

1 Einleitung

Schnelllaufende Getriebe gewinnen im Hinblick auf die zunehmende Elektrifizierung von Antriebskomponenten, insbesondere in der Automobilindustrie, immer mehr an Bedeutung. Durch die stetige Weiterentwicklung fordert die Industrie leistungsfähigere Maschinen bei gleichzeitig geringerem Gewicht und Bauvolumen. Aktuelle Konzepte zeigen den Trend zu Elektroantrieben mit höheren Drehzahlen als Verbrennungsmotoren. Hierdurch kann das Motorgewicht bei gleicher Leistung reduziert werden. In der Konstruktion und Fertigung von Fahrzeuggetrieben werden sich daher zukünftig neue Anforderungen ergeben, die aus den hohen Drehzahlen resultieren. [SCHA09]

Zusätzlich ist das Antriebsgeräusch des Elektromotors wesentlich leiser als das eines Verbrennungsmotors bei gleicher Leistung. Während die störenden Geräusche des Getriebes durch den Verbrennungsmotor weitestgehend maskiert werden, ist dies bei dem Einsatz von Elektromotoren nicht der Fall. [ENGL15]

Die wesentliche Schwingungsanregung eines Zahnradgetriebes findet ihren Ursprung in der inneren Anregung, die unmittelbar durch die Zahneingriffsverhältnisse bestimmt wird. Die mikrogeometrische Verzahnungsauslegung erfolgt vorwiegend vor dem Hintergrund der Kompensation fertigungs- und lastabhängiger Effekte, die zu Abweichungen im Zahnkontakt führen und das Anregungsverhalten unmittelbar beeinflussen. Um diesen Effekten entgegenzuwirken, werden die Mikrogeometrien der Zahnflanke (Modifikationen) lastabhängig und anregungsgerecht ausgelegt.

Bislang wird der Fokus in der Anregungsoptimierung auf die toleranzbehaftete Analyse von genormten Standardmodifikationen am Einzelzahn gelegt. Die Modifikationen, welche über diese standardisierten Geometrien hinausgehen, wie beispielsweise die Verschränkung, werden aufgrund des unbekannten Einflusses auf das Geräuschverhalten nur selten berücksichtigt. Die vorliegende Arbeit soll dazu beitragen, die Auswirkungen der Verschränkung zu ergründen und einen Nachweis für das Potenzial der Verschränkung zur Verbesserung des Anregungsverhaltens liefern.

Zudem wird aktuell in der Auslegung die Annahme einer gleichen Geometrie(-abweichung) für jeden Zahn zugrunde gelegt. Eine Klassifizierung der Qualität von Verzahnungsabweichungen basierend auf der Zahnradmakrogeometrie erfolgt durch die übliche Angabe der IT-Klassen nach der DIN 3962 bzw. DIN ISO 1328 [DIN78a, DIN78b, DIN78d, ISO18, ISO21]. In erster Linie werden jedoch mit dem System der Verzahnungsqualitäten fertigungs- und nicht funktionsorientierte Toleranzen definiert. Hinzu kommt, dass zum Teil Grenzwertvorgaben für langwellige Abweichungen nur indirekt über Flankenmodifikationen definiert werden können. Demzufolge werden in dieser Arbeit die Kontaktbedingungen von Stirnradverzahnungen infolge langwelliger Abweichungen tiefergehend analysiert und ein validierter Berechnungsansatz entwickelt, mit dem das daraus resultierende Anregungsverhalten bestimmt werden kann. Dieser Ansatz erlaubt schließlich die Ableitung funktionaler Kenngrößen zur anregungsgerechten Tolerierung langwelliger Verzahnungsabweichungen.

1 Introduction

High-speed gearboxes are becoming increasingly important in terms of the rising electrification of drive components, especially in the automotive industry. As a result of continuous development, the industry is demanding more powerful machines with simultaneously lower weight and volume. Current concepts show the trend towards electric drives with higher speeds than internal combustion engines. This allows the weight of the motor to be reduced while maintaining the same power output. Therefore, new requirements will arise in the design and manufacturing of vehicle gearboxes in the future, which will result from the high speeds. [SCHA09]

In addition, the noise of the electric motor is much lower than the noise of an internal combustion engine with the same power output. The disturbing noise of the gearbox is largely masked by the combustion engine, but this is not the case when electric motors are used. [ENGL15]

The essential vibration excitation of a gearbox finds its origin in the internal excitation, which is directly determined by the gear meshing conditions. The micro geometric gear design is mainly based on the compensation of manufacturing and load-dependent effects, which lead to deviations in the tooth contact and directly influence the excitation behavior. To counteract these effects, the micro geometries of the tooth flank, also called modifications, are designed load-dependently and in accordance with the excitation.

Up to now, the focus in excitation optimization has been on the tolerance-related analysis of standardized modifications on individual teeth. Modifications beyond these standardized geometries, such as flank twists, are rarely considered due to their unknown influence on noise behavior. This work is intended to contribute to the understanding of the effects of flank twists and to provide evidence for the potential of flank twists to improve the excitation behavior.

In addition, the design is currently based on the assumption of an equal geometry (deviation) for each tooth. A classification of the quality of gear deviations based on the gear macro geometry is done by the usual specification of IT classes according to DIN 3962 or DIN ISO 1328 [DIN78a, DIN78b, DIN78d, ISO18, ISO21]. However, the system of gear qualities is primarily used to define manufacturing-oriented and not function-oriented tolerances. In addition, in some cases limit values for long-wave deviations can only be defined indirectly via flank modifications. The contact conditions of cylindrical gears due to long-wave deviations are analyzed in more detail in this work. A validated calculation approach is developed, with which the resulting excitation behavior can be determined. Finally, this approach allows the derivation of functional parameters for the excitation-oriented tolerancing of long-wave gear deviations.