

Anita Tröbs

**Ein Beitrag zur Mehrkörperdynamik-Simulation von
Nanopositionier- und Nanomessmaschinen mittels
spezifischer Modellelemente**

isle

2010

1	Einleitung	5
1.1	Problemstellung	5
1.2	Stand der Technik	6
1.3	Inhalt und Ziel der Arbeit.....	11
2	Ingenieurwissenschaftliche Grundlagen	14
2.1	Mess- und Positioniersysteme als mechatronisches System.....	14
2.1.1	Aufbau und Funktionselemente	14
2.1.2	Aufstellungsbedingungen und Fundamentierung.....	16
2.1.3	Gelenke, Führungen und Gestell.....	17
2.1.4	Antriebssystem.....	20
2.1.5	Messtechnik.....	23
2.2	Mehrkörpersystem-Modell und Simulationswerkzeuge	28
2.2.1	Mehrkörpersystem als Modell.....	28
2.2.2	Mehrkörperdynamik und MKS-Simulation	30
2.2.3	Simulatoren, Co-Simulationen	33
2.2.4	Simulation mit alaska 5.0 und MATLAB/Simulink 7.1	34
2.3	Reibungstheorie	36
2.3.1	Begriffe und Strukturen.....	36
2.3.2	Nominelle und reale Kontaktfläche.....	37
2.3.3	Reibungsarten.....	39
2.3.4	Reibungseffekte.....	43
2.3.5	Modelle zur Abbildung von Reibung in MKS.....	44
2.4	Dämpfung.....	47
2.5	Strategien der Modellbildung.....	49
2.5.1	Minimalmodelle und Analytische Methoden.....	49
2.5.2	Erweiterte Modellbildung und computergestützte Methoden.....	51
2.5.3	Simulation der z-Achse	52
3	Induktive Modellbildung, Untersuchungen am Minimalmodell.....	54
3.1	Untersuchungen an der NPMM mittels Asymptotischer Methoden unter Berücksichtigung von Coulomb'scher Reibung	54
3.1.1	Modell der NPMM.....	54
3.1.2	Indirekte Erregung $x_2(t)$ über das Fundament	55
3.1.3	Direkte Erregung $G(t)$ an der Messaufnahme	57
3.1.4	Identifikation von Systemparametern	57

3.2	Nichtsymmetrisches Stribeck-Modell für die Reibung.....	60
3.2.1	Allgemeine Betrachtungen	60
3.2.2	Mathematisches Modell	61
3.2.3	Analyse des Modells mittels Asymptotischer Methoden.....	63
3.2.4	Ergebnisse der Simulationen.....	67
3.2.5	Zusammenfassende Betrachtungen	70
4	Deduktive Modellbildung, Untersuchung komplexer Modelle.....	72
4.1	Modellierung einer Kugelbuchsenführung	72
4.1.1	Modellbildung der Lastverteilung in Wälzlagern	72
4.1.2	Modellierung der Reibkraft.....	76
4.1.3	Verifizierung	78
4.1.4	Modellreduktion - Modellbildung des mechanischen Teilsystems.....	80
4.1.5	Simulationsergebnisse zur Dynamik des mechanischen Teilsystems.....	81
4.2	Reibwertermittlung an Führungen	86
4.2.1	Motivation, Stand der Technik.....	86
4.2.2	Aufbau eines Reibungsprüfstandes	88
4.2.3	Montageeinflüsse und Reproduzierbarkeit.....	91
4.2.4	Anfangsverschiebung und Haftreibungskraft von Wälzführungen.....	94
4.2.5	Anfangsverschiebung und Haftreibungskraft von Gleitführungen	104
4.2.6	Zusammenfassende Betrachtungen	106
4.3	Die Modellierung der Spiegelecke.....	107
4.3.1	Koppelstellenmodellierung mit steifer Spiegelecke, Modell 1	107
4.3.2	Simulationsergebnisse aus Modell 1	109
4.3.3	Modellierung der Spiegelecke, Modell 2	111
4.3.4	Gestellmodellierung	114
4.4	Modellierung des mechatronischen Systems mit Grob- und Feintrieb.....	115
4.4.1	Mechatronisches System z-Achse.....	115
4.4.2	Modellbildung des Piezoaktors	115
4.4.3	Modellierung und Evaluierung des Spindelantriebes.....	116
4.5	MKS-Simulation des gesamten mechatronischen Systems z-Achse	118
4.5.1	Statische Untersuchungen an der z-Achse	118
4.5.2	Dynamische Simulation der z-Achse	122
5	Zusammenfassung und Ausblick.....	136
6	Formelverzeichnis, Abkürzungen	139

7	Literaturverzeichnis.....	145
---	---------------------------	-----