

Ein Beitrag zur Analyse von Schallemissionssignalen

Von der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften

genehmigte Dissertation

vorgelegt von **Dipl.-Wirt.-Ing.**

Christian Bernet

aus Velbert

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl Nienhaus
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Pretz

Tag der Mündlichen Prüfung: 21. September 2018

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VII
1 EINLEITUNG	1
2 GRUNDLAGEN DER SCHALLEMISSIONSPRÜFUNG	5
2.1 ALLGEMEINES.....	6
2.2 MESSTECHNIK.....	9
2.2.1 Messaufnehmer.....	9
2.2.2 Messumformer.....	15
2.2.3 Überprüfung der Funktion der Messkette.....	17
2.2.4 Abtastrate.....	19
3 ANKOPPLUNG VON MESSAUFNEHMERN	23
3.1 IDENTIFIKATION UND LOKALISIERUNG VON SCHALLEMISSIONSSIGNALEN MITTELS KREUZKORRELATION.....	23
3.2 ANKOPPLUNGSVERSUCHE.....	26
3.2.1 Versuchsaufbau.....	26
3.2.2 Methodik zur Versuchsauswertung.....	29
3.2.3 Versuchsergebnisse und -auswertung.....	31
3.3 WIEDERHOLBARKEIT VON BLEISTIFTMINENBRUCHTESTS.....	33
3.4 ERGÄNZENDE AUSWERTUNG DER ANKOPPLUNGSVERSUCHE.....	35
3.5 ROUTINE ZUR VALIDIERUNG DER ANKOPPLUNG VON SE-SENSOREN.....	37
4 AUSWERTEMETHODEN IN DER SCHALLEMISSIONSPRÜFUNG	41
4.1 INTERVALLANALYSE.....	42
4.2 BURSTANALYSE.....	43
4.2.1 Grenzwertdetektion.....	45
4.2.2 Fensterdetektion.....	47
4.2.3 Frequenzbereichsdetektion.....	49
4.2.4 Kantendetektion.....	50
4.2.5 Adaptive Kantendetektion.....	52
4.3 VERGLEICH DER BURSTDETEKTIONSALGORITHMEN ANHAND VON LOKALISIERUNGSVERSUCHEN.....	63
5 ENTWICKLUNG EINES KONZEPTE UND AUSWERTEPROGRAMMS ZUR AUTOMATISIERTEN ANALYSE VON SCHALLEMISSIONSSIGNALEN	73
5.1 ZIELSETZUNG.....	74
5.2 STRUKTUR UND AUFBAU.....	77
5.3 EINGABEPARAMETER.....	79
5.3.1 Allgemeine Parameter.....	79

Inhaltsverzeichnis

5.3.2	<i>Parameter Intervallanalyse</i>	81
5.3.3	<i>Parameter Burstanalyse</i>	82
5.3.4	<i>Parameter Signalvergleich</i>	84
5.4	HAUPTPROZEDUR.....	84
5.5	ERGEBNISSTRUKTUR.....	86
5.5.1	<i>Metadaten</i>	88
5.5.2	<i>Ergebnisse Intervall- und Burstanalyse</i>	89
5.5.3	<i>Ergebnisse Signalvergleich</i>	89
5.5.4	<i>Ergebnisse durch Weiterverarbeitung</i>	90
5.6	KENNWERTEBEWERTUNG.....	90
5.7	VISUALISIERUNG.....	93
5.8	ERWEITERBARKEIT.....	94
5.9	TEST UND VALIDIERUNG.....	94
5.10	ZUSAMMENFASSUNG.....	95
6	ANWENDUNG DER KONZEPTE ZUR AUSWERTUNG VON SCHALLEMISSIONSSIGNALEN ANHAND VON ERMÜDUNGSVERSUCHEN	97
6.1	ZYKLISCHER ZUGVERSUCH MIT LASTSTEIGERUNG AN RUNDSTAHLPROBEN.....	98
6.1.1	<i>Versuchsbeschreibung</i>	100
6.1.2	<i>Intervallanalyse</i>	103
6.1.3	<i>Burstanalyse</i>	106
6.1.4	<i>Ergebnisdiskussion</i>	116
6.2	ZYKLISCHER BIEGEVERSUCH AN T-STAHLPROFILIEN BEI KONSTANTER DURCHBIEGUNG.....	117
6.2.1	<i>Versuchsbeschreibung</i>	117
6.2.2	<i>Versuchsvorbereitung</i>	120
6.2.3	<i>Intervallanalyse</i>	123
6.2.4	<i>Burstanalyse</i>	127
6.2.5	<i>Ergebnisdiskussion</i>	138
7	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	139
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	143
	TABELLENVERZEICHNIS	149
	LITERATURVERZEICHNIS	153
	ANHANG	163