

Studies of W and Z Bosons with the CMS Experiment at the LHC

Doctoral Thesis

Author(s):

Sanchez, Ann-Karin

Publication date:

2012

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-007571447>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Diss. ETH Nr. 20592

**Studies of W and Z Bosons
with the CMS Experiment at the LHC**

A dissertation submitted to
ETH ZURICH
for the degree of
DOCTOR OF SCIENCES

presented by
ANN-KARIN NATHALIE SANCHEZ

Dipl. Phys. ETH
born on September 15, 1980
citizen of Zurich (ZH)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. G. Dissertori, examiner
Prof. Dr. R. Wallny, co-examiner
Dr. H. Jung, co-examiner

2012

Abstract

W and Z boson production has been studied in proton-proton collisions at the Large Hadron Collider at a center of mass energy of $\sqrt{s} = 7$ TeV. A nearly background free event selection is achieved after identifying the bosons from their decays to high energy leptons measured with the Compact Muon Solenoid detector and applying additional selection cuts.

The central charged-particle multiplicity and the forward energy flow as well as correlations between them are analyzed in detail with a data sample corresponding to an integrated luminosity of 36 pb^{-1} . These observables are sensitive to the underlying event structure. However, the underlying event is still poorly understood and thus has to be described with parametrized models. Experimental data is used to tune and constrain the models. Measurements with W and Z bosons are especially useful for the further tuning of the existing models, due to a clear separation of the hard interaction from the multiparton interactions. The measured distributions are compared to the different tunes of the available simulations. It is found that none of them describes the observations and the data can thus be used to constrain and improve the models.

A subsample of events with a pseudorapidity gap of at least 1.9 units in the forward direction is studied. Such a large rapidity gap is a common signature for diffractive events, and it is found that $(1.46 \pm 0.09 \text{ (stat.)} \pm 0.38 \text{ (syst.)})\%$ in W events and $(1.57 \pm 0.25 \text{ (stat.)} \pm 0.42 \text{ (syst.)})\%$ in Z events have a gap signature. It is shown that, as a result of inaccurate descriptions by models, the rapidity gap signature is not sufficient to provide evidence for a diffractive component in the data. However, diffractive events could be confirmed with an asymmetry variable, showing that the majority of the leptons are found in the hemisphere opposite to the gap. By fitting the shape of a simulated sample with a variable fraction of diffractive and non-diffractive events to data, a diffractive component of $(50.0 \pm 9.3 \text{ (stat.)} \pm 5.2 \text{ (syst.)})\%$ is determined.

Finally, a precise measurement of the W and Z boson transverse momenta is presented. Through the reconstruction of the Z boson via the lepton four-vector, accurate results are obtained for the Z momentum. Z+jet events are used to control and validate the W transverse momentum through the recoiling jet in W+jet events. The results are presented for a transverse momentum up to 500 GeV for inclusive events and events with one or two jets for an integrated luminosity of 1.5 fb^{-1} . The distributions can potentially be used to constrain the gluon distribution function to high precision at LHC energies.

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Dissertation wird eine detaillierte Studie zur W und Z Boson Produktion, welche in Proton-Proton Kollisionen am Large Hadron Collider bei einer Schwerpunktsenergie von 7 TeV erzeugt wurden, vorgestellt. Nach der Identifikation der Bosonen durch die im Compact Muon Solenoid Detektor gemessenen Leptonen und der Anwendung weiterer Selektionskriterien, wird eine nahezu untergrundfreie Ereignisselektion erreicht.

Im Detail werden die Multiplizität zentraler geladener Teilchen und der vorwärtsgerichtete Energiefluss sowie Korrelationen zwischen den beiden analysiert. Die verwendeten Daten entsprechen einer integrierten Luminosität von 36 pb^{-1} . Diese Observablen werden durch die Struktur des *Underlying Event* beeinflusst, welcher bisher nur ansatzweise verstanden ist und daher mit parametrisierten Modellen beschrieben werden muss. Experimentelle Messdaten werden zum Tuning und Einschränken der Modelle herangezogen. Aufgrund einer einfachen Separation der *Multiparton* Wechselwirkung vom W(Z) Prozess, sind dafür W und Z Bosonen besonders geeignet. Die gemessenen Verteilungen werden mit den verschiedenen verfügbaren Simulationen verglichen. Es zeigt sich, dass keine der Vorhersagen eine gute Übereinstimmung mit den Daten aufweist, weshalb die Messungen zur Verbesserung der Simulationen verwendet werden können.

Eine Teilauswahl von Ereignissen, für die in einem Intervall von mindestens 1.9 Pseudorapiditätseinheiten in Vorwärtsrichtung keine Teilchen gemessen wurden, wird näher untersucht. Ein solches *Large Rapidity Gap* ist eine übliche Signatur von diffraktiven Ereignissen. In dem analysierten Datensatz weisen $(1.46 \pm 0.09 \text{ (stat.)} \pm 0.38 \text{ (syst.)})\%$ in W Ereignissen und $(1.57 \pm 0.25 \text{ (stat.)} \pm 0.42 \text{ (syst.)})\%$ in Z Ereignissen, eine solche Signatur auf. Es wird gezeigt, dass diese Signatur in diesem Kontext für den Nachweis diffraktiver Ereignisse nicht ausreichend ist. Stattdessen wird eine alternative Variable verwendet, die aufzeigt, dass die meisten Leptonen auf der gegenüberliegenden Seite des Intervalls liegen. Durch den Fit eines kombinierten Monte Carlo Samples an die Daten wird eine diffraktive Komponente von $(50.0 \pm 9.3 \text{ (stat.)} \pm 5.2 \text{ (syst.)})\%$ gefunden.

Im weiteren wird eine präzise Messung des transversalen Impulses von W und Z Bosonen durchgeführt. Durch die Rekonstruktion des Z Bosons über den Lepton-Vierervektor werden genaue Resultate erlangt, welche über den kompensierenden *Jet*, für die Messung des W Impulses verwendet werden können. Die Verteilungen werden

für Daten, welcher einer integrierten Luminosität von 1.5 fb^{-1} entsprechen, bis zu einem transversalen Impuls von 500 GeV gezeigt. Sie können für eine weitere Einschränkung der *Gluon Distribution Functions* benützt werden.