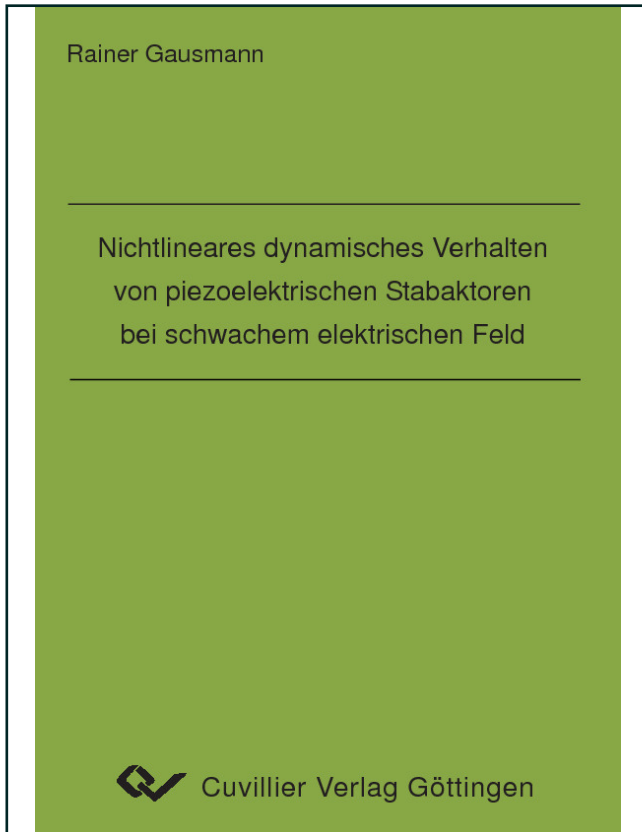




Rainer Gausmann (Autor)  
**Nichtlineares dynamisches Verhalten von  
piezoelektrischen Stabaktoren bei schwachem  
elektrischen Feld**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/2510>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>i</b>
<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>1</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>5</b>
1.1 Motivation . . . . .	5
1.2 Ziele und Gliederung der Arbeit . . . . .	6
1.3 Literaturüberblick . . . . .	7
1.3.1 Hystereseemodelle . . . . .	8
1.3.1.1 Modellierung auf der Mikroebene . . . . .	8
1.3.1.2 Phänomenologische Modellierung . . . . .	9
1.3.2 Nichtlineare Zustandsgleichungen . . . . .	10
1.3.3 Piezoelektrische Transformatoren . . . . .	13
<b>2 Theorie der Piezoelektrizität</b>	<b>17</b>
2.1 Ferro- und Piezoelektrizität . . . . .	17
2.2 Gleichungen der Kontinuumsmechanik . . . . .	23
2.3 Gleichungen der Elektrodynamik . . . . .	25
2.4 Konstitutive Gleichungen . . . . .	27
2.4.1 VOIGTsche Notation . . . . .	27
2.4.2 Thermodynamik dielektrischer Medien . . . . .	28
2.4.3 Lineare elektromechanische Zustandsgleichungen . . . . .	31
2.5 Prinzip von Hamilton . . . . .	34
<b>3 Lineare Modellierung</b>	<b>37</b>

3.1	Modellierung, Einachsiger Spannungszustand . . . . .	37
3.2	Modellierung bei Berücksichtigung der Querträglichkeit . . . . .	43
3.3	Berücksichtigung innerer Dämpfung . . . . .	47
3.4	Modellierung eines piezoelektrischen Transformators . . . . .	48
3.4.1	Ergebnisse der linearen Modellierung des piezoelektrischen Transformators . . . . .	54
<b>4</b>	<b>Nichtlineare Modellierung</b>	<b>59</b>
4.1	Motivation . . . . .	59
4.2	Nichtlinearitäten einer PIC-141 Piezokeramik . . . . .	64
4.3	Nichtlineares Modell . . . . .	67
4.3.1	Nichtlineare Zustandsgleichungen . . . . .	68
4.3.2	Variationsproblem . . . . .	69
4.3.2.1	Ansatzfunktionen . . . . .	72
4.3.2.2	Partielle Integration . . . . .	75
4.3.3	Eingliedriger gemischter RITZ-Ansatz . . . . .	78
4.3.4	Harmonische Balance . . . . .	80
4.4	Nichtlineares Modell mit Polynomansatz . . . . .	81
4.4.1	Ergebnisse der numerischen Amplitudenbestimmung . . . . .	83
<b>5</b>	<b>Identifikation der Materialparameter</b>	<b>89</b>
5.1	Lineare Parameteridentifikation nach der IEEE . . . . .	91
5.2	Lineare Parameteridentifikation mittels LLS . . . . .	91
5.2.1	Beispiel: Lineare partielle Differentialgleichung eines piezoelek- trischen Stabes . . . . .	93
5.3	Lineare Parameteridentifikation nach Nelder & Mead . . . . .	95
5.4	Nichtlineare Parameteridentifikation . . . . .	98
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>103</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>105</b>
	<b>Anhang</b>	<b>113</b>
<b>A</b>	<b>Materialkonstanten</b>	<b>115</b>
A.1	Herstellerangaben . . . . .	115

<b>B Messtechnik</b>	<b>117</b>
B.1 Messaufbau . . . . .	117
<b>C Formeln und Gleichungen</b>	<b>119</b>
C.1 Partielle Integration . . . . .	119
C.2 Separationsansatz . . . . .	131
C.3 Koeffizienten des Variationsproblems aus Kapitel 4.4 . . . . .	137
C.4 Harmonische Balance . . . . .	143
<b>D Mathematische und mechanische Ergänzungen</b>	<b>147</b>
D.1 Potenzialbestimmung . . . . .	147
D.2 Näherungsverfahren . . . . .	148
D.2.1 (Reguläre) Störungsrechnung . . . . .	149
D.2.2 Galerkin-Verfahren . . . . .	149
D.2.3 Ritzsches-Verfahren . . . . .	151
D.2.4 Methode der harmonischen Balance . . . . .	152
<b>Lebenslauf</b>	<b>153</b>