

Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	X
Abkürzungen und Formelzeichen.....	XI
1 Mikrotaster in der Koordinatenmesstechnik	1
2 Stand der Technik.....	3
2.1 Taktilelektrische Taster	3
2.1.1 Taktilelektrische Taster mit kapazitiven Sensoren	3
2.1.2 Taktilelektrischer Taster mit induktiven Sensoren.....	6
2.1.3 Taktilelektrische Taster mit piezoresistiven Sensoren	7
2.2 Taktilektrische Taster.....	11
2.2.1 Taktilektrischer 2D-Taster	11
2.2.2 Taktilektrische 3D-Taster	15
2.2.2.1 Abbildungsgröße	16
2.2.2.2 Fotogrammetrie	16
2.2.2.2.1 Spiegelanordnung mit zwei Kameras	16
2.2.2.2.2 Spiegelanordnung mit einer Kamera.....	18
2.2.2.2.3 Spiegelanordnung im Messkopf.....	19
2.2.2.3 Speckle-Korrelation	20
2.2.2.4 Speckle-Interferometrie	21
2.3 Zusammenfassung.....	24
3 Aufgabenstellung.....	26
4 Taktilektrischer 3D-Taster mit Bildverarbeitungs- und Abstandssensor	27
4.1 Funktionsanalyse.....	28
4.2 Tastersystem	29
4.2.1 Kinematisches Modell.....	29
4.2.2 Antastkraft.....	30
4.2.2.1 Kraft und Auslenkung.....	30
4.2.2.2 Hertzische Pressung	34
4.2.3 Beanspruchungsgrenzen des Tasterschafts	36
4.2.3.1 Knickung	36
4.2.3.2 Biegefestigkeit	38
4.3 Messkopf	39
4.3.1 Laterale Signalerfassung durch den Bildverarbeitungssensor	40
4.3.1.1 Beleuchtung	41
4.3.1.1.1 Leuchtdiode.....	41
4.3.1.1.2 Kollimator	41
4.3.1.1.3 Strahlteiler.....	42
4.3.1.1.4 Lichtabstrahlung aus der Glasfaser-Tastkugel	43
4.3.1.2 Abbildung.....	45
4.3.1.2.1 Telezentrie.....	46
4.3.1.2.2 Strahlbegrenzung und Strahlungsverlust	47
4.3.1.2.3 Abbildungsfehler.....	48
4.3.1.2.4 Beugungsbegrenzte Auflösung	49
4.3.1.3 Bilderfassung	49

4.3.1.3.1	Signal	50
4.3.1.3.2	Rauschen	51
4.3.1.3.3	Signal-Rausch-Verhältnis (SNR)	52
4.3.1.4	Bildauswertung	52
4.3.1.4.1	Konturauswertung	52
4.3.1.4.2	Bildkorrelation	53
4.3.1.5	Sensorrauschen in lateraler Richtung	55
4.3.2	Axiale Signalerfassung durch den Abstandssensor	57
4.3.2.1	Messprinzip	57
4.3.2.2	Laserdiode	59
4.3.2.3	Strahlengang und Strahldurchmesser	60
4.3.2.4	Differenzfotodiode	62
4.3.2.5	Signalbewertung	63
4.3.2.6	Modell des Abstandssensors	64
4.3.2.7	Sensorrauschen in axialer Richtung	67
4.4	Messwertbestimmung	69
4.4.1	Tastermatrix	69
4.4.1.1	Übertragungsverhalten der lateralen Signalerfassung	70
4.4.1.2	Übertragungsverhalten der axialen Signalerfassung	71
4.4.1.3	Einmessung der Tastermatrix im Ausgleichsverfahren	71
4.4.2	Tastkugelryskorrektur	72
4.4.3	Tastkugelformkorrektur	73
4.4.3.1	Rundheit von Tastkugeln aus Glasfasermaterial	73
4.4.3.2	Stützstellenkorrektur	74
4.4.3.3	Ellipsoidkorrektur	75
4.4.4	Ausgleichsverfahren zur Bestimmung von Tastermatrix und ellipsoider Tastkugelform	76
4.5	Antastverfahren	77
4.5.1	Einzelpunktantastung	77
4.5.1.1	Statische Einzelpunktantastung	78
4.5.1.2	Dynamische Einzelpunktantastung	78
4.5.2	Scanning	79
4.5.2.1	Scanning ohne Vorgabe der Scanningbahn	80
4.5.2.2	Scanning mit Vorgabe der Scanningbahn	80
4.5.2.3	Sonderformen des Scannings	80
5	Entwicklung ausgewählter Tastersysteme	81
5.1	Federaufhängung	81
5.2	Tasterschaft	84
5.2.1	Geometrie	84
5.2.2	Kurzpass-Kantenfilter-Beschichtung	85
5.3	Miniaturisierung störender Komponenten	86
5.4	Tastersystem und Tasterwechselsystem	88
6	Versuchsaufbau	90
6.1	Versuchsaufbau I	90
6.2	Versuchsaufbau II	91
6.3	Prototyp	92
7	Experimentelle Untersuchung des Messkopfs	94
7.1	Untersuchung des Bildverarbeitungssensors	94
7.1.1	Kennwerte des Sensors	94

7.1.2	Verzeichnung	95
7.1.3	Telezentrie	97
7.1.4	Vergleich der Bildauswertungsverfahren	100
7.1.4.1	Wiederholpräzision	100
7.1.4.2	Positionsmessung mit KMG	102
7.1.4.3	Abschattungseffekt	104
7.1.5	Untersuchung des lateralen Sensorrauschens	107
7.1.5.1	Abhängigkeit von der Bestrahlung	107
7.1.5.2	Abhängigkeit vom Durchmesser der Tastkugel	108
7.1.5.3	Abhängigkeit vom Abbildungsmaßstab	109
7.2	Untersuchung des Abstandssensors	109
7.2.1	Kennlinie	109
7.2.2	Untersuchung des axialen Sensorrauschens	111
7.2.3	Stabilität	112
7.2.4	Neigungsfehler	113
8	Experimentelle Untersuchung des Tasters	117
8.1	Wiederholpräzision von Einzelpunktantastungen	117
8.2	Einmessverfahren	119
8.2.1	Modellvergleich Kugel und Ellipsoid	119
8.2.2	Einmessung großer und kleiner Tastkugeln	122
8.3	Antastabweichung	124
8.4	Scanning-Antastabweichung	126
9	Zusammenfassung	131
10	Kritische Diskussion und Ausblick	134
	Literaturverzeichnis	135
	Eidesstattliche Versicherung	140
	Danksagung	141