

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation und Motivation	1
1.2	Zielsetzung der Arbeit	4
1.3	Lösungsstrategie und Aufbau der Arbeit	4
1.4	Kontext der Arbeit	5
2	Vorbetrachtungen zu luftgeleitetem Ultraschall – insbesondere im Kontext des Arbeitsschutzes	7
2.1	Definitionen relevanter Größen der Akustik	7
2.2	Wichtige Eigenschaften von Ultraschall	10
2.2.1	Schallfeldgeometrie	10
2.2.2	Absorption	11
2.2.3	Streuung	12
2.2.4	Weitere Aspekte der Schallausbreitung	12
2.3	Rechtlicher Rahmen akustischer Messungen im Arbeitsschutz	12
2.4	Gefährdungsbeurteilung bezüglich Lärm am Arbeitsplatz	13
2.4.1	Allgemeines zur Gefährdungsbeurteilung	14
2.4.2	Richt-, Auslöse- und Expositionsgrenzwerte für Lärm am Arbeitsplatz	14
2.4.3	Kritische Betrachtung	15
2.5	Status quo akustischer Messungen im Rahmen des Arbeitsschutzes	16
3	Entwicklung des Labormesssystems und Referenzarbeitsplatzes	19
3.1	Anforderungen an das Labormesssystem	19
3.1.1	Frequenzbereich	20
3.1.2	Räumliche Auflösung	20
3.1.3	Linearitätsbereich	21
3.1.4	Signal-Rausch-Verhältnis	22
3.1.5	Metrologische Rückführbarkeit	22
3.2	Realisierung des Labormesssystems	23
3.2.1	Scanner-Einheit	23
3.2.2	Elektroakustische Messkette	26
3.2.3	Signalverarbeitung	28
3.2.4	Ansteuerung des Labormesssystems	29
3.2.5	Details der Versuchsanordnung	29
3.3	Kalibrierung der elektroakustischen Messkette	30
3.3.1	Frequenzgang	30
3.3.2	Richtcharakteristik	33
3.4	Ultraschallquelle des Referenzarbeitsplatzes	35
3.4.1	Konzept des Referenzarbeitsplatzes	35
3.4.2	Details zur ausgewählten Ultraschallschweißmaschine	36
3.4.3	Betriebsmodi der Ultraschallschweißmaschine	37
3.4.4	Voruntersuchungen zu den Betriebsbedingungen im Messaufbau	37
3.5	Diskussion	38

4	Messungen am Referenzarbeitsplatz	41
4.1	Scans mit dem Labormesssystem	41
4.1.1	Charakterisierung des Schallfeldes	42
4.1.2	Untersuchung des Einflusses einer bedienenden Person auf das Schallfeld	47
4.2	Einzelpunktmessungen zum Vergleich von für Scans verwendeten Betriebsmodi und Schweißungen von Probekörpern	51
4.3	Bestimmung der Messunsicherheit	52
4.4	Diskussion	60
5	Untersuchungskonzepte zur Überführung des Labormessverfahrens in eine praxistaugliche Datenakquise	65
5.1	Notwendigkeit zur Vereinfachung der Datenakquise	65
5.2	Methodische Grundlagen der quantitativen Untersuchung	66
5.2.1	Statistische Auswertungsmethoden	67
5.2.2	Methoden der Bildverarbeitung	68
5.3	Interpolationsalgorithmus zur Generierung von Datensätzen mit isotroper Auflösung	68
5.4	Parametrisierungsmethoden der quantitativen Untersuchung	69
5.4.1	Schalldruckpegelhäufigkeitsverteilungen	69
5.4.2	Deskriptive Statistik – Lagemaße und Dispersionsmaße	71
5.4.3	Lokaler Interferenzkontrast	71
5.4.4	Specklegröße	72
5.5	Einfluss der Kernelgröße bei der Anwendung von Bildverarbeitungsmethoden	73
5.6	Bestimmung von Beurteilungskriterien für die quantitative Untersuchung	74
6	Untersuchung des Einflusses von Auflösung und Mikrofongröße bei Ultraschallmessungen und Empfehlungen für die Praxis	77
6.1	Untersuchung des Einflusses der Auflösung bei Ultraschallmessungen in der Praxis	77
6.1.1	Schalldruckpegelhäufigkeitsverteilungen	77
6.1.2	Deskriptive Statistik – Lagemaße und Dispersionsmaße	78
6.1.3	Lokaler Interferenzkontrast	78
6.1.4	Specklegröße	81
6.2	Untersuchung des Einflusses der Mikrofongröße bei Ultraschallmessungen in der Praxis	82
6.2.1	Deskriptive Statistik – Lagemaße und Dispersionsmaße	82
6.2.2	Lokaler Interferenzkontrast	83
6.3	Diskussion	84
7	Messverfahren zur Bestimmung der Luftultraschallexposition am Arbeitsplatz	87
7.1	Schlussfolgerungen aus den Voruntersuchungen	87
7.1.1	Notwendigkeit von Expositionsmessungen im Ultraschallbereich in Abgrenzung zu Immissions- und Emissionsmessungen	87
7.1.2	Bestimmung der Messposition	88
7.1.3	Festlegung der Akquisemethode des Messverfahrens	88
7.1.4	Einordnung der aufgestellten Mindestanforderungen	89
7.1.5	Anwendbarkeit von Parametrisierungsmethoden in der Praxis	90
7.2	Anforderungen an Messinstrumente	90
7.2.1	Normative Verweise für Anforderungen an Messinstrumente	90
7.2.2	Frequenzbereich	91

7.2.3	Mikrofongröße	91
7.2.4	Hardwarekonfiguration	91
7.2.5	Terz- und Schmalbandanalyse	92
7.2.6	Frequenzbewertungen	92
7.2.7	Messgrößen	92
7.3	Beschreibung des Messverfahrens	93
7.3.1	Durchführung einer Arbeitsanalyse	93
7.3.2	Durchführung einer Übersichtsmessung	93
7.3.3	Planung einer Messung	93
7.3.4	Berücksichtigung einer Person am Arbeitsplatz	94
7.3.5	Durchführung einer Messung	94
7.3.6	Auswertung einer Messung und Erstellung eines Messberichts	95
7.4	Diskussion	95
8	Praxistest des entwickelten Messverfahrens	101
8.1	Labormessungen zum Vergleich von neuem und herkömmlichem Messverfahren	101
8.2	Messkampagne zur Erprobung des entwickelten Messverfahrens in der industriellen Praxis	104
8.3	Diskussion	106
9	Zusammenfassung	109
10	Ausblick	111
A	Ergänzende Tabellen	113
B	Ergänzende Abbildungen	115
C	Ergänzendes Formelmaterial	117
	Abbildungsverzeichnis	119
	Tabellenverzeichnis	121
	Abkürzungsverzeichnis	123
	Symbolverzeichnis	125
	Literaturverzeichnis	131
	Eigene Publikationen im Rahmen dieser Arbeit	155