigert die Materialfestigkeit, führt allerdings zu Härteverzügen in Form von Schrumpfung, Ovalität und Shipform. Aus diesem Grund ist eine korrigierende

Hartfeinbearbeitung wichtiger Funktionsflächen der Zahnräder, insbesondere der Laufverzahnungen und Lagersitze, im Anschluss an das Härten erforderlich.

**Wärmebehandlung steigert Festigkeit, erfordert jedoch korrigierende Hartfeinbearbeitung**

Für den *Abbildung 3* zugrundeliegenden Anwendungsfall einer typischen Hohlradgeometrie des PKW-Automatikgetriebes konnten die Verzüge hinsichtlich Rundheit und Ebenheit durch gezielte Prozessführung des Härtevorgangs annähernd halbiert werden. Zu beachten gilt es in diesem Zusammenhang, dass im Rahmen der Verzahnungsweichbearbeitung die Vorhaltung eines gewissen Protuberanzmaßes erforderlich ist, um Kerben in der Fertigverzahnung vorzubeugen. Auch können die Qualitätsanforderungen an die Weichbearbeitung aufgrund der sich anschließenden Hartfeinbearbeitung in engen Grenzen reduziert werden. Gleiches gilt auch für die Möglichkeit von Verzahnungskorrekturen. Eine alleinstehende Sonderform stellt Variante 5 dar: Einem Vorschälprozess schließt

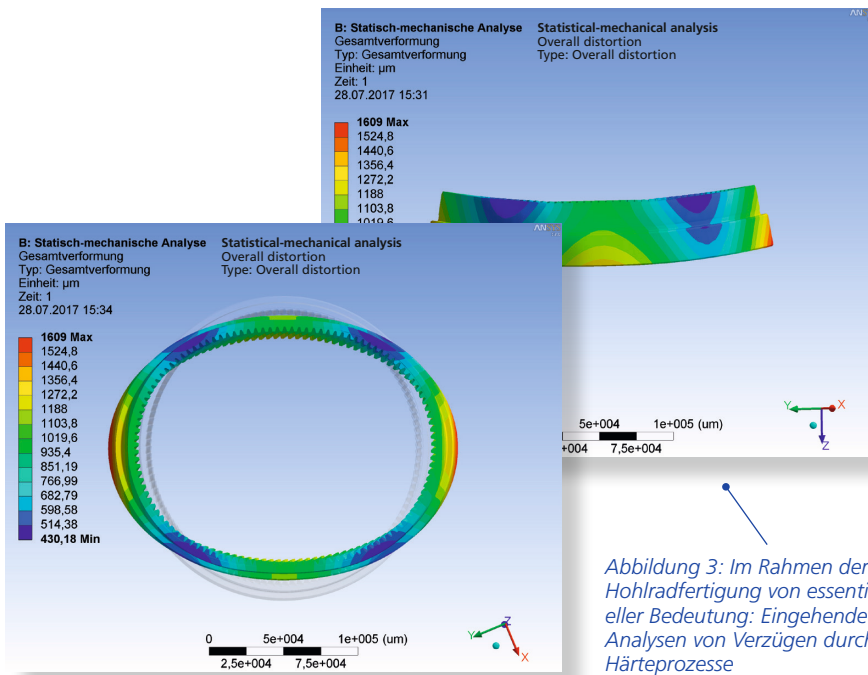


Abbildung 3: Im Rahmen der Hohlradfertigung von essentieller Bedeutung: Eingehende Analysen von Verzügen durch Härteprozesse

sich zur Verbesserung der Oberflächengüte ein Honprozess im Rahmen der Weichbearbeitung an. Durch den anschließenden Nitrierprozess entstehende Härteverzüge werden bei jener Prozessfolge bewusst in Kauf genommen.

Als Hartfeinbearbeitungsverfahren setzt das DVS-Unternehmen auf das hochproduktive Power Skiving bzw. das speziell für Anwendungen im Bereich von Innenverzahnungen vorliegender Art weiterentwickelte PRÄWEMA-Verzahnungshonen. Das Hartwälzschälen ermöglicht die effektive Korrektur von Härteverzügen, jedoch nicht der charakteristischen Vorschubmarkierungen. Entsprechend eignet sich das Hartwälzschälen für die Serienproduktion von Hohlradern mit etwas geringerem Qualitätsanspruch (Variante 3) sowie als Vorbearbeitung zum Verzahnungshonen, da lediglich noch geringe Abträge notwendig sind, um Formabweichungen und Einzelteilungsfehler zu minimieren und dadurch

sehr hohe Verzahnungsqualitäten zu erzielen (Variante 4). Bei den Varianten 6 bzw. 7 schließt sich die Hartfeinbearbeitung durch Innenhonen der Verzahnungsweichbearbeitung mittels Power Skiving sowie der Wärmebehandlung durch Nitrieren bzw. Einsatzhärten an. Im Kontext höchstbelasteter Bauteile ist letztere Variante aufgrund der besseren resultierenden Tragfähigkeitseigenschaften zu bevorzugen.

#### Höchste Oberflächen- und Profilgüten innenliegender Verzahnungsoberflächen

Das für innenliegende Verzahnungen weiterentwickelte PRÄWEMA-Verzahnungshonen erfüllt – genau wie das bewährte Honen von Außenverzahnungen – höchste Ansprüche hinsichtlich der Oberflächen- und Profilgüte verzahnter Bauteile und ermöglicht damit die Herstellung von Hohlradern in bisher unerreichter Produktivität und Fertigungsqualität. Das Anregungs-

verhalten der Verzahnung wird durch die dem Verzahnungshonen eigene typische Struktur positiv beeinflusst. *Abbildung 2* verdeutlicht, dass sowohl die Oberflächenstruktur als auch die für die Geräusch- und Verschleißentwicklung entscheidenden Parameter, bspw. Teilungsabweichungen, minimiert werden. Dem Getriebebau erlaubt dies die Produktion verschleiß- und geräuschreduzierter Planetengetriebe mit höheren übertragbaren Drehmomenten – exakt wie für Anwendungen im Bereich des Antriebsstranges von Automatik- und insbesondere Elektrofahrzeugen gefordert.

Passgenaue und wirtschaftliche Original-Werkzeuglösungen für diesen Prozess liefert das DVS-Schwesterunternehmen DVS TOOLING, dessen Leistungsspektrum den gesamten Werkzeugumfang des PRÄWEMA-Verzahnungshonens abdeckt. Hierzu zählen gänzlich neu entwickelte innenverzahnte VarioSpeedDresser-Abrichtwerkzeuge sowie außenverzahnte Honräder (siehe Seiten 78-83 dieser DVSpezial). Wie beim Honen von Außenverzahnungen, erlaubt der VarioSpeedDresser auch in diesem Zusammenhang ein hochpräzises Abrichten des Honwerkzeuges, in diesem Fall des Honrades, mit definierter Schneide und flexibler Definition der Zahngeometrie. In Verbindung mit dem PRÄWEMA-Verzahnungshonprozess resultiert hieraus die Möglichkeit des Einbringens geometrischer Anpassungen, bspw. Flankenlinienkorrekturen, bei gleichzeitigem exaktem Finishen der Verzahnungsoberflächen – ein Meilenstein im Bereich der Feinbearbeitung gehärteter Innenverzahnungen von Getriebekomponenten. ■

Autor:

Jörg Reinhardt, Konstruktion  
PRÄWEMA Antriebstechnik GmbH

Für weitere Informationen kontaktieren Sie uns.



PRÄWEMA Antriebstechnik GmbH

Hessenring 4  
D-37269 Eschwege

T. +49 (0) 5651 8008 0  
F. +49 (0) 5651 12546  
vertrieb@praewema.de  
www.praewema.de