

KEGELRADDESIGN – DIE HERSTELLUNG IM AUGE



Halle 25,
Stand G19

Die Auslegung und Optimierung von Kegel- und Hypoidrädern ist wesentlich stärker mit der Herstellung verknüpft als bei Stirnrädern. Bei Stirnrädern ist die Festigkeitsrechnung grundsätzlich ohne detaillierte Kenntnisse der angewendeten Herstellmethode möglich, weil die Flankentopologie aufgrund der verschiedenen Herstellverfahren nicht unterschiedlich ausfällt. Bei Kegelrädern hingegen muss die Herstellung schon während der Auslegung geprüft werden.

In der Kegelradauslegung werden die Prozesse der Entwicklung und Fertigung häufig getrennt behandelt. Die Lieferanten der Kegelräder werden meist erst sehr spät involviert, manchmal sogar erst in der Einkaufsphase. Um bei der Lieferantenauswahl flexibel zu sein, werden teilweise auch Änderungen beim Fertigungsverfahren „Face Hobbing“ und „Face Milling“ sowie bei der Messerkopfgröße in Kauf genommen. Dies bedeutet, dass sich die Abmessungen und Festigkeiten deutlich ändern können.

Autor: Dipl. Ing. Jürg Langhart, KISSsoft AG, Bubikon, Schweiz

Die Optimierung von Kegelrädern wird mit der Kontaktanalyse durchgeführt. Dazu wird die Flankentopologie aus der Herstellungs-simulation mit den Maschineneinstellungen und der Werkzeuggeometrie verwendet. Einen maßgeblichen Einfluss auf die Kontaktanalyse haben auch die Verlagerungen von Ritzel und Tellerrad. Diese werden im Antriebsstrang ermittelt und sind von den Komponenten Wellen, Lager und Gehäuse abhängig.

Um den Prozess durchgängiger zu machen, haben KISSsoft und Gleason eine neue Integration der Auslegungsberechnung und Herstellungs-simulation etabliert. Wie kann das Zusammenspiel der beiden Berechnungsansätze einfach und effizient gestaltet werden?

INDUSTRIEGETRIEBE ALS PRAKTISCHES BEISPIEL

Als praktisches Beispiel dient ein Industriegetriebe mit einem 3-stufigen Kegel-Stirnrad-Planetengetriebe mit einer Gesamtübersetzung von 1:28 und einem Abtriebsmoment von ca. 100 000 Nm. Für die Kegelradstufe beträgt das Antriebsmoment am Ritzel 3 500 Nm und die Drehzahl 1 450 min⁻¹. Die Übersetzung des Kegelradsatzes beträgt 1,85, der verwendete Werkstoff ist einsatzgehärteter Stahl. Als Fertigungsverfahren wird das Face Milling gewählt, die Hartfeinbearbeitung ist Schleifen.

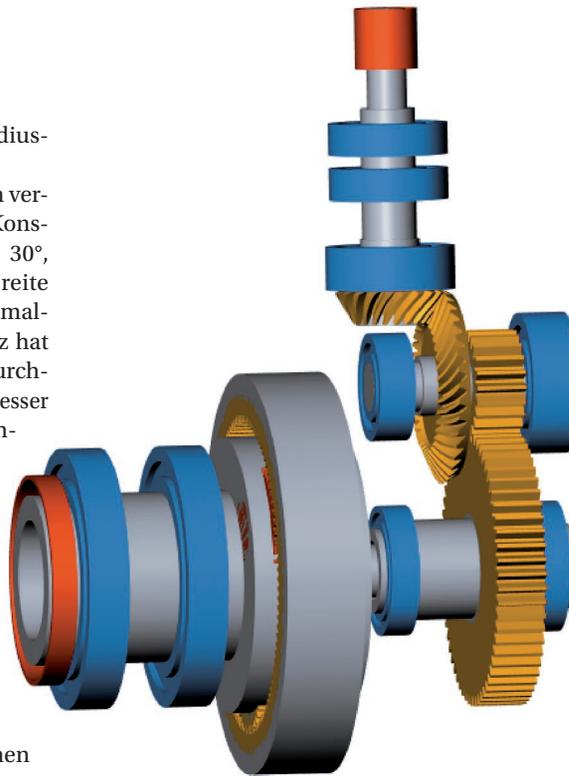
Die erste Auslegung des Kegelradsatzes erfolgt mit einer Berechnung nach ISO 10300. Die Soll-Sicherheiten werden mit 1,4 für die Fussfestigkeit und 1,2 für die Grübchenbildung festgelegt. Für die effektive Tragbildlänge wird ein Faktor $b/b_{\text{eff}} = 0,92$ verwendet. Wie üblich bei Industriegetrieben, wird für die Lastverteilung eine große Höhenballigkeit gewählt. Der Anwendungsfaktor K_A beträgt 1,25, der Montagefaktor $K_{H\beta\text{-be}}$ 1,1. Ritzel und Tellerrad werden im wälzenden Verfahren gefertigt, weil das Übersetzungsverhältnis

kleiner als 2,5 ist. Der vorläufige Fussradiusfaktor ρ^* beträgt 0,25.

Bereits bei der ersten Auslegung wird ein vernünftiger Vorschlag generiert, der auf den Konstruktionsparametern von Spiralwinkel = 30°, der äußeren Teilkegellänge zur Zahnbreite $R_e/b = 3$, sowie der Zahnbreite zum Normalmodul $b/m_n = 8$ basiert. Der Kegelradsatz hat die Zähnezahlen 17:31 und einen Außendurchmesser von 380 mm. Der Messerkopfdurchmesser wird in Kisssoft entsprechend den Empfehlungen der Literatur mit 16" festgelegt.

Um die beste Makrogeometrie zu erhalten, wird der Kegelradsatz mithilfe der Feinauslegungsfunktion von Kisssoft analysiert. Dieser Schritt ist wichtig, weil grundsätzlich alle Konstruktionsparameter hinterfragt werden sollen, wie Zähnezahl, Spiralwinkel und Eingriffswinkel. In diesem Fall soll zusätzlich der äußere Teilkreisdurchmesser des Tellerrads reduziert werden, um den kleinstmöglichen Bauraum zu erhalten. Für Hypoidräder könnte zusätzlich der Ritzel-Achsversatz verändert werden. Das ergibt, je nach Schrittweite der Variation, mehrere tausend Lösungen, welche von Hand nicht in einer praktikablen Zeit gerechnet werden können.

Die Feinauslegung berechnet innerhalb kürzester Zeit über 15000 Varianten und nimmt eine erste automatische Filterung der Resultate vor. Dazu gehört z. B. die Vorgabe der äußeren Teil-



01 Industriegetriebe mit Kegelradstufe

Fußfestigkeit und die Grübchenbildung aus- gesucht. Weitere Parameter wie Lagerkräfte, Wirkungsgrad, Sprungüberdeckung und viele mehr stehen ebenfalls zur Verfügung. Als beste Auslegung wird ein Kegelradsatz mit 20:36 Zähnen und einem Spiralwinkel von 32° gewählt.

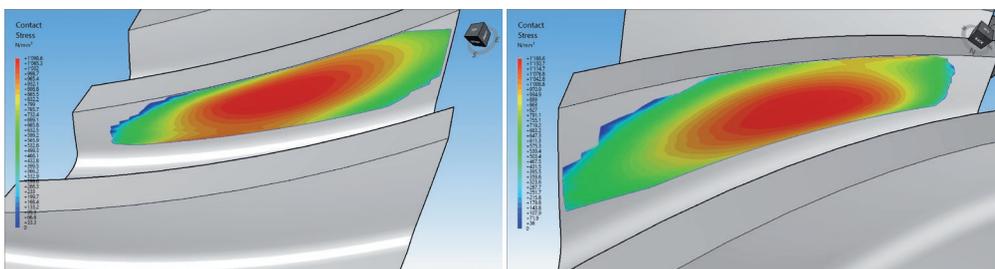
” DIE SCHNITTSTELLE ZWISCHEN GETRIEBEAUSLEGUNGS- UND FERTIGUNGSPROGRAMM HILFT, DEN KEGELRAD- ENTWICKLUNGSPROZESS ZU BESCHLEUNIGEN

kegellänge zur Zahnbreite $R_e/b = 3$, womit Probleme bei der Fertigung und Eingriffsstörungen beim Abrollen vermieden werden. Zudem werden auch nur Lösungen behalten, welche die Soll-sicherheiten erreichen. Die verbleibenden 500 Lösungen lassen sich in der Ergebnisliste und dem Grafikenster anzeigen.

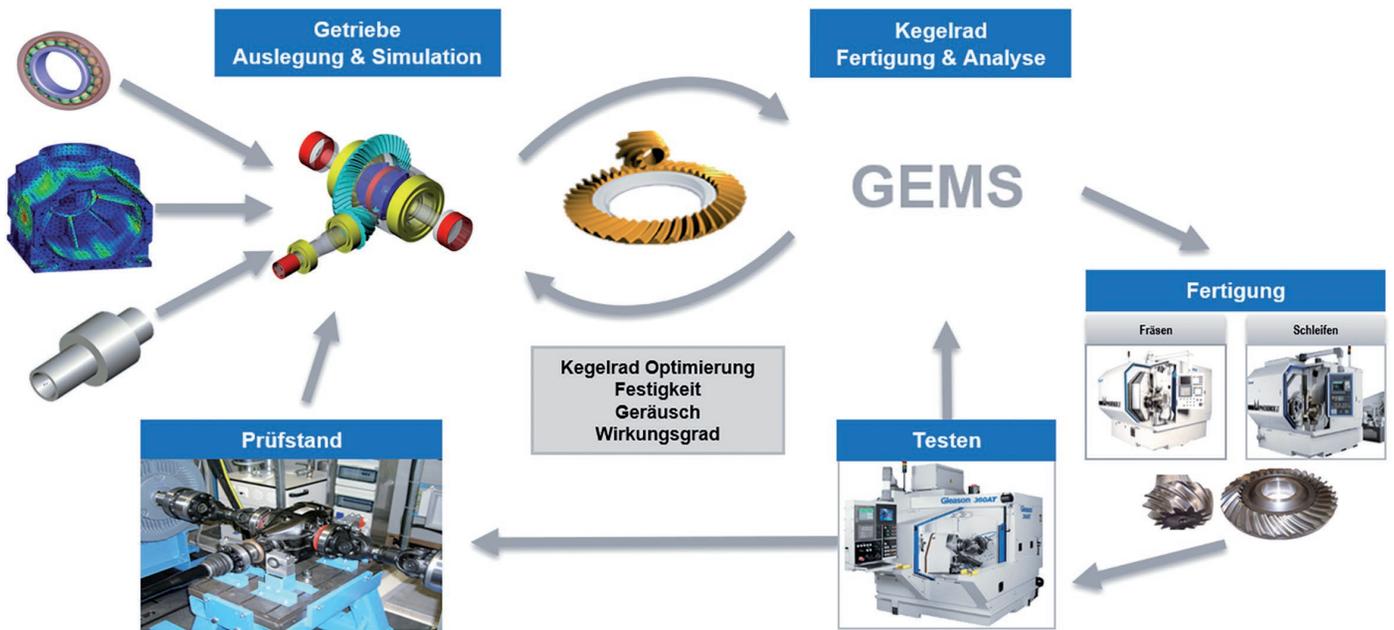
Die Grafiksicht erlaubt eine Auswertung der Varianten im Hinblick auf drei verschiedene Kriterien. Als typische Auswertungsparameter werden beispielsweise die Sicherheiten für die

Dieser Radsatz weist einen reduzierten Aussen- durchmesser am Tellerrad von 350 mm auf, was für die Gesamtabmessungen des Getriebes von Vorteil ist.

Für die Analyse der Fußlücke und der Messer- kopfgröße wird anschließend die Fertigungs- software Gems von Gleason verwendet. Somit können die Werkzeug-Kopfrundungsradien für Ritzel und Tellerrad definiert und mittels dieser Angaben die Festigkeitsrechnung gemäß Norm abgeschlossen werden.



02 Tragbilder für Zug (links) und Schub (rechts) bei Nennlast



03 Integrierter Prozess von Gems und Kisssys für die Kegelradauslegung

Die Optimierung der Tragbildlage und der Geräuschanregung wird mit der Kontaktanalyse in GEMS durchgeführt. Die dazu benötigten Verlagerungen des Kegelradsatzes werden in Kisssys ermittelt. Dazu werden die Lagersteifigkeit und die Wellenbiegung berücksichtigt. Das Gehäuse stand in diesem Beispiel nicht zur Verfügung und wird hier außer Acht gelassen. Für die thermischen Ausdehnungen wird für die Wellen eine Betriebstemperatur von 60 °C und für das Grauguss-Gehäuse eine Temperatur von 90 °C angenommen, weil das den schlechtesten Fall für die Verlagerungen vorwegnimmt. Die Verlagerungswerte für Zug- und Schubtrieb werden in GEMS zur Kontaktanalyse übertragen und die Tragbildlage berechnet.

Anschließend wird die Tragbildlage mittels geeigneter Balligkeiten und einer moderaten Verwindung für eine geringe Geräuschanregung optimiert. Gleichzeitig wird die Tragbildlage leicht zur Zehe verschoben. Wie erwähnt, liegt die Herausforderung bei der Tragbildentwicklung darin, den besten Kompromiss für die unterschiedlichen Betriebsbedingungen zu finden. Neben den oben genannten Betriebsbedingungen bei Nennlast und erhöhten Betriebstemperaturen muss der Kegelradsatz auch im lastfreien Zustand bei einer Betriebstemperatur von 20 °C ein passendes Tragbild aufweisen, welches nicht zu nahe an einer Kante liegt.

Schließlich werden die Ergebnisse aus der Kontaktanalyse in GEMS an Kisssys übertragen. Das ermöglicht die Gesamtanalyse des Getriebes, da die Drehwegabweichung der Kegelradstufe in die Berechnung der gesamten Drehwegabweichung des Antriebsstrangs integriert wird. Damit kann der Antriebsstrang als Ganzes bewertet sowie mögliche Optimierungen und Korrekturen zielgerichtet auf der Systemebene vorgenommen werden.

INTEGRIERTER PROZESS VON AUSLEGUNG UND FERTIGUNG

Dieses praktische Beispiel hat verdeutlicht, dass der Konstrukteur für die Auslegung eines Kegelradsatzes immer wieder zwischen der Auslegungs- und Fertigungssoftware hin- und herwechseln muss, um einen optimalen Radsatz bezüglich Festigkeit und Herstellung zu erhalten. Das führt zu einem hohen Zeitaufwand und Unsicherheit beim Datentransfer.

Um diesen Ablauf zu verbessern, wurde von Gleason Works Rochester und Kisssoft in Zusammenarbeit eine XML-Schnittstelle geschaffen, mit der die Kegelradgeometrie direkt von Kisssys an GEMS übertragen wird, wobei sich in letzterer die Fertigungskontrollen und die erste Werkzeugauslegung durchführen lassen. Zusätzlich werden aus Kisssys die Verlagerungen für alle gewünschten Lastfälle an GEMS weitergegeben. Abschließend werden die wichtigsten Resultate aus der Kontaktanalyse (wie Drehwegabweichung) wieder an Kisssys zurückgegeben, um eine gesamthafte Beurteilung bezüglich der Geräuschanregung des Antriebsstrangs vorzunehmen.

FAZIT

Die Auslegung von Kegel- und Hypoidrädern ist deutlich enger an die Fertigung geknüpft als bei Stirnrädern. Die Festigkeitsnorm ISO 10300 liefert eine gute Basis für die Auslegung und Dimensionierung für verschiedene Schadensarten, benötigt dazu aber mehrere Angaben aus der Fertigungssimulation. Der Vorteil der Normrechnung ist, dass mit dem analytischen Ansatz die Makrogeometrie sehr schnell gerechnet und mittels einer Variantenrechnung optimiert werden kann, was eine bestmögliche Auslegung ergibt.

Die Kontaktanalyse von Kegelrädern benötigt neben den exakten Maschinen- und Werkzeugdaten auch die Verlagerungswerte aus dem Antriebsstrang. Nach der Tragbildentwicklung in der Fertigungssoftware werden die Resultate der Drehwegabweichung und weitere, wieder in der Getriebesoftware verwendet, wo die Bewertung des gesamten Antriebsstrangs anschließend vorgenommen werden kann.

Die enge Verknüpfung der Getriebeauslegung und Fertigung erfordert von der Softwareseite neue Lösungen. Mit einer neuen Schnittstelle können die erforderlichen Daten sehr effizient zwischen beiden Programmen übertragen werden, was den Kegelrad-Entwicklungsprozess deutlich beschleunigt.

Bilder: Fotolia.de ; KISSsoft

www.kisssoft.ag