

# Inhalt

Kurzfassung . . . . .	IX
Abstract . . . . .	XI
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Dynamisch-thermisch-optische Simulation . . . . .	3
1.2 Ziele und Aufbau der Arbeit . . . . .	6
<b>2 Grundlagen der mechanischen und thermischen Modellierung</b>	<b>11</b>
2.1 Grundlagen der transienten mechanischen Systemmodellierung und -analyse	11
2.1.1 Starre Mehrkörpersysteme . . . . .	12
2.1.2 Strukturdynamische Finite Elemente Analyse . . . . .	14
2.1.3 Modellreduktion durch Projektion . . . . .	16
2.1.4 Elastische Mehrkörpersysteme . . . . .	18
2.1.5 Transiente Spannungsanalyse . . . . .	21
2.2 Grundlagen der Thermoelastischen Systemmodellierung . . . . .	23
2.2.1 Thermische Finite Elemente Analyse . . . . .	23
2.2.2 Berücksichtigung der Thermoelastizität in der Finite Elemente Analyse	25
2.2.3 Besonderheiten in der numerischen Umsetzung . . . . .	26
<b>3 Grundlagen der optischen Systemmodellierung und Analyse</b>	<b>29</b>
3.1 Physikalische Lichtmodelle . . . . .	29
3.1.1 Strahlenoptik . . . . .	31
3.1.2 Wellenoptik . . . . .	33
3.2 Eigenschaften optischer Linsensysteme . . . . .	36
3.3 Strahlverfolgung in homogenen Medien . . . . .	38

3.3.1	Beschreibung eines Lichtstrahls . . . . .	39
3.3.2	Kontinuierliche Beschreibung von Oberflächen . . . . .	40
3.3.3	Schnittpunktsbestimmung zwischen Strahlen und Oberflächen . . . .	43
3.3.4	Änderung der Strahlrichtung an einer optischen Oberfläche . . . . .	46
3.4	Strahlverfolgung durch Medien mit positionsabhängigem Brechungsindex .	47
3.4.1	Numerische Lösung der Strahlengleichung . . . . .	48
3.4.2	Berechnung der Strahlposition und Strahlrichtung an der Rückseite eines inhomogenen Elements . . . . .	50
3.5	Repräsentation von Laserstrahlen mittels Gaußscher Bündel . . . . .	51
3.5.1	Modellierung Gaußscher Bündel . . . . .	54
3.6	Analyse des Abbildungsverhaltens optischer Systeme . . . . .	59
3.6.1	Optische Bildfehler . . . . .	60
3.6.2	Zernike-Polynome . . . . .	61
3.6.3	Berechnung der Wellenfrontfehler . . . . .	63
3.6.4	Bewertung des Auflösungsvermögens optischer Systeme . . . . .	67
3.6.5	Bildsimulation mithilfe der Fourier-Optik . . . . .	68
<b>4</b>	<b>Positions- und richtungsabhängiger Brechungsindex</b>	<b>71</b>
4.1	Spannungsoptische Effekte . . . . .	71
4.1.1	Beschreibung der Polarisation mittels Jones-Vektoren . . . . .	75
4.1.2	Strahlverfolgung in Linsen mit inneren mechanischen Spannungen .	77
4.2	Thermo-optische Effekte . . . . .	81
<b>5</b>	<b>Dynamisch-thermisch-optische Kopplung</b>	<b>83</b>
5.1	Simulationsablauf . . . . .	84
5.2	Kinematik optischer Oberflächen . . . . .	87
5.3	Approximation deformierter Oberflächen . . . . .	90
5.3.1	Berechnung der Referenzfläche deformierter Oberflächen . . . . .	92
5.3.2	Polynomapproximation deformierter Oberflächen . . . . .	96
5.4	Zusammenhang thermischer und mechanischer Systemeinflüsse . . . . .	101
5.4.1	Der Zusammenhang mechanischer und thermischer Anregungen . .	101

Inhalt

VII

5.4.2

Der Zusammenhang mechanischer und thermischer Deformationen .

102

5.4.3

Berücksichtigung von Brechungsindexänderungen . . . . .

104

5.5

Implementierung eines Laserstrahls als Wärmequelle . . . . .

104

5.5.1

Deformation des thermischen Finite Elemente Netzes aufgrund me-  
chanischer Anregung . . . . .

105

5.5.2

Wärmestrom eines Gaußschen Bündels in optischen Linsen . . . . .

106

5.6

Approximation der Brechungsindexvariation . . . . .

114

5.6.1

Inhomogener Brechungsindex in deformierten Elementen . . . . .

116

5.6.2

Schnittstellendatenerzeugung bei inhomogenem Brechungsindex . .

117

5.6.3

Schnittstellendatenerzeugung bei anisotropem Brechungsindex . . .

123

6

Systemanalysen mit positionsabhängigem Brechungsindex

127

6.1

OM-Sim . . . . .

127

6.2

Spannungsoptische Analyse einer Einzelkomponente . . . . .

129

6.2.1

Analyse der Eigenmoden . . . . .

131

6.2.2

Transiente Analyse der Einzelkomponente . . . . .

137

6.3

Dynamisch-thermoelastisch-optische Analyse eines Objektivs . . . . .

140

6.3.1

Systemmodellierung . . . . .

140

6.3.2

Dynamisch-thermoelastisch-optische Systemanalyse . . . . .

144

7

Zusammenfassung und Ausblick

151

Anhang

155

A.1

Transformation globaler Koordinaten eines Finite Elemente Netzes in lokale  
Koordinaten . . . . .

155

A.2

Herleitung der neuen Strahlrichtung bei Brechung eines Lichtstrahls an  
einer Oberfläche . . . . .

155

Formelzeichen und Notation

157

Literaturverzeichnis

165