

INHALTSVERZEICHNIS

Symbolverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Aufgaben der akustischen Qualitätsprüfung von Fahrzeuggetrieben	3
1.2	Prüfobjekt und Prüfstand	6
1.3	Stand der Prüftechnik	10
1.4	Zielsetzungen der Arbeit	11
2	Subjektive akustische Qualitätsprüfung von Fahrzeuggetrieben	13
2.1	Eigenschaften des menschlichen Hörvermögens	13
2.1.1	Abhörende Prüfung am Getriebeprüfstand	13
2.1.2	Schallreiz und subjektive Empfindung	15
2.1.3	Subjektive Klassifikation	19
2.1.4	Lernen vom abhörenden Prüfer	20
2.2	Grundzüge der Untersuchungsmethode	22
2.2.1	Beschreibung der Hörversuche	24
2.2.2	Geräusche	25
2.2.3	Beschreibungsgrößen für Getriebegeräusche	27
2.2.4	Versuchspersonen (Vpn)	30
2.2.5	Faktorenanalyse	35
2.3	Dimensionalität allgemeiner Verzahnungsgeräusche	36
2.4	Qualitätsbestimmende subjektive Beurteilungsaspekte von Zahnradgetriebegeräuschen	38
2.4.1	Versuchsdurchführung	38
2.4.2	Faktorenanalytische Auswertung	39
2.4.3	Analyse der ermittelten Faktoren	40
2.4.4	Diskussion des Hörversuchskonzeptes	43
2.4.5	Interpretation der Beurteilungsaspekte	45
2.5	Zusammenfassung der Hörversuchsergebnisse	48

3	Objektive akustische Qualitätsprüfung	49
3.1	Elemente akustischer Prüfverfahren	49
3.1.1	Klassifikationssysteme	49
3.1.2	Geräuschenstehung und -übertragung im Prüfobjekt	53
3.1.3	Kinematik der Geräuschquellen	54
3.1.4	Meßgrößen	55
3.1.5	Signalverarbeitung	61
3.1.5.1	Beobachtungsdauer des Getriebegeräuschsignals	61
3.1.5.2	Abtastrate	63
3.1.5.3	Spektrum	63
3.1.5.4	Rotorsynchrone Mittelung	66
3.1.5.5	Digitale Filterung	70
3.1.5.6	Cepstrum	71
3.2	Akustische Fehlerdiagnose	72
3.2.1	Erkennung 'lauter' Zahnradpaare	72
3.2.1.1	Verfahren 'Radpaarpegel'	72
3.2.1.2	Unabhängigkeit der Zahneingriffserregungen	74
3.2.1.3	Verfahren 'Rotorsynchrone Mittelung'	76
3.2.1.4	Verfahren 'Kammfilter'	77
3.2.2	Erkennung beschädigter Zahnräder	77
3.2.3	Erkennung 'unrund laufender' Zahnräder	83
3.2.4	Erkennung defekter Wälzlagerungen	86
3.2.4.1	Einzelbeschädigungen	86
3.2.4.2	Laufflächenwelligkeiten	87
3.2.4.3	Radialspiel Rollenlager	90
3.2.5	Erkenntnisse für eine automatisierte Fehlerdiagnose	93
3.3	Betriebszustände	95
3.3.1	Abhängigkeit des Getriebegeräusches von den Betriebszustandsgrößen	96
3.3.1.1	Drehmoment	96
3.3.1.2	Drehzahl	98
3.3.1.3	Temperatur	100
3.3.2	Prüftechnische Relevanz der Betriebszustandsabhängigkeit des Getriebegeräusches	102
3.3.2.1	Drehmomentabhängige akustische Erkennung defekter Getriebe am Beispiel Zahnradbeschädigungen	102

3.3.2.2	Drehmomentabhängige Erkennung defekter Getriebe am Beispiel "rauhes" Getriebegeräusch	105
3.3.2.3	Drehzahlabhängige akustische Erkennung defekter Getriebe	107
3.3.2.4	Temperaturabhängige akustische Erkennung defekter Getriebe	107
3.3.3	Empfohlene Betriebszustände zur akustischen Qualitätsprüfung	109
3.4	Fahrzeug-orientierte Geräuschprüfung	112
3.4.1	Einflüsse auf die Korrelation der Prüfergebnisse am Prüfstand und im Fahrzeug	114
3.4.1.1	Reproduzierbarkeit von Körperschallmessungen an einem Achsgetriebeprüfstand	114
3.4.1.2	Reproduzierbarkeit von Luftschallmessungen an einem Schaltgetriebeprüfstand mit Radsatztausch	117
3.4.1.3	Streuung der spektralen Eigenschaften der Geräuschanregung und -abstrahlung	119
3.4.1.4	Streuung des Geräuschkämmverhaltens der Karosserie	120
3.4.1.5	Fremdgeräusche im Fahrzeug	122
3.4.1.6	Einfluß des Betriebszustandsverhaltens	123
3.4.1.7	Beurteilungsvermögen des Fahrers	123
3.4.1.8	Zur Festlegung von Grenzwerten für die Prüfung	125
3.4.2	Bestimmung des Frequenzganges Prüfstand - Fahrzeug	128
3.4.3	Vergleich eines fahrzeugangepaßten, objektiven Kennwertes mit der subjektiven Beurteilung	134
3.5	Akustische Qualitätsüberwachung	137
3.5.1	Meßtechnische Merkmale	138
3.5.2	Ableitung von Merkmalen aus den subjektiven Beurteilungsaspekten	139
3.5.2.1	Beurteilungsaspekte <Lautheit> und <Schärfe>	139
3.5.2.2	Beurteilungsaspekt <Mahlanteil>	139
3.5.2.3	Beurteilungsaspekt <Pulshaltigkeit>	140
3.5.2.4	Diskussion zur Nutzung der Beurteilungsaspekte zur Merkmalgewinnung	140
3.5.3	Grenzwertfindung	141

4	Gegenüberstellung von abhörender Prüfung und Prüfung mit technischen Systemen	143
4.1	Vergleich 'Fahrzeug-orientierte Geräuschprüfung'	143
4.1.1	Vermeidung auffälliger Getriebegeräuschemuster im Fahrzeug	143
4.1.2	Prognose der Ausprägung des Getriebegrund- geräusches 'Zahnheulen' im Fahrzeug	144
4.2	Vergleich 'akustische Qualitätsüberwachung'	144
4.3	Vergleich 'akustische Fehlerdiagnose'	147
4.4	Gesamtbewertung	150
5	Anforderungsprofil und Konzept eines akustischen Qualitätsprüfsystems	152
6	Zusammenfassung	159
	Literaturverzeichnis	162
	Anhang 1 Erläuterungen zur Durchführung der Faktorenanalyse und Beispiel	170
	Anhang 2 Beschreibung der Geräuschemuster	179
	Anhang 3 Gegenüberstellung erkennbarer Schadens- klassen bei der akustischen Qualitäts- prüfung durch Prüfer und Prüfsystem an einem Viergang-Schaltgetriebetyp	182