



Doctoral Thesis

Module Prototype Qualification for the CMS Pixel Detector Upgrade

Author(s):

Rossini, Marco

Publication Date:

2015

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010594693> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 22934

Module Prototype Qualification for the CMS Pixel Detector Upgrade

A dissertation submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES OF ETH ZURICH

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

MARCO ROSSINI

MSc ETH Physics

born on 18 January 1983

citizen of Buchs AG

and Lugano TI

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Rainer Wallny, examiner

Prof. Dr. Roland Horisberger, co-examiner

Prof. Dr. Benjamin Kilminster, co-examiner

2015

Abstract

The Large Hadron Collider (LHC) has been operational very successfully since 2009. Plans exist to improve the injector chain which increases the instantaneous luminosity of the machine to $2 \times 10^{34}/(\text{cm}^2 \text{ s})$, twice the design value. The pixel detector of the CMS experiment (Compact Muon Solenoid), which is used for tracking very close to the interaction point, will be upgraded at the end of 2016 in order to maintain and improve upon the tracking and primary and secondary vertexing performance of the current detector. An important part of the upgrade is the design and production of new detector modules. The increased luminosity has a direct impact on the hit rate that the modules detector experience. It is important that module performance be understood and verified for the upgrade to fulfill its purpose. Furthermore, the radiation dose that the detector experiences over its lifetime is higher after the expected LHC upgrades. To ensure a long lifetime of the detector, it needs to withstand the radiation damage while continuing to operate with high sensitivity.

A simulation of the module performance is presented in this thesis that predicts the efficiency of the upgraded detector. It identifies the mechanisms that lead to dynamic inefficiencies and quantifies the losses. An inefficiency of about 2% is found in the worst case. A verification of the simulation is made through measurements with high intensity X-rays.

X-ray tests will also be employed for the qualification of modules after production. High rate x-ray tests are introduced in this thesis that have the purpose of testing as many of the internal states of the read out electronics of the modules as possible. The test results are based on the module readout with random X-ray hits, in some tests employing an internal test charge injection to determine the hit efficiency. The high rate tests complement the qualification procedures used for the modules of the detector currently installed in CMS that do not use external signals. The calibration of the modules is done with monochromatic X-rays. In this thesis, not only the established method, but also an alternative is explored that is faster. If the calibration setup conditions are well controlled, two methods produce a comparable result.

The performance of irradiated silicon sensors for the pixel detector upgrade is measured in a testbeam. The sensor technology is the same as the one for the current detector, but the irradiation dose of up to $3.0 \times 10^{15} \text{ n}_{\text{eq}}/\text{cm}^2$ is higher than in previous measurements with CMS pixel sensors. An efficiency above 98% is determined for a dose of $1.5 \times 10^{15} \text{ n}_{\text{eq}}/\text{cm}^2$. For $3.0 \times 10^{15} \text{ n}_{\text{eq}}/\text{cm}^2$, the detection threshold of the readout chip is limiting the efficiency, and a value of approximately 85% is measured. With the upgraded readout chip, the detection threshold can be lowered to achieve a higher efficiency.

Zusammenfassung

Der Betrieb des Large Hadron Colliders (LHC) verlief sehr erfolgreich seit 2009. Es existieren Pläne, die Vorbeschleuniger zu verbessern was zur Folge hat, dass sich die instantane Luminosität auf $2 \times 10^{34}/(\text{cm}^2 \text{s})$ erhöht, doppelt so viel als ursprünglich geplant. Der Pixel Detektor des CMS Experiments (Compact Muon Solenoid) befindet sich nahe am Wechselwirkungspunkt und wird für die Rekonstruktion von Spuren und der Identifikation von Vertices verwendet. Er wird Ende 2016 durch eine aufgerüstete Version ersetzt, um auch unter verbesserten Luminositätsbedingungen eine gleichbleibend hohe Leistungsfähigkeit bezüglich der Spurrekonstruktion und der Vertexidentifikation des CMS Detektors zu gewährleisten. Ein wichtiger Teil dieses Upgrades ist das Design und die Produktion neuer Detektor-Module. Die erhöhte Luminosität hat einen direkten Einfluss auf die Teilchenrate, der die Module ausgesetzt sind. Es ist wichtig, dass deren Leistung verstanden und verifiziert ist, damit das Upgrade seinen Zweck erfüllen kann. Des Weiteren wird die Strahlendosis, welche die Module während der Zeit aufnehmen, höher sein mit den Upgrades des LHC. Um eine lange Lebensdauer des Detektors sicherzustellen, muss er dem tolerant gegenüber dem Strahlenschaden sein und gleichzeitig mit hoher Sensitivität messen.

Eine Simulation des Moduls wird in dieser Dissertation präsentiert, welche die Effizienz des Detektor Upgrades bestimmt. Die Dissertation identifiziert die Mechanismen, die zu dynamischen Ineffizienzen führen und quantifiziert deren Verluste. Für den schlimmsten Fall wird eine Ineffizienz von etwa 2 % festgestellt. Die Simulation wird verifiziert anhand von Messungen mit intensiver Röntgenbestrahlung.

Röntgentests werden auch für die Qualifikation der Module nach deren Produktion verwendet. Hochratentests mit Röntgenstrahlung werden in dieser Dissertation vorgestellt, die den Zweck haben, so viele interne Zustände des Moduls wie möglich zu testen. Die Testresultate basieren auf der Auslese der zufälligen Signale durch die Röntgenphotonen vom Modul, wobei in einigen Tests intern eine Testladung injiziert wird um die Effizienz zu messen. Die Hochratentests ergänzen die Qualifikationsverfahren, die für die Module des jetzigen Detektors verwendet wurden und keine externen Signale benutzen. Die Kalibrierung der Module wird erneut mit monochromatischen Röntgenstrahlen durchgeführt. In dieser Dissertation wird nicht nur das bisherige Verfahren, sondern auch eine schnellere Alternativmethode präsentiert. Unter genügend guter Kontrolle des Versuchsaufbaus führen beide Verfahren zu vergleichbaren Resultaten.

Das Verhalten von bestrahlten Siliziumsensoren für das Upgrade des Pixel Detektors wird in einem Teststrahl gemessen. Die untersuchte Sensortechnologie ist die selbe wie diejenige, die im jetzigen Detektor verwendet wird, jedoch übersteigt die Strahlendosis von $3.0 \times 10^{15} \text{ n}_{\text{eq}}/\text{cm}^2$ vorgängige Messungen mit CMS Pixel Sensoren. Eine Effizienz von mehr als 98 % wird für eine Dosis von $1.5 \times 10^{15} \text{ n}_{\text{eq}}/\text{cm}^2$ festgestellt. Für $3.0 \times 10^{15} \text{ n}_{\text{eq}}/\text{cm}^2$ limitiert die Detektionsschwelle des Auslesechips die Effizienz und ein Wert von etwa 85 % wird gemessen. Mit dem Auslesechip des Upgrade Detektors kann die Detektionsschwelle gesenkt werden um eine höhere Effizienz zu erreichen.