



FINDE DEN FEHLER!

Im Rahmen eines Forschungsprojekts der TU Wien wurde für ein UAV – ein unbemanntes Luftfahrzeug – ein neues Getriebedesign überprüft. Da Leichtbau hier eine Rolle spielt, wurde die Mikrogeometrie der Kegelradstufe speziell ausgelegt. Anschließend wurde diese Verzahnung in einem Prototypengetriebe auf dem Prüfstand untersucht. Im ersten Versuch wurden die Tragbilder aus der Simulation nicht erreicht. Nach einer optimalen Auslegung des Tragbilds wurde eine Getriebesoftware auch erfolgreich zur Fehlersuche im Fertigungsprozess eingesetzt.

Der Forschungsbereich Maschinenelemente der TU Wien unter der Leitung von Professor Dr.-Ing. Weigand hat seinen Forschungsschwerpunkt auf Luftfahrtantriebssysteme gelegt. Hierzu zählen Antriebsstränge von Drehflüglern aller Größenordnungen, aber auch Getriebe von Flächenflugzeugen und Turbinen. Die Tätigkeiten reichen von Konzeptauslegungen über detaillierte Analysen von Getrieben, bis hin zu Zertifizierungsfragen und Prüfstandsversuchen. Ein stark wachsendes Segment in der Luftfahrt sind neue Antriebskonzepte im Bereich der UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Dazu gehören beispielsweise autonom fliegende Hubschrauber mit einer Abflugmasse im Bereich einiger hundert Kilogramm.

Der Camcopter S-100 der österreichischen Firma Schiebel Elektronische Geräte GmbH ist ein unbemannter Hubschrauber mit einer Gesamtflugmasse (MTOW) von 200 kg bei einer Zuladung von 50 kg, der von einem Wankelmotor betrieben wird. Die Maximalgeschwindigkeit beträgt 240 km/h, die maximale Flughöhe 5500 m und die mögliche Einsatzdauer mindestens 6 h.

Die Kegelradstufe wurde mit der Getriebesoftware Kisssys ausgelegt. Dabei wurde die Mikrogeometrie speziell für diesen Radsatz ermittelt, da aufgrund des radikalen Leichtbaus die Verformungen des Getriebes in der Luftfahrt größer ausfallen, als beispielsweise bei Industriegetrieben. Das Tragbild wurde einschließlich der entsprechenden Höhen- und Breitenballigkeiten sowie Spiralwinkel-/Eingriffswinkelkorrekturen modelliert und unter verschiedenen Laststufen berechnet.

KONTAKTANALYSE DER KEGELRADSTUFE

Mit der Berechnungssoftware Kisssoft wurde eine Kontaktanalyse unter Volllast durchgeführt und das Tragbild am Tellerrad bewertet.

Autoren: Dipl.-Ing. Hanns Amri, Dipl.-Ing. Katharina Hartenthaler, Dipl.-Ing. Thomas Koo, Technische Universität Wien, Institut für Konstruktionswissenschaften sowie Dipl.-Ing. Jürg Langhart, Technischer Vertrieb, KISSsoft AG, Bubikon/Schweiz

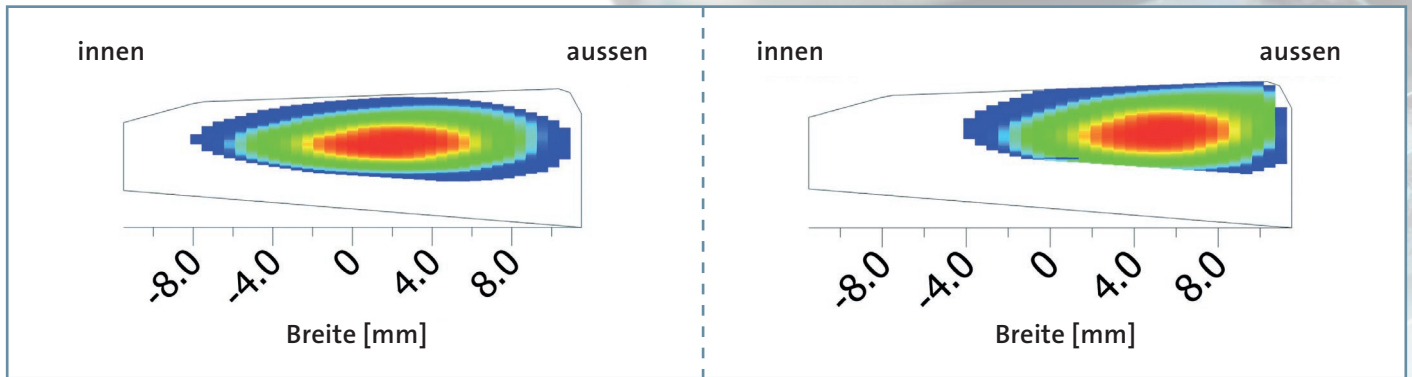


Die Kontaktanalyse verwendet für die Berechnung der Tragbildlage ein Kegelradmodell auf Basis der Ersatzstirnradverzahnung sowie die Definition von mathematischen Flankenmodifikationen. Im Gegensatz dazu basiert die konventionelle Herstellung auf dem theoretischen Abwälzen am Planrad und Flankenmodifikationen auf Grundlage der Maschineneinstellungen. Bei Kegelrädern mit großen Balligkeiten ist der Unterschied auf die Tragbildlage gering und somit eine Simulation in Kisssoft für eine prinzipielle Abschätzung des Flankentrags möglich. Die Kontaktanalyse liefert zusätzlich eine Bewertung des Radsatzes nach verschiedensten Kriterien wie Zahnfußspannung, Flankenbruch oder Fressen. Sensitivere Kriterien wie die Geräuschbewertung aus der Drehwegabweichung hingegen benötigen erfahrungsgemäß die reale Topologie aus der Fertigungssimulation.

Im Rahmen des kooperativen Forschungsprojekts OHA (Optimierte Hubschrauberantriebe Made in Austria) der TU-Wien und der Firma Schiebel wurde das neue Getriebedesign an einem eigens für den Camcopter S-100 gebauten Prüfstand am Institut für Konstruktionslehre an der TU Wien überprüft. Die untersuchte Kegelradstufe ist die Ausgangsstufe zum Hauptrotor, mit einer Übersetzung von rund 1,9 und einem Achswinkel ungleich 90° . Der Kegelradsatz wurde im konventionellen „Face Milling“-Verfahren gefertigt. Der Radsatz wurde zusammen mit den neuen Tragbildvorgaben der TU Wien dem Ke-



01 Kegelradsatz der Ausgangsstufe des neuen Getriebes



02 Variation der Einbaudistanz vom Tellerrad und Einfluss auf das Tragbild (links ohne Flankenspiel, rechts mit Verschiebung des Tellerrads)

geladhersteller übergeben, der für die Herstellung und auch die Festlegung der Flankenmodifikationen beauftragt wurde.

TRAGBILDABWEICHUNG – WAS IST DIE URSACHE?

Es zeigte sich am Prüfstand, dass der gefertigte Kegelradsatz keine zufriedenstellende Tragbildlage aufweist. Das Tragbild war deutlich zu Ferse und Kopf am Tellerrad verschoben. Um die Ursache des von der Berechnung abweichenden Tragbilds auf dem Prüfstand zu finden, wurden zuerst die Verzahnungsdaten mit den Her-

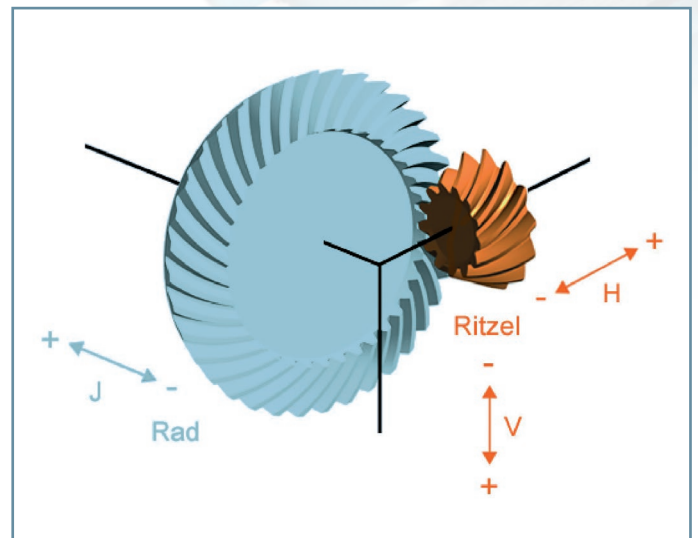
” MODERNE GETRIEBESOFTWARE ERMÖGLICHT TRAGBILDANALYSEN UND UNTERSTÜTZT SO DIE WIRTSCHAFTLICHE UMSETZUNG VON HIGH-END-ENTWICKLUNGEN

stellungsdaten abgeglichen und der Radsatz auf allfällige Herstellungsfehler untersucht. Hier zeigten sich zwischen den Berechnungsvorgaben und den Ausführungen keine Unterschiede. Auch die Belastungsannahmen aus der Simulation waren korrekt und stimmten mit den Messwerten vom Prüfstand überein. Als weitere mögliche Quelle für das fehlerhafte Tragbild wurde anschließend das Verdrehflankenspiel geprüft, welches durch die Montage des Tellerrads eingestellt wurde. In Kisssoft wurden daraufhin die Parameter für die Montageabweichungen variiert, um das Tragbild aus dem Versuch nachzubilden.

DEN FEHLER IN DER SIMULATION NACHSTELLEN

Anschließend wurde in Kisssoft eine Parameterstudie mit unterschiedlichen Einbaudistanzen des Tellerrads in J+-Richtung durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass in der Simulation das fehlerhafte Tragbild vom Prüfstand sehr gut erreicht werden konnte. Dieses Resultat wiederum legte die Vermutung nahe, dass auf dem Prüfstand die Montage des Tellerrads bezüglich der Einbaudistanz und damit das Verdrehflankenspiel fehlerhaft war. Eine Kontrolle der Montage hat schließlich ergeben, dass das Verdrehflankenspiel nicht richtig eingestellt war, was zu dem unerwarteten Ergebnis geführt hatte. Nach Korrektur der Einbaudistanz des Tellerrads konnte somit am Prüfstand ein identisches Tragbild zur Simulation in Kisssoft erreicht werden.

Die ungünstige Tragbildlage führt unter hohen Belastungen zu einer ungleichmäßigen Lastverteilung über die Flanke und somit



03 Definition der Verlagerungen am Kegelrad

zu Spannungsüberhöhungen, was sich nachteilig auf die Tragfähigkeit auswirkt. Mit dem korrekten Tragbild konnte eine gleichmäßige Lastverteilung erreicht werden.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Das neue Design einer Kegelradverzahnung und die Festlegung der Flankenmodifikationen wurden in der Vergangenheit häufig vom Hersteller nach eigenen Erfahrungswerten ausgeführt. In der Luftfahrt führt diese Vorgehensweise nicht immer zu den gewünschten Ergebnissen, da diese Getriebe aufgrund des radikalen Leichtbaus und anderer Lagerungskonzepte auch anderen Verformungen unterworfen sind. Daher ist es gerade in der Luftfahrt unerlässlich, eine Qualitätssoftware zur Voraussage der Tragbildlage hinzuzuziehen und diese im Prüflauf zu verifizieren.

Im vorliegenden Anwendungsbeispiel konnte Kisssoft einerseits zur Auslegung des Tragbilds sowie auch zur Fehlersuche nach dem Fertigungsprozess eingesetzt werden. Mit moderner Getriebesoftware können demnach in umfassenden Analysen die Tragbildverlagerungen ermittelt und passende Flankenmodifikationen vorgeschlagen werden, was zu realitätsnahen Resultaten führt und hochgradig dazu beiträgt, High-End-Entwicklungen mit vertretbaren Kosten zu unterstützen.

Bilder: KISSsoft

www.kisssoft.ag