

Inhalt

1	Motivation, Zielsetzung und Vorgehensweise	1
2	Stand von Wissenschaft und Technik	5
2.1	Thermooptische Effekte	5
2.1.1	Temperatur- und wellenlängenabhängiger Brechungsindex	7
2.1.2	Lorentz-Lorenz-Gleichung	8
2.2	Kompensationsmethoden und Materialparameter	10
2.3	Simulation thermooptischer Effekte	13
2.3.1	Simulation basierend auf der Kopplung von FEA und Strahlenoptik	14
2.3.2	Simulation basierend auf wellenoptischen Methoden	18
2.4	Messmittel zur Bestimmung der Fokusverschiebung	19
2.4.1	Messmittel nach ISO-Norm 11146	19
2.4.2	Weitere Messmittel	20
2.5	Bestimmung des Absorptionsgrads	21
2.5.1	Spektrale Photometrie	22
2.5.2	Photothermale Messverfahren	23
2.5.3	Kalorimetrie	25
2.6	Ultrakurze Laserpulse	26
2.6.1	Yb:YAG-basierte Lasersysteme	26
2.6.2	Dispersive Effekte	27
2.6.3	Erzeugung hoher Harmonischer	29
2.7	Defizite im Stand von Wissenschaft und Technik	31
3	Methoden zur thermooptischen Simulation	33
3.1	Definition thermischer Lasten und Randbedingungen	34
3.1.1	Thermische Lasten durch Absorption von Laserstrahlung	34
3.1.2	Thermische und mechanische Randbedingungen	36
3.2	Thermische Oberflächendeformation	36
3.2.1	Aufbereitung der Finite-Elemente-Daten	37
3.2.2	Approximation der Deformationsdaten	38
3.3	Analytisches Modell	39
3.3.1	Temperaturprofil	39
3.3.2	Oberflächendeformation	41
3.4	Verifikation der Algorithmen	42

3.4.1	RMS-Fehler der Approximation	43
3.4.2	Abweichung der Fokusslage	44
3.4.3	Wellenfrontabweichung	45
3.5	Einfluss der FE-Netzstruktur	48
3.5.1	Klassifikation der Netzstrukturen	49
3.5.2	Qualitätskriterien zur Beurteilung der Vernetzung	50
3.5.3	Einfluss auf die optischen Größen	51
3.6	Gleichzeitige Berücksichtigung thermischer und dispersiver Effekte	54
3.6.1	Multiphysikalischer Simulationsansatz	54
3.6.2	Auswertung der Strahlkaustik	58
3.7	Transiente Analyse und thermische Lastfälle	60
4	Experimentelle Methoden	61
4.1	Photothermale Common-Path-Interferometrie	61
4.2	Thermografie	62
4.3	Bestimmung von Fokusslage und -verschiebung	63
4.4	Versuchsaufbau und -durchführung	65
4.4.1	Charakterisierung der variablen Fokussieroptik	65
4.4.2	Charakterisierung der Kunststofflinse	66
5	Analyse und Auslegung von thermisch belasteten Optiken	69
5.1	Optiken für das Selective Laser Melting (SLM)	69
5.1.1	Variable Fokussieroptik	69
5.1.2	Transiente Fokusverschiebung beim SLM	76
5.2	Kunststoffoptiken für Laseranwendungen	87
5.2.1	Experimentelle und simulative Charakterisierung einer Asphäre aus PMMA	87
5.2.2	Iterative Optimierung der Form der Asphäre	94
5.3	Optiken zur Erzeugung hoher Harmonischer mittels ultrakurzen Laserpulsen	98
5.3.1	Auslegung der Fokussieroptiken	99
5.3.2	Thermomechanische Analyse	102
5.3.3	Einfluss thermooptischer und dispersiver Effekte auf die Fokussierung ultrakurzer Laserpulse	103
6	Zusammenfassung und Ausblick	107
7	Literaturverzeichnis	111
8	Anhang	119
8.1	Thermooptischer Koeffizient	119
8.2	Lorentz-Lorenz-Gleichung	119
8.3	Vermessung eines astigmatischen Gaußstrahls über Detektion der Rayleigh-Streuung	121

8.4	Spektrale Verbreiterung durch Selbstphasenmodulation	122
8.5	APDL-Code zur Definition thermischer Lasten	123
8.6	Radiale Wärmeleitungsgleichung mit gaußförmiger Last	124
8.7	Parameter für den WLS-Algorithmus	126
8.8	Multiphysikalischer Simulationsansatz	127
8.9	Berechnung des Strahlradius	128
8.10	Strahlkaustiken PMMA-Asphäre	129