



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	III
1 Einleitung	1
2 Grundlagen der Terahertz (THz)-Systemtechnik	3
2.1 THz-Systeme: Funktionsweise	4
2.1.1 THz-Zeitbereichsspektroskopie (TDS)	4
2.1.2 Photomischen	8
2.1.3 THz-Quasi-Zeitbereichsspektroskopie (QTDS)	10
2.1.4 Fasergekoppelte THz-Systeme	13
2.2 Verzögerungsstrecken: Konzepte für THz-TDS	15
2.2.1 Optische Verzögerungsstrecken	15
2.2.2 Faserstrecker für 1550 nm	17
2.2.3 Ansätze ohne mechanische Verzögerungsstrecke	19
2.3 Reflexionsgeometrie	22
2.3.1 Strahlteilermethode	22
2.3.2 Transceiver: Integrierter Sender und Empfänger	23
2.4 Übersicht der verwendeten THz-Systeme	24
2.4.1 System 1: THz-TDS Laborspektrometer	24
2.4.2 System 2: THz-TDS partiell-fasergekoppeltes System	26
2.4.3 System 3: THz-TDS fasergekoppeltes System	27
2.4.4 System 4: THz-QTDS System	28
3 THz-Systeme auf dem Weg zur industriellen Anwendung: Schlüsselkomponenten	29
3.1 Verzögerungsstrecke als Schlüsselkomponente des THz-Systems	30
3.2 Faserstrecker - faserbasierte Lösung zur Anwendung in industriellen Systemen	30
3.2.1 Stand der Technik und bisherige Entwicklungen	31
3.2.2 THz-System mit zweistufigem Faserstrecker	31
3.2.3 Mobile THz-Sonde: Messung in Reflexion	34
3.3 Rotatorkonzept - eine kostengünstige Alternative für schnelle Messungen	37
3.3.1 Theorie und Simulationen	37
3.3.2 Optimierte Ausführung für den Einsatz im THz-TDS System	39
3.3.3 Charakterisierung und Vergleichsmessung mit linearer Verfahrenheit	43
3.3.4 Selbstreferenzierung und Messungen in einem THz-TDS System	49



3.3.5	Anwendung zur schnellen Bildgebung	55
3.4	Transceiver: Integrierter fasergebundener Sender und Empfänger	57
3.4.1	Funktionsprinzip des Transceivers	58
3.4.2	Messungen mit einem komplett fasergekoppelten Transceiver	61
3.5	Zwischenfazit	65
4	Industrielle Anwendung: THz-Reflexionsmessungen	67
4.1	Bestimmung der Rohrwandstärke	68
4.1.1	Auswertung der Laufzeit	68
4.1.2	Numerische Überlagerung der Reflexionen	70
4.1.3	Phasenunterschied: Auswertung über den Frequenzbereich	71
4.1.4	Transformation in den Quasi-Raum	72
4.1.5	Kreuzkorrelation	74
4.2	Messungen zur Wandstärkenbestimmung von Kunststoffrohren	75
4.2.1	Vollmaterial Rohre	75
4.2.2	Rohre mit mehreren Wandschichten	77
4.2.3	Zwischenfazit	79
4.3	Untersuchung von Klebstoffen in Reflexion	80
4.3.1	Algorithmen zur Datenextraktion	81
4.3.2	Aushärteverhalten von 2-Komponenten Epoxidharzklebstoffen	83
4.4	Untersuchung von Flüssigkeiten in Reflexion	86
4.4.1	Wasser-Zuckerlösung: zeitliches Verhalten bis hin zur Kristallisation	86
4.4.2	Interpretation und Vergleich mit ATR	89
4.5	Untersuchung von doppelbrechenden Materialien	90
4.5.1	Methode und Motivation	91
4.5.2	Bestimmung der Doppelbrechung einer Probe	92
4.6	Zwischenfazit	93
5	THz-QTDS - eine kostengünstige und gleichwertige Alternative?	95
5.1	THz-QTDS System: kompaktes klassisches Konzept	95
5.1.1	Aufbau und Konzept	96
5.1.2	Untersuchung der Systemstabilität	98
5.1.3	Stabilität des Systems - Reflexionen im optischen Pfad	99
5.2	THz-QTDS System: neues kostengünstiges und kompaktes Konzept	104
5.2.1	Neues Konzept: Laser auf der Verzögerungsstrecke	105
5.2.2	Systemsteuerung und Datenaufnahme mit einem Raspberry Pi	106



5.2.3	Umsetzung mit kostengünstiger Verzögerungsstrecke auf Basis eines DVD-Laufwerks	110
5.3	Prozessüberwachung mit THz-QTDS	117
5.3.1	Untersuchung von 2-Komponenten Epoxidharzklebstoffen mittels THz-QTDS	117
5.3.2	Methoden der Auswertung	118
5.4	Zwischenfazit	120
6	Ausblick	123
6.1	(Groß)-Flächenmessungen mit THz-TDS Systemen	123
6.1.1	Konzept: Sub-Pulse	124
6.1.2	Ausblick: Umsetzung für ASOPS	126
6.2	Die nächste Generation THz-TDS Systeme mit Faserstrecker . . .	127
6.3	THz-QTDS Systeme	128
6.3.1	Optischer Rotator im THz-QTDS System	128
6.3.2	THz-QTDS auf Basis eines optischen Laufwerks	129
6.3.3	THz-QTDS in kompakter Reflexionsgeometrie	130
7	Zusammenfassung	133
	Literaturverzeichnis	135
	Liste der Veröffentlichungen	149