

Inhaltsverzeichnis

Content

1 Einleitung	1
2 Stand der Technik in Forschung und Industrie	3
2.1 Theoretische Betrachtung des Anregungsverhaltens von Getrieben	3
2.1.1 Geräuschenstehung und Anregungsmechanismen	3
2.1.2 Methoden zur Berechnung des Einsatzverhaltens	9
2.1.3 Vorgehensweise zur Auslegung des Anregungsverhaltens	11
2.1.4 Drehzahlabhängige Verzahnungsanregung	14
2.2 Beschreibung von genormten Verzahnungsabweichungen	16
2.2.1 Kurzwellige Abweichungen	16
2.2.2 Langwellige Abweichungen	19
2.3 Experimentelle Erfassung des Anregungs- und Geräuschverhaltens von Getrieben	26
2.3.1 Prüfverfahren zur Untersuchung des Anregungs- und Geräuschverhaltens	26
2.3.2 Auswirkungen von kurz- und langwelligen Verzahnungsabweichungen auf das Anregungsverhalten	29
2.4 Fazit	34
3 Zielsetzung, Aufgabenstellung und Vorgehensweise	37
4 Prüfmethodik zur Analyse des Anregungs- und Geräuschverhaltens	39
4.1 Prüfverzahnungen	39
4.2 Prüfstände und Messzelle zur Untersuchung des Anregungs- und Geräuschverhaltens	40
4.2.1 Universal-Getriebeprüfstand	41
4.2.2 Elektrischer Verspannungsprüfstand	41
4.2.3 Stirnradmesszelle	42
4.3 Zahnkontaktanalysen zur Berechnung des Anregungsverhaltens	44
5 Einsatz der Verschränkung zur gezielten Beeinflussung des kurzweligen Anregungsverhaltens von Stirnradgetrieben	47
5.1 Beschreibung der Verschränkung und des Einflusses auf die Kontaktverhältnisse	47
5.2 Optimierung des Anregungsverhaltens durch gezielte Auslegung der Verschränkung	49
5.3 Verzahnungsfertigung und Qualitätsprüfung	51
5.4 Versuchsaufbau und -durchführung	53
5.5 Einfluss der Verschränkung auf das Anregungsverhalten	54
5.5.1 Anregungsverhalten bei gleicher Abweichungsfläche	55
5.5.2 Verifizierung des Verschränkungseinflusses	56
5.6 Validierung der Zahnkontaktanalyse für kurzwellige Abweichungen	57
5.7 Fazit	58

6 Auswirkungen von langwelligen Abweichungen auf das Anregungs- und Geräuschverhalten von Stirnradverzahnungen.....	61
6.1 Einfluss von langwelligen Abweichungen auf die Kontaktgeometrie.....	61
6.2 Messergebnisse zum Einfluss langwelliger Verzahnungsabweichungen...	64
6.3 Quasistatische Drehfehleruntersuchung von langwelligen Abweichungen	67
6.3.1 Exzentrizität	68
6.3.2 Taumel.....	69
6.3.3 Teilungsabweichung	71
6.4 Versuchsaufbau zur Hochdrehzahluntersuchung	73
6.5 Versuchsplan und Fertigung der Prüfteile.....	75
6.6 Einfluss von langwelligen Abweichungen auf das Geräuschverhalten bei höheren Drehzahlen	77
6.7 Fazit	81
7 Transfer der Erkenntnisse auf einen Anwendungsfall aus der industriellen Praxis	83
7.1 Versuchsgetriebe.....	83
7.2 Versuchsplan und Fertigung der Prüfteile.....	84
7.3 Versuchsaufbau – Stirnradmesszelle, Getriebe, Fahrzeug.....	89
7.4 Einfluss der Abweichungen auf das Anregungs- und Geräuschverhalten .	93
7.4.1 Stirnradmesszelle: Einflanken- und Betriebs-Wälzprüfung	93
7.4.2 Stirnradmesszelle: Übertragbarkeit der Erkenntnisse aus der Quasistatik auf die Dynamik	96
7.4.3 Getriebeuntersuchungen	100
7.4.4 Fahrzeuguntersuchungen	102
7.5 Fazit	107
8 Ableitung von Toleranzgrenzen für langwellige Abweichungen.....	109
8.1 Methode zur Beschreibung der Kontaktbedingungen und des Anregungsverhaltens in Abhängigkeit von langwelligen Abweichungen..	109
8.1.1 Exzentrizität	110
8.1.2 Teilungsabweichung	112
8.1.3 Kreuzeinflüsse von Exzentrizität und Teilungsabweichung.....	113
8.1.4 Taumel.....	117
8.1.5 Überlagerung aller Abweichungen und Verifizierung des Ansatzes	122
8.2 Ableitung und Definition von funktionalen Abweichungsgrenzwerten	123
8.3 Fazit	127
9 Zusammenfassung und Ausblick	129
10 Literaturverzeichnis	133
11 Anhang	143