Inhaltsverzeichnis

Content

1	Einleitung	1
2	Stand der Technik in Forschung und Industrie	3
2.1	Auslegung von Zahnradgetrieben	3
2.1.1	Auslegung der Makrogeometrie	4
2.1.2	Auslegung der Mikrogeometrie	6
2.2	Anregungs- und Geräuschverhalten von Zahnradgetrieben.....	7
2.2.1	Geräuscentstehungskette in Zahnradgetrieben	8
2.2.2	Anregungseffekte zweistufiger Getriebe	10
2.2.3	Anregungseffekte im Zahneingriff	13
2.3	Berechnungsmethoden zur Bestimmung des Anregungs- und Geräuschverhaltens	15
2.3.1	Berechnung des Anregungsverhaltens unter quasistatischen Betriebsbedingungen	15
2.3.2	Berechnung des Anregungsverhaltens unter dynamischen Betriebsbedingungen	16
2.3.3	Berechnung des Geräuschverhaltens	18
2.4	Experimentelle Untersuchung des Anregungs- und Geräuschverhaltens ...	20
2.4.1	Einflankenwälzprüfung	21
2.4.2	Betriebswälzprüfung.....	22
2.5	Gehörbezogene Geräuschbewertung	23
2.5.1	Modelle der gehörbezogenen Geräuschbewertung	23
2.5.2	Zusammenführung der gehörbezogenen Geräuschbewertung	26
2.6	Fazit zum Stand der Technik.....	27
3	Zielsetzung, Aufgabenstellung und Vorgehensweise	29
4	Modellierung und Validierung des Anregungs- und Geräuschverhaltens ...	31
4.1	Experimenteller Prüfaufbau	31
4.1.1	Prüfgetriebe und Integration in Antriebsstrang.....	31
4.1.2	Messtechnik entlang der Geräuscentstehungskette.....	34
4.1.3	Verzahnungsdaten und Wellengeometrie des Referenzaufbaus ...	37
4.2	Analyse des quasistatischen Anregungsverhaltens	39
4.2.1	Modell zur Anregungsberechnung mit einer FE-basierten Zahnkontaktanalyse	39
4.2.2	Validierung mittels experimenteller Ergebnisse.....	43
4.2.3	Anwendung auf ein Getriebe für die E-Mobilität	45
4.3	Analyse des dynamischen Anregungsverhaltens.....	49
4.3.1	Analyse des experimentellen Anregungsverhaltens.....	49
4.3.2	Rotatorisches Mehrkörpersimulationsmodell zur Anregungsberechnung.....	51
4.3.3	Validierung des rotatorischen Mehrkörpersimulationsmodells	54

4.3.4	Räumliches Mehrkörpersimulationsmodell zur Anregungsberechnung	55
4.3.5	Validierung des räumlichen Mehrkörpersimulationsmodells	61
4.3.6	Zwischenfazit	62
4.4	Analyse des dynamischen Geräuschverhaltens	62
4.4.1	Modell zur Geräuschvorhersage	63
4.4.2	Validierung mittels experimenteller Ergebnisse	65
4.4.3	Analyse des gehörbezogenen Geräuschverhaltens	68
4.5	Fazit	72
5	Analyse der gehörbezogenen Geräuschbewertung von zweistufigen Getrieben	75
5.1	Einfluss der Zähnezahl	76
5.2	Einfluss des Schrägungswinkels	82
5.3	Einfluss der Phasenverschiebung	87
5.4	Bestimmung der Lästigkeit von zweistufigen Getrieben	92
5.4.1	Konzeptionierung und Durchführung von Hörversuchen	92
5.4.2	Synthese und Auswahl der Stimuli	94
5.4.3	Auswertung und Ermittlung einer Berechnungsformel	96
5.4.4	Vergleich der Getriebe anhand der Lästigkeit	99
5.5	Fazit	100
6	Anwendung in der Auslegung	103
6.1	Auslegungsmethode unter Berücksichtigung dynamischer Anregungseffekte	103
6.1.1	Aufbau der Auslegungsmethode	103
6.1.2	Definition der Zielgrößen und der Zielfunktion	105
6.2	Verifikation der Auslegungsmethode	107
6.3	Anwendung auf das Prototypengetriebe	109
6.4	Anwendung auf ein zweistufiges Getriebe für die E-Mobilität	110
6.4.1	Anforderungsliste und Getriebekonzept	111
6.4.2	Verzahnungsauslegung	112
6.5	Fazit	115
7	Zusammenfassung und Ausblick	117
8	Literaturverzeichnis	121
9	Anhang	137