

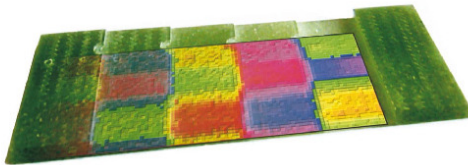


Kai Baaske (Autor)

## Zerstörungsfreie Prüfung von faserverstärkten Kunststoffen mit der Dauerstrich THz-Spektroskopie

Kai Baaske

**Zerstörungsfreie Prüfung von  
faserverstärkten Kunststoffen mit  
der Dauerstrich THz-Spektroskopie**



Cuvillier Verlag Göttingen  
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/339>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany  
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Polymere</b>	<b>10</b>
2.1. Polyolefine	10
2.1.1. Herstellung thermoplastischer Polymere	11
2.1.2. Extrusion	12
2.1.3. Spritzgießen	13
2.1.4. Schmelzschweißen	14
2.2. Faserverstärkte Kunststoffe und Sandwichbauteile	15
2.2.1. Epoxidharze	16
2.2.2. Faserwerkstoffe	18
2.3. Gewebearten	22
2.3.1. Gewebe	22
2.3.2. Matten und Vliese	23
2.4. Fertigungsverfahren	23
2.5. Messtechniken zur Qualitätssicherung	26
2.5.1. Zerstörende Prüftechniken	26
2.5.2. Zerstörungsfreie Prüftechniken	29
2.5.3. Dielektrische Spektroskopie	35
2.5.4. IR-Spektroskopie	37
2.5.5. Raman-Spektroskopie	40
2.5.6. Mikrowellen-Spektroskopie	42
<b>3. Grundlagen der Dauerstrich THz-Messtechnik</b>	<b>44</b>
3.1. Photomischung	44
3.1.1. Photomischer	46
3.1.2. Inkohärente Detektoren	49
3.2. Kohärente Detektion	50
3.3. Dauerstrich THz-Spektrometer	52
3.3.1. Freistrahlenspektrometer	52
3.3.2. Fasergekoppeltes cw-Spektrometer	54
3.3.3. Zwei-Farben Lasersystem	55
3.3.4. Fasergekoppelte Antennen	57
3.4. Datenaufnahme	62

3.5.	Datenauswertung . . . . .	64
3.5.1.	Bestimmung von Amplitude und Phase . . . . .	64
3.5.2.	Materialparameter . . . . .	69
3.5.3.	Vergrößerung des Eindeutigkeitsbereiches des Signals . . . . .	72
3.5.4.	Bestimmung der Probendicke . . . . .	74
3.5.5.	Dickenbestimmung mit 3-Farben Interferometrie . . . . .	75
3.5.6.	Kontrastoptimierung und Filterung . . . . .	76
3.6.	Grundlagen der Materialuntersuchungen . . . . .	80
3.6.1.	Bestimmung des Faservolumengehaltes . . . . .	80
3.6.2.	Schlagschädigung bei faserverstärkten Kunststoffen . . . . .	81
3.6.3.	Doppelbrechung . . . . .	82
3.6.4.	Schweißgüte von Kunststoffschweißnähten . . . . .	83
<b>4.</b>	<b>Experimentelle Ergebnisse</b>	<b>87</b>
4.1.	Faserverbundbauteile . . . . .	87
4.1.1.	Bestimmung des Faservolumengehaltes . . . . .	87
4.1.2.	Flächenförmige Einschlüsse in GFK . . . . .	91
4.1.3.	Impact . . . . .	94
4.1.4.	Sandwichproben . . . . .	96
4.1.5.	Naturfaserverbunde . . . . .	98
4.2.	Bauteile aus Polyolefinen . . . . .	100
4.2.1.	Schweißgüte . . . . .	100
4.2.2.	Differenzierung von Fremdkörpern in verschweißten PE-Bauteilen . . .	102
<b>5.</b>	<b>Parametrische cw-THz-Quelle</b>	<b>105</b>
5.1.	Einleitung . . . . .	105
5.1.1.	Wellenoptik . . . . .	106
5.1.2.	Parameter von Gaußstrahlen . . . . .	108
5.1.3.	Optische Verstärkung . . . . .	109
5.1.4.	Quantenfilme . . . . .	110
5.1.5.	Resonatoren . . . . .	111
5.1.6.	Stabilität . . . . .	112
5.1.7.	Hemisphärischer Resonator . . . . .	112
5.2.	Optische Komponenten . . . . .	113
5.2.1.	Etalon . . . . .	113
5.2.2.	Brewster-Fenster . . . . .	115
5.2.3.	Bragg-Spiegel . . . . .	116
5.2.4.	Mikrokavität . . . . .	116
5.3.	VECSEL . . . . .	117
5.3.1.	Aufbau . . . . .	117
5.3.2.	Funktionsweise . . . . .	117
5.3.3.	Aktive Zone . . . . .	119
5.3.4.	Thermischer Einfluss und spektrale Eigenschaften . . . . .	120

---

5.3.5.	Materialsysteme . . . . .	121
5.3.6.	Resonatoraufbau . . . . .	123
5.3.7.	Weitere Bauformen . . . . .	124
5.3.8.	Anwendungen . . . . .	125
5.3.9.	Vergleich zu Kantenemittern . . . . .	126
5.4.	Nichtlineare Optik . . . . .	126
5.4.1.	Parametrische Frequenzkonversionen . . . . .	127
5.5.	Analytische Beschreibung der Differenzfrequenzzeugung . . . . .	130
5.5.1.	Ratengleichung (kollineare Anordnung) . . . . .	130
5.5.2.	Allgemeine Propagationsrichtungen . . . . .	132
5.6.	Phasenanpassung . . . . .	133
5.6.1.	Phasenanpassung über Doppelbrechung . . . . .	134
5.6.2.	Quasi-Phasenanpassung . . . . .	135
5.7.	Realisierung eines Zwei-Farben VECSELS . . . . .	136
5.7.1.	Technische Daten . . . . .	136
5.7.2.	Aufbau . . . . .	137
5.7.3.	Zwei-Farben Emission . . . . .	139
5.7.4.	Notwendige Bedingungen für DFG . . . . .	141
5.8.	Parametrische THz-Erzeugung . . . . .	143
5.8.1.	Intensitätserhöhung . . . . .	143
5.9.	Intrakavitäre THz-Generation . . . . .	144
5.9.1.	Analytische Beschreibung . . . . .	144
5.10.	Nichtlineare Kristalle . . . . .	148
5.10.1.	Oberflächenemittierende, periodisch gepolte Kristalle . . . . .	149
5.10.2.	Analytische Beschreibung . . . . .	150
5.10.3.	Verwendeter Kristall . . . . .	153
5.10.4.	Simuliertes Emissionsverhalten . . . . .	155
5.10.5.	Praktische Realisierung . . . . .	156
5.11.	Ergebnisse . . . . .	158
5.11.1.	Konfiguration mit zwei asphärische Linsen . . . . .	158
5.11.2.	Konfiguration mit zylindrisch- und asphärischen Linsen . . . . .	161
5.11.3.	Resonator mit externer Rückkopplung . . . . .	162
5.11.4.	Einfluss des photorefraktiven Effektes . . . . .	163
5.11.5.	Optimierungsmöglichkeiten . . . . .	164
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>166</b>
<b>A.</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>169</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>171</b>
	<b>Patente und Publikationen</b>	<b>188</b>