

*Was hat das
CERN mit dem
Universeum
zu tun?*

1. Die größten und die kleinsten Teilchen

„Drum hab ich mich der Magie ergeben,[...]

Dass ich erkenne was die Welt

im Innersten zusammenhält“

(J. W. Goethe – Faust)¹

Schon Goethes Faust erkannte, dass man die Welt nur mit Magie vollkommen verstehen kann. Und dennoch ist dies genau die Aufgabe, der sich das CERN als größtes Forschungszentrum für Teilchenphysik der Welt verschrieben hat.

Man will erkennen, was die Welt im Innersten zusammenhält, woraus die Welt aufgebaut ist. Wie konnten sich die Teilchen genau so verbinden, dass die Welt und die Erde so existieren, wie sie heute existieren? Wie ist es möglich, dass Leben entstehen konnte durch eine Reihe von tausenden von kleinen Prozessen, die im Endeffekt das ganze Universum, wie wir es heute kennen, verursacht haben?

Die Forscher versuchen das unendliche Universum zu verstehen, indem sie die kleinsten Elementarteilchen betrachten. Vielleicht sind sie irgendwann am Ziel, aber vielleicht haben sie sich auch zu viel vorgenommen und stoßen irgendwann an natürliche Grenzen. Vielleicht behält doch Faust recht und Magie wäre dazu nötig die Welt bis ins kleinste Detail zu verstehen.

Aber was hat eigentlich das Universum mit diesen kleinsten Teilchen zu tun?

Diese Arbeit soll einen kleinen Einblick in das CERN geben sowie in die grundlegendsten Fragen des Universums mit denen sich dieses beschäftigt.

1 Goethe, J. W., Faust, Stuttgart 2000, Kapitel „Nacht“ V. 377ff

2. Das CERN

Die europäische Organisation für Kernforschung CERN (franz.: Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) wurde 1954 gegründet und ist bis heute das größte Forschungszentrum für Teilchenphysik der Welt.² Es befindet sich in der Nähe von Genf auf der Grenze zwischen der Schweiz und Frankreich.³ 20 europäische Staaten schlossen sich zur Untersuchung von Art und Eigenschaften der elementarsten Bausteine und deren Wechselwirkungen zusammen. Zählt man die Gastforscher mit, nutzen mittlerweile etwa die Hälfte aller Teilchenphysiker weltweit die Anlagen des CERN für ihre Forschung rund um die Elementarteilchen, aus denen unser Universum aufgebaut ist.⁴

Auf nachfolgender Abbildung sieht man eine Übersicht des CERN.

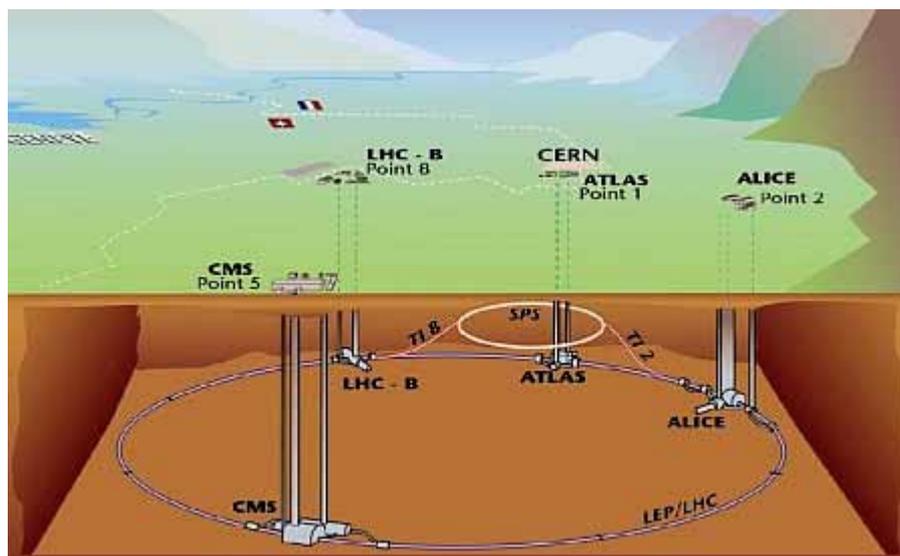


Abbildung 1: Übersicht CERN

2 CERN, The name CERN, in: <http://public.web.cern.ch/public/en/About/Name-en.html>; Zugriff am 09.08.11

3 Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V., CERN - ein europäisches Forschungszentrum von Weltformat, in: <http://www.weltderphysik.de/de/153.php>; Zugriff am 09.08.11

4 CERN, A global endeavour, in: <http://public.web.cern.ch/public/en/About/Global-en.html>; Zugriff am 09.08.11

2.1 Der Teilchenbeschleuniger LHC

Das Herzstück des CERN ist der Large Hadron Collider (LHC, engl.: Großer Hadronen-Speicherring), ein knapp 27 Kilometer langer Ringbeschleuniger, der sich in einer Tiefe von 50 bis 175 Metern unterhalb des Instituts befindet. Er dient dazu, geladene Teilchen, also Protonen und ionisierte Atomkerne, auf nahezu Lichtgeschwindigkeit (99,9999991 % von c) zu beschleunigen⁵. Diese werden dann zum Zusammenstoß gebracht.

Im nachfolgenden Bild erkennt man den vereinfachten Aufbau eines typischen Ringbeschleunigers:

Die in zwei getrennten Vakuumrohren gegenläufig bewegten Teilchen durchlaufen Beschleunigungsbereiche (beim LHC nur einen Beschleunigungsbereich) und Experimentierbereiche, also Detektoren, in denen die Kollisionen stattfinden.

Es ist extremes Hochvakuum notwendig, um Zusammenstöße mit Gasmolekülen innerhalb des Beschleunigers zu vermeiden. Damit ist es im Inneren des Rings genauso „leer“ wie weit draußen im Universum, im interplanetarischen Raum.

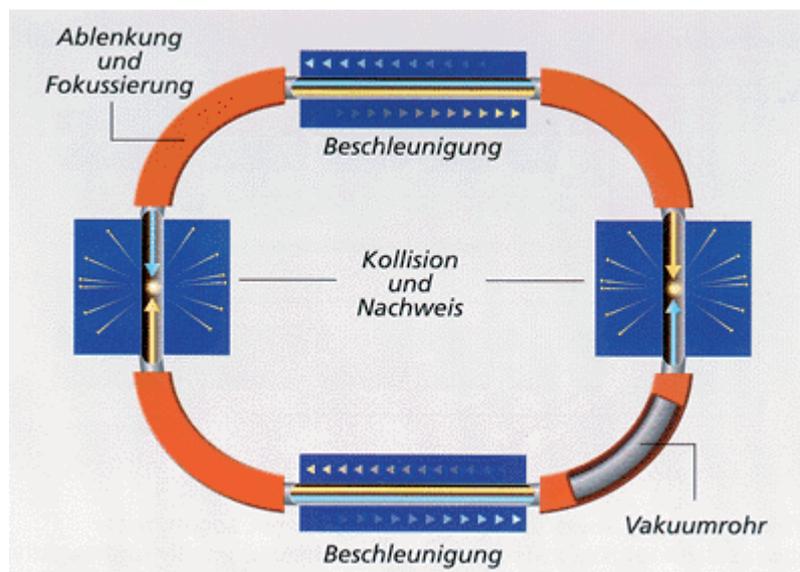


Abbildung 2: Prinzip eines Ringbeschleunigers

⁵ Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V., Der Large Hadron Collider LHC, in: <http://www.weltderphysik.de/de/351.php?i=879>; Zugriff am 11.08.11

2.1.1 Beschleunigung

Die Beschleunigung wird in folgendem Schema anhand negativ geladener Teilchen veranschaulicht:

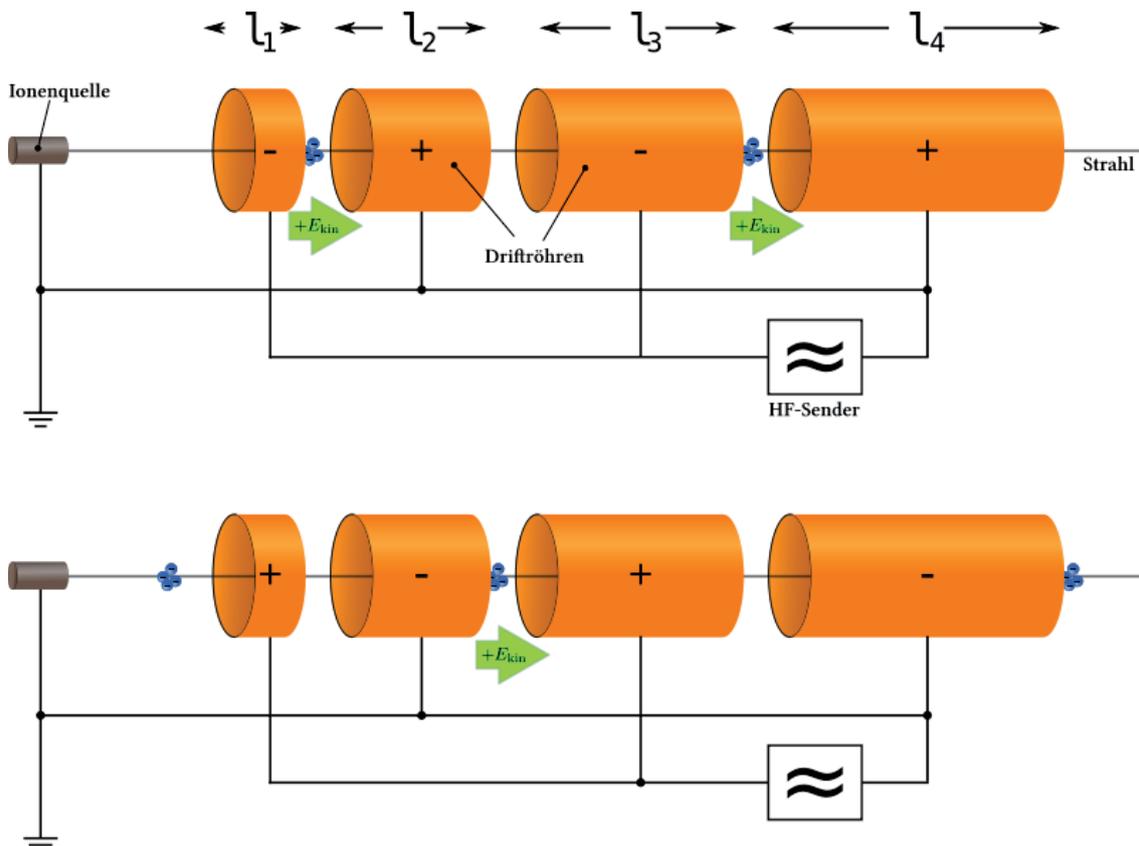


Abbildung 3: Funktionsprinzip eines Linearbeschleunigers

Die Teilchen treten aus der Ionenquelle aus und werden durch die elektrischen Felder zwischen den geladenen Driftröhren beschleunigt. Die Röhren sind im Inneren feldfrei (Prinzip Faradayscher Käfig). Während sich die Ionen in den Driftröhren befinden, geschieht die Umpolung dieser mit Hilfe von Wechselspannung. Die Teilchen gewinnen bei jedem Durchlaufen eines Zwischenraums an Energie, also Geschwindigkeit. Damit die Frequenz der Wechselspannung nicht ständig nachreguliert werden muss, wächst die Länge der Driftröhren mit der Geschwindigkeit der Teilchen.

Der LHC hat zusätzlich noch einen Vorbeschleunigerring. In diesem werden die Teilchen bereits auf 99,9997828 %⁶ der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt, da die Ablenkmagnete im LHC nicht für kleinere Geschwindigkeiten geeignet sind. Nachdem die Teilchenstrahlen in den LHC-Ring geleitet wurden, kreisen sie dort einige Millionen Mal, wobei sie bei jedem Umlauf einen Energieschub bekommen, bis sie ihre endgültige Energie erreicht haben. Bei Protonen liegt diese bei 7 TeV, bei Blei-Ionen bei 575 TeV.⁷

2.1.2 Ablenkung und Fokussierung

Da der LHC ringförmig ist, müssen die Teilchen nicht nur beschleunigt, sondern auch abgelenkt werden.

Die Ablenkung erfolgt durch Lorentzkräfte in homogenen Magnetfeldern, die durch 1232⁸ Dipolmagnete erzeugt werden. Die Magnetfeldrichtung muss dabei senkrecht zur Bewegungsrichtung des Teilchens und zur Ablenkrichtung stehen.

Um die hochenergetischen Strahlen auf der Kreisbahn halten zu können, sind Magnetfelder von ungefähr 8 Tesla nötig. Solch starke Felder sind nur mit supraleitenden Elektromagneten zu erzeugen, bei herkömmlichen Magneten liegt das Maximum schon bei 2 Tesla.⁹ Damit diese jedoch supraleitend sind, werden sie mit Hilfe von flüssigem Stickstoff und flüssigem Helium auf eine Temperatur von 1,9 K herabgekühlt, sodass sie vollkommen ohne elektrischen Widerstand leiten.¹⁰

Somit liegt die Betriebstemperatur sogar unter der Durchschnittstemperatur im Universum, die 2,7 K beträgt. Das bedeutet jedoch nicht, dass der LHC der kälteste Ort im Universum ist.

Damit die Strahlen gebündelt bleiben, müssen sie mit Hilfe von Quadrupolmagneten fokussiert werden.

6 Communication Group CERN, CERN FAQ - LHC the guide, in:

<http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/Facts-en.html>; Zugriff am 17.08.11, S.8

7 DESY, LHC-Broschüre, in: <http://bilder.desy.de:9080/weltmaschine/AssetView.jsp?catalogID=14&language=de&categoryID=4265&recordID=21923&page=1>;

Zugriff am 16.08.11

8 CERN, How the LHC works, in: <http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/HowLHC-en.html>; Zugriff am 17.08.11

9 DESY, LHC-Broschüre, in: <http://bilder.desy.de:9080/weltmaschine/AssetView.jsp?catalogID=14&language=de&categoryID=4265&recordID=21923&page=1>;

Zugriff am 16.08.11

10 CERN, the LHC-facts and figures, in: <http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/Facts-en.html>; Zugriff am 17.08.11



Abbildung 4:
Quadrupolmagnet

Dies geschieht mit jeweils zwei hintereinander geschalteten Magneten, die um 90° zueinander gedreht sind, da Quadrupolmagnete stets in einer Ebene fokussieren und in der anderen defokussieren.¹¹

Im LHC werden dazu 392 Magnete verwendet.

Kurz vor einer Kollision wird zusätzlich noch eine andere Art von Magneten verwendet, um die Teilchen noch stärker zu fokussieren und so die Chancen auf Kollisionen zu erhöhen.¹²

2.2 Die Experimente im CERN

2.2.1 Detektoren

Die insgesamt sechs Detektoren befinden sich an den vier Kollisionspunkten entlang des Beschleunigers, wobei die vier wichtigsten Experimente ATLAS, CMS (Compact Muon Solenoid), ALICE (A Large Ion Collider Experiment) und LHCb (Large Hadron Collider beauty experiment) sind. Diese dienen der Analyse der Ereignisse bei den Kollisionen, abgestimmt auf den jeweiligen Forschungsbereich.

ATLAS und CMS dienen der Erforschung hypothetischer neuer Teilchen, von der Suche nach dem Higgs-Boson bis zu supersymmetrischen Teilchen (SUSY) und unbekannt Dimensionen. Zur gegenseitigen Überprüfung der wissenschaftlichen Resultate, wurden hier zwei Projekte für den selben Forschungsbereich unabhängig voneinander entwickelt. So entstanden verschiedene Nachweisstrategien.

¹¹ Kovermann, J., Teilchenbeschleuniger. Ausarbeitung zum Seminarvortrag 'Teilchenbeschleuniger' vom 19. April 2005, Aachen o.J., S. 5

¹² CERN, How the LHC works, in: <http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/HowLHC-en.html>; Zugriff am 17.08.11

ALICE und LHCb dagegen erforschen die Struktur der bekannten Teilchen genauer.

LHCb ist auf die Erforschung der leichten Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie spezialisiert, wohingegen in ALICE Bleionen kollidieren um Quark-Gluon-Plasma zu erzeugen, auf welches später noch eingegangen wird.¹³

TOTEM und LHCf sind viel kleinere Experimente und befassen sich mit Teilchen, die nicht frontal kollidieren, sondern nur aneinander vorbei streifen.¹⁴

2.2.2 Kollisionen

Ziel jeder Kollision ist es, all die verschiedenen Teilchen, die entstanden sind, zu zählen, zu verfolgen und zu charakterisieren, um den gesamten Prozess rekonstruieren zu können. Bei der Identifizierung ist insbesondere die Spur der Teilchen von Bedeutung. In welche Richtung diese gebogen ist und ob sie geradlinig oder spiralförmig verläuft, gibt Aufschluss über elektrische Ladung und Impuls der Teilchen.¹⁵

Jeder Protonenstrahl („beam“) besteht aus 2808 Bündeln („bunches“) und jedes Bündel wiederum aus 10^{11} Protonen. Da die Teilchen so winzig sind, dass die Wahrscheinlichkeit einer Kollision sehr gering ist, wird es, wenn sich zwei Bündel treffen, unter diesen 200 Milliarden Teilchen maximal 20 Kollisionen geben. Da sich die Bündel jedoch im Durchschnitt etwa 30 Millionen mal in der Sekunde kreuzen, kann der LHC bis zu 600 Millionen Teilchenkollisionen pro Sekunde herbeiführen.¹⁶ Obwohl dabei einige Tausend neue Teilchen entstehen, kann es Stunden oder sogar länger dauern, bis auch nur ein einziger Prozess auftritt, der vom Standardmodell abweicht.¹⁷

13 CERN, the LHC-facts and figures, in: <http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/Facts-en.html>; Zugriff am 21.08.11, S.38ff

14 CERN, the LHC experiments, in: <http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/LHCExperiments-en.html>; Zugriff am 17.08.11

15 CERN, the LHC-facts and figures, in: <http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/Facts-en.html>; Zugriff am 21.08.11, S.37

16 Communication Group CERN, CERN FAQ - LHC the guide, in: <http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/Facts-en.html>; Zugriff am 21.09.11, S.38f

17 Thomas Lohse, Künstliche Dunkle Materie, in: <http://www.weltderphysik.de/de/351.php?i=4776>; Zugriff am 9.10.11

Nach einer ersten Ausfilterung weniger wichtiger Ereignisse sind es noch 100 Kollisionen pro Sekunde, die für die Wissenschaftler interessant sind. Diese führen zu einer Datenmenge von ca. 700 Megabyte pro Sekunde, die tausenden Physikern auf der ganzen Welt zur Verfügung gestellt werden muss. Dazu wurde ein Netzwerk zur Analyse, Datenspeicherung und zum Datenaustausch aufgebaut: Das LHC Computing Grid.¹⁸ Schon zuvor entwickelte Tim Berners-Lee das World Wide Web zum Informationsaustausch zwischen den Forschungsinstituten.¹⁹

2.2.3 Laboratori Nazionali del Gran Sasso

Doch nicht nur im LHC direkt werden die Geheimnisse des Universums erforscht.

Zusätzlich werden Myon-Neutrinos in Richtung Gran Sasso geschossen, ein Gebirgsmassiv in Italien. Dort, in etwa 730 km Entfernung, befinden sich Laboratorien (Laboratori Nazionali del Gran Sasso), deren Ziel es ist, die am schwersten fassbaren Teilchen und deren Geheimnisse über die Entstehung und Entwicklung des Universums zu verstehen.²⁰

Neutrinos sind sehr kleine, neutrale Teilchen, die z.B. bei beta-Zerfall oder Fusionsprozessen im Inneren der Sonne entstehen.

Da sie beim Durchdringen von Materie kaum Reaktionen zeigen, spürt man rein gar nichts von den etwa 60 Milliarden Neutrinos, die pro Sekunde auf jeden Quadratzentimeter der Erde treffen, ausgesandt von der Sonne oder als Neutrinoblitz von Supernovae.²¹ Dies bringt zwar Vorteile mit sich, wie beispielsweise, dass man keinen Tunnel oder Ähnliches benötigt, um die Myon-Neutrinos vom CERN nach Rom zu schicken, jedoch sind so diese Teilchen umso schwerer nachzuweisen.

18 Communication Group CERN, CERN FAQ - LHC the guide, in:

<http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/Facts-en.html>; Zugriff am 9.10.11, S.55

19 T. Berners-Lee, WorldWideWeb: Proposal for a HyperText Project, in: <http://www.w3.org/Proposal.html>; Zugriff am 9.10.11

20 CERN, CERN switches on neutrino beam to Gran Sasso, in:

<http://press.web.cern.ch/press/PressReleases/Releases2006/PR09.06E.html>; Zugriff am 21.08.11

21 Dähn, A. u. a., Reise zum Urknall. Geisterteilchen in der Waagschale, in: H. Müller-Krumbhaar/H. Wagner (Hg.), Was die Welt zusammenhält, Berlin 2001, S. 45f.

In folgendem Bild wird der Weg der Neutrinos veranschaulicht.

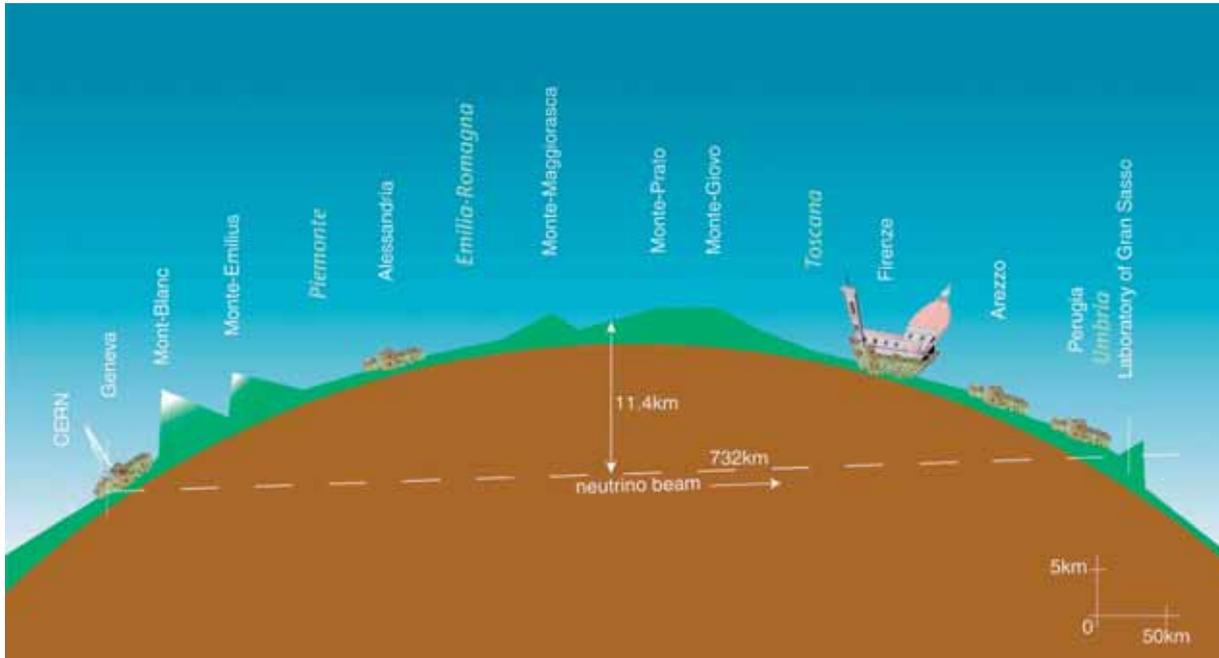


Abbildung 5: Laboratori Nazionali del Gran Sasso

Neutrinos sind ein wichtiger Bestandteil der Zusammensetzung des Universums und so auch an dessen Entwicklung beteiligt gewesen. Aufgrund ihrer besonderen Eigenschaft, ungehindert jegliche Materie und Felder zu durchdringen, werden Neutrinos zudem zur Erforschung des Inneren der Sonne genutzt und zur Beobachtung von kosmischen Objekten außerhalb unseres Sonnensystems.

OPERA, eines der Experimente des CERN in Gran Sasso, ist darauf spezialisiert, die rätselhafte Umwandlung der Neutrinos zwischen den drei möglichen Formen zu untersuchen: den Myon-, Tau- und Elektron-Neutrinos. Es wird vermutet, dass Neutrinos zwischen diesen drei Formen oszillieren können. Eigentlich untersucht dieses Experiment wie viele der im CERN ausgesandten Myon-Neutrinos auf dem Weg nach Rom zu Tau-Neutrinos werden, doch auch die Geschwindigkeit der Neutrinos wird dabei gemessen.

Bei den Untersuchungen des CERN in Gran Sasso wurde im September 2011 veröffentlicht, dass über einen Zeitraum von fast drei Jahren Neutrinos beobachtet wurden, die sich mit einer

Geschwindigkeit von 1,002%²² der Lichtgeschwindigkeit bewegen, also auf einer Strecke von 732 km ca. 60 ns schneller als c sind.²³ Dies widerspricht eindeutig Einsteins Relativitätstheorie, die besagt, dass Licht nicht schneller als c sein kann und Materieteilchen c nicht einmal erreichen können. Eine mögliche Erklärung wäre, dass die Neutrinos Abkürzungen durch höhere Dimensionen nehmen.²⁴

3. Grundlegende Fragen des Universums

Der Weltraum. Unendliche Weiten – Schon in Star Trek erkannte man, dass das Universum unendliche Ausmaße hat. Und über diesen unendlichen Raum gibt es natürlich auch unendlich viele Fragen, die es zu klären gilt. Selbst wenn man im CERN nur einen winzigen Bruchteil der Fragen beantworten kann, gibt es doch eine Vielzahl an Möglichkeiten, die verschiedensten Prozesse des Universums zu simulieren.

Das CERN hat also wirklich viel mit dem Universum zu tun.

Um nur einige wenige „Gemeinsamkeiten“ zu nennen: Die Strahlungsenergie von Sternen entsteht durch Fusion von leichten Atomen und im LHC ist es ebenso möglich, Atome zu fusionieren. Die Fusion als Energiequelle, wie sie den Sternen dient, ist jedoch noch nicht ausgereift, da man mehr Energie braucht um die Teilchen zu beschleunigen, als man durch das Fusionieren gewinnt.

Doch es sollen nicht nur Art und Eigenschaften der Materie erforscht werden, auch die Kräfte, die das Universum zusammenhalten, sind ein Forschungsbereich des CERN. Bisher sind vier Grundkräfte bekannt, die allen physikalischen Phänomenen der Natur zugrunde liegen: Die Gravitation, die starke, die schwache und die elektromagnetische Kraft. Es soll jedoch, im Rahmen der Quantenchromodynamik, nur auf die starke Kraft näher eingegangen werden.

22 Angelica, A., OPERA neutrino experiment on breaking speed of light — UPDATE #2: CERN seeks independent replication, in: <http://www.kurzweilai.net/opera-neutrino-experiment-on-breaking-speed-of-light-update-2-cern-seeks-independent-replication>; Zugriff am 03.11.11

23 OPERA Collaboration, Measurement of the neutrino velocity with the OPERA detector in the CNGS beam, in: <http://arxiv.org/abs/1109.4897>; Zugriff am 3.11.11

24 Dambeck, H., Überlichtgeschwindigkeit-Das Web lacht über absurde Neutrino-Witze, in: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,788156,00.html>; Zugriff am 10.10.11

Und auch mit extraterrestrischen Strahlungsarten beschäftigt man sich im CERN:

Werden leichte, geladene Teilchen wie im LHC auf fast Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und durch ein Magnetfeld abgelenkt, senden sie tangential zur Bewegungsrichtung elektromagnetische Wellen aus. Diese intensive, laserartige, gebündelte Strahlung wird Synchrotronstrahlung oder harte Röntgenstrahlung genannt. Im Universum entsteht diese Strahlung, wenn sich ein heißes Plasma in einem Magnetfeld befindet. Solche Bedingungen herrschen z.B. in Pulsaren, Quasaren oder Radiogalaxien. Ein konkretes Beispiel für Synchrotronstrahlung-emittierende Objekte ist der Jupiter.

Genutzt wird diese intensive Strahlung in der Medizin, der Biologie und der Oberflächenphysik. Im LHC ist sie jedoch eher hinderlich, da die beschleunigten Teilchen dadurch einen beträchtlichen Teil ihrer Energie abgeben.²⁵

Im Folgenden soll jedoch nur auf die grundlegendsten Fragen des Weltraums genauer eingegangen werden, auf die man bis heute keine eindeutige Antwort hat.

3.1 Schwarze Löcher

Ein schwarzes Loch ist eine sehr komprimierte Verteilung an Masse auf kleinem Raum, die in Folge dessen extrem starke Gravitation ausübt und so alles, was sich in der Nähe befindet, also sowohl Materie als auch Licht, anzieht und mit sich vereinigt.

Es wird vermutet, dass beispielsweise in Zentren von Galaxien solche massereichen schwarzen Löcher zu finden sind und bei Sternverschmelzungen oder dem Tod eines sehr schweren Sterns entstehen.

Auch bei Teilchenkollisionen im LHC entstehen kurzzeitig so hohe Teilchendichten, dass ein winziges schwarzes Loch entstehen könnte.

Da die Hawkingstrahlung jedoch mit kleiner werdender Masse ansteigt, also immer mehr Strahlung und Teilchen abgestrahlt werden, zerfallen kleine schwarze Löcher innerhalb von kürzester Zeit.²⁶

²⁵ Flegel, I., Die Physik hinter der Synchrotronstrahlung, in: <http://www.weltderphysik.de/de/3851.php>; Zugriff am 16.08.11

²⁶ Hawking, S., Eine kurze Geschichte der Zeit, Hamburg 2004^{24. Auflage}, S. 115ff + S. 139f

Ein schwarzes Loch am LHC käme auf weniger als 10^{-26} Sekunden. Dies ist so kurz, dass dem schwarzen Loch keine Zeit bleibt, um nennenswert Materie aus der Umgebung aufzusammeln.²⁷

3.2 Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie

Als das Universum entstand, bildete sich Materie und Antimaterie. Eigentlich wäre zu erwarten gewesen, dass sich ein Gleichgewicht bildet, aber offenkundig entstand deutlich mehr Materie als Antimaterie. Diese Asymmetrie ist verantwortlich dafür, dass das Universum so existiert, wie wir es heute kennen. Da Teilchen und Antiteilchen sofort in reine Energie zerstrahlen, wenn sie aufeinander treffen, wäre vom Universum bei völliger Symmetrie so gut wie nichts übrig geblieben als Energie.

Da stellt sich die Frage: Warum ist das Weltall nicht leer?²⁸

Wie bereits erwähnt, ist das Experiment LHCb speziell zur Erforschung dieser Fragestellung gebaut worden.

Im Laufe der letzten Jahrzehnte stellten die Wissenschaftler in Teilchenphysikexperimenten fest, dass die Naturgesetze für Materie und Antimaterie nicht gleichermaßen gelten. Warum das so ist, gilt es herauszufinden.

Bisher sind alle Versuche, diesen Symmetriebruch zu erklären, gescheitert oder lassen sich aufgrund der hohen Energien, die für die Experimente erforderlich wären, nur schwer überprüfen.²⁹

3.3 Die Frage nach dem Anfang

Eine zunächst sehr banal klingende Gemeinsamkeit des CERN mit dem Universum ist, dass dort Quarks erforscht werden, die elementarsten Teilchen, aus denen das (sichtbare) Universum aufgebaut ist. Das Weltall ist jedoch nicht nur aus Quarks aufgebaut, sondern es ist

²⁷ Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V., Schwarze Löcher am LHC, in: <http://www.weltderphysik.de/de/351.php?i=4732>; Zugriff am 2.11.11

²⁸ Reichert, U., Warum ist das Weltall nicht leer?, in: Sterne und Weltraum 10 (2011), S. 3

²⁹ Fierlinger, P., Das Rätsel der Antimaterie, in: Sterne und Weltraum 10 (2011), S. 36

daraus entstanden. So macht man eine Reise in die Vergangenheit, zu den Anfängen des Universums und stellt Bedingungen her, die unmittelbar nach dem Urknall vorgeherrscht haben.

Doch zuerst soll betrachtet werden, was Quarks eigentlich sind.

3.3.1 Quarks

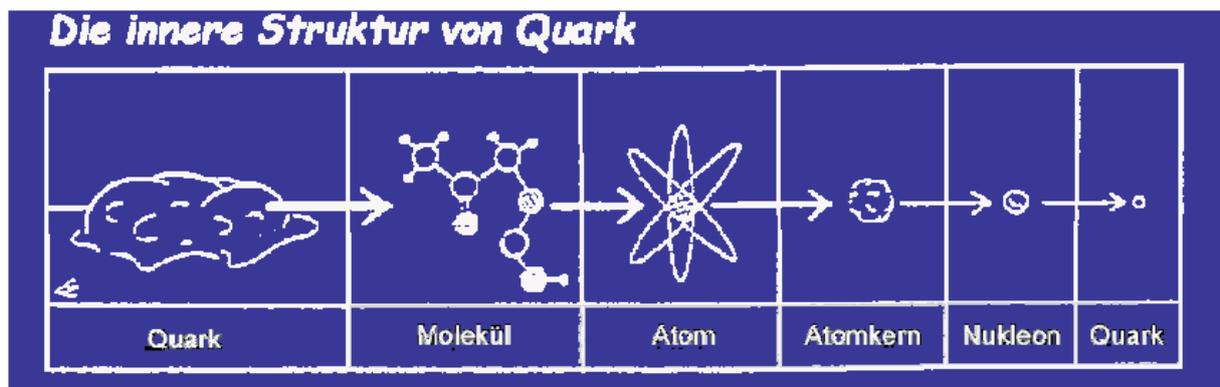


Abbildung 6: Von Quark zum Quark

Untersucht man die Struktur von so etwas Alltäglichem wie Quark, so stößt man zunächst auf verschiedene Moleküle, aus denen dieser aufgebaut ist. Die Moleküle bestehen wiederum aus Atomen und diese aus Elektronen und Nukleonen (Protonen und Neutronen). Doch auch Nukleonen kann man noch zerlegen: in Quarks. Sie sind die „elementarsten“ Teilchen, die uns bekannt sind. „Ob sich [...] am Ende herausstellt, dass sie wiederum aus kleineren Teilchen aufgebaut sind? Das ist möglich, aber es sprechen theoretische Gründe für die Annahmen, dass wir die kleinsten Bausteine der Natur erkannt haben oder dieser Erkenntnis doch zumindest sehr nahe sind.“³⁰

Es sind sechs verschiedene Arten von Quarks, „Flavors“ genannt, bekannt: Up, Down, Strange, Charm, Bottom und Top. Jedes Flavor kann drei verschiedene Farbladungen tragen, nämlich Rot, Grün und Blau. Die Quarks sind dabei nicht wirklich farbig, dies ist nicht möglich, da die Wellenlänge des sichtbaren Lichts viel größer ist als ein Atom, geschweige denn als ein Quark. „Moderne Physiker scheinen einfach mehr Phantasie bei der Benennung neuer Teilchen und Erscheinungen zu entwickeln“.³¹

³⁰ Hawking, S., Eine kurze Geschichte der Zeit, Hamburg 2004^{24. Auflage}, S. 91

³¹ Hawking, S., Eine kurze Geschichte der Zeit, Hamburg 2004^{24. Auflage}, S. 89

Nukleonen bestehen jeweils aus drei verschiedenfarbigen Up- und Down-Quarks. Ein Up-Quark trägt eine elektrische Ladung von $+2/3 e$, ein Down-Quark von $-1/3 e$. Der Ladungen entsprechend enthält ein Proton zwei Up-, ein Down-Quark und ein Neutron zwei Down- und ein Up-Quark.

Die durch die Farbladung bedingte starke Kraft ist, wie der Name schon sagt, sehr stark und überwiegt so gegenüber der elektromagnetischen Wechselwirkung, die durch die elektrische Ladung bedingt ist.

3.3.2 Quantenchromodynamik

Die Theorie der Quantenchromodynamik besagt, dass bei sehr hoher Temperatur, also mehrere 100.000 mal höher als im Innern der Sonne, oder sehr hoher Dichte, wie im Zentrum von Neutronensternen, Protonen und Neutronen sich auflösen und die Quarks freigesetzt werden. Unter diesen Bedingungen bildet sich eine neue Form der Materie aus: Das Quark-Gluon-Plasma.³²

Erfolgt der Übergang durch große Hitze und bei relativ geringer Teilchendichte, so entsteht ein Zustand der Materie, wie er einige Mikrosekunden nach dem Urknall vermutet wird. Untersuchungen am CERN sollen Aufschluss über die Prozesse direkt nach dem Urknall geben, denn auch im LHC ist es möglich, kurzzeitig freie Quarks und Gluonen zu erzeugen, indem man schwere Atomkerne, wie beispielsweise von Pb (Blei), kollidieren lässt. Auch hier erfolgt der Übergang von Kernen zum Quark-Gluon-Plasma bei sehr hohen Energien, wodurch ein extrem heißes Quark-Gluon-Plasma mit relativ geringer Dichte der Teilchen entsteht.

Direkt beobachten kann man das Plasma nicht, aber da es sofort in herkömmliche und potenzielle neue Teilchen ausfriert, kann man die Zerfallsprodukte messen.

Erfolgt der Phasenübergang allerdings bei niedrigeren Temperaturen, aber hohen Teilchendichten, so entsteht eine Art von Quark-Gluon-Plasma, die im Inneren von Neutronensternen vermutet wird.

³² Dähn, A. u. a., Reise zum Urknall. Das Rätsel der kosmischen Ursuppe, in: H. Müller-Krumbhaar/H. Wagner (Hg.), Was die Welt zusammenhält, Berlin 2001, S.50f

Solch hohe Dichte ist jedoch schwer zu erzeugen, weshalb dieser Zustand noch nicht ausreichend untersucht wurde.³³

3.3.3 Ursprung der Masse

Das Zustandekommen der Masse ist ein Paradoxon, denn Protonen und Neutronen sind gewissermaßen schwerer als ihre Bestandteile. Die Masse der drei Quarks bringt zusammengerechnet nur etwa fünf Prozent der Masse eines Protons bzw. Neutrons auf die Waage. Die restlichen 95 Prozent verbergen sich in der starken Kraft, die die drei Quarks zusammenhält.

Nach der Theorie der Quantenchromodynamik vermitteln die masselosen Gluonen, die „Klebeteilchen“ die starke Kraft zwischen den Quarks und somit den Großteil der Masse.³⁴

3.3.4 Confinement

Die wohl bedeutendste Eigenschaft dieser Wechselwirkung ist das Confinement. Es besagt, dass Quarks nur in „farbneutralen“ Zuständen isoliert vorkommen, also immer über Gluonen zu Hadronen gebunden sind und somit niemals einzeln auftreten. Farbneutral heißt, sie existieren nur in Verbindungen, die der additiven Farblehre nach „weiß“ ergeben. Demnach verbinden sich entweder drei Quarks der Farbladungen rot, grün und blau (Baryonen), drei Antiquarks der jeweiligen Antifarben (Antibaryonen) oder Mesonen aus einem Quark einer Farbe mit einem Antiquark mit der jeweiligen Antifarbe (rot-antirod, grün-antigrün, blau-antiblau).³⁵

Hinzu kommt, dass die starke Kraft mit zunehmendem Abstand größer wird, wenn man versucht, die Quarks von einander zu trennen. Das bedeutet, es ist fast unmöglich sie langfristig und endgültig zu isolieren.³⁶

33 Stohl, S., Das CBM-Experiment (Compressed Baryonic Matter) - Suche nach dem Ursprung der Masse und der Materie im Quark-Gluon-Plasma, in: <http://www.weltderphysik.de/de/378.php>; Zugriff am 2.11.11

34 Paul, P., Schäfer, A., Hadronen und Kerne – Einführung, in: <http://www.weltderphysik.de/de/907.php>; Zugriff am 10.08.11

35 Hawking, S., Eine kurze Geschichte der Zeit, Hamburg 2004^{24. Auflage}, S. 99

36 Dähn, A. u. a., Reise zum Urknall. Alles Quark: Das Standardmodell, in: H. Müller-Krumbhaar/H. Wagner (Hg.), Was die Welt zusammenhält, Berlin 2001, S. 38f

So versucht man also immer mehr über die Materie herauszufinden, die uns umgibt. Man könnte denken, dass man mit dem Standardmodell der Teilchenphysik, dem am besten überprüften Theoriegerüst der Physik, schon ziemlich viel über Art und Eigenschaften der Materie und deren Wechselwirkungen weiß, jedoch sind in diesem Modell weniger als zehn Prozent aller Materie erfasst. Über die restlichen 90 Prozent tappt man im Dunkeln: Die dunkle Materie und die dunkle Energie.

3.4 Dunkle Materie

Betrachtet man einen Galaxienhaufen, der sich sehr schnell fortbewegt und die Kräfte, die auf ihn wirken müssten, kommt man in einen Konflikt: Er müsste sich auflösen und die einzelnen Galaxien auseinander driften, da die Gravitation der sichtbaren Materie gegenüber der Geschwindigkeit nicht groß genug ist. Stattdessen bleibt er aber kompakt zusammen. Es muss also noch mehr Materie in diesem Galaxienhaufen geben, die diese starke Gravitation bedingt, eine „dunkle“ Energie, von der wir nichts als ihre Gravitationswirkung wahrnehmen.

Den gleichen Effekt kann man auch bei rotierenden Galaxien beobachten. Auch hier müssten die Sterne aufgrund ihrer hohen Geschwindigkeit aus der Bahn geworfen werden. Davon wären besonders die äußeren betroffen, da die Dichte der sichtbaren Materie nach außen hin abnimmt, die Geschwindigkeit jedoch nicht. Dies sind nur Beispiele, es gibt noch viele weitere Argumente, die für die Existenz von dunkler Materie bzw. Energie sprechen, wobei dunkle Materie und Energie nach $E=mc^2$ gleichwertig zu betrachten sind.

Falls diese tatsächlich existiert (und der Großteil der Kosmologen geht davon aus), könnte die dunkle Materie Aufschluss darüber geben, wie sich nach dem Urknall Sterne und Galaxien aus der fast gleichförmigen „Ursuppe“ von Elementarteilchen bilden konnten.

Aber was ist eigentlich dunkle Materie?

Man vermutet, dass dunkle Materie entweder zur Familie der Baryonen gehört oder aus exotischen, subatomaren Teilchen besteht, die kaum oder gar keine Ähnlichkeit mit Baryonen aufweisen.

So versucht man am CERN Signale einer Materie zu finden, „die per Definition unsichtbar ist und außer durch ihre Gravitationskraft kaum mit anderer Materie in Wechselwirkung steht.“³⁷

37 Maran, S., *Astronomie für Dummies*, Weinheim 2008^{3. Auflage}, S.257ff

4. Zusammenfassung und Ausblick

Unendlich viele Fragen über einen unendlichen Raum, der uns manchmal unendlich fremd erscheint und selbst die renommiertesten Forscher am CERN haben nur wenige Antworten.

Doch nähert man sich zumindest schrittweise dem Ziel, das uns umgebende Universum zu verstehen. Auch wenn unklar ist, was dunkle Materie ist, so kennt man zumindest die Beschaffenheit der sichtbaren, greifbaren Materie schon ziemlich genau.

Man hat sehr überzeugende Theorien, wie das Universum entstand und wie es weiter gehen könnte. Es ist möglich im CERN den Zustand der Materie direkt nach dem Urknall zu simulieren und so immer genauer sagen zu können, wie die Entwicklung verlief. Indem man immer mehr über dunkle Materie herausfindet, werden Anhaltspunkte dafür gefunden, wieso sich Sterne und Galaxien bilden konnten.

Oft ist zwar unverständlich, wieso sich das Weltall so entwickelt hat, doch die Entwicklung an sich ist schon relativ gut erforscht.

Die Erzeugung und Analyse von freien Quarks und Gluonen im LHC zeigte, dass der Großteil der Masse aller Materie durch eine Kraft bedingt wird. Viele merkwürdige Erscheinungen wie schwarze Löcher können im CERN genau analysiert werden, komplexe Strahlungsarten wie die Synchrotronstrahlung wirken viel wirklichkeitsnäher, wenn sie auch direkt hier auf der Erde erzeugt und sogar angewandt werden können. Die Fusion, wie sie schon seit Jahrmillionen in Sternen als Energiequelle genutzt wird, kann im LHC nachgeahmt werden und so in der Zukunft vielleicht wesentlich zu unserer Energieversorgung beitragen.

Das CERN befindet sich nicht nur im Universum, sondern es existiert nur zur Erforschung des Universums und der Teilchen aus denen dieses aufgebaut ist. Man will verstehen, wieso es solche Wechselwirkungen wie das Confinement gibt und wie es überwunden werden kann, verstehen, welche Kräfte zwischen welchen Teilchen wie wirken.

Man sucht Antworten am CERN auf die Fragen des Universums: Warum gibt es Sterne und Galaxien? Wieso ist der Raum nicht leer? Warum haben sich Materie und Antimaterie nicht gegenseitig ausgelöscht, warum hat die Materie überwogen? Gibt es dunkle Materie - und

wenn nicht: Warum lösen sich Galaxien nicht auf, was bedingt diese starke Gravitation? Wie kann etwas Masseloses Masse verursachen? Sind Quarks teilbar? Was hat den Urknall verursacht? Wie ist das Universum genau entstanden? Und wie wird es enden?

Die Erforschung im CERN hilft uns, das ungreifbare Universum zumindest stückweise zu begreifen, und doch ist sicher:

Egal wie viel wir herausfinden, das Universum wird immer voller Geheimnisse bleiben.

5. Quellenverzeichnis

5.1 Bücher und Zeitschriften

- Goethe, J. W., Faust, Stuttgart 2000
- Hawking, S., Eine kurze Geschichte der Zeit, Hamburg 2004^{24. Auflage}
- H. Müller-Krumbhaar/H. Wagner (Hg.), Was die Welt zusammenhält, Berlin 2001
- Kovermann, J., Teilchenbeschleuniger. Ausarbeitung zum Seminarvortrag 'Teilchenbeschleuniger' vom 19. April 2005, Aachen o.J.
- Maran, S., Astronomie für Dummies, Weinheim 2008^{3. Auflage}
- Sterne und Weltraum 10 (2011)
- Sterne und Weltraum 12 (2010)

5.2 Internetquellen

- <http://public.web.cern.ch/public/>:
 - CERN, The name CERN, in: <http://public.web.cern.ch/public/en/About/Name-en.html>; Zugriff am 09.08.11
 - CERN, A global endeavour, in: <http://public.web.cern.ch/public/en/About/Global-en.html>; Zugriff am 09.08.11
 - CERN, How the LHC works, in: <http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/HowLHC-en.html>; Zugriff am 17.08.11
 - CERN, the LHC-facts and figures, in: <http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/Facts-en.html>; Zugriff am 17.08.11
 - CERN, the LHC experiments, in: <http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/LHCExperiments-en.html>; Zugriff am 17.08.11

- CERN, CERN switches on neutrino beam to Gran Sasso, in:
<http://press.web.cern.ch/press/PressReleases/Releases2006/PR09.06E.html>;
Zugriff am 21.08.11
- Communication Group CERN, CERN FAQ - LHC the guide, in:
<http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/Facts-en.html>; Zugriff am 17.08.11
- <http://www.weltderphysik.de/>
 - Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V., CERN - ein europäisches Forschungszentrum von Weltformat, in: <http://www.weltderphysik.de/de/153.php>;
Zugriff am 09.08.11
 - Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V., Der Large Hadron Collider LHC, in:
<http://www.weltderphysik.de/de/351.php?i=879>; Zugriff am 11.08.11
 - Thomas Lohse, Künstliche Dunkle Materie, in:
<http://www.weltderphysik.de/de/351.php?i=4776>; Zugriff am 9.10.11
 - Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V., Schwarze Löcher am LHC, in:
<http://www.weltderphysik.de/de/351.php?i=4732>; Zugriff am 2.11.11
 - Stohl, S., Das CBM-Experiment (Compressed Baryonic Matter) - Suche nach dem Ursprung der Masse und der Materie im Quark-Gluon-Plasma, in:
<http://www.weltderphysik.de/de/378.php>; Zugriff am 2.11.11
 - Paul, P., Schäfer, A., Hadronen und Kerne – Einführung, in:
<http://www.weltderphysik.de/de/907.php>; Zugriff am 10.08.11
 - Flegel, I., Die Physik hinter der Synchrotronstrahlung, in:
<http://www.weltderphysik.de/de/3851.php>; Zugriff am 16.08.11
- DESY, LHC-Broschüre, in: <http://bilder.desy.de:9080/weltmaschine/AssetView.jsp?catalogID=14&language=de&categoryID=4265&recordID=21923&page=1>; Zugriff am 16.08.11
- T. Berners-Lee, WorldWideWeb: Proposal for a HyperText Project, in:
<http://www.w3.org/Proposal.html>; Zugriff am 9.10.11
- Dambeck, H., Überlichtgeschwindigkeit-Das Web lacht über absurde Neutrino-Witze, in: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,788156,00.html>; Zugriff am 10.10.11

- Angelica, A., OPERA neutrino experiment on breaking speed of light — UPDATE #2: CERN seeks independent replication, in: <http://www.kurzweilai.net/opera-neutrino-experiment-on-breaking-speed-of-light-update-2-cern-seeks-independent-replication>; Zugriff am 03.11.11
- OPERA Collaboration, Measurement of the neutrino velocity with the OPERA detector in the CNGS beam, in: <http://arxiv.org/abs/1109.4897>; Zugriff am 3.11.11

5.3 Bilderverzeichnis

- Titelbild 1: <http://science.nationalgeographic.com/wallpaper/science/photos/galaxies-gallery/merging-galaxies/>; Zugriff am 05.11.11
- Titelbild 2: http://www2.cnrs.fr/sites/en/image/schema_en_grand.jpg; Zugriff am 05.11.11
- Abb. 1: <http://www.weltderphysik.de/de/351.php?i=879>; Zugriff am 03.11.11
- Abb. 2: <http://physik.uni-graz.at/~cbl/C+P/contents/Stud-WS01/schoengassner/index.htm>; Zugriff am 11.08.11
- Abb. 3:
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/48/Lineaer_accelerator_de.svg;
Zugriff am 16.08.11
- Abb. 4: Kovermann, J., Teilchenbeschleuniger. Ausarbeitung zum Seminarvortrag 'Teilchenbeschleuniger' vom 19. April 2005, Aachen o.J.
- Abb. 5: http://www2.cnrs.fr/sites/en/image/schema_en_grand.jpg; Zugriff am 05.11.11
- Abb. 6: physik.uni-graz.at/~cbl/teaching/QCD_TU_2006.pdf; Zugriff am 03.11.11

6. Eidesstaatliche Erklärung

Ich erkläre, dass ich die Seminararbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benützt habe.

....., den

Ort

Datum

.....

Unterschrift des/der Oberstufenschülers/-schülerin

Inhaltsverzeichnis

1. Die größten und die kleinsten Teilchen.....	1
2. Das CERN.....	2
2.1 Der Teilchenbeschleuniger LHC.....	3
2.1.1 Beschleunigung.....	4
2.1.2 Ablenkung und Fokussierung.....	5
2.2 Die Experimente im CERN.....	6
2.2.1 Detektoren.....	6
2.2.2 Kollisionen.....	7
2.2.3 Laboratori Nazionali del Gran Sasso.....	8
3. Grundlegende Fragen des Universums	10
3.1 Schwarze Löcher.....	11
3.2 Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie.....	12
3.3 Die Frage nach dem Anfang.....	12
3.3.1 Quarks.....	13
3.3.2 Quantenchromodynamik.....	14
3.3.3 Ursprung der Masse.....	15
3.3.4 Confinement.....	15
3.4 Dunkle Materie.....	16
4. Zusammenfassung und Ausblick.....	17
5. Quellenverzeichnis.....	19
5.1 Bücher und Zeitschriften.....	19
5.2 Internetquellen.....	19
5.3 Bilderverzeichnis.....	21
6. Eidesstaatliche Erklärung.....	22