

# INHALTSVERZEICHNIS

## Symbolverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Aufgaben der akustischen Qualitätsprüfung von Fahrzeuggetrieben</b>	<b>3</b>
<b>1.2</b>	<b>Prüfobjekt und Prüfstand</b>	<b>6</b>
<b>1.3</b>	<b>Stand der Prüftechnik</b>	<b>10</b>
<b>1.4</b>	<b>Zielsetzungen der Arbeit</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Subjektive akustische Qualitätsprüfung von Fahrzeuggetrieben</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Eigenschaften des menschlichen Hörvermögens</b>	<b>13</b>
2.1.1	Abhörende Prüfung am Getriebepfprüfstand	13
2.1.2	Schallreiz und subjektive Empfindung	15
2.1.3	Subjektive Klassifikation	19
2.1.4	Lernen vom abhörenden Prüfer	20
<b>2.2</b>	<b>Grundzüge der Untersuchungsmethode</b>	<b>22</b>
2.2.1	Beschreibung der Hörversuche	24
2.2.2	Geräusche	25
2.2.3	Beschreibungsgrößen für Getriebeegeräusche	27
2.2.4	Versuchspersonen (Vpn)	30
2.2.5	Faktorenanalyse	35
<b>2.3</b>	<b>Dimensionalität allgemeiner Verzahnungsgeräusche</b>	<b>36</b>
<b>2.4</b>	<b>Qualitätsbestimmende subjektive Beurteilungsaspekte von Zahnradtriebegeräuschen</b>	<b>38</b>
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
<b>2.5</b>	<b>Zusammenfassung der Hörversuchsergebnisse</b>	<b>48</b>

<b>3.1</b>	<b>Elemente akustischer Prüfverfahren</b>	<b>49</b>
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
<b>3.2</b>	<b>Akustische Fehlerdiagnose</b>	<b>72</b>
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
<b>3.3</b>	<b>Betriebszustände</b>	<b>95</b>
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
<b>3.4</b>	<b>Fahrzeug-orientierte Geräuschprüfung</b>	<b>112</b>
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
<b>3.5</b>	<b>Akustische Qualitätsüberwachung</b>	<b>137</b>
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

<b>4</b>	<b><u>Gegenüberstellung von abhörender Prüfung und Prüfung mit technischen Systemen</u></b>	<b>143</b>
<b>4.1</b>	<b>Vergleich 'Fahrzeug-orientierte Geräuschprüfung'</b>	<b>143</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Vermeidung auffälliger Getriebegeräuschmuster im Fahrzeug</b>	<b>143</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Prognose der Ausprägung des Getriebegeräuschgeräusches 'Zahnheulen' im Fahrzeug</b>	<b>144</b>
<b>4.2</b>	<b>Vergleich 'akustische Qualitätsüberwachung'</b>	<b>144</b>
<b>4.3</b>	<b>Vergleich 'akustische Fehlerdiagnose'</b>	<b>147</b>
<b>4.4</b>	<b>Gesamtbewertung</b>	<b>150</b>
<b>5</b>	<b><u>Anforderungsprofil und Konzept eines akustischen Qualitätsprüfsystems</u></b>	<b>152</b>
<b>6</b>	<b><u>Zusammenfassung</u></b>	<b>159</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>162</b>
	<b>Anhang 1 Erläuterungen zur Durchführung der Faktorenanalyse und Beispiel</b>	<b>170</b>
	<b>Anhang 2 Beschreibung der Geräuschmuster</b>	<b>179</b>
	<b>Anhang 3 Gegenüberstellung erkennbarer Schadensklassen bei der akustischen Qualitätsprüfung durch Prüfer und Prüfsystem an einem Viergang-Schaltgetriebetyp</b>	<b>182</b>