

KISSsoft AG - +41 55 254 20 50
Uetzikon 4 - +41 55 254 20 51
8634 Hombrechtikon - info@KISSsoft.AG
Switzerland - www.KISSsoft.AG

Automotive: Getriebeoptimierungen leicht gemacht

Dr.-Ing. Winfried Schmidt, Oechsler AG

Dr. Stefan Beermann, KISSsoft AG

Viele Produkte haben ein Vorgängermodell, wobei die darauffolgende Generation meist eine Optimierung oder Erweiterung der vorhandenen Generation darstellt. Im Bereich Automotive gilt dies besonders auch bei den zahlreichen Stellantrieben – zum Beispiel bei Zentralverriegelungen, Spiegelverstellern, Klappeneinstellungen für Abgas sprich Motoreinstellungen, elektrischen Parkbremsen und anderen.



Bild 1 3. Generation des Getriebes einer elektrischen Parkbremse

Hier kommt es vor, dass neben höherer Leistungsdichte, also höherer Festigkeit, gleichzeitig auch eine Geräuschreduktion gefordert wird.

Getriebeauslegung mit Berechnungstools

Ansätze zur Optimierung von Getrieben können sehr unterschiedlicher Art sein: Die Bandbreite reicht vom Wechsel des Getriebetyps insgesamt auf eine geräuschärmere Variante bis zur Modifikation der Makro- und Mikroparameter der Verzahnungen. Bei all diesen Modifikationen sollte stets beachtet werden, dass durch die Ausführung der Lagerungen und die erreichbare Verzahnungsqualität gerade bei Kleinantrieben mit Kunststoffverzahnungen die Wirkung vieler klassischer Optimierungsmassnahmen fraglich ist.

Grundsätzlich stellt es einen grossen Vorteil dar, wenn sich verschiedene Varianten vom Konzept her, aber auch im Detail, rasch durchspielen lassen. So können möglichst viele – insbesondere die für die Anwendung geforderten Eigenschaften ausgewertet und verglichen werden.

KISSsys ist ein Systemaufsatz zur Berechnungssoftware KISSsoft, mit dem komplette Getriebe sowie Antriebsstränge modelliert werden können. Darin wird ein System von Maschinenelementen dargestellt und das Getriebekonzept massstäblich dreidimensional abgebildet. Die kräfteübertragenden Elemente werden in KISSsoft ausgelegt und die für das Getriebe relevanten Daten einzelner Elemente werden automatisch an KISSsys übermittelt und auch dort verarbeitet, indem sowohl der Leistungsfluss wie auch die 3D-Darstellung fortwährend aktualisiert werden. Durch die logische Verknüpfung der vorhandenen Daten in einem KISSsys-Modell ist das Getriebe-3D-Modell stets konsistent, womit auch Kollisionen unmittelbar sichtbar werden – und dies, ohne dass irgendeine manuelle Eingabe nötig wäre. Dies erleichtert das Erarbeiten einer optimalen Getriebedimensionierung erheblich, da es einen effizienten und raschen Variantenvergleich ermöglicht.

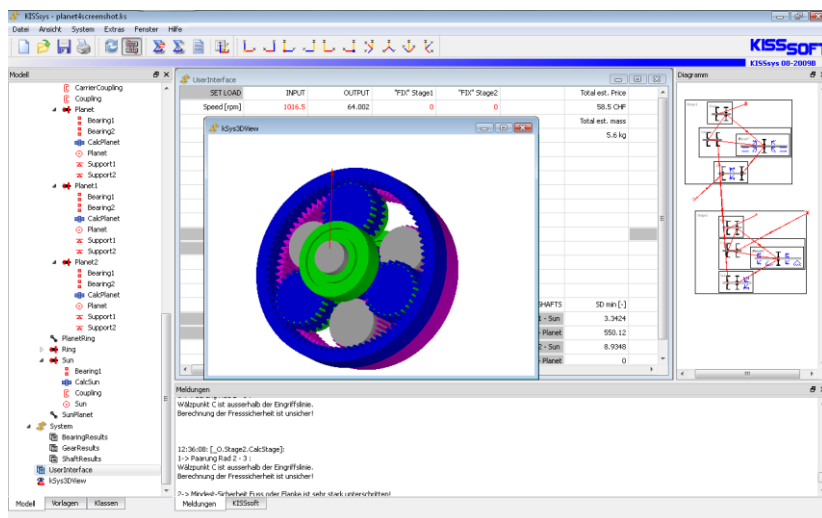


Bild 2 Zweistufiges Planetengetriebe modelliert in KISSsys.

Verschiedene Ansätze zur Getriebeoptimierung

Bei einer typischen Anwendung aus dem Bereich Automotive mussten einzelne Teile einer Verzahnung punktuell in der Qualität verbessert werden, damit sie die geforderten Spezifikationen erreichten. In diesem speziellen Fall galt es sicherzustellen, dass der Eingriff der Verzahnungsstufe lokal auf hohe Lasten optimiert war und die Last ausreichend gut auf die Kontaktstellen verteilt wurde. Wesentlich war hier das Zusammenspiel der Optimierung der beiden Verzahnungspartner der Stirnradstufe hinsichtlich Auslegung und Fertigung insbesondere des Kunststoffzahnades. Hierbei ist es von wesentlicher Bedeutung, die verantwortlichen Verzahnungskenngrößen eines Zahnrades oder einer Flanke (zum Beispiel den Schrägungswinkel) zu identifizieren und gezielt zu beeinflussen. Findet die Optimierung wie hier auf analytischem Wege statt, lassen sich aufwändigere Simulationen wie FEM einsparen und die Zahl der Prototypentests reduzieren.

Nicht immer können alle an einer Verzahnung auftretenden Abweichungen vollständig korrigiert werden. Bei der Optimierung muss also auch berücksichtigt werden, ob das geplante Fertigungsverfahren überhaupt die benötigte Verzahnungsqualität ermöglicht.

Bei einem anderen Fall aus der Praxis stand der eine Verzahnungspartner (in diesem Fall eine metallische Schnecke, welche auf der Motorwelle integriert ist) bereits fest, da er von

einer vorigen Versionen verfügbar war. Die Aufgabe bestand nun darin, das zugehörige Schneckenrad zu optimieren, damit möglichst hohe Festigkeit und geringes Geräusch entstehen. Dabei durfte die geforderte Untersetzung (Zähnezahl vorgegeben) nicht geändert werden. Der in diesem Fall freie Parameter des Achsabstandes wurde genutzt, um in Verbindung mit der konstruktiven Ausführung des Gehäuses die Ziele zu erreichen.

In einem weiteren Fall musste eine Optimierung des Wirkungsgrades einer Schneckenradstufe bestehend aus Metallschnecke und Kunststoffrad vorgenommen und dabei gleichzeitig dafür gesorgt werden, dass das Getriebe nicht leichter, sondern eher schwerer rückwärts drehbar sein sollte – somit war hier eine Art Widerspruch zu lösen. Hierbei ist wichtig, die Zusammenhänge von Parametern an der Verzahnung und deren Auswirkungen zu kennen. Gerade bei starken Modifikationen der Verzahnungspartner ist die Einschätzung bedeutend, wie genau die verfügbaren analytischen Rechenmethoden arbeiten können. Gerade Kunststoffverzahnungen können jedoch durch starke Modifikationen gut optimiert werden. Es gilt also, sich der Zusammenhänge von den absoluten Gleitgeschwindigkeiten, Eingriffswinkeln in Verbindung mit Profilverschiebungen, Schrägungswinkeln etc. bewusst zu werden – und daraus die richtige Optimierungsmaßnahme abzuleiten. Dazu ist einerseits ein Berechnungstool wie KISSsys erforderlich, welches verschiedene Varianten effizient berechnen kann, um die Einflüsse herauszufiltern; andererseits müssen die Verzahnungsgrundlagen bekannt sein, um solche Optimierungen zu erreichen, bei denen es um sehr feine Veränderungen jedoch mit deutlich messbaren Auswirkungen (durch beispielsweise höhere erreichbare Drehmomente) geht, und welche wiederum auch die Fertigungsmöglichkeiten ganz ausnutzen.

So vielfältig, wie die Anwendungen von Antrieben sind, können also auch die Optimierungsaufgaben in der Praxis sein, wenn es darum geht, Verzahnungskomponenten zu verbessern und den steigenden Anforderungen anzupassen. Hauptsächlich kommt es darauf an, die richtigen Stellgrößen zu finden und diese Stellgrößen spielen bereits beim Konzept beziehungsweise der Auswahl des richtigen Getriebetyps (verbunden mit dem Motor) eine entscheidende Rolle. Und schliesslich geht dies bis in die Feinheiten und Details der Zahnform und Zahnradparameter hinein.

Verbesserung im Bereich der Kunststoffverzahnung

Letztes Beispiel zeigt, wie wichtig es ist, auch die Verzahnungsgrundlagen nicht ausser Acht zu lassen. Dies ist gerade deshalb sinnvoll, da bei Kunststoffverzahnungen durchaus noch Verbesserungspotential bei der Berechnung vorhanden ist. Zur Thematik Verschleiss bei Kunststoffzahnradern bestehen beispielsweise kaum noch verlässliche Richtlinien für die Auslegung. Doch gerade Verschleisserscheinungen spielen bei Kunststoffen – und speziell bei Trockenlauf – eine Rolle.

Eine Verschleissvorausberechnung ist im Bereich der metallischen Zahnradern nicht vorgesehen. Von diesen leitet sich aber die Berechnung von Polymerzahnradern ab. Daher bedarf es Grundlagenversuchen, um Theorie und Praxis in Einklang zu bringen und Erfahrungen zu sammeln, welche sich dann wiederum in die praktischen Optimierungsaufgaben aber auch bei Neukonzeptionen schnell wieder einbringen lassen. Der Vorteil, der durch eigene Grundlagenuntersuchungen gegeben ist, besteht darin, dass die erzielten Ergeb-

nisse sehr gut eingeschätzt werden können und so über das in Dokumenten festgehaltene Wissen hinaus gehen. Beim Unternehmen Oechsler sind beispielsweise nicht nur Verschleissmessungen an trockenlaufenden Stirnradstufen, sondern auch an fettgeschmier-ten Stirnrädern vorgenommen worden. Aus solchen Grundlagenversuchen lassen sich dann mit einer entsprechenden Berechnungsmethode, welche selbstredend zu überprüfen ist, Verschleisskennwerte für bestimmte Werkstoffpaarungen ermitteln. Ausgehend von solchen direkt an Verzahnungen gemessenen Verschleisskennwerten ist es dann möglich, Vergleiche zum Beispiel zu Verschleisskennwerten aus anderen bereits durchgeführten Verschleissversuchen (wie Stift/Scheibe) zu ziehen, um zu beurteilen, ob diese Werte für eine Auslegung herangezogen werden können. Abweichend zur Berechnung der Flankenfestigkeit, welche bisher nur durch einen Ansatz mit Flächenpressung berechnet wird, kommt nun ein Ansatz hinzu, welcher die Linienlast für die Verschleissberechnung berücksichtigt. Durch die neue Berechnungsmöglichkeit des Verschleisses innerhalb von KISSsoft können nun Anwender Erfahrungen mit dieser Berechnung sammeln und eigene verfügbare Ergebnisse einpflegen. Man muss sicherlich auch herausfinden, ob und wo die Grenzen und Geltungsbereiche liegen, wie dies auch bei den anderen Berechnungsmethoden der Fall ist.

Bilanz und Ausblick

Die Erfahrungswerte verschiedener Getriebehersteller mit dem Einsatz von KISSsys haben Verkürzungen der Entwicklungszeiten von neuen Antriebskonzepten bis um Faktor 5 ergeben, was zu einer deutlichen Effizienzsteigerung im Arbeitsprozess führt.

Oechsler nutzt dies für die Konzeptionierung kompletter Antriebe mit Kunststoffverzahnungskomponenten, für die Detailauslegung unter Berücksichtigung der Fertigung und Montage bis hin zur Optimierung von Verzahnungen je nach Kundenwunsch für Industrie, Automotive sowie medizintechnische Anwendungen.

Vor allem in Zeiten von Kostendruck ist es den Ingenieuren und Konstrukteuren ein Anliegen, die Auslegung der einzelnen Maschinenelemente und die Wechselwirkung mit ihrer Umgebung möglichst frühzeitig in den Entwicklungsprozess zu integrieren – nicht zuletzt, um in Zukunft einen reibungslosen Getriebelauf zu sichern.