

Bachelorarbeiten im Bereich top-Physik am CMS-Experiment

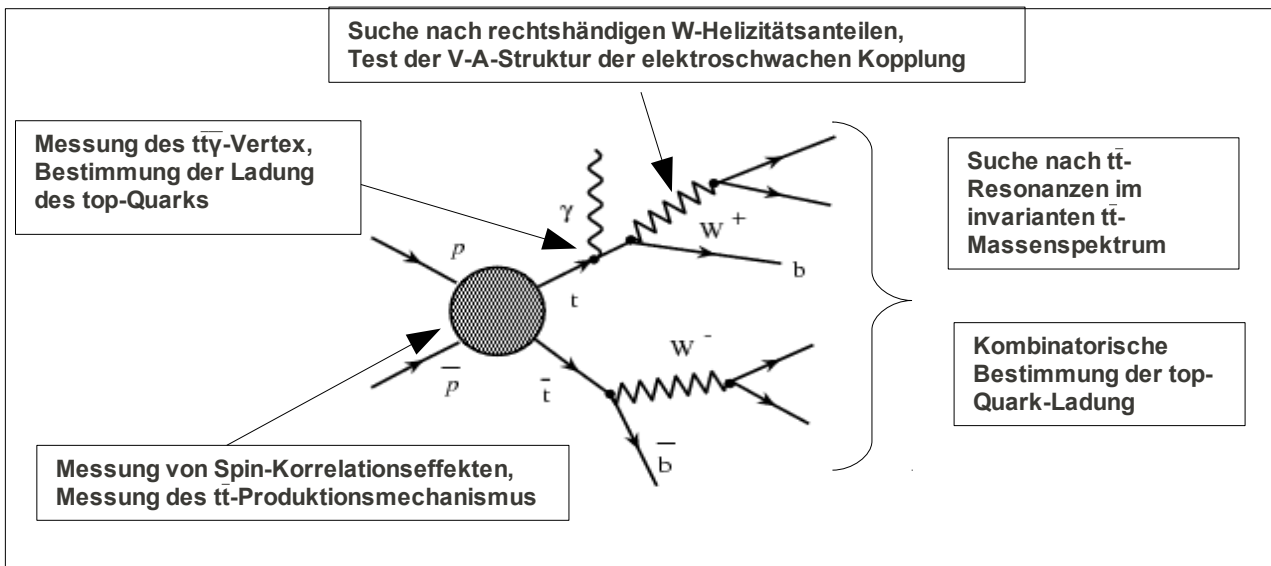
Am europäischen Teilchenphysiklabor CERN in Genf wurde der LHC-Beschleuniger und das CMS-Experiment in Betrieb genommen. Seit 2010 werden Proton-Proton-Kollisionen bei den höchsten Schwerpunktsenergien studiert. Unsere Arbeitsgruppe ist aktiv an der Datennahme und -Auswertung im Rahmen des CMS-Experimentes beteiligt und hat den Analyseschwerpunkt auf die Untersuchung von Ereignissen mit top-Quarks und tau-Leptonen fokussiert.

Physik mit top-Quarks

Ein wesentlicher Baustein im Standardmodell der Teilchenphysik ist das top-Quark. Als schwerstes bekanntes Elementarteilchen ist erst 1995 am Fermilab entdeckt worden. Die hohe Schwerpunktsenergie und Luminosität des LHC erlaubte nicht nur die Wiederentdeckung des Quarks sondern die hohe Teilchenrate ermöglicht es dediziert einzelne Eigenschaften des Teilchen zu studieren. Dies ist in mehrerlei Hinsicht spannend:

- Die Produktion des top Quarks an Hadronkollidern ermöglicht die Analyse vieler Physikalischer Fragestellungen der perturbativen QCD, wohingegen der Zerfall des top Quarks, Analysemöglichkeiten und Tests der elektroschwachen Wechselwirkung erlaubt.
- Auf Grund seiner großen Masse stellt das Teilchen einen dominanten Zerfallskanal in Vorhersagen zu Prozessen neuer Physik außerhalb des Standardmodells (z.B. SUSY) dar.
- Die große Masse bedingt, dass das top-Quark zerfällt bevor es hadronisiert. Es gibt keine gebundenen top-Zustände. Dieser Umstand ermöglicht einen direkten Blick auf die 'nackten' Quark-Eigenschaften.
- In Schleifenkorrekturen ist die Topmasse ein wesentlicher Parameter zur Abschätzung der Masse des bisher noch unentdeckten Higgs-Bosons. Eine für die kommende Datenperiode erwartete Higgsentdeckung oder ein Ausschluss des Teilchens wird sich an der Vorhersage der Higgs-Eigenschaften aus den top-Quark Analysen messen lassen müssen.

An unserem Institut werden wichtige Physikanalysen, wie die Messungen der Parameter des schwersten bekannten Elementarteilchens, des Top-Quarks (Masse, Spin, Ladung, ...) und die Suche nach neuen Phänomenen der Teilchenphysik (z.B. die Verletzung der Leptonzahlerhaltung) vorbereitet und durchgeführt. Sie arbeiten mit an der Erforschung neuer Phänomene im Mikrokosmos und studieren interessante Physik an der Grenze des heutigen Wissens. Im Bereich der objektorientierten Software-Entwicklung lernen Sie Monte-Carlo-Methoden, Techniken der statistischen Datenanalyse und weltweit verteiltes Rechnen auf dem GRID vor dem Hintergrund eines modernen Hochenergiephysik-Experiments kennen.



Schematische Darstellung der Analyseschwerpunkte unserer Analysegruppe im Bereich der top-Quark Physik.

Bei Interesse an einer Bachelorarbeit kommen Sie bitte einfach bei uns vorbei.

Kontakt: Heiko Geenen heiko.geenen@physik.rwth-aachen.de

Yvonne Küssel yvonne.kuessel@rwth-aachen.de

Achim Stahl stahl@physik.rwth-aachen.de

Im folgenden finden Sie Vorschläge zu möglichen Bachelorarbeiten. Neben Einblicken in die Physik der Top-Quarks und wie man versucht, deren Eigenschaften zu vermessen, werden Sie moderne statistische Methoden erlernen. Der Hauptteil der Analyse wird mit dem Analyseprogramm ROOT bearbeitet. Alle Themen können in Zweier-Teams bearbeitet werden. Wegen begrenzter Betreuungskapazitäten können leider nicht alle Arbeiten vergeben werden.

Messung der Ladung des top-Quarks

Eine interessante Größe des top-Quarks ist die Ladung. Diese wird vom Standardmodell mit $2/3e$ vorhergesagt. Es sind aber auch exotische Ladungen vorstellbar, bzw. ist es durchaus wichtig zu wissen, dass es sich bei den experimentell gefundenen top-Ereignissen wirklich um den schwachen Isospinpartner des b-Quarks handelt. Die Frage der fundamentalen Eigenschaft der top-Quark-Ladung kann verschieden angegangen werden:

- Messung via top-Photon-Vertex: Ein möglicher Zugang zur Ladungsmessung besteht darin Photon-Abstrahlung vom top-Quark zu untersuchen. Dieser Prozess ist proportional zur top-Quark Ladung. Eine Untersuchung des Spektrums der abgestrahlten Photonen, erlaubt u. a. eine quantitative Messung der top-Quark Ladung. Hierzu ist bereits eine Studie mit simulierten Ereignissen an unserem Institut durchgeführt worden. Im Rahmen einer Bachelorarbeit kann darauf zurückgegriffen werden und die Schnitten zur Photonidentifikation in top-Quark Ereignissen können optimiert werden. Sie können versuchen, die systematischen Unsicherheiten der Studie unter aktuellen Gesichtspunkten zu quantifizieren und einen Blick auf erste Daten zu wagen.
- Messung via Ladungsmessung des b-Jets: Untersucht werden hierbei leptonische top-Quark Zerfälle. Dabei wird die Ladung des top-Quarks aus seinen Zerfallsprodukten kombiniert. Das top-Quark zerfällt schwach in ein b-Quark, das entstehende W-Boson zerfällt in ein Lepton und Neutrino. Die Ladung des Leptons kann sehr präzise vermessen werden. Ziel einer Analyse ist es den entsprechenden b-Jet zu identifizieren und auf die ursprüngliche Ladung des b-Quarks zu schließen. Hierzu wird derzeit an unserem Institut eine Analyse durchgeführt. Im Rahmen einer Bachelorarbeit bietet sich die Möglichkeit nach alternativen Observablen von Jets zu suchen, die mit der b-Quark-Ladung korreliert sind. Die Korrelation lässt sich direkt mit Daten validieren. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit der statistischen Interpretation des Ergebnisses.

Spin-Spin-Korrelationen

Aufgrund seiner großen Masse zerfällt das Top-Quark schwach, bevor es hadronisieren kann. Daher kann man aus den Zerfallsprodukten von Top-Paarereignissen auf die Spineinstellung der ursprünglichen Top-Quarks schließen. Diese Untersuchung von Spinkorrelationen zwischen den Top-Quarks eröffnet einen fundamentalen Einblick in die Produktionsmechanismen (Quark-Quark-Annihilation und Gluon-Gluon-Fusion) der Top-Quarkpaare und erlaubt einen Test der QCD. Die Spineigenzustände lassen sich durch die Winkelverteilung der geladenen Leptonen aus dem Top-Quarkzerfall charakterisieren. Eine entscheidende Frage ist, ob die Sensitivität der laufenden Analyse durch eine ein- oder zweidimensionale Darstellung besser repräsentiert wird. Sie können im Rahmen einer Bachelorarbeit, z.B.

- die Spinverteilungen von simulierten Top-Paarereignissen analysieren. Eine spannende Frage ist welches eine geschickte, sensitive Observable zur Analyse des Spins ist. Ein statistischer Vergleich zwischen den Observablen kann erarbeitet werden. Dies erlaubt nicht nur einen detaillierten Einblick in die Thematik der Spinkorrelationen, sondern Ihre Ergebnisse können zur Steigerung der Sensitivität laufender Analysen verwendet werden.
- Eine Studium der Methodik: Ein generelles Problem in fast allen Physikanalysen, bei denen Winkelverteilungen von Bedeutung sind, wie sie auch für Spinkorrelationen betrachtet werden, liegt in der Auflösung der rekonstruierten Größen. Die physikalischen Verteilungen weichen von den experimentell gemessenen Verteilungen ab. Dies liegt an der limitierten Akzeptanz und Auflösung des Detektors und der Analyse. Man kann auf die physikalische Größe über zwei Ansätze schließen: Eine an unserem Institut durchgeführte Analyse simuliert die rekonstruierten Verteilungen für verschiedene Spinszenarien und passt diese an die gemessenen Daten an (Template-Fit). Ein alternativer Ansatz kann im Rahmen einer Bachelorarbeit mit der Implementierung eines Entfaltungsalgorithmus beschriftet werden. Je nach Verlauf des Physikprogramms am LHC lohnt sich ein Blick auf erste Daten.

Resonanzen im invarianten Toppaar-Massenspektrum

Es gibt plausible Gründe nach neuer Physik außerhalb des Standardmodells der Teilchenphysik zu suchen. Ein wesentlicher Aspekt dieser Theorien ist die Existenz massiver Teilchen. Auf Grund der großen top-Quark Masse von $172 \text{ GeV}/c^2$ erwartet man, dass viele dieser neuen Teilchen in top-antitop-Paare zerfallen. Diese Prozesse sind zunächst mal nicht unterscheidbar von den top-antitop Paaren, die im Rahmen des Standardmodells produziert werden. Allerdings erwartet man, dass diese Quark-Paare resonant produziert werden. Ein solcher Effekt sollte sich als im Spektrum invarianten Top-Paar-Masse manifestieren. Im Rahmen einer Bachelorarbeit kann auf eine bestehende Ereignis Selektion zurückgegriffen werden. Diese kann auf die aktuellen Daten angewendet werden um das Massenspektrum zu interpretieren.

Daten-getriebene Untergrundabschätzungen für Top-Quark-Analysen

Top-Paar-Ereignisse zeichnen sich durch eine klare Signatur im Detektor aus, dennoch gibt es Untergrundprozesse die eine ähnlich Signatur haben. Wichtig für alle Analysen in der top-Physik ist eine genaue Kenntnis dieser Untergründe. Diese ist allerdings limitiert. Das liegt zum einen daran, dass viele Parameter in den Simulationen in den Bereich der LHC Energien extrapoliert werden mussten, auf der anderen Seite haben diese Prozesse einen enorm großen Wirkungsquerschnitt, dass an die Grenzen der heutigen Rechenkapazität geht genug Untergrundereignisse zu generieren um eine quantitative Aussage über die Selektionseffizienz solcher Prozesse zu machen. Mit dem Start des LHC, besteht die Möglichkeit den Einfluss solcher Ereignisse direkt anhand der Daten zu untersuchen. Im Rahmen einer Bachelorarbeit kann man sich auf einen Untergrundprozess konzentrieren und verschiedene Methoden implementieren.