

CERN und Unterricht

Eine Dokumentation über Angebote des europäischen Kernforschungszentrums CERN für den Unterricht samt einem Überblick zum Thema Teilchenphysik erstellt von Leo Ludick



Impressum:
Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur, 1010 Wien
Autor: Leo Ludick
Gestaltung: Johannes Raunig, BMUKK

© BMUKK, März 2012

Hinweise

Diese Dokumentation enthält Informationen über die Möglichkeiten, die CERN Schulen anbietet, um den Unterricht im Fachgebiet Physik nach dem aktuellen Stand in der Teilchenphysik unterrichten zu können. Sie enthält sehr viele Hinweise auf Unterrichtsmaterialien, die die Unterrichtsarbeit der Lehrerinnen und Lehrer erleichtern können. Die darin enthaltenen Informationen unterliegen – soweit mir bekannt – zur Verwendung im Unterricht keinerlei urheberrechtlichen Beschränkungen. Für darüberhinausgehende Verwendung, insbesondere anderweitige Veröffentlichungen, können eventuelle Einschränkungen nach dem Urheberrecht bestehen. Dies ist im Bedarfsfall bei den jeweiligen Autoren zu erfragen.

Ich weise darauf hin, dass diese Zusammenstellung keinesfalls erschöpfend ist. Diese Dokumentation bezieht sich auf den Wissensstand von Dezember 2011 und es obliegt daher jedem Lehrer und jeder Lehrerin vor Einsatz im Unterricht die Gültigkeit der Aussagen zu überprüfen. Etwaige Fehler ersucht der Autor per E-Mail unter I.ludick@eduhi.at mitzuteilen.

Wels, im Dezember 2011



Quelle: Website CERN – Pressecorner

HR Mag. Leo Ludick: ausgebildeter Physiklehrer für höhere Schulen; Fachdidaktiker für Physik an der Johannes Kepler Universität Linz 1987 – 2000; Direktor eines Gymnasiums in Wels, OÖ, von 1992 – 2010; Organisator der ersten offiziellen Lehrerfortbildungswoche für österreichische AHS-Lehrer am CERN im November 2011

Gliederung – Inhalt

Was ist CERN	5
Beschleuniger - Aufstellung	8
Linearbeschleuniger	8
Kreisbeschleuniger	10
LHC – Zahlen und Fakten	11
Detektoren am LHC	12
Experimente bei CERN	13
Teilchenphysik	15
Standardmodell der Teilchenphysik	17
Materieteilchen	17
Kraftteilchen	18
Spin	19
Higgs-Teilchen	19
Dunkle Materie	20
Supersymmetrie	22
Ausblick und Erweiterung des Standardmodells	22
Anwendungen der CERN-Forschungen	22
Das bietet CERN den Schulen	26
Wertvolle Internetadressen	28
Ein Zeitungsartikel über das CERN-Seminar im November 2011	29

Was ist CERN?

Dieser Aufstellung liegt ein Beitrag auf <http://de.wikipedia.org/wiki/CERN> zu Grunde.

CERN, die **Europäische Organisation für Kernforschung**, ist eine Großforschungseinrichtung bei Genf in der Schweiz und hat auch Forschungsstätten im benachbarten Frankreich, die aber administrativ zur Schweiz gehören.

Der Name *CERN* leitet sich vom französischen Namen des Rates ab, der mit der Gründung der Organisation beauftragt war, dem *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*. Die offiziellen Namen des CERN sind *European Organization for Nuclear Research* im Englischen beziehungsweise *Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire* im Französischen.

Derzeit hat CERN 20 Mitgliedstaaten. Mit etwa 3.150 Mitarbeitern (Stand: 31. Dezember 2010) ist CERN das weltgrößte Forschungszentrum auf dem Gebiet der Teilchenphysik. Über 10000 Gastwissenschaftler aus 85 Nationen arbeiten an CERN-Experimenten. Das Jahresbudget des CERN belief sich 2010 auf ungefähr 1,11 Milliarden Schweizer Franken (ca. 850 Millionen Euro).

Zweck


Mit den Teilchenbeschleunigern des CERN wird die Zusammensetzung der Materie erforscht, indem Teilchen fast auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und zur Kollision gebracht werden. Mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Teilchendetektoren werden dann die Flugbahnen der in den Kollisionen entstehenden Teilchen rekonstruiert. Daraus lassen sich die Eigenschaften der kollidierten und neu entstandenen Teilchen bestimmen. Auf Grund des Aufwandes ist das Großforschungsprojekt ein international finanziertes Projekt. Teile der Beschleunigeranlagen sind unter anderem das Super Proton Synchrotron (SPS) für die Vorbeschleunigung und der Large Hadron Collider (LHC; Großer Hadronen-Speicherring) für die eigentlichen Experimente.

Mitgliedstaaten

Die Gründungsmitglieder 1954 waren die Schweiz, Belgien, Dänemark, (West-)Deutschland, Frankreich, Griechenland, Vereinigtes Königreich, 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), Tschechien (1993), Slowakei (1993) und Bulgarien (1999).

Finanzierung (Budget 2010)

Mitgliedstaat	Anteil (%)	ca. Mio. EUR*
 Österreich	2,25	19,2
gesamt	100	855,5

Geschichte

1952 unterzeichneten elf europäische Regierungen die Vereinbarung zu einem provisorischen CERN. Im Mai 1952 traf sich der provisorische Rat zum ersten Mal in Paris. Am 29. Juni 1953, auf der 6. Konferenz des provisorischen CERN in Paris, unterzeichneten Vertreter der zwölf europäischen Staaten die Gründungsurkunde. Im Oktober 1953 wurde auf einer Konferenz in Amsterdam der Sitz des CERN und dessen Laboratoriums in der Nähe von Genf bestimmt. Am 10. Juni 1955 erfolgte die Grundsteinlegung des CERN-Laboratoriums durch Felix Bloch, den ersten regulären Generaldirektor am CERN.

Ursprünglich war CERN für die Forschung im Bereich der Kernenergie vorgesehen, schon bald entstanden aber die ersten Teilchenbeschleuniger. 1957 wurde das Synchro-Zyklotron (SC), das Protonen auf bis zu 600 MeV beschleunigte, in Betrieb genommen. Am 24. November 1959 folgte das Protonen-Synchrotron (PS) mit einer (damals weltweit höchsten) Protonenenergie von 28 GeV, es arbeitet 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.

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. Im Mai 1983 wurden am CERN die W- und Z-Bosonen entdeckt, Carlo Rubbia und Simon van der Meer erhielten dafür 1984 den Nobelpreis.

Generaldirektoren aus Österreich

Name	Amtsperiode	Herkunft	Lebensdaten
Victor Frederick Weisskopf ¹	August 1961–Dezember 1965	Österreich/Vereinigte Staaten	1908–2002
Willibald Karl Jentschke ²	Januar 1971–Dezember 1975	Österreich	1911–2002

Derzeitiger Generaldirektor (bis 2013)

Rolf-Dieter Heuer ³	Januar 2009–Dezember 2013	Deutschland	* 1948
--------------------------------	---------------------------	-------------	--------

Forschungsanlagen

Literaturhinweis: Rolf Landua: *Am Rande der Dimensionen. Gespräche über die Physik am CERN.* Suhrkamp, Frankfurt am Main 2008, ISBN 3-518-26003-0.

¹ Weisskopf wuchs in Wien auf und studierte nach der Matura am Gymnasium Stubenbastei Physik, zuerst in Wien, dann von 1928-1931 an der Universität Göttingen unter Max Born. Hier schrieb er mit Eugene Wigner einen Aufsatz über die Quantentheorie der Linienbreite von Atomspektren. 1931-1932 war er nacheinander in Leipzig bei Werner Heisenberg, in Wien bei Erwin Schrödinger, in Kopenhagen bei Niels Bohr und in Cambridge bei Paul Dirac, bis er 1933 für zwei Jahre Assistent von Wolfgang Pauli in Zürich wurde. Hier und ab 1936 bei Niels Bohr stellte er wichtige frühe Untersuchungen zur Quantenelektrodynamik (QED) an. Weisskopf musste 1937 wegen seiner jüdischen Herkunft in die USA auswandern. Während des Zweiten Weltkrieges beteiligte er sich auf Anfrage Robert Oppenheims am US-Atombombenprogramm (*Manhattan-Projekt*). Er stand dabei im Zwiespalt zwischen der Entwicklung einer Massenvernichtungswaffe einerseits und der Angst vor einem Vorkommen in der Entwicklung der Atombombe durch Deutschland andererseits. Seine Skrupel machten ihn im Jahr 1944 zum Mitbegründer der *Federation of Atomic Scientists* und er sprach sich für eine zivile Nutzung der Kernenergie aus. Am 16. Juli 1945 war er Zeuge des ersten Atombombentests. Dieser prägte ihn nachhaltig und er beschloss, sich nicht mehr an der Entwicklung von Waffen zu beteiligen.

Nach dem Krieg wurde er Professor am Massachusetts Institute of Technology (MIT), für das er bis zu seinem Tod arbeitete. Mit J. B. French stellte er Ende der 40er Jahre eine korrekte Berechnung der Lambshift an, damals der erste exakte Prüfstein der Quantenelektrodynamik. Er ist für seine vielen Beiträge zur theoretischen Kernphysik bekannt, insbesondere von Kernreaktionen, häufig in Zusammenarbeit mit Herman Feshbach. Sein Lehrbuch mit John M. Blatt galt lange Zeit als Standardwerk der theoretischen Kernphysik. In den 70er Jahren war er an der Entwicklung des "MIT-Bag" Modells von in Hadronen gebundenen Quarks beteiligt.

Weisskopf war für seine große physikalische Intuition bekannt, die er auch in einigen pädagogischen Aufsätzen und Büchern demonstriert.

² Jentschke studierte von 1930 bis 1936 Physik an der Universität Wien. 1935 promovierte er bei Georg Stetter (1895–1988). Zusammen mit Friedrich Prankl veröffentlichte er weitergehende Untersuchungen zur von Otto Hahn entdeckten Spaltung des Uran. Während des Zweiten Weltkriegs war er am deutschen Uranprojekt beteiligt. Nach dem Krieg emigrierte er in die USA, wo er 1950 Professor an der University of Illinois wurde. 1956 erhielt Willibald Jentschke einen Ruf an die Universität Hamburg, dessen Annahme er mit der Forderung nach Forschungsmöglichkeiten an einem modernen Teilchenbeschleuniger verknüpfte, was zur Einrichtung des Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY) führte. Von der Gründung des DESY bis Ende 1970 war Jentschke Vorsitzender des DESY-Direktoriums und parallel dazu mehrere Jahre Direktor des II. Instituts für Experimentalphysik der Universität Hamburg. Von 1971 bis 1975 war er Direktor am CERN. Nach seiner Zeit als CERN-Direktor nahm er seine Tätigkeit an die Universität Hamburg wieder auf, unterbrochen von einem einjährigen Studienaufenthalt am Stanford Linear Accelerator Center (SLAC). 1980 emeritierte er von der Universität Hamburg, blieb jedoch seinen wissenschaftlichen Wirkungsstätten DESY und CERN eng verbunden. Nach langjähriger Krankheit verstarb er im Alter von 90 Jahren.

³ Rolf-Dieter Heuer studierte Physik und erwarb sein Diplom an der Universität Stuttgart. Er promovierte 1977 an der Universität Heidelberg mit einer Arbeit über die neutralen Zerfallsmodi der $\psi(3686)$ -Resonanz. Danach arbeitete er zuerst in der JADE-Kollaboration am Elektronen-Positronen-Speicherring PETRA des Deutschen Elektronen Synchrotrons (DESY), dann ab 1984 beim OPAL-Experiment am CERN. Dort war er auch Sprecher der OPAL-Kollaboration. 1998 kehrte er zum DESY und zur Universität Hamburg zurück, wo ihm eine Professur angeboten wurde. Von 2004 bis einschließlich 2008 war er Forschungsdirektor für Hochenergiephysik des DESY. Im Januar 2009 trat Rolf-Dieter Heuer die Nachfolge von Robert Aymar als Generaldirektor des CERN an.

Beschleuniger

Bei CERN gibt es folgende Beschleuniger in Betrieb (Stand 2011)

- Protonen-Linearbeschleuniger (Linac2)
- Schwerionen-Linearbeschleuniger (Linac3)
- Proton Synchrotron Booster (PSB)
- Proton Synchrotron (PS)

Quelle: Website CERN - Pressecorner

- Super Proton Synchrotron (Abkürzung: SPS)

Ursprünglich als 300 GeV-Maschine geplant, kann das SPS Teilchen bis zu 450 GeV beschleunigen. Das SPS hat einen Umfang von 6912 Metern, und besteht neben Hohlraumresonatoren, aus 744 Dipolmagneten und 216 Quadrupolen.

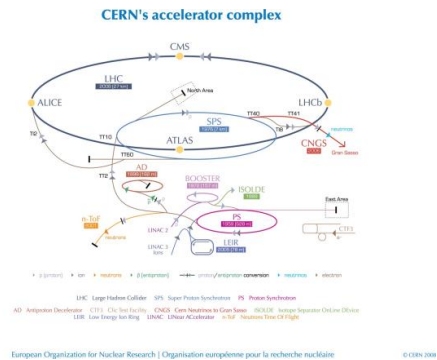
- Low Energy Ion Ring (LEIR)

Dieser Speicherring mit einem Umfang von 78 Meter hatte ursprünglich die Aufgabe Antiprotonen zu beschleunigen. Mit Hilfe des Low Energy Antiproton Ring (LEAR), gelang es 1995 erstmals Antiwasserstoff herzustellen und nachzuweisen. Dieser Antiprotonen Speicherring, wurde später zum LEIR umgerüstet.

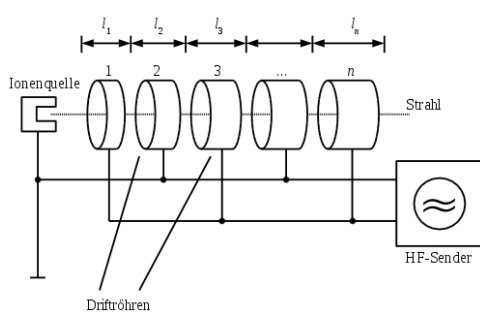
- Antiproton Decelerator (AD)

Ziel des Speicherrings ist es, die vom Proton Synchrotron erzeugten Antiprotonen abzubremesen und den verschiedenen Antimaterieexperimenten zur Verfügung zu stellen.

- Large Hadron Collider (LHC) – siehe unten



Linearbeschleuniger (Linear Accelerator – LINAC)



Linearbeschleuniger im CERN



Foto: Ludick

Ein Linearbeschleuniger älteren Typs besteht aus vielen entlang einer geraden Achse angeordneten rohrförmigen Elektroden, den so genannten Driftröhren. Diese sind

abwechselnd an den einen und den anderen Pol der Wechselspannung angeschlossen. In den Spalten zwischen den einzelnen Driftröhren pulsiert daher ein elektrisches Feld, das so getaktet ist, dass die Teilchen beim Durchflug von einer Röhre zur nächsten beschleunigt werden. Während das Teilchen "paket" die Driftröhre passiert, verstreicht eine Halbperiode der Wechselspannung und beim Erreichen des Spalts zur folgenden Röhre wirkt das Feld erneut in beschleunigender Richtung auf das Teilchen. Damit dies an jedem Spalt erfolgen kann, muss die Länge der einzelnen Driftröhren entsprechend der zunehmenden Teilchengeschwindigkeit anwachsen.

Da nur solche Teilchen beschleunigt werden, die den Spalt bei geeigneter Phasenlage der Spannung erreichen, kann ein Linearbeschleuniger grundsätzlich nur einen gepulsten, nicht kontinuierlichen Teilchenstrahl liefern.

Ein moderner Linearbeschleuniger (für entsprechend höhere Teilchengeschwindigkeiten) besteht aus einem zylinderförmigen Hohlleiter, in dem sich eine elektromagnetische Welle ausbreitet. Die Phasengeschwindigkeit der Hochfrequenzwelle muss durch regelmäßig angeordnete Irisblenden an die Teilchengeschwindigkeit angepasst werden.

Zusammengefasst:

- Führung (Ablenkung und Fokussierung) durch Magnetfelder
- Beschleunigung durch elektrische Wechselfelder
- Verbindung verschiedener Beschleuniger durch Transferlinien
- Zur Fokussierung verwendet man Quadrupole.

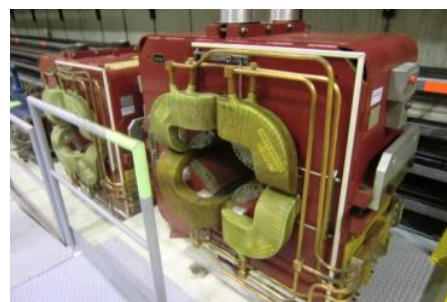
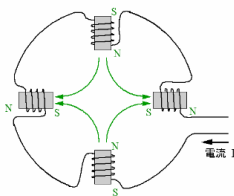


Foto: Ludick

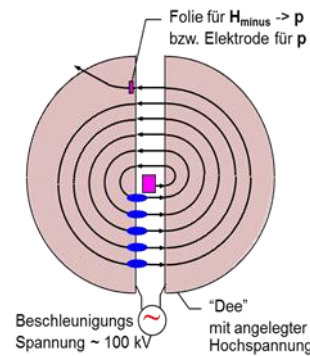
<http://www.jeol.co.jp/cgi-in/searchdb.pl?searchWhat=semTerms&exactry=yes&query=quadrupole%20lens&style=0>

Kreisbeschleuniger



LEAR⁴ – Hier wurden 1996 im CERN erstmals Antiwasserstoffatome erzeugt.

Foto: Ludick



Prinzip des klassischen Zyklotrons

(aus Vorlesung Teilchenbeschleuniger im Rahmen des Austrian Teachers Programms am CERN)

Zur Beschleunigung wird ein passend synchronisiertes hochfrequentes elektrisches Wechselfeld verwendet. Die Teilchen werden durch – abhängig von der erreichten Energie – nachgeregelte Magnetfelder auf eine in sich geschlossene Bahn geleitet und erreichen dabei Geschwindigkeiten nahe der Lichtgeschwindigkeit. Damit die Teilchen nicht durch Stöße mit Gasteilchen verlorengehen, liegt die komplette Bahn in einem Röhrensystem, in dem ein Ultrahochvakuum herrscht.

Die maximale Teilchenenergie, die in einem bestimmten Synchrotron erreicht werden kann, ist abhängig von der maximalen magnetischen Flussdichte B , vom Radius r des Rings und von den Teilcheneigenschaften. Es gilt für hohe Energien näherungsweise: $E_{\max} \approx r \cdot q \cdot B \cdot c$

Dabei ist r der Radius des Synchrotronbeschleunigers, q die Ladung des beschleunigten Teilchens, B die magnetische Flussdichte der Ablenkmagneten und c die Lichtgeschwindigkeit. (Hinweis: In der Formel ist keine Abhängigkeit von der Masse des Teilchens ersichtlich, allerdings wurde die Abgabe von Synchrotronstrahlung nicht beachtet.) Der Energieverlust durch die Synchrotronstrahlung muss durch die elektrische Beschleunigung ausgeglichen werden. Deshalb erreicht man mit Elektronen in Synchrotronen meist nur ca. 10 GeV, höherenergetische Elektronen kann man leichter mit Linearbeschleunigern erzeugen. Protonenenergien hingegen sind in modernen Synchrotronen hauptsächlich nach obiger Formel durch Radius und Magnetfeldstärke beschränkt.

LEP und LHC

Im August 1989 ging der Large Electron-Positron Collider (LEP) in Betrieb. In einem Tunnel von 27 km Länge trafen hier an ausgewählten Stellen Elektronen und ihre Antiteilchen, die Positronen, mit Energien von 100 GeV aufeinander. 1996 wurden am LEAR-Speicherring (Low Energy Antiproton Ring) erstmals Antiwasserstoffatome produziert, es gab dabei erste

⁴ Low Energy Antiproton Ring

Hinweise auf geringfügige Unterschiede zwischen Materie und Antimaterie (CP-Verletzung), was 2001 durch ein weiteres Experiment bestätigt wurde.

1999 begannen die Bauarbeiten für den Large Hadron Collider (LHC), der den Tunnel des LEP übernahm, der dafür im Jahr 2000 abgeschaltet wurde. 2002 gelang die Produktion und Speicherung von mehreren tausend „kalten“ Antiwasserstoff-Atomen durch die ATHENA-Kollaboration, ebenso begann die Datenaufnahme im COMPASS-Experiment. Mit mehreren Staaten, die nicht zu CERN gehören, wurden Kooperationsvereinbarungen für die LHC-Nutzung abgeschlossen, bisher mit Indien, Japan, Kanada, Russland und den USA.

Am LHC wurden Energien erreicht, die in bisherigen Teilchenbeschleunigern noch nicht möglich waren (bis 7 TeV, später soll dieser Wert nochmal verdoppelt werden). Dies ist für die Suche nach dem Higgs-Boson sowie schweren supersymmetrischen Teilchen notwendig; weiterhin für die genauere Untersuchung des Quark-Gluon-Plasmas.

Damit Kollisionen bei sehr hohen Energien durchgeführt werden können, muss der Speicherring auf Betriebstemperatur gekühlt und die Geräte dann kontrolliert hochgefahren werden. 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 Problem nicht eingehalten werden. Am 23. Oktober 2009 wurden erneut Protonen in den Tunnel injiziert. Am 30. März 2010 gelang es erstmals, Protonen mit einer Energie von jeweils 3,5 TeV aufeinander treffen zu lassen. Ab wann die volle Teilchenenergie im LHC erreicht wird, ist noch unbekannt, geplant ist es für das Jahr 2014. November/Dezember 2010 und 2011 wurden erfolgreich Blei-Ionen beschleunigt.

LHC – Zahlen und Fakten

- leistungsfähigster Teilchenbeschleuniger der Welt
- 26 659 Meter Umfang - insgesamt 9300 Magnete
- Das Kühlungssystem des LHC ist der größte Kühltank der Welt.
- Die Magnete im LHC werden mit 10080 Tonnen flüssigem Stickstoff auf -193°C vorgekühlt, bevor sie mit etwa 60 Tonnen flüssigem Helium gefüllt und anschließend auf $-271,3^{\circ}\text{C}$ (1,9 K) heruntergekühlt werden.
- Protonen laufen 11 245 Mal pro Sekunde durch den LHC-Beschleunigerring und erreichen beinahe Lichtgeschwindigkeit.
- Zwei Protonenstrahlen kreisen mit einer maximalen Energie von 7 TeV und prallen mit 14 TeV aufeinander. Insgesamt gibt es pro Sekunde bis zu einer Milliarde Proton-Proton-Kollisionen.

- Der Innendruck im LHC beträgt 10^{-13} atm (zehnmal geringer als der Druck auf dem Mond).
- Der LHC ist eine Maschine der Extreme von Heiß und Kalt. Wenn zwei Protonenstrahlen kollidieren, erzeugen sie Temperaturen, die 1 000 000 000 Mal höher sind als die im Innern der Sonne, allerdings konzentriert auf aller kleinstem Raum. Im Gegensatz dazu sind die umgebenden Magnete kälter als das All!
- Die Detektoren im LHC beinhalten hochentwickelte elektronische Systeme, die den Durchgang eines Teilchens mit einer Präzision von wenigen Tausendstel Millimetern messen.
- Um die Daten auszuwerten sind zehntausende Computer auf der ganzen Welt in einem Computernetzwerk, dem Grid, zusammengeschaltet.

Eine sehr gute auch im Unterricht verwertbare Präsentation findet man unter:

<http://www.gsi.de/beschleuniger/sis18/pdf/cern.pdf>

Detektoren am LHC:

ALICE (A Large Ion Collider Experiment) ist ein Vielzweckdetektor, optimiert für Kollisionen von Schwerionen, zum Beispiel Blei, bei denen extreme Energiedichten eintreten.

ATLAS (A Toroidal Lhc ApparatuS) soll hochenergetische Proton-Proton-Kollisionen untersuchen und dem Higgs-Teilchen auf die Spur kommen; eventuell Teilchennachweis aus Supersymmetriemodellen: ATLAS hat einen zwiebel förmigen Aufbau zum Nachweis unterschiedlichster Teilchenspuren.

CMS (Compact Muon Solenoid) untersucht ebenfalls Proton-Proton-Kollisionen; Besonderheit ist ein Kalorimeter aus Bleiwolframat-Kristallen für hochenergetische Photonen, zusätzlich Halbleiterspurdetektoren und Myon-Nachweissystem. CMS und ATLAS sind so konzipiert, dass sie eine gegenseitige Überprüfung wissenschaftlicher Resultate garantieren.

LHCb (Large Hadron Collider beauty experiment) soll Messungen zur CP-Verletzung bei B-Mesonen vornehmen, seltene Zerfälle von Hadronen, die das schwere Bottom-Quark enthalten.

TOTEM: Total Cross Section, Elastic Scattering and Diffraction Dissociation at the LHC.

Einen sehr guten Überblick über Detektoren finden Sie hier:

<http://indico.cern.ch/getFile.py/access?contribId=34&sessionId=16&resId=1&materialId=slides&confId=156694>

Experimente bei CERN

Am CERN wurden und werden sehr viele Experimente durchgeführt. Hier soll nur auf einige, die derzeit im Fokus der Allgemeinheit stehen, eingegangen werden.

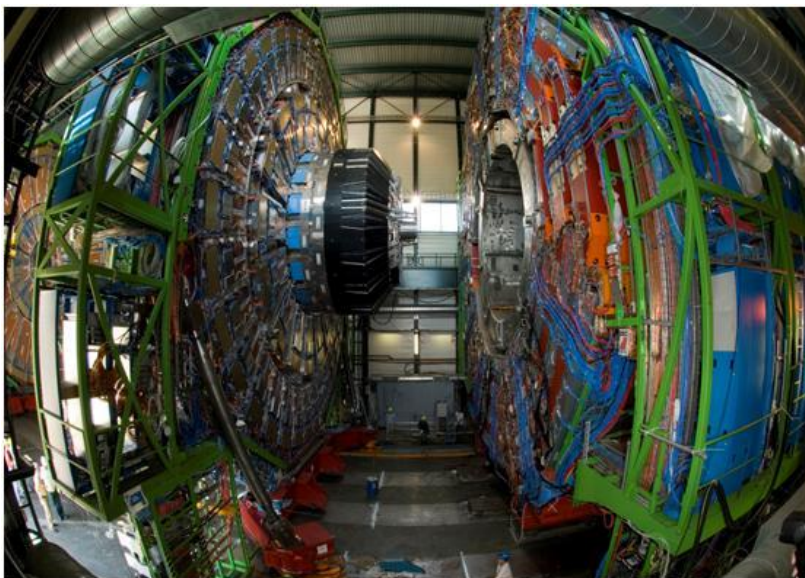
Die Suche nach dem Higgs-Partikel.

Der Atlas-Detektor ist ein riesiger Zylinder, der sich in einer Kaverne 80 Meter unter der Erdoberfläche befindet. Die spezielle Aufgabe des Atlas-Detektors ist es herauszufinden, wie Masse und Energie zusammenhängen und wie Teilchen ihre Masse bekommen. Die Theorie hat dafür ein sogenanntes Higgs-Teilchen vorausgesagt, das im Atlas-Detektor nachgewiesen werden soll. Dabei rechnet man mit einem Higgs bei einer Anzahl von einer Billion Ereignissen. Außerdem erhofft man sich von den Versuchen mit dem Atlas-Detektor Hinweise auf die Natur der Dunklen Materie. Bis zum Beginn des Experiments wird es noch viele Probeläufe geben.

Eine wichtige Frage, die geklärt werden soll, ist, ob Leptonen und Quarks eine Substruktur haben. Denn damit könnte dann sehr wahrscheinlich beantwortet werden, warum es genau drei Generationen von Elementarteilchen gibt oder ob es gar noch weitere unentdeckte Teilchen gibt. Ein weiteres Problem der Elementarteilchenphysik, das aufgeklärt werden soll, ist, wie es zu den stark unterschiedlichen Massen der Elementarteilchen kommt. Die Massen reichen von der nahezu verschwindenden Masse des Neutrinos bis zur Masse des Top-Quarks, die der eines Gold-Atoms entspricht. Dies hofft man durch den so genannten Higgs-Mechanismus erklären zu können. Danach sind die Teilchenmassen deshalb so verschieden, weil Teilchen unterschiedlich stark an ein bis jetzt noch nicht gefundenes Teilchen, das Higgs-Boson, beziehungsweise dessen Feld koppeln. Daher hofft man, Higgsteilchen als Anregung des Higgsfeldes auf Grund ihrer vorausgerechneten Zerfälle nachweisen zu können. Das dritte Problem ist die Vereinheitlichung der vier Grundkräfte, also eine Quantenfeldtheorie, die auch die Gravitation mit einbezieht. Es ist zwar nicht möglich, diese Vereinheitlichung direkt zu beobachten, da sie erst auf Energieskalen weit jenseits der in absehbarer Zeit experimentell erreichbaren Energien geschieht, aber durch den Nachweis supersymmetrischer Partner der heute bekannten Elementarteilchen ließen sich die Kräfte in einem Punkt vereinigen. Der Nachweis einer Vereinheitlichung wäre ohne die vergleichsweise einfache Supersymmetrie nur schwer möglich. Deswegen soll ATLAS auch nach supersymmetrischen Teilchen fahnden. Neun Kilometer vom Atlas-Detektor entfernt, auf der anderen Seite des LHC-Tunnels, befindet sich der CMS-Detektor. Er hat zwar ähnliche Aufgaben wie Atlas, ist aber anders optimiert.

Beiden Detektoren ist es so möglich, ihre Ergebnisse wechselseitig zu überprüfen. Auch in den LHCb-Detektor werden hohe Erwartungen gesetzt. Er soll unter anderem Antworten auf die Frage liefern, warum es am Anfang des Universums eine Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie gab. Bei einem Gleichgewicht hätten sich beide annihilieren müssen. Diesem Ungleichgewicht, der einen Rest von Materie produzierte, verdanken wir die Entstehung der Welt und unserer menschlichen Existenz.

Die Theorie geht von der Annahme aus, dass bestimmte Teilchen sich in Antiteilchen umwandeln können und umgekehrt. Nun gehen die Forscher der Frage nach, warum zu Beginn des Universums die Umwandlung von Antiteilchen in Teilchen die Oberhand gewonnen und so die Entstehung von Leben begünstigt hat. Für den LHCb-Detektor wurden mehr als 240.000 Kilometer Kabel verlegt. Er besteht aus mehreren verschiedenen Subdetektoren, die hintereinandergeschaltet sind.



Der CMS-Detektor
Quelle: <http://www.weltderphysik.de/de/6443.php?i=6449>

Der Alice-Detektor untersucht jenen Urzustand, in dem sich die Materie kurz nach dem Urknall befand und der Quark-Gluon-Plasma genannt wird. Um diesen Zustand zu erzeugen, lassen die Wissenschaftler Schwerionen kollidieren.

CNGS: CERN Neutrinos to Gran Sasso

Ziel dieses Experiments ist es, die Neutrinooszillation zu untersuchen. Dazu wird mit Hilfe des SPS-Beschleunigers ein Neutrino-Strahl erzeugt, der mit dem OPERA im italienischen Labor Gran Sasso National Laboratory (LNGS) detektiert und untersucht werden soll. Die Konstruktion begann im September 2000. Am 18. August 2006 hat OPERA den ersten Neutrino-Strahl detektiert, am 2. Oktober 2007 den ersten Strahl aus dem CERN. Da 2011 Messungen ergeben haben, dass sich Neutrinos schneller bewegt haben könnten als die Vakuumlichtgeschwindigkeit beträgt, werden derzeit genaue Auswertungen der Messergebnisse durchgeführt.

Siehe auch <http://press.web.cern.ch/press/pressreleases/releases2011/pr19.11e.html>

CLOUD-Experiment: Ein seit 2006 laufendes internationales Projekt am Proton Synchrotron (PS) zur Untersuchung des Einflusses von kosmischer Strahlung auf die Bildung von Kondensationskeimen (Aerosolen) in der Atmosphäre und damit auf die Wolkenbildung.

Teilchenphysik

nach <http://www.max-wissen.de/Fachwissen/show/0/Heft/LHC.html>

Aus astronomischen Beobachtungen wissen wir, dass unser Universum vor etwa 13,7 Milliarden Jahren in einem gewaltigen Urknall entstand. Seitdem dehnt es sich aus und kühlt ab. Wahrscheinlich herrschte in der heißen Anfangsphase eine andere Physik als heute. Ihre Erforschung könnte einige der großen physikalischen Rätsel lösen. Dazu zählt die Dunkle Materie, die sich im Kosmos allein durch ihre Gravitation bemerkbar macht.

Die großen Teilchenbeschleuniger lassen atomare Materieteilchen heftig zusammenstoßen und erzeugen so kurzzeitig Bedingungen wie in der heißen Babyphase unseres Kosmos. Im Labormaßstab sind diese Teilchen-Crashes nicht nur ungefährlich, sondern kontrolliert wiederholbar. So können die Physiker genau erforschen, was dabei geschieht. Dazu benötigen sie große Detektoren, die als „Supermikroskope“ das Allerkleinste sichtbar machen. Dort bauen die grundlegenden Kräfte und Elementarteilchen die Materie auf.

Die heutige Physik kennt zwölf Elementarteilchen, die nicht weiter teilbar sind - zumindest nach derzeitigem Wissen.

Die wichtigsten sind das Elektron mit der Elementarladung -1 (d.i. die kleinste frei existierende elektrische Ladung) und zwei Quarks, das Up-Quark und das Down-Quark. Während das Up-Quark eine Ladung von $+2/3$ trägt, sind es beim Down-Quark $-1/3$. Und jetzt geht's ans Bruchrechnen: Zwei Up-Quarks und ein Down-Quark bilden jeweils ein Proton mit der Ladung $+1$, zwei Down-Quarks und ein Up-Quark ein Neutron mit der Ladung 0 . Um die heute vorhandene Materie zu beschreiben, braucht man noch ein viertes Teilchen: das Elektron-Neutrino. Es sorgt zum Beispiel bei Kernfusionsreaktionen im Inneren der Sonne für eine ausgeglichene Energie- und Impulsbilanz.

Generation	Teilchen	el. Ladung	↔ Wechselwirkung	Stärke
1.	Elektron	-1	stark Gluonen	1
	Elektron-Neutrino	0		
	up-Quark	2/3	elektromagnetisch Photon	$\frac{1}{137}$
	down-Quark	-1/3		
2.	Myon	-1	schwach W-/Z-Boson	10^{-14}
	Myon-Neutrino	0		
	charm-Quark	2/3	Gravitation? Gravitation	10^{-40}
	strange-Quark	-1/3		
3.	Tau-Lepton	-1		
	Tau-Neutrino	0		
	top-Quark	2/3		
	bottom-Quark	-1/3		

Quelle: Max-Planck-Gesellschaft

Die zwölf Elementarteilchen des Standardmodells der Teilchenphysik verteilen sich auf drei Generationen (li.). Bei drei der vier Grundkräfte sind die Teilchen, die sie vermitteln, experimentell nachgewiesen (re.).

Diese vier Teilchen bilden die 1. Generation von Elementarteilchen. Zwei weitere Generationen mit ebenfalls je vier Elementarteilchen existierten früher, als das Universum noch heißer und dichter war. Heute entstehen sie nur noch kurzzeitig in Beschleunigerexperimenten - oder dort, wo extrem energiereiche kosmische Strahlung die Moleküle unserer Atmosphäre trifft.

Die drei Generationen umfassen alle zwölf elementaren Materiebausteine des Standardmodells der Teilchenphysik. Für die „Steckverbindungen“ zwischen ihnen sorgen drei der vier heute bekannten Grundkräfte. Nach den Vorstellungen der Quantenphysik vermitteln virtuelle Austauschteilchen diese Kräfte - wie hin und her fliegende Ping-Pong-Bälle. Das nur über kurze Reichweiten wirksame Gluon trägt dabei die starke Kraft. Es hält die Quarks in den Protonen und Neutronen zusammen: Nur extrem energiereiche Bedingungen, wie direkt nach dem Urknall, können sie befreien. Die starke Kraft wirkt der Abstoßung der elektrisch positiv geladenen Protonen entgegen. Träger dieser zweitstärksten, elektromagnetischen Kraft sind Photonen. Die dritte ist die schwache Kraft. Sie sorgt dafür, dass etwa beim radioaktiven beta-Zerfall aus Neutronen Protonen werden - oder umgekehrt. Ihre Austauschteilchen heißen W- und Z-Boson.

Nur die Gravitation entzieht sich bislang einer Beschreibung mit Quanten.

Sie ist unglaubliche 10^{40} -mal schwächer als die starke Kraft. Trotzdem dominiert sie über kosmische Distanzen hinweg. Theoretische Physiker ringen seit Jahrzehnten darum, eine Theorie für das Größte mit der Theorie für das Kleinste, der Quantentheorie, zu vereinigen. Dazu gibt es heute verschiedene Ansätze, vor allem die Stringtheorie und die Schleifen-Quantengravitation.

Das Standardmodell der Teilchenphysik

nach http://www.weltmaschine.de/physik/standardmodell_der_teilchenphysik/

Physiker haben ihre Kenntnisse über die kleinsten Teilchen im so genannten Standardmodell der Teilchenphysik zusammengefasst. Es beschreibt alle uns bekannten Phänomene des Mikrokosmos und beinhaltet die folgenden Teilchenarten: die Teilchen, aus denen Materie aufgebaut ist (Materieteilchen), und die Wechselwirkungen zwischen ihnen, die ebenfalls über kleine Teilchen ablaufen (Kraftteilchen). Ein weiterer Bestandteil des Standardmodells ist das Higgs-Teilchen, das weder Materie- noch Kraftteilchen ist. Laut Standardmodell verleiht das Higgs-Feld den Elementarteilchen ihre Masse.

Materieteilchen

Alles, was wir sehen, besteht aus Materieteilchen. Insgesamt gibt es zwölf Materieteilchen, die in sechs Quarks und sechs Leptonen unterteilt werden. Beide Gruppen bestehen aus Teilchen dreier Familien.

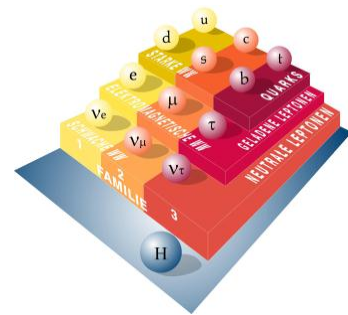


Abbildung: DESY

Die Teilchen verschiedener Familien ähneln sich in ihren Eigenschaften, sie unterscheiden sich aber in ihrer Masse voneinander: Die Materieteilchen der zweiten und dritten Familie sind schwerer als die der ersten Familie. Zudem sind die Elementarteilchen der zweiten und dritten Familie instabil, das heißt, sie zerfallen in Teilchen der ersten Familie. Die Materieteilchen der zweiten und dritten Familie, die es in der Frühphase unseres Universums in großen Mengen gab, sind im Laufe der Ausdehnung des Universums in ihre leichteren Geschwister zerfallen. Heute besteht die uns umgebende sichtbare Materie ausschließlich aus Teilchen der ersten Familie. Im Grunde bestehen wir also nur aus drei verschiedenen Teilchen: Up-Quarks, Down-Quarks und Elektronen. Teilchen der zweiten und dritten Familie können allerdings in Teilchenbeschleunigern wie dem LHC künstlich für sehr kurze Zeit erzeugt werden, bevor sie wieder in ihre leichteren Familienmitglieder zerfallen. Darüber hinaus entstehen sie häufig in der auf die Erde niedergehenden kosmischen Strahlung.

Protonen und Neutronen, die Bestandteile des Atomkerns, sind aus Quarks aufgebaut. Zu den Quarks der ersten Familie zählen Up- und Down-Quarks. Charm- und Strange-Quarks sind die Quarks der zweiten Familie und schließlich bilden Top- und Beauty-Quarks die Mitglieder der dritten Familie.

Leptonen der ersten Familie sind das Elektron und das Elektron-Neutrino. Die zweite Familie wird gebildet vom Myon und dem Myon-Neutrino und die dritte Familie der Leptonen stellen das Tau und das Tau-Neutrino dar.

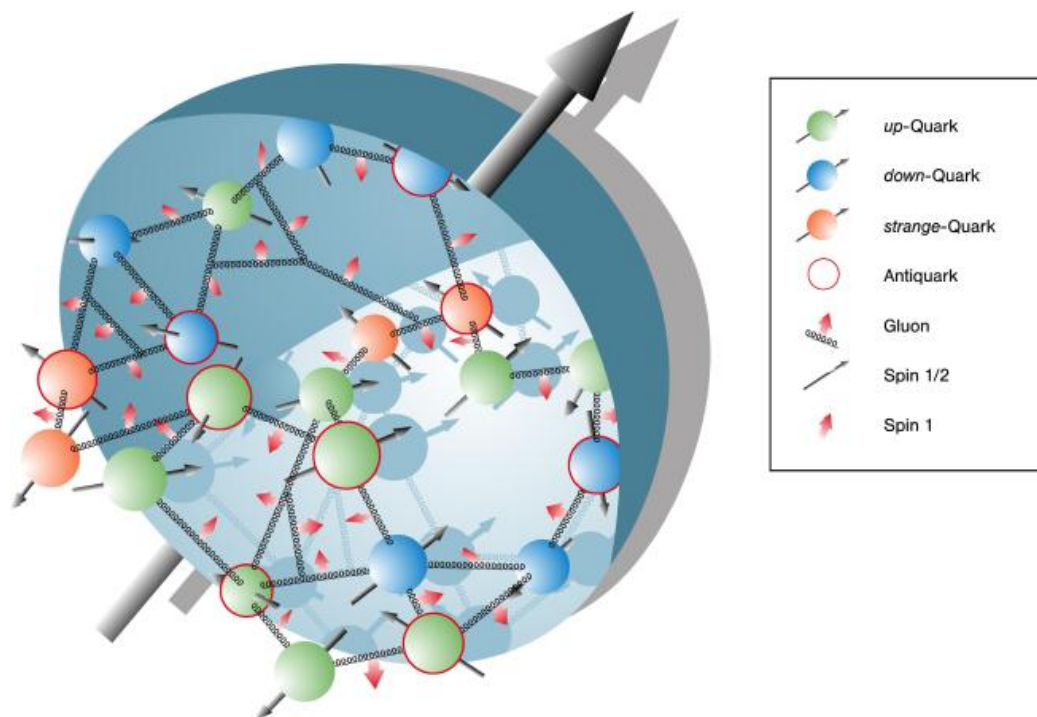
Kraftteilchen

Zwischen den Materieteilchen herrschen Wechselwirkungen oder Kräfte, die die Materie zusammenhalten. Wäre das nicht der Fall, würde die Welt um uns herum in ihre winzigsten Bestandteile zerfallen. Die Wechselwirkungen, die zwischen Materieteilchen herrschen, sind die elektromagnetische, die schwache und die starke Kraft. Sie entstehen, weil die Materieteilchen winzige Kraftteilchen, so genannte Bosonen, austauschen. Die vierte bekannte Grundkraft, die Gravitation, spielt im Mikrokosmos keine Rolle. Deshalb haben Wissenschaftler zwar einige theoretische Vermutungen, aber bisher keinerlei experimentelle Hinweise, wie eine entsprechende Theorie der Gravitation mit Gravitonen als Kraftteilchen aussehen könnte. Die elektromagnetische Kraft entsteht durch den Austausch von Photonen, aus denen auch das Licht besteht. Zwei negativ geladene Elektronen stoßen sich über den Austausch von Photonen voneinander ab. Da das Photon masselos ist, wirkt die elektromagnetische Kraft über sehr große Reichweiten zwischen geladenen Teilchen.

Die starke Kraft hält die Quarks im Inneren von Protonen und Neutronen zusammen. Hier tauschen die Materieteilchen so genannte Gluonen aus, von denen es acht unterschiedliche gibt. Die starke Wechselwirkung ist die "stärkste" unter den Wechselwirkungen, wie ihr Name schon sagt, ihre effektive Reichweite ist allerdings auf den Atomkern beschränkt.

Die schwache Kraft wirkt auf alle, auch auf elektrisch ungeladene Elementarteilchen. Sie ist beispielsweise für radioaktive Zerfälle verantwortlich und dafür, dass die Sonne scheint. Sie erfolgt über den Austausch von so genannten Z-Bosonen und W-Bosonen. Die Reichweite der schwachen Kraft ist sehr klein, da die sie vermittelnden Austauscheteilchen sehr große Masse haben. Die W- und Z-Bosonen wiegen fast einhundert Mal so viel wie ein Proton.

Spin



(Quelle: DESY in Hamburg)

Die Materie- und die Kraftteilchen unterscheiden sich in einem wesentlichen Punkt voneinander: dem Spin oder Eigendrehimpuls. Man kann es sich ähnlich wie bei der Drehung der Erde um sich selbst vorstellen, mit einem wichtigen Unterschied. So sind bei Materieteilchen zwei Einstellungen der Achse möglich, bei Kraftteilchen drei oder beim hypothetischen Graviton sogar fünf. Physiker nennen die Materieteilchen mit einer geraden Zahl von möglichen Achsenstellungen Fermionen, die Kraftteilchen mit einer ungeraden Zahl von möglichen Achsenstellungen Bosonen. Fermionen wird ein halbzahlgiger Spin zugewiesen, also beispielsweise $\frac{1}{2}$. Kraftteilchen haben einen ganzzahligen Spin, also beispielsweise 1. In ihren Eigenschaften unterscheiden sich Fermionen und Bosonen deutlich.

Das Higgs-Teilchen

Bisher ist unklar, woher die Elementarteilchen ihre Masse haben. Die Symmetrien würden dies nämlich eigentlich verbieten. Wissenschaftler vermuten deshalb, dass die Wechselwirkung der Teilchen mit einem überall vorhandenen Higgsfeld die Masse erzeugt. Insbesondere erklärt der Higgs-Mechanismus, warum die Kraftteilchen der schwachen Wechselwirkung Masse besitzen, während das Photon masselos ist. Da man das Higgsfeld nicht sehen kann, muss man versuchen, es über seine Schwingungen zu „erfühlen“. Dies geschieht über den Nachweis eines neuen Teilchens, des Higgs-Teilchens, das bisher allerdings noch nicht gefunden wurde. Wissenschaftler setzen große Hoffnungen auf den neuen Teilchenbeschleuniger LHC, denn mit

seiner Hilfe soll das Higgs-Teilchen erstmals experimentell beobachtet werden. Hier eine Analogie, die das Higgs-Teilchen eindrucksvoll veranschaulicht:



Auf einer Cocktailparty unterhalten sich die Gäste.



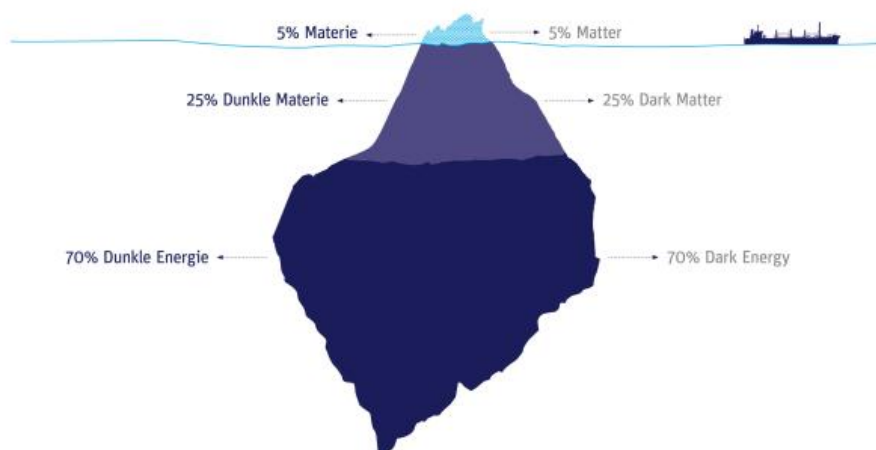
Plötzlich taucht ein Prominenter auf und zieht die Aufmerksamkeit auf sich.



Jeder seiner Schritte wird von Fans begleitet. Dadurch kommt er so behäbig vom Fleck als hätte er urplötzlich an Gewicht gewonnen. In diesem Bild entsprechen die Partygäste dem Higgs-Feld, der Prominente dem Teilchen, das an Masse gewinnt.

Dunkle Materie

(nach http://www.weltmaschine.de/physik/dunkle_materie/)



Nur 5% des Universums bestehen aus bekannter Materie. Alles andere sind die bisher unbekannte Dunkle Materie und Dunkle Energie.

Grafik: DESY

Den ersten Hinweis darauf, dass es noch etwas anderes als sichtbare Materie im Universum geben muss, lieferten bereits im Jahr 1933 astronomische Beobachtungen und Berechnungen von Gravitationseffekten. Wissenschaftler beobachteten zum Beispiel, dass an Galaxien vorbei fliegendes Licht stärker abgelenkt wurde, als die Masseberechnungen für diese Galaxien vorgaben – es musste also noch mehr als die bekannte Masse geben, das das Licht anzieht. Da diese Materieform zwar durch ihre Gravitation in Erscheinung tritt, aber nicht sichtbar ist, nannte man sie "Dunkle Materie".

Die Rotationsgeschwindigkeiten von Sternen in Galaxien ließen sich ebenfalls nicht erklären, wenn die Galaxien nur aus sichtbarer Materie bestünden. Auch sie werden durch die Gravitation einer unsichtbaren Materie zusammengehalten. Präzise astronomische und kosmologische Messungen haben gezeigt, dass unser Universum zu etwa 25 Prozent aus Dunkler Materie besteht.

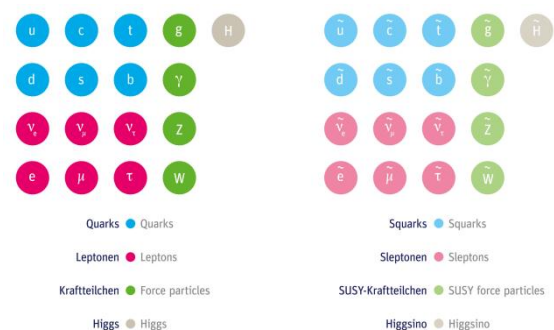
Supersymmetrie

(nach <http://www.weltmaschine.de/physik/supersymmetrie/>)

Das Standardmodell der Teilchenphysik kann zwar die Entstehung und das Verhalten der Materie in unserer Welt erklären und es hat sich in den vergangenen Jahrzehnten bei umfangreichen experimentellen Tests immer wieder bewiesen. Es hat allerdings auch große Einschränkungen: So lässt es die Gravitation außer Acht und kann die Zusammensetzung Dunkler Materie nicht erklären. Außerdem setzt es sich aus mehreren Sorten Materieteilchen und Kraftteilchen zusammen. Physiker wünschen sich hingegen eine Theorie, die nicht nur Phänomene wie Gravitation und Dunkle Materie berücksichtigt, sondern die auch einen direkten Bezug zwischen den Materieteilchen und den Kraftteilchen herstellt. Theoretische Physiker haben unter anderem die

Supersymmetrie entwickelt, eine elegante Erweiterung des Standardmodells.

Die Theorie der Supersymmetrie verdoppelt die Anzahl der Elementarteilchen, weil jedes normale Teilchen einen supersymmetrischen Partner bekommt.



Grafik: DESY

Julius Wess und Bruno Zumino formulierten 1973 als erste ein theoretisches Modell der Supersymmetrie. Sie verbindet Fermionen mit Bosonen und stellt jedem bekannten Teilchen einen supersymmetrischen Partner zur Seite, deren Spin sich um $\frac{1}{2}$ von dem der Teilchen des Standardmodells unterscheidet. Das heißt, zu den Fermionen mit halbzahligen Spin existieren supersymmetrische Teilchen mit ganzzahligem Spin und zu den Bosonen mit ganzzahligem Spin existieren supersymmetrische Teilchen mit halbzahligen Spin. Demnach verbindet die

Theorie der Supersymmetrie die Welt der Materieteilchen mit der der Kraftteilchen. Da zu jedem Teilchen des Standardmodells ein supersymmetrischer Partner existiert, verdoppelt sich die Anzahl der Teilchen.

Die Namen der supersymmetrischen Teilchen werden hergeleitet von denen des Standardmodells. Den Materieteilchen wird ein "S" vorweggestellt, aus Elektronen werden dann beispielsweise Selekttronen. Den Superpartnern der Kraftteilchen wird ein "ino" angehängt, das heißt, zum Gluon gehört nun ein Gluino.

Supersymmetrische Teilchen könnten der Schlüssel zur Erforschung der Dunklen Materie sein. So könnte das leichteste der supersymmetrischen Teilchen deren Hauptbestandteil sein.

Die experimentelle Bestätigung dieser Theorie steht allerdings noch aus. Bisherige Teilchenbeschleuniger haben die supersymmetrischen Teilchen nicht nachweisen können, weil sie nach Meinung der Wissenschaftler zu schwer dafür sind. Daher setzen Physiker große Hoffnungen in den LHC. Mit Hilfe der Detektoren ATLAS und CMS könnte ein erster Nachweis der supersymmetrischen Teilchen gelingen.

Ausblick und Erweiterungen des Standardmodells

Das Standardmodell wurde im Wesentlichen in den Jahren 1961-1973 entwickelt. Es ist umfangreich getestet und erforscht worden und beschreibt hervorragend die Bausteine der Welt und ihre Wechselwirkungen. Allerdings gibt es auch eine Reihe offener Fragen, die es nicht beantworten kann.

So berücksichtigt es beispielsweise nicht die Gravitation, die Schwerkraft. Diese spielt auf der Erde für uns Menschen eine große Rolle, ist aber in der Welt der kleinsten Teilchen so schwach, dass sie vernachlässigt werden kann. Bisher ist das Wechselwirkungsteilchen für die Gravitation noch nicht nachgewiesen worden.

Weiterhin besteht etwa ein Viertel des Universums aus Dunkler Materie. Diese Substanz lässt sich nicht mit den Teilchen des Standardmodells erklären. Geeignete Kandidaten für Teilchen, aus denen Dunkle Materie besteht, sind supersymmetrische Teilchen.

Physiker auf der ganzen Welt entwickeln das Standardmodell weiter und erweitern es um geeignete Ansätze, die etwa die Gravitation oder Supersymmetrie berücksichtigen.

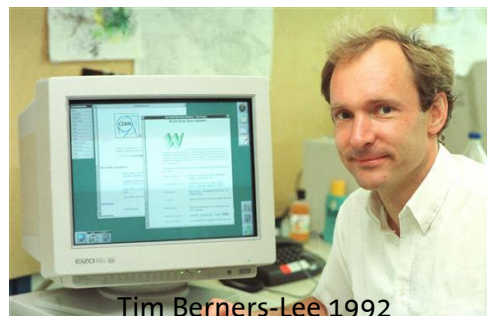
Gibt es Anwendungen der CERN-Forschungen?

Bei CERN betreibt man Grundlagenforschung. Das bedeutet, dass direkte Anwendungen nicht die Forschungen bedingen. Trotzdem gibt es eine Fülle an praktischen Ergebnissen, die sich ohne CERN – Forschungen nicht oder kaum in diesem Ausmaß ergeben hätten. Es wurden nur einige wenige Anwendungen angeführt, die zeigen sollen, dass Grundlagenforschung notwendig ist. Industrielle Forschung geht immer davon aus, Bestehendes zu verbessern.

Kleiner, schneller, schöner, billiger sind einige Triebfedern industrieller Forschung. Grundlagenforschung ist zunächst zweckfrei und einzig auf Erkenntnisgewinnung ausgerichtet. Freies Zitat aus einem Vortrag während des Austrian Teachers Programme: „Die Industrie im 19. Jahrhundert hätte durch Forschung und Entwicklung Hochleistungskerzen hervorgebracht. Die Grundlagenforschung aber den elektrischen Strom!“

World – Wide – Web

Das World Wide Web ist wohl die populärste und am weitesten verbreitete Anwendung der CERN-Forschungen. Der britische Informatiker Tim Berners-Lee arbeitete in den 80er und 90er Jahren des letzten Jahrhunderts am CERN. Um das Informationschaos an dem Institut zumindest in Grenzen zu halten, wollte Berners-Lee ein umfassendes Informationsnetz einrichten. Mit einem 1988 konzipierten Hypertext-System sollten die Forscher weltweit auf die Ergebnisse ihrer Kollegen zugreifen können.



Quelle: Website CERN - Pressecorner

Der Entwurf für das World Wide Web (WWW) enthielt drei Kernpunkte: Zum einen entwickelte Berners-Lee die "Hypertext Markup Language" (HTML), die beschreibt, wie Seiten mit Hypertextverknüpfungen ("Links") auf unterschiedlichsten Rechnerplattformen formatiert werden. Mit dem "Hypertext Transfer Protocol" (HTTP) definierte er die Sprache, die Computer benutzen würden, um über das Internet zu kommunizieren. Außerdem legte er mit dem "Universal Resource Identifier" (URI) das Schema fest, nach dem Dokumentenadressen erstellt und aufgefunden werden können.

Im April 1993 legte CERN mit einem formalen Akt das Fundament für den Erfolg der von Tim Berners-Lee entwickelten Ideen. Man gab das Web für die Öffentlichkeit frei und verzichtete bewusst auf Lizenzzahlungen oder eine Patentierung.

Chronologie:

(nach <http://info.cern.ch/>)

- 1988 Tim Berners-Lee entwickelt HTML
- März 1989 Tim Berners-Lee schreibt einen Projektantrag zur Vernetzung verschiedener Computer, um Daten über das bereits bestehende Internet austauschen zu können. Da der Antrag mit den ursächlichen Forschungen am CERN nicht in Einklang zu bringen war, wird er vom CERN-Direktorium nicht entsprechend unterstützt.
- 12. 11. 1990 Berners-Lee und Robert Cailliau (belgischer Informatiker, der am CERN arbeitet) veröffentlichen das Konzept für ein weltweites Hypertext-Projekt.
- Seit Frühling 1991 wird das Konzept erprobt.

- Dezember 1991 wird der erste Server in den USA (Stanford Linear Accelerator Center) in Betrieb genommen.
- 1993 wird an der Universität von Illinois eine Oberfläche entwickelt, die es jedem gestattet, das WWW zu nutzen.
- 1995 erhält Tim Berners-Lee die „Ehren-Nica des Prix Ars Electronica“ (Linz) für die Einführung des Hypertext.

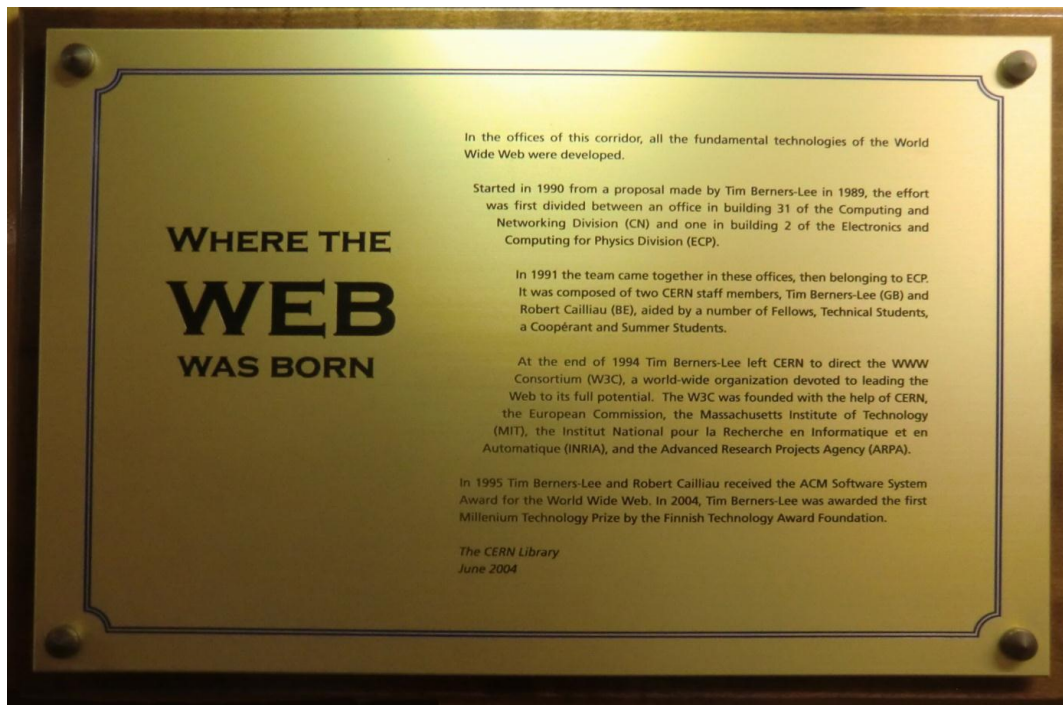


Foto: Ludick Tafel vor dem einstigen Büro von Tim Berner-Lee am CERN

Protonentherapie in der Krebsbehandlung

(nach <http://de.wikipedia.org/wiki/Protonentherapie>)

Bei der Protonentherapie handelt es sich um eine Therapie zur Behandlung von Krebsgeschwüren. Protonenstrahlen werden dabei in einem Synchrotron oder Zyklotron erzeugt und beschleunigt und gezielt auf den Tumor "geschossen". Das Verfahren wird insbesondere bei Patienten angewandt, bei denen die herkömmliche Röntgenbestrahlung nicht ausreichend genutzt werden kann, weil der Tumor entweder zu tief im Körper sitzt oder aber von empfindlichen Organen umgeben ist. Die Protonentherapie ermöglicht eine optimierte Dosisverteilung innerhalb der zu bestrahlenden Region.

Positronen-Emissions-Tomographie (PET-Scan)

(nach: <http://de.wikipedia.org/wiki/Positronen-Emissions-Tomographie>)

Dem Patienten oder der Patientin wird zu Beginn einer PET-Untersuchung ein Radiopharmakon verabreicht. Die PET verwendet Radionuklide, die Positronen emittieren (β^+ -

Strahlung). Bei der Wechselwirkung eines Positrons mit einem Elektron im Körper werden zwei hochenergetische Photonen in genau entgegengesetzte Richtungen ausgesandt. Das PET-Gerät enthält viele ringförmig um den Patienten angeordnete Detektoren für Photonen. Das Prinzip der PET-Untersuchung besteht darin, Koinzidenzen zwischen je zwei gegenüberliegenden Detektoren aufzuzeichnen. Aus der zeitlichen und räumlichen Verteilung dieser registrierten Zerfallereignisse wird auf die räumliche Verteilung des Radiopharmakons im Körperinneren geschlossen und eine Serie von Schnittbildern errechnet. Häufige Anwendung findet die PET bei stoffwechselbezogenen Fragestellungen in der Onkologie, Neurologie sowie Kardiologie.

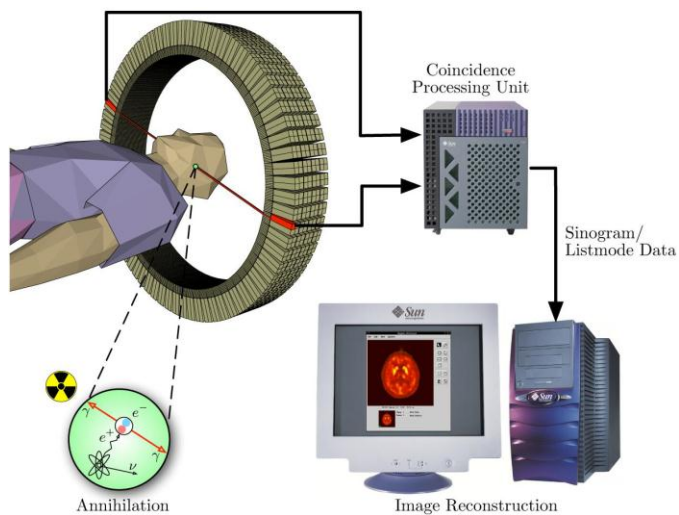


Abbildung: Dr. Hartmut Hillemanns

Gerade in der Medizin finden sich viele Anwendungen, die durch die Grundlagenforschung am CERN ermöglicht bzw. verbessert wurden. So entsteht mit MedAustron in Wiener Neustadt eines der modernsten Zentren für Ionentherapie und Forschung in Europa. Die Bestrahlung der Patientinnen und Patienten wird dabei mit Kohlenstoffionen oder Protonen erfolgen. Derzeit befindet sich dieses Zentrum in der Bauphase. Schon ab 2013 startet der Testbetrieb und ab 2015 werden die ersten Behandlungen durchgeführt. Ab dann werden jährlich bis zu 1.400 Menschen von internationaler Spitzenmedizin profitieren. Dank MedAustron haben viele Krebspatienten bald eine neue Chance auf wirksame Behandlung durch die schonende Ionentherapie. Weitere Informationen zu diesem Projekt unter <http://www.medastron.at>.

Wegen der komplexen Experimente am CERN ist die Erweiterung des „Know – hows“ aller Firmen, die dem CERN Komponenten liefern, ein nicht zu unterschätzendes positives Ergebnis.

Das bietet CERN den Schulen

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

Kursangebote für Lehrer und Lehrerinnen

CERN bietet Lehrerinnen und Lehrern sogenannte Teachers-Programme an. Dies sind nationale Programme in der jeweiligen Muttersprache der Teilnehmer(innen). Diese werden über nationale Fortbildungsinstitutionen angekündigt. Für österreichische Lehrer(innen) sind folgende Termine bereits fixiert: 25.11. – 30. 11. 2012 und 10. 3. – 15. 3. 2013

Das Programm kann unter <http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=163384> bzw. <http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=163388> abgerufen werden. Es erfolgt zeitgerecht eine Ausschreibung im Wege der Bundesseminare.

Unter <http://indico.cern.ch/conferenceOtherViews.py?view=standard&confId=156694> kann das im November 2011 stattgefundene erste offizielle Seminar für österreichische Lehrer(innen) eingesehen werden. Dort sind auch zu jeder Vorlesung die Präsentationen downloadbar.

3-wöchiges Seminar im Juli am CERN: Informationen siehe unter

<https://teachers.web.cern.ch/teachers/HST2011atCERN.html>.

Das Institut für Hochenergiephysik der Akademie der Wissenschaften in Wien veranstaltet in unregelmäßigen Abständen, jedoch durchaus nach Bedarf, Kurse für Lehrer(innen), die unter <http://www.hephy.at/veranstaltungen/lehrer-fortbildung/cern-lehrerprogramm/> eingesehen werden können.

Besonders sei auch auf die sogenannten Masterclasses hingewiesen. Darüber erhält man unter <http://www.hephy.at/veranstaltungen/lehrer-fortbildung/cern-lehrerprogramm/> ebenfalls Informationen.

Auf den Verein A.L.F. – Aktuelle Lehrerfortbildung <http://klub-alf.org/> sei aufmerksam gemacht.

Unterrichtsmaterialien

Unter <http://project-physicsteaching.web.cern.ch/project-physicsteaching/german/index.htm> bietet CERN Unterrichtsmaterialien, Experimentiervorschläge, Vorlesungspräsentationen, Videos und Filme zum Downloaden an.

Auch auf der „Hephy“-Website finden sich unter

<http://www.hephy.at/veranstaltungen/lehrer-fortbildung/unterrichtsmaterialien/>

Unterrichtsmaterialien zum Herunterladen.

Weiters sei auf **<http://www.teilchenphysik.de/>** hingewiesen.

Exkursionen und Besuche

Über CERN-Besuche mit Schülergruppen kann man sich unter

<http://outreach.web.cern.ch/outreach/expos/index.html> informieren.

Ein Bericht über eine Klassenfahrt zum CERN kann unter

<http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~feindt/cern.html> gelesen werden.

Angebote für Schülerinnen und Schüler

Die Masterclasses, an dem jährlich einige tausend Schüler teilnehmen, finden jedes Frühjahr statt. Infos unter: **<http://www.hephy.at/veranstaltungen/oeffentliche/masterclasses/>**

Wertvolle Internetadressen

CERN und LHC eine Übersicht zusammengestellt von Mag. Andrea Großmann	Sehr ausführliche und gute Zusammenstellung über den CERN und die bisher erbrachten Ergebnisse.	http://tom.pi-ahs.at/downloads/files/CERN_und_LHC_Uebersicht.pdf
LHC	Stets aktualisierte deutschsprachige Seite über den LHC	www.weltmaschine.de
Teilchenphysik	Eine sehr ordentliche und klar gegliederte Zusammenstellung.	www.uni-magdeburg.de/exph/biologie/Standardmodell.pdf
	Eine sehr saubere Einführung in das Standardmodell allerdings für Anspruchsvolle.	http://homepages.physik.uni-muenchen.de/~Otmar.Biebel/TeV_LHC-seminar/KBehr-Standardmodell.pdf
	Informationen und Unterrichtsmaterialien	www.teilchenphysik.de/
	Informationen in kompakter Form	www.eduhi.at/index.php?changeurlto=suchen&suchtext=Teilchenphysik
	Informationen und Links	www.teilchen.at/
Unterrichtsmaterialien	Seite mit einer Fülle von Unterrichtsmaterialien nicht nur für Physik	www.lehrer-online.de/sekundarstufen.php?sid=14821195318644138032602390239070
Hinweise und Links	Informationen zu Masterclasses für Schüler(innen) sowie Links zu weiterführenden Themen	www-eep.physik.hu-berlin.de/teaching/lab/cern_master_class
Links	Zusammenstellung nützlicher Links	info.tuwien.ac.at/e142/deutsch/linkliste/index.html
Lernplattform	Nicht nur für Physik	
WWW	Kleines Lexikon zu Begriffen des WWW	www.boku.ac.at/html/htmleinf/heinwas.html

Ein Zeitungsartikel über das CERN-Seminar im November 2011

Artikel erschienen in den Oberösterreichischen Nachrichten vom 10.12.2011.

30 Gymnasiallehrer aus ganz Österreich besuchten Ende November das europäische Kernforschungszentrum CERN in Genf. Es war das erste offizielle Lehrerseminar, das dort stattfand. Organisiert hat es Leo Ludick, der die Rubrik „Alltagsrätsel“ in den OÖN betreut. Hier sein Bericht.

Für die teilnehmenden Physiklehrer war es eine ausgezeichnete Gelegenheit, in Vorträgen von Wissenschaftlern, die an „vorderster Front“ arbeiten, die neuesten Erkenntnisse zu erfahren und so ihr Fachwissen auf den aktuellen Stand zu bringen. 1954 gegründet, stellt das Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (CERN) eine Forscherstadt bei Genf dar, in der man den Geheimnissen des Anfanges unseres Universums näherkommen möchte.

Mehr als 2000 Techniker, Physiker und Verwaltungspersonen arbeiten ständig hier. Dazu kommen noch an die zehntausend Wissenschaftler, darunter rund hundert aus Österreich, die an verschiedenen Experimenten mitarbeiten. Die Forschungen am CERN haben das Ziel, „zu wissen, was die Welt im Innersten zusammenhält“, wie es Goethes Faust formuliert.

Der Urknall lässt grüßen

Das Universum hat sich vor rund 14 Milliarden Jahren nach einem Urknall, dem Big Bang, gebildet. Die Energie des gesamten Universums war am Anfang in einem kleinen Bereich gebündelt. Dadurch, dass sich das All nach dem Urknall ausdehnte, kühlte es sich ab und aus der reinen Energie entstanden nach und nach alle Elemente.

Den Physikern sind die Hauptbestandteile der Materie bekannt. Bislang fehlt für das sogenannte Standardmodell lediglich der Nachweis eines Teilchens, das nach dem britischen Physiker Peter Higgs (geb. 1929) benannt wurde. Dieses Teilchen soll die Tatsache begründen, dass jedes Materiestück Masse hat.

Um die Existenz dieses Higgs-Teilchens nachzuweisen, muss man sich an die Energiewerte annähern, die beim Start unseres Universums herrschten. Dies erreicht man bei CERN dadurch, dass man geladene Teilchen, wie etwa Protonen, stark beschleunigt und dann frontal zusammenstoßen lässt. Seit 2009 kann man solche Kollisionen im 27 Kilometer langen sogenannten Large Hadron Collider (LHC) erzwingen. Bei diesem Crash und der daraus sich ergebenden hohen Energiedichte hofft man, durch Analyse der Bruchstücke Hinweise auf dieses Higgsteilchen zu bekommen.

Was sich einfach liest, bedeutet einen enormen Aufwand und eine hohe Ingenieurleistung. So muss man den Teilchenstrahl auf einen Durchmesser von einem Fünftel Millimeter

zusammenhalten und in Protonenpakete von 8 cm bringen. Da Protonen gleiche Ladung haben, müssen sie durch starke Elektromagnete zusammengehalten werden. Dies erreicht man nur durch hohe Ströme von etwa 13000 Ampère bei minus 271 Grad Celsius, da bei dieser niedrigen Temperatur kein elektrischer Widerstand besteht.

Im ringförmig angelegten Beschleuniger kommen die Protonenpakete auf nahezu Lichtgeschwindigkeit und es erfolgen einige Milliarden Kollisionen pro Sekunde. Als Experiment bezeichnet man die Zusammenstöße der Teilchenstrahlen in einer Detektoranlage, die 21 Meter lang und 16 Meter im Durchmesser ist.

Zu früh im Gran Sasso

Am CERN gibt es mehrere Beschleuniger mit unterschiedlichen Experimenten. Zuletzt ist das Neutrino-Experiment in die Schlagzeilen geraten. Neutrinos sind Teilchen mit äußerst geringer Masse, die durch keinerlei Felder abgelenkt werden. Im Experiment OPERA schickt man einen Neutrinostrahl über 700 Kilometer durch die Erde zum Laboratorium im Berg Gran Sasso (Italien) und untersucht dort, ob und wie sich der Neutrinostrahl bei diesem Weg durch Materie verändert hat. Im Rahmen dieses Experiments hat man nun gleich zweimal hintereinander festgestellt, dass die Neutrinos eine Geschwindigkeit haben müssten, die höher als die Lichtgeschwindigkeit ist. Nach der speziellen Relativitätstheorie von Albert Einstein ist dies allerdings unmöglich.

Was die Angelegenheit kompliziert macht, ist die Tatsache, dass sich die Relativitätstheorie durch viele Experimente bewährt hat. Man sucht daher fieberhaft nach einer Erklärung für dieses überraschende Ergebnis. Eine spannende Zeit liegt nun vor den Wissenschaftlern, denn stimmen die Messergebnisse, dann sind die theoretischen Physiker gefragt, Antwort zu geben.

Die österreichischen Lehrer sind am CERN natürlich auch der Frage nachgegangen, ob reine Forschung, wie sie hier betrieben wird, praktische Auswirkungen bringt. Das wohl bekannteste „Abfallprodukt“ der Forschung am CERN ist das World Wide Web. 1989 waren es Forscher am CERN, die vor der Aufgabe standen, eine Vielzahl an Daten austauschen zu müssen.

Der britische Physiker Tim Berners-Lee entwickelte daraufhin eine Möglichkeit, Medien miteinander zu verknüpfen – den „Hypertext“. Dadurch konnte er das schon existierende Internet zum Austausch der Daten nutzen. Heute wäre eine Welt ohne dieses WWW nicht vorstellbar.

In der Medizin bringen Protonenstrahlen, die in Beschleunigern auf hohe Geschwindigkeit gebracht wurden, treffsicherere Heilchancen. Ohne die Grundlagenforschung von

hochenergetischen Protonen wären diese Anwendungen nicht möglich geworden. Österreichische Forscher haben beim CERN die notwendigen Grundkenntnisse erworben, um das Projekt MedAustron umzusetzen. Mit MedAustron entsteht in Wiener Neustadt eines der modernsten Zentren für Ionentherapie in Europa. Die Bestrahlung der Patienten wird dabei mit Kohlenstoffionen oder Protonen erfolgen. Derzeit befindet sich dieses Zentrum in der Bauphase.

Das Wissen aufgefrischt

Ab 2015 werden jährlich bis zu 1400 Patienten von der internationalen Spitzenmedizin profitieren. Sämtliche modernen Diagnosegeräte in der Medizin, seien es Computer-Tomografen oder Magnetresonanz-Tomografen, gäbe es ohne die vorgeschaltete, zweckfreie Grundlagenforschung nicht.

Ein weiterer Aspekt darf ebenfalls nicht vernachlässigt werden: Da die Experimente am CERN hochentwickelte technische Ausführung benötigen, erhalten Firmen durch Aufträge vom CERN entsprechenden Innovationsschub.

Petra Kragl, Professorin am BRG Wallererstraße in Wels und Teilnehmerin beim CERN-Seminar: „Für mich war es eine eindrucksvolle Woche. Ich konnte mein Wissen über die Elementarteilchen auffrischen und sehen, in welche Richtung heute in diesem Bereich geforscht wird. Meine Schüler werden davon profitieren, weil ich ihnen nun noch besser Antwort auf ihre Fragen geben kann.“

Leo Ludick in den OÖN

Leo Ludick hat das CERN-Seminar im Auftrag des Unterrichtsministeriums begleitet. Unter den 30 Teilnehmern waren neben Ludick als Organisator drei weitere Physik-Professoren aus Oberösterreich. Der 64-Jährige ist ausgebildeter Lehrer für Physik, Mathematik und Chemie an Höheren Schulen und war als Physik-Fachdidaktiker an der Kepler-Uni tätig. Ludick ist der „geistige Vater“ des Welser Science Centers „Welios“. Seit 2008 betreut er die OÖN-Kolumne „Alltagsrätsel“. 2011 erhielt er den Pädagogenpreis der Österr. Physikalischen Gesellschaft.