

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1 MEMS und deren Modellierung . . . . .	1
1.2 Zielsetzung und Struktur der Arbeit . . . . .	3
1.2.1 Zielsetzung . . . . .	3
1.2.2 Gliederung der Arbeit . . . . .	4
<b>2. Mikrostrukturierte Mikrophone . . . . .</b>	<b>7</b>
2.1 Wichtige Kenngrößen . . . . .	7
2.2 Konventionelle Mikrophone . . . . .	12
2.3 MEMS-Mikrophone . . . . .	15
2.3.1 Aufbau von MEMS-Mikrofonen . . . . .	16
2.3.2 Wandlerprinzipien . . . . .	16
2.3.3 Kommerzielle Mikrofone . . . . .	18
<b>3. Piezoelektrische MEMS-Mikrophone . . . . .</b>	<b>21</b>
3.1 Der piezoelektrische Effekt . . . . .	21
3.1.1 Physikalische Modellierung . . . . .	23
3.1.2 Piezoelektrische Materialien . . . . .	36
3.2 Aufbau von piezoelektrischen MEMS-Mikrofonen . . . . .	42
3.3 Designkonzept zur Reduktion von intrinsischen Spannungen . . . . .	44
<b>4. Experimentelle Charakterisierung . . . . .</b>	<b>49</b>
4.1 Innere Spannungen eines Schichtstapels . . . . .	49
4.1.1 Entstehung und Messung von intrinsischen Spannungen . . . . .	50
4.1.2 Auswertung . . . . .	53

<b>4.2</b>	<b>Materialeigenschaften von Parylene-Membranen</b>	55
4.2.1	Bestimmung der Materialparameter	56
4.2.2	Interpretation der Ergebnisse	59
<b>5.</b>	<b>Numerische Analyse von MEMS-Mikrophonmembranen</b>	63
5.1	Verwendete Simulationsumgebungen	63
5.2	FEM-Modelle der Membranen	64
5.3	Modellierung von inneren Spannungen	67
5.3.1	Theoretischer Hintergrund	67
5.3.2	Implementation in speziellen Simulatoren	71
5.4	Berücksichtigung von nichtlinearen Effekten	75
5.4.1	Knicken durch intrinsische Druckspannungen	75
5.4.2	Geometrische Nichtlinearitäten durch intrinsische Zugspannungen	77
<b>6.</b>	<b>Optimierung von MEMS-Mikrophonmembranen</b>	79
6.1	Bewertung der verschiedenen Mikrophondesigns	79
6.2	Identifikation der signifikanten Parameter	85
6.2.1	Varianzanalyse (ANOVA)	85
6.2.2	Auswertung	92
6.3	Optimierung des Frequenzgangs	98
6.4	Robustes Design	103
<b>7.</b>	<b>Kritische Bewertung des Anwendungspotentials piezoelektrischer MEMS-Mikrophone</b>	109
<b>8.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	117
<b>Symbolverzeichnis</b>		121
<b>Literaturverzeichnis</b>		125
<b>Danksagung</b>		133