

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	III
1 Kurzfassung	VII
1.1 Kurzfassung	VII
1.2 Abstract	VIII
2 Einleitung	1
2.1 Bedeutung der dynamischen Kraftmessung	1
2.2 Motivation und Aufgabenstellung	2
2.3 Struktur der Arbeit	3
3 Grundlagen	5
3.1 Stand der Technik	5
3.2 Messprinzipien	7
3.2.1 Dehnungsmessstreifen	8
3.2.2 Piezoelektrische Sensorelemente	10
3.2.3 Optische Messverfahren	11
3.2.4 Induktive Sensoren	12
3.2.5 Kapazitive Sensoren	13
4 Theoretische Betrachtungen	15
4.1 Struktur einer elektrischen Kraftmesskette	15
4.2 Feder-Masse-Modelle zur Beschreibung von Kraftaufnehmern . .	15
4.2.1 Einfaches Feder-Masse-Modell / Verfahren „Schwing- erreger mit Zusatzmasse“	16
4.2.2 Feder-Masse-Modell unter Berücksichtigung der Kraft- einleitung	22
4.3 Berechnungen von Verformungskörpern mittels der Finiten- Elemente-Methode	24
4.3.1 Erläuterung der durchgeführten Berechnungen	25
4.3.2 Aufstellen von parameterabhängigen Funktionen	27
5 Konstruktion der Kraftaufnehmer	33
5.1 Implementierte Sensorik	33
5.2 Aufbau der Verformungskörper	34

5.3	Montage der Kraftaufnehmer	36
6	Messeinrichtungen	39
6.1	Darstellung statischer Kräfte	39
6.2	Darstellung dynamischer Kräfte	41
6.3	Statische Messungen an der 20 kN-Kraft-Normal-Messeinrichtung	42
6.3.1	20 kN-Kraft-Normal-Messeinrichtung	42
6.3.2	Messwerterfassung	43
6.3.3	Vibrometereinrichtung zur Messung der Verformung eines Kraftaufnehmers	43
6.4	Dynamische Messungen am elektrodynamischen Schwingerreger	44
6.4.1	Elektrodynamischer Schwingerreger	45
6.4.2	Messwerterfassung	46
6.4.3	Vibrometereinrichtung zum dynamischen Messen der Verformung	47
7	Messungen	49
7.1	Kalibrierung der Messeinrichtungen	49
7.1.1	Ladungsverstärker des piezoelektrischen Kraftaufnehmers	49
7.1.2	DMS-Brückenverstärker	51
7.1.3	Vibrometeraufbau	52
7.1.4	Beschleunigungsmesskette	52
7.2	Statische Messungen	53
7.3	Dynamische Messungen	55
8	Diskussion der Messergebnisse	57
8.1	Statische Messungen	57
8.1.1	Vergleich der DMS mit dem piezoelektrischen Sensor . .	57
8.1.2	Wegmessung	60
8.2	Dynamische Messungen	61
8.2.1	Ermittlung der Eigenmasse	61
8.2.2	Linearität der kraftdetektierenden Sensorik	63
8.2.3	Dynamische Empfindlichkeiten von DMS und piezoelektrischem Sensor	63
8.2.4	Wegmessung	65
8.3	Vergleich der experimentell und numerisch gewonnenen Ergebnisse	71
8.3.1	Resonanzfrequenzen	71
8.3.2	Steifigkeit	72
8.3.3	Diskussion der Abweichungen	74
8.4	Zusammenfassung der Messergebnisse	75

9 Unsicherheitsbetrachtung	79
9.1 Messunsicherheiten nach GUM	79
9.2 Unsicherheitsbetrachtung der dynamischen Messungen	80
10 Zusammenfassung	85
11 Ausblick	87
Literatur	89
Danksagung	97