



# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>I</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Theorie und Methoden</b>	<b>7</b>
2.1 Aufbau und Funktion eines SiPM . . . . .	7
2.2 Quasi-statisches Verhalten von SiPM . . . . .	12
2.2.1 Sperrrichtung . . . . .	13
2.2.2 Durchlassrichtung . . . . .	15
2.3 Kapazität der Mikrozellen . . . . .	15
2.4 Signalform eines SiPM . . . . .	16
2.5 Überspannungsabhängige Vervielfachung von Photoelektronen . . . . .	19
2.6 Dunkelzählrate . . . . .	21
2.7 Optisches Übersprechen . . . . .	25
2.8 Afterpulse Wahrscheinlichkeit . . . . .	27
2.9 Einzel-Photonen-Zeitauflösung . . . . .	31
2.9.1 Messung und Analyse digitalisierter Signalformen . . . . .	32
2.9.2 Analyse der Signalformen mit Analog-Elektronik . . . . .	33
2.10 Transit-Zeit-Differenz . . . . .	37
2.11 Zeitauflösung und Energieauflösung mit Szintillator und radioaktiver Quelle	38
2.11.1 Energieauflösung . . . . .	40
2.11.2 Koinzidenz-Zeitauflösung . . . . .	41
2.12 Absolute Photonen-Nachweis-Effizienz . . . . .	42
2.13 Spektrale Empfindlichkeit . . . . .	46
2.13.1 Messung der spektralen Leistung der Lichtquelle . . . . .	48
2.13.2 Kontrolle des Messverfahrens mit bekanntem Referenzdetektoren . .	51
2.13.3 Messung der spektralen Empfindlichkeit von SiPM . . . . .	53



<b>3</b>	<b>Verifizierung der Messverfahren für das Zeitverhalten von SiPM</b>	<b>55</b>
3.1	Vergleich verschiedener Vorverstärkerkonzepte . . . . .	55
3.1.1	Beschreibung der verwendeten Vorverstärker . . . . .	56
3.1.2	Vergleich der Vorverstärkerkonzepte hinsichtlich SPTR . . . . .	57
3.2	Untersuchungen zur Genauigkeit der SPTR-Messverfahren . . . . .	60
3.2.1	Untersuchung der Auflösungsgrenze bei der Analyse digitalisierter Pulsformen . . . . .	61
3.2.2	Untersuchung der Auflösungsgrenze bei der Analyse der Pulsform mit Diskriminatoren und Koinzidenzschaltung . . . . .	64
3.2.3	Vergleich der beiden SPTR-Messverfahren . . . . .	68
3.3	Untersuchung der Messgenauigkeit der Transit-Zeit-Differenz-Messung . . .	70
<b>4</b>	<b>Systematische Untersuchung der Zeitauflösung verschiedener SiPM</b>	<b>75</b>
4.1	Vergleich verschiedener Signalpfade . . . . .	76
4.2	Quantifizierung der Abhängigkeit zwischen SPTR und Detektorfläche . . .	78
4.3	Transit-Zeit-Differenz-Messungen zur Analyse von Signallaufzeiten . . . . .	81
4.3.1	TTD-Messungen an SiPM mit $3 \times 3 \text{ mm}^2$ aktiver Fläche . . . . .	81
4.3.2	TTD-Messungen an SiPM mit $1.2 \times 1.2 \text{ mm}^2$ und $6 \times 6 \text{ mm}^2$ aktiver Fläche . . . . .	87
4.4	Messung der Zeitauflösung mit verschiedenen Anschlusskonfigurationen . .	89
<b>5</b>	<b>Simulation der Signalform und Transit-Zeit-Differenz von SiPM</b>	<b>95</b>
5.1	Grundlage des Simulationsmodells . . . . .	95
5.2	Simulation der SiPM ohne optischer Barriere . . . . .	97
5.3	Simulation der SiPM mit optischer Barriere . . . . .	101
5.3.1	Skalierung des Simulationsmodells für SiPM mit verschiedener aktiver Fläche . . . . .	110
5.3.2	Untersuchung der parasitären Leitungsparameter und deren Einfluss	113
<b>6</b>	<b>Optimierung des Zeitverhaltens von SiPM</b>	<b>117</b>
6.1	Untersuchung verschiedener Anschlusskonfigurationen mit Hilfe des Simulationsmodells und Vergleich mit TTD-Messungen . . . . .	117
6.2	Modifikation der Passivierungsschichtdicke zur Reduktion der TTD . . . .	119
6.3	Modifikation des Leiterbahnwiderstandes . . . . .	126
6.4	Auswirkung technologischer Modifikationen in Kombination mit verschiedenen Leiterbahnlayouts auf das Zeitverhalten . . . . .	133
6.5	Vergleich der modifizierten SiPM hinsichtlich SPTR . . . . .	136
6.6	Vergleich der Ergebnisse mit anderen Herstellern . . . . .	138



---

6.7	Aufführung weiterer technischer Optimierungsmöglichkeiten . . . . .	142
<b>7</b>	<b>Diskussion und Ausblick</b>	<b>145</b>
	<b>Literatur</b>	<b>151</b>
	<b>Abkürzungen</b>	<b>165</b>
	<b>Formelzeichen</b>	<b>167</b>
	<b>Literatur</b>	<b>169</b>
	<b>Danksagung</b>	<b>185</b>