

5: Zahnriemenlineareinheit  
RK Rose+Krieger

berwachung) in Eingriff zu bringen. Wünschenswert wären integrierte Initiatoren im Zahnriemen, welche einen sich andeutenden oder plötzlich auftretenden Riemenbruch anzeigen.

### Energieeffiziente und getriebeschonende Vorspannung von Zahnriemen

Hagen Bankwitz, TU Chemnitz

Zur Gewährleistung der Funktionalität sind Zahnriemen mit einer definierten Vorspannung zu beaufschlagen. Die genaue Einstellung und vor allem die Einhaltung der Vorspannkraft während des Betriebes beeinflusst dabei signifikant die Betriebssicherheit, das Laufverhalten (Trumschwingungen und Geräusche) sowie die Lebensdauer der Zahnriemengetriebe. Zu geringe Vorspannkraft führen z. B. zum Auflaufen des Riemenprofils in den Zahnscheiben (Einlaufkeil) bis hin zum Überspringen des Riemens über die Verzahnung der überlastungskritischen Scheibe.

Andererseits bewirkt eine zu große Vorspannkraft das unerwünschte Dehnen des Riemens mit daraus resultierenden Zahn-eingriffsfehlern sowie einer auch im Stillstand anliegenden erheblichen Belastung des Zahnriemens und der Lager, was sich sehr nachteilig insbesondere auf Reibung, Verschleiß und Lebensdauer aller Getriebekomponenten auswirkt. Die bezüglich der Übersprungssicherheit auf das maximale Drehmoment dimensionierten Zahnriemengetriebe laufen in der Praxis jedoch nur partiell in den Phasen des maximalen Momentes. Oft sind die Zeiträume in denen diese Getriebe im Teillastbereich arbeiten wesentlich größer als die Maximallastphasen. Wichtige Beispiele sind dabei Synchronriemengetriebe mit ungleichförmiger oder unregelmäßiger Belastung und den dabei entstehenden auf- und abschwelenden Momenten, wie sie z. B. in mit Kurbeltrieben gekoppelten Anlagen, bei häufigen Anfahr- und Bremsprozessen oder auch bei Stückgut-Förderern vorliegen.

Am Institut für Fördertechnik und Kunststoffe der TU Chemnitz werden derzeit im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projektes

(DFG NE544/14-1) grundlegende Untersuchungen an ringgespannten Zahnriemengetrieben durchgeführt. Mit dieser Methode ist eine drehmomentabhängige und sehr getriebeschonende Spannung möglich, die auch zur Verbesserung des Wirkungsgrades insbesondere in teillastbetriebenen Systemen beiträgt.

Die von Ebert Kettenspanntechnik mit dem Institut für Fördertechnik und Kunststoffe der TU Chemnitz entwickelten rotational-elastischen Roll-Ring-Spann- und -Dämpfungselemente für die Anordnung zwischen den Zahnscheiben und den Riementräumen sowie zahnscheibenintegriert zwischen den Trumen, beinhalten neben der allgemeinen Spann- und Dämpfungsfunktion eine drehmomentabhängige Spannkraftregelung. Es wurde gezeigt, dass das ringgespannte Getriebe bei optimaler Dimensionierung wesentlich geringer vorgespannt werden muss, ohne dass dabei die Gefahr einer zu geringen Leertrummkraft und damit eines möglichen Zahnübersprungs besteht. Weiterhin wird deutlich, dass die Belastung des Zahnriemens (Lasttrummkraft) und der Lager insbesondere im Stillstand sowie während der Teillastphasen beim Einsatz des Roll-Ring wesentlich geringer ist. Eine reduzierte Vorspannung im Teillastbereich wirkt sich u. a. auch vorteilhaft auf die Verluste infolge der radialen Bettung des Riemens, der Riemendehnung und der Lagerverluste von An- und Abtriebswelle aus. Für Zahnriemengetriebe, in denen die Vorspannung durch Einstellung des Achsabstandes realisiert wird (Dehnspannung), ist im gesamten Lastbereich die resultierende Wellenkraft (theoretisch) konstant. In Getrieben mit Roll-Ring wirkt ohne Drehmoment eine bis zu 95% geringere Wellenvorspannkraft, welche mit zunehmender Last ansteigt, aber bei richtiger Dimensionierung niemals größer als bei der Dehnspannung wird. Daraus resultiert, besonders bei geringer Teillast, ein verbesserter Wirkungsgrad infolge der reduzierten Verlustreibung in den Lagern. Ebenso erhöht sich die Lebensdauer der Lager wesentlich, wenn die Zahnriemen in den Teillastphasen geringere Kräfte auf diese übertragen.

Die Annahme, dass geringere Lagerkräfte

im Teillastbereich den Wirkungsgrad des Zahnriemengetriebes beeinflussen, wurden experimentell an einem Getriebeprüfstand der TU Chemnitz validiert. Unter Volllast ist der Unterschied des Wirkungsgrades zwischen Getriebe mit und ohne Roll-Ring relativ gering. Im niederen Teillastbereich wächst der Vorteil jedoch bei Verwendung des Roll-Ring auf bis zu 14% Wirkungsgradverbesserung an (Bild 6). Des Weiteren übt der Roll-Ring aufgrund seiner schwingungsdämpfenden Eigenschaften einen positiven Einfluss auf das Schwingungsverhalten des Getriebes aus.

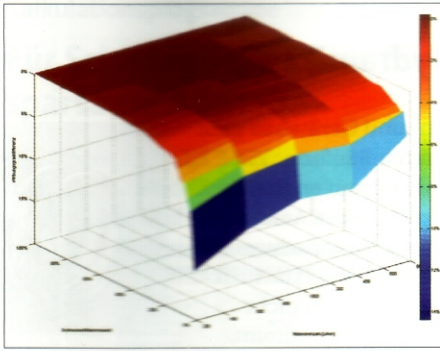
### 3D-FEM-Simulation des Kontakts Bordscheibe-Riemen bei Wellenschiefstand

Jens Schirmer, TU Dresden

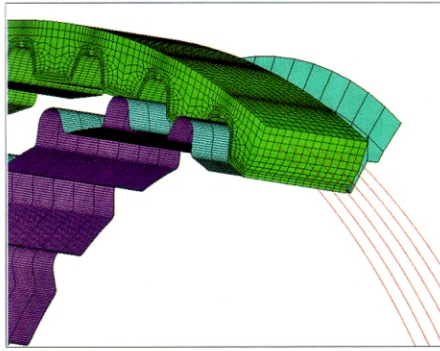
Seit mehr als 25 Jahren unterstützt das Institut für Feinwerktechnik und Elektronik-Design (IFTE) in enger Zusammenarbeit mit Zahnriemenherstellern und Anwendern die ständige Weiterentwicklung von Zahnriemengetrieben. Dieses am Institut angeereicherte Know-how bildet die Grundlage für aktuelle Untersuchungen innerhalb eines Kooperationsprojektes mit der Breco Antriebstechnik Breher GmbH & Co. KG mit dem Ziel, die Auswirkungen von Toleranzen und Montageabweichungen vorrangig im Bereich der Industriezahnriemengetriebe zu ergründen. Hieraus resultiert die Notwendigkeit, ein Zahnriemengetriebe vollständig im dreidimensionalen Raum abzubilden, ein wissenschaftlich äußerst interessantes Ziel (Bild 7).

Das Bestreben, die Gesamtheit aller praktisch anzutreffenden Montageabweichungen untersuchen zu können, führte zur Entwicklung von vier grundlegenden Simulationstools, gemäß der Betriebszustände: nicht fluchtender Wellen, Achsschränkung, Achsneigung und ohne Montageabweichungen bzgl. einer Referenzgewinnung. Im Mittelpunkt des Vortrages stand die Validierung der am Institut entwickelten Simulationswerkzeuge am Beispiel von nicht fluchtenden Wellen, anhand der Auswertung neu definierter Validierungsparameter, wie der Achsabstandsänderung, der Höhe einer generierten seitlichen Ablaufkraft im Betrieb

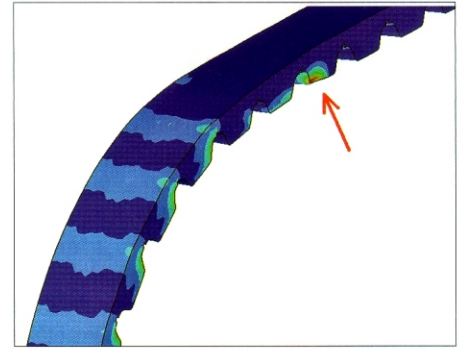




6: Last- und drehzahlabhängige Wirkungsgraddifferenz der Zahnriemengetriebe mit und ohne Roll-Ring



7: Auszug aus dem 3D-Gesamtmodell



8: Spannungsverteilung Riemen-Bordscheibe

und der maximalen Riemenschieflage mit sich einstellenden Varianzen von Riemenvorder- bzw. Riemenhinterkante. Die Auswertungsexperimente ergaben einen maximalen relativen Fehler bezüglich der Simulationsergebnisse von 19%, was zur Annahme einer erfolgreichen Validierung des Simulationsmodells berechtigt. Nun eröffnet sich ein bisher ungeahntes Feld an Möglichkeiten, einen unter praxisnahen Betriebsbedingungen simulierten Riemen zu analysieren. Im Rahmen des Vortrages wurden exemplarisch die Auswerteparameter Spannungsverteilung des Kontaktes Bordscheibe-Riemen und die axiale Zugstrangkraft im Betriebsfall der nicht fluchtenden Zahnscheiben vorgestellt.

Es war zu erkennen, dass die Seitenkante des Zahnkopfes im Moment des Erstkontaktes von Bordscheibe zu Zahnriemen bei nicht fluchtenden Zahnscheiben deutlich höher beansprucht wird, als andere Bereiche des Riemens (Bild 8). Durch die objektive Analyse der ersten und dritten Hauptspannung, wobei die erste Hauptspannung die maximale mechanische Zugspannung und die dritte Hauptspannung die maximale mechanische Druckspannung charakterisiert, lassen sich nun konkrete Aussagen formulieren. Für die im Projekt vordefinierten Parametersätze ergaben sich so bis zu 130 % höhere mechanische Druckspannungen und bis zu 318 % höhere Zugspannungen im thermoplastischen Polyurethan gegenüber einem Riemengetriebe ohne Montageabweichungen.

Erstmalig ist es gelungen, auch den axialen Zugstrangkraftverlauf aller beteiligten Zugträger zu charakterisieren. Nun können einerseits exakte Aussagen bezüglich des Kraftabbaus zwischen Last- und Leertrum und andererseits der sich einstellenden Kraftverteilung zwischen den einzelnen Zugträgern getroffen werden. Diese Analyse macht vor allem bei Eintrag von Montageabweichungen Sinn, da hier grundsätzlich neue Wirkungsmechanismen herausgearbeitet werden können. Bordscheibenzugewandte Zugträger liegen unterhalb der biege-neutralen Linie und werden daher weniger axial belastet.

Gewonnene Erkenntnisse fließen mit hoher Wahrscheinlichkeit einerseits direkt in die Entwicklung neuartiger Zahnriemen ein und nehmen andererseits Einfluss auf die Dimensionierung verwendeter Zugträger, da nun qualifizierte Aussagen möglich sind bezüglich:

- der Abbildung und dem Vergleich möglicher Montageabweichungen,
- der Spannungsverteilung bei Bordscheibenkontakt,
- des Kraftverlaufs innerhalb der Zugstränge und des Vergleichs zueinander,
- der Spannungsverschiebungen bei Montageabweichungen mit Auswirkungen auf die Zugstränge.

### Betriebseigenschaften und Einsatzmöglichkeiten elastischer Keilrippenriemen

Robert Neudert, Hutchinson, Mannheim

Hutchinson ist ein weltweit führender Anbieter von Kautschukprodukten und Automobilzulieferer und wurde bereits 1853 durch Hiram Hutchinson gegründet. Hutchinson Antriebssysteme entwickelt und produziert Keilrippenriemen, Riemenspanner, automatische Spannsysteme sowie Entkopplungsscheiben für Generatoren.

Keilrippenriemen (KRR) können überall da zum Einsatz kommen, wo Synchronität nicht notwendig ist und zeigen große Vorteile auf, wenn es darum geht Leistung dauerhaft zu übertragen. Das klassische Beispiel kommt aus dem Bereich der Automobilindustrie. Für den Antrieb der Nebennaggregate, wie z. B. bei Lichtmaschine oder Klimakompressor, ist keine Synchronität erforderlich, hier kommen Keilrippenriemen oft zum Einsatz. Die Übertragung der Leistung erfolgt durch Haftreibung (Reibungskoeffizient der Rippen) und Verklümmung (Schwellung der Rippe in der Rille) von den Rippen in den Rillen der Scheiben. Der Antrieb weist jedoch einen gewissen funktionellen Schlupf auf. Es werden hauptsächlich zwei Arten von Schlupf unterschieden:

- Radialer Schlupf: Die Rippen schlupfen radial in den Rillen (Eingang und Ausgang Kontaktposition)

- Linearer Schlupf: Eine Kombination von Leistungsschlupf (Übertragungsgrenze erreicht laut Euler's Gleichung) und Schlupf, der durch die Änderungen der Dehnung über die Kontaktfläche verursacht wird.

Die jeweiligen Werte können durch entsprechende Modellrechnungen ermittelt werden. Obwohl ein gewisser mechanischer Verlust vorhanden ist, wird der Riemen so ausgelegt, dass der Gesamtschlupf kleiner als 2% ist. Der Schlupf bietet auch folgende Vorteile:

- Der funktionelle Schlupf begrenzt die momentane Spannung in den Rippen. Die mechanisch beanspruchten Zonen sind nicht punktförmig wie bei Zahnriemen, sondern linear verteilt. Die Lebensdauer wird für Leistungsübertragung optimiert.
  - Geräuschentwicklung ist stark reduziert.
- Eine weitere Besonderheit des elastischen KRR ist von Interesse: Sein Zugstrang hat die Fähigkeit, die Vorspannung über die Laufzeit zu halten und dieses unabhängig von etwaigen Temperatur- und Schockbelastungen.

Eine Reihe von Beispielen wurden aufgezeigt, so auch der Rotationsschleifer RO90 von Festool. Dieser Exzenterschleifer wird für Fein- und Grobschliff sowie auch für das Polieren eingesetzt und läuft seit Frühjahr 2010 erfolgreich in Serie. Weiterhin kann der runde Schleifteller durch einen Dreiecksteller ausgetauscht werden, damit wird das Gerät zum Deltaschleifer. Bei der Neuentwicklung war die Vorgabe, eine hohe Qualität bei kleinem Bauraum zu erzielen. Das Drehmoment sollte, anstelle des sonst üblichen Winkelgetriebes, über einen Antriebsriemen übertragen werden. Die ideale Lösung war ein Flexonic Riemen PH mit einer Riemenbreite von nur 4,8 mm, weil dieser sich einfach montieren lässt, ohne Spaneinrichtung auskommt und dennoch den hohen Anforderungen des Lastenheftes in Hinblick auf Leistung, Drehzahl, Geräuschniveau und Lebensdauer gerecht wird. ■