

CERN und LHC

eine Übersicht

zusammengestellt von

Mag. Andrea Großmann

Quellen:

<http://public.web.cern.ch/public/>

<http://www.hephy.at>

<http://www.weltderphysik.de/de/1017.php>

Vorweg möchte ich mich speziell bei den MitarbeiterInnen des **am Bau des LHC maßgeblich beteiligte Hochenergiephysik Instituts Wien** für einen Großteil der in dieser Zusammenfassung enthaltenen Informationen bedanken.

Dieses Institut bietet unter anderem Downloads, Informationen und Aktivitäten für SchülerInnen und LehrerInnen an – weitere Informationen siehe <http://www.hephy.at/veranstaltungen/>

CERN – allgemeine Infos:

- Nähe von Genf in der Schweiz
- Europäische Organisation für Kernforschung (die Abkürzung CERN leitet sich vom früheren franz. Namen *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire* ab)
- physikalische Grundlagenforschung, Teilchenbeschleuniger, weltgrößte Forschungszentrum auf dem Gebiet der Teilchenphysik
- 20 Mitgliedstaaten
- knapp 3000 Mitarbeitern
- 8000 Gastwissenschaftler aus 85 Nationen
- Jahresbudget 2009: 1 098 490 000 Schweizer Franken = 740 736 572 Euro
- Österreichische Beteiligung 2009: ~2,24% des Gesamtbudgets – 16 629 468 Euro
- Von der UNESCO wurde das Gebiet des CERN als extratoriales Gebiet ausgewiesen. Aufgrund von Sitzabkommen des CERN mit der Schweiz und Frankreich gilt hier kein nationales Recht.
- Das oberste Entscheidungsgremium der Organisation ist der *Rat des CERN*, in welchen alle Mitgliedsstaaten gleichermaßen jeweils zwei Delegierte entsenden: einen Repräsentanten der Regierung und einen Wissenschaftler.
- Beobachterstatus haben gegenwärtig die Europäische Kommission, Indien, Israel, Japan, Russland, die Türkei, die USA sowie die UNESCO
- Weitere 35 Staaten sind als Nichtmitglieder an CERN-Programmen beteiligt.

CERN – Geschichte:

- Die Gründungsmitglieder 1954 waren die Schweiz, Belgien, Dänemark, (West-) Deutschland, Frankreich, Griechenland, Großbritannien, Italien, Jugoslawien (bis 1961), Niederlande, Norwegen und Schweden.
- Es folgten weitere Staaten: Österreich (1959), Spanien (1961–1968 und ab 1983), Portugal (1986), Finnland (1991), Polen (1991), Ungarn (1992), Tschechische Republik (1993), Slowakische Republik (1993) und Bulgarien (1999).
- Ursprünglich sollte CERN im Bereich Kernenergie forschen, es wurden jedoch schon bald die ersten Beschleuniger gebaut.

Erste Beschleuniger:

- **1957 Synchro-Zyklotron (SC):** Protonen auf bis zu 600 MeV beschleunigt, 1990 abgeschaltet
- **1959 folgte das Protonen-Synchrotron (PS):** mit einer Protonenergie von 28 GeV, heute noch als Vorbeschleuniger
- **1968 erfand Georges Charpak einen Teilchendetektor,** der in einer gasgefüllten Kammer eine große Anzahl parallel angeordneter Drähte zur besseren Orts- und Energieauflösung enthielt. Er revolutionierte mit dieser Drahtkammer den Teilchennachweis und erhielt 1992 den Nobelpreis für Physik.
- **1970/71 große Blaskammern Gargamelle und BEBC:** zur Untersuchung von Neutrino-Reaktionen
- **1971 Protonen-Speicherringe, (Intersecting Storage Rings) ISR:** weltweit erster Ring zur Protonen-Protonen-Kollision, 300 Meter Durchmesser
- **1976 folgte als neuer Beschleuniger das Super-Protonen-Synchrotron (SPS),** das auf einem Bahnumfang von 7 km Protonen mit 400 GeV liefert.
- **1981 wurde es zum Proton-Antiproton-Collider ausgebaut;** dabei wurde die Technik der stochastischen Kühlung von Simon van der Meer genutzt (zur Ansammlung von Antiprotonen).

LEP und LHC:

- **1989 Large Electron-Positron Collider (LEP):** In einem Tunnel von 27 km Länge trafen hier an ausgewählten Stellen Elektronen und ihre Antiteilchen, die Positronen, mit Energien von 100 GeV aufeinander.
- **1999 begannen die Bauarbeiten für den Large Hadron Collider (LHC),** der den Tunnel des LEP übernahm, der dafür im Jahr 2000 abgeschaltet wurde.
- **Mit mehreren Staaten, die nicht zu CERN gehören, wurden Kooperationsvereinbarungen für die LHC-Nutzung abgeschlossen,** bisher mit Indien, Japan, Kanada, Russland und den USA.

Bedeutende Entdeckungen am CERN:

- 1972-1973: Der erstmalige Nachweis von **Neutrinos** in der Blasenkammer des Gargamelle-Experiments gelingt. Damit wird die bis dahin unbestätigte Theorie der sogenannten neutralen Ströme bestätigt, einer fundamentalen Aussage des Standardmodells.
- 1973 gelang mit Gargamelle die Entdeckung der **neutralen Ströme der Z^0 -Teilchen** durch André Lagarrigue.
- 1983 wurden am CERN die **W- und Z-Bosonen** (Träger der schwachen Kernkraft) entdeckt. Diese Teilchen sind unter anderem für den radioaktiven β -Zerfall und die Fusionsprozesse im Inneren der Sonne verantwortlich. Die Bedeutung dieses Fundes wird dadurch offenbar, dass Simon van der Meer und Carlo Rubbia, die treibenden Kräfte hinter den Experimenten, im darauf folgenden Jahr den Nobelpreis für Physik erhielten.
- 1989 gewann man aus LEP-Experimenten die Erkenntnis, dass es **nur 3 Generation an Leptonen und Quarks** gibt.
- 1990: **erster WWW-Server der Geschichte**, entwickelt von Tim Berners-Lee, damals ein Mitarbeiter am CERN, Info.cern.ch: erster Webserver, erste Webseite
- 1993: Die ersten präzisen Messungen zur direkten CP-Verletzung, einem Mechanismus in der Natur, der zu einer Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie führt, werden im Rahmen des Experiment NA31 durchgeführt und veröffentlicht.
- 1995: Am CERN wird weltweit **zum ersten Mal Anti-Wasserstoff**, also ein Wasserstoffatom aus Antimaterie, synthetisiert.
- Aktuell: **Grid Computing** wurde für die Experimente des Large Hadron Collider (LHC) am europäischen Forschungszentrum CERN in Genf entwickelt. Die aus den Experimenten entstehenden gewaltigen Datenmengen sollen von Tausenden von Wissenschaftlern weltweit ausgewertet werden.

LHC-Beschreibung:

- Der [Large Hadron Collider \(LHC\)](#) ist zwar nur einer der vielen Beschleunigeranlagen welche den Wissenschaftlern am CERN zur Verfügung stehen, aber er ist momentan auch der größte der Welt. Der LHC bedient dabei 4 Großexperiment: [CMS](#), [ATLAS](#), [ALICE](#) und [LHCb](#) und 2 weitere kleine Experimente: Totem und LHCf.
- Während der CERN den LHC der wissenschaftlichen Welt zur Verfügung stellt, wurden die 4 Experimente jeweils von einem großen [Zusammenschluss internationaler Wissenschaftler geplant, gebaut und betrieben](#).
- Der Beschleuniger wurde ca. [100m unter der Erdoberfläche in einem ca. 27km langen kreisförmigen Tunnel](#) eingebaut, welcher bereits für den Vorgänger LEP benutzt wurde. An vier Stellen entlang des LHC wurden riesige unterirdische Kavernen ausgehoben, welche jeweils eines der vier Großexperimente beherbergen.
- Am [8. August 2008](#) wurden die [ersten Protonen in den LHC geschossen](#), am [10. September 2008 folgte der erste offizielle Rundumlauf](#) von Protonen. Noch vor dem 21. Oktober 2008 sollte es zu den ersten Protonen-Kollisionen kommen; dieser Termin konnte jedoch auf Grund der erzwungenen Abschaltung nach einem schweren technischen Problem nicht eingehalten werden. Über den Winter wurde der Beschleuniger jedoch erfolgreich repariert.
- [Am 10 März 2010 wurden zum ersten Mal zwei Strahlen mit je 3.5 TeV zur Kollision gebracht - dies ist ein neuer Weltrekord](#). Um 12:58 Uhr erklärte der LHC Kontrollraum stabile kollidierende Strahlen, die unmittelbar danach im CMS-Detektor nachgewiesen wurden. Schon wenige Augenblicke später waren mit Hilfe des Datenverarbeitungssystems des Detektors die Daten analysiert und die ersten Bilder von Teilchen aus [7 TeV Kollisionen](#) produziert worden.
- [In der ersten Stunde sammelte der CMS Detektor ungefähr 200000 Kollisionen](#). Die Daten wurden von einer gewaltigen Rechnerfarm am CERN gesichert und verarbeitet bevor sie an kollaborierende Teilchenphysiker aus der ganzen Welt für detaillierte Analysen weitergesendet wurden.
- Ziel ist es nun die Leistung weiter zu erhöhen, um schließlich 14 TeV Kollisionen zu erzeugen.

LHC – Technische Daten:

- Damit Kollisionen bei sehr hohen Energien durchgeführt werden können, muss der Speicherring auf Betriebstemperatur heruntergekühlt ($-271,3^{\circ}\text{C} = 1,9$ Kelvin) und dann kontrolliert hochgefahren werden. Zur Kühlung der supraleitenden Materialien wird 120 Tonnen flüssiges Helium eingesetzt. Damit ist der LHC auch das größte Kältesystem und die größte supraleitende Anlage der Welt.
- **Zwei Protonen-Strahlen** (Protonen sind Hadronen) kreisen **mit fast Lichtgeschwindigkeit in gegenläufiger Richtung**. An vier Stellen dieses Ringes befinden sich riesige unterirdische Experimentierhallen, in denen die Protonen der beiden Strahlen mit bisher unerreichter Energie von 2 mal 7 TeV (= **14 Teraelektronvolt**) zum frontalen Zusammenstoß gebracht werden. Die in diesen Kollisionsereignissen entstehenden Teilchen werden von den Physikern mit Hilfe der neu entwickelten großen Detektoren der Experimente ALICE, ATLAS, CMS und LHCb beobachtet.
- In einem weiteren Betriebsmodus kann der LHC auch Kollisionen von **hochenergetischen Blei-Ionen** erzeugen.
- Jeder der beiden Protonen-Strahlen des LHC enthält **2808 Pakete zu je hundert Milliarden Protonen**. Die Protonen werden vorerst in einer Kette von Vorbeschleunigern erzeugt und zu immer höheren Energien gebracht. Schließlich werden sie in die beiden hochevakuierten Strahlrohre des LHC eingeschossen.
- **Beschleunigung – supraleitende Beschleunigungseinheiten:**
Wo den Teilchen bei jedem Umlauf im elektrischen Wechselfeld (oszilliert mit sehr hoher Frequenz (Radiofrequenz)) der supraleitenden Beschleunigungseinheiten ("Kavitäten") weitere Energie zugeführt wird, bis sie ihre endgültige Energie erreicht haben (ganz nahe an der Lichtgeschwindigkeit). Vergleiche: **Elektronenbeschleunigung in alter Fernsehröhre – selbes Prinzip!**

- **Ablenkung und Fokussierung ~10 000 Magnete gesamt:**

Zur Ablenkung dienen **1232 supraleitende Dipol-Ablenkmagnete**, um die **Protonen-Strahlen auf ihren ringförmigen Bahnen zu führen**.

Man verwendet **Quadrupol-Fokussiermagnete**, um die Protonen im Bereich der Detektoren **zu fokussieren** und in einem möglichst kleinen Volumen zur Kollision zu bringen.

- Die Protonen-Pakete, mit einem **zeitlichen Abstand von 25 Nanosekunden** (Milliardstel Sekunden) zueinander, kreisen dann für mehrere Stunden im LHC. Die gespeicherte **Energie in jedem dieser Strahlen beträgt ca. 350 Megajoule**, dies entspricht der Bewegungsenergie eines 400 Tonnen schweren Zuges bei einer Geschwindigkeit von 150 km/h.
- Typischerweise liefert der LHC **eine Milliarde Ereignisse pro Sekunde**, wobei pro Zusammenstoß mehr als 100 neue Teilchen entstehen. Der Detektor muss also pro Sekunde 10¹¹ Teilchen registrieren und so vermessen, dass eine Auswahl der interessanten Ereignisse möglich ist. Alle erzeugten Reaktionsprodukte mit der notwendigen Genauigkeit in Richtung, Energie oder Impuls zu messen, erfordert eine Kombination verschiedenster hochauflösender Nachweissysteme, die in großvolumige, starke Magnetfelder eingebettet sind. Die "Daten" eines Experiments werden durch die Detektorelektronik bereitgestellt, wobei jeder der über 100 Millionen Nachweiskanäle vermessen und kalibriert werden muss. Die vom Detektor aufgenommene Datenrate beträgt somit eine Million Gigabyte pro Sekunde (Gbyte/s). Um diesen Informationsfluss in technisch akzeptablen Grenzen zu halten, muss bereits "online" in mehreren Stufen eine erste Auswahl von Ereignissen (1 aus 200 000) getroffen werden. Die ausgewählten Reaktionen werden dann mit einer Rate von 5 Gbyte/s in "Prozessorfarmen" weiterverarbeitet und aussortiert. **Hundert Ereignisse pro Sekunde (100 Mbyte/s) werden an die zentrale "offline"-Datenspeicherung im Rechenzentrum weitergegeben.**

Eine kurze Geschichte der Elementarteilchenphysik:

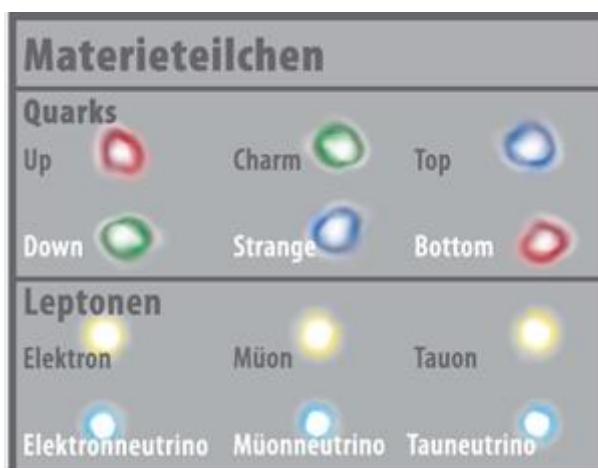
Elementarteilchen:

Alles im Universum scheint, nach heutigem Verständnis, aus denselben 12 Grundbausteinen aufgebaut zu sein - den Elementarteilchen, beherrscht und zusammengehalten von 4 fundamentalen Kräften.

Wie diese Elementarteilchen und die Kräfte zusammenhängen wird mit dem Standardmodell (1970) beschrieben.

Fundamentale Materieteilchen:

Alles um uns ist aus Materieteilchen aufgebaut, man unterscheidet Leptonen und Quarks (letztere bilden z.B. Protonen und Neutronen).



Quelle: www.hephy.at

- Beide Gruppen bestehen aus 6 Teilchen, welche paarweise zusammengehören und die sogenannten „Generationen“ bilden.
- Die leichtesten und stabilsten bilden die erste Generation.
- Die schwereren und instabilen gehören der zweiten und dritten Generation an.
- Die drei Generationen ähneln einander sehr in Bezug auf ihre Eigenschaften, bis auf ihre Masse, die mit jeder Generation größer wird.
- Jegliche stabile Materie im Universum ist aus Teilchen der ersten Generation aufgebaut.

- Schwerere Teilchen der 2. und 3. Generation „zerfallen“ sofort (innerhalb von Millionstel bis zu unvorstellbaren Milliardstel von Milliardstel Sekunden) in Teilchen der ersten Generation.
- Elektron, Myon und Tau haben eine Ladung und Masse, während die Neutrinos neutral sind mit sehr kleiner Masse.

Kräfte und Austauscheteilchen:

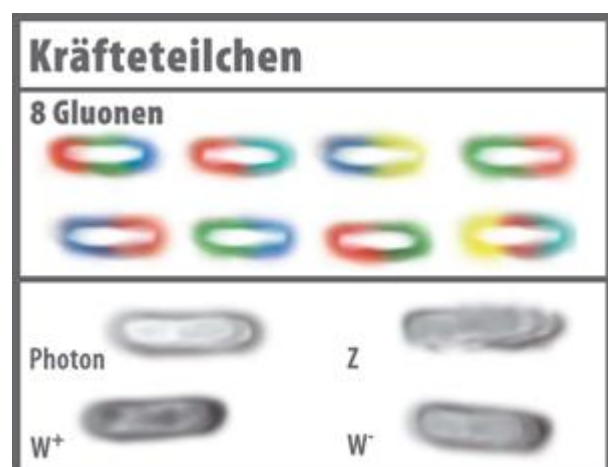
4 Grundkräfte:

- **Starke Wechselwirkung** – sehr kurze Reichweite, nur im subatomaren Bereich wirksam, stärkste Kraft von allen
- **Schwache Wechselwirkung** – sehr kurze Reichweite, nur im subatomaren Bereich wirksam, immer noch stärker als die Gravitation, aber schwächer als die anderen
- **Elektromagnetische Wechselwirkung** – viel stärker als die Gravitation, unendliche Reichweite
- **Gravitation** – die schwächste Kraft, aber unendliche Reichweite

Wie wirken diese Kräfte?

Für drei Kräfte haben wir bereits eine Erklärung gefunden: **Austausch von Bosonen**, den sogenannten Austauscheteilchen oder Trägerteilchen, zwischen den Materieteilchen. Da diese Kräfteteilchen nicht nur Kräfte vermitteln, sondern auch auf bestimmte Weise ein **Teilchen in ein anderes verwandeln können**, spricht man allgemein lieber von den **vier fundamentalen Wechselwirkungen**.

- **Starke Wechselwirkung**
Trägerteilchen: **Gluonen**
- **Schwache Wechselwirkung**
Trägerteilchen: **W- und Z-Bosonen**
- **Elektromagnetische Wechselwirkung**
Trägerteilchen: **Photonen**
- **Gravitation**
Vermutung: Graviton (noch nicht gefunden! Problem: so schwach)



Quelle: www.hephy.at

Neben der Schwerkraft sind aus dem Alltag auch elektrische und magnetische Kräfte bekannt. Wie man schon seit dem 19. Jahrhundert weiß, sind diese beiden Kräfte zwei Auswirkungen derselben elektromagnetischen Wechselwirkung. Ebenfalls lange bekannt ist, dass es sich bei Licht um eine elektromagnetische Schwingung handelt. Es stellt sich nun aber heraus, dass auch Licht aus Teilchen besteht, den Photonen. Diese Photonen sind nichts anderes als die Kräfteteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung. Wenn sich zwei Körper elektrisch (oder magnetisch) anziehen, so liegt das daran, dass sie untereinander Photonen austauschen (für tiefer Interessierte: Da diese Photonen nur zwischen den beteiligten Teilchen laufen, und nicht nach außen dringen, sind sie aus prinzipiellen Gründen niemals sichtbar - man nennt sie deswegen auch virtuelle Teilchen).

Neben den bisher genannten Wechselwirkungen gibt es auch im Alltag weniger auffällige, aber nicht minder bedeutende Kräfte, darunter auch die stärkste aller bekannten Wechselwirkungen, die sog. **starke Kraft**. Sie sorgt dafür, dass **Atomkerne zusammenhalten**, obwohl diese aus mitunter vielen positiv geladenen Protonen bestehen, die sich ja elektrisch stark abstoßen. Die zugehörigen Kraftteilchen sind die Gluonen (nach englisch glue). Genauso wie es einer elektrischen Ladung bedarf, damit sich zwei Körper elektrisch anziehen oder abstoßen, **bedarf es einer "starken" Ladung, damit die starke Kraft wirksam werden kann. Nur Quarks tragen eine solche "starke" Ladung. Im Unterschied zur elektrischen Ladung gibt es drei verschiedene "starke" Ladungen, die man als rot, grün und blau bezeichnet.** Daher leitet sich auch der Begriff **Farbladung** ab, wobei es sich aber hier nur um eine abstrakte Bezeichnungsweise handelt, und nicht um tatsächliche Farben von Quarks.

Es stellt sich heraus dass die starke Kraft so stark ist, dass es aus prinzipiellen Gründen unmöglich ist, die in Protonen oder Neutronen gebundenen Quarks herauszulösen - Quarks treten daher niemals einzeln auf, sondern immer nur in gebundenen Zuständen (sog. Quark-Confinement). Nur unter extremen Umständen, wie kurz nach dem Urknall oder (für Sekundenbruchteile) während einer Kollision schwerer Teilchen in einem Teilchenbeschleuniger bildet sich ein sog. **Quark-Gluon-Plasma**, in dem sich Quarks relativ frei bewegen können. In unserer Alltagswelt kommt so etwas allerdings nicht vor, hier sorgt die starke Kraft für nicht mehr - aber

auch nicht weniger - als die Stabilität der Atome, und damit der uns umgebenden Materie (aus der wir auch selbst bestehen).

Die letzte hier noch nicht beschriebene fundamentale Wechselwirkung ist die sog. **schwache Kraft**. Wie der Name schon andeutet, ist sie deutlich schwächer als die elektromagnetische Kraft - allerdings immer noch weitaus stärker als die Gravitation. Trotz - oder gerade wegen - ihrer Schwäche hat diese Kraft eine wichtige Bedeutung. **Nicht nur ist sie die einzige Kraft, die auch auf die elektrisch und farbneutralen Neutrinos wirkt, sie ist auch die einzige Wechselwirkung, die eine Umwandlung einer Quarkart in eine andere ermöglicht.** Erst dadurch wird es möglich, dass in unserer **Sonne Protonen in Neutronen** umgewandelt werden, und so **vier Wasserstoffatome zu einem Heliumatom** verschmelzen (Helium enthält je zwei Protonen und Neutronen, Wasserstoff nur ein Proton; zwei Protonen alleine würden keinen stabilen Atomkern bilden). Dieser als Kernfusion bekannter Prozess liefert die Energie der Sonne, ohne die es kein Leben gäbe. **Und nur weil die schwache Kraft schwach ist, läuft diese Kernfusion so langsam ab,** dass die Sonne nun bereits seit fünf Milliarden Jahren leuchtet, und es vermutlich noch einmal so lange tun wird.

Die Kraftteilchen der schwachen Kraft sind die sog. **W- und Z-Bosonen**. Als einzige Kraftteilchen sind sie nicht masselos, sondern sogar recht schwer - etwa 80-90 Mal so schwer wie ein Wasserstoffatom, das seinerseits bereits aus 3 Quarks und einem Elektron besteht.

Probleme des Standardmodells:

Gravitation ist nicht Teil des Standardmodells, weil es schwer vereinbar ist! Aber: So schwach, dass es für die Teilchenphysik (Größenordnung von einzelnen Teilchen) vernachlässigbar ist. Wird jedoch die Materie in „Clustern“ (Menschen, Erde etc.) betrachtet, so brauchen wir die Gravitation!

Weitere mit dem Standardmodell unbeantwortete Fragen:

- **Was ist Dunkle Materie?**
- **Was passierte mit der fehlenden Antimaterie?**

Zitat: *„The quantum theory used to describe the micro world, and the general theory of relativity used to describe the macro world, are like two children who refuse to play nicely together. No one has managed to make the two mathematically compatible in the context of the Standard Model.“*

Einteilung der Teilchen im Universum – einige wichtige Eckdaten:

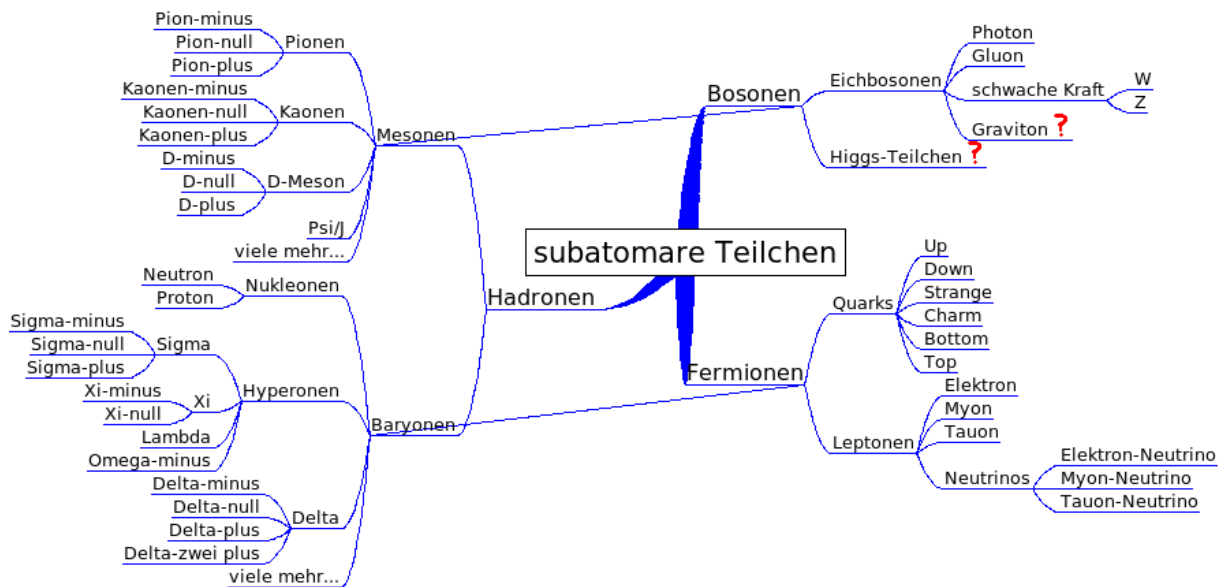
Hadronen: der starken Wechselwirkung unterworfen, aus Quarks aufgebaut, z.B. Proton, Neutron

eingeteilt in:

Baryonen: bestehen aus 3 Quarks (Antibaryonen aus drei Antiquarks); halbzahliger Spin, sind daher auch Fermionen

Mesonen: bestehen aus einem Quark und einem Antiquark; ganzzahligen Spin, sind daher auch Bosonen

Weiterführende Infos: <http://de.wikipedia.org/wiki/Hadronen>



Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Elementarteilchen>

Teilchen und Antiteilchen:

Die beiden Teilchen unterscheiden sich in ihrer elektrischen Ladung, sind aber in Masse, Spin und magnetischem Moment identisch.

Trifft ein Teilchen mit seinem Antiteilchen zusammen, kommt es oft zur **Annihilation**. Ein Elektron und ein Positron zerstrahlen zu zwei oder drei Photonen. Proton und Antiproton vernichten sich zu mehreren Pionen.

Antimaterie ist Materie, die aus Antiteilchen aufgebaut ist, so wie die „normale“ Materie aus „normalen“ Teilchen besteht.

LHC-Experimente:

ALICE:

Kollisionen von **Blei-Ionen** im Herzen von ALICE erzeugen Temperaturen **100 000 mal heißer als im Inneren der Sonne** ($= 10^7 \text{ °C}$).

Man hofft, dass dann die Protonen und Neutronen „schmelzen“ und ein Quark-Gluonen-Plasma bilden. Ein solches Plasma gab es kurz nach dem **Big Bang**, als das Universum noch sehr heiß war.

Dieses Plasma möchte man im Zuge des ALICE-Experiments untersuchen und feststellen, wie sich daraus die Teilchen bilden, aus denen die Materie heute aufgebaut ist.

CMS und ATLAS:

Aufgaben:

1. **Higgs-Boson finden:**

jenes Boson, das den Teilchen die Masse verleiht

2. **weitere Dimensionen finden:**

Die **String** (=schwingende eindimensionale Objekte, vgl. schwingende Saiten, **Anregung: Elementarteilchen**) **Theorie** geht von **weiteren Dimensionen** aus als den uns zugänglichen 3 bzw. 4, wenn man die Zeit als weitere Dimension annimmt. Oft ist die Rede von **10 oder 11 Dimensionen**. Diese zusätzlichen Dimensionen entziehen sich aber unserer Wahrnehmung, eine Theorie z.B. besagt, dass sie so fein zusammengerollt sind, dass wir ihre Existenz nie bemerkt haben.

Die String Theorie gilt als Ansatz für die in der Physik gesuchte Vereinheitlichung der Gravitation mit der Quantenfeldtheorie der nichtgravitativen Wechselwirkungen. Experimentelle Beweise stehen bisher noch aus.

Viele Physiker glauben, dass die Gravitation deshalb so schwach erscheint, weil ihre Kraft auf viele Dimensionen aufgeteilt ist. Das heißt, man nimmt an, das Graviton kann diese zusätzlichen Dimensionen „betreten“ und sich dort „bewegen“.

Experiment:

Hochenergieexperimente könnten diese Dimensionen „öffnen“, sodass Teilchen diese „betreten“ können. D.h. Teilchen würden plötzlich verschwinden oder auftauchen.

Mini-Schwarze Löcher:

Einigen so genannten Vereinheitlichenden Theorien zufolge, wie z. B. der Stringtheorie, könnte es bald möglich sein, extrem kurzlebige Schwarze Mini-Löcher im Labor (bzw. in Teilchenbeschleunigern) herzustellen.

Sollte es sich erweisen, dass dies tatsächlich so ist, so ist aber gleichzeitig davon auszugehen, dass sich diese Schwarzen Mini-Löcher ebenfalls bei Teilchenkollisionen von kosmischer Strahlung mit Molekülen in der Hochatmosphäre bilden (seit Milliarden Jahren) und daher keine Gefahr darstellen können.

3. Teilchen finden, welche die Dunkle Materie aufbauen könnten:

Dunkle Materie: 26% des Universums

- lässt Galaxien schneller rotieren als erwartet
- Gravitationsfeld der Dunklen Materie lenkt das Licht von Objekten dahinter ab
- gibt Simulationen, die genau zeigen, wo die Dunkle Materie im Universum ist etc.
- Existenz gilt als gesichert – aber was ist die Dunkle Materie?

Idee:

Sie könnte „**supersymmetrische Teilchen**“ (= zu jedem Elementarteilchen ein **Partner**, der -mit Ausnahme des Spins- exakt gleiche Quantenzahlen besitzt) enthalten, also noch unbekannte Partner zu den Teilchen des Standardmodells.

Ablauf der CMS und ATLAS-Experimente:

Pfade, Energie und Identität der bei den Protonen-Kollisionen entstandenen Teilchen sollen bestimmt werden.

Warum 2 Detektoren?

Damit die Ergebnisse vom jeweils anderen, komplett anders aufgebauten, Detektor überprüft werden.

LHCb:

Warum gibt es im Universum keine [Antimaterie](#), bzw. was ist damit passiert?

Man möchte diese Fragen klären, indem man ein spezielles Quark, das b-Quark, beobachtet.

Im LHCb werden also verschiedenste Quarks erzeugt, der Detektor ist darauf ausgelegt, das b-Quark zu finden und zu beobachten bevor es zerfällt.

Spin-off der Teilchenphysik:

Warum Grundlagenforschung (und speziell Teilchenphysik) ?

1. **Erkenntnisgewinn als kultureller Wert an sich:**

Die "Neugierde" ist eine bestimmende Eigenschaft des Menschen. Uralte Fragen: Woher kommen wir? Wohin gehen wir? Woraus sind wir gemacht? "Ich möchte wissen was die Welt im Innersten zusammenhält" (Goethe, Faust).

2. **Erwartung fundamental neuer Anwendungen** (an die man heute noch nicht denken kann) in fernerer Zukunft. Beispiel: vor 200 Jahren war "Elektrizität" ein Kuriosum ohne erkennbaren Nutzen. Vermutung, daß die Teilchenphysik ein ähnliches Entwicklungspotential besitzt.

3. **Spin-off = Entwicklung neuer Technologien als "Nebenprodukt"** bei der Durchführung von Großforschung, und ihre Nutzbarmachung durch Technologie-Transfer. Die Teilchenphysik war und ist hierbei besonders fruchtbar durch die Herausforderungen in den Bereichen Beschleuniger, Detektoren und Analyse. Markante Beispiele für solche Spin-offs:

- **Medizin** (Diagnostik mit PET, Hadron-Krebstherapie, Bestrahlungsplanung);
- **Material- und Bio-Wissenschaften** (Synchrotronstrahlung, Neutronenspallationsquellen, Röntgenlaser, Diagnostik mit Gas- und Halbleiterdetektoren, Visualisierung);
- **Informationstechnologie** (Massive Parallelrechner, World-Wide Web, GRID);
- **Energietechnik** (Supraleitung, Energy Amplifier, Nuclear Waste Transmutation);
- **Wirtschaft** (Data Mining, Zeitanalysen von Börsenkursentwicklungen);
etc.

4. **Daneben auch "gesellschaftlicher Spin-off":**

Beitrag der zivilen Großforschung, speziell der Teilchenphysik, zur Völkerverständigung.

5. **Beitrag durch Ausbildung an Großforschungszentren:**

Beispiel: CERN hat ein vielfältiges Programm für Sommerstudenten, technologie-orientierte Diplomanden und Dissertanten (Spezialprogramm für Österreicher in Zusammenarbeit mit dem BMfWF), und Postdocs. Der gewonnene Knowledge-Transfer durch die Arbeit in einer internationalen Umgebung und in industriellem Stil unterstützt erfolgreiches Wechseln in die Wirtschaft, und leistet einen Beitrag zur Konkurrenzfähigkeit Österreichs.

Grid Computing:

Grid...Rechenleistung aus der Steckdose ?

Zugriff auf die Computerressourcen von vernetzten Rechenzentren in der ganzen Welt. Dem einzelnen User erscheint das Grid wie ein einziger gigantischer Computer.

Die Bezeichnung "Grid" hat seinen Ursprung in dem Vergleich dieser Technologie zum Stromnetz (engl. power grid) und soll einen ähnlich universellen Zugang zu Rechenleistungen ermöglichen.

Was ist Grid?

Grid verbindet Computer-Zentren, Instrumente/Detektoren und Wissenschaftler.

Grid Computing wurde für die Experimente des Large Hadron Collider (LHC) am europäischen Forschungszentrum CERN in Genf entwickelt. Die aus den Experimenten entstehenden gewaltigen Datenmengen sollen von Tausenden von Wissenschaftlern weltweit ausgewertet werden.

Grid - World Wide Web – eine Gegenüberstellung:

World Wide Web - ermöglicht Informationen zu teilen, entstand ebenfalls am CERN

Grid Computing - Rechenleistung und Speicherkapazität

Fakten:

Zugriff und Speicherung der LHC-Experiment Daten zur Analyse:

- für weltweit **5000 Wissenschaftlern** aus 500 wissenschaftlichen Instituten und Universitäten
- es stehen Computerressourcen von mehr als **250 Rechenzentren** in 50 Ländern zur Verfügung

Die Wissenschaftler am CERN benötigen für die Datenanalyse der LHC-Experimente:

Rechenleistungen von **200.000** der derzeit **schnellste CPUs**

Datenmengen, die bei den LHC-Experimenten erzeugt und gespeichert werden müssen:

- Rate der Datenspeicherung (für den Compact Muon Solenoid (CMS)-Detektor): **100 Megabyte Daten pro Sekunde**
- Daten insgesamt (für alle LHC-Experimente):
15 Millionen Gigabyte pro Jahr (entspricht einen 20 Kilometer hohen Stapel CDs)

Leider würde eine vollständige Zusammenfassung aller für die Arbeit am CERN relevanten physikalischen Grundlagen und technischen Daten den Rahmen dieser ohnehin schon viel zu umfangreichen Übersicht sprengen.

Weitere Informationen finden Sie daher unter folgenden Links:

Homepage des CERN (englisch, französisch): <http://public.web.cern.ch/public/>

Homepage des am Bau des LHC beteiligten Hochenergiephysik Instituts Wien (beinhaltet auch immer die neuesten Informationen): <http://www.hephy.at/>

Welt der Physik (deutsche Seite mit detaillierten Informationen zu verschiedenen physikalischen Themen): <http://www.weltderphysik.de/de/1019.php>

Wikipedia (man kann sich hier tagelang durch die Teilchenphysik klicken und hat immer noch nicht alles gelesen): <http://de.wikipedia.org/wiki/Elementarteilchen>