

<b>I. Einleitung und Grundlagen</b>	<b>1</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1. Motivation der Dissertation . . . . .	3
1.2. Bezug zum Forschungsprojekt VIPER . . . . .	5
1.3. Wissenschaftliche Zielsetzung . . . . .	7
1.4. Gliederung der Dissertation . . . . .	9
<b>2. Schallausbreitung in Getrieben</b>	<b>13</b>
2.1. Körperschall . . . . .	15
2.1.1. Longitudinal- und Quasilongitudinalwellen . . . . .	16
2.1.2. Transversalwellen . . . . .	21
2.1.3. BiegeWellen . . . . .	24
2.1.4. Lamb- und Rayleigh-Wellen . . . . .	31
2.1.5. Weitere Wellentypen . . . . .	33
2.2. Körperschallquellen in Getrieben . . . . .	34
2.2.1. Wechselnde Verzahnungssteifigkeit . . . . .	35
2.2.2. Vergrößerung der Zahnradüberdeckung . . . . .	36
2.2.3. Abweichung der Verzahnungsgeometrie . . . . .	36
2.2.4. Weitere Körperschallquellen . . . . .	38
2.3. Körperschallübertragung in Getrieben . . . . .	38
2.4. Körperschallwandler . . . . .	39
2.4.1. Methoden zur Körperschallwandlung . . . . .	41
2.4.2. Piezoelektrische Körperschallwandler . . . . .	42
2.5. Körperschallsignale von Getriebenverzahnungen . . . . .	45
2.6. Fazit . . . . .	51

## **II. Voruntersuchungen zu Körperschall, Getriebebelastungen und -drehzahlen 53**

<b>3. Nachbildung realitätsnaher Belastungsprofile am Prüfstand</b>	<b>55</b>
3.1. Langzeit Feldstudie im Ernteeinsatz . . . . .	56
3.1.1. Aufbau des Ladewagens . . . . .	57
3.1.2. Datenerfassung im Ladewagen . . . . .	58
3.2. Ableitung eines realitätsnahen Belastungsprofils . . . . .	59
3.3. Aufbau des Getriebeprüfstandes und des Getriebes . . . . .	66
3.4. Fazit . . . . .	69
<b>4. Drehzahlschätzung über künstliche neuronale Netze</b>	<b>71</b>
4.1. Verwandte Arbeiten zur Drehzahlschätzung über neuronale Netze	74
4.2. Grundlagen zu neuronalen Netzen . . . . .	75
4.2.1. Mehrschichtiges Perzeptron . . . . .	78
4.2.2. Long Short-Term Memory . . . . .	80
4.2.3. Aufbau und Training von Regressionsnetzen . . . . .	84
4.3. Datenbasis und Aufbau der neuronalen Netze . . . . .	86
4.4. Training und Test der Netze . . . . .	90
4.4.1. Einfluss der Abtastrate und des Eingabedatentyps . . . . .	91
4.4.2. Einfluss der Länge der Eingabedaten . . . . .	94
4.4.3. Optimierung der Neuronenanzahl . . . . .	96
4.5. Fazit . . . . .	99

## **III. Untersuchungen zu Verzahnungsschäden in Getrieben 101**

<b>5. Untersuchung zur Erkennbarkeit von Verzahnungsschäden</b>	<b>103</b>
5.1. Verwandte Arbeiten zu Untersuchungen von Zahnflanken . . . . .	105
5.2. Experimentelle Untersuchungen . . . . .	106
5.3. Analyse der Datensätze . . . . .	110
5.3.1. Segmentierung der Schwingungssignale . . . . .	110
5.3.2. Untersuchungen im Zeitbereich . . . . .	116
5.3.3. Untersuchungen im Frequenzbereich . . . . .	120
5.4. Ableitung digitaler Filter durch LP-Spektren . . . . .	123
5.4.1. Berechnung und Orderschätzung der LP-Spektren . . . . .	124
5.4.2. Ableitung von Filtergrenzen durch Differenzspektren . . . . .	126
5.5. Fazit . . . . .	129
<b>6. Korrelationsbasierte Detektion von Schäden an Zahnflanken</b>	<b>131</b>
6.1. Verwandte Arbeiten zur Schadensdetektion . . . . .	133
6.2. Theoretische Grundlagen des Ansatzes . . . . .	134

6.3. Experimentelle Untersuchungen . . . . .	140
6.3.1. Detektion von Zahnbrüchen . . . . .	140
6.3.2. Detektion von Zahnflankenschäden . . . . .	143
6.4. Algorithmuserweiterung durch die neuronale Drehzahlschätzung	149
6.5. Fazit . . . . .	153
 <b>IV. Resümee</b>	 <b>157</b>
 <b>7. Zusammenfassung</b>	 <b>159</b>
 <b>Literaturverzeichnis</b>	 <b>163</b>
 <b>A. Notation</b>	 <b>177</b>
 <b>B. Abbildungen und Tabellen</b>	 <b>179</b>