

DISS. ETH NO. 21978

**Search for Physics Beyond the Standard  
Model in the Opposite-Sign Same-Flavor  
Dilepton Final State with the CMS Detector**

A thesis submitted to attain the degree of  
**Doctor of Sciences**  
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by  
**Marco - Andrea Buchmann**  
MSc ETH Zurich Physics  
born June 1<sup>st</sup>, 1985  
citizen of Emmen LU and Inwil LU, Switzerland  
and Montechiarugolo (PR), Italy

accepted on the recommendation of  
**Prof. Dr. Rainer Steffen Wallny** examiner  
**Prof. Dr. Günther Dissertori** co-examiner

2014



# Abstract

The Standard Model of particle physics has been remarkably successful in describing results of generations of collider and fixed-target experiments. Despite the model's success, many open questions remain; an extension will be necessary at the very least at the Planck scale, where quantum gravity must be incorporated into the theory. An excellent candidate for a possible extension of the Standard Model is supersymmetry, which predicts a partner particle for each particle of the Standard Model and solves several of the shortcomings of the Standard Model.

In this thesis, a search for supersymmetry in the final state with two opposite-sign same-flavor leptons, jets, and missing transverse energy is presented. This final state is very common in scenarios of physics beyond the Standard Model, and many models contain decay chains producing correlated lepton pairs and therefore feature a kinematic edge in the dilepton mass distribution. The present search uses  $19.4 \text{ fb}^{-1}$  of integrated luminosity of proton-proton collisions at a center-of-mass energy of  $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ , collected by the Compact Muon Solenoid detector at CERN's Large Hadron Collider. Two different approaches are used: a counting experiment at low invariant dilepton mass to detect a generic same-flavor signal, and a fit in a broader dilepton mass range to find a kinematic edge. The search is performed separately for central leptons (i.e. lepton pairs where both leptons are in the barrel region) and non-central leptons (where at least one of the leptons is outside the barrel region). The dominating background consists of flavor symmetric processes, i.e. processes which produce same-flavor and opposite-flavor lepton pairs with equal probability. Smaller contributions arise from  $Z + \text{jets}$  events, non-prompt leptons, and rare backgrounds. The backgrounds are predicted using data

control samples, with each main background being determined by various independent methods.

A  $2.5\sigma$  excess over the Standard Model expectations was found for central lepton pairs ( $0.2\sigma$  for non-central lepton pairs) in the counting experiment. In the case of the fit, a mass edge position of  $78.7 \pm 1.4$  GeV was found, and the significance was determined to be  $2.96\sigma$ . The results were used to establish exclusion limits on the number of signal events in a model-independent way.

# Zusammenfassung

Das Standardmodell der Teilchenphysik ist ausserordentlich erfolgreich in der Beschreibung experimenteller Resultate von Generationen von Collider- und Fixed-Target-Experimenten. Es verbleiben allerdings mehrere offene Fragen und das Modell wird mindestens an der Planckskala erweitert werden müssen, da bei diesen Energien die Quantengravitation in die Theorie einbezogen werden muss. Ein hervorragender Kandidat für eine solche Erweiterung des Standardmodells ist die Supersymmetrie, welche einen sogenannten Superpartner für jedes Teilchen des Standardmodells vorhersagt und verschiedene Mängel behebt.

In dieser Dissertation wird eine Suche nach Supersymmetrie im Endzustand mit zwei Leptonen gegensätzlichen Vorzeichens und gleichen Flavors, Jets sowie fehlender transversaler Energie vorgestellt. Es handelt sich dabei um einen sehr häufigen Endzustand in Modellen jenseits des Standardmodells, wobei viele dieser Modelle Zerfallsketten mit korrelierten Leptonenpaaren enthalten (welche eine kinematische Kante im Leptonenpaarmassenspektrum verursachen).

Die präsentierte Suche verwendet einen Datensatz mit  $19.4 \text{ fb}^{-1}$  integrierter Luminosität, welcher vom Compact Muon Solenoid Detektor am Large Hadron Collider des CERN bei einer Schwerpunktenergie von  $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$  in Proton-Proton Kollisionen aufgezeichnet wurde. Zwei verschiedene Ansätze werden verwendet: ein Zählexperiment bei niedriger Leptonenpaarmasse um ein allgemeines Signal in diesem Endzustand zu finden, sowie ein Fit in einem breiteren Bereich der Leptonenpaarmasse zum Auffinden einer kinematischen Kante. Die Suche wird separat ausgeführt für zentrale Leptonenpaare (bei welchen beide Leptonen in der

Barrelregion sind) und nicht-zentrale Leptonenpaare (bei welchen sich mindestens ein Lepton ausserhalb der Barrelregion befindet). Der grösste Untergrundbeitrag kommt von Flavor-symmetrischen Prozessen; dies sind Prozesse, welche Leptonenpaare gleichen und ungleichen Flavors mit identischer Wahrscheinlichkeit produzieren. Kleinere Beiträge stammen von  $Z + \text{jets}$  Ereignissen, nicht-prompten Leptonen sowie seltenen Untergrundprozessen. Diese Untergrundprozesse werden durch Verwendung von statistisch unabhängigen Kontrollregionen vorhergesagt, wobei jeder Untergrund anhand mehrerer unabhängigen Methoden bestimmt wird.

Für zentrale Leptonenpaare wurde eine Abweichung von  $2.5\sigma$  gegenüber der Standardmodellvorhersage gefunden ( $0.2\sigma$  für nicht-zentrale Leptonenpaare). Im Falle des Fits wurde eine Kantenposition von  $78.7 \pm 1.4$  GeV gefunden, wobei die Signifikanz  $2.96\sigma$  beträgt. Die Resultate wurden verwendet um obere Grenzen für die Anzahl Signaleignisse in einer modellunabhängigen Weise zu berechnen.