



Ole Peters (Autor)

## **Terahertz-Spektroskopie**

Einsatzmöglichkeiten in der Elastomerverarbeitung



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/6455>

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</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Terahertzspektroskopie</b>	<b>5</b>
2.1	Elektronische Quellen und Detektoren . . . . .	6
2.2	Optische Quellen und Detektoren . . . . .	6
2.2.1	Erzeugung mittels nichtlinearer Mischung . . . . .	7
2.2.2	Gaslaser . . . . .	7
2.2.3	Quantenkaskadenlaser . . . . .	8
2.3	Thermische Detektoren . . . . .	8
2.3.1	Golay-Zellen . . . . .	8
2.3.2	Bolometer . . . . .	8
2.4	Elektro-optische Quellen . . . . .	9
2.4.1	Zeitbereichsspektroskopie . . . . .	10
2.4.2	cw-Terahertzspektroskopie . . . . .	12
2.4.3	Quasi-Zeitbereichsspektroskopie . . . . .	13
2.4.4	Elektro-optisches Sampling . . . . .	14
2.5	Quasioptische Komponenten . . . . .	15
2.5.1	Parabolspiegel . . . . .	15
2.5.2	Linsen . . . . .	16
2.6	Terahertz-Nahfeldmessungen . . . . .	18
2.6.1	Nahfeld-Imaging mit einer dynamischen Apertur . . . . .	19
2.6.2	Feldkonzentration mittels Nahfeldsonden . . . . .	19
2.7	Anwendungsfelder der Terahertzspektroskopie . . . . .	20
2.7.1	Polymermesstechnik . . . . .	20
2.7.2	Vermessung der Eigenschaften von Mehrschichtsystemen . . . . .	23
2.7.3	Sicherheitstechnik . . . . .	24
<b>3</b>	<b>Chemische und Physikalische Grundlagen der Elastomertechnik</b>	<b>25</b>
3.1	Wirtschaftliche Bedeutung der Elastomerindustrie . . . . .	26
3.2	Elastomerverarbeitung . . . . .	27
3.2.1	Extrusion . . . . .	29
3.2.2	Vernetzung . . . . .	30
3.3	Elastomertypen . . . . .	31
3.3.1	Naturkautschuk . . . . .	31



3.3.2	Butadien-Kautschuk . . . . .	31
3.3.3	Styrol-Butadien-Kautschuk . . . . .	32
3.3.4	(Hydroxierter) Acryl-Butadien-Kautschuk . . . . .	32
3.3.5	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk . . . . .	34
3.4	Zusatzstoffe und ihre Aufgaben . . . . .	34
3.4.1	Vernetzer . . . . .	35
3.4.2	Ruß und Kieselgel . . . . .	35
3.4.3	Weichmacher . . . . .	35
3.4.4	Gleitmittel . . . . .	36
3.5	Physikalische Messverfahren . . . . .	36
3.5.1	Stoffliche Zusammensetzung . . . . .	38
3.5.2	Form . . . . .	38
3.5.3	Viskosität . . . . .	39
3.5.4	Langzeitstabilität . . . . .	39
3.5.5	Dispergiertgüte . . . . .	40
3.5.6	Spektroskopieverfahren . . . . .	41
3.5.7	Zwischenfazit: etablierte Messverfahren . . . . .	43
<b>4</b>	<b>Aufbau industrietauglicher Terahertzsysteme</b>	<b>45</b>
4.1	Komponenten für industrietaugliche THz-Systeme . . . . .	45
4.1.1	Fasergekoppelte gepulste Laser . . . . .	45
4.1.2	Dispersionskompensation . . . . .	46
4.1.3	Verzögerungseinheit . . . . .	47
4.1.4	Terahertzantennen . . . . .	52
4.1.5	Glasfasern . . . . .	59
4.2	Genutzte Systeme . . . . .	63
4.2.1	Freistrahl-System . . . . .	63
4.2.2	Fasergekoppeltes System 1 . . . . .	64
4.2.3	Fasergekoppelte Systeme 2 und 3 mit Freistrahl-Verzögerung . . . . .	65
4.2.4	Fasergekoppeltes System 4: Für die Inline-Messungen entwickeltes System . . . . .	65
<b>5</b>	<b>Terahertzprüfungen an Polymeren und Elastomeren</b>	<b>69</b>
5.1	CNT-Gehalt von Polymerbauteilen . . . . .	69
5.2	Agglomeration . . . . .	73
5.2.1	Bildgebende Nahfeld-Messungen zur Agglomerationsdetektion . . . . .	74
5.2.2	Bildgebende Untersuchung der Zusatzstoffverteilung . . . . .	75
5.2.3	Spektrale Überwachung der Dispergierung . . . . .	79
5.3	Spektrale Eigenschaften von Kautschuk . . . . .	82
5.3.1	Naturkautschuk . . . . .	83
5.3.2	NBR/HNBR . . . . .	84
5.3.3	Butadienkautschuk . . . . .	85



5.4	Terahertz-Messungen an Elastomermischungen . . . . .	86
5.4.1	Grundmischungen . . . . .	86
5.4.2	Mischungsvariationen . . . . .	86
<b>6</b>	<b>Prozessüberwachung: Inline-Kontrolle von Extrusionsprozessen</b>	<b>91</b>
6.1	Integration des Terahertzsystems in den Extrusionsprozess . . . . .	91
6.1.1	Aufbau der Extrudersonde . . . . .	91
6.1.2	Einfluss des Extruder-Innendrucks auf den Terahertz-Brechungsindex	94
6.2	Datenauswertung . . . . .	96
6.2.1	Amplitude bei fester Verzögerung . . . . .	96
6.2.2	Amplitude . . . . .	97
6.2.3	Laufzeit . . . . .	97
6.3	Inline-Messungen am Extruder . . . . .	98
6.3.1	Mischungswechsel . . . . .	99
6.3.2	Rezepturvariationen . . . . .	100
6.4	Weitere Schritte zur Verbesserung der Inline-Messung . . . . .	105
6.4.1	Temperierung der Antennen . . . . .	105
6.4.2	Reflexionsaufbauten . . . . .	105
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>107</b>
	<b>Literatur</b>	<b>111</b>