

## Teilchenbeschleuniger LHC im Kernforschungszentrum CERN

Das CERN (die Europäische Organisation für Kernforschung = European Organization for Nuclear Research) ist das grösste Forschungszentrum der Welt für Teilchenphysik. Die Organisation wurde 1954 gegründet. CERN ist ein Laboratorium, in welchem Wissenschaftler aus aller Welt untersuchen, aus welchen elementaren Bausteinen die Materie besteht und welche Kräfte sie zusammenhalten.

Das Hauptquartier der CERN ist in Genf (Schweiz). Die Forschungsanlagen befinden sich im Grenzgebiet von Frankreich und der Schweiz.

Mitgliedsstaaten sind gegenwärtig Österreich, Belgien, Tschechien, Dänemark, Finnland, Frankreich, Deutschland, Griechenland, Ungarn, Italien, Niederlande, Norwegen, Polen, Portugal, Slowakei, Spanien, Schweden, Schweiz und Grossbritannien.

Beobachterstatus haben folgende Länder und Organisationen: Indien, Israel, Japan, Russland, U.S.A., Türkei die Europäische Kommission und die UNESCO.

Im CERN wurde das World Wide Web erfunden. Heute arbeiten Forscher im CERN am neuen Netzwerk-Projekt „GRID“, welches in Zukunft die riesigen Daten im weltweiten Datenaustausch bündeln wird.

Das CERN erarbeitet für die Industrie auch Ingenieuraufträge in der Tieftemperaturtechnik, der Supraleitung, der Vakuumtechnik, der Mikroelektronik und im Bauingenieurwesen. Am CERN entwickelte Teilchen-Detektoren werden in medizinischen Diagnoseverfahren eingesetzt.

### Elementarteilchen in der Materie

Die Grundbausteine der Materie sind kleinste Teilchen, welche noch kleiner sind als die **Atome**, welche die **Moleküle** bilden.

**Vier Teilchenarten** reichen aus, um die uns umgebende Materie zu erklären: das **Up-Quark**, das **Down-Quark**, das **Elektron** und das **Elektron-Neutrino**.

Es gibt noch weitere **Elementarteilchen** in der Natur. Im Ganzen gibt es **12 Arten von Teilchen**, welche sich in **zwei Gruppen** aufteilen: **die Quarks** und **die Leptonen** (elektronähnliche Teilchen).

Zwischen den Teilchen wirken **vier Arten von Kräften**. **Die starke Kraft, die elektromagnetische Kraft und die Gravitation (Schwerkraft)** halten die Teilchen, welche die gesamte Materie bilden, zusammen.

Die vierte Kraft, **die schwache Kraft**, bewirkt die Umwandlung von Materieteilchen, wie zum Beispiel in den Kernreaktionen, welche die Sonne am Brennen halten. Die Kräfte werden durch **Feldteilchen** übertragen, welche sich jedoch von den Materieteilchen unterscheiden. Kräftetragende Teilchen bestehen nur kurzfristig.

### Der Grosse Hadronen-Speicherring (Large Hadron Collider LHC)

Der LHC ist der grösste und leistungsstärkste Teilchenbeschleuniger der Welt. Dieser 27 km lange Beschleuniger erlaubt den Forschern, ein tieferes Wissen und Verständnis über das Universum zu gewinnen.

**Der LHC ist eine Maschine, welche zwei gegenläufige Teilchenstrahlen auf mehr als 99,9% der Lichtgeschwindigkeit ( = 299'973 km/s im Vakuum) zu beschleunigt.** Bei Zusammenstössen der beschleunigten Teilchenstrahlen entstehen neue Teilchen, welche von den Physikern erforscht werden.

Am LHC-Projekt sind rund **10'000 Wissenschaftler/innen und Ingenieur/innen aus rund 500 Forschungsinstituten** beteiligt. Für das Projekt wurde ein neues **Computer-Netzwerk (das „GRID“)** entwickelt, welches Zehntausende von Computern auf der ganzen Welt für das Projekt zu einem gigantischen globalen Datenverarbeitungssystem zusammenschliesst.

### Der unterirdische Ring

Der LHC wurde in einem kreisförmigen, 27 km langen Tunnel installiert. Der Ring befindet sich 50 bis 150 m unter der Erdoberfläche. Der Tunnel, welcher bereits in den 80er Jahren zwischen dem schweizerischen Nordufer des Genfersees (Lac Léman oder Le Léman) und dem Südfuss des französischen Jura-Gebirgszuges für den vormaligen Teilchenbeschleuniger, den grossen Elektron-Positron-Speicherring LEP, gebaut.

**Im LHC umlaufen die Protonen den Kreisring 11'245 Mal in der Sekunde. Ein Teilchenstrahl kann 10 Stunden im LHC kreisen und dabei mehr als 10 Milliarden Kilometer zurücklegen.** Diese Distanz ist vergleichbar mit der Strecke von der Erde zum Planeten Neptun und wieder zurück.

## Millionen von Zusammenstössen (Kollisionen)

Im LHC schiessen zwei gegenläufig gerichtete Strahlen von gleichen Teilchensorten (entweder Protonen oder Blei-Ionen) frontal aufeinander. Die Strahlen werden im Vorbeschleuniger der CERN in einer Kette von Vorbeschleunigungen erzeugt und dann in den LHC eingespeist. Dort kreisen die Teilchen im **Vakuum** bei ähnlichen Bedingungen, wie sie im Weltraum vorherrschen.

**Supraleitende (Elektronenfluss ohne Reibung) Magnete**, welche bei niedrigen Temperaturen betrieben werden, lenken den Strahl auf seiner Kreisbahn.

Jeder Strahl besteht aus beinahe 3'000 Teilchenpaketen, von denen jedes ungefähr 100 Milliarden Teilchen enthält. Die Teilchen sind so winzig klein, dass es unwahrscheinlich ist, dass zwei davon aufeinandertreffen. Wenn sich zwei gegenläufig bewegende Teilchenpakete durchdringen, so erfolgen nur **20 Kollisionen unter den 200 Milliarden beteiligten Teilchen**.

Da sich die Teilchenpakete jedoch rund 30 Millionen Mal pro Sekunde kreuzen, ereignen sich bis zu **600 Millionen Kollisionen pro Sekunde**.

## Neue Entdeckungen

Der LHC wird mit einer bisher weltweit unerreicht hohen Energiemenge betrieben. Vier **riesige Teilchen-Detektoren** - ALICE, ATLAS, CMS und LHCb - zeichnen die **Teilchenkollisionen** auf. Die Aufzeichnungen werden es den Physikerinnen und Physikern erlauben, **neue Phänomene der Materie, der Energie, des Raumes und der Zeit** zu erforschen.

## Geballte Energie

Der LHC kann Energie auf sehr kleinem Raum konzentrieren. Die Teilchenenergien werden beim LHC in **Tera-Elektronenvolt (TeV)** angegeben. 1 TeV entspricht ungefähr der Bewegungsenergie einer Mücke, welche sich im Flug fortbewegt. Allerdings ist ein Proton rund 1 Billion Mal kleiner als eine Mücke.

Ein im LHC kreisendes Elektron hat eine Energie von 7 TeV, sodass die Gesamtenergie beim Zusammenstoss von zwei Protonen 14 TeV beträgt. Blei-Ionen enthalten viele Protonen. Beim Zusammenstoss von zwei Blei-Ionen-Strahlen beträgt die Kollisionsenergie 1150 TeV.

**Bei voller Energie besitzt jeder Teilchenstrahl ungefähr soviel Energie, wie ein sich mit 1'600 km/h bewegendes Auto haben würde.** Die in den **supraleitenden Ablenkmagneten** gespeicherte Energie wäre gross genug, um 50 Tonnen Kupfer zu schmelzen.

## Innovative Technologien

Nachdem die Teilchenstrahlen in den **Vorbeschleunigungsketten** eine Energie von 0,45 TeV aufgenommen haben, werden sie in den LHC-Ring eingespeist. Sie umrunden den Ring millionenfach. Bei jedem Umlauf erhalten die Strahlen in Kavitäten einen zusätzlichen Energieschub, bis sie die endgültige Energie von 7 TeV erreicht haben.

Die Teilchenstrahlen werden von rund 1'800 **supraleitenden Ablenkmagneten** auf ihrer Kreisbahn gehalten. **Diese Elektromagnete bestehen aus supraleitendem Material, das den elektrischen Strom (als die Elektronen) bei sehr tiefen Temperaturen (unter 271°C) ganz ohne Widerstand (also Reibungs- bzw. Energieverluste) leitet.**

**Die LHC-Elektromagnete bestehen aus einer Niob-Titan-Legierung und können nur bei einer Temperatur von 1,9°K (Kelvin) bzw. -271,1°C (absoluter Nullpunkt: -273,15°C) betrieben werden.**

**Die Stärke der Magnetfelder wird in der Einheit „Tesla“ angegeben.** Im LHC werden Magnetfelder von rund 8 Tesla herrschen. Normalleitende Elektromagnete können nur Felder von maximal 2 Tesla erzeugen. Würde der LHC aus „warmen“, normalleitenden Magneten und nicht aus supraleitenden Magneten bestehen, so müsste der Ring 120 km statt wie heute 27 km lang sein. Ausserdem müssten für dieselben Experimente rund 40 Mal mehr elektrische Energie aufgewendet werden.

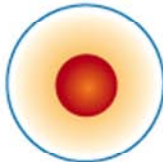
Aus „Der Grosse Hadronen-Speicherring“, Broschüre des CERN, 2008

Gravitation



Graviton (?)

Schwach



W und Z Bosonen

Elektromagnetisch



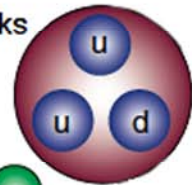
Photon

Stark

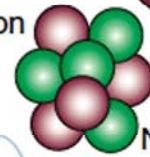


Gluon

Quarks



Proton



Neutron

Die Grundbausteine der Materie sind kleinste Teilchen, welche noch kleiner sind als die **Atome**, welche die **Moleküle** bilden.

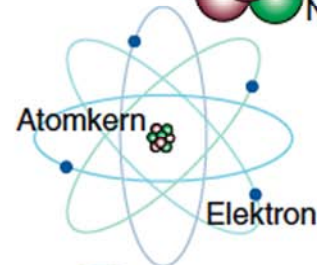
Vier Teilchenarten reichen aus, um die uns umgebende Materie zu erklären: das **Up-Quark**, das **Down-Quark**, das **Elektron** und das **Elektron-Neutrino**.

Im Ganzen gibt es 12 Arten von Teilchen, welche sich in **zwei Gruppen** aufteilen: die **Quarks** und die **Leptonen** (elektronähnliche Teilchen).

Zwischen den Teilchen wirken **vier Arten von Kräften**: die **starke Kraft**, die **elektromagnetische Kraft** und die **Gravitation (Schwerkraft)** halten die Teilchen, welche die gesamte Materie bilden, zusammen.

Die vierte Kraft, die **schwache Kraft**, bewirkt die Umwandlung von Materieteilchen, wie zum Beispiel in den Kernreaktionen, welche die Sonne am Brennen halten.

Die Kräfte werden durch **Feldteilchen** übertragen, welche sich jedoch von den Materieteilchen unterscheiden. **Kräftetragende Teilchen** bestehen nur kurzfristig.



Atom



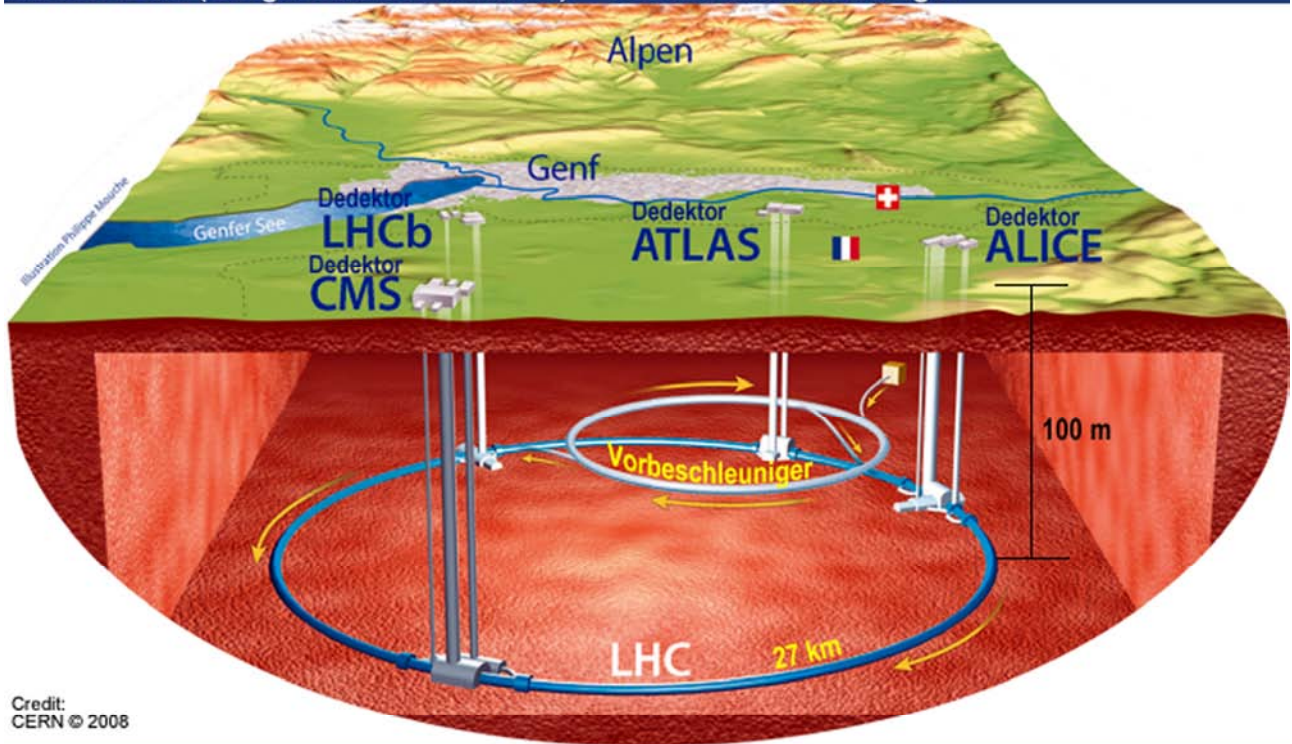
Molekül



Materie

Credit:  
CERN © 2008

## CERN: LHC (Large Hadron Collider) - Teilchenbeschleuniger



Credit:  
CERN © 2008

Arbeiten am LHC:	seit 1994	<b>Ziel der Experimente:</b>	<b>Informationen über den Zusammenhalt der Materie und die Frage, was der Materie die Masse gibt.</b>
Gesamtkosten:	6 Mrd. SFr.		
Temperatur im LHC:	- 271,1°C		
Druck im LHC:	Vakuum		

Im Teilchenbeschleuniger kreisen in beiden Richtungen Protonen, welche von Magneten mit einer Stärke, welche diejenige des Erdmagnetfeldes um ca. 100'000 Mal übertrifft, auf einer Kreisbahn gehalten. In jeder Sekunde vollbringen die Protonen, welche mit annähernd Lichtgeschwindigkeit unterwegs sind, 11'000 Runden à 27 km.

Vor dem Zusammenstoß müssen die beiden gegenläufigen Protonenstrahlen rund 30 Minuten lang in einer stabilen Bewegung gehalten werden. Die Testrunden werden nur von wenigen Protonen absolviert. Kurz vor dem Zusammenstoß der Protonen wird die Energie der Strahlen hochgefahren. Beim Zusammenstoß entstehen auf kleinem Raum Temperaturen, welche 100'000 Mal höher sind als im Kern der Sonne.

Quelle: CERN 2008

RAO

## CERN: LHC (Large Hadron Collider) - Teilchenbeschleuniger



### FAKTEN

Die Teilchenenergie wird in Tera-Elektronenvolt (TeV) angegeben. 1 TeV entspricht ungefähr der Bewegungsenergie einer Mücke, welche sich im Flug fortbewegt. Allerdings ist ein Proton rund **1 Billion Mal kleiner als eine Mücke**.

Bei voller Energie besitzt jeder Teilchenstrahl ungefähr soviel Energie, wie ein sich mit **1'600 km/h bewegendes Auto** haben würde. Die in den supraleitenden Ablenkmagneten gespeicherte Energie wäre gross genug, um **50 Tonnen Kupfer zu schmelzen**.

Die Teilchen bewegen sich mit **99,9% der Lichtgeschwindigkeit** (= 299'793 km/s).

Die Elektromagnete werden bei **1,9°K = -271,1°C** (absoluter Nullpunkt: 0°K = - 273,15°C) betrieben.

Im LHC umlaufen die Protonen den Kreisring **11'245 Mal in der Sekunde**. Ein Teilchenstrahl kann 10 Stunden im LHC kreisen und dabei mehr als **10 Milliarden Kilometer** zurücklegen. Diese Distanz ist vergleichbar mit der **Strecke von der Erde zum Planeten Neptun und wieder zurück**.

Jeder Strahl besteht aus beinahe **3'000 Teilchenpaketen**, von denen jedes ungefähr **100 Milliarden Teilchen** enthält. Wenn sich zwei gegenläufig bewegende Teilchenpakete durchdringen, so erfolgen nur **20 Kollisionen** unter den **200 Milliarden beteiligten Teilchen**. Da sich die Teilchenpakete jedoch **30 Millionen Mal pro Sekunde** kreuzen, ereignen sich bis zu **600 Millionen Kollisionen pro Sekunde**.