

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung und Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Wissenschaft und Technik</b>	<b>5</b>
2.1	Stand der Technik – Vergleich verfügbarer Sensoren . . . . .	5
2.1.1	Höhenmessende Verfahren . . . . .	5
2.1.2	Neigungsmessende Verfahren . . . . .	6
2.1.3	Krümmungsmessende Verfahren . . . . .	10
2.2	Stand der Wissenschaft . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Messprinzip und Aufbau des PMD-Sensors</b>	<b>15</b>
3.1	Messprinzip . . . . .	15
3.1.1	Streifenprojektion und Vier-Shift-Algorithmus . . . . .	15
3.1.2	Streifenprojektion in zwei Richtungen . . . . .	19
3.1.3	Bestimmung der Neigung des Objektes . . . . .	20
3.1.4	Höhenabhängigkeit der Neigungsmessung . . . . .	22
3.2	Aufbau des Sensors . . . . .	23
3.2.1	Streifenprojektor . . . . .	23
3.2.2	Kamera . . . . .	27
3.3	Aufbau des PMD-Sensors . . . . .	28
<b>4</b>	<b>Kalibrierung</b>	<b>31</b>
4.1	Kalibrierung des Projektors . . . . .	32
4.1.1	Prinzip der Ausgleichsrechnung . . . . .	33
4.1.2	Anwendung der Ausgleichsrechnung auf die PMD . . . . .	33
4.2	Kalibrierung der Kamera . . . . .	38
4.2.1	Beschreibung der Kalibrierparameter . . . . .	38
4.2.2	Anwendung der Kamerakalibrierung auf die PMD . . . . .	41
4.3	Kalibrierung des Gesamtsystems . . . . .	43

<b>5</b>	<b>Physikalische Grenzen der PMD</b>	<b>45</b>
5.1	Grenzen des PMD-Prinzips . . . . .	45
5.2	Messunsicherheit des Laborgerätes . . . . .	48
<b>6</b>	<b>Einfluss der Beleuchtung und Aufnahme auf die Messunsicherheit</b>	<b>57</b>
6.1	Messunsicherheit durch Speckle . . . . .	57
6.1.1	Definition des Specklekontrasts . . . . .	57
6.1.2	Specklekontrast beim PMD-Sensor . . . . .	60
6.2	Messunsicherheit durch Kamerarauschen . . . . .	64
6.2.1	Beschreibung der Kamera-Rauschquellen . . . . .	64
6.2.2	Einfluss des Kamerarauschens auf die Messgenauigkeit	67
6.3	Messunsicherheit durch Nichtlinearität der Kamera . . . . .	69
<b>7</b>	<b>Messgenauigkeit des PMD-Sensors</b>	<b>73</b>
7.1	Wiederholgenauigkeit . . . . .	73
7.2	Wahl der optimalen Streifenperiode . . . . .	75
7.3	Messfehler durch Fehlpositionierung des Objekts . . . . .	76
7.3.1	Fehler in der Neigungsberechnung . . . . .	76
7.3.2	Fehler in der Krümmungsbestimmung . . . . .	81
<b>8</b>	<b>Messergebnisse und Anwendungen</b>	<b>85</b>
8.1	Messung einer präparierten Glasplatte . . . . .	85
8.2	Fehlererkennung an Solarzellen . . . . .	86
8.2.1	Beschreibung der Fehler . . . . .	86
8.2.2	Automatisierte Fehleranalyse . . . . .	89
8.3	Brillengläser . . . . .	90
8.3.1	Unterdrückung des Rückseitenreflexes . . . . .	91
8.3.2	Geforderte Genauigkeit für die Vermessung von Brillengläsern . . . . .	94
8.3.3	Messung von sphärischen Gläsern . . . . .	97
8.3.4	Messung von asphärischen Gläsern . . . . .	98
8.4	Fehlerdetektion auf lackierten Karosserien . . . . .	100
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>105</b>