

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Zielsetzung	2
1.3	Vorgehensweise	2
2	Piezoelektrische Ultraschallantriebe	4
2.1	Historischer Überblick zu piezoelektrischen Linearantrieben	4
2.2	Piezoelektrische Linearantriebe	5
2.2.1	Modellierung piezoelektrischer Funktionselemente	9
2.2.2	Elektrische Ansteuerung von piezoelektrischen Linearantrieben . . .	15
2.3	Marktübersicht Linearmotoren	19
2.4	Shaking Beam Antrieb	28
2.5	Leistungsgrenzen	29
3	Kontaktmodellierung von Mikrostoßantrieben	31
3.1	Einleitung und Historie	32
3.2	Grundmechanismen zur Reibung	35
3.2.1	Mikroskopische Beobachtungen	35
3.2.2	Makroskopische Reibkraftmodelle	37
3.3	Analytische Kontaktmodelle für einen Stoßelantrieb	43
3.3.1	Coulomb Reibung mit Punktkontakt	43
3.3.2	Viskose Reibung mit Punktkontakt	46
3.3.3	Coulomb- und viskose Reibung kombiniert mit Punktkontakt	49
3.3.4	Elastische Kontaktschicht	50
3.4	Reibverhalten von Mikrostoßantrieben	55
3.4.1	Kraftübertragung während der Kontaktphase	58
3.4.2	Kraftübertragung während der Abhebephase	63
3.4.3	Kraftübertragung bei Mikrostoßantrieben	65
3.5	Bewertung und Diskussion	68

4 Modellbildung und -analyse	71
4.1 Einzelantrieb	71
4.1.1 Piezoelektrisches System	73
4.1.2 Statormodell	73
4.1.3 Kontaktmodell	76
4.1.4 Schlittenmodell	77
4.1.5 Gesamtsystem Einzelantrieb	78
4.1.6 Parameterstudien	79
4.1.7 Reibungsverluste und Einfluss der Nulllage der Stößelschwingung	82
4.2 Verbund von Einzelantrieben	83
4.3 Ansteuerstrategien	84
4.4 Bewertung und Diskussion	89
5 Experimentelle Validierung	91
5.1 Einzelantrieb	91
5.1.1 Messung des statischen Reibkoeffizienten	91
5.1.2 Admittanzmessungen	92
5.1.3 Schwingungsmessungen	94
5.1.4 Parameteridentifikation	95
5.1.5 Parameterstudien	97
5.2 Verbund von Einzelantrieben	99
5.3 Ansteuerstrategien	101
5.3.1 Individuelle Anregung	103
5.3.2 Festfrequenz im nicht resonanten Bereich	104
5.3.3 Festfrequenz im resonanten Bereich	105
5.3.4 Sweep Ansteuerung	108
5.4 Bewertung und Diskussion	114
6 Zusammenfassung und Ausblick	115
Literaturverzeichnis	119