

Martin-Andersen-Nexö Gymnasium

Dokumentation zur wissenschaftlichen Arbeit

Erstellen einer Aufgabenstellung für die
international Masterclasses zum Thema
Winkelverteilung beim dileptonischen Higgszerfall

Externer Betreuer: M.Sc. Ulrike Schoor -
Technische Universität Dresden
Institut für Kern- und Teilchenphysik

Schulischer Betreuer: Herr Geißler –
Martin-Andersen-Nexö Gymnasium

Maximilian Kießler
17.06.2011

Kurzfassung

Jährlich finden an Hochschulen in 24 Ländern die sogenannten International Masterclasses statt. Hier treffen sich Schüler, die besonderes Interesse an Teilchenphysik zeigen. An einem Tag werden sie in die Grundlagen der Teilchenphysik eingeführt.

Meine Aufgabe war es mir eine Arbeitsanweisung an die Schüler auszudenken, um ihnen Wissen über das Higgsteilchen zu vermitteln.

Dieses Teilchen, welches bis heute nicht gefunden wurde, soll die bisher ungeklärte Ursache für die Masse der Elementarteilchen liefern.

Um diese zu erklären hat der britische Physiker Peter Higgs die Theorie eines allgegenwärtigen Feldes aufgestellt, mit dem alle massebehafteten Teilchen wechselwirken und würde man das Teilchen finden würde es diese Theorie belegen.

Die von mir erstellte Aufgabenstellung sollte also nun den Schülern darstellen, wie man dieses Teilchen mittels Daten vom Large Hadron Collider (LHC) – dem größten Teilchenbeschleuniger der Welt – mit ähnlichen Methoden wie die „echten“ Physiker, finden kann.

Dazu standen mir reale LHC-Daten, sowie simulierte Higgs-Daten zur Verfügung. Bei all diesen Higgsereignissen zerfällt das Higgs zunächst in zwei W-Bosonen und anschließend in ein Elektron/Muon und ein Neutrino

In der daraus entstandenen Aufgabe beschäftigen sich potentielle Schülergruppen mit einer für das Higgsereignisse charakteristischen Winkelverteilung des Winkels, den die beim Higgszerfall entstehenden zwei Teilchen einschließen.

Allerdings liefern die bisherigen Daten nicht genügend Statistik um eine deutliche Winkelverteilung zu erhalten, weshalb man daraus noch keine Masterclasses-Aufgabe erstellen kann.

Liefert der LHC aber wie geplant im nächsten Jahr genügend Daten, wäre eine solche Aufgabe möglich.

Abstract

Each year students from 24 countries visit their local universities to take part at the so called International Masterclasses to discover the mystics of particle physics. At this day they get introduced to the fundamentals of this part of physic.

My task was to create an exercise for these students to impart knowledge about the Higgs boson.

This particle which has not been discovered yet is supposed to give a reason for the currently unexplained mass of the elementary particles.

To give an explanation the British physicist Peter Higgs proposed a theory of an omnipresent field which interacts with all mass-carrying particles and if the Higgs boson should be found it would prove this theory.

The exercise drafted by me should explain how the Higgs boson can be found with the information from the Large Hadron Collider (LHC), the largest particle accelerator of the world, with methods similar to the ones "real" physicists use.

Therefore I had real data from the LHC as well as simulated Higgs events. In every event the Higgs boson deceases into two W-bosons which decease subsequent into an electron/muon and a neutrino.

The exercise uses the distribution of the angle between the two final leptons (electron/muon) to distinguish between background processes and Higgs events, because they have a different characteristic angular distribution.

Admittedly the information from the LHC is not enough to identify a clear angular distribution, wherefore you cannot make a Masterclasses exercise out of this. But if the LHC should deliver in the following year as much data as planned such an exercise would be possible.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | EINLEITUNG | 5 |
| 2 | TECHNISCHE GRUNDLAGEN | 5 |
| 2.1 | Das Standardmodell | 5 |
| 2.2 | Large Hadron Collider (LHC) | 8 |
| 2.3 | Das Higgsteilchen..... | 9 |
| 3 | DURCHFÜHRUNG | 10 |
| 3.1 | Vorgehensweise | 10 |
| 3.2 | Eventdisplay Minerva | 11 |
| 4 | WINKELVERTEILUNG IN HIGGS → WW EREIGNISSEN | 13 |
| 4.1 | Warum Winkel als Selektionskriterium? | 13 |
| 4.2 | Winkelauswertung | 13 |
| 4.3 | Winkelverteilung | 15 |
| 5 | ERGEBNISSE | 17 |
| 5.1 | Masterclasses-Aufgabe | 17 |
| 5.2 | Datenauswertung | 17 |
| 6 | ZUSAMMENFASSUNG | 19 |
| 7 | QUELLEN | 20 |
| 7.1 | Bildnachweis | 20 |
| 7.2 | Textquellen..... | 20 |
| 8 | ANHANG | 21 |
| 9 | SELBSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG..... | 21 |
| 10 | DANKSAGUNG..... | 21 |

1 Einleitung

Die International Masterclasses sind eine Veranstaltung, bei der mehrere tausend Schüler und Interessenten aus 24 Ländern an Hochschulen und Universitäten zusammenkommen, um etwas über Teilchenphysik zu erfahren.

Unter anderem bearbeiten sie im Laufe des eintägigen Projekts eine Aufgabe, um die Arbeit von Teilchenphysikern näher kennenzulernen und bedeutende Entdeckungen der Teilchenphysik nachvollziehen zu können.

In der folgenden wissenschaftlichen Arbeit habe ich mich mit der Erstellung einer Aufgabenstellung für diese Veranstaltung beschäftigt. Diese von mir konzipierte Aufgabenstellung sollte die Entdeckung des Higgsteilchens, welche vielleicht in den nächsten Jahren am Large Hadron Collider (LHC) in Genf gemacht wird, zum Thema haben.

Zum Erstellen der Aufgabe standen mir echte LHC-, sowie simulierte Daten zur Verfügung.

Im Großen und Ganzen hatte ich drei Ansprüche an die Aufgabenstellung:

Zum einen soll sie wissenschaftlich korrekt und trotzdem für Teilchenphysik-Laien verständlich sein, zum anderen soll sie erklären, wie große wissenschaftliche Entdeckungen in der Teilchenphysik gemacht werden und sie soll außerdem Interesse an diesem Teil der Physik wecken und die Schüler ansprechen.

Ich selbst habe im Laufe meiner Arbeit an einer Masterclass teilgenommen, um zum einen das Umfeld, indem meine Aufgabe bearbeitet wird, genauer kennen zu lernen und zum anderen auch aus Interesse an diesem Stoffgebiet.

2 Technische Grundlagen

Die hier gegebenen Grundlagen vermitteln einen Einblick in den Bereich der Teilchenphysik und werden benötigt, um die folgende Arbeit zu verstehen. Es sind auch dieselben, wie sie den Schülern vorher bei den Masterclasses zum Beispiel in Vorträgen vermittelt werden.

2.1 Das Standardmodell

Schon weit vor unserer Zeit befassten sich Naturphilosophen mit der Materie der Welt. So zum Beispiel der Grieche Demokrit. Sein Gedankengang war dabei folgender: „Man hat einen Apfel und isst eine Hälfte, so bleibt eine Hälfte von diesem übrig. Teilt man ihn immer weiter, so erhält man ein Viertel, ein Achtel und so weiter.“

Die Frage die sich Demokrit daraufhin stellt war, ob man dieses Spiel immer weiter treiben könne.

Der Weise verneinte dies und schloss somit auf ein kleinstes Teilchen, welches unteilbar sein muss. Dieses unteilbare Teilchen nannte Demokrit Atom (griechisch atomos, unteilbar).

Die Idee des Atoms als Grundbaustein der Materie war geboren. Doch geriet sie über die Jahrhunderte in Vergessenheit. Erst im 18. Jahrhundert begannen Wissenschaftler sich wieder den Kopf über die Atome zu zerbrechen.

Einer dieser Forscher war der Engländer John Dalton. Dieser entdeckte, dass die Mengenverhältnisse der Stoffe für eine chemische Reaktion immer gleich waren. Nach Daltons Ansicht lies sich das nur durch die Anwesenheit von winzigen Bausteinen erklären, aus welchen alle Materie aufgebaut ist. Will man also Wasser herstellen, so braucht man zwei Liter Wasserstoff und einen Liter Sauerstoff und es entsteht H_2O .

Seine Vorstellung belief sich dabei auf winzige unteilbare Kügelchen, welche wie Billardkugeln umherschwirren und sich dabei treffen und sich somit zu Molekülen zusammenlagern können.

Dieses Modell hatte aber Anfang des 19. Jahrhunderts ausgedient.

Der Brite J.J. Thomas, beschäftigte sich besonders mit Elektrizität, wobei er feststellte, dass Elektronen die Ladungsträger für elektrische Ladungen waren. Diese mussten nun irgendwie Eingang in das Atommodell finden. Sein Vorschlag war das „Rosinenkuchenmodell“. Die Elektronen sind dabei wie Rosinen in den Kuchen aus Atomen eingebacken.

Diese Theorie widerlegte der Engländer Ernest Rutherford, indem er Alphastrahlung auf eine dünne Goldfolie richtete.

Nach Thomas Theorie dürfte die Alphastrahlung nicht zurückgeworfen werden, da keine Teilchen in dem Rosinenkuchen groß genug wären, die großen Teilchen der Alphastrahlung zurückzuwerfen. Allerdings konnte Rutherford genau das mit seinem Versuch nachweisen. So stellte er fest, dass fast jedes zwanzigtausendste Alphastrahlungsteilchen reflektiert wurde.

Es muss also ein großer „Ladungskern“ in den Goldatomen vorhanden sein, so war Rutherfords Schlussfolgerung.

Das Atom war also gar nicht unteilbar, sondern besteht aus einem winzigen Kern und einer Elektronenhülle, schlussfolgerte Rutherford weiter.

Somit war das Atom vom Sockel des unteilbaren Elementarbausteins gestoßen wurden.

Dies zeigte auch der Brite James Chadwick, welcher im Jahr 1932 neben den positiv geladenen Protonen noch neutrale Neutronen im Kern entdeckte, indem er Berylliumatome mit Alphateilchen

beschoss.

Die Frage nach dem Aufbau der Materie schien gelöst.

Doch mit immer neuen Experimentiertechniken, die es ermöglichten Teilchen mit hohen Geschwindigkeiten aufeinander treffen zu lassen, entdeckten Forscher immer mehr Teilchen.

Ende der fünfziger Jahre belief sich die Zahl der Teilchen auf über zweihundert.

Dieses bunte drunter und drüber aus hunderten von Teilchen gefiel den Physikern selbstverständlich nicht. So entwickelte der kalifornische Physiker Murray Gell-Mann im Jahr 1967 eine

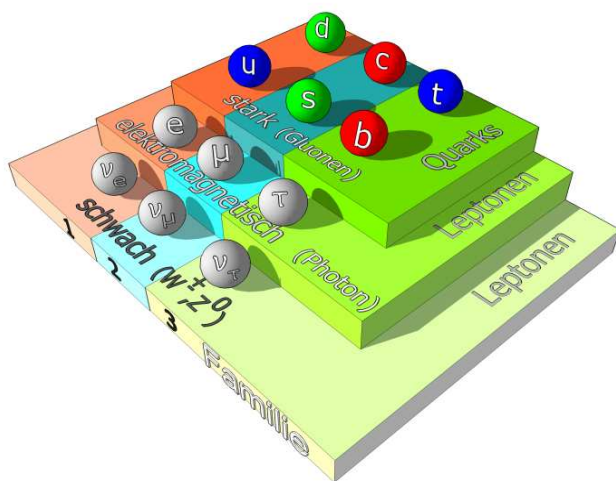


Abb. (1) Das Standardmodell als Pyramide. Die einzelnen Stufen stellen die Kraft dar, denen sie unterliegen und die drei farbigen Bereiche sind die jeweiligen zugehörigen Familien.

neue, revolutionäre Theorie. Nach dieser waren alle Hadronen aus unterschiedlichen Quarks zusammengesetzt. Diese Hypothese bestätigte sich Anfang der siebziger Jahre. Wissenschaftler schafften es mit Hilfe von Teilchenbeschleunigern die Existenz der Quarks nachzuweisen.

Und genau diese Quarks gelten heute noch als Grundbausteine der Welt, als die unteilbaren Bauklötzchen, aus denen der Großteil der Materie aufgebaut ist.

Allerdings sind die Quarks nicht die einzigen Bauklötzchen. Neben ihnen gibt es zehn weitere Teilchen, welche alle zusammen das Standardmodell bilden. Dieses geht im Wesentlichen von vier Teilchen aus: dem up-Quark, dem down-Quark, dem Elektron und dem Elektronen-Neutrino.

Allerdings gibt es diese Teilchen in mehreren Familien. In der zweiten Familie heißen sie: charm-Quark, strange Quark, Myon und Myonen-Neutrino.

In der dritten: Top- und bottom-Quark, Tau-Lepton (auch Tauon) und Tau-Neutrino.

Allerdings existiert in unserer Welt nur die erste Familie. Die anderen schwereren „Brüder“, dieser Teilchen entstehen nur bei extremsten Bedingungen, wie zum Beispiel direkt nach dem Urknall, in

der kosmischen Höhenstrahlung, oder in Teilchenbeschleunigern. Weiterhin bilden diese Teilchen nur die Hälfte aller Materiebausteine. Denn jedes Teilchen existiert in einer gespiegelten Form der Materie; die sogenannte Antimaterie. Diese weist exakt gleiche Eigenschaften auf, bis auf die elektrische Ladung, welche bei ihnen umgekehrt ist.

Neben den Materiebausteinen enthält das Standardmodell noch vier Kräfte.

Die *elektromagnetische Kraft* wird durch die elektrische Ladung eines Teilchens verursacht. Dabei kann ein Partikel positiv oder negativ geladen sein, wobei sich gleiche Ladungen abstoßen und unterschiedliche Ladungen anziehen. Bewegt sich ein elektrisch geladenes Teilchen durch ein Magnetfeld, so wirkt zusätzlich die magnetische Kraft.

Wenn ein Teilchen also elektrisch ungeladen ist, so bleibt es von der elektromagnetischen Kraft unbeeinflusst.

Die *starke Kraft* herrscht zwischen den Quarks und hält diese zusammen.

Auch diese Kraft ist durch eine Ladung verursacht, welche von den Physikern Farbladung genannt wird. Dabei gibt es die Ladungen blau, rot und grün. Vereinen sich zwei up- und ein down-Quark zu einem Proton, so wird aus den drei Farben ein neutrales Weiß.

Da sie ähnlich wie bei einem Gummiband größer wird, je weiter man die Quarks voneinander entfernt, treten diese nur in Zweier- oder Dreierpärchen, also als neutralgeladenes Weiß auf.

Die *schwache Kraft* ist der Auslöser für den Radioaktiven β -Kernzerfall, sowie für die Kernschmelze im Inneren der Sonne. Sie „verwandelt“ dabei bestimmte Elementarteilchen in einander um; zum Beispiel ein Up- in ein Down-Quark. Und eben diese Umwandlung ist eine Ursache für die Kernfusion beziehungsweise den Kernzerfall.

Die *Gravitation* ist nichts anderes als die bekannte Schwerkraft. Sie sorgt dafür, dass wir alle auf dem Teppich bleiben und Äpfel auf Köpfe von begnadeten Naturwissenschaftlern fallen.

Allerdings spielt diese Kraft im Mikrokosmos keine Rolle, da sie im Vergleich zu den anderen Kräften winzig ist.

Anders ist das bezogen auf den Makrokosmos. Hier spielt die schwache und starke Kraft scheinbar keine Rolle. Die elektromagnetische Kraft spielt da schon eine größere und die Gravitation die größte Rolle in unserer Welt.

Diese Kräfte bezeichnet man auch als Wechselwirkungen, da Botenteilchen zwischen den Elementarteilchen vermitteln. Bei der starken Kraft dienen Gluonen als „Klebetilchen“ zwischen den Quarks und bei der elektromagnetischen Kraft vermitteln Photonen zwischen den Teilchen.

Bei der schwachen Kraft fliegen sogenannte Vektorbosonen zwischen den Teilchen hin und her. Auch die Gravitation wird mittels Botenteilchen vermittelt, so zumindest die Theoretiker. Dieses Teilchen wurde allerdings noch nicht entdeckt.

2.2 Large Hadron Collider (LHC)

Der derzeit größte Teilchenbeschleuniger ist der LHC am schweizer Forschungszentrum CERN. In einem Ring, der 100 Meter unter der Erde liegt und einen Umfang von 27 Kilometern hat, schießt dieser Hadronen aufeinander. Hadronen sind alle Teilchen, die aus Quarks aufgebaut sind und somit der starken Kraft unterliegen.

Der LHC kann dabei zwei verschiedene Sorten Hadronen aufeinander schießen: leichte Protonen und schwere Bleiionen.

Eine Teilchenkollision, oder ein Ereignis, wie es die Forscher nennen, erlaubt eine Reise zurück in der

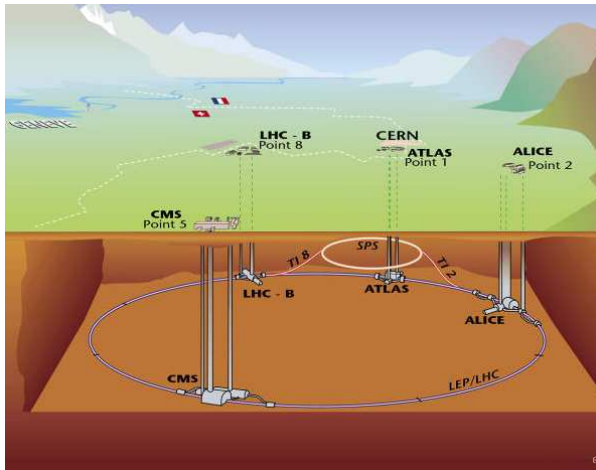


Abb. (2) Querschnitt durch den 100m unter der Erde gelegenen LHC.

Zeit, zumindest im physikalischen Sinne. Denn bei der Kollision entstehen Bedingungen, wie sie kurz nach dem Urknall geherrscht haben. Die Protonen Crashes ermöglichen einen Blick zurück in die Zeit, wo das Universum erst 10^{-13} Sekunden existiert hat, also etwa in das Jahr 13,75 Milliarden Jahre vor Christus. Unter diesen extremen Bedingungen entstehen Teilchen, wie sie in unserem heutigen „alten“ Universum nicht mehr existieren.

Die Größe des LHC ist dabei ganz bewusst

gewählt. Denn es benötigt, auf Grund der Fliehkräfte, viel Energie den Protonen eine Kreisbahn aufzuzwingen und je größer die

Krümmung, desto größer auch die Fliehkräfte. Trotzdem braucht man starken Magneten um die Protonen auf eine Kreisbahn zu bringen. Allerdings benötigt man dazu so starke Magnetfelder, welche man nur durch Supraleitung erreichen kann. Um dies zu erreichen kühlt man die Magnete mit Hilfe von flüssigem Helium auf 1,9 Kelvin (Die durchschnittliche Temperatur des Universums beträgt nur 2,7 Kelvin).

In dem Ring fliegen die Protonen dann mit einer Geschwindigkeit vom 0,999999fachem der Lichtgeschwindigkeit aufeinander zu. Die Beschleunigung erfolgt dabei ähnlich wie bei einem Röhrenfernseher: ein elektrisches Feld wechselt zwischen negativ und positiv und schiebt und zieht dabei das Proton.

Innerhalb des Ringes liegen vier Kollisionpunkte, sogenannte Experimente. Der größte von ihnen ist der ATLAS-Detektor. Er ist 44 Meter lang und wiegt etwa 7000 Tonnen.

Bei diesen Teilchenkollisionen beginnen aufgrund der sehr hohen Geschwindigkeiten, relativistische Effekte und Einsteins berühmtes

$$E = mc^2 \quad (1)$$

mitspielen. Er hat erkannt, dass sich Energie in Materie umwandeln kann und umgekehrt. Die Protonen zersplittern also nicht in ihre

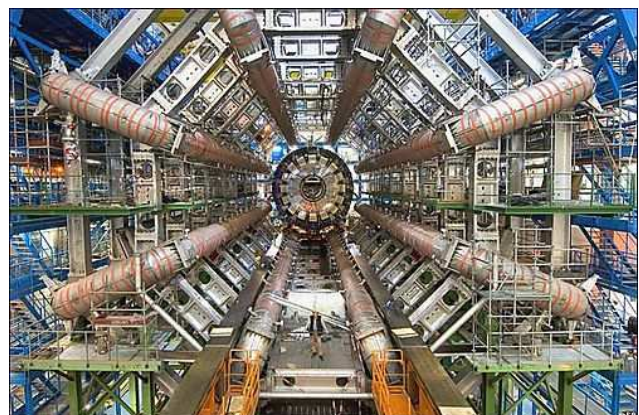


Abb. (3) Querschnitt durch den ATLAS-Detektor. Als Größenvergleich steht ein Mensch in ihm (unten Mitte).

Bestandteile Gluonen und Quarks, sondern es entstehen ganz neue Teilchen aus der freigesetzten Bewegungsenergie.

Hier liegt aber auch die Chance neue Teilchen zu entdecken und nicht die altbekannten Protonenbausteine.

Allerdings benötigt es für das Aufspüren der Teilchen blitzschnelle und diffizile Detektoren. Um dies zu ermöglichen besteht ATLAS aber auch die anderen Experimente aus ineinander gesteckten Zylindern, welche unterschiedliche Aufgaben erfüllen.

Der innere Detektor besteht aus vielen Siliciumchips. Durchquert ein geladenes Teilchen einen solchen Chip hinterlässt es ein Signal, woraus man die Teilchenspur auf wenige Mikrometer genau rekonstruieren kann. Weiterhin zwingen starke Magnete den Teilchen eine Krümmung auf, aus der man weitere Eigenschaften, wie die Stärke und das Vorzeichen der elektrischen Ladung, ableiten kann.

Hierbei macht man sich die Lorentzkraft zu Nutze.

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (2)$$

Bewegt sich eine Ladung q mit einer Geschwindigkeit v durch ein Magnetfeld B , so erfährt es eine Ablenkung durch die Lorentzkraft. In welche Richtung das Teilchen abgelenkt wird, hängt vom Vorzeichen der Ladung q ab.

Kennt man die Richtung des Magnetfeldes und die des Teilchens kann man aus der Krümmung also das Vorzeichen der Ladung ablesen und zum Beispiel bestimmen, ob es sich um ein Elektron oder ein Positron handelt.

Die nächsten zwei Zylinder bilden das elektromagnetische und das hadronische Kalorimeter. Dies sind massive Metallplatten, an welchen nahezu alle Teilchen der Kollision abgestoppt werden. Somit deponieren die Teilchen ihre gesamte kinetische Energie in diesen Platten; Elektronen und Positronen im elektromagnetischen Kalorimeter und Hadronen im hadronischen Kalorimeter. Dabei werden die freiwerdende Energie und der Kollisionsort genau gemessen.

Allerdings werden Myonen nicht in diesen Kalorimetern gestoppt. Um die Myonen einzufangen sind die Detektoren zusätzlich mit sogenannten Myonenkammern umgeben. Diese bestehen aus länglichen Aluminiumröhren, welche mit einem Zählgas, hauptsächlich Argon, gefüllt sind. Trifft ein Myon auf ein Argonatom, so schlägt es Elektronen aus diesem, welche zu einem innenliegenden Draht driften und so ein messbares elektronisches Signal erzeugen.

Ein anderes Teilchen, was nicht im Detektor gestoppt wird ist das Neutrino.

Da diese zu selten mit etwas wechselwirken kann man diese im Detektor nicht nachweisen. Da man aber weiß, dass bei der Kollision der transversale Impuls der kollidierenden Teilchen, also der Impuls senkrecht zur Strahlrichtung, Null war, kann man die wahrscheinliche Bahn eines Neutrinos berechnen. Dazu bildet man die Summe aller transversalen Impulse von allen entstandenen Teilchen, ergibt diese Null, so ist kein Neutrino entstanden. Ist die Summe aber ungleich Null, kann man daraus berechnen, in welche Richtung das Neutrino geflogen ist.

2.3 Das Higgsteilchen

Neben den Elementarteilchen und den Kräften bildet die Masse den dritten Teil des Standardmodells. Denn bisher suchen die Physiker noch nach einer Erklärung, wie die Elementarteilchen und somit die Materie ihre Masse bekommt.

Eine brauchbare Theorie ist von dem britischen Theoretiker Peter Higgs 1964 erdacht wurden. Dieser postulierte ein allgegenwertiges Feld, mit dem alle massebehafteten Teilchen wechselwirken. Masselose Teilchen, wie zum Beispiel das Photon bleiben von diesem Feld völlig unbeeinflusst. Das Higgsteilchen ist also das hypothetische Austauscheteilchen, was zwischen dem Higgs-Feld und den Elementarteilchen vermittelt. Eine Entdeckung dieses Teilchens würde die gesuchte Erklärung für die Masse bringen und auch die Richtigkeit des Standardmodells beweisen. Die Suche nach dem Higgs-Teilchen ist also ein hochaktuelles Thema in der Teilchenphysik.

3 Durchführung

3.1 Vorgehensweise

Um genauere Eigenschaften des Higgsteilchens zu erfahren, muss man sich zunächst mit dem Zerfall von diesem beschäftigen.

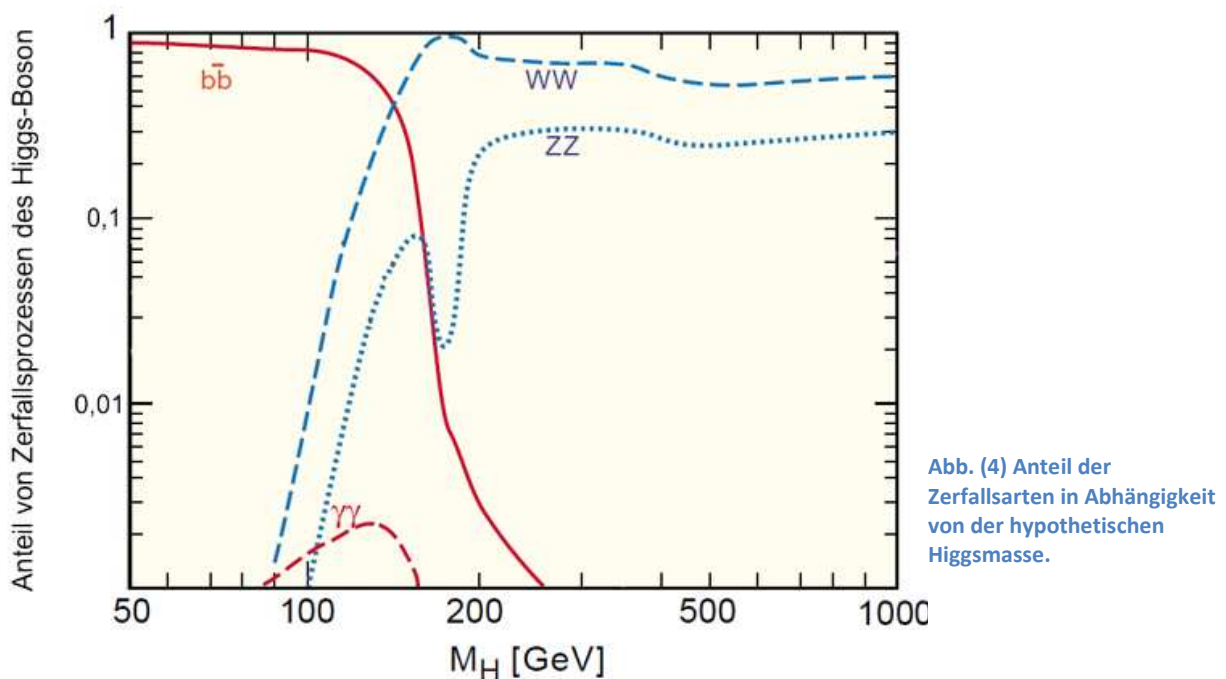
So existieren die Higgsteilchen nur Bruchteile von Sekunden, bevor sie zerfallen und sind deshalb nicht im Detektor nachweisbar.

Man muss sich also beim Nachweis des Higgs auf seine Zerfallsprodukte konzentrieren.

Allerdings konnte man die Masse des Higgs noch nicht bestimmen und die Art des Zerfalls des Higgsteilchens hängt mit seiner Masse zusammen.

Man geht allerdings davon aus, dass es sich bei dem Higgsteilchen wahrscheinlich um ein relativ schweres Teilchen handelt, da man davon ausgeht, dass man es schon in einem früheren, schwächeren Detektor gefunden hätte, wenn es leichter wäre, denn um ein leichteres Teilchen zu erzeugen benötigt es weniger Energie.

In dem nachfolgenden Diagramm ist die Zerfallsart des Higgs in Abhängigkeit der Masse des Higgsteilchens dargestellt:



Aus dem Diagramm kann man ablesen, dass das Higgs, wenn es eine Masse von mindestens $140 \frac{\text{GeV}}{c^2}$ hat, meist in zwei W-Bosonen zerfällt.

Aufgrund der Einsteinschen Formel $E = mc^2$ entspricht der Masse eines Teilchens, die Ruheenergie desselben, welche über die konstante Lichtgeschwindigkeit c verknüpft sind. Stellt man die Formel nach der Masse m um, so erhält man die Einheit $\frac{\text{GeV}}{c^2}$.

W-Bosonen sind, ebenso wie die Z-Bosonen, Elementarteilchen, welche die schwache Wechselwirkung vermitteln. Sie tragen jeweils die einfache positive oder negative Elementarladung.

Weiterhin ist bekannt, dass das Higgsteilchen, wenn es existiert, elektrisch neutral sein muss. Die beiden entstehenden W-Bosonen müssen also auf Grund des Ladungserhaltungssatzes entgegengesetzte elektrische Ladungen besitzen.

Aber auch das W-Boson ist auf Grund seiner kurzen Zerfallszeit nicht im Detektor nachzuweisen. Jedes von ihnen zerfällt jeweils in weitere Leptonen: Ein positiv und ein negativ geladenes Lepton und in zwei Neutrinos.

Das W-Boson kann zwar auch in Quarks zerfallen, aber aus einem Teilchenjet, der von einem Quark erzeugt wurde, lässt sich rückwirkend nur schwer auf ein W-Boson schließen, da Jets zu wenig spezielle Eigenschaften besitzen, die sie für einen bestimmten Teilchenzerfall klassifizieren würden. Die Rekonstruktionsmethoden eines solchen Teilchenjets würden also den Rahmen einer Masterclass sprengen. Man Betrachtet also den Zerfall von W-Boson in Quarks als Untergrundereignisse.

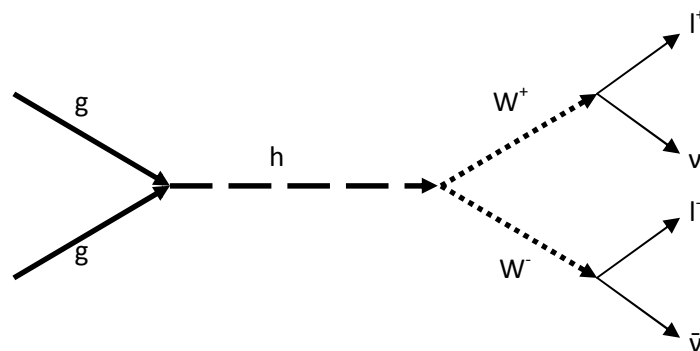


Abb. (5) Schema zum Zerfall von Higgsteilchen zunächst in zwei W-Bosonen und anschließend in die Leptonen

Diese geladenen Leptonen sind entweder Elektronen, Positronen, Myonen oder Antimyonen, welche sich alle im Detektor zeigen. Auch das Vorhandensein von Neutrinos lässt sich über die während des Zerfalls abhanden gekommene Energie, beziehungsweise fehlenden transversalen Impuls, feststellen (siehe LHC).

3.2 Eventdisplay Minerva

Zur Auswertung der Datenpakete stand mir das Programm MINERVA zur Verfügung.

Dieses Programm, auch Eventdisplay genannt, gliedert sich in fünf Teile:

Einen Quer- und einen Längsschnitt des Detektors (links oben, links unten) und einmal ist der Detektor entlang des Strahlrohres abgerollt (Mitte oben). Weiterhin aus einer Bedienoberfläche, in der man unterschiedliche Einstellungen vornehmen kann (rechts oben) und ein Fenster, in dem Informationen über die Bahnen der entstandenen Teilchen angezeigt werden (rechts unten).

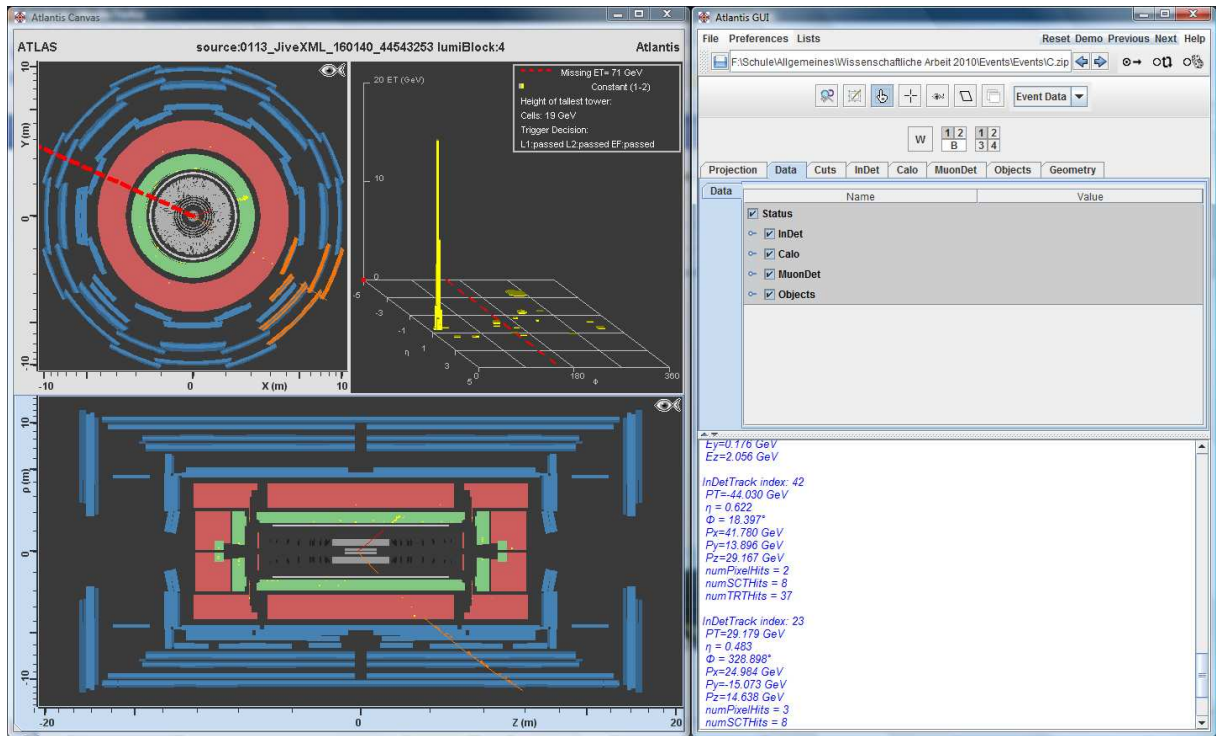


Abb. (6) Eventdisplay Minerva. Im Längsschnitt sieht man die Bahn des entstandenen Elektrons (rot) und die Bahn des Myons (orange). Im Querschnitt sieht man außerdem noch die rekonstruierte Bahn des entstandenen Neutrinos (rot gestrichelt) die Energie dieses Neutrinos sieht man im mittleren Fenster oben, bezeichnet mit Missing ET (in diesem Fall 71 GeV)

Wenn ich also Ereignisse suche die die vorher genannten Kriterien erfüllen, muss ich also zum einen schauen, dass zwei Spuren vorhanden sind. Das sieht man im Quer- oder Längsschnitt.

Weiterhin muss ich rechts unten schauen, ob die beiden Teilchen entgegengesetzte Ladungen aufweisen.

Im Fenster oben in der Mitte muss ich dann noch überprüfen, ob und wie viel Energie durch das Neutrino davongetragen wurde.

Erfüllt ein Ereignis all dieses Kriterien kann ich es als Signal weiterverwenden.

Weiterhin kann man bei diesem Eventdisplay Cuts einstellen. Das heißt, dass Spuren, die unter bestimmten Werten für verschiedene Größen liegen, nicht angezeigt werden.

Für meine Messungen habe ich einen Cut von 20 GeV bezüglich der transversalen Energie der Teilchen und einen fehlenden transversalen Mindestimpuls von 10 GeV festgelegt.

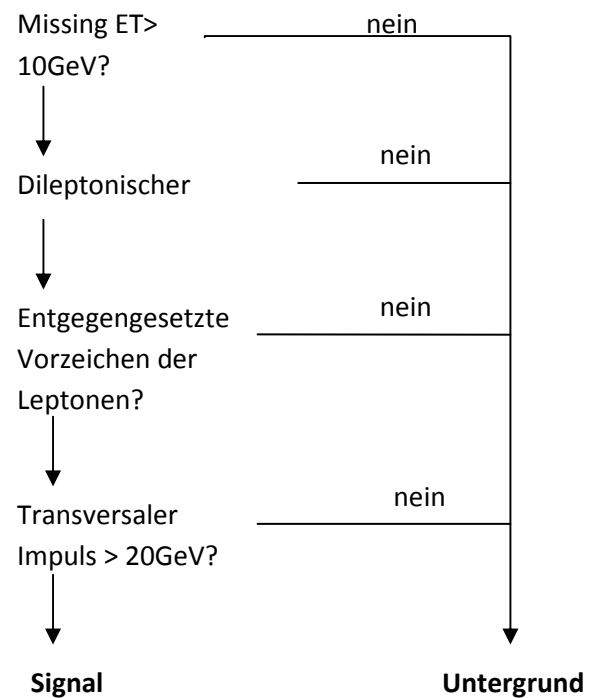


Abb. (7) Selektionskriterien und Cuts für die Datenelektion in Signal und Untergrund

Weiterhin habe ich darauf geachtet, dass genau zwei entgegengesetzt geladene Leptonen entstanden sind.

Somit sind aus den ursprünglich 1000 Ereignissen noch 346 übriggeblieben, die die Selektionskriterien erfüllen.

4 Winkelverteilung in Higgs → WW Ereignissen

4.1 Warum Winkel als Selektionskriterium?

Allerdings reichen die obigen Selektionskriterien nicht aus, um sagen zu können, dass bei dieser Kollision ein Higgsteilchen entstanden ist, da es viele Prozesse gibt, die im Bezug auf die oben genannten Kriterien eine Ähnlichkeit aufweisen. Um das Higgs also eindeutig von übrigen Ereignissen abzutrennen, muss man noch andere charakteristische Größen zur Hilfe nehmen, beziehungsweise die obigen Kriterien genauer abgrenzen.

So gibt es auch Kanäle, die sich damit beschäftigen, das Higgs mittels des verlorenen transversalen Impulses (E_T^{miss}) zu finden.

Betrachtet man das Histogramm rechts, indem die Event-Verteilung bei unterschiedlichem E_T^{miss} eingetragen ist, sieht man, dass die für Higgsteilchen charakteristische Kurve (rot) kaum von denen der übrigen (WW, W+Jets, WZ, ZZ,...) abweicht. Um hier das Higgs zu

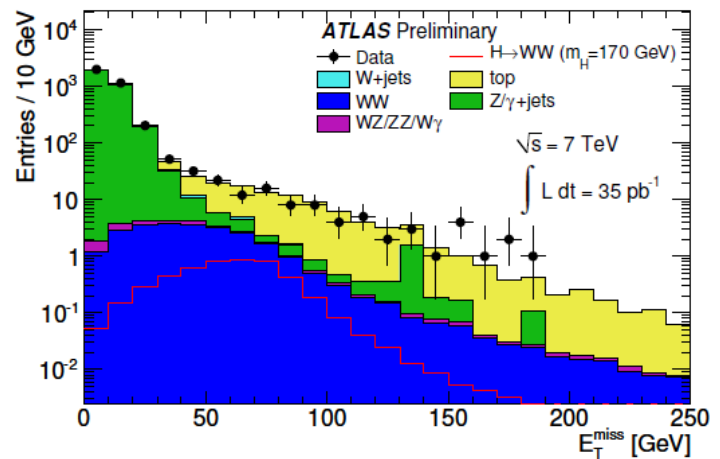


Abb. (8)

identifizieren benötigt man also eine sehr hohe Genauigkeit, welche in der Masterclass nicht gegeben ist.

Auch anderen Größen, zum Beispiel der transversale Impuls der entstehenden Leptonen zeigen eine zu wenig charakteristische Verteilung auf, als dass man sie für die Masterclass verwenden könnte.

Andere Größen, wie die zum Beispiel die Pseudorapidität η sind zu abstrakte Größen um sie für Teilchenphysik-Laien innerhalb der Masterclass plausibel darzustellen.

Die Größe, die sich am besten für die Masterclass eignet ist der Winkel $\Delta\Phi_{ll}$, welcher von den Spuren der beiden entstehenden, geladenen Leptonen aufgespannt wird.

Denn dieser ist eine gut vorstellbare Größe, welche auch eine eigene charakteristische Verteilung aufweist.

4.2 Winkelauswertung

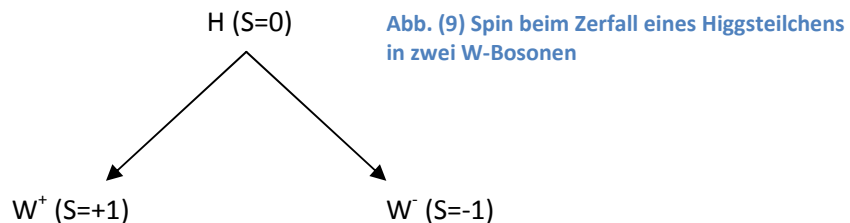
Um die Charakteristik dieser Verteilung zu verstehen benötigt man zunächst eine weitere physikalische Größe: den Spin.

Dies ist eine quantenmechanische Eigenschaft von Teilchen, welche man sich vereinfacht wie die Rotation der Erde um ihre eigene Achse vorstellen kann.

| Teilchen | Spin |
|-------------------------|------|
| Higgs (H) | 0 |
| W-Boson (W), Z-Boson(Z) | 1 |
| Elektron, Positron (e) | 1/2 |
| Neutrino (ν) | 1/2 |

Allerdings sind Elementarteilchen eigentlich eindimensionale Punkte, welche keine räumliche Ausdehnung besitzen und sich so nicht um ihre eigene Achse drehen können. Der Spin ist also nicht genau das Selbe wie ein Drehimpuls, kann aber in der folgenden Erklärung, zum besseren Verständnis, als Drehimpuls verstanden werden.

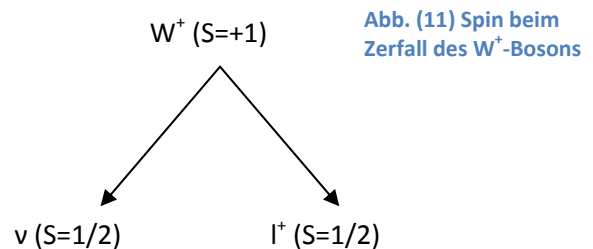
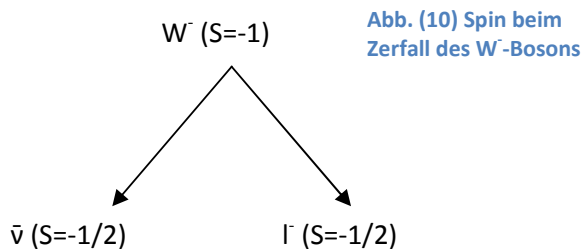
In den folgenden Abbildungen ist neben den Teilchen der zugehörige Spin in Klammern angegeben:



Das Higgsteilchen besitzt den Spin 0 und zerfällt in zwei W-Bosonen.

Betrachtet man den Spin nun als Drehimpuls besagt der Drehimpulserhaltungssatz, dass die beiden entstehenden Teilchen zusammen einen Spin von 0 haben müssen.

Wirft man nun einen Blick in die Tabelle, so muss also eines der beiden W-Bosonen einen Spin von +1, das andere einen von -1 haben. (Die Ladung der beiden W-Bosonen spielt dabei keine Rolle)



Beide W-Bosonen zerfallen nun weiterhin in je ein Neutrino und ein geladenes Lepton. Hier müssen sich die Spins jeweils zu +1 und -1 aufaddieren.

Sie haben also jeweils die Spins 1/2 und 1/2 beziehungsweise -1/2 und -1/2.

Aus Beobachtungen hat sich ergeben, dass ein negativ geladenes W-Boson immer in ein linkshändig gedrehtes Elektron und in ein rechtshändig gedrehtes Antineutrino zerfällt. Ein positiv geladenes W-Boson wiederum in ein rechtshändiges Positron und ein linkshändiges Neutrino.

$$W^- \rightarrow e_L^- + \bar{\nu}_R$$

Abb. (12)

$$W^+ \rightarrow e_R^+ + \nu_L$$

Abb. (13)

Linkshändig und Rechtshändig beschreibt die Drehrichtung der Eigenrotation, woraus man mit Hilfe der Rechten-Faust-Regel den Richtungssinn des Teilchens bestimmen kann.

In dieser Abbildung ist der Zerfall des W^+ -Bosons in Ruhe dargestellt.

Der große Pfeil stellt den Richtungssinn des Spins dar, der dünne Pfeil ist die tatsächliche Flugrichtung des Teilchens, in diesem Fall des Positrons.

In diesem Fall bewegt es sich in Richtung des Spins nach rechts weg.

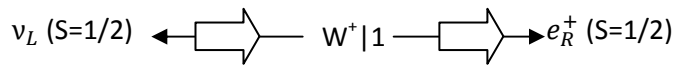


Abb. (14)

Diese Abbildung stellt wiederum den Zerfall des W^- -Bosons dar.

Das entstehende Elektron ist linkshändig, weshalb es entgegengesetzt zur Richtung des Spins fliegt.

Bewegt sich also genau wie das Positron in der oberen Abbildung nach rechts.

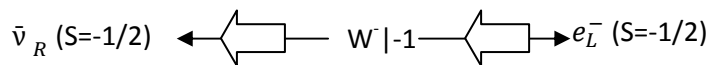


Abb. (15)

Würden sich jetzt beide W-Bosonen also am selben Ort befinden und sich nicht bewegen, würden beim Zerfall beide Leptonen, das Elektron und das Positron, dieselbe Bahn beschreiben.

(Die Bahnen des Neutrinos und des Antineutrinos spielen bei der Auswertung keine Rolle, da ihre Bahnen nicht im Detektor nachweisbar sind.)

Dies ist allerdings nicht der Fall, denn die W-Bosonen bewegen sich ebenfalls und geben beim Zerfall ihren transversalen Impuls an die entstehenden Teilchen weiter (Impulserhaltung).

Positron und Elektron beschreiben also nicht dieselbe Bahn, aber ihre Bahnen schließen einen kleinen Winkel ein.

Ein weiteres Kriterium zur Higgsidentifikation ist also auch der Winkel, zwischen den Bahnen der beiden geladenen Leptonen, welchen man im Querschnitt erkennt. Wenn es sich um ein Higgsereignis handelt, muss dieser relativ klein sein.

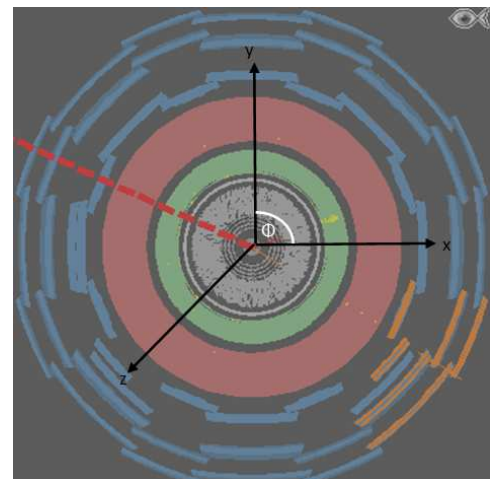


Abb. (16) $\Delta\Phi$ im Querschnitt des Eventdisplays

Um diesen Winkel zu bestimmen denkt man sich einen kreisrunden Winkelmesser über den Querschnitt des Detektors. Aus dem Eventdisplay kann man sich dann jeweils die Winkel Φ zu den Leptonenbahnen anzeigen lassen.

Die Differenz aus diesen beiden Winkeln ergibt dann den Winkel $\Delta\Phi$, welcher von den beiden Leptonenbahnen eingeschlossen wird.

Für meine Untersuchung interessiert mich also lediglich der Winkel in der x-y-Ebene.

4.3 Winkelverteilung

Dem Standardmodell zufolge müsste die Winkelverteilung der Winkel $\Delta\Phi_{||}$ bei der Kollision von Protonen, welche man unter den genannten Kriterien sortiert hat, eine Kurve erzeugen, die vor allem im Bereich größerer Winkel die meisten Ereignisse aufweist.

Im folgenden Diagramm ist die zu erwartende Winkelverteilung der Winkel $\Delta\Phi_{||}$ bei einem $WW \rightarrow l^+ \nu_L l^- \bar{\nu}_R$ Zerfall (nicht aus einem Higgs entstanden) grün dargestellt.

Das Diagramm beruft sich dabei auf Daten vom CMS-Experiment, was neben dem Atlas ebenfalls am CERN stationiert ist.

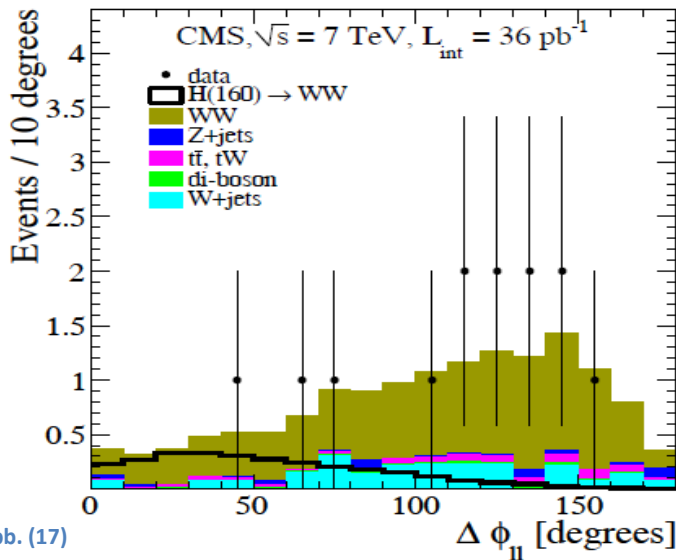


Abb. (17)

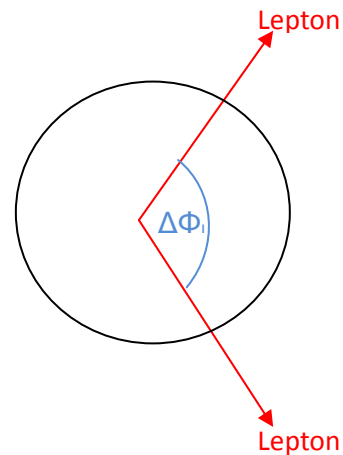


Abb. (18)

Analysiert man Higgsereignisse bezüglich ihrer Winkelverteilung, so erhält man die schwarze Kurve. Dies ist eine mittels Monte-Carlo-Simulation ermittelte Kurve bei derselben hypothetischen Higgsmasse von 160 GeV, wie ich sie auch bei meinen Ereignissen verwendet habe.

Die schwarz eingetragenen Punkte sind am CMS mit dem neuen LHC im Laufe des Jahres 2010 gemessenen Daten, welche am 1. März 2011 veröffentlicht wurden.

Auch am Atlas-Experiment hat man bereits W-Kandidaten gefunden. Diese sind im rechten Diagramm eingetragen. Es handelt sich um 13 Ereignisse.

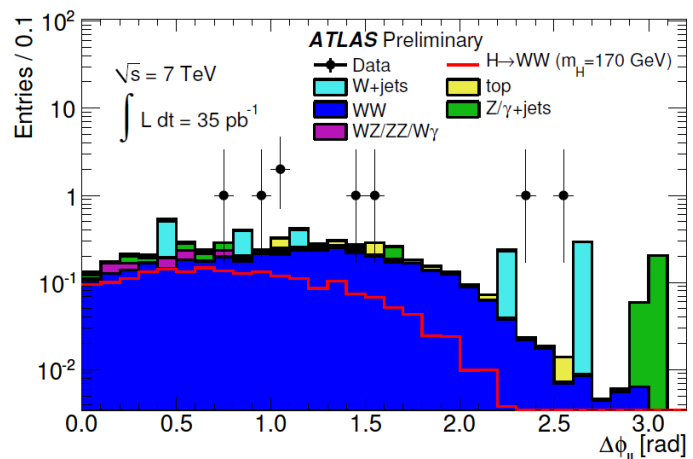


Abb. (19)

Auch hier sieht man die zu erwartende Winkelverteilung nach dem Standardmodell (blaue Fläche) und bei Higgsereignissen (rote Linie). Diese wurde allerdings mit einer Higgsmasse von 170 GeV ermittelt. Hier sind es 8 Ereignisse, die ebenfalls 2010 gemessen wurden.

Man geht allerdings davon aus, dass 2011 etwa 25-mal mehr Daten gesammelt werden sollen als das 2010 der Fall war. Das heißt natürlich auch, dass die Wahrscheinlichkeit ein Higgsereignis zu entdecken in den nächsten Jahren deutlich zunehmen wird.

Hypothesen zu der entstehenden von mir ermittelten Winkelverteilung:

- Die Winkelverteilung wird eine überlagerte Kurve aus der Higgs- und der Standardmodellkurve ergeben.
- Diese Verteilung wird eine Erhöhung der Verteilung („Peak“) um die 180° und eins zwischen 0° und 100° ergeben.

Die Nachfolgende Skizze veranschaulicht eine mögliche Winkelverteilung.

Ereignisse

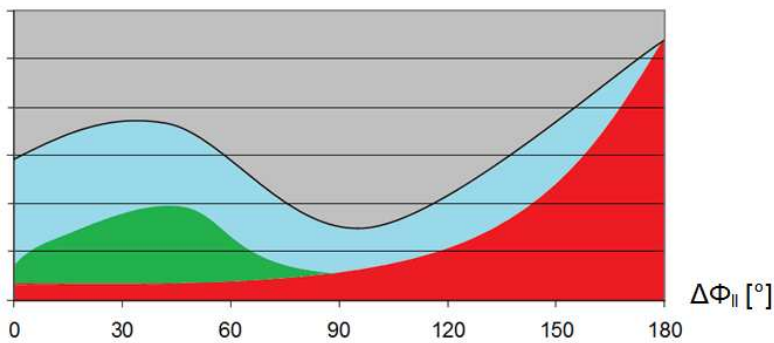


Abb. (20)

Die rote Fläche stellt die erwartete Winkelverteilung der Standardmodellereignisse dar. Die grüne Fläche sind die zusätzlichen Higgsereignisse und die blaue die daraus resultierende Gesamtverteilung.

5 Ergebnisse

5.1 Masterclasses-Aufgabe

Für die Masterclasses nehme ich mir ein Datenpaket und überprüfe, mittels der schon genannten Kriterien, ob sich diese Daten für eine Masterclass eignen und ob die Schüler daraus etwas erkennen können.

Diese Aufgabe soll den Teilnehmern zum einen Wissen über Teilchenphysik, im Speziellen über das Higgsteilchen und dessen Bedeutung vermitteln, zum anderen soll es, sollte das Higgsteilchen tatsächlich gefunden werden, einen nachvollziehbaren Weg aufweisen, auf dem man diese Entdeckung gemacht hat.

Außerdem muss der eigentlichen Aufgabestellung eine Erklärung ähnlich der hier gegebenen folgen, um sie dann auf die eigentliche Messung vorzubereiten.

Das Ziel der Aufgabe soll es sein, ein Winkelhistogramm zu erstellen, woraus die Teilnehmer dann ablesen können, ob Higgsereignisse unter den ausgewerteten Ereignissen waren.

Auch ihnen stehen zur Auswertung das Programm Minerva, sowie ein Tool zum erstellen des Winkelhistogramms zur Verfügung.

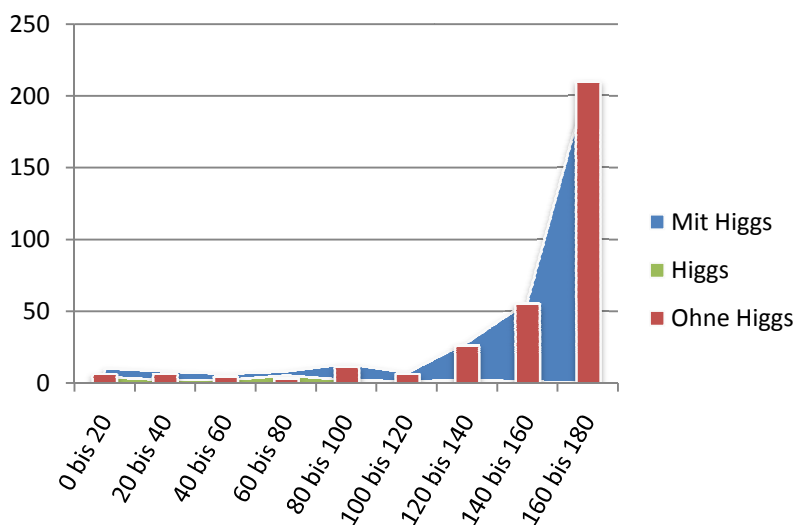


Abb. (21)

5.2 Datenauswertung

Mir stand ein Datensatz mit 1.000 Standardmodellereignissen zur Verfügung, bei denen es sich meist um Z-Zerfälle handelt. Zusätzlich hatte ich einen Datensatz von 50, mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation, erstellten Higgsereignissen.

Aus diesen beiden Datensätzen habe ich mittels Minerva 328 dileptonische Zerfälle, die keine Higgsereignisse sind und 20 Higgsereignisse nach den

genannten Kriterien (Eventdisplay Minerva) heraus sortiert.
Dabei hat sich obige Winkelverteilung.

Die blaue Fläche stellt die Winkelverteilung aller Ereignisse dar. Die roten Balken sind die Winkelverteilung der Standardmodellereignisse und die grüne Fläche stellt die Higgsereignisse dar. Man erkennt also deutlich, dass die blaue Fläche eine erwartete Verteilung aufweist (siehe Hypothesen).

Auch die Higgsereignisse weisen Winkel im erwarteten Bereich auf, allerdings sind es viel zu wenige, um eine allgemeine statistische Aussage treffen zu können und um eine sichtbare Veränderung bezüglich der Gesamtverteilung hervorzurufen.

Das spiegelt die aktuelle Lage am LHC wieder, wo bisher auch keine statistisch signifikante Abweichung von der erwarteten Verteilung zu sehen ist.

Um die Verteilungen im unteren Bereich besser visualisieren zu können, verwendet man in der Wissenschaft gern logarithmische Skaleneinteilungen.

Dazu teilt man die Ordinatenachse nicht linear ein, wo einheitliche Abstände Δy_{linear} auch optische gleiche Abschnitte darstellen.

Die Achseneinteilung auf der linearen Skala ist also $\Delta y_{\text{linear}} = y_2 - y_1$, die Einteilung auf der logarithmischen Skala ist dagegen: $\Delta y_{\text{log}} = \log_b(y_2) - \log_b(y_1) = \log_b(y_2/y_1)$.

Das bedeutet, dass die Länge eines Abschnittes nicht proportional zur Differenz der beiden Grenzen y_1 und y_2 ist, wie das bei einer linearen Skala der Fall ist, sondern proportional zum Quotienten $\frac{y_2}{y_1}$ der beiden Grenzen.

So werden die Ergebnisse im unteren Bereich optisch gedehnt und im oberen Bereich gestaucht, ohne eine statistische falsche Operation vorzunehmen.

Auch für meine Verteilung macht sich eine solche Einteilung sehr gut, um vor allem die wenigen Higgswinkel zu erkennen, wie man im nachfolgenden Diagramm erkennen kann.

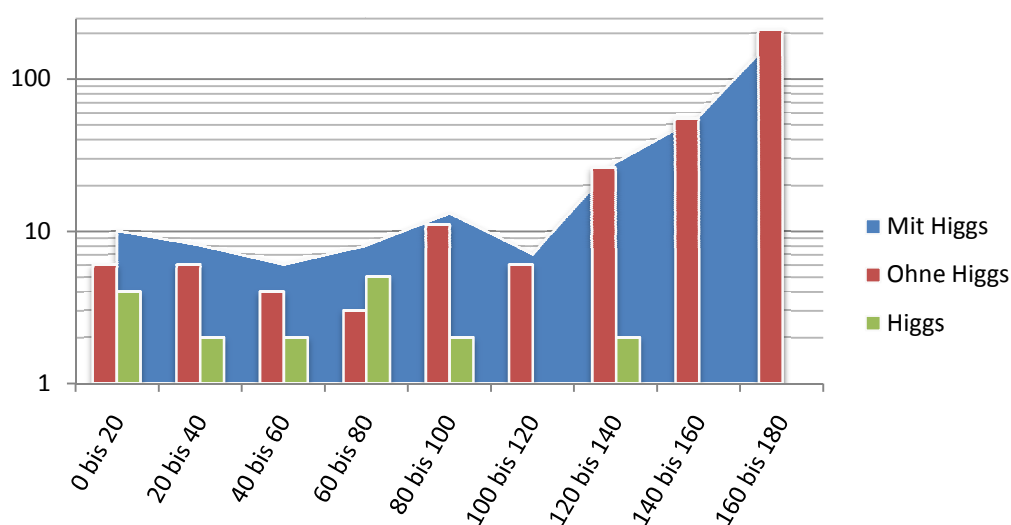


Abb. (22)

6 Zusammenfassung

Die Ereignisauswertung hat gezeigt, dass eine Aufgabe, wie ich sie mir vorgestellt habe durchaus von Teilnehmern der Masterclass durchführbar ist, da ich ja diese als Schüler durchgeführt habe.

Allerdings ist durch die Auswertung weiterhin deutlich geworden, dass mir wesentlich zu wenig Higgsereignisse zur Verfügung standen, denn aus den wenigen Higgsereignissen kann man noch keine statistisch wertvolle Aussage ziehen.

Für eine zukünftige Aufgabenstellung, welche auch praktisch durchgeführt werden kann, benötigt man also wesentlich mehr simulierte und im besten Fall echte Higgsereignisse.

Sollte das Higgsteilchen existieren, so sollte es in den nächsten Jahren voraussichtlich möglich sein, dieses mit den LHC-Daten von 2011/2012 auf diese Art und Weise zu finden.

In diesem Fall bietet die Aufgabenstellung den Masterclassteilnehmern die Möglichkeit, diese Entdeckung mit eigenen Messungen nachzuvollziehen. Und momentan kann die Aufgabe verwendet werden, um Schülern das Prinzip der Messung zu erklären und zu zeigen, warum die Physiker das Higgsteilchen noch nicht gefunden haben.

7 Quellen

7.1 Bildnachweis

Abb. 1 - <http://psi.physik.kit.edu/img/Teilchen.png> [Stand: 14.06.2011]

Abb. 2 - <http://www.atlas.uni-wuppertal.de/oeffentlichkeit/images/LHC-drawing-half.jpg> [Stand: 14.06.2011]

Abb. 3 - http://www.cooltv.ch/blog/admin/files/bild1528_lhc-atlas.jpg [Stand: 14.06.2011]

Abb. 4 - https://kjende.web.cern.ch/kjende/de/wpath_higgs.htm [Stand: 14.06.2011]

Abb. 5 - Eigene Abbildung

Abb. 6 - Screenshot aus dem Eventdisplay Minerva

Abb. 7 - Eigene Abbildung

Abb. 8 - <http://cdsweb.cern.ch/record/1328619/files/ATLAS-CONF-2011-005.pdf> [Stand: 14.06.2011]

Abb. 9 –Abb. 15 - Eigene Abbildungen

Abb. 16 - Eigene Abbildung mit Screenshot aus Minerva

Abb. 17 - <http://cdsweb.cern.ch/record/1332217> [Stand: 14.06.2011]

Abb. 18 - Eigene Abbildung

Abb. 19 - <http://cdsweb.cern.ch/record/1328619/files/ATLAS-CONF-2011-005.pdf> [Stand: 14.06.2011]

Abb. 20 - Eigene Abbildung

Abb. 21– Abb.22 - Eigenes Histogramm aus Datenpaket

7.2 Textquellen

Seiten der internationalen Masterclasses (Hands on Particle Physics)

<http://www.physicsmasterclasses.org/> [Stand: 14.06.2011]

<https://kjende.web.cern.ch/kjende/de/index.htm> [Stand: 14.06.2011]

Wikipedia unter folgenden Artikeln:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Teilchenphysik> [Stand: 03.06.2011]

<http://de.wikipedia.org/wiki/LHC> [Stand: 02.04.2011]

<http://de.wikipedia.org/wiki/Standardmodell> [Stand: 01.03.2011]

http://de.wikipedia.org/wiki/Logarithmische_Darstellung [Stand: 03.05.2011]

Veröffentlichungen vom CERN

<http://cdsweb.cern.ch/record/1328619/files/ATLAS-CONF-2011-005.pdf> [Stand: 02.04.2011]

<http://cdsweb.cern.ch/record/1270568/files/ATL-PHYS-PUB-2010-005.pdf> [Stand: 02.04.2011]

<http://cdsweb.cern.ch/record/685446/files/phys-2002-033.pdf> [Stand: 02.04.2011]

<http://cdsweb.cern.ch/journal/CERNBulletin/2010/27/News%20Articles/1274486?ln=en> [Stand: 02.04.2011]

Der Klang der Superstrings – Einführung in die Natur der Elementarteilchen; Frank Grotelüschen; Deutscher Taschenbuchverlag 1999

Einführung in die Elementarteilchenphysik, Prof.Dr.rer.nat E.Lohrmann, 2. überarbeitete Auflage Teubner Studienbücher 1990

Introduction to Elementary Particles, David Griffiths, 2. überarbeitete Ausgabe, Wiley-VCH Verlag 2008

8 Anhang

- Aufgabenstellung für Teilnehmer an den Masterclasses
- Exemplarische Tabelle zur Datenauswertung und Winkelverteilung
- Teilnahmebestätigung für Masterclasses am 14.03.2011

9 Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich diese wissenschaftliche Arbeit selbständig verfasst habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen oder aus anderweitigen fremden Äußerungen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Ferner erkläre ich, dass die Arbeit noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung verwendet wurde.

Maximilian Kießler

10 Danksagung

Ein besonderer Dank gilt meiner Betreuerin M.Sc. Ulrike Schnoor, für die reibungslose Zusammenarbeit und das sie mir immer mit Rat und Tat zur Seite stand und mir die Teilchenphysik in ihrer ganzen Komplexität plausibel näher gebracht hat. Weiterhin dafür, dass sie sich die Zeit genommen hat meine Texte immer mal wieder durchzulesen und zu verbessern.

Hier sei auch Dr. Uta Bilow erwähnt, welche mich erstmal grundsätzlich in die Materie der Teilchenphysik eingeführt und mir viel weiterführendes Material zur Verfügung gestellt hat

Ein weiterer Dank gilt Dipl.-Päd. Konrad Jende, welcher mir auch vom CERN aus geholfen hat meine Arbeit fertigzustellen.

In diesem Zusammenhang danke ich auch Tim Herrmann für das Tool zur Histogrammerstellung. Und natürlich danke ich auch Prof. Dr. Michael Kobel dafür, dass er mir all diese großartigen Kontaktpersonen verschafft hat.