

Inhaltsverzeichnis

0	Abkürzungen und Formelzeichen	12
1	Einleitung.....	16
1.1	Problemstellung	16
1.2	Zielsetzung	16
1.3	Vorgehensweise.....	17
2	Ausgangslage.....	20
2.1	Begriffe und Definitionen	20
2.1.1	Begriffe zur Ultraschall-Akustik	20
2.1.2	Begriffe zur Ultraschall-Gerätetechnik.....	22
2.2	Anwendungsgebiete der Ultraschalltechnik	24
2.2.1	Allgemeine Anwendungsbereiche der Ultraschalltechnik.....	24
2.2.2	Anwendung von Luftultraschallsensoren in der Automatisierungstechnik ..	25
2.3	Übersicht der Meßaufgaben und Randbedingungen für Sensoren	26
2.4	Stand der Technik.....	29
2.5	Stand der Forschung	32
3	Anforderungen an Schallköpfe für Ultraschallsensoren.....	35
3.1	Allgemeine Anforderungen an den Ultraschallsensor	35
3.2	Spezifische Anforderungen an die Schallköpfe.....	36
3.3	Abschätzung der erreichbaren Leistungseigenschaften	36
3.3.1	Näherungsformeln für Kolbenstrahler und Punktstrahlergruppen	37
3.3.2	Eindimensionale Fourier-Akustik für Linienstrahler	38
3.3.3	Erfassung flächiger Strahler durch Dimensionsreduktion	40
3.3.4	Ergebnisse der Abschätzung.....	42
3.4	Konkretisierung der Anforderungen für vier Typenklassen von Schallköpfen	43
3.4.1	Anforderungen an einen F-Schallkopf.....	43
3.4.2	Anforderungen an einen W-Schallkopf	44
3.4.3	Anforderungen an einen N-Schallkopf	45
3.4.4	Anforderungen an einen Gruppenstrahler-Schallkopf	46
3.5	Anforderungen an das Schallkopf-Konstruktionsverfahren.....	48

4	Analyse der Lösungsmöglichkeiten zur Konstruktion von Ultraschallköpfen	49
4.1	Zerlegung in funktionale Komponenten	50
4.2	Analyse der Lösungsmöglichkeiten für die funktionalen Komponenten eines Schallkopfes	51
4.2.1	Elektroakustische Wandler	51
4.2.2	Schallformung durch Wandlergestaltung	51
4.2.3	Schallformung durch akustische Linsen und Beugungsgitter	52
4.2.4	Schallformung durch Reflektoren	52
4.2.5	Schallformung durch Wellenleiter und Kanäle	53
4.2.6	Schallformung durch Gruppenstrahler	54
4.3	Bewertung und Auswahl von Lösungsvarianten für die akustischen Komponenten	55
4.4	Konstruktion von Schallkanälen	57
4.4.1	Entwurf von Schallkanälen mit Konstruktionselementen	57
4.4.2	Konstruktive Auslegung von ausgewählten achsensymmetrischen Schallkanal-Varianten	63
4.4.3	Akustische Konstruktionselemente für nicht-achsensymmetrische Konstruktionen	67
4.5	Fragenkatalog zur Konstruktion akustischer Ultraschallelemente	69
5	Experimentell gestützter Entwurf von Schallkanälen	71
5.1	Vorgehensweise unter Einsatz der Simulationstechnik und der Meßtechnik an Labormustern	71
5.1.1	Vorteile der Simulationstechnik	71
5.1.2	Vorteile von Funktionsmusterbau und Meßtechnik	71
5.2	Meßtechnische Erfassung der Kenngrößen zur Analyse und Bewertung von Schallköpfen	72
5.2.1	Ansteuerung der Ultraschallwandler	72
5.2.2	Vermessung der erzeugten Ultraschallfelder	72
5.2.3	Graphische Darstellung der Meßergebnisse	73
5.2.3	Regeln für die Durchführung von akustischen Messungen	75
5.3	Verfahren zur Herstellung von Versuchsmustern	75
5.4	Verfahren zur Simulation der Ultraschallabstrahlung (BEM und FEM)	77
5.4.1	Überblick der theoretischen Grundlagen der verwendeten Boundary-Element-Methode	78
5.4.2	Regeln für die Verwendung der Simulationsverfahren	79
5.4.3	Numerische Besonderheiten	81
5.4.4	Modalanalyse (Finite Element Methode, FEM)	81
5.4.5	Zusammenfassung der simulationstechnischen Aspekte	82

5.5	Zusammenfassung der vorgeschlagenen empirisch / heuristischen Methodik	82
5.5.1	Vorgehensweise für achsensymmetrische Schallkanäle	84
5.5.2	Vorgehensweise für nicht-achsensymmetrische Schallkanäle	85
6	Untersuchungen zum anwendungsspezifischen Entwurf von Schallköpfen	86
6.1	Meßtechnische Ermittlung der Ausgangsparameter	86
6.1.1	Der mechanische Schwingungszustand des Wandlers	86
6.1.2	Reflexionseigenschaften von Meßobjekten für Ultraschallsignale	89
6.2	Regelkatalog für achsensymmetrische Schallkanal-Konstruktionen	91
6.2.1	Ultraschall-Wandler (Piezobauform)	92
6.2.2	Druckkammer	93
6.2.3	Blende	95
6.2.4	Trichter	97
6.2.5	Apertur	106
6.3	Nicht-achsensymmetrische Schallkanäle	108
6.3.1	Wandler	108
6.3.2	Druckkammer	109
6.3.3	Blende	113
6.3.4	Trichter	114
6.3.5	Apertur und Frontfläche	118
6.4	Übersicht der erfaßten Effekte	118
7	Erprobung anhand von Fallbeispielen	120
7.1	W-Schallkopf	120
7.2	F-Schallkopf	122
7.3	N-Schallkopf	124
7.4	Gruppenstrahler - Schallkopf	126
7.5	Vergleichende Bewertung	129
8	Zusammenfassung und Ausblick	131
9	Literaturverzeichnis	134