

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Stand der Technik.....	2
2.1	Messtechnische Herausforderungen bei Mikrostrukturen.....	4
2.2	Optische Messverfahren für Mikrostrukturen.....	6
2.3	Taktile Messverfahren für Mikrostrukturen.....	11
2.3.1	Mikrotaster.....	12
2.3.2	Arrays aus Mikrotastern.....	13
2.4	Simulation komplexer Systeme.....	14
2.4.1	Computersimulationen.....	15
2.4.2	Abschätzung von Meßunsicherheiten durch Simulationen.....	16
3	Bestimmung des Tasterverhaltens.....	17
3.1	Motivation für die Untersuchungen.....	17
3.1.1	Vorliegende Untersuchungsergebnisse.....	18
3.1.2	Veränderte Geometrieparameter der Taster.....	20
3.1.3	Detailliertere Beschreibung des Tasterverhaltens.....	21
3.1.4	Einfluss von Geometrieabweichungen.....	23
3.2	Numerische Bestimmung der Eigenschaften.....	26
3.2.1	Prinzip der FEM Analyse.....	26
3.2.2	Software für die FEM Analyse.....	29
3.2.3	Einheitensystem in der FEM Analyse.....	30
3.2.4	Verwendete Materialkonstanten.....	31
3.2.5	Plausibilität der FEM Analysen.....	34
3.2.6	Grenzen der FEM Analysen.....	37
3.2.7	Reduktion des Analyseaufwandes.....	39
3.3	Ergebnisse der FEM Analysen.....	40
3.3.1	Verhalten eines idealen Tasters.....	40
3.3.2	Tasterverhalten als Funktion seines Raumwinkels.....	40
3.3.3	Tasterverhalten als Funktion seiner Länge.....	43
3.3.4	Tasterverhalten als Funktion seines Fußpunktes.....	44
3.3.5	Interpretation der Ergebnisse mit einem mechanischen Ersatzmodell.....	47
3.3.6	Bedeutung des Tasterverhaltens.....	48
3.3.7	Integration des Tasterverhaltens in die Simulationsumgebung.....	49
4	Die Simulationsumgebung.....	51
4.1	Anforderungen an die Simulationsumgebung.....	51
4.2	Wahl der Entwicklungsbasis.....	52

4.2.1	CAD System als Basis für die Simulationsumgebung.....	53
4.2.2	Physik-Engine als Basis für die Simulationsumgebung.....	53
4.2.3	Problemspezifische Softwarelösung.....	55
4.3	Verwendete Koordinatensysteme.....	55
4.3.1	Bildschirmkoordinatensystem (BKS).....	55
4.3.2	Das Maschinenkoordinatensystem (MKS).....	56
4.3.3	Arraykoordinatensystem (AKS).....	56
4.3.4	Taster-Koordinatensystem (TKS).....	56
4.3.5	Koordinatentransformationen.....	56
4.4	Modell der Messobjekte.....	58
4.5	Kugelmodelle in der Simulationsumgebung.....	61
4.5.1	Viereck Tessellation der Kugel.....	63
4.5.2	Dreieck Tessellation der Kugelfläche.....	65
4.6	Kollisionsauswertung.....	67
4.6.1	Bestimmung der Tasterauslenkung.....	68
4.6.2	Kollisionsauswertung mit Sphären.....	69
4.6.3	Kollisionsdetektion mit tessellierten Messobjekten.....	69
4.7	Steuerung der Simulation.....	72
4.8	Dynamik und Visualisierung.....	74
4.8.1	Nutzung der Grafikeinheit.....	77
5	Simulation von Antaststrategien und Messungen.....	78
5.1	Optimierung und Verifikation von Antaststrategien.....	78
5.2	Kalibrierstrategien für das Mikrotasterarray.....	80
5.2.1	Kalibrierparameter und Ihre Bestimmung.....	81
5.2.2	Synchrone Kalibrierung an neun Kugeln.....	81
5.2.3	Sequentielle Antastkalibrierung und ihre Vorteile.....	82
5.2.4	Sequentielle Kalibrierung an neun Kugeln.....	82
5.2.5	Vollständige Sequentielle Kalibrierung.....	84
5.2.6	Sequentielle Kalibrierung an vier Kugeln.....	85
5.3	Bestimmung der Arraypose.....	87
5.3.1	Grundlegende Bedeutung der Posebestimmung.....	88
5.3.2	Kontaktfähigkeit eines Arrays.....	89
5.3.3	Ausrichtung des Arrays an eine Ebene.....	89
5.3.4	Bestimmung der Positionierparameter.....	92
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	94
6.1	Zusammenfassung.....	94
6.2	Ausblick.....	96
7	Literaturverzeichnis.....	98

8	Anhang.....	102
A	Verwendete Formelzeichen.....	102
B	Glossar und verwendete Abkürzungen.....	106
C	Modell eines Messobjektes.....	108
D	Zusätzlich implementierte Lua-Befehle.....	110
E	Tasterverhalten in x-Richtung abhängig vom Raumwinkel.....	112
F	Tasterverhalten in y-Richtung abhängig vom Raumwinkel.....	114
G	Tasterverhalten in z-Richtung abhängig vom Raumwinkel.....	116