

Schadensdiagnose an Zahnradprüfständen

B.-R. Höhn¹, K. Stahl¹, M. Otto¹, M. Heider¹, J. Bihr¹

¹ Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau (FZG) - Lehrstuhl für Maschinenelemente,
TU München, 85748 Garching, Deutschland, Email: fzg@fzg.mw.tum.de

Einleitung

Zahnflankenschäden können als Dauerschäden der leistungsübertragenden Zahnräder in Getrieben auftreten. Die Belastbarkeit der Zahnräder ist abhängig von eingesetzter Geometrie, dem Werkstoff und dem verwendeten Schmierstoff. An der Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau werden an zahlreichen Standardprüfständen Tragfähigkeitsversuche zu diesen Einflussparametern durchgeführt. Die Schadenserkenkung erfolgt standardmäßig durch Sichtprüfung der Zahnräder. Zur präziseren Bestimmung des Zeitpunkts des Schadenseintritts werden seit einiger Zeit teilweise Systeme zur Schwingungsüberwachung und darauf basierender Schadenserkenkung eingesetzt. An der FZG liegt durch die zahlreichen fortlaufend durchgeführten Versuche eine breite praktische Datenbasis vor. Zudem liegt am Lehrstuhl breites Know-how in der Auslegung und Berechnung von Zahnradern vor, das auch zur Schadenserkenkung angewendet werden kann.

Untersuchungen an Zahnradprüfständen

Zahnräder sind hochbeanspruchte Maschinenelemente, die in verschiedensten Anwendungsbereichen zum Einsatz kommen. Als Schlüsselemente der Antriebstechnik werden an die Zuverlässigkeit von Zahnradgetrieben hohe Anforderungen gestellt. Im Rahmen von zahlreichen Forschungsprojekten wird deshalb an der Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau an der kontinuierlichen Weiterentwicklung des Know-hows gearbeitet. Diese Forschungsarbeiten umfassen sowohl theoretische als auch experimentelle Umfänge. Zur experimentellen Ermittlung der Zahnradtragfähigkeit in Laufversuchen werden FZG-Verspannungsprüfstände nach DIN 51354 [1] verwendet. In **Bild 1** sind eine für Tragfähigkeitsversuche verwendete Prüfverzahnung, sowie das Prüfgetriebe dargestellt. Mit solchen Prüfverzahnungen können unterschiedliche Werkstoff-, Herstellungs- oder Schmierstoffkonfigurationen experimentell untersucht werden. Durch die Verwendung eines mechanischen Verspannungsprüfstandes wie er in **Bild 2** dargestellt ist, ist eine

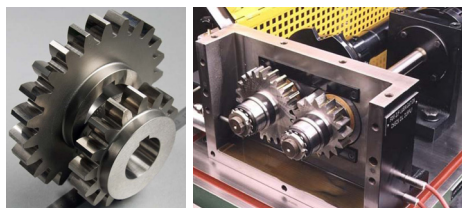


Abbildung 1: Prüfverzahnung, die für Laufversuche in Zahnradprüfständen verwendet wird.

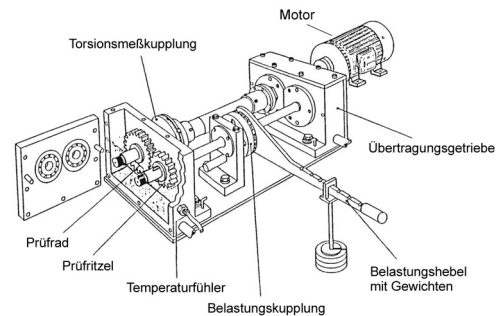


Abbildung 2: Symbolische Darstellung eines FZG-Zahnrad-Verspannungsprüfstandes nach DIN 51354 [1].

effiziente Durchführung der Versuche möglich. Die mechanische Verspannung zweier Verzahnungsstufen gleicher Übersetzung ermöglicht es hierbei, dass für einen Prüflauf lediglich die Reibungsverluste im Verspannungskreislauf durch den Antriebsmotor eingespeist werden müssen.

Im Betrieb von Zahnradern können unterschiedliche Zahnrad Schäden auftreten, die in **Bild 3** dargestellt sind. Jede dieser Schadensarten erfordert unterschiedliche Prüfbedingungen und zum Teil unterschiedliche Prüfverzahnungen. Das Fressen von Zahnradern kann in Kurzzeittests untersucht werden, während alle weiteren Schadensarten länger andauernde Tests erfordern. Langzeittests, die Prüfzeiten bis hin zu mehreren Wochen erfordern, führen zu einem erheblichen größeren versuchstechnischen Aufwand, da für zuverlässige Aussagen stets mehrere Versuchswiederholungen erforderlich sind. In der praktischen Anwendung werden solche Versuche heute mit einer Laufzeit von ca. 16-20 Stunden täglich durchgeführt und der Staus der Verzahnungen durch tägliche Inspektion durch das Prüfpersonal dokumentiert. Für allmählich fortschreitende Schadensarten wie Verschleiß und Graufleckigkeit ist ein Erreichen des definierten Ausfallkriteriums im Regelfall durch Beobachtung des Schadensfortschritts abschätzbar. Bei

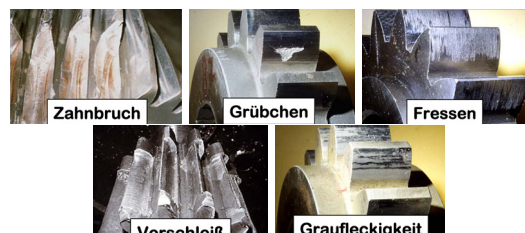


Abbildung 3: Zahnrad Schäden.

plötzlich auftretenden Schadensformen wie Zahnbruch und Grübchen ist dies nicht möglich. Die Genauigkeit der Lebensdauerermittlung der Zahnräder ist deshalb an die tägliche Laufzeit gekoppelt und führt zu erheblichen Standzeiten der Prüfstände beispielsweise an Wochenenden. Eine zuverlässige Schadenserkenkung kann deshalb in Verbindung mit einer automatischen Prüfstandsabschaltung zu einer Erhöhung der Laufzeiten der Prüfstände führen. Im weiteren Verlauf wird eine möglich Prüfstandüberwachung für Grübchen dargestellt.

Simulation eines Grübchenschadens

Neben experimentellen Untersuchungen werden die Forschungstätigkeiten durch die Erstellung von zahlreichen Softwareprogrammen an der Forschungsstelle begleitet. Für die Entwicklung einer Schadensdiagnose zur Grübchenerkenkung wird das Softwareprogramm DZP verwendet, das zur Simulation des Schwingungsverhaltens von Verzahnungen und dessen Optimierung entwickelt wurde. Diesem Programm können reale Flankentopografien vorgegeben werden und hieraus die resultierende Veränderung des Schwingungsverhaltens von Verzahnungen durch einen Grübchenschaden bestimmt werden. Diese Erkenntnis wird dann zur Erkennung eines Grübchenschadens durch Auswertung von Körperschallmessdaten verwendet. In **Bild 4** ist die ge-

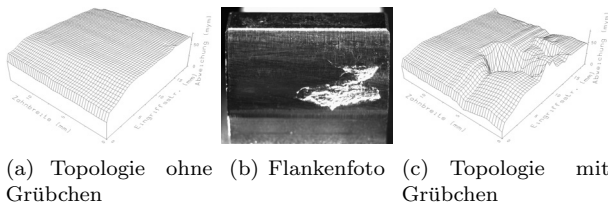


Abbildung 4: Darstellung der Flankengeometrien.

messene Flankentopologie einer Verzahnung mit und ohne Grübchenschaden abgebildet. Diese wird zur Berechnung des Anregungsverhaltens dem Programm DZP [2] vorgegeben und hieraus die Auswirkungen des Grübchens auf das Schwingungsverhalten ermittelt. Die Spektren der Drehwegabweichung für diese beiden Varianten sind in **Bild 5** dargestellt. Es ergeben sich unterschiedliche Anregungsspektren für die geschädigten und die ungeschädigten Flanken.

Grübchenüberwachung

Ausgehend von den simulierten Anregungsspektren wurde nun ein Messaufbau für Körperschallmessung in Verzahnungskrafttrichtung installiert. Hierfür wird eine wellensynchrone Messung des Körperschallsignals verwendet, die eine Zuordnung der Signale zu einzelnen Zähnen ermöglicht. Durch den Vergleich der Messdaten jedes Zahns mit vorangegangenen Messungen sowie Simulationsrechnungen kann die Grübchengefährdung quantifiziert werden. Diese Auswertung der Grübchengefahr kann nun für alle Zähne eines Zahnrads über die komplette Versuchsdauer durchgeführt und beobachtet wer-

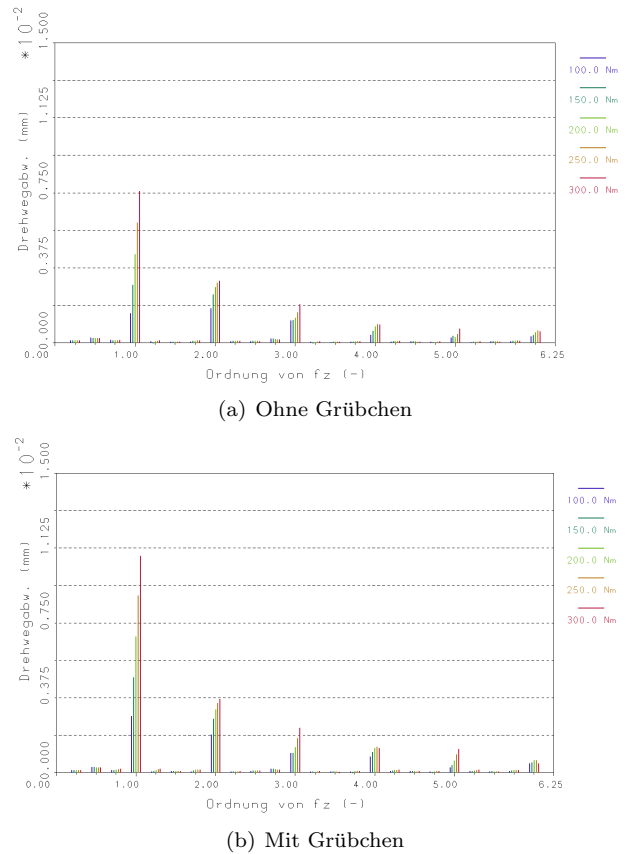


Abbildung 5: Spektren der Drehwegabweichung für Verzahnungen mit und ohne Grübchen (berechnet mit DZP [2]).

den. Grübchen bilden sich hierin als sprunghafter Anstieg dieser Kennzahl ab und können dadurch erkannt werden.

Zusammenfassung

Durch die Zusammenführung experimenteller und theoretischer Erfahrungen wurde ein Konzept zur Grübchenerkenkung an Zahnradprüfständen entwickelt. Dieses Konzept muss in weitergehenden Untersuchungen weiter verfeinert und für eine exaktere Bestimmung parametrisiert werden. Insgesamt erscheint die dargestellte Möglichkeit der Grübchenerkenkung auf Zahnradprüfständen als vielversprechend, um den Zahnradschaden „Grübchen“ zuverlässig zu detektieren und somit Prüfstandlaufzeit zu erhöhen.

Literatur

[1] DIN (Hrsg.): *DIN 51354: Prüfung von Schmierstoffen - FZG-Zahnrad-Verspannungs-Prüfmaschine: Allgemeine Arbeitsgrundlagen*. DIN, 1987

[2] FORSCHUNGSVEREINIGUNG ANTRIEBSTECHNIK E.V. (FVA) (Hrsg.): *FVA-Heft Nr. 937: Dynamische Zahnkräfte Programm (DZP), Version 5.0*. Frankfurt/Main: Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA), 2009. – Programmdokumentation

[3] NIEMANN, G. ; WINTER, H.: *Maschinenelemente*. Bd. 2. 2. Berlin Heidelberg New York Tokyo : Springer Verlag, 1989