

Formelzeichen und Abkürzungen.....	VIII
1. Einleitung	1
2. Stand von Technik und Wissen.....	2
2.1 Technik des Materialabtrages mittels Laserstrahlung	2
2.1.1 Einteilung der abtragenden Fertigungsverfahren.....	2
2.1.2 Abtragsmechanismen.....	5
2.1.3 Strahlquellen, Betriebsarten und Anlagentechnik.....	7
2.1.4 Untersuchungsergebnisse und realisierte Anwendungen.....	11
2.2 Physikalische Grundlagen des Abtragsprozesses.....	14
2.2.1 Strahlungsabsorption	15
2.2.2 Wärmeleitung.....	17
2.2.3 Materialaustrieb	18
2.2.4 Gefügebeeinflussung und Oxidation.....	21
2.2.5 Entstehung und Auswertung der Prozeßstrahlung.....	21
2.2.6 Prozeßgaszufuhr und Düsenbauarten	23
3. Aufgabenstellung	25
4. Versuchstechnik.....	26
4.1 Zielsetzung der Untersuchungen.....	26
4.2 Versuchsmaschinen und -aufbauten	27
4.2.1 pm-Nd:YAG-Strahlquellen mit Festoptik	28
4.2.2 Gütegeschalteter Nd:YAG-Laser mit Scanneroptik.....	29
4.2.3 Strahlquellencharakteristik.....	30
4.3 Versuchswerkstoff	31
4.4 Zufuhr von Prozeßgasen	32
4.5 Abtragsstrategie.....	33
4.6 Erfassung von Prozeßsignalen.....	35
4.6.1 Aufnahme der Prozeßstrahlung mittels Photodioden.....	35
4.6.2 Temperaturerfassung mittels Pyrometer und Thermoelementen ..	36
4.6.3 Prozeßbeobachtung mittels Kurzzeitkamera.....	36
4.7 Auswertung	36
4.7.1 Bestimmung von Abtragsraten und Geometrie	37
4.7.2 Metallographische Untersuchungen.....	37
4.7.3 Fehlerbetrachtungen.....	37

5.	Versuchsergebnisse zum Materialabtrag	39
5.1	Punktuelle Abtrag	39
5.1.1	Punktuelle Abtrag durch Einzelpulse	39
5.1.2	Abtrag durch Pulsfolgen und äquidistanten Versatz	42
5.2	Untersuchungen zum Flächenabtrag	43
5.2.1	Betrachtungen zum Verfahrensablauf.....	44
5.2.2	Einfluß von Leistungs- und Energiedichte	46
5.2.3	Vorschubgeschwindigkeit, Pulsüberdeckung und Versatz.....	51
5.2.4	Einfluß der Prozeßgaszufuhr	54
5.2.5	Sauerstoffgestützter Flächenabtrag	56
5.2.6	Abtrag mit gütegeschaltetem Nd:YAG-Laser	61
5.2.7	Mehrstufen-Bearbeitung und Glättung	64
5.2.8	Abtragsgeometrie, Form- und Winkelabweichungen	67
5.2.9	Werkstoffbeeinflussung.....	69
5.2.10	Auswertung der Prozeßstrahlung.....	70
5.3	Abtrag von Volumenelementen.....	72
5.3.1	Abtrag von Einzelnuten.....	72
5.3.2	Ein-Lagen-Abtrag	75
5.3.3	Mehr-Lagen-Abtrag	76
5.3.4	Glättung.....	78
6.	Modellentwicklung zum Laserstrahlabtrag	80
6.1	Leistungsbilanz für den flächigen Abtrag.....	80
6.2	Einfluß der Pulsparameter beim punktuellen Abtrag	83
7.	Verfahrensoptimierung	89
7.1	Anwendungsbezogene Parameterfindung	89
7.2	Spezialdüse zur Verbesserung des Werkstoffaustriebs	92
7.2.1	Bauform	92
7.2.2	Bestimmung des Strömungsprofils (L2F-Verfahren)	93
7.2.3	Bearbeitungsergebnisse	95
7.3	Aufbau zur on-line-Prozeßbeobachtung	95
7.3.1	Systembeschreibung.....	95
7.3.2	Ergebnisse zur Prozeßbeobachtung.....	97

8. Folgerungen für die Praxis	99
8.1 Vergleichende Bewertung der untersuchten Abtragsverfahren	99
8.2 Anlagenkonzepte und Systemtechnik.....	100
8.3 Mögliches Werkstoff- und Anwendungsspektrum.....	101
8.3.1 Bearbeitung von Formbaustählen	101
8.3.2 Herstellung von ED-Graphitelektroden	102
8.3.3 Einbringung tribologisch wirksamer Oberflächenstrukturen.....	103
8.3.4 Laserstrahl-Massenabtrag	105
8.4 Vergleich und Kombination mit alternativen Abtragsverfahren.....	106
8.4.1 Spanende Bearbeitung	107
8.4.2 Funkenerosive Bearbeitung	107
8.4.3 Wasserstrahlverfahren.....	108
8.4.4. Plasmaabtragen	109
8.4.5. Brennfugen.....	109
8.5 Zukünftige Entwicklungen	109
9. Zusammenfassung.....	111
10. Literatur.....	113