

## Inhaltsverzeichnis

<b>Formelzeichen und Abkürzungen</b>	<b>10</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>14</b>
1.1 Problemstellung	14
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise	16
<b>2 Konzepte zur sensorgestützten Konturverfolgung mit Industrierobotern</b>	<b>17</b>
2.1 Begriffsbestimmungen und Gründe für den Sensoreinsatz	17
2.2 Analyse bekannter Sensorführungen für Industrieroboter	21
2.2.1 Steuerungsschnittstellen zur Verarbeitung von Sensordaten	21
2.2.2 Konventionelle Sensorregelkreise	23
2.2.3 Gesteuerte Bahnführung mit vorlaufendem Sensor	23
2.2.4 Hochdynamische Zusatzachsen	26
2.2.5 Bewertung der Bahnführungsstrategien	26
2.3 Optische Sensorik zur 3D-Bahnführung	27
2.3.1 Abgrenzung zu nichtoptischen Meßprinzipien	27
2.3.2 Klassifikation optischer Bahnführungssensoren	29
2.3.3 Signalverarbeitungsstrategien zur Konturlagedetektion	33
2.3.4 Anforderungen an eine Sensorik zur schnellen Konturverfolgung	34
2.3.4.1 Anforderungen aus der Sicht des Anwenders	34
2.3.4.2 Erarbeitung der Anforderungen an die zeitlichen Kenngrößen eines Sensorsystems	36
2.3.5 Analyse des Potentials relevanter Sensormeißprinzipien zur schnellen Konturerfassung	39
2.3.5.1 Punktuell abtastende Meßverfahren	39
2.3.5.2 Bildwandler als Basisbausteine parallel operierender Abtastmeßprinzipien	41
2.3.5.3 Stereoskopische Verfahren	42
2.3.5.4 Bildverarbeitung mit partiell strukturierter Auflichtbeleuchtung	43
2.3.5.5 Lichtschnittverfahren	44
2.3.5.6 Bewertung der vorgestellten Meßprinzipien	48
2.4 Zusammenstellung der erforderlichen Untersuchungen und Entwicklungen	50

<b>3</b>	<b>Erarbeitung und Untersuchung der Einsatzgrenzen eines Konturverfolgungssystems mit vorlaufendem Lichtschnittsensor</b>	<b>52</b>
3.1	Erreichbare Bahngeschwindigkeiten	52
3.1.1	Bahnplanungsbedingung	52
3.1.2	Maximal zulässige Richtungsänderungen	54
3.1.3	Minimal zulässiger Bahnkrümmungsradius	58
3.2	Erreichbare Bahngenauigkeiten	59
3.2.1	Ursachen für Bahnfehler beim vorlaufenden Sensor	59
3.2.2	Einfluß von Kinematik-, Mechanik- und Sensormeßfehlern auf die Bahngenauigkeit	61
<b>4</b>	<b>Konzeption eines schnellen, flexiblen Lichtschnittsensormesssystems</b>	<b>65</b>
4.1	Untergliederung in konfigurierbare Funktionseinheiten	65
4.2	Methodisches Vorgehen zur Auslegung des Sensoraufbaus	66
4.3	Zeitoptimale Bilderfassung mit einem Frametransfer-CCD	68
<b>5</b>	<b>Adaptive Belichtungsverfahren für Lichtschnittsensoren</b>	<b>70</b>
5.1	Einflußfaktoren auf die Dynamik der Bildsensordaten	70
5.2	Strategien zur adaptiven Bildaussteuerung	72
5.3	On-line-Erfassung des Belichtungszustandes	73
5.4	Versuchsaufbau zur On-line-Erfassung des Belichtungszustandes	75
5.5	Adaption der Belichtungszeit und automatische Mehrfachbelichtung	77
<b>6</b>	<b>Strategien zur schnellen, mehrdimensionalen Signalverarbeitung</b>	<b>83</b>
6.1	Datenreduktion zur Redundanzvermeidung	83
6.2	Plausibilitätskontrolle der komprimierten Meßdaten	86
6.3	Schnelle Transformation von Kamera- in Sensorkoordinaten	90
6.4	Schnelle Konturlagenbestimmung in drei Freiheitsgraden	94
6.4.1	Entwicklung eines universellen Basisalgorithmus	94
6.4.2	Kombinierte Auswertung von Geometrie- und Grauwertdaten	100
6.4.3	Experimentelle Ergebnisse zur Konturlagenbestimmung	100
<b>7</b>	<b>Beispielhafte Systemrealisierungen</b>	<b>104</b>
7.1	Erstellte Hard- und Softwarekomponenten	104
7.2	Experimentelle Erprobung der Konturverfolgung	107

7.3	Einsatzpotential einer Lichtschnittsensorik zur Programmierung von 3D-Laserbearbeitungen	113
8	Zusammenfassung und Ausblick	116
	Literatur	119
	Anhang	129