

BestMasters

Simon Weingarten

Szintillationsdetektoren mit Silizium-Photomultipliern

Prototypen für eine Erweiterung des
Myon-Triggers am CMS-Experiment

 Springer Spektrum

BestMasters

Mit „BestMasters“ zeichnet Springer die besten Masterarbeiten aus, die an renommierten Hochschulen in Deutschland, Österreich und der Schweiz entstanden sind. Die mit Höchstnote ausgezeichneten Arbeiten wurden durch Gutachter zur Veröffentlichung empfohlen und behandeln aktuelle Themen aus unterschiedlichen Fachgebieten der Naturwissenschaften, Psychologie, Technik und Wirtschaftswissenschaften.

Die Reihe wendet sich an Praktiker und Wissenschaftler gleichermaßen und soll insbesondere auch Nachwuchswissenschaftlern Orientierung geben.

Simon Weingarten

Szintillationsdetektoren mit Silizium-Photomulti- pliern

Prototypen für eine Erweiterung des
Myon-Triggers am CMS-Experiment

Mit einem Geleitwort von PD Dr. Oliver Pooth

 Springer Spektrum

Simon Weingarten
Aachen, Deutschland

BestMasters

ISBN 978-3-658-09760-8

ISBN 978-3-658-09761-5 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-658-09761-5

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Spektrum

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2015

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Fachmedien Wiesbaden ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media (www.springer.com)

Geleitwort

In seiner Masterarbeit hat Herr Weingarten Prototyp-Detektoren entwickelt, die für das geplante MTT-Projekt im CMS-Experiment vorgesehen sind. Es handelt sich hierbei um Szintillationsdetektoren, die mit Silizium-Photomultipliern (SiPM) ausgelesen werden. Die Arbeit ist im Themenbereich der allgemeinen Laborarbeiten angesiedelt und wurde in der CMS-Arbeitsgruppe des III. Physikalischen Instituts B der RWTH Aachen angefertigt. Die zu untersuchenden Detektoren sind Prototypen für eine mögliche zusätzliche Detektor Komponente des CMS-Experiments am geplanten High-Luminosity-LHC (HL-LHC), dem Nachfolger des aktuell leistungsstärksten Teilchenbeschleunigers LHC. Die Detektoren sollen hier zur Messung von hochenergetischen Myonen eingesetzt werden. Aufgabenstellung für Herrn Weingarten war die Qualifizierung und systematische Untersuchung von Prototyp-Detektoren im Hinblick auf verschiedene Detektorparameter. Unter Berücksichtigung der Reproduzierbarkeit untersuchte Herr Weingarten den Einfluss der Ankopplung der SiPMs an den Szintillator, der Umwicklung der Detektoren mit reflektierenden Materialien, der Polierung der Szintillatortoberfläche sowie der Szintillatordicke. Dazu entwickelte Herr Weingarten einen geeigneten Trigger für kosmische Myonen, sowie einen VME-basierten Teststand mit FADC, QDC und Zähler inklusive der notwendigen DAQ- und Auswertesoftware.

Herr Weingarten hat einen Detektor entwickelt, der zuverlässig Myonen mit einer Signalreinheit von über 99,9% (bei einer Signalthöhe von > 40 mV) und einer Effizienz von über 99,5% (bei einer Signalthöhe von < 100 mV) detektiert. Die Bestimmung dieser Werte erfolgte auf wissenschaftlich hohem Niveau. Im Ausblick beschreibt Herr Weingarten einen Nachfolge-Detektor mit vergrößerter Detektionsfläche und integrierten wellenlängenschiebenden Fasern zur Lichtsammlung. Eine systematische Untersuchung ist im Rahmen dieser Masterarbeit nicht mehr möglich gewesen, gehörte aber auch nicht

zur ursprünglichen Aufgabenstellung. Es ist insofern ein bemerkenswerter Zusatz in der zur Verfügung stehenden Zeit gewesen.

Es handelt sich um eine exzellente Masterarbeit. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse über den Prototyp-Detektor und insbesondere die entwickelten Teststände sind für zukünftige Tests von Prototypen, die mit SiPMs ausgelesen werden, extrem hilfreich.

Aachen

Oliver Pooth

Institutsprofil

Das III. Physikalische Institut B der RWTH Aachen arbeitet seit 1967 im Bereich der experimentellen Teilchen- und Astroteilchenphysik. Leitlinie unseres Instituts ist die Erforschung der elementaren Teilchen und ihrer Wechselwirkungen bei höchsten Energien. Wir studieren die fundamentalen Bausteine der Materie an den weltweit größten Teilchenbeschleunigeranlagen und Observatorien für kosmische Teilchen, an denen wir internationale Experimente aktiv mitgestalten. Dazu zählen das CMS-Experiment am CERN in der Schweiz und das T2K-Experiment in Japan. Am Teilchenbeschleuniger COSY in Jülich laufen Studien zur Messung des elektrischen Dipolmoments des Protons.

Neutrinos untersuchen wir auch an Experimenten, die nahe an Kernreaktoren durchgeführt werden. An der belgisch-französischen Grenze befindet sich das Double-Chooz-Experiment im Betrieb und in China befindet sich das JUNO Experiment in der Aufbauphase. Am Südpol beteiligen wir uns am Betrieb und der Datenauswertung des IceCube-Experiments, das höchstenergetische Neutrinos detektiert und Quellen dieser Strahlung identifizieren will.

Weitere Forschungsfelder, die sich in den vergangenen Jahren aufgetan haben, sind der Einsatz von Werkzeugen der Teilchenphysik im Bereich der medizinischen Strahlentherapie und Machbarkeitsstudien für eine Raumfahrtmission, die Leben auf dem Saturnmond Enceladus nachweisen will. Viele dieser Arbeiten werden erst durch den Einsatz von GRID-Computing Strukturen möglich. Wir betreiben eine Tier-2-GRID Station im Rahmen des Worldwide LHC Computing Grids (WLCG). Ermöglicht werden exzellente Beiträge durch große Institutswerkstätten, eine leistungsfähige Rechnerstruktur und die starke Unterstützung durch Forschungsmittel des BMBF, der DFG und der HGF-Allianz, die sorgfältig verwaltet und eingesetzt werden.

Vorwort

Die präsentierte Masterarbeit entstand im Zeitraum von Oktober 2012 bis September 2013 unter der Betreuung von Dr. Oliver Pooth am III. Physikalischen Institut B der RWTH Aachen und wurde unter dem Titel „Prototypdetektoren für das geplante Upgradeprojekt „Muon Track fast Tag“ am CMS-Experiment“ eingereicht.

Der Einsatz von Silizium-Photomultipliern (SiPM) gewinnt zunehmend an Bedeutung in der Teilchenphysik und besonders die Kombination mit szintillierenden Materialien verschiedener Typen kommt häufig zum Einsatz. Seit der Abgabe dieser Masterarbeit werden auch die hier vorgestellten Detektoren stetig weiterentwickelt und zwei weitere Masterarbeiten, die sich gezielt mit SiPM-Eigenschaften und Frontend-Elektronik auseinandergesetzt haben, sind bereits abgeschlossen. Im Oktober 2014 wurden darüber hinaus neue Module mit einer Szintillatorfläche von $30 \times 30 \text{ cm}^2$ in einem Proton-Teststrahl am COSY-Beschleuniger im Forschungszentrum Jülich ortsaufgelöst vermessen und wiesen hervorragende Eigenschaften auf.

Innerhalb der CMS-Gruppe des III. Physikalischen Institutes B wird der Bereich der Detektorentwicklung von Dr. Oliver Pooth geleitet. Ich möchte diese Gelegenheit nutzen, um mich bei ihm für viele Jahre seiner Unterstützung zu bedanken. Er hat mir stets Vertrauen in meine Fähigkeiten gegeben und mir neue Möglichkeiten eröffnet, so auch diese Publikation in der BestMasters Serie des Springer Verlages.

Aachen

Simon Weingarten

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort	V
Institutsprofil	VII
Vorwort	IX
Zusammenfassung	XIII
Abstract	XV
Abbildungsverzeichnis	XVII
Tabellenverzeichnis	XXI
Abkürzungsverzeichnis	XXII
1 Motivation	1
1.1 Der Large Hadron Collider	1
1.2 Der Compact Muon Solenoid	2
1.3 LHC-Upgrade zum HL-LHC	3
1.4 Muon Track fast Tag	4
2 Theoretische Grundlagen	7
2.1 Entstehung kosmischer Myonen	7
2.2 Energieverlust geladener Teilchen in Materie	9
2.3 Szintillation	12
2.4 Silizium-Photomultiplier	13
3 Das Prototypmodul	21
3.1 Aufbau des Moduls	21

3.2	Frontend-Elektronik: SiPM-Duo-Controller	24
3.3	Ergebnisse vorheriger MTT-Prototypen	29
4	Messaufbau und Methodik	33
4.1	Verwendete Hardware	33
4.2	Aufbau der Ausleseketten zur Datennahme	36
4.3	Messprogramme	38
4.4	Reduktion der Rohdaten auf vergleichbare Größen	41
5	Untersuchungen am $10 \times 10 \text{ cm}^2$ Modul	45
5.1	Aufbau eines externen Triggers für kosmische Myonen	46
5.2	Untersuchung des reflektierenden Materials	48
5.3	Untersuchung der Szintillatordicke	50
5.4	Einfluss der Durchgangspunkte der Myonen	52
5.5	Untersuchung der Kopplung zwischen SiPM und Szintillator	54
5.6	Reproduzierbarkeit der Ankopplung mit Silikonkautschuk	58
5.7	Reproduzierbarkeit der Wickelung mit PTFE-Band	60
5.8	Untersuchung der Szintillatorpolierung	62
5.9	Bestimmung der Signalreinheit	63
5.10	Bestimmung der Detektoreffizienz	66
5.11	Beurteilung des $10 \times 10 \text{ cm}^2$ Moduls als Triggerdetektor	75
6	Ausblick	77
6.1	Erste Untersuchungen eines $35 \times 35 \text{ cm}^2$ Szintillators	77
6.2	Weitere Untersuchungen	82
7	Zusammenfassung	85
	Literaturverzeichnis	87
A	Anhang	93
A.1	SiPM-Ankopplung mit angebohrtem Szintillator	94
A.2	Bestimmung der Arbeitspunkte von Photomultiplier-Tubes	96
A.3	Technische Zeichnung der Faserführung	97