

# Inhaltsverzeichnis

|          |                                                                               |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>                                                             | <b>1</b>  |
| 1.1      | Problemstellung                                                               | 1         |
| 1.2      | Zielsetzung                                                                   | 2         |
| 1.3      | Struktur der Arbeit                                                           | 2         |
| 1.4      | Bezug zum Forschungsprojekt (TraZu)                                           | 3         |
| 1.5      | Stand der Technik                                                             | 4         |
| <b>2</b> | <b>Festigkeitslehre</b>                                                       | <b>9</b>  |
| 2.1      | Ebener Spannungszustand                                                       | 9         |
| 2.2      | Räumlicher Spannungszustand                                                   | 11        |
| 2.3      | Elastische und plastische Verformung                                          | 13        |
| 2.3.1    | Zugversuche                                                                   | 13        |
| 2.4      | Von-Mises-Spannung                                                            | 17        |
| 2.5      | Schwingfestigkeit                                                             | 17        |
| 2.6      | Rissbildung                                                                   | 19        |
| 2.6.1    | Ermüdungsbruch                                                                | 19        |
| 2.6.2    | Duktiler Bruch                                                                | 21        |
| 2.6.3    | Spröder Bruch                                                                 | 22        |
| 2.7      | Energiefreisetzung bei Rissbildung                                            | 23        |
| <b>3</b> | <b>Körperschall</b>                                                           | <b>27</b> |
| 3.1      | Transversalwellen                                                             | 27        |
| 3.2      | Longitudinalwellen                                                            | 30        |
| 3.3      | Biegewellen                                                                   | 34        |
| 3.4      | Wellengleichung in Potentialform                                              | 36        |
| 3.5      | Lamb-Wellen mit harmonischen Ansatzfunktionen                                 | 37        |
| <b>4</b> | <b>Körperschallwandler</b>                                                    | <b>45</b> |
| 4.1      | Piezoelektrische Grundgleichungen                                             | 46        |
| 4.2      | Übertragungsfunktion piezoelektrischer Wandler bei Anregung durch Lamb-Wellen | 47        |
| 4.2.1    | Modellbasierte Untersuchungen piezoelektrischer Wandler                       | 51        |
| 4.2.2    | Messtechnische Untersuchungen piezoelektrischer Wandler                       | 53        |
| <b>5</b> | <b>Signalverarbeitung und Analyse</b>                                         | <b>65</b> |
| 5.1      | Adaptive Optimal-Filterung                                                    | 66        |
| 5.2      | Anwendungsoptimierte Detektionsverfahren                                      | 68        |
| 5.3      | Merkmalsgenerierung                                                           | 72        |
| 5.3.1    | Statistische Größen                                                           | 73        |
| 5.3.2    | Likelihood-basierte Segmentierung                                             | 73        |
| 5.3.3    | Lineare Prädiktion im Frequenzbereich                                         | 77        |
| 5.3.4    | Spektrale Kenngrößen                                                          | 79        |
| 5.3.5    | Weitere Merkmale                                                              | 83        |
| 5.4      | Klassifikation                                                                | 84        |
| 5.4.1    | K-Nearest-Neighbour-Klassifikator                                             | 85        |
| 5.4.2    | Support Vector Machine                                                        | 86        |

## Inhaltsverzeichnis

---

|                                                                                 |            |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.4.3 Neuronale Netze . . . . .                                                 | 88         |
| 5.4.4 Feedforward Neural Network . . . . .                                      | 90         |
| 5.4.5 Confusion-Matrix . . . . .                                                | 92         |
| 5.5 Merkmalsselektion . . . . .                                                 | 93         |
| <b>6 Experimentelle Untersuchungen akustischer Emissionen</b>                   | <b>95</b>  |
| 6.1 Laborversuche und Signalanalyse . . . . .                                   | 96         |
| 6.1.1 Probengeometrien . . . . .                                                | 96         |
| 6.1.2 Experimentelle Untersuchung der Signaldämpfung am Trailerrahmen . . . . . | 97         |
| 6.1.3 Zugversuche . . . . .                                                     | 103        |
| 6.1.4 Ermüdungsversuche . . . . .                                               | 116        |
| 6.1.5 Signalanalyse unter Verwendung definierter Quellen . . . . .              | 124        |
| 6.2 Untersuchungen im Rahmen von realen Fahrsczenarien . . . . .                | 131        |
| 6.2.1 Versuchsszenarien und Abgrenzung der anspruchsvollen Szenarien . . . . .  | 133        |
| 6.2.2 Auswertung der Schadensbilder und der mechanischen Messgrößen . . . . .   | 136        |
| 6.2.3 Klassifikation unterschiedlicher Fahrsczenarien . . . . .                 | 140        |
| <b>7 Zusammenfassung und Ausblick</b>                                           | <b>151</b> |
| <b>Literaturverzeichnis</b>                                                     | <b>155</b> |
| <b>A Anhang</b>                                                                 | <b>161</b> |
| A.1 Normierungsamplituden . . . . .                                             | 161        |
| A.2 Tabellen . . . . .                                                          | 164        |
| A.2.1 Materialparameter . . . . .                                               | 164        |
| A.2.2 Merkmale . . . . .                                                        | 165        |
| <b>Abkürzungs- und Symbolverzeichnis</b>                                        | <b>179</b> |