

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der Technik bei der sensorgestützten Roboterbahnbearbeitung</b>	<b>4</b>
<b>3 Sensorsysteme zur Erzeugung von Bewegungsinformation</b>	<b>10</b>
3.1 Komponenten des Gesamtsystems	10
3.2 Anordnung der Komponenten	11
3.3 Anforderungen an ein System zur 3D-Konturverfolgung	13
3.3.1 Anforderungen an das Sensorsystem	13
3.3.1.1 Anforderungen an den Sensorkopf	13
3.3.1.2 Anforderungen an Sensorrechner und Sensorsystem	15
3.3.2 Anforderungen an das Robotersystem	17
3.3.2.1 Anforderungen an die Robotermechanik	18
3.3.2.2 Anforderungen an die Robotersteuerung	19
3.4 Physikalische Prinzipien	20
3.4.1 Nicht-optische Sensoren	22
3.4.2 Optische Sensoren	23
3.4.2.1 Eindimensionale optische Meßverfahren	23
3.4.2.2 Zweidimensionale optische Meßverfahren	26
3.4.2.3 Dreidimensionale optische Meßverfahren	27
3.5 Bewertung der Meßverfahren	29
<b>4 Konzeption eines Sensorsystems zur Konturverfolgung</b>	<b>31</b>
4.1 Konzeption eines Sensorkopfes	32
4.1.1 Mechanischer Aufbau	32
4.1.2 Optischer Aufbau	33
4.1.3 Informationstechnischer Aufbau	40

4.2	Konzeption eines Sensorrechners	41
4.2.1	Schnittstelle zum Sensorkopf	41
4.2.2	Schnittstelle zum Handhabungssystem	42
4.2.3	Verarbeitungseinheit	42
4.2.3.1	Globale Systemkonfiguration	43
4.2.3.2	Kalibrierung	43
4.2.3.3	Konturtypbeschreibung	43
4.2.3.4	Bewegungsprogrammierung	45
4.3	Konzepte zur Sensorintegration	48
4.3.1	Mechanische Integration	48
4.3.1.1	Anzahl der erforderlichen Freiheitsgrade	48
4.3.1.2	Schnelle Zusatzachsen für den Sensorkopf	49
4.3.1.3	Nutzung redundanter Freiheitsgrade	50
4.3.1.4	Erweiterung des Sensorsichtfeldes	51
4.3.1.5	Schnelle Zusatzachsen für das Werkzeug	52
4.3.2	Informationstechnische Integration	52
4.3.2.1	Integrationsstrategien	53
4.3.2.2	Schnittstellenproblematik	55
4.3.3	Werkzeug- und Prozeßintegration	57
4.4	Zusammenfassung des Gesamtkonzepts	58
<b>5</b>	<b>Bahnplanung und Bewegungsprogrammierung</b>	<b>60</b>
5.1	Vorlauf des Sensorkopfes	60
5.2	Kalibrierung des Roboter-Sensor-Systems	68
5.2.1	Interne Kalibrierung des Sensorkopfes	70
5.2.2	Externe Kalibrierung des Sensorkopfes	70
5.2.3	Werkzeugkoordinatensystem und Werkzeugkorrektur	75
5.2.4	Basiskoordinatensystem	83
5.2.5	Werkstückkoordinatensystem	84
5.3	Statische und dynamische Robotereigenschaften	84
5.3.1	Positioniergenauigkeit	85
5.3.2	Wiederholgenauigkeit	88
5.3.3	Dynamische Eigenschaften	89

5.3.4	Bahngenaugigkeit	91
5.3.5	Verbesserung der Roboter Genauigkeit	92
5.4	Bahnplanung für bewegte Werkzeuge	94
5.4.1	Konturverfolgung mit konstanter Werkzeugorientierung	94
5.4.2	Konturverfolgung mit Orientierungsvorgabe	96
5.4.3	Konturverfolgung mit Orientierungsnachführung	96
5.5	Bahnplanung für bewegte Werkstücke	97
5.5.1	Konturverfolgung mit konstanter Werkstückorientierung	101
5.5.2	Konturverfolgung mit Orientierungsnachführung	102
5.6	Vergleich der beiden Kinematikkonzepte	106
5.6.1	Bauteilspektrum	106
5.6.2	Zugänglichkeit	107
5.6.3	Mehrstufige Bearbeitungsverfahren	109
5.6.4	Timesharing	109
5.7	Konturfolgesensor als Teachhilfe zur Roboterprogrammgenerierung	110
5.7.1	Einsatzgebiete	110
5.7.2	Realisierungsmöglichkeiten	110
5.7.3	Umsetzung	112
5.8	Sicherheitsaspekte und Kollisionsbetrachtungen	114
<b>6</b>	<b>Messungen am realisierten Konturfolgesensorsystem</b>	<b>117</b>
6.1	Untersuchung der optischen Eigenschaften	119
6.1.1	Automatische Helligkeitsanpassung	119
6.1.2	Einfluß der Konturgeometrie	123
6.1.3	Einfluß der Vorschubbewegung	127
6.1.4	Störempfindlichkeit	129
6.2	Untersuchungen zur Meßgenauigkeit	130
6.2.1	Sichtbereichsvermessung	130
6.2.2	Statische Auflösung	131
6.2.3	Führungsgenauigkeit des Roboter-Sensor-Systems	132
6.2.3.1	Führungsgenauigkeit am Meßlineal	133
6.2.3.2	Auswertung von Ritzspuren	134
6.2.3.3	Bewertung von Testschweißungen	135

<b>7 Anwendungsbeispiele</b>	<b>139</b>
7.1 Laserschweißen der Kehlnaht am Überlappstoß	139
7.2 Laserschweißen von Stumpfstößen	142
7.3 Dichtungsraupenauftrag	143
7.4 Klebeverbindungen	144
7.5 Kantenschleifen, Fasen schneiden, Gußputzen	144
7.6 Laserhärten an Werkzeugen	144
7.7 Programmgenerierung zum Laserschneiden	145
7.8 Nullpunktkorrekturen bestehender Roboterprogramme	146
7.9 Bauteilinspektion und Qualitätssicherung	146
<b>8 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>147</b>
<b>9 Literaturverzeichnis</b>	<b>149</b>