



# FEM-Analyse eines PKW-Nockenwellen-Steuergetriebes

## EINLEITUNG

Die Leistungsfähigkeit von Zahnriemen zu steigern ist ein ständiger Anspruch, insbesondere an die so genannten „Hochleistungsprofile“. Bei der Weiterentwicklung geht es zum einen um das Erkennen der Leistungsreserven bestehender Konstruktionen. Zum anderen sollen durch gezielte Änderungen auf den Gebieten der Geometrie und der Materialien höhere Leistungsfähigkeiten erzielt werden. Hierbei stellt die Methode der „Finiten Elemente“ eine wertvolle Hilfe dar.

## MOTIVATION

Der Entwicklungsprozess moderner PKW-Nockenwellen-Steuergetriebe muss den steigenden Anforderungen, wie beispielsweise einer längeren Lebensdauer sowie funktioneller und wirtschaftlicher Optimierung, der einzelnen Bauteile bei kürzeren Entwicklungszeiten genügen. Die dafür notwendigen detaillierten Kenntnisse der mechanischen Vorgänge während des Betriebes und der tatsächlichen Belastungen der Getriebekomponenten sind messtechnisch sehr schwer bzw. teilweise nicht mehr erfassbar. Virtuelle Entwicklungswerkzeuge für die Berechnung (z.B. FEM, MKS) bekommen deshalb eine immer größere Bedeutung. Die Arbeit entstand in Zusammenarbeit mit der Schaeffler KG, Herzogenaurach. Das Ziel ist das Bereitstellen eines Systems zum Berechnen der Getriebekinematik. Dabei sind vor allem Größen wie:

- die Kraftverläufe in den Trumen,
- die tatsächlichen Belastungen der Bauteile,
- die Größen der Riemen-Scheiben-Kontakte und
- die Belastungsverteilungen

von Interesse.

Am Institut für Feinwerktechnik und Elektronik-Design (IFTE) der TU Dresden ist in den letzten Jahren ein System zur FEM-Simulation von Zahnriemengetrieben entstanden und validiert worden, welches in der Industrie vielschichtig eingesetzt wird. Dabei wird der Zahnriemen als Verbundkonstruktion aus Elastomer, Zugstrang und Gewebe modelliert (Bild 1). Da außerdem das gesamte Getriebe abgebildet wird, werden auch spezifische Eigenheiten des Getriebes erfasst. Erst dieser Ansatz gewährleistet exakte und verwertbare Ergebnisse.

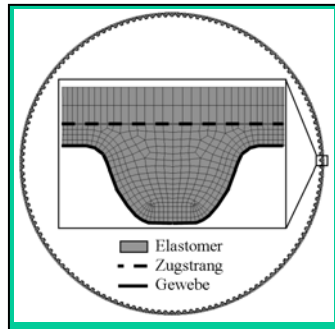


Abbildung 1. Modell des kompletten Zahnriemens

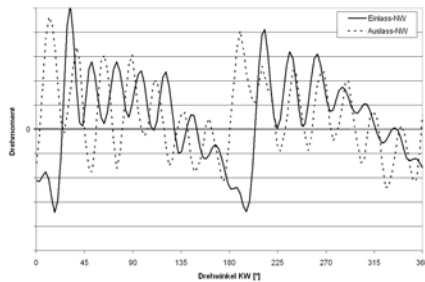


Abbildung 2. Drehmomentverläufe beider Nockenwellen bei hoher Motordrehzahl

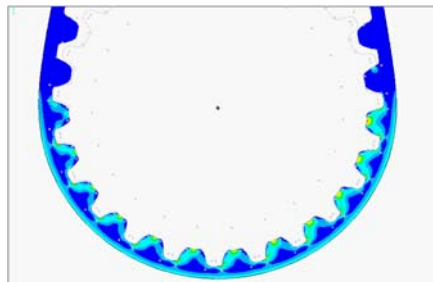


Abbildung 4. Vergleichsdehnung im Zahnriemen im Moment max. Belastung an der Kurbelwelle

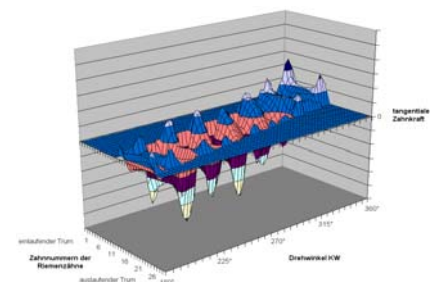


Abbildung 5. Tangentiale Zahnkraftverteilung an der Kurbelwelle über einer Belastungsperiode

## LÖSUNG

Aus getriebetechnischer Sicht ist die Kurbelwelle die Antriebsscheibe und die beiden Nockenwellen sind die Antriebsscheiben. Während der Bewegungssimulation wird der Antrieb in kleinen Winkelinkrementen gedreht. Die beiden Nockenwellen sind dabei drehbar gelagert und mit den wirkenden Abtriebsdrehmomenten beaufschlagt. Die beiden Umlenkrollen sind lastfrei und dienen lediglich der Riemenführung. Die Position des Zahnriemens ist ausschließlich durch die Kontakte zu den Scheiben bestimmt.

Das Bild 2 zeigt typische Drehmomentverläufe an den Nockenwellen, wie sie als Randbedingungen für die Simulation verwendet wurden. Die stark wechselnden Belastungen für das Getriebe sind gut zu erkennen.

Bevor die eigentliche Bewegungssimulation des Getriebes durchgeführt werden kann, müssen die Scheiben erst an ihre vorgültige Position verschoben werden. Dies geschieht in einer Vorsimulation (Bild 3).

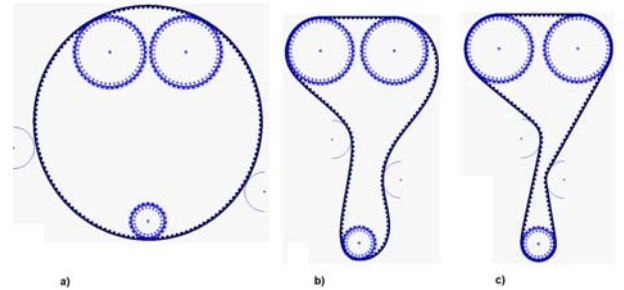


Abbildung 3. Stationen der Vorsimulation (Auswahl)

## Ergebnisse

Entspricht das Getriebe den erforderlichen Betriebsparametern (Scheibenpositionen, Vorspannung usw.) kann mit der Bewegungssimulation begonnen werden. Die Lage des Riemens auf den Scheiben ist durch die Vorsimulation bedingt. Um den korrekten Ausgangszustand des Getriebes herzustellen, ist, wie in der Realität auch, erst ein Einlaufvorgang durchzuführen, bevor die Drehbewegungen für die Auswertung simuliert werden. Die lokalen Spannungen und Deformationen können mit den zulässigen Werten verglichen werden und fließen in die Lebensdauerberechnung mit ein. Beispielhaft dafür zeigt Bild 4 die Vergleichsdehnung im Zahnriemen an der Kurbelwelle im Moment der maximalen Getriebebelastung. Eine wichtige Größe bei Zahnriemengetrieben ist die tangentielle Zahnkraftverteilung. Sie gibt an, wie viel Last jeder Riemenzahn auf die Zahnscheibe überträgt (Bild 5).