



BEWEGUNGS- UND ÜBERTRAGUNGS- VERHALTEN VON ZAHNPROFILFORMEN

Eine Berechnungssoftware ermöglicht die Beschreibung unterschiedlicher mathematischer Zahnprofilkurven. Im nachfolgenden Beitrag werden typische Zahnformen sowie ihre Kontaktanalyse näher beschrieben.

Die Krümmung von Zahnprofilkurven kann auf unterschiedlichen Wegen beschrieben werden. So kann mithilfe von drei Punkten ein Kreis dargestellt werden. Auf diese Weise ist eine Annäherung weiterer Kurvenprofile und Krümmungen in ausgewählten Abschnitten möglich. Der Export von Zahnformen aus der Berechnungssoftware Kisssoft ermöglicht eine Kreisbogenapproximation.

Nach einem erfolgten Export aus einer Software ist es oft schwierig herauszufinden auf welcher theoretischen Basis die Grundgeometrieauslegung der Zahnprofile erfolgte und wie daraus die resultierende Darstellung dieses Kurvenzuges im CAD entstanden ist. Umgekehrt ermöglicht Kisssoft den Import von CAD-Zahnprofilen. Zur Verarbeitung in der Software werden der Teilkreisdurchmesser und die Teilung benötigt, das heißt

eine theoretische exakt mathematische Beschreibung der Zahnprofilform ist nach dem Import innerhalb der Software nicht mehr gegeben. Mit dem Verzahnungsgesetz wird eine gewisse Geometrie-eigenschaft an die Zahnräder gestellt, damit ein optimales Ineinandergreifen der Zahnräder in jedem Fall gewährleistet ist.

So kann in jedem Fall unter Einhaltung der entsprechenden Konstruktionsvorgabe zu fast jedem beliebigen Zahnprofil ein entsprechendes Gegenprofil abgeleitet werden. Dazu muss die gemeinsame Normale der beiden als Flankenprofile verwendeten Kurven in jedem Berührungspunkt durch den Wälzpunkt gehen. Kisssoft ermöglicht die Beschreibung unterschiedlicher mathematischer Zahnprofilkurven. Wesentliche Eigenschaften von unterschiedlichen Zahnprofilformen sind in der DIN 868

Dipl.-Ing. Matthias Hoffmann, Kisssoft AG, Bubikon, Schweiz

aufgeführt. In den nachfolgenden Abschnitten werden drei typische Zahnformen näher beschrieben.

KREISBOGENVERZAHNUNG

Bei einer durch Kreisbögen beschriebenen Verzahnung könnte das Verzahnungsgesetz verletzt sein. Das heißt wenn die Flankenkrümmungen (r^* \Rightarrow Faktor für den Radius der Zahnflanke am Teilkreis) der beiden zueinander gepaarten Verzahnungen durch einen Kreisbogen oder zwei ineinander übergehende Kreisbögen approximiert wurde und damit zur Krümmung der Evolventen abweichend abgeleitet worden ist. Diese Art des Verzahnungsprofils wird in der DIN 868 aufgeführt [1].

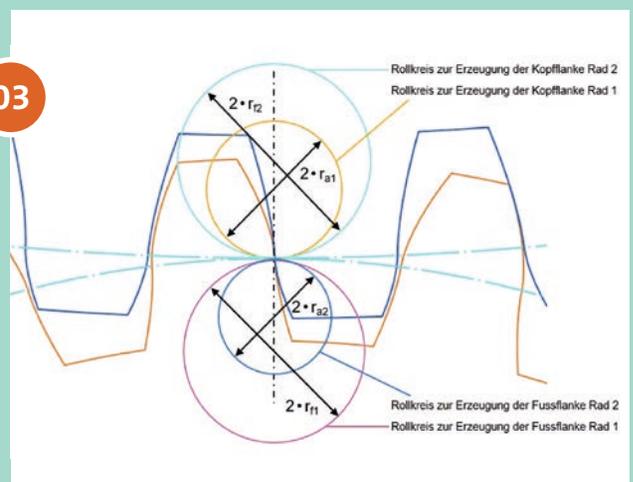
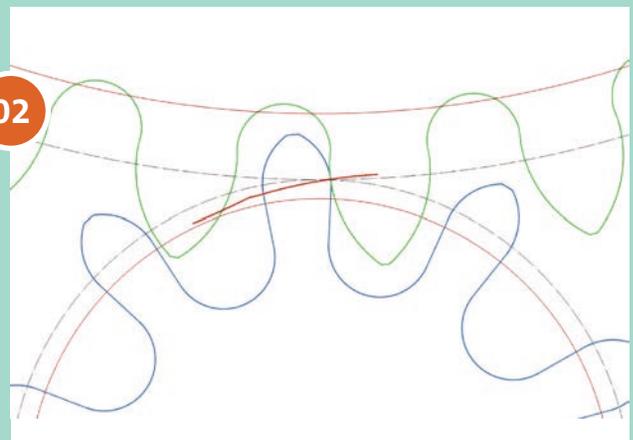
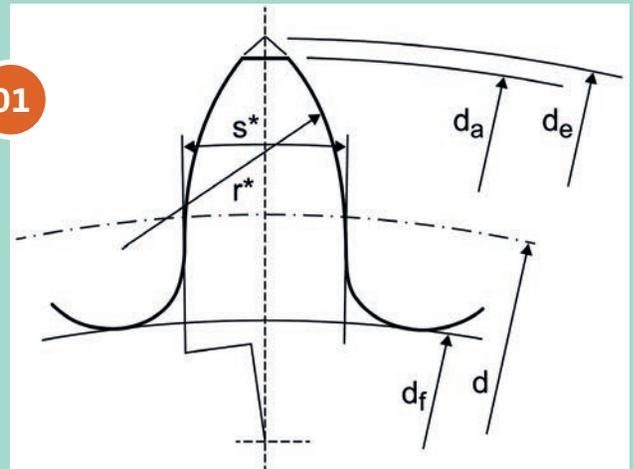
Für die Anwendung in Zahnradtrieben der Uhrenindustrie ist diese Art der Verzahnung jedoch weit verbreitet. Man erreicht damit eine annähernd momentengetreue Übersetzung (siehe Hinweis in DIN 868). Dabei wird mit kleinen Zähnezahlen gearbeitet (große Krümmung der Evolvente lassen sich unter Umständen durch einen einzigen Kreisbogen annähern). Zusätzlich werden dadurch große Achsabstandstoleranzen (prozentual zum Modul) ermöglicht. Das heißt bei Verwendung von Evolventen zur Zahnformbeschreibung könnten geometrische Grenzen bestimmend werden. Aus der Uhrenindustrie ist bekannt, dass jeweils der Antrieb am Zahnrad mit der großen Zähnezahl erfolgt [2]. Für diese Serienanwendung in der Uhrenindustrie wurden Kreisbogenverzahnungen standardisiert. Vorschläge zur möglichen Ausführung der Geometrie sind in den nachfolgend genannten Normen enthalten.

Die DIN 58425 beschreibt Kreisbogenverzahnungen. In den Normen NHIS 20-01 (Terminologie), NHIS 20-02 (Abmessungen); NHIS 20-10 Zahnform und Formeln); NHIS 20-25 Ersatz für NHS 56704, NHS 56702 und 56703 sind ebenfalls Kreisbogenverzahnungen beschrieben. Dabei gilt es auch entsprechende Werkzeugprofile für die Herstellung mittels Abwälzfräser und entsprechenden Bezugsprofilen zu bestimmen. Entsprechende Verfahren zum Dimensionieren, das heißt nach welchen Methoden die Festigkeitseigenschaften zu bewerten sind beziehungsweise wie andere Eigenschaften zum Beispiel das Laufverhalten zu beurteilen ist, werden in den oben genannten Normen nicht gegeben.

ZYKLOIDENVERZAHNUNG (DOPPELSEITIG)

Wird eine gekrümmte Eingriffskurve durch zwei Kreisbögen beschrieben und das Verzahnungsgesetz dabei eingehalten, dann sind die jeweiligen Rollkurven durch Zykloiden beschrieben. Diese Art der Verzahnung wird in der DIN 868 als Zykloidenverzahnung bezeichnet.

Entsprechende Verfahren zur Dimensionierung, das heißt nach welchen Methoden die Festigkeitseigenschaften zu bewerten sind beziehungsweise wie andere Eigenschaften zum Beispiel das Laufverhalten zu beurteilen ist, werden auch für diese Verzahnung nicht in Normen behandelt. Um das Verzahnungsgesetz zu erfüllen, müssen die Wälzkreise durch den Wälzpunkt gehen. Eine Empfindlichkeit gegenüber der Veränderung des Achsabstands ist bekannt. Mit verändertem Betriebsachsabstand abweichend zum theoretischen Achsabstand, sind gravierend

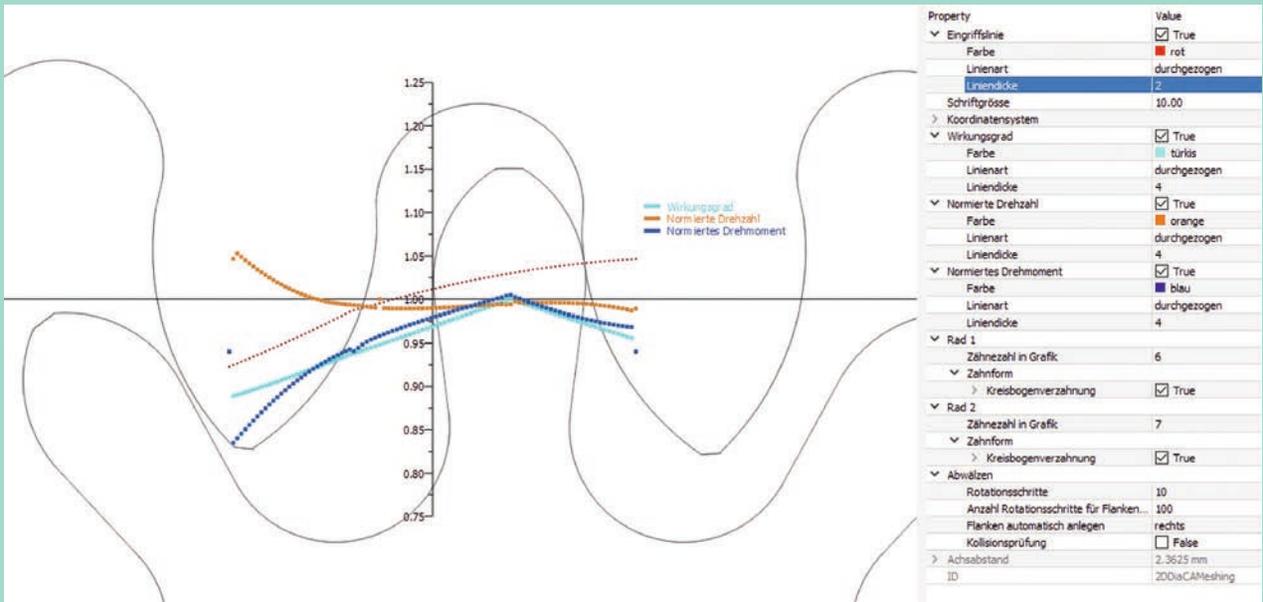


01 Geometriebeschreibung Kreisbogenverzahnung

02 Zahneingriff einer Kreisbogenverzahnung mit der charakteristischen Eingriffskurve als Bogenzug (linearer und kreisbogenförmiger Anteil)

03 Geometriebeschreibung Zykloidenverzahnung

04



	min	max	Δ	μ	σ
Wirkungsgrad(%)	88.8986	99.9651	11.0665	95.2845	3.2156

04 Kreisbogenverzahnung und Eingriffskurve

ungünstigere Laufeigenschaften zu erwarten. An den Zahnflanken sind günstige Schmiegungsverhältnisse (Pressung) vorhanden, die durch den Kontakt von konkav zu konvex gekrümmten Flanken auftritt.

EVOLVENTENVERZAHNUNG (INDUSTRIEVERZAHNUNG)

Bei einer Geraden als Eingriffskurve ergibt sich eine Evolventenverzahnung, die auf der Kreisevolvente als Zahnprofilform beruht. Das Verzahnungsgesetz wird bei dieser Art der Zahnflankenform eingehalten.

Bei dieser Art des Zahnprofils handelt es sich um die am weitesten verbreitete Geometrie für Zahnräder, die im Maschinenbau Anwendung findet. In der DIN 867 wird das zahnstangenförmige Bezugsprofil beschrieben. Entsprechende Normen zur Dimensionierung der Zahnräder, das heißt wie eine Festigkeitsberechnung erfolgen soll, sind vorhanden. Auch für die anschließende Qualitätskontrolle und für die Anfertigung sind entsprechende Normen verfügbar. Abweichende Geometrieanteile von der Evolvente in Bereichen der Zahnform, die zur Verbesserung von Lauf- und Übertragungseigenschaften benötigt werden, sind bekannt. Die Unempfindlichkeit gegenüber der Veränderung des Achsabstands ist ein Vorteil dieser Verzahnung und einer der wesentlichen Gründe, weshalb sich diese Art der Zahnprofilform durchgesetzt hat. Diese Zahnprofilform ist auch in Kisssoft der Standard.

VERGLEICH

Die Kontaktanalyse in Kisssoft ermöglicht eine Untersuchung von unterschiedlichen Zahnprofilformen. Bei identischem Zähnezahln-Verhältnis: 10:35 und Modul $m_n = 0,1035$ mm wurde die Auswirkung veränderter Zahnprofilformen vergleichend untersucht.

Die anschließend gezeigten Beispiele unserer Untersuchung haben einen Reibwert in der Verzahnung von $\mu = 0,2$ zur Annahme.

SCHLUSSFOLGERUNG

Durch den Krümmungsverlauf einer Zahnprofilform können Übertragungseigenschaften verändert werden. Die Lage der Zahnkrümmung zum Wälzpunkt bestimmt die Laufeigenschaften. Das gepaarte Zahnrad mit seiner Zahnprofilform legt ebenfalls die Eigenschaften im Zahnkontakt fest. Theoretische

„ DIE KONTAKTANALYSE ERMÖGLICHT EINE UNTERSUCHUNG VON UNTERSCHIEDLICHEN ZAHNPROFILFORMEN

Zahnprofilformen können durch geeignete Veränderungen von mathematisch exakten Sollprofil, das heißt durch geschickte Modifikationen in Teilbereichen, auf erforderliche Eigenschaften angepasst werden. Dabei können gewisse Nachteile auftreten. Geometrische Grenzen schränken die Einflussnahme ein.

Literaturquellen:
 [1] DIN868 (Dezember 1976): Allgemeine Begriffe und Bestimmungsgrößen für Zahnräder, Zahnradpaare und Zahnradgetriebe; Deutsches Institut für Normung e. V.
 [2] Schlecht, B., Röseler, B., & Reichel, L. (2012): Optimale Zahnformen in mechanischen Kleinuhren - Berechnung und dynamische Simulation; SMK

Bilder: Kisssoft AG

www.kisssoft.com