

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

## **KISSsoft optimiert Kunststoff-Unrundräder von GAUDLITZ**

Dr.-Ing. Ulrich Kissling, Geschäftsführer KISSsoft AG  
Walter Franz, Leitung der Entwicklung GAUDLITZ GmbH

### **Unrundräder – Grundlage und Vorteile**

Die Aufgabe eines Getriebes ist es, Drehmoment und Drehzahl einer antreibenden Maschine auf die Notwendigkeiten des Abtriebs anzupassen. Dabei wird im Regelfall eine konstante Übersetzung verwendet, was durch konventionelle Zahnräder mit Evolventenverzahnung optimal erreicht wird. Um diese Bedingung erfüllen zu können, muss bei konstantem Achsabstand der Wälzpunkt stets gleich bleiben – sprich der Punkt, an dem die Normalkraft auf die zwei Flanken im momentanen gemeinsamen Berührungspunkt die Verbindungslinie der beiden Radmittelpunkte schneidet. Die Evolventenverzahnung erfüllt diese Bedingung auf natürliche Weise.

Es existieren jedoch auch Fälle, in denen eine konstante Übersetzung nicht das Optimum darstellt. Zum Beispiel bei einem Schliessmechanismus, wie bei Kofferraumdeckeln oder Türen, ist für den grössten Teil der Bewegung ein relativ kleines Drehmoment notwendig, wohingegen beim eigentlichen Schliessen ein deutlich grösseres Moment gefordert ist. Bei Lüftungs- und Drosselklappen tritt beim Öffnen ebenfalls eine Haftkraft auf, die überwunden werden muss. Die Klappenbewegung hinterher ist hingegen mit sehr geringem Moment möglich. In solchen Fällen ist es günstiger, die Übersetzung während des Bewegungszyklus an die Erfordernisse anzupassen. Möglich ist das durch kontinuierliches Verschieben des Wälzpunktes. Die sich ergebenden Zahnräder sind sogenannte Unrundräder.

Grundlage für die Auslegung solcher Unrund-Verzahnungen ist entweder die Übersetzungsfunktion, also die Übersetzung über dem Abwälzwinkel, oder eine Wälzkurve, das heisst der Wälzpunkt in Abhängigkeit der Eingriffsstellung. Dabei ist zwischen geschlossenen und offenen Kurven zu unterscheiden: Geschlossene Kurven müssen bei beiden Rädern eine gemeinsame Periode haben, also beispielsweise ein Verhältnis von 2:1.

Unrundräder liefern mehrere Arten unterschiedlicher Bewegungs- und Geschwindigkeitsabläufe. Servosysteme können zwar ebenfalls solche Bewegungsabläufe erfüllen, aber Unrundräder stellen eine einfachere, kompakte und genauere Lösung dar – zudem sind sie kostengünstiger. Seitdem numerisch gesteuerte Verzahnungsmaschinen verfügbar sind und seitdem effiziente Software für die numerische Optimierung eingesetzt werden kann, erfolgt die Lösung von Getriebeaufgaben zunehmend mit unrunder Zahnrädern.

### **Exhaust Control Valve (ECV)**

Aufgrund gesetzlicher Vorgaben müssen die Schadstoffemissionen von Verbrennungsmotoren im Laufe der nächsten Jahre weiter gesenkt werden. Das ECV (Exhaust Control Valve) ist Teil eines Motormanagements für Verbrennungsmotoren. Elektrisch aktuierte ECVs sorgen dafür,

dass das Abgas entweder durch einen Abgaskühler oder den Abgaskühler-Bypass strömen. Dies ermöglicht eine gut kontrollierbare Abgasrückführung bei gleichzeitig hohen Abgasrückführungsraten.

Um den Anforderungen der Zukunft in Bezug auf eine saubere Umwelt gerecht zu werden, müssen neue Technologien entwickelt und kostengünstig umgesetzt werden. Die Firma GAUDLITZ GmbH konnte zwei komplexe Komponenten mitentwickeln, die zu einer Reduktion der Stickoxide (NO<sub>x</sub>) im Fahrzeug führen. Die Lösung dieser besonders anspruchsvollen Aufgabe konnte vor einiger Zeit für einen bekannten Automobilzulieferer abgeschlossen werden und in Serie gehen.

Zu Beginn dieser Entwicklung stand die Kundenforderung, ein Getriebe mit einem variablen Übersetzungsverhältnis auszulegen, das unter anderem auch eine Unrundverzahnung vorsieht. Um diese gestellte Anforderung erfolgreich und mit der geforderten Qualität zu erfüllen, wurde für den Teil der Verzahnungsauslegung auf die Software KISSsoft zurückgegriffen.



Ventilzahnäder von GAUDLITZ

Mit konventionellen Analyse- und Korrekturmethode n waren in der Vergangenheit viele Qualitätsziele der Kunden nicht erreichbar. In Verbindung mit Digitalisierungseinrichtungen und einem Computertomographen können nun Antriebselemente für die Feinwerktechnik mit sehr kleinen Modulen bis hin zu Verzahnungen für den allgemeinen Maschinenbau exakt analysiert und für weiterführende Korrekturmassnahmen vorbereitet werden. Durch die direkte Datenübernahme von KISSsoft steht eine in sich geschlossene Einheit zur Verfügung.

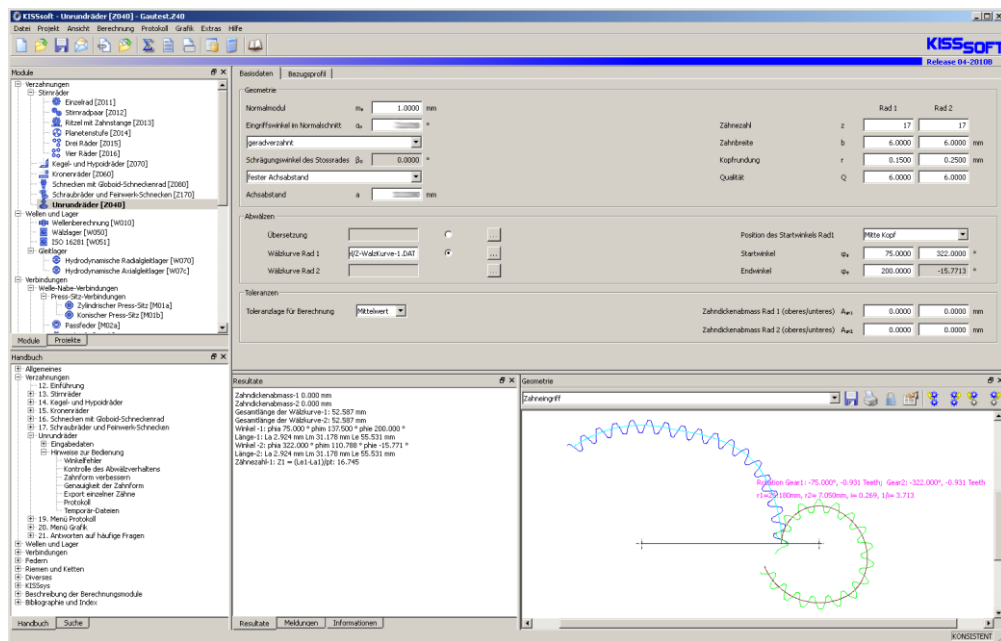
## **KISSsoft berechnet Unrundräder**

Im KISSsoft-Release 04/2010 ist die Zahnradberechnung erweitert worden, um auch Unrundgetriebe berechnen zu können. Zunächst werden dazu auf der Basis von eingelesenen Übersetzungsfunktionen oder Wälzkurven die Grundkörper der beiden Zahnäder bestimmt. Anschließend wird die Verzahnung eingeschnitten, indem mit einem Stossrad abgewälzt wird. Da bei beiden Zahnädern das gleiche Stossrad verwendet wird, ergeben sich sehr gut abwälzende Verzahnungen, mit annähernd symmetrischen Zähnen. Dennoch kann es bei stark gekrümmten Kurven zu Eingriffsstörungen kommen, und zwar ausserhalb des eigentlichen Eingriffsbereichs. Um dies zu überprüfen, hat sich die visuelle Kontrolle durch das Animieren des Abwälzens am Bildschirm bewährt. Hierdurch kann sehr schnell und effizient die Korrektheit der Kinematik überprüft werden – und zwar noch im Auslegungsprozess.

Da der Algorithmus zur Erzeugung der Unrund-Kontur sehr regelmässige, nahezu symmetrische Zahnformen erzeugt, können die kritischen Eingriffsstellungen mit guter Näherung durch eine Ersatz-Stirnrads Zahnform ebenfalls unter Verwendung von erweiterten konventionellen Methoden berechnet werden. In KISSsoft wurden hierfür die Rechenansätze nach DIN 3990 für Metalle, beziehungsweise nach VDI 2545 für Kunststoffe weiterentwickelt. Unter anderem lässt sich nun auch der Verlauf der Normalkraft während des Zahneingriffs mit Berücksichtigung der Mehrfachüberdeckung und der Steifigkeit der Zähne genau bestimmen. Damit wird der Verlauf der Hertzschen Pressung über dem Zahneingriff inklusive Gleit- und Rollgeschwindigkeiten, lo-

kaler Erwärmung etc. bestimmt. Für die Bestimmung der Fussspannung ist der konventionelle Ansatz der Normen erweitert worden und berücksichtigt nun den Spannungsverlauf im gesamten Fussbereich.

Rollenmasse sind erforderlich für die Kontrolle der Zahndicke in der Produktion. Unrundräder lassen sich nicht nach den Formeln der DIN oder anderen, einschlägigen Normen berechnen, da diese stets von kreisrunden Evolventenverzahnungen ausgehen. Durch das Einpassen eines Kreises in die Zahnluken kann aber das Einlegen der Messkugel simuliert werden. Es hat sich bewährt, zur Kontrolle von Unrundrädern die Rollenmasse, Zahnluke für Zahnluke, in Tabellenform auf der Zeichnung anzugeben.



Benutzeroberfläche in KISSsoft mit Berechnungsmöglichkeit von Unrundrädern

## Ausblick und Bilanz

Da unrunde Zahnräder auch für spezielle Getriebeaufgaben optimal ausgelegt werden können und sich zudem mit hoher Qualität preiswert herstellen lassen, wird diese Verzahnungsart in vielen Bereichen der Technik zunehmend eingesetzt. Der Durchbruch für den Einsatz unrunder Zahnräder in der Technik kam jedoch wie erwähnt erst nach der Einführung numerisch gesteuerter Verzahnungsmaschinen, mit denen nun einerseits praktisch jede beliebige Wälzkurve in hoher Qualität verzahnt werden kann und andererseits Wälzkurven für beliebige Getriebeaufgaben bezüglich unterschiedlichster Kriterien problemlos zu optimieren sind.

Fachkompetenz, die zeitnahe Erstellung spezieller Berechnungstools für Unrundverzahnungen sowie Festigkeits- und Verschleissberechnungen, führten in der Zusammenarbeit zwischen KISSsoft und GAUDLITZ zur Lösung der Kundenvorgaben gemäss Lastenheft.

Die bei GAUDLITZ gefertigten Produkte werden aus technischen Kunststoffen hergestellt. Hierbei handelt es sich vor allem um Funktionsteile, Metall- /Kunststoffverbindungen oder 2-Komponenten-Produkte. Die mit Füllstoffen versehenen Kunststoffteile neigen zu Verzügen und es werden hohe Anforderungen an die Festig- und Steifigkeiten gestellt. GAUDLITZ ist in der Lage, die jeweils individuellen Anforderungen umzusetzen.

KISSsoft ist ein Programm zur Nachrechnung, Auslegung und Optimierung von Maschinenelementen, wie Zahnrädern, Wellen und Lagern, Schrauben, Federn, Verbindungselementen und Riemen. Integrationen in alle gängigen CADs runden das Produkt KISSsoft ab. Zudem fließen Anregungen und Wünsche von Anwendern aus innovativen Unternehmen aus der ganzen Welt in die Weiterentwicklung der Software ein.