

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Grundlagen optischer Komponenten	4
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
3 Grundlagen der Terahertz-Messtechnik	22
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 Linsen 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
4 Optimierung von Terahertz-Systemen	45
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 Freistrahlkonfiguration	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
5 Weiterentwicklung der Messdatenaufnahme und -auswertung	76
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
6 Terahertz-Systeme in der zerstörungsfreien Messtechnik	88
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
7	Zusammenfassung und Ausblick	126
A	Linsenkoeffizienten	129
B	Verzeichnis häufig verwendeter Abkürzungen	130
C	Aufstellung der Formelzeichen	131
	Literaturverzeichnis	133
	Liste der Veröffentlichungen	143