

*Kurzfassung Dissertation Jürgen Schudy, 2010*

## **Untersuchungen zur Flankentragfähigkeit von Außen- und Innenverzahnungen**

Windkraftgetriebe und langsam laufende größere Industriegetriebe weisen häufig eine langsam laufende Planetenstufe auf, deren Zahnflanken infolge kleiner Umfangsgeschwindigkeiten hinsichtlich Grauflecken, Grübchen und Langsamlaufverschleiß gefährdet sein können. Sonne und Planeten sind in der Regel einsatzgehärtet, das Hohlrad ist bislang meist vergütet. Flankenpartikel durch Pitting, Grauflecken oder Abrasivverschleiß sind in Windkraftgetrieben besonders unerwünscht. Auffälligkeiten an Zahnflanken durch Kratzer, Graufleckigkeit sowie Abriebverschleiß werden als Initialschädigung angesehen. Der dadurch kontaminierte Schmierstoff kann folglich zu einer Verringerung der Lebensdauer der Wälzlager führen.

Die zunehmende Leistungssteigerung insbesondere im Bereich der Windkraftgetriebe hat die Risiken der Flankentragfähigkeit (Ermüdung und Verschleiß) erhöht. Der Einsatz von Stufenplaneten erlaubt eine zunehmende Ausnutzung hoher Flankentragfähigkeiten durch die Verwendung gehärteter Hohlräder. Zur Vermeidung eines unwirtschaftlich hohen Kostenaufwandes ist der Einsatz moderner Finishingverfahren auf das technisch notwendige Maß zu begrenzen.

Innenverzahnungen weisen im Vergleich zu Außenverzahnungen einige Besonderheiten auf. So überdecken sich bei Innenverzahnungen die Wälzkreise von Hohlrad und Außenstirnrad. Der Bauraum einer solchen Getriebestufe ist kompakt. Der Einsatz einer Innenverzahnung in Planetengetrieben ermöglicht die koaxiale Anordnung von An- und Abtrieb bei kleinem Bauraum und großer Übersetzung. Während bei einstufigen Planetengetrieben in der Regel der Eingriff Sonne/Planet maßgebend für die Auslegung ist, werden bei Stufenplaneten die Eingriffe getrennt betrachtet, wobei die Wälz- und Gleitgeschwindigkeiten der Innenverzahnung kleiner als bei einer Außenverzahnung sind. In der industriellen Praxis, vor allem im Bereich der Windkraftgetriebe, besteht vermehrt die Forderung, die Hohlräder von Planetengetrieben gehärtet auszuführen.

Die bestehenden Berechnungsansätze zur Flankentragfähigkeit basieren im Wesentlichen auf Untersuchungen an Außenverzahnungen. Vorteile von Innenverzahnungen hinsichtlich der geometrischen, kinematischen und tribologischen Bedingungen werden in der Auslegung von Innenverzahnungen unter Umständen nur eingeschränkt berücksichtigt. Ergebnisse systematischer Untersuchungen an langsam laufenden Planetengetriebestufen lagen bislang kaum vor.

Zielsetzung der hier durchgeführten Arbeiten war es, den Stand des Wissens zur Flankentragfähigkeit durch umfangreiche theoretische und experimentelle Untersuchungen zum einen allgemein für den Anwendungsbereich langsam laufender Getriebe zu erweitern und zum anderen unter Berücksichtigung anwendungsspezifischer Einflussgrößen auf Innenverzahnungen zu übertragen. Bestehende Berechnungsansätze zur Ermittlung der Grübchen-, Grauflecken- und Verschleißgefährdung, welche bisher im Wesentlichen auf Untersuchungen an Außenverzahnungen basieren, wurden durch theoretische Studien und experimentelle Zahnradlaufversuche für Innenverzahnungen verifiziert.

Die hier erzielten Ergebnisse können den Getriebekonstrukteur zum einen bei der Auswahl geeigneter Werkstoffpaarungen und Finishingverfahren für innen- und außenverzahnte Stirnräder im Anwendungsbereich langsam laufender Hochleistungsgetriebe unterstützen. Zum anderen ermöglichen es die Erkenntnisse zu weiteren anwendungsspezifischen Einflussgrößen wie

Schmierstoff und Treibrichtung, Ermüdungsschäden und Verschleiß zu begrenzen. Durch Verifizierung der Berechnungsverfahren konnte die grundsätzliche Anwendbarkeit der bestehenden Ansätze zur Grübchen-, Grauflecken- und Verschleißtragfähigkeit für Innenverzahnungen bestätigt werden. Darüber hinaus wurde ein erweiterter Rechenansatz für Außen- und Innenverzahnungen zur Beurteilung der lokalen Verschleißgefährdung im Zahneingriff entwickelt.