

# Inhaltsverzeichnis

<b>Verzeichnis verwendeter Formelzeichen</b>	<b>VI</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Abgrenzung des Themengebietes	1
1.2 Entwicklung der industriellen Lasertechnik	2
<b>2 Laserquellen</b>	<b>4</b>
2.1 Physikalische Grundlagen	5
2.2 Optische Resonatoren	7
2.2.1 Stabile Resonatoren	8
2.2.2 TEM <sub>mn</sub> -Moden	8
2.2.3 Instabile Resonatoren	9
2.3 Kohlendioxid-Laser	10
2.3.1 Gasströmung	11
2.3.2 Anregung	12
2.4 Neodym-Laser	13
2.4.1 Matrixmaterialien	14
2.4.2 Geometrie des aktiven Mediums	15
2.4.3 Anregung	16
2.5 Perspektiven neuer Strahlquellen für die Laserrobotik	16
<b>3 Laser-Bearbeitungsverfahren</b>	<b>17</b>
3.1 Trennen	18
3.1.1 Schneiden	18
3.1.1.1 Lasersublimierschneiden	20
3.1.1.2 Laserschmelzschneiden	20
3.1.1.3 Laserbrennschneiden	21
3.1.1.4 Nahtvorbereitung durch Laserschneiden	22

3.1.1.5 Prozeßmodell zum Laserbrennschneiden	22
3.1.2 Bohren	25
3.1.3 Material Abtragen	26
3.2 Fügen	26
3.2.1 Schweißen	27
3.2.2 Löten	29
3.3 Oberflächenbehandeln	30
3.3.1 Stoffumlagerung	30
3.3.2 Stoffeinbringung	31
3.3.3 Auftragsschweißen	31
3.3.4 Markieren	31
<b>4 Anlagen zur räumlichen Bearbeitung</b>	<b>32</b>
4.1 Einleitung	32
4.1.1 Gasversorgung	33
4.2 Kartesische Systeme	34
4.3 Knickarmroboter	36
4.3.1 Übertragung durch Lichtleitfasern	37
4.3.2 Externe Spiegel-Strahlführung	38
4.3.3 Interne Strahlführung	41
4.3.4 Sondersysteme	42
4.4 Strahlformung	43
4.4.1 Linsen	43
4.4.2 Spiegel	45
4.4.3 Lichtleitfasern	48
4.4.4 Charakterisierung des Laserstrahls	49
4.4.5 Strahldiagnostik	53
4.5 Sensorsysteme	55
4.5.1 Abstandssensoren	55
4.5.2 Nahtfolgesensoren	56
4.5.3 Prozeßsensoren	58
4.5.4 Schnittstellen	59

<b>5 Rechnergestützte Hilfsmittel</b>	<b>61</b>
5.1 Kinematische Simulation	62
5.1.1 Entwicklungsumgebung	62
5.1.2 Simulation eines Roboters mit gekoppelter Kinematik	64
5.1.3 Arbeitsraumbestimmung	67
5.1.4 Offline-Programmierung	68
5.2 Wissensbasierte Datenbank	69
5.2.1 Werkstattorientierte Technologiedatenbank	70
5.2.2 Katalog	71
5.2.3 Berechnung	72
5.2.3.1 Filterung geeigneter Datensätze	72
5.2.3.2 Approximation	73
5.2.3.3 Berechnung der empfohlenen Parameter	74
<b>6 Experimentelle Untersuchungen an Prototypen</b>	<b>77</b>
6.1 CO2-Laserroboter	77
6.1.1 Anlagenbeschreibung	77
6.1.2 Schnittstelle Laser-Robotersteuerung	79
6.1.3 Auslegung der Arbeitsgasleitung	80
6.1.4 Strahlanalyse am Laser Trumpf TLF 5000	82
6.1.5 Bestimmung der Fokuslage	85
6.2 Robotergeführte Laserstrahlschnitte	91
6.2.1 Parameterbeschreibung beim Schneiden	91
6.2.2 Optimierungsziele	92
6.2.3 Richtungsabhängigkeit der Bearbeitung (Versuch 1)	93
6.2.4 Einfluß der Düsenorientierung	94
6.2.5 Variation von Prozeßparametern	96
6.2.6 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	102
6.3 Sensorgeführtes Kehlnahtschweißen an Überlappstößen	104
6.3.1 Der verwendete Nahtfolgesensor	104
6.3.2 Regelkonzept für vorlaufende Sensoren	105
6.3.3 Programmierung des OLDELFT-Seampilot	107

6.3.4 Einfluß des Kamerawinkels	108
6.3.5 Vorversuche an St 12-03	108
6.3.6 Überlappkehlnähte	111
6.4 Spektrale Analyse des Schweißplasmas	118
6.5 Kombiniertes Schneiden und Schweißen	122
6.6 Dynamische Untersuchungen am Knickarm-Laserroboter	126
6.6.1 Schwingungsuntersuchungen	126
6.6.1.1 Messungen am Fokussierspiegel	126
6.6.1.2 Messungen am Faltspiegel des Laserresonators	130
6.6.2 Untersuchungen zur Kreisbahngenaugkeit	132
6.6.3 Ergebnisse	132
6.7 Dynamische Untersuchungen an einem Laser-Portalroboter	136
6.7.1 Betriebsmessungen	137
6.7.2 Nachgiebigkeitsfrequenzgänge	140
6.7.3 Experimentelle Modalanalyse	140
6.7.4 Verbesserungsmaßnahmen	145
6.7.4.1 Erhöhung der dynamischen Steifigkeit	145
6.7.4.2 Verringerung der Erregungskräfte	146
6.7.5 Zusammenfassung	146
6.8 Nd:YAG-Laserroboter	147
6.8.1 Planung und Ausgestaltung	147
6.8.2 Integration in die rechnergeführte Produktion	149
6.8.3 Anwendungen	151
6.8.4 Resumé	151
<b>7 Kosten- und Energiebilanz</b>	<b>152</b>
7.1 Einleitung	152
7.2 Vergleich zwischen CO <sub>2</sub> - und Nd:YAG-Laserrobotern	152
7.3 Bedeutung der Verfügbarkeit	158
7.4 Energiewirtschaftliche Betrachtung	159

<b>8 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>161</b>
<b>9 Literaturverzeichnis</b>	<b>163</b>