



Doctoral Thesis

Radiological studies for the luminosity upgrade of the CMS detector

Author(s):

Urscheler, Christina

Publication Date:

2012

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-007636063> →

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. 20578

Radiological studies for the luminosity upgrade of the CMS detector

A dissertation submitted to the
ETH ZÜRICH

for the degree of
DOCTOR OF SCIENCES (DR. SC. ETH ZÜRICH)

presented by
CHRISTINA URSCHELER
Dipl.-Natw. ETH
born 23 June 1982
citizen of St. Gallen-Tablat - Switzerland

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. G. Dissertori, examiner
Prof. Dr. V. Chiochia, co-examiner
Dr. S. Roesler, co-examiner

Abstract

The operation of the Large Hadron Collider (LHC) poses major challenges from a radiological point of view. The collisions taking place in the center of the particle detectors give rise to significant stray radiation fields, which have to be quantified in order to allow for safe operation. The high energetic secondary particles bombard the detector components and might affect their functionality. Besides, the mixed radiation field induces radioactivity in the exposed material and gives rise to residual radiation which poses a hazard to personnel during maintenance work. With the foreseen luminosity increase of the LHC, the radiation levels will rise accordingly and therefore, it is necessary to estimate radiologically relevant quantities for future operation.

In the framework of this thesis, different radiological aspects were studied by performing Monte Carlo simulations. Thereby, several studies have been carried out focusing on the prediction of induced activity as well as on the detector response of an ionization chamber commonly used for dose measurements within the LHC experimental caverns. In addition, corresponding measurements were carried out which indicate the reliability of the simulation results.

The scintillating crystals used in the electromagnetic calorimeter in the CMS detector are expected to suffer from radiation damage and might have to be replaced in a future upgrade at least in the endcaps. It was found, that the exchange of the current crystals by Cerium Fluoride crystals would decrease the residual dose rate due to the induced radioactivity in the crystal components by a significant amount. Thus, the radiation exposure of personnel working in the vicinity of the crystals is reduced compared to the current crystals. Furthermore, a benchmark study of the activation of stainless steel in the CMS cavern during 2011 LHC operation has indicated that the samples positioned close to the interaction point were the most activated. At these locations, the FLUKA predictions agree well with the data. At locations further away from the collision point, the simulation results show a discrepancy of about 50% to the experimental data, which is still an acceptable level of agreement regarding the complex setup of the detector. The investigation on the response of residual dose rate detectors installed in the CMS experimental cavern has shown a maximum deviation of a factor of 2.1. Again, the overestimation of the FLUKA predictions might be due to simplifications in the geometrical implementation of the CMS detector in the model, especially since a benchmark of the applied

detector response function indicated good agreement with regard to the particles contributing most to the response.

Zusammenfassung

Der sichere Betrieb des Large Hadron Colliders (LHC) am CERN stellt aus radiologischer Sicht eine grosse Herausforderung dar. Die Kollisionen, welche im Zentrum der installierten Detektoren stattfinden, führen zu einer immensen Produktion von Sekundärteilchen, denen die einzelnen Detektorkomponenten ausgesetzt sind. Dadurch kann ihre Funktionalität beeinflusst werden. Ausserdem werden in den bestrahlten Materialien radioaktive Nuklide produziert, die während ihrem Zerfall ein Strahlenfeld erzeugen, auch wenn keine Kollisionen stattfinden. Dies stellt eine Gefahr für Mitarbeiter dar, die sich in der Nähe der radioaktiven Quellen aufhalten und somit der Strahlung ausgesetzt sind. Es ist daher äusserst wichtig, diese radiologischen Grössen für zukünftige Betriebsszenarien abzuschätzen.

Im Rahmen dieser Dissertation wurden unterschiedliche radiologische Aspekte studiert, indem entsprechende Monte Carlo Simulationen durchgeführt wurden. Dazu gehören die Abschätzung von induzierter Radioaktivität, sowie die Abschätzung der Detektorantwort von Ionisationskammern, welche in der Umgebung der LHC Experimente für Dosismessungen zum Einsatz kommen. Zusätzlich wurden Messungen durchgeführt, um die Verlässlichkeit der Simulationsresultate zu verifizieren.

Die Szintillationskristalle, die in den sogenannten “Endcaps” des elektromagnetischen Kalorimeters im Compact Muon Solenoid (CMS) Detektor benützt werden, sind einer sehr grossen Sekundärstrahlung ausgesetzt. Es ist daher zu erwarten, dass sie früher oder später Strahlenschäden aufweisen und desshalb in einem zukünftigen Detektor-“upgrade” ersetzt werden müssen. Studien haben gezeigt, dass ein Austausch der aktuellen Kristalle gegen solche aus cerium fluorid die von den aktivierten Kristallen erzeugten Dosisraten signifikant reduziert. Implizit wäre dadurch die Strahlenbelastung in der Nähe der Kristalle wesentlich geringer. Es wurde eine weitere Studie durchgeführt, um die Übereinstimmung von Monte Carlo Berechnungen und experimentelle Daten bezüglich der Aktivierung von Stahl im CMS Detektor und dessen Umgebung zu ermitteln. Die Resultate zeigen Abweichungen von maximal 50%, wobei die Simulationsresultate der Stahlproben welche am nächsten am Kollisionspunkt platziert waren, am besten mit den gemessenen Werten übereinstimmen.

Zusätzlich zu den Aktivierungsstudien wurde die Übereinstimmung von simulierten und gemessenen Signalen von Ionisationskammern untersucht, welche in der Umgebung des CMS Detektors installiert sind. Die Ergebnisse zeigen eine maximale

Abweichung um einen Faktor 2.1. Diese Überschätzung der Monte Carlo Simulation könnte von der vereinfachten Geometrie resultieren, die vor allem weniger unterstützende Struktur beinhaltet, als in Realität vorhanden ist. Eine weitere Untersuchung, die auf eine gute Voraussage der Simulation der Detektorantwort auf das vorherrschende Teilchenfeld hindeutet, lässt zusätzlich darauf schliessen, dass die Überschätzung durch die geometrischen Vereinfachung verursacht wird.