

## 8. Zusammenfassung

Bei der großen Einsatzbreite von Verzahnungen gibt es zahlreiche Anwendungsfälle, bei denen die Verwendung spezieller, dem Verwendungszweck angepaßter Zahn- oder Flankenprofile notwendig ist, für die jedoch keine Auslegungs- und Berechnungsverfahren existieren.

Um auch diese Verzahnungen einfach und sicher auslegen zu können, entstand in Zusammenarbeit mit der Industrie das Programmsystem ZAKON (ZAhnrAdKONstruktion) zum Entwurf und Prüfung von Außen- und Innenverzahnungen mit beliebigen Profilformen. Mit Hilfe dieses Programmsystems ist es möglich, neben den genormten Profilen, Verzahnungen und andere Wälzprofile mit in bestimmten Grenzen frei wählbaren Flankenprofilen zu entwerfen und maßstäbliche Zeichnungen der sich im Eingriff befindenden Zahn- bzw. Radpaare sowie Profilprojektionszeichnungen zu erstellen, Prüfdaten und Übertragungsabweichung festzulegen sowie Flankenspiel-, Festigkeitsberechnungen und Toleranzanalysen durchzuführen.

Mit Hilfe des Programmsystems ZAKON konnten Sonderverzahnungen für verschiedene Anwendungszwecke entwickelt werden, die auch in der Praxis Anwendung finden.

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist ein Teilbereich des Programmsystems ZAKON. Es werden Regeln und Algorithmen beschrieben, die, in ein Rechnerprogramm gefaßt, eine schnelle und sichere Auslegung von Innenverzahnungen mit beliebigen symmetrischen oder asymmetrischen Zahnformen zulassen. Um die Vielfalt möglicher Zahn- bzw. Flankenformen nicht einzuschränken, wurde ein neuer Weg zu deren Synthese beschritten. Das mit gewissen Einschränkungen frei wählbare Bezugsprofil der Verzahnung wird durch einen Polygonzug ersetzt und über die Hüllkurvenbedingung, die beim Abwälzen des Polygonzuges entstehende Erzeugte, berechnet. Unter Berücksichtigung der Ablösebedingungen der einzelnen Strecken des Polygonzuges liefern Teilbereiche dieser Erzeugten sowie Bahnkurvenstücke von Eckpunkten des Polygonzuges das Zahnprofil. Dieses Zahnprofil kann durch nachträglich vorzunehmende Profilkorrekturen besonderen vorgegebenen Anforderungen angepaßt werden. Das für ein lauffähiges Radpaar notwendige Flankenspiel läßt sich durch Parallelverschiebung der Flanken von Bezugs- und Gegenprofil längs der Wälzebene erzeugen.

Die Zahnprofile von Rad und Gegenrad werden punktweise berechnet und die Koordinaten dieser Punkte, die jedoch auch direkt eingegeben oder mittels eines Digitizers eingelesen werden können, auf Datenfeldern abgelegt.

Aufbauend auf den in den Datenfeldern abgelegten Koordinaten wurden Regeln und Algorithmen zur Analyse der kinematischen Eigenschaften und des Festigkeitsverhaltens eines Innenradpaares entwickelt. Mit diesen in Programmen gefaßten Regeln und Algorithmen ist es sehr einfach möglich, Auswirkungen auf die Eigenschaften von Innenverzahnungen infolge von Toleranzen, Werkzeugverschleiß, Achsabstandsänderungen oder sonstiger Einflüsse und Fehler zu untersuchen.

Zu diesem Zweck können maßstäblich vergrößerte Zeichnungen der im Eingriff befindlichen einzelnen Zähne oder der ganzen Radpaarung angefertigt werden. Dabei können insbesondere Veränderungen der Eingriffs- und Abwälzverhältnisse bei

Zahnradpaaren in Abhängigkeit von Toleranzen (-Größtmaß-Kleinstmaß) oder Achsabstandsänderungen, Interferenzen und sonstige Fehler in maßstäblich vergrößerten Bildern anschaulich studiert und qualitativ ausgegeben werden.

Die Algorithmen zur Bestimmung des Flankenspieles sind so aufgebaut, daß dessen Berechnung für jede, auch außerhalb des Eingriffsbereiches liegende Zahnpaarung bei frei wählbaren Achsabständen und Abwälzsituationen erfolgt. Ausgehend von diesen Algorithmen wurden Berechnungsverfahren entwickelt, die eine quantitative Aussage über mögliche Achsabstände, Einbaubarkeit und Übertragungsabweichung des Radpaares liefern.

Für die Tragfähigkeitsberechnung von Verzahnungen mit beliebiger Flankenform wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem Druck-, Schub-, Biege- und Vergleichsspannung eines Zahnes als Funktion der Zahnhöhe sowie die Flankenpressung in jeder vorkommenden Lagesituation eines Zahnpaares berechnet werden können. Hierbei wird die unterschiedliche Lastaufnahme jedes einzelnen Zahnpaares berücksichtigt. Eine Toleranzanalyse der entwickelten Verzahnung läßt sich durchführen, indem die beiden/aus den Abmaßen resultierenden Verzahnungen mit den beschriebenen Verfahren untersucht werden und eine den Anforderungen entsprechende Bewertung erfolgt.

Zusätzlich zu den maßstäblich vergrößerten Zeichnungen der einzelnen Zähne, die sich unter Berücksichtigung der vorgegebenen Toleranzen angefertigt, als Profilprojektionszeichnungen verwenden lassen, wurden zur Kontrolle gefertigter Verzahnungen Algorithmen zur Berechnung des radialen Zweikugelmaßes entwickelt. Das daraus entstandene Berechnungsverfahren wurde so angelegt, daß auch die Kugelmaße für die nichtaktiven Teile der Zahnprofile berechnet und Kontrollzeichnungen der in die Zahnlücken eingelegten Kugeln angefertigt werden.