

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 Geräuschentstehungskette 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 Einfankenwälzprüfung	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 Geräuschentstehungskette.....	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