

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Grundlagen der Terahertzspektroskopie	5
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
3 Chemische und Physikalische Grundlagen der Elastomertechnik	25
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	Dispergiertigkeitsmessung	40
3.5.6	Spektroskopieverfahren	41
3.5.7	Zwischenfazit: etablierte Messverfahren	43
4	Aufbau industrietauglicher Terahertzsysteme	45
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
5	Terahertzprüfungen an Polymeren und Elastomeren	69
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 Elastomermermischungen	86
5.4.1	Grundmischungen	86
5.4.2	Mischungsvariationen	86
6	Prozessüberwachung: Inline-Kontrolle von Extrusionsprozessen	91
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
7	Zusammenfassung und Ausblick	107
Literatur		111