

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen optischer Komponenten</b>	<b>4</b>
2.1	Strahlenoptik	4
2.1.1	Reflexion und Brechung	5
2.1.2	Matrixschreibweise	6
2.1.3	Strahlenoptik im Raytracing-Programm	7
2.2	Wellenoptik	8
2.2.1	Mathematische Beschreibung	8
2.2.2	Gaußstrahlen	9
2.2.3	Beugung und Auflösungsgrenze	10
2.2.4	Quasioptik	11
2.2.5	Wellenoptik im Raytracing-Programm	12
2.3	Abbildende Bauelemente	12
2.3.1	Sphärische Linsenformen	13
2.3.2	Abbildungsfehler	14
2.3.3	Optimierte Linsenformen	15
2.4	Dielektrische Wellenleiter	17
2.4.1	Dispersion und Dämpfung	17
2.4.2	Kreisförmige Wellenleiter und Koppler	18
2.4.3	Rechteckförmige Wellenleiter und Mehr-Moden-Interferenz	20
<b>3</b>	<b>Grundlagen der Terahertz-Messtechnik</b>	<b>22</b>
3.1	Terahertz-Systeme	22
3.1.1	Dauerstrichstrahlung aus elektronischen Quellen	23
3.1.2	Gepulste Strahlung aus optoelektronischen Quellen	24
3.2	Photoleitende Antennen	25
3.2.1	Aufbau der Antennen	26
3.2.2	Erzeugung von THz-Pulsen	27
3.2.3	Detektion von THz-Pulsen	29
3.3	Quasioptische Komponenten	31
3.3.1	Substratlinsen	31
3.3.2	Linse und Hohlspiegel	33
3.3.3	Herstellung und Materialien quasioptischer Komponenten	35
3.3.4	Entwurfsprogramme	35
3.4	Terahertz-Zeitbereichsspektroskopie	38
3.4.1	Auswertung im Zeitbereich	38
3.4.2	Auswertung im Frequenzbereich	39

3.5	Bildgebende Messungen mit THz-Wellen . . . . .	42
3.5.1	Darstellungsformen von THz-Bildern . . . . .	43
3.5.2	Zerstörungsfreie Messungen mit THz-Wellen . . . . .	44
<b>4</b>	<b>Optimierung von Terahertz-Systemen</b>	<b>45</b>
4.1	Halbleiterdiodenlaser zur Erzeugung gepulster THz-Strahlung . . . . .	45
4.1.1	Erzeugung von Femtosekunden-Laserpulsen . . . . .	46
4.1.2	Berechnung der erzielbaren THz-Bandbreite . . . . .	47
4.1.3	Generation gepulster THz-Strahlung . . . . .	49
4.2	Weiterentwicklung quasioptischer Komponenten . . . . .	51
4.3	Aufbau eines Mehrkanal-Systems . . . . .	52
4.3.1	Abbildungskonzepte . . . . .	52
4.3.2	Linsendesign . . . . .	54
4.3.3	Berücksichtigung von Beugungseffekten . . . . .	55
4.3.4	Vergleich: Simulation versus Messung . . . . .	57
4.3.5	Zylinderlinsen . . . . .	58
4.3.6	Parallele Messungen . . . . .	59
4.4	Leistungsaufteilung auf mehrere Empfänger . . . . .	60
4.4.1	Freistrahlskonfiguration . . . . .	61
4.4.2	Wellenleiter . . . . .	62
4.4.3	3 dB-Koppler und Splitter . . . . .	64
4.4.4	Exkurs: Endoskop . . . . .	67
4.5	Entwicklung eines THz-Scannersystems . . . . .	68
4.5.1	Aufbau des Linsensystems . . . . .	68
4.5.2	Erprobung des Scannersystems . . . . .	69
4.6	Ausblick: Neuartige Linsenkonzepte . . . . .	71
4.6.1	Linse mit variabler Brennweite . . . . .	71
4.6.2	Linse mit erhöhter numerischer Apertur . . . . .	73
<b>5</b>	<b>Weiterentwicklung der Messdatenaufnahme und -auswertung</b>	<b>76</b>
5.1	Erhöhung der Messgeschwindigkeit (Fastscan) . . . . .	76
5.1.1	Linienscans bei fester Zeitverzögerung . . . . .	77
5.1.2	Zweipunkt-Messungen zu zwei Zeitpunkten . . . . .	78
5.1.3	Fastscans bei fester Zeitverzögerung . . . . .	79
5.2	Bestimmung der lokalen Extremwerte des Signals . . . . .	80
5.2.1	Minimierung des Rauschens . . . . .	82
5.2.2	Auffinden der Extrema . . . . .	83
5.2.3	Beurteilung / Qualifizierung der Extrema . . . . .	84
5.2.4	Zwei Beispiele für die Anwendung des Algorithmus . . . . .	86
<b>6</b>	<b>Terahertz-Systeme in der zerstörungsfreien Messtechnik</b>	<b>88</b>
6.1	Detektion nichtmetallischer Fremdkörper . . . . .	88
6.1.1	Intensitätstransmissionsbilder von Einschlüssen in Schokolade . . . . .	89
6.1.2	Ausbreitung des THz-Signals durch einen Fremdkörper . . . . .	90

6.1.3	Detektion von Fremdkörpern in Schokolade . . . . .	94
6.2	Orientierungsanalyse in verstärkten Kunststoffen . . . . .	96
6.2.1	Beispiele für doppelbrechende Materialien im THz-Bereich . . . . .	97
6.2.2	Feldtheoretische Betrachtung . . . . .	98
6.2.3	Doppelbrechung zur Orientierungsanalyse . . . . .	101
6.2.4	Faserorientierung in Kunststoffen . . . . .	105
6.2.5	Exkurs: Bestimmung des Fasergehaltes und Orientierungsgrades . . . .	107
6.3	Bestimmung der Materialfeuchte . . . . .	110
6.3.1	Einfluss der Materialfeuchte auf den THz-Puls . . . . .	111
6.3.2	Dielektrische Funktion von freiem Wasser . . . . .	111
6.3.3	Dielektrische Eigenschaften von Mischungen . . . . .	113
6.3.4	Pflanzenphysiologische Untersuchungen . . . . .	113
6.3.5	Einlagerung von Wasser in Kunststoffen . . . . .	119
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>126</b>
<b>A</b>	<b>Linienkoeffizienten</b>	<b>129</b>
<b>B</b>	<b>Verzeichnis häufig verwendeter Abkürzungen</b>	<b>130</b>
<b>C</b>	<b>Aufstellung der Formelzeichen</b>	<b>131</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>133</b>
	<b>Liste der Veröffentlichungen</b>	<b>143</b>