

1

Geschichte des CERN

»Je weiter man zurückblicken kann, desto weiter wird man vorausschauen.«

Winston Spencer Churchill (1874–1965, Nobelpreis für Literatur 1953)

Die Gründungsgeschichte des CERN, der Europäischen Organisation für Kernforschung, enthüllt in vielen historisch und wissenschaftlich interessanten Details die Einzigartigkeit dieses Projekts. CERN ist das erste Joint Venture eines nach dem Zweiten Weltkrieg langsam wieder zusammenwachsenden Europa und ein Sinnbild für die Fruchtbarkeit des europäischen Gedankens, der sich in der Geschichte des CERN als eine der überzeugendsten Grundideen bewiesen hat. Viele der Strukturen des heutigen CERN lassen sich auf die Geschichte seiner Gründung zurückverfolgen und dadurch verständlich machen. In der Gründungsphase des CERN entsteht der Geist, der noch heute an diesem auf der ganzen Welt einzigartigen Wissenschaftsstandort zu verspüren ist.

Der Geist Europas – die Züricher Rede Churchills

Winston Churchill, seit dem Jahr 1900 Mitglied des englischen Unterhauses und Premierminister Englands ab 1940, war noch während der Potsdamer Konferenz, auf der wichtige Entscheidungen über das weitere Vorgehen der Alliierten USA, Russland und Großbritannien in Deutschland und gegen Japan entschieden wurden, bei den Wahlen zum britischen Unterhaus abgewählt worden. Er musste seinen Posten als Premierminister an den Labour-Politiker Clemens Attlee abgeben. Churchill blieb weiterhin politisch aktiv und präsentierte im März 1946 seine Idee vom Eisernen Vorhang, die während des Kalten Krieges das Bild Europas und die Politik zwischen Ost und West bestimmen sollte.

Am 19. September 1946 hielt Churchill vor Studenten der Züricher Universität seine berühmt gewordene Züricher Rede. Churchill skizzierte darin vor der akademischen Jugend der neutralen Schweiz

seine Ideen für die Zukunft Europas. Unter dem wenig verheißungsvollen Titel »Über die Tragödie Europas« stellte Churchill den Weg Europas in die Zukunft dann doch durchaus positiv und verheißungsvoll dar. Churchills visionäre Skizze sollte seinen Realitätscharakter bis heute behalten. Damals war sie überraschend, geradezu revolutionär. Churchill malt das Bild eines wiedererstarkenden Europa, das im Kern weiterhin auf den beiden stärksten europäischen Staaten, Frankreich und Deutschland beruhen sollte. Doch Churchill besteht nicht nur auf der Wiederannäherung dieser beiden Staaten, die als Kriegsgegner noch bis vor kurzem gegeneinander gekämpft hatten. Er plädiert darüber hinaus für ein neues, höheres Ziel, die Errichtung einer Art Vereinigte Staaten von Europa (»... a kind of United States of Europe«).

Winston Churchill:

»Dieser edle Kontinent, der alles in allem die schönsten und kultiviertesten Regionen der Erde umfasst [...] ist die Heimat aller großen Muttervölker der westlichen Welt. Hier liegen die Quellen des christlichen Glaubens und der christlichen Ethik, hier ist der Ursprung der meisten Kulturen, Künste, der Philosophie und Wissenschaften sowohl des Altertums wie auch der Neuzeit. Wäre Europa jemals darin vereint, dieses gemeinsame Erbe teilen zu können, wären Glück, Wohlstand und Ehre seiner drei- oder vierhundert Millionen Einwohner keine Grenzen gesetzt. [...]

Man muss die europäische Familie wieder erschaffen – oder so viel davon wie uns möglich ist – und ihr eine Struktur geben, in der sie in Frieden, Sicherheit und Freiheit bestehen kann. Wir müssen eine Art Vereinigte Staaten von Europa errichten. [...] Wenn wir die Vereinigten Staaten von Europa erschaffen wollen – welchen Namen oder welche Form auch immer dazu nötig ist – dann müssen wir jetzt damit beginnen.«

(EU-Archiv, Übersetzung CVCE)

Churchills Züricher Rede wurde viel beachtet, sie wird oft zitiert und sehr oft missverstanden. Im Kern beschäftigt sie sich mit der Identität und der Basis Europas, die auf Gerechtigkeit, Freiheit und Kultur beruht und nicht mit der Schaffung eines staatlich vereinigten Europa. Als Churchill seine visionäre Rede hielt, lagen große Teile Europas noch in Trümmern. Von den europäischen Tugenden hatte die Kultur am ehesten und am meisten gelitten. Aber genauso widerstandsfähig wie Kultur nun einmal ist kam sie auch am ehesten wieder zu Tage. Churchills Idee war, Europa kulturell in der Familie der

europäischen Völker wieder zu vereinen. Diesem grundlegenden Gedanken folgend reifte innerhalb der wissenschaftlichen Forschungsgemeinde Europas ein großes, gemeinsames europäisches Projekt heran.

CERN – die Vorgeschichte

Nach dem Ende des 2. Weltkriegs hatte die europäische Wissenschaft keineswegs mehr die führende Position wie vor dem Krieg. Ihre Vorrangstellung als ehemaliges Zentrum der Grundlagenforschung war verloren. Die Lage hatte sich durch den *brain drain*, den Exodus einer ganzen Generation von Wissenschaftlern vor dem Naziregime und aus Europa grundlegend geändert. Die Vereinigten Staaten von Amerika, die USA, gaben jetzt den Ton an, besonders in der Nuklear- und Teilchenphysik. Die Vereinigten Staaten von Europa – wie von Churchill erdacht – existierten real nicht und waren politisch auch kaum vorstellbar.

Europas Physiker suchten dennoch einen Weg, um wieder Anschluss an die internationale Forschung zu bekommen. Die Ursprungsidee war, die europäische Wissenschaft wieder dorthin zu bringen, wo sie vor dem Zweiten Weltkrieg gestanden hatte. Man wollte – frei nach Churchill – die europäische Völkerfamilie wieder zusammenbringen und ein Zentrum für die Bündelung der kreativen Energie forschender Wissenschaftler erschaffen. Der Entschluss, sich zusammenzutun und eine gemeinsame, europäische Forschungsinstitution ins Leben zu rufen, war dazu der erste Schritt.

Initiativen

CERN geht auf die Initiativen zweier Kräfte zurück, die in der Phase der Neuorientierung Europas nach 1945 zusammenkamen: europäisch denkende Kulturpolitiker und aus ganz Europa stammende Teilchenphysiker. Die Kulturpolitiker suchten nach Ideen für den nötigen Wiederaufbau; den in eigener Sache oftmals sehr praktisch veranlagten Physikern war klar, dass man die nationalen Kräfte bündeln musste, um die europäische Teilchenphysik auf ein Niveau zu heben, das sie gegenüber den Vereinigten Staaten wieder konkurrenzfähig machen würde. Nur eine gemeinsame, transnationale und

politisch sanktionierte Anstrengung würde die hohen Investitionen aufbringen können, die für den Bau eines neuen Kernforschungslabors benötigt wurden.

Die Arbeiten von Werner Heisenberg, Niels Bohr, Erwin Schrödinger, Wolfgang Pauli und Paul Dirac zur Atomtheorie und Quantenmechanik hatten die wissenschaftliche Ausrichtung der Forschung schon vor dem Krieg festgelegt. Die neuen Theorien forderten neben den bekannten Elementarteilchen wie Protonen und Elektronen die Existenz einer Reihe bislang unbekannter Teilchen – und man war der Sache auch schon seit langem auf der Spur. Beim Zerfall von in die Erdatmosphäre eindringenden hochenergetischen Teilchen, der sogenannten kosmischen Strahlung, hatte man eine völlig neue, aber von der Theorie (Yukawa Hideki, 1907–1981, Nobelpreis für Physik 1949) bereits vorhergesagte Teilchenart entdeckt, die Mesonen. Allerdings: Die Mesonen (griechisch *meson* = das in der Mitte Befindliche) zerfallen sehr schnell und die Ereignisse (Kollisionen) innerhalb der Erdatmosphäre sind zu selten beobachtbar, um damit präzise wissenschaftliche Aussagen machen zu können. Zur Erforschung der beim Zerfall der kosmischen Strahlung (zumeist hochenergetische Wasserstoffkerne, deren Ursprung bis heute nicht genau identifiziert ist) entstehenden Mesonen und zum weiteren Studium des gesamten Atomaufbaus musste man also die Zerfallsprozesse während des Eindringens der hochenergetischer Teilchen in die Erdatmosphäre unter Laborbedingungen nachbauen. Im Prinzip wird dabei das gleiche Modell wie in der Natur angewendet, nur wird der Vorgang durch Maschinen induziert und im Labor kontrolliert. Forschungsrichtung und Forschungsgegenstand waren damit klar definiert, was sich knapp und eindeutig im Titel der ersten großen europäischen Physikkonferenz nach dem 2. Weltkrieg, der Solvay-Konferenz 1948, ausdrückt: »*Elementarteilchen*«.

Nach diesem und mehreren folgenden Fachtreffen reichte der französische Physiker Louis de Broglie (1892–1987, Nobelpreis für Physik 1929) schließlich im Dezember 1949 den ersten offiziellen Vorschlag für ein europäisches Kernforschungslabor zur Diskussion auf der *Europäischen Konferenz für Kultur (European Cultural Conference)* in Lausanne ein. Die Konferenz von Lausanne verfolgte die Fragestellung, wie man die friedliche Zusammenarbeit auf verschiedensten Gebieten innerhalb Europas befördern könne. Physiker, Diplomaten und Vertreter wissenschaftlicher Institutionen, insgesamt 170 Teilnehmer

aus 22 Staaten, befassten sich intensiv mit den Möglichkeiten zur Zusammenarbeit und zur Lösung europäischer Fragen. Die Konferenz machte es möglich, dass in der Schweiz – auf neutralem Boden also – eine transnationale Ebene der Diskussion und des Gedankenaustauschs entstand.

In Lausanne traf die bereits bestehende Initiative der europäischen Kernphysik auf die zur Umsetzung nötigen politischen Kräfte, denn bis jetzt fehlte der Idee noch die Unterstützung offizieller Institutionen, von Staaten und Regierungen. Nach Lausanne, einem Initialmoment der europäischen Geschichte, waren auch deutsche Diplomaten und Physiker eingeladen worden, um die Kooperation mit ihnen wieder zu ermöglichen. Die Deutschen erkannten im gemeinsamen europäischen Projekt sicherlich die Chance, das durch die Vergangenheit stark geschädigte Ansehen aufpolieren zu können und sich so allmählich wieder in die zusammenfindende Völkergemeinschaft einzugliedern. Der deutsche Vertreter auf der Konferenz in Lausanne war Carlo Schmid (1896–1979), einer der Väter des Deutschen Grundgesetzes und des Godesberger Programms der SPD. Schmidts Rede trug den programmatischen Titel: »Der kreative Geist ist europäisch!«

Der Initiator der Konferenz von Lausanne war der nach mehrjährigem Aufenthalt aus den USA zurückgekehrte Schweizer Schriftsteller Denis de Rougemont (1906–1985). Europa war für de Rougemont keine Utopie mehr, sondern eine Notwendigkeit, und er setzte sich in den folgenden Jahren unermüdlich für das Entstehen und die Weiterentwicklung einer neuen europäischen Identität ein. Auf seine Initiative hin wurde im Oktober 1950 das Centre Européen de la Culture (CEC, Europäisches Kulturzentrum) in Genf gegründet, das maßgeblich an der weiteren Entwicklung eines paneuropäischen Labors für Kernphysik, dem späteren CERN, beteiligt war. De Rougemonts tiefe Überzeugung für die europäische Idee und ihrer kulturellen Werte lässt sich mit seinen eigenen Worten am besten nachempfinden. Ein Hauch dieses europäischen Geistes ist bis heute am CERN zu verspüren.

»Zu welchem Zweck wollen wir diese Mittel für Kultur und eine Erziehung zu einem gemeinsamen europäischen Bewusstsein eigentlich? Seit ewigen Zeiten schon hat sich Europa der ganzen Welt geöffnet. Ob richtig oder falsch, durch Idealismus oder Unwissen, durch die Kraft seines

Geistes oder für imperialistische Ziele hat es seine Zivilisation immer als eine Ansammlung universeller Werte empfunden. Wir wollen keine europäische Nation als Gegner der großen Nationen in Ost und West und keine künstliche europäische Kultur, die nur für uns gilt und nur auf uns abgestimmt ist. Unser Ziel ist es, eine Union unserer Länder zu fördern, denn das wird die einzige Lösung sein: die Wiedergeburt unserer Kultur in der Freiheit des Geistes.«

Denis de Rougemont, Gesammelte Werke, 1994

Während der Konferenz in Lausanne wies de Rougemont auf die zunehmende Geheimhaltung innerhalb der Nuklearphysik hin. Die USA und das Vereinigte Königreich monopolisierten die Atomforschung. Nach der Entwicklung der Atombombe und den verheerenden Atombombenabwürfen auf Hiroshima und Nagasaki waren die europäischen Staaten in der Nuklearforschung weit abgeschlagen. De Rougemont plädierte ausdrücklich für ein gemeinsames europäisches Zentrum für Atomforschung, um den Anschluss auf diesem wichtigen Gebiet nicht zu verlieren. Als nächster Tagesordnungspunkt wurde der Vorschlag de Broglies von Raoul Dautry, dem Generalverwalter des Französischen Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) vorgebracht. De Broglies Beitrag wies vor allem darauf hin, dass eine Kollaboration der europäischen Staaten Projekte ermöglichen würde, die auf rein nationaler Ebene nicht zu verwirklichen waren. Von dieser Tatsache konnte Dautry den ebenfalls an der Konferenz von Lausanne teilnehmenden französischen Nuklearphysiker Pierre Auger (1899–1993) überzeugen, der inzwischen Wissenschaftsdirektor der 1945 gegründeten UNESCO war.

Die UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, deutsch: Organisation der Vereinten Nationen für Erziehung, Wissenschaft und Kultur) bildete den internationalen politischen Rahmen, in dem eine gemeinsame europäische Atomforschungsinstitution möglich erschien, die von den USA und Großbritannien akzeptiert werden würde. Ein weiterer wichtiger Schritt in diese Richtung fand auf der fünften UNESCO-Generalversammlung im Mai 1950 in Florenz statt. Die weltweite politische Situation hatte sich seit der Konferenz von Lausanne radikal verändert: Im August 1949 hatte die UdSSR ihre erste Atombombe gezündet. Nachdem nun klar geworden war, dass die UdSSR ebenfalls über umfangrei-

ches Knowhow in der Nuklearphysik verfügte, musste die Position der europäischen Nuklearforschung gestärkt werden – durch die USA.

»Ich denke, dass Physiker die Peter Pans der Menschheit sind. Sie werden niemals erwachsen und sie sind immer neugierig.«

Isidor I. Rabi

Auf der UNESCO-Generalversammlung in Florenz setzte der amerikanische Teilchenphysiker Isidor Isaac Rabi (1898–1988, Nobelpreis für Physik 1944) die von seinen europäischen Kollegen entwickelten Ideen für ein Labor für Teilchenphysik kurzerhand neu auf die Tagesordnung. Rabi hatte bei einem Treffen mit dem italienischen Experimentalphysiker Edoardo Amaldi (1908–1989) von den europäischen Plänen erfahren und sah in dem Vorschlag für ein europäisches Forschungszentrum eine unterstützenswerte Idee. Nach einem ähnlichen Modell wurde unter Rabis federführender Beteiligung der neue amerikanische Teilchenbeschleuniger (»Cosmotron«) in Brookhaven, dem amerikanischen Nuklearforschungszentrum in der Nähe von New York als Gemeinschaftsprojekt von neun wichtigen Universitäten des Landes (Columbia, MIT, Harvard etc.) gebaut. Rabi war maßgeblich am Manhattan-Projekt, dem Bau der amerikanischen Atombombe, beteiligt gewesen und hatte als Mitglied der amerikanischen Atomic Energy Commission immensen Einfluss im US-Wissenschaftsbusiness.

Pierre Auger, Edoardo Amaldi und Isidor Rabi verfassten einen schriftlichen Antrag an die UNESCO, der die Weltorganisation dazu aufforderte, »die Bildung und die Organisation regionaler Forschungszentren und Labore zu fördern, um die internationale Zusammenarbeit der Wissenschaftler zu steigern und ertragreicher zu machen, gerade wenn es um neues Wissen in Gebieten geht, deren Erforschung für ein Land nur unzureichend möglich wäre.« Dieser Antrag wurde von den Konferenzteilnehmern einstimmig verabschiedet – damit war der Idee eines europäischen Physik-Großlabors der politische Rahmen gegeben, der die nötige Stabilität für ein solches, noch nie dagewesenes Projekt geben konnte.

Rabis Motivation, europäischen Physikern in einem politisch so heiklen Bereich wie der Atomphysik mit Rat und Tat behilflich zu sein, liegt möglicherweise auch darin begründet, dass Rabi die Detonation der ersten Atombombe »Little Boy« über Hiroshima miterlebt



Isidor Isaac Rabi (Nobel Foundation 1944).

hatte und ihm die friedliche Grundlagenforschung wichtiger erschien als die militärische Nutzung der Kernenergie. Rabi selbst hat seine tiefere Motivation später so ausgedrückt:

»Das Recht des Menschen auf Wissen ist nicht dasselbe wie sein Recht auf die Luft, die er atmet. Wissen muss man sich erwerben, man muss es erlernen, man muss es für sich entdecken. Sogar Lernen ist eine Art von Entdeckung. Deshalb kann das Recht des Menschen auf Wissen nur bedeuten, dass er ein Recht darauf hat, zu lernen und zu entdecken.«

Das Recht des Menschen auf Wissen, (Engineering and Science, 17/1954)

Pierre Auger hatte vor seiner im Jahr 1948 angetretenen Tätigkeit bei der UNESCO – wie Rabi und Amaldi – für die amerikanische Atomic Energy Commission gearbeitet. Auger und Amaldi kannten Rabi deshalb sehr gut. Auger hatte als ehemaliger Direktor der französischen Atomenergie-Kommission (CEA) gute Verbindungen sowohl in die europäischen und amerikanischen Fachkreise wie auch als UNESCO-Direktor umfassende politische Beziehungen, die er nun mit dem eindeutigen Auftrag der Konferenz von Florenz zu nutzen begann. Amaldi reiste in den folgenden Wochen in die USA, um den Bau des neuen Cosmotron in Brookhaven zu begutachten, einem Teilchenbeschleuniger mit einer bis dahin unerreichten Teilchenenergie von 3 Gigaelektronenvolt (GeV). Mit dieser Maschine würde man in Zukunft viele Phänomene innerhalb der Teilchenphysik erheblich einfacher untersuchen und bessere Einblicke in den inneren Aufbau der Kernteilchen (Nukleonen) bekommen können. Beim Besuch der mit 23 Meter Durchmesser imposanten Anlage in Brookhaven soll Amaldi nur mit einem Wort reagiert haben: »Kolossal!«

CERN-Vorgeschichte

- Ausgangspunkt: Fortschritt und Weiterentwicklung der Kernphysik benötigt große Teilchenbeschleuniger, die enorme Kosten verursachen.
 - Europäische Physiker entwickeln Plan für ein europäisches Forschungszentrum zur Förderung der europäischen Zusammenarbeit, inklusive Deutschland.
 - Gründerväter sind Isidor Rabi, Pierre Auger, Edoardo Amaldi, Raoul Dautry, Louis de Broglie und Lew Kowarski.
 - Ziel ist das bessere Verständnis des Aufbaus der Atome und der Elementarteilchen.
-

Im Dezember 1950 organisierte das Centre Européen de la Culture ein weiteres Treffen in Genf, auf dem Pierre Auger einen noch nicht detaillierten Vorschlag zum Bau eines europäischen Labors für Elementarteilchenphysik präsentierte. Das neue Labor sollte nicht mit Atomreaktoren zur Erforschung der inneren Struktur der Atome arbeiten, sondern wie die Anlage in Brookhaven, die schwedische Anlage in Uppsala und die britischen Maschinen in der Nuklearforschungsanlage Harwell mit einem Teilchenbeschleuniger.

Großbritannien hatte zwar das nötige Knowhow, zeigte aber trotz zahlreicher inoffizieller Kontakte kein Interesse an der europäischen Initiative; britische Physiker nahmen bisher nicht an den gemeinsa-



Pierre Auger, Edoardo Amaldi und Lew Kowarski 1952 in Paris (© 1952 CERN, CERN-HI-5202016).

men Treffen teil. Im Inselreich favorisierte man Pläne mit eigenen Anlagen und war deshalb gegenüber dem UNESCO-Projekt skeptisch eingestellt. Herbert W. B. Skinner (1900–1960), Professor an der Universität von Liverpool und am Bau eines eigenen Beschleunigers interessiert, sprach sogar von »hochfliegenden und verrückten Ideen«. War die politische Haltung Großbritanniens zwar allgemein ablehnend, gab es aber auch genügend hochrangige englische Wissenschaftler, die Interesse an einem europäischen Großlabor für Teilchenphysik hatten. Sir John Cockcroft, Direktor der britischen Atomforschungsbehörde Atomic Energy Research Establishment (AERE), schickte sogar seinen jungen Kollegen Frank Goward (1919–1954) als Beobachter (Observer) nach Genf – Goward wurde später stellvertretender Leiter der Expertengruppe für das Proton-Synchrotron am CERN.

Trotz der britischen Gegenposition verfasste man in Genf eine Resolution, die die Errichtung eines neuen Labors zum Bau eines Teilchenbeschleunigers vorschlug, dessen Energie größer sein sollte als die der Anlage in Brookhaven – oder des sogar doppelt so leistungsstarken, ebenfalls im Bau befindlichen Beschleunigers in Berkeley (USA, »Bevatron«). Die Vertreter Italiens, Frankreichs und Belgiens gewährten dem Projekt 10 000 Dollar Startkapital und legten damit den finanziellen Grundstein für die noch zu gründende europäische Institution für Teilchenphysik. Pierre Auger konnte mit Hilfe dieses Geldes ein kleines Büro bei der UNESCO einrichten, und im Mai 1951 rief er eine Expertengruppe zusammen, die einen detaillierteren Plan zur Vorlage auf der nächsten UNESCO-Konferenz ausarbeiten sollte. Mitglieder der Projekt-Beratergruppe (Board of Consultants) waren: Edoardo Amaldi (Italien), Paul Capron (Belgien), Odd Dahl (Norwegen), Frans Heyn (Niederlande), Lew Kowarski und Francis Perrin (Frankreich), Peter Preiswerk (Schweiz) sowie Hannes Alfvén (Schweden).

Odd Dahl (1898–1994), Zeit seines Lebens ein auf vielen wissenschaftlichen Gebieten forschender Pionier – er war Pilot bei Roald Amundsens Nordpol-Expeditionen gewesen, bevor er in den USA am Carnegie Institute arbeitete – unterstrich eine wichtige Funktion des geplanten Laboratoriums, das neben den großen Forschungsvorhaben noch andere wichtige akademische Aufgaben erfüllen werde. Diese Funktion innerhalb der akademischen Welt Europas erfüllt CERN noch heute:

»Ein modernes physikalisches Labor ist von seiner Auslegung her ein Universallabor, auch wenn das letztendliche Ziel sehr spezialisiertes Wissen ist. Das vorgeschlagene Labor wird deshalb als Trainingscenter koordinierter Forschung dienen [...] und damit eine Art Forschungsarbeiter ausbilden, der für die industrielle Forschung in seinem Heimatland eingesetzt werden kann.«

Die ambivalente britische Rolle

In Großbritannien favorisierte man den Ausbau eigener, kleinerer Anlagen in Zusammenarbeit mit dem Institut von Niels Bohr in Kopenhagen. Viele britische Wissenschaftler standen in engem Kontakt mit dem Kopenhagener Institut und die Pläne zu einer britisch-dänischen Zusammenarbeit nahmen immer konkretere Formen an. Der Plan der Gruppe um Auger (UNESCO) und das CEC traf deshalb hier auf skeptische Reaktionen. Die Idee eines gemeinsamen europäischen Labors fußte nach Meinung der offen um ihren Forschungsvorsprung besorgten britischen Fachleute nicht auf wirklicher Erfahrung und Expertise der Beteiligten, sondern man wolle diesen fachlichen Mangel mit »Mut zum Wagnis und Enthusiasmus« (Herbert W. B. Skinner) ersetzen.

Einer der Hauptfiguren auf britischer Seite war Sir James Chadwick (1891–1974). Chadwick hatte 1935 den Nobelpreis für Physik für seine Entdeckung des Neutrons erhalten. Diese Entdeckung war Grundlage der erfolgreichen Atomkernspaltung durch den deutschen Physiker Otto Hahn. Chadwick war während des Kriegs Mitarbeiter des Manhattan-Projektes gewesen. Er sah das Projekt der Gruppe um Auger auch durch die geplante Beteiligung Deutschlands äußerst skeptisch. Die britischen Forschungsanlagen für Nuklearphysik waren seiner einflussreichen Meinung nach »sowohl in ihrer Zahl wie auch ihrer Leistung nach durchaus angemessen, um unseren eigenen Forschern die gesamte Bandbreite an Forschungsmöglichkeiten innerhalb der Nuklearphysik zu gewährleisten.« In einem Brief an seinen Kollegen Dr. King, datiert auf den 23. April 1951, umreißt Chadwick klar die ambivalente britische Position bezüglich des europäischen Projekts:

[Es herrscht] »... Klarheit darüber, dass sich dieses Land nicht direkt an der Errichtung eines solchen Labors beteiligen und auch keine Unterstützung weder in personeller noch in finanzieller Hinsicht leisten sollte.

Doch es herrscht auch das Bedürfnis, sich nicht vollständig von diesem Plan zurückzuziehen. Wir sollten informelle Hilfe leisten durch Rat und Tat, wenn das angefordert werden sollte – speziell hinsichtlich vorläufiger Studien zur technischen Auslegung des Labors und zum Design der Maschinen.«

Chadwicks Bild der Situation macht das Verhalten der britischen Nuklearphysiker hinsichtlich der aufkeimenden europäischen Konkurrenz verständlich und bezieht durch die geplante Zusammenarbeit mit dem Niels-Bohr-Institut die ambivalente Rolle der dänischen Seite mit ein. Auf der Achse London-Kopenhagen wollte man durchaus einen eigenen Weg gehen, jedoch gleichzeitig die europäische Entwicklung nicht verschlafen – und die Kollegen nicht im Stich lassen. Dieser internationale Kodex der Wissenschaften hatte sich nach dem 1. Weltkrieg weltweit etabliert und manifestierte sich nach wie vor über alle Grenzen hinweg in umfassendem fachlichem Austausch, informellen Vereinbarungen und allgemeiner technischer Unterstützung.

Aber warum waren die Briten bis jetzt nicht wirklich bereit gewesen, über die fachliche, informelle Zusammenarbeit hinaus das europäische Projekt zu unterstützen? James Chadwick führt in seinem Brief an King weiter aus, dass es eben nicht im wissenschaftlichen Interesse Englands liegen könne, am Projekt Augers et al. teilzunehmen. In Harwell, der britischen Atomforschungseinrichtung in Oxfordshire, arbeitete man bereits mit einem 170 MeV (Megaelektronenvolt) Synchro-Cyclotron, einem Elektron-Synchrotron und einem Linearbeschleuniger. An anderen Universitäten des Landes, in Glasgow, Liverpool und Birmingham waren ähnliche Anlagen im Entstehen begriffen. Zu Recht sah man in England, dass die große Unterstützung Frankreichs für das gemeinsame europäische Projekt eher darauf zurückzuführen war, dass bis jetzt weder technologisches Knowhow noch in der Praxis funktionierende Anlagen zur angestrebten Atomkernforschung vorhanden waren.

Gründe für die britische Ablehnung der Idee eines gemeinsamen europäischen Labors für Teilchenphysik:

- Die englische Nuklearphysik war der auf dem Kontinent existierenden weit überlegen, und man wollte auf diesem wichtigen Forschungsgebiet führend bleiben: »Wenn die Franzosen ein For-

schungslabor für Nuklearphysik haben wollen, warum machen sie dann nicht mit irgendeiner daran interessierten Nation weiter?» (Skinner)

- Innenpolitische Überlegungen: In England zog man es nach dem 2. Weltkrieg weitgehend vor, mit existierenden, einheimischen Instituten zusammenzuarbeiten und nicht mit neuen, internationalen Institutionen. Der Faktor Tradition und Scheu vor fremden, nichtbritischen Kräften scheint hier Hauptmotivation gewesen zu sein.
- Die Labour Party hatte die Wahlen 1945 überraschenderweise gegen Winston Churchill gewonnen. Labour war europäischen Ideen und europäischer Politik gegenüber sehr skeptisch. Darüber hinaus wollte man das während des Kriegs entstandene spezielle Verhältnis zu den USA aufrechterhalten, gerade was die nationalen Forschungen im Nuklearbereich betraf.

Die Idee nimmt Gestalt an

Die nächste Generalkonferenz der UNESCO fand im Juli 1951 in Paris statt. Während der gesamten Konferenz favorisierte man deutlich den Auger-Plan vor dem Vorschlag aus Großbritannien und Dänemark. Die mit den UNESCO-Geldern finanzierte Studiengruppe (Cornelis Bakker, Odd Dahl, Frank Goward u. a.) hatte zwischenzeitlich – und mit englischer Hilfe (!) – die bestehenden Pläne überarbeitet. Man hatte sich in Anbetracht der hohen Kosten darauf geeinigt, nicht sofort den größten Teilchenbeschleuniger der Welt bauen zu wollen. Nach den Plänen der Studiengruppe sollten jetzt zwei kleinere Maschinen gebaut werden, als mögliche Standorte wurden Kopenhagen und Genf genannt. Darüber hinaus schlug man die Gründung einer Interimsorganisation vor, die die erforderlichen Konstruktions- und Budgetpläne für das Laboratorium ausarbeiten sollte, um das Projekt der UNESCO in angemessener Zeit wieder vorlegen zu können.

Niels Bohr (1885–1962, Nobelpreis für Physik 1922) war bisher nicht an Treffen des UNESCO-Kreises unter Auger beteiligt gewesen. Am 9. Juni 1950, kurz nach der Konferenz von Florenz, hatte Bohr jedoch in einem offenen Brief an die UN Stellung bezogen und seine Skepsis und Hoffnung zum Ausdruck gebracht, »in vollkommen

eigener Verantwortlichkeit und ohne Hinzuziehen irgendeiner Regierung«:

»Ich finde es schwierig die großen Hoffnungen nachzuvollziehen, dass der Fortschritt der Wissenschaften eine neue Ära harmonischer Kooperation zwischen den Nationen hervorbringen wird. [...]

Das Ideal einer offenen Welt mit gemeinsamem Wissen über die sozialen Bedingungen und technischen Unternehmungen, auch militärischer Art, in jedem Land scheint nur eine weit entfernte Chance in der momentanen Situation der Welt zu sein. [...]

Dennoch wird eine solche Beziehung zwischen den Nationen offensichtlich nötig sein, um den Fortschritt unserer Zivilisation in gemeinsamer Zusammenarbeit zu erreichen; sogar eine gemeinsame Erklärung zur Verpflichtung auf einen solchen Kurs würde einen sehr günstigen Hintergrund schaffen.«

Im Spätsommer 1951 reiste Pierre Auger zu Niels Bohr nach Kopenhagen, um den Doyen der europäischen Nuklearphysik »mit ins Boot« zu holen. Bohr äußerte prinzipiell Bedenken gegen die europäische Initiative: Einerseits sah er die finanziellen Dimensionen eines großen Beschleunigerprogramms und bezweifelte dessen Finanzierbarkeit. Andererseits könne ein gemeinsames internationales Labor ganz natürlich aus einer bestehenden Institution heraus wachsen – Bohr meinte damit das von ihm geleitete, seit 1921 bestehende Institut für Theoretische Physik in Kopenhagen. Während des Kriegs war ein Erweiterungsbau entstanden, der sich als Sitz des zukünftigen europäischen Forschungszentrums anbieten würde.

Augers Interimsgruppe kam in der Standortfrage zu einem weiteren Modell der zukünftigen europäischen Zusammenarbeit. Auf einem Treffen im November 1951 in Paris kursierte der Vorschlag, die einzelnen Forschungsgruppen an ihren jeweiligen Heimatinstituten und Universitäten weiterarbeiten zu lassen: Bakker in den Niederlanden, Kowarski in Frankreich, Dahl in Norwegen, Bohr in Kopenhagen und Amaldi in Rom. Wie unpraktisch dieser Vorschlag in seiner Umsetzung in die Praxis geworden wäre, kann man sich heute vielleicht am besten angesichts des tatsächlich existierenden CERN vorstellen: Das CERN würde es nicht geben.

Trotz aller bisherigen Bedenken schien nun gerade von britischer Seite Bewegung in die Diskussion zu kommen. Nach dem Treffen Augers mit Bohr versuchte James Chadwick die Ideen Bohrs – ein

von Großbritannien und dem Niels-Bohr-Institut gemeinsam betriebenes Labor mit Sitz in Kopenhagen – bei seinen Kollegen in England populär zu machen. Die Reaktionen waren jedoch verhalten, wollte man doch die einheimischen Anlagen (Harwell, Glasgow etc.) weiter betreiben und eher noch ausbauen als eine neue ausländische Großanlage aufzubauen. Sir George Thomson (1892–1975; Nobelpreis für Physik 1937) zeigte hingegen Interesse an der Auger/UNESCO-Gruppe. Thomson, Professor am Imperial College London wurde daraufhin eingeladen, an der nächsten Sitzung der Interimsgruppe als Beobachter teilzunehmen.

Die UNESCO-Konferenz im Dezember 1951

Die vom 17. bis 21. Dezember 1951 in Paris stattfindende 6. UNESCO-Generalkonferenz ist vielleicht die inhaltlich wichtigste in der ereignisreichen Vorgeschichte des CERN. Sie wurde von Vertretern aus 21 Staaten besucht, brachte zwar keine endgültigen Entscheidungen, aber man erzielte große Übereinstimmungen für den Bau eines neuen, paneuropäischen Labors für Teilchenphysik, und das Projekt erhielt konkrete Finanzierungszusagen.

Der Vertreter Italiens, Bruno Ferretti (1913–2010), ein ehemaliger Mitarbeiter des 1938 in die USA ausgewanderten Enrico Fermi und ein enger Freund Edoardo Amaldis, brachte während der Konferenz einen konkreten Plan für »ein europäisches Labor für Nuklearphysik auf der Basis eines großen Beschleunigers für Elementarteilchen« ein, der heftig und kontrovers diskutiert wurde. Sir George Thomson, der taktisch wenig überraschend rein britische Interessen vertrat, wies in seinem Redebeitrag darauf hin, dass Großbritannien seit Kriegsende, in »mageren Zeiten«, bereits große Summen in die geplante Art von Forschung und in den Bau großer Maschinen investiert habe. Thomson schlug deshalb vor, anstatt eines teuren Neubaus für die europäische Forschung die im Bau befindliche Synchrotron-Anlage in Liverpool (England) für weitere, gemeinsame Forschungen zu nutzen. Der französische Delegierte, Francis Perrin, widersprach; der Neubau eines gemeinsamen Labors sollte in Angesicht der europäischen Lage nicht verzögert werden, sonst würden junge Forscher reihenweise in die USA abwandern.

Der deutsche Vertreter auf der Pariser Konferenz war Werner Heisenberg (1901–1976, Nobelpreis für Physik 1932). Er war wegen seiner Rolle im zweiten Weltkrieg nicht unumstritten. Als Direktor des

Kaiser-Wilhelm-Instituts für Physik hatte er an führender Stelle am Uranprojekt der Nationalsozialisten mitgearbeitet. Auch Heisenbergs persönliches Verhältnis zu Niels Bohr war nicht unbelastet. Heisenbergs ominöser Besuch in Kopenhagen während des Kriegs im September 1941 hatte bei beiden Wissenschaftlern unterschiedliche Erinnerungen hinterlassen. Es existieren keine Aufzeichnungen über dieses historische Treffen, bei dem Heisenberg Bohr die Mitarbeit am deutschen Projekt angeboten haben soll. Bohr verließ wenig später, 1943, das von Deutschland besetzte Dänemark Richtung England und USA, um als Berater am amerikanischen Atombombenprogramm tätig zu werden. Erst viel später (1958) äußerte sich Bohr über das Treffen mit Heisenberg – zu dessen Vorschlägen er damals geschwiegen habe, denn »es ging um ein großes Thema der Menschheit, in dem wir, obwohl persönlich befreundet, Vertreter zweier Seiten waren, die im mörderischen Kampf miteinander lagen.«

Heisenberg, ein früherer Assistent Bohrs, war in Nachkriegsdeutschland Direktor des Max-Planck-Instituts für Physik in Göttingen geworden. Auf der Konferenz 1951 in Paris war Heisenberg offizieller Vertreter der noch jungen Bundesrepublik Deutschland – und einem gemeinsamen, aufwändigen europäischen Kernphysiklabor durchaus skeptisch gegenüber eingestellt. Heisenberg wies auf die finanzielle Lage Deutschlands und die ihn bis jetzt wenig überzeugende Planungslage hin:

»Unser Land ist in einer extrem schlechten finanziellen Situation. Ich bin von meiner Regierung nicht damit beauftragt worden, irgendeine Art von finanzieller Zusage zu machen. Darüber hinaus sollte man nicht hingehen und einfach eine der großen amerikanischen Maschinen kopieren.«

Im Lauf der Pariser UNESCO-Konferenz wurde trotz aller Gegensätze und Widersprüche klar, dass die Mehrheit der Beteiligten für die Gründung eines gemeinsamen europäischen Labors war. Im Schlussdokument vereinbarten die 12 offiziell teilnehmenden Nationen, den von der niederländischen Delegation eingebrachten Vorschlag zur Bildung einer *Interims*organisation zur Errichtung eines zukünftigen europäischen Labors anzunehmen. Mit diesem formellen Akt hatte das große europäische Projekt für Nuklearphysik einen gewaltigen, offiziellen Sprung nach vorn getan; ein eingängiger Name für das neue Labor fehlte allerdings noch. Die Initiative firmierte momentan

unter der – sicherlich zu langen und umständlich präzisen – Bezeichnung *Council of Representatives of European States for Planning an International Laboratory and Organizing other Forms of Co-operation in Nuclear Research* (Rat der Repräsentanten europäischer Staaten zur Planung eines internationalen Labors und anderer Formen der Kooperation in der Nuklearforschung).

Mit dem Schlussdokument der Pariser Konferenz 1951 wurde aus einer freien wissenschaftlichen Initiative ein ernsthaft diskutiertes Realisierungskonzept, das Unterstützung von der UNESCO und auch auf den nationalen Ebenen hatte. Am Ende der Konferenz waren Frankreich, die Schweiz, Italien, Belgien und Jugoslawien bereit, dem Projekt 150 000 Dollar zur weiteren Vorbereitung und Planung zur Verfügung zu stellen. Das Potenzial zur Realisierung des ambitionierten europäischen Konzepts wuchs damit ungemein – und selbst die internationale Presse hatte angebissen. Die New York Herald Tribune schrieb am 21.12.1951 unter der Überschrift »Europe Laboratory May Get Five-Billion-Volt Cyclotron«, dass man nun ein europäisches Atomforschungslabor mit einem 5-GeV-Cyclotron zu bauen gedachte, das in seiner Leistung dem Bevatron in Berkeley (USA) entsprach. Der besonders für die US-amerikanische Leserschaft der Zeitung wichtige Teil der Meldung war: Man wolle mit der neuen Maschine zur Erforschung des Atomkerninneren auf keinen Fall militärischen Nutzen erlangen.

UNESCO-Konferenz Dezember 1951 in Paris

- Konkretes Konzept (Ferretti) für einen »großen Beschleuniger für Elementarteilchen«.
 - 12 Teilnehmerstaaten: Belgien, Dänemark, Frankreich, Großbritannien, Griechenland, Italien, Niederlande, Norwegen, Schweden, Schweiz, Bundesrepublik Deutschland, Jugoslawien.
 - Die von der UNESCO beauftragte Interimsorganisation erhält finanzielle Zusagen. Vereinbart wird eine Vorbereitungszeit von 12 bis 18 Monaten, um die Pläne für die Beschleunigeranlagen auszuarbeiten und fertigzustellen.
-

Geburtsstunde des CERN

Zwei Monate später, auf einer weiteren *UNESCO-Tagung vom 12. bis 15. Februar 1952 in Genf*, bekam die ehemalige Interimsorganisation ihre original französische Bezeichnung *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire* (Europäischer Rat für Nuklearforschung), abgekürzt *CERN*. Mit diesem politischen Akt erhielt das europäische Großprojekt endlich eine offizielle Form und einen offiziellen Namen – das Akronym CERN war geboren.

Der 15.2.1952 ist das offizielle »Geburtsdatum« des CERN.



Erstes Treffen des CERN-Rats im Februar 1952 in Genf: Sir Ben Lockspeiser, Edoardo Amaldi, Felix Bloch, Lew Kowarski, Cornelis Jan Bakker, Niels Bohr (© 1952 CERN, CERN-HI-5201001).

Die Vereinbarung von Genf wurde von der Bundesrepublik Deutschland, den Niederlanden und Jugoslawien sofort angenommen; in acht weiteren Staaten (Frankreich, Belgien, Italien, Norwegen, Griechenland, Schweden, Schweiz, Dänemark) musste der Plan in den kommenden Monaten noch von den jeweiligen Parlamenten ratifiziert werden. Das auf einer eigenen Nuklearforschungspolitik beharrnde Großbritannien enthielt sich der Unterschrift – trotzdem hielten sich die Briten alle Türen offen, indem sie ihren nicht unerheblichen Beitrag zum Budget auch in Folge regelmäßig leis-

teten. Dänemark beharrte weiterhin auf dem Kopenhagener Niels-Bohr-Institut als Standort, während sich unter den Delegierten eine Mehrheit für einen anderen Ort zu entwickeln begann: Genf.

CERN hatte durch die Genfer Vereinbarung einen gut ausgestatteten Budgetrahmen für die weitere Vorbereitung, immerhin 2 081 945 Schweizer Franken (ca. 487 000 US-Dollar). Die einzelnen Staaten verpflichteten sich, folgende Beitragszahlungen an den CERN-Rat zu leisten: Belgien 137 045 Franken, Dänemark 60 300 Franken, Frankreich 555 900 Franken, Bundesrepublik Deutschland 332 500 Franken, Italien 213 000 Franken, Niederlande 61 100 Franken, Norwegen 40 300 Franken, Schweden 98 900 Franken, Schweiz 138 000 Franken, Großbritannien 364 400 Franken und Jugoslawien 52 000 Franken.

Um die überschwängliche Stimmung des Tages auszudrücken, dankten Pierre Auger, Edoardo Amaldi, Niels Bohr und mehr als ein Dutzend begeisterter Nuklearphysiker – unter dem offiziellen Briefkopf der UNESCO – dem Spiritus Rector des CERN, dem Amerikaner Isidor Rabi mit einem dem Ereignis angemessenen Enthusiasmus und intelligentem Humor:

»Wir haben gerade den Vertrag unterzeichnet. Hiermit zeigen wir die offizielle Geburt des Projekts an, dessen Vater Sie in Florenz waren. Mutter und Kind sind wohlauf. Die Ärzte senden Ihnen ihre Grüße.«

In your reply, please refer to: En répondant, veuillez reppeter N°	Genève, 15 février 1952
Professor I. Rabi, Columbia University, New York, N.Y.	
We have just signed the Agreement which constitutes the official birth of the project you fathered at Florence. Mother and child are doing well, and the Doctors send you their greetings.	

Nachricht des CERN-Rates an Isidor Rabi vom 15.2.1952 (© 1952 CERN).

Strahlen aus dem All

Werner Heisenberg unterzeichnete die Genfer Vereinbarung als Vertreter der Bundesrepublik Deutschland, die mit ihrer Aufnahme in die CERN-Organisation endlich wieder eine geachtete Rolle im in-

ternationalen Wissenschafts-Business zu spielen begann. Das große deutsche Magazin »Der Spiegel« brachte ein Foto Heisenbergs auf der Titelseite und bescheinigte dem damals 51-Jährigen große Willenskraft und Konzentrationsfähigkeit, die ihn zu einem »der klarsten Denker der lebenden Generation im Stile des Albert Einstein« mache.

Heisenberg hatte schon im Frühsommer 1925 – während der Sturm- und Drangzeit der Quantenphysik – als 24-Jähriger die Grundlagen der Quantenmechanik gelegt. Heisenbergs Unschärferelation besagt, dass man Ort (Zeit) und Geschwindigkeit (Impuls) eines Teilchens nicht gleichzeitig absolut genau bestimmen kann. Heisenberg strich die Bohrschen Bahnen innerhalb des Atoms und deutete sie um in Frequenzen und Wahrscheinlichkeiten (Unschärfe). Er schuf damit die theoretische Grundlage für die Matrix der modernen Quantenphysik. Heisenbergs Arbeiten zur Quantentheorie wurden 1932 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet. Albert Einstein hatte hinsichtlich dieser Unschärfe eines Teilchens eine ganz andere Meinung. Einstein schrieb 1926 an seinen Freund Max Born:

»Eine innere Stimme sagt mir, dass das¹⁾ noch nicht der wahre Jakob ist. [...] Jedenfalls bin ich überzeugt, daß der Alte nicht würfelt.«

Heisenberg selbst war längst klar, dass die weitere Erforschung der inneren Strukturen des Atoms nur mit großen Kollisionsmaschinen möglich sein würde. Er hielt die Erforschung der kosmischen Strahlung, mit der er sich seit 1946 intensiv beschäftigt hatte (»Strahlen aus dem All«, *Der Spiegel* 24/1952) für »das ideale Experimentierfeld des Atomphysikers.« Sollte die europäische Kernphysik in Zukunft sinnvoll betrieben werden, dann nur auf diesem Feld – was nur mit dem Bau großer Beschleunigeranlagen wie am CERN möglich sein würde.

Vom 5. bis 8. Mai 1952 traf sich der neu gebildete CERN-Rat zu seiner ersten offiziellen Sitzung in Paris. Inzwischen war man hauptsächlich mit der Ausarbeitung von Plänen und praktischen Vorbereitungen beschäftigt gewesen. Die Standortfrage war allerdings weiterhin ungeklärt, es wurden neben Genf und Kopenhagen auch das niederländische Arnheim, das englische Liverpool oder Paris diskutiert.

1) Heisenbergs Quantenmechanik

Auf der Tagung im Mai 1952 in Paris wurden wichtige personelle Entscheidungen getroffen:

- Erster Generalsekretär der Organisation wurde der Italiener Edoardo Amaldi.
- Direktor der Proton-Synchrotron-Gruppe wurde der Norweger Odd Dahl.
- Direktor der Gruppe Synchro-Cyclotron wurde der Niederländer Cornelis Jan Bakker.
- Labordirektor wurde der Franzose Lew Kowarski.
- Direktor der Theoriegruppe wurde der Däne Niels Bohr.

Im Juni 1952 traf sich die CERN-Vorbereitungsgruppe in Kopenhagen. Für die Atomphysiker gab es wichtige Neuigkeiten: Am Cosmotron in Brookhaven hatte man gerade erfolgreich die ersten Tests durchgeführt. Heisenberg und der Kreis um Niels Bohr forderten nun den baldigen Bau des geplanten kleineren Beschleunigers (Synchro-Cyclotron), drängten aber als Standort weiterhin auf Kopenhagen. Da man innerhalb der Auger-Gruppe aber unbedingt einen stärkeren Beschleuniger als die Amerikaner in Brookhaven zur Verfügung haben wollte, wurde die PS-Gruppe (Proton-Synchrotron) unter der Leitung von Odd Dahl nun damit beauftragt, die Energieleistung des neu zu bauenden großen Beschleunigers mit »bis zu 20 GeV« (Gigaelektronenvolt) anzusetzen – erst in Bereichen über 10 GeV rechnete man damit, sinnvoll Forschung mit Mesonen betreiben zu können. Dahl war klar, dass man die bisherigen Pläne für die große Maschine stark verändern musste, denn das bisherige Design war nach dem Vorbild des Cosmotrons in Brookhaven entstanden. Doch Odd Dahl liebte neue Aufgaben. Zusammen mit seinem Vize Frank Goward, der oft aus dem britischen Harwell in das von Dahl geleitete Christian-Michelsen-Institut (CMI) ins norwegische Bergen kam, stellte er sich der Herausforderung eine Anlage zu bauen, die mehr Energie für die Beschleunigung von Atomteilchen erzeugen konnte als die amerikanische – zudem boten die Amerikaner bereitwillig an, ihnen dabei zu helfen. Dieser fruchtbare akademische Wettkampf zwischen Amerika und Europa um die Energieleistung der Maschinen und innerhalb der einzelnen Bereiche der Kernphysik – immer auf Augenhöhe und immer mit gegenseitiger Hilfe und Unterstützung – wird die Geschichte des CERN bis heute begleiten.

Im August 1952 reisten Odd Dahl, Frank Goward und Rolf Wideroe, Teilchenbeschleuniger-Pionier und Betatron-Experte, nach Brookhaven, um die Funktionsweise des inzwischen in Betrieb genommenen Cosmotrons zu studieren. M. Stanley Livingston (1905–1986), der maßgeblich an der Errichtung des BNL, des Brookhaven National Laboratory beteiligt gewesen war, empfing die europäische Delegation mit großer Offenheit und bereit, auch über Probleme zu sprechen. Im gemeinsamen Gespräch erlebten die Europäer eine Überraschung: Die Amerikaner hatten in der Zwischenzeit herausgefunden, dass sich durch die veränderte Anordnung der Magneten (alternating gradient (AG) principle) der Teilchenstrahl (beam) weitaus besser fokussieren ließ als mit dem noch beim Cosmotron angewendeten Prinzip. Die ernüchterten Europäer mussten feststellen, dass ihr eigener Plan, der nach dem Prinzip der amerikanischen Brookhaven-Anlage entwickelt worden war, inzwischen technisch überholt war. Auf der anderen Seite wussten sie nun auch wie eine Verbesserung der Leistung technisch möglich war: durch die Fokussierung des Teilchenstrahls mittels Verbesserung des Designs der benutzten Magneten. Nun brauchte man erst recht die Mitarbeit von Leuten, die die benötigten Magneten auch bauen konnten. Gründliche Erfahrung im Bau von Magneten für Teilchenbeschleuniger hatten in Europa aber vor allem die Engländer – und die anderen Länder so gut wie gar nicht.

Einige Monate später, vom 4. bis 7. Oktober 1952, wurde die 3. Konferenz des CERN-Gremiums in Amsterdam durchgeführt. Durch die neueste Entwicklung innerhalb der Beschleuniger-Technologie (Fokussierung) veranlasst, bekam die Gruppe Dahl (PS) wieder eine neue Aufgabe: Der große CERN-Beschleuniger (PS) sollte jetzt eine Energie von 25 GeV erzeugen können – bei gleichbleibenden Kosten. In Amsterdam wurde endlich auch die Standortfrage entschieden. Die Schweiz hatte dem bis jetzt noch heimatlosen CERN ein großes Stück Land in Meyrin, einem kleinen Ort in der Nähe von Genf als Standort zur Errichtung des Labors angeboten. Genf hat den Vorteil, dass die Stadt sehr zentral innerhalb Europas liegt und deshalb sehr gut von überall her zu erreichen ist. Außerdem hatten sich seit der Gründung des Internationalen Komitees vom Roten Kreuz im Jahr 1863 viele internationale Organisationen in Genf angesiedelt, zum Beispiel die internationale Arbeitsorganisation ILO, die UNO mit ihrem imposanten Palais der Nationen, oder ISO, das internationale Institut für Normung. Die in Amsterdam bestimmte Wahl das Stand-

orts Genf wurde im Juni 1953 durch ein gemeinsames Referendum mit dem Schweizer Kanton Genf endgültig besiegt.

Anfang Dezember 1952 reiste der Generalsekretär des provisorischen CERN-Rates, Edoardo Amaldi, nach England, um mit seinen britischen Kollegen über die konkrete weitere Zusammenarbeit zu reden. In London traf sich Amaldi mit Sir Ben Lockspeiser, dem Chef des Department of Scientific and Industrial Research (DSIR) und späteren CERN-Direktor sowie mit dessen Mitarbeiter, dem jungen Physiker John Adams (1920–1984). Adams hatte wie viele seiner jungen Kollegen in der kriegsentscheidenden englischen Radarentwicklung gearbeitet und nach 1945 wichtige Präzisionstechnologien in den Bau von Teilchenbeschleunigern eingebracht. Darüber hinaus hatten sich Adams und seine Kollegen schon mit der Verbesserung der beim Cosmotron angewendeten Technologie befasst. Die Optimierung der bisherigen Arbeitsweise durch stärkere Fokussierung des Teilchenstrahls würde die Trefferquote des neuen europäischen Beschleunigers auch nach englischen Berechnungen deutlich verbessern.

Cockcroft und Lockspeiser waren davon überzeugt, dass die entscheidende Figur innerhalb der englischen Wissenschaftspolitik, Lord Cherwell (eigentlich Frederick Lindemann, 1886–1957), einer Zusammenarbeit mit CERN zustimmen und dem Projekt politisch zur Seite stehen würde. Lord Cherwell, wissenschaftlicher Berater des inzwischen wiedergewählten Premier Winston Churchill, lehnte jedoch entgegen aller Voraussicht die von Amaldi unterbreitete Idee rundheraus ab; er hielt die Konstruktion des internationalen Projekts nicht für tragfähig. Cherwell lud Amaldi dennoch zu einem Besuch des Nuklearlabors in Harwell ein, wo Amaldi mit jungen britischen Forschern über deren Pläne sprechen wollte. Warum es auf politischer Ebene zu dieser – vorläufigen – deutlichen Ablehnung kam, war weder Amaldi noch seinen britischen Kollegen klar. Möglicherweise wollte man am obersten Ende der politischen Hierarchie noch abwarten, ob sich nicht doch ein englischer Alleingang in Sachen Kernphysik ergeben würde.

Auf der Fahrt in das drei Autostunden westlich von London gelegene Harwell unterhielt sich Amaldi angeregt mit seinem Fahrer, John Adams. John Adams hatte an der Konstruktion des Synchrocyclotrons in Harwell – noch heute ein Technologiezentrum von Weltklasse – entscheidenden Anteil gehabt, doch nun drängte es ihn zu neuen Aufgaben. Amaldi: »Er war in jeder Hinsicht besonders

und er war nur zu gerne dazu bereit, am CERN zu arbeiten.« In Harwell traf Amaldi auf eine junge Generation immens motivierter Forscher, und vielen von ihnen war offenbar an einer zukünftigen europäischen Zusammenarbeit sehr gelegen. Diese jungen Briten (neben Adams Frank Goward, Jim Cassels, Donald Fry u. a.) waren es gewohnt präzise und kontinuierlich an schwierigen, weil innovativen Großprojekten zu arbeiten und dabei ihre Maschinen selbst zu bauen. Genau diesen Enthusiasmus und diese Expertise war das, was CERN jetzt brauchte – und heute immer noch braucht. Amaldi: »All die jungen Leute, die ich in Harwell traf, waren sehr am neuen Fokussierungsprinzip interessiert und daran, wie man es praktisch anwenden könnte. Diese Idee lag klar im Zentrum ihres Denkens.« Adams fand seine Idee, den neuen Beschleuniger nach dem neuartigen Fokussierungsprinzip (alternating gradient principle) zu bauen zwar einen »abenteuerlichen und mit hohem Risiko behafteten Weg – doch auch mit hohem Gewinn«. Durch die neue Methode würde der CERN-Beschleuniger viel leistungsstärker ausgelegt werden können als das Cosmotron in Brookhaven.

Die CERN-Konvention von 1953

Am 29. Juni 1953 begann die 6. Konferenz des CERN in Paris. Nach ihrem Ende, am 1. Juli 1953, unterzeichneten die Vertreter zwölf europäischer Staaten die Gründungsurkunde (*CERN Convention*) des CERN, die in Artikel 2 die bis heute gültigen Ziele der Organisation festschreibt:

»Die Organisation hat die Zusammenarbeit europäischer Staaten auf dem Gebiet der rein wissenschaftlichen und grundlegenden Kernforschung sowie der hiermit wesentlich zusammenhängenden Forschung zum Ziel. Die Organisation befasst sich nicht mit Arbeiten für militärische Zwecke; die Ergebnisse ihrer experimentellen und theoretischen Arbeiten werden veröffentlicht oder anderweitig allgemein zugänglich gemacht.«

CERN Gründungsstaaten sind die Schweiz, Frankreich, Belgien, Dänemark, Bundesrepublik Deutschland, Griechenland, Vereinigtes Königreich, Italien, Jugoslawien, Niederlande, Norwegen und Schweden. Das Vereinigte Königreich hatte zwar bis dahin nur den Status des Beobachters innegehabt, war aber jetzt durch die Unterzeich-

nung der Konvention volles Mitglied geworden. Die Bundesrepublik Deutschland wurde durch die aktive Beteiligung an der Gründung des CERN zum ersten Mal nach dem Ende des 2. Weltkriegs wieder ebenbürtiger, anerkannter Partner der europäischen Nationen.

CERN Council Meeting, Oktober 1953:

»Das neue Labor sollte in seiner Forschungsausrichtung dem Forschungslabor einer Universität gleichen, das den freien Fluss der Graduierten ermöglicht. Die Mehrzahl der Stellen sollte nur kurz besetzt werden, um so den Fluss der Wissenschaftler durch das Labor zu ermöglichen, was der Vermeidung eines Stillstandes dient. Diese Maßnahme wird darüber hinaus die Anzahl der Wissenschaftler erhöhen, die die einmaligen Möglichkeiten des Labor nutzen können. Die Organisation dient im höchstmöglichen Maß²⁾ der Zusammenarbeit mit anderen Laboren und Instituten aller Mitgliedsstaaten.«

Um die vielen hochgesteckten Ziele verwirklichen zu können, brauchte CERN neben dem wissenschaftlichen Knowhow und dem unabdingbaren Enthusiasmus auch Geld, viel Geld. Die finanziellen Erfordernisse wurden für den Budgetzeitraum von sieben Jahren für den Bau der Laboratorien, Equipment, Verwaltung und Unterhalt mit 130 Millionen Schweizer Franken berechnet. Diese Mittel sollten von den jeweiligen Mitgliedsstaaten aufgebracht werden.

»... je nach Anteil, basierend auf dem jeweiligen Nettoeinkommen jedes Staates. Die Anteile werden alle drei Jahre überprüft [...] aber man ist sich darüber einig, dass kein einzelner Staat mehr als 25 Prozent des Gesamtbudgets aufzubringen hat. Die Anteile für die erste Periode – bis zum Ende des Jahres 1956 – werden wie folgt festgelegt ... «

Durch die Unterschrift unter die CERN-Konvention verpflichteten sich die teilnehmenden Staaten bindend ihre Anteile am Gesamtbudget zu leisten, obwohl die geschätzten Gesamtkosten gegenüber dem ersten Budgetansatz von 1952 bereits um 50 Prozent gestiegen waren. Die Fragen des Budgets waren auch innerhalb des CERN-Rats diskutiert worden, besonders unter dem Gesichtspunkt: Ist das Budget etwa zu hoch? Diese Finanzierungsfrage wird am CERN in allen internen und öffentlichen Diskussionen bis heute diskutiert. In der

2) »... to the fullest extent ... «

Anfangsphase, 1953, klang das, wie immer humorvoll und in die Zukunft schauend, so:

»Sollte es sich herausstellen, dass die vorgeschlagene Höhe der Aufwendungen und die laufenden Kosten über die europäischen Möglichkeiten gehen sollten, dann müssten wir solche Dinge wie die Anzahl der Experimental-Teams [...] oder einige der unterstützenden theoretischen oder experimentellen Aktivitäten streichen oder in einem größeren Maße auf externe Institutionen verlagern. Keine dieser Möglichkeiten ist unmöglich; aber sollten wir unseren Schätzungen glauben wollen, dann führt jede der genannten Möglichkeiten zu einer Situation, in der sehr teures und wahrscheinlich sehr vielversprechendes, fundamentales Equipment nicht voll genutzt werden kann. Wir hoffen, sollte die Zeit der Entscheidung kommen, dass diejenigen, die unsere Pläne in die Realität umzusetzen haben, wissen, wie man auf den Boden der Realität kommt ohne gleich zu Fuß gehen zu müssen.«

Der CERN-Zeitplan sah vor, dass das Synchro-Cyclotron im Lauf des Jahres 1957 erste Messergebnisse liefern würde. Die große Maschine, das 25-GeV-Proton-Synchrotron, sollte innerhalb von 7 Jahren fertiggestellt werden, das heißt im Jahr 1960 verfügbar sein. Jede der beiden Maschinen sollte mit 6 bis 10 Spezialistenteams arbeiten, jede Maschine war für eine Laufzeit von 15 Stunden pro Tag ausgelegt.

Aufbau des CERN

Zur Vorbereitung der umfangreichen Bauarbeiten auf dem CERN-Gelände in Meyrin siedelte sich im Herbst des Jahres 1953 die insgesamt zwölfköpfige PS-Gruppe in Genf an, zuerst in Räumen der Genfer Universität und später in eilig zusammengezimmerten Holzbaracken am Genfer Flughafen in Coitrin. Inzwischen hatte John Adams in einer Reihe vielbeachteter Artikel die aufgekommenen Zweifel am Fokussierungsprinzip des CERN-Proton-Synchrotron beseitigen können, sodass nun der Zeitpunkt gekommen war, die Pläne in die Wirklichkeit umzusetzen. Die beiden amerikanischen Physiker John und Hildred Blewett kamen für die Dauer eines Jahres nach Genf, um der PS-Gruppe mit ihren Erfahrungen beim Aufbau der Brookhaven-Anlage zu helfen.

Die wichtigsten Entscheidungen über das Design des neuen Proton-Synchrotron wurden innerhalb der PS-Gruppe vom Parameterkomitee



Beginn der CERN-Bauarbeiten am Standort Meyrin (© 1954 CERN, CERN-HI-5405001).

tee getroffen; hier hatte John Adams durch seine klare, präzise und gründliche Arbeitsweise großen Einfluss. Zusammen mit seinem kongenialen britischen Kollegen Mervyn Hine (»die furchtbaren Zwillinge«) führten Adams Arbeitssitzungen oftmals zu großartigen technologischen Weiterentwicklungen. Im Parameterkomitee herrschte gerade durch die Persönlichkeit von John Adams eine Atmosphäre sachlichen Forschens, die genaueste Untersuchungen, Analysen und Veränderungen ermöglichte und den effizienten Fortschritt am CERN in Zukunft kennzeichnen sollte.

Am 17. Mai 1954 begannen die Bauarbeiten auf dem CERN-Gelände in Meyrin, nachdem einige Tage zuvor auch Frankreich die CERN-Konvention unterschrieben hatte. Wo bis jetzt grüne Wiesen und Ackerland waren, sollte innerhalb von fünf Jahren die komplexe wissenschaftliche Forschungsanlage des CERN entstehen. Tragisch: Die PS-Gruppe, zuständig für Konstruktion und Bau des großen Ringbeschleunigers, verlor durch den plötzlichen Tod von Frank Goward seinen stellvertretenden Leiter und »Mann vor Ort«. Odd Dahl, bisher offizieller Chef der PS-Gruppe, zog sich daraufhin vollständig in sein Institut nach Bergen (Norwegen) zurück, um dort den Halden-Reaktor in der Nähe von Oslo aufzubauen. John Adams übernahm nun im Alter von erst 34 Jahren die Leitung der PS-Division. Adams Arbeit würde das CERN für die kommenden 20 Jahre und darüber hinaus formen. Stil und Effizienz waren das Markenzeichen Adams, und im Allgemeinen und Besonderen war er davon überzeugt:

»Gemeinsame internationale Unternehmungen verhindern Kriege.«

Der gebürtige Schweizer Felix Bloch (1905–1983) hatte bei Wolfgang Pauli in Zürich und bei Werner Heisenberg in Leipzig studiert. Ein Stipendium hatte Bloch sogar einen einjährigen Studienaufenthalt bei Niels Bohr in Kopenhagen ermöglicht. Der aus einer jüdischen Familie stammende Bloch musste im Frühjahr 1933 Deutschland Richtung USA verlassen, wo er an der Stanford University und in Los Alamos über die Eigenschaften von Neutronen geforscht und 1946 die Kernspinresonanz entdeckt hatte, eine Teilcheneigenschaft, die heute in der Medizin für die bildliche Darstellung von Geweben genutzt wird. »Für die Entwicklung neuer Methoden zur nuklearmagnetischen Präzisionsmessung« hatte Bloch 1952 den Nobelpreis für Physik erhalten.

Das während der Sitzung im Juni 1953 (CERN Convention) gebildete Findungskomitee hatte sich nach Vorschlag von Niels Bohr schnell auf Felix Bloch als einzigen Kandidaten für den Posten des CERN-Generaldirektors geeinigt. Felix Bloch war Fachmann für die Fokussierung des Teilchenstrahls in Beschleunigeranlagen; damit war er gerade für die Aufbauphase der neuen CERN-Anlage genau der richtige Mann. Dem Komitee war sicherlich bewusst, dass Bloch nur für einen begrenzten Zeitraum von maximal zwei Jahren zur Verfügung stehen würde, denn Bloch wollte auf jeden Fall in die USA nach Stanford zurückgehen. Möglicherweise nominierte das Interim-CERN absichtlich keinen Kandidaten aus den eigenen Reihen, denn vielleicht wollte man sich durch die Nominierung Blochs Zeit für die Suche eines späteren Generaldirektors aus den eigenen Reihen lassen.

Das Interim-CERN wurde am 29. September 1954 aufgelöst, denn inzwischen hatte das vertraglich vorgeschriebene Minimum von sieben Staaten die Vereinbarung (CERN Convention) ratifiziert. Man war sich in der Zwischenzeit darüber klar geworden, dass für die schnell gewachsene Organisation die bisher geführte Bezeichnung Rat (Conseil) auf Dauer unzutreffend sein würde. Der offizielle Name wurde daher in *European Organization for Nuclear Research* (Europäische Organisation für Nuklearforschung) geändert; man behielt aber trotzdem, vielleicht etwas verwirrend für spätere Generationen, die einprägsamen und inzwischen international etablierten Initialen CERN bei.

Die Entstehung des CERN in 3 Phasen

- *Vorbereitungsphase*: Dezember 1949 Lausanne Konferenz bis Februar 1952 Geneva Agreement
- *Planungsphase*: Februar 1952 bis Juli 1953 Paris (Conseil Européen de Recherche Nucléaire)
- *Interimsphase*: Juli 1953 CERN Convention bis 29. September 1954 Genf: European Organization for Nuclear Research

Personalien

Felix Bloch wurde auf dem ersten Meeting des permanenten CERN-Rates (Council), das vom 7. bis 8. Oktober 1954 in Genf stattfand, zum 1. Generaldirektor (DG = Director-General) des CERN gewählt; sein Stellvertreter wurde der CERN-Pionier *Edoardo Amaldi*. Präsident des CERN-Rates (CERN Council) wurde in Nachfolge des französischen Delegierten Robert Valeur *Sir Ben Lockspeiser*, der vorher das Finanzkomitee geleitet hatte. Lockspeiser, seit 1949 Chef des DSIR, der obersten britischen Forschungsbehörde, brachte laut CERN-Pressemitteilung »eine umfangreiche wissenschaftliche und administrative Erfahrung mit, die gerade während der Startphase von besonderem Wert sein wird.« *Cornelis Jan Bakker* wurde Direktor der Synchro-Cyclotron-Abteilung (SC), *John Adams* Leiter der PS-Division, *Lew Kowarski* Leiter der Abteilung Wissenschaft und Technik und *Christian Moeller* Direktor der Theorieabteilung. Auf der ersten Sitzung wurden als weitere strukturelle Maßnahme drei Komitees gebildet: Das Ratskomitee (Committee of the Council), das zwischen den Sitzungen des CERN-Rats Entscheidungen trifft; das Wissenschaftskomitee (Scientific Policy Committee) und das Finanzkomitee (Finance Committee).

Struktur des CERN 1954

- Generaldirektor (DG) und Stellvertretender Generaldirektor (DDG)
- CERN-Rat (Council) mit Präsident und zwei Stellvertretern
- 3 Komitees: Rats-, Wissenschafts- und Finanzkomitee

In seiner Eröffnungsrede am 19. November 1954 dankte der erste Generaldirektor Felix Bloch den Initiatoren des CERN, insbesondere Louis de Broglie, Edoardo Amaldi und Isidor Rabi. Bloch betonte, dass die am CERN geplanten Experimente ausschließlich nichtmilitärischen Charakter haben und, obwohl die großen Maschinen erst in einigen Jahren zur Verfügung stehen würden, schon mit ersten Forschungsarbeiten im Bereich der kosmischen Strahlung begonnen worden sei. Bloch charakterisierte die Hauptaufgabe des CERN so:

»Internationale Kollaborationen sind sicherlich ein erstrebenswertes Ziel, denn sie führen zu einer friedvolleren Welt. Tatsächlich ist dieses Ziel aber bekanntermaßen in allen menschlichen Unternehmungen schwer zu erreichen. Wenn es ein Gebiet gibt, in dem es relativ einfach ist, dann ist es sicherlich das der reinen Grundlagenforschung. Der letztendliche Erfolg des CERN hängt zu einem Großteil davon ab, einen ersten großen Schritt in diese Richtung zu gehen.«

CERN wuchs sehr schnell: Am 1. Oktober 1954 hatte die Organisation 114 Angestellte, einen Monat später waren es schon 180. Der Wissenschaftler Felix Bloch hatte nicht, wie er selbst zugab, mit dem erheblichen administrativen Aufwand gerechnet, den das schnell wachsende CERN verlangte. Nachdem Edoardo Amaldi, stellvertretender Generaldirektor und mit allen Angelegenheiten des CERN vertraut, um die Entbindung von seinen Aufgaben gebeten hatte, ging auch Bloch diesen Schritt und bat um seine Rückkehr in die USA nach spätestens einem Jahr Aufenthalt in Genf – diese Option hatte Bloch in einem Schreiben mit Niels Bohr offenbar vereinbart. Am 10. Juni 1955 wurde der Grundstein des CERN dennoch von Felix Bloch gelegt, dessen Nachfolger allerdings schon feststand: Professor Cornelis Jan Bakker.

Die Ära Cornelis Bakker (1955–1960)

»CERN stellt das Vernünftigste dar, was Europa produziert hat.«

Friedrich Dürrenmatt, in einer Diskussion über »Die Physiker«

Cornelis Jan Bakker (1904–1960) war einer der acht Experten, die seit 1951 an den Vorbereitungen zum CERN führend beteiligt waren, seit 1952 war Bakker Direktor der CERN Synchro-Cyclotron-Gruppe. Während seines Direktorats, das er im Spätsommer 1955 von Felix Bloch übernahm, machte das CERN schnell weitere Fortschritte. Auf der riesigen CERN-Baustelle wuchs innerhalb weniger Jahre eine komplexe Landschaft aus Maschinengebäuden und Hallen, Labors und Versorgungseinrichtungen, das Hauptgebäude und die Cafeteria.

»CERN wird nie fertig, CERN wird immer.«



CERN-Grundsteinlegung am 10.6.1955 durch Felix Bloch, erster Generaldirektor des CERN (© 1955 CERN, CERN-HI-5506002).

In den Jahren 1956/7 gab es harte Winter und lange Regenperioden, was neben den technischen Herausforderungen zu einer immensen Erhöhung der Baukosten führte. Lag das Bau-Budget 1956 noch bei 40 Millionen Schweizer Franken, so waren es 1957 – dem Jahr der maximalen Baukosten – schon 64 Millionen. Das Gesamtbudget 1952–1960 wurde Ende 1956 auf 220 Millionen Schweizer Franken festgelegt, 1954 lagen die kalkulierten Kosten für diesen Zeitraum noch bei 120 Millionen. Die finanziellen Schwierigkeiten zwangen zu radikalen Überlegungen: Sollten Teile des Hauptgebäudes, der Verwaltung, das Auditorium und die Cafeteria besser gar nicht erst gebaut werden? Wären diese Gedanken umgesetzt worden, würde das heute wichtigste Instrument des CERN, die Cafeteria, in seiner heutigen Funktion als Drehscheibe sowie Informations- und Austauschzentrum des CERN nicht existieren. Ein Drama!

Das CERN funktionierte nicht sofort. 1. Die beiden Beschleunigeranlagen hatten eine lange Bauzeit; insgesamt und im Detail war der Bau der einzelnen Abschnitte und Komponenten hochkomplexes technologisches Neuland, dessen Parameter immer wieder neu definiert und angepasst werden mussten. 2. Es mussten personelle Entscheidungen getroffen werden. Wer sollte zum CERN kommen? Wie waren die Zuständigkeiten der einzelnen Komitees, Abteilungen und Ressorts aufzuteilen? Wie war die Bezahlung? Aber es gab noch mehr Probleme: Hatte die Abteilung Finanzen hauptsächlich mit dem rasch steigenden Finanzbedarf des CERN und dessen Befriedigung zu tun, so beschäftigte sich das Scientific Policy Committee unter Vorsitz von Werner Heisenberg in den Jahren 1954–1957 auf fast jeder ihrer Sitzungen hauptsächlich mit einem Thema: Kopenhagen als Hauptsitz der Theoriedivision funktionierte nicht.

Das Problem war: Die Leiter der CERN Theory Division, Niels Bohr und sein Assistent Stefan Rozental (1903–1994), wollten nicht nach Genf kommen und permanent am CERN arbeiten. Schon unter dem Direktorat von Felix Bloch (1955) hatte der CERN-Rat klar ausgedrückt, dass man den leitenden Vorstand dieser Abteilung auch vor Ort in Genf brauchte: »Es ist nötig, einen leitenden Mann in Genf zu haben, der die Theoriegruppe in Genf führt. Dieser Mann könnte in Zukunft Direktor der gesamten Theorieabteilung werden.« In Kopenhagen wurden zwar viele junge Stipendiaten unterrichtet (über deren Bezahlung man sich stritt), eine praktische Zusammenarbeit zwischen Genf und Kopenhagen zur Bildung »eines funktionierenden Kerns einer theoretischen Gruppe innerhalb des CERN-Labors« war aber nicht zustande gekommen. Darüber hinaus war der finanzielle Aufwand für die Aktivitäten der Theoriegruppe in Kopenhagen einer der größten Posten des Personalbudgets, die Sache musste also auch von dieser Seite her geklärt werden. Während der 6. Sitzung am 15. Mai 1957 beschloss das Wissenschaftskomitee, Bruno Ferretti, Professor an der Universität Rom, zum Leiter der Theoriegruppe (TH Division Leader) am CERN zu ernennen. Ferretti hatte sich von Anfang an für die europäische Initiative engagiert und den ersten konkreten Vorschlag zum Bau eines großen Beschleunigers im Dezember 1950 gemacht. Mit der Gründung der Theory Division in Genf waren die gemeinsamen Geschäftsverbindungen zwischen CERN und dem Niels-Bohr-Institut in Kopenhagen Geschichte.

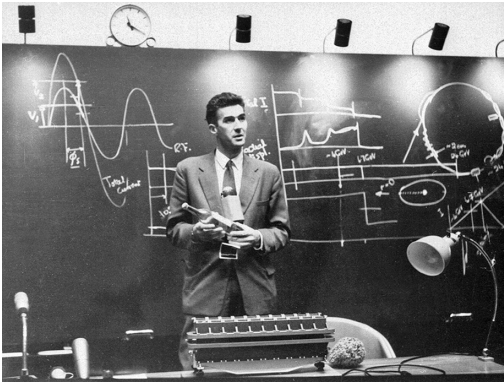
SC, PS, Linac und andere Maschinen

1957 wurde das Synchro-Cyclotron (SC) fast auf den Monat genau wie geplant in Betrieb genommen. Das SC beschleunigte Protonen auf einer spiraligen Bahn auf bis zu 600 MeV. Das CERN-Cyclotron lag damit weltweit an dritter Stelle hinter bauähnlichen Maschinen in Berkeley (USA) und Dubno (UdSSR). Mit dem SC gelangen bald die ersten Entdeckungen: Im Juli 1958 konnten Wissenschaftler den direkten Zerfall eines Pions (= Pi-Meson) in ein Elektron und ein Neutrino beobachten. Seitdem ist die Neutrinforschung ein wichtiges Gebiet im gesamten CERN-Forschungskosmos (heute: Gran Sasso). Das SC wurde nach einem Komplettumbau in den Jahren 1973/74 erst nach über 33 Jahren Betrieb 1990 endgültig abgeschaltet.

Die Proton-Synchrotron-Gruppe wurde seit 1954 von John Adams geleitet. Adams sachliche und präzise Art führte das Projekt über alle Schwierigkeiten hinweg zum Erfolg. Er wollte das Rennen mit den Amerikanern unbedingt gewinnen: Brookhaven hatte Ende des Jahres 1952, kurz nach der Entscheidung am CERN eine fokussierte (alternating gradient) Maschine zu bauen, mitgeteilt, eine ähnlich konstruierte Anlage mit einer ähnlichen Leistung zu bauen, das Alternating Gradient Synchrotron (AGS).

Der große CERN-Ringbeschleuniger, das Proton-Synchrotron (PS) hat einen Umfang von 628 Metern und ist aus 100 einzelnen Magneten zusammengesetzt, deren Gesamtgewicht 3800 Tonnen beträgt – im Gegensatz zu den veranschlagten 800 Tonnen. Am 27. Juli 1959 fand der »first run« des PS statt. Am 24. November 1959 erreichte das PS 24 GeV; im Dezember waren es 28 GeV, die damals weltweit höchste Protonenenergie. Das PS arbeitet heute noch als Vorbeschleuniger für andere, größere Maschinen wie den LHC.

Am 25. November 1959 präsentierte John Adams im gerade fertiggestellten Main Auditorium, dem Hauptversammlungsraum des CERN, seinen Erfolg – und eine Flasche Wodka. Adams hatte sie einige Monate zuvor bei einem Besuch in der Beschleunigeranlage in Dubna (Sowjetunion) von seinen dortigen Kollegen geschenkt bekommen. Er hatte strikte Anweisungen die Flasche nicht zu öffnen, bis der Dubna-Energie-Rekord von 10 GeV für den weltweit leistungsfähigsten Beschleuniger übertroffen würde. Jetzt war die Flasche leer – über Nacht von John Adams und seinen Kollegen geleert. Sie wurde am nächsten Tag mit einem Nachweis des gelungenen Pro-



John Adams nach dem Protonen-Energie-Rekord am 25. November 1959, mit der leeren Wodkaflasche seiner russischen Kollegen in Dubna (© 1959 CERN, CERN-HI-5901881).

belaufte der CERN-Maschine und sehr freundlichen Grüßen in die UdSSR zurückgeschickt. Am 5.2.1960 wird Adams Leistung in einer großen Pressekonferenz gefeiert. Neben 110 Presseleuten sind Niels Bohr, John Cockcroft, F. Perrin, J.R. Oppenheimer, Generaldirektor C.J. Bakker und Edoardo Amaldi anwesend.

Das experimentelle Programm am PS sollte im Frühjahr 1960 gestartet werden. Hatte man während der Konstruktion der Anlage jede nur erdenkliche und unerdenkliche Schwierigkeit gemeistert, führte die Erschöpfung der finanziellen Ressourcen während des Baus nun zu einer bitteren Erkenntnis: Zusatz-Equipment und adäquate Detektoren fehlten und es fehlte auch das Geld, um zusätzliche Wissenschaftler mit den geplanten Experimenten beschäftigen zu können. Damit war der Vorsprung, den CERN mit dem PS vor dem bauartgleichen AGS in Brookhaven hatte, innerhalb kürzester Zeit egalisiert. Die Anfangsschwierigkeiten des PS-Programms wurden darüber hinaus von einem tragischen Unfalltod überschattet: Cornelis Bakker, seit 1955 Generaldirektor des CERN, verunglückte bei einem Flugzeugabsturz im April 1960 tödlich. John Adams wurde nach diesem tragischen Ereignis zum Generaldirektor für die folgenden 15 Monate ernannt.

Der erste Protonen-Linearbeschleuniger am CERN (*Linear Particle Accelerator*) Linac 1 wurde 1959 in den experimentellen Betrieb übernommen. Das Prinzip der linearen Beschleunigung geladener

Teilchen durch wechselnde elektrische Felder (Wechselstrom) wurde 1928 von Rolf Wideroe, der 1950–52 als Berater zur Vorbereitung des CERN gewirkt hatte, erfunden. Linacs dienen der Beschleunigung von geladenen Teilchen (Ionen), bevor diese dann in größeren Anlagen, zum Beispiel dem PS des CERN, weiter beschleunigt werden. Diese Aufgabe innerhalb des CERN übernahm ab 1978 Linac 2. Linac 1 blieb noch bis 1992 für weitere Experimente (Beschleunigung von Sauerstoff- und Schwefelionen, Test der Quadrupol-Magneten) im Einsatz.

ISOLDE, der Isotope On-Line Detector (Online-Isotopentrenner) wurde 1967 in Betrieb genommen. Diese Anlage war an das inzwischen auf 600 MeV Teilchenenergie »getunte« Synchro-Cyclotron angeschlossen und lieferte dank Einsatz verbesserter Technologien neue Ansätze zur Arbeit mit sehr kurzlebigen Atomkernen. ISOLDE war zu seiner Zeit einzigartig: Durch eine Kombination chemischer und elektromagnetischer Methoden konnten die verschiedenen Isotope online getrennt werden und in einen Strahl umgewandelt werden, der nur aus *einer einzigen* Isotopenart bestand. Diese Methode erlaubte es, vorher unmögliche Versuche durchzuführen. ISOLDE eröffnete am CERN und weltweit ein neues Arbeitsfeld im Bereich radioaktiver Ionenforschung.

Blasenkammern, BEBC und Gargamelle

Blasenkammern waren in den 1950er und 1960er Jahren das wichtigste Instrument der Teilchenphysik. Auch am CERN arbeiteten im Laufe der Jahre Hunderte von Physikern mit Blasenkammern. Es sind Allzweck-Geräte, die für eine Vielzahl von Experimenten verwendet werden können. Eine Blaskammer besteht hauptsächlich aus einem Tank, der mit einer transparenten Flüssigkeit, z. B. Wasserstoff gefüllt ist. Diese Flüssigkeit wird durch eine plötzliche Druckabsenkung im Behälter zum Sieden gebracht. Wenn ein geladenes Teilchen durch die verdampfte Flüssigkeit fliegt, bilden sich Gasbläschen genau auf dessen Flugbahn.³⁾ Am CERN begann das Blaskammer-Programm in den späten 1950er Jahren unter

3) Der Legende nach soll der amerikanische Physiker und Molekularbiologe Donald A. Glaser (Nobelpreis für Physik 1960) die Idee zum Prinzip der Blaskammer beim Betrachten eines vollen Bierglases gehabt haben.

Charles Peyrou. Nach der zweijährigen Nutzung einer 10-Zentimeter-Kammer wurde 1959 die HBC (Hydrogen Bubble Chamber), eine Kammer mit 30 Zentimetern Durchmesser, gefüllt mit flüssigem Wasserstoff, in Betrieb genommen.

Die Experimente mit der ersten großen Blasenkommer HBC 200, die eine Kammer von 2 Metern Länge hatte, begannen 1964. In mehr als 12 Jahren Betriebsdauer wurden damit über 40 Millionen Aufnahmen produziert. Die Erfolge in diesem Bereich führten zum Bau weiterer, noch größerer Blasenkammern wie Gargamelle und BEBC.

Der Bau der BEBC (Big European Bubble Chamber) wurde 1967 durch ein besonderes, die Finanzierung betreffendes Abkommen zwischen dem CERN, Deutschland und Frankreich beschlossen. Das Budget lag letztendlich bei 92 Millionen Schweizer Franken. Die BEBC sollte 3,7 Meter Durchmesser haben und mit dem damals größten supraleitfähigen Magneten der Welt ausgerüstet werden. Mitte des Jahres 1970 begann der Bau, 1973 wurden mit dem BEBC die ersten Bilder aufgenommen. Die Kammer der Anlage war mit 35 Kubikmetern tiefgekühlter Flüssigkeit gefüllt (Wasserstoff, Deuterium oder ein Neon-Wasserstoff-Gemisch), der Beam wurde vom PS (Proton-Synchrotron) bereitgestellt. Mit dem BEBC gelang die Entdeckung des D-Mesons und die Weiterentwicklung der Neutrino- und Hadronen-Physik. Bis zu seiner Abschaltung im Jahr 1984 nahm das BEBC über 6 Millionen Fotografien auf. 3000 Kilometer Film waren verbraucht worden und rund 600 Wissenschaftler aus mehr als fünfzig Labors hatten während dieser Zeit am BEBC gearbeitet.

Die zweite große Blasenkommer am CERN war Gargamelle; sie wurde an der Ecole Polytechnique in Paris gebaut. Die Gargamelle-Kammer – der Name stammt von der Riesin Gargamelle, der Mutter Gargantuas in François Rabelais Romanzyklus »Gargantua und Pantagruel« – war zylindrisch, 4,8 Meter lang und 1,85 Meter breit. Das Volumen betrug 12 Kubikmeter. Der konventionelle, d. h. nicht supraleitende Magnet der Anlage erzeugte ein Magnetfeld von 2 T (Tesla), die Befüllung der Kammer bestand aus 13,5 Tonnen Freon (Bromtrifluormethan, BrCF_3), auch bekannt als klimaschädliches Füllmittel in alten Kühlschränken und Klimaanlage. Die Verwendung dieser relativ »dicken« Flüssigkeit sollte der besseren Beobachtbarkeit von Ereignissen (Events) in der Neutrino-, Muon- und Pionforschung dienen. Oberstes wissenschaftliches Ziel beim Einsatz des dichteren Füllmittels in der Gargamelle-Anlage war die Beobachtung

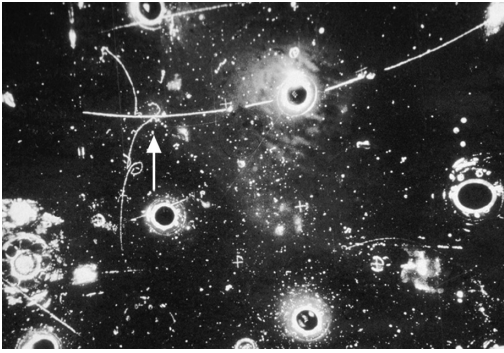
von Neutrino-Events nach dem Motto »viel Masse für eine höhere Wahrscheinlichkeit von Neutrino-Wechselwirkungen«.

Im Dezember 1972 konnte mit Gargamelle eine der größten Entdeckungen in der bisherigen CERN-Forschungsgeschichte gemacht werden. Die Ergebnisse wurden nach weiteren Tests im Juli 1973 im CERN Main Auditorium vorgestellt. Die Gargamelle-Gruppe hatte experimentell die sogenannten neutralen Ströme (weak neutral currents) und damit indirekt die elektroschwache Wechselwirkung nachgewiesen, nachdem sie 1967 von Sheldon Glashow, Abdus Salam und Steven Weinberg theoretisch beschrieben und vorhergesagt worden war. Für ihre Theorie, die die Vereinigung elektromagnetischer Phänomene und der elektroschwachen Kernkraft (Radioaktivität) beschreibt, erhielten die drei Physiker 1979 den Nobelpreis für Physik. Sie ist einer der Grundpfeiler des Standardmodells der Teilchenphysik.

Ein Großteil der weiteren Forschung am CERN beschäftigt sich mit diesem Standardmodell und dem Nachweis der nach dem Modell notwendigen, aber teilweise noch nicht nachgewiesenen Elementarteilchen. Auf der Originalaufnahme der Gargamelle-Blasenkammer interagiert (kollidiert) ein Neutrino mit einem Elektron (horizontale Spur). Es hinterlässt eine spiralförmige »Bremsspur«. Während der Gargamelle-Experimente in den Jahren 1970 bis 1978 wurden ca. 83 000 Neutrino-Ereignisse analysiert und 102 *neutral current events* beobachtet. An den Gargamelle-Experimenten arbeiteten 60 Physiker aus sieben nationalen Laboratorien. Es war die bis dahin umfangreichste europäische Zusammenarbeit auf dem Wissenschaftssektor.

Die Bedeutung der Entdeckung neutraler Ströme für die Teilchenphysik war enorm. Die Theorie der Vereinigung der elektromagnetischen und der schwachen Kernkraft zur elektroschwachen Kraft machte das Vorhandensein eines bisher unbeobachteten Mittlerteilchens nötig, das so benannte Z-Boson. Die am CERN eingeschlagene experimentelle Forschungsrichtung hatte ab jetzt zum Ziel, alle in der Theorie des elektroschwachen Standardmodells vorhergesagten Mittlerteilchen, das Z-, W- und schließlich das Higgs-Boson nachzuweisen.

Die Arbeit an den CERN-Blasenkammern förderte das Zusammenwachsen einer internationalen Forschungsgemeinschaft enorm. Eine ganze Generation von Physikern machte ihre Doktorarbeiten anhand von Daten, die von den CERN-Blasenkammern stammten. Die einzig-



Gargamelle: Nachweis schwacher neutraler Ströme (Z^0 -Boson): Ein einfliegendes, schnelles Neutrino katapultiert ein Elektron in eine teilweise spiralförmige Bahn (© 1973 CERN, CERN-EX-60100).

artigen Forschungsmöglichkeiten am CERN führten dazu, dass andere physikalisch-wissenschaftliche Institute ihre Zusammenarbeit mit dem Labor in Genf sukzessive erweiterten. Die großen internationalen Kollaborationen wie Gargamelle und BEBC wurden in der Folgezeit ein wichtiger Bestandteil für den internationalen Erfolg des CERN.

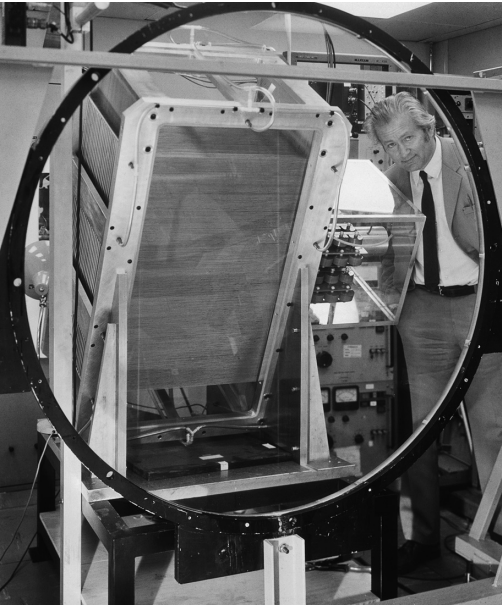
Gargamelle war trotz der hervorragenden Ergebnisse und Erfolge eine der letzten großen mechanischen Blasenkammern. Die weitere Erforschung der Mechanismen und Kräfte, der Wechselwirkungen innerhalb des Atoms, war durch die Nachteile dieser Bauart von Teilchendetektoren nicht möglich: Sie sind ungeeignet für sehr hohe Energiezustände von Teilchen. Die maximal mögliche Anzahl der Fotografien pro Zeiteinheit war zu gering und die Blasenkammern waren viel zu klein, um Teilchen, die bei hohen Energien entstehen, in ihrer gesamten Flugbahn verfolgen zu können, denn diese Teilchen fliegen weiter. Blasenkammern werden heute nur noch zu Demonstrationszwecken eingesetzt. Als Detektoren sind sie völlig bedeutungslos geworden. Heutige Teilchendetektoren machen allerdings im Prinzip nichts anderes als Blasenkammern. Sie zeichnen die Ereignisse aber nicht mehr fotografisch auf, sondern elektronisch mit einem viel schneller und viel feiner reagierendem elektromagnetischen Messfeld.

Georges Charpak: die MultiWire-Proportionalkammer

Die Verbesserung der Transistoren-Technik – immer kleiner, immer besser – löste in den 1960er Jahren die elektronische Revolution aus. Konnte eine mechanische Kamera, die an eine Blaskammer angeschlossen war, etwa eine Aufnahme pro Sekunde machen, würde ein elektronischer Detektor viel mehr Aufnahmen machen und darüber hinaus sehr viel genauer arbeiten können. Georges Charpak (1924–2010), Résistance-Kämpfer und Überlebender des Konzentrationslagers Dachau, arbeitete seit 1959 am CERN in Genf. Seit Anfang der 1960er Jahre hatte er verschiedenste nichtfotografische Messverfahren entwickelt. 1968 baute Georges Charpak schließlich die MultiWire-Proportionalkammer (MultiWire Proportional Chamber, MWPC). Die Entwicklung Charpaks war eine mit Gas gefüllte Box, um die eine große Anzahl paralleler Drähte gewickelt war. Jeder einzelne dieser Drähte war an einen Verstärker angeschlossen. In Verbindung mit einem Computer konnte der Apparat bis zu einer Million Teilchenspuren pro Sekunde aufzeichnen, ein enormer Fortschritt gegenüber den bisher eingesetzten mechanischen Blaskammern. Charpaks elektronischer Teilchendetektor revolutionierte den Nachweis von Elementarteilchen und ihrer Zerfallsprodukte. Heute verwendet praktisch jedes moderne Experiment in der Teilchenphysik und in vielen anderen wissenschaftlichen Bereichen wie Biologie, Radiologie und Nuklearmedizin Detektoren, die auf dem Prinzip von Charpaks MultiWire-Proportionalkammer basieren. Georges Charpak erhielt 1992 für seine Erfindungen im Bereich der elektronischen Teilchendetektoren den Nobelpreis für Physik.

Das ISR und Planungen neuer Protonenbeschleuniger

Seit Fertigstellung und Inbetriebnahme des Proton-Synchrotrons 1959/60 hatte die PS-Gruppe unter der Leitung von John Adams über die nächste Generation von Beschleunigern nachgedacht. Adams ging im folgenden Jahr zurück nach England, um die Möglichkeiten eines Fusionsreaktors (Projekt ZETA) zu erforschen, doch sein Nachfolger als Director-General, Victor F. Weisskopf (1908–2002), trieb wie Adams den Bau neuer, größerer Beschleunigeranlagen weiter voran. 1965 schließlich votierte das CERN Council für zwei neue Projekte:



Georges Charpaks MultiWire-Proportional-kammer
(© 1973 CERN, CERN-EX-7304218).

1. Intersecting Storage Ring (ISR), der erste Proton-Proton-(Hadron-)Beschleuniger der Welt, der vom PS mit schnellen Teilchen versorgt werden sollte.
2. Ein neuer Protonenbeschleuniger (Super Proton Synchrotron, SPS) mit einer Energieleistung von bis zu 300 GeV (300-GeV-Projekt).

Der ISR hatte 1964 ein Budget von 312 Millionen Schweizer Franken; die große 300-GeV-Maschine blieb deshalb bis 1971 in der Diskussion, ohne dass über den Bau definitiv entschieden werden konnte: Die hohen Kosten waren das Problem. Denn während die Ausgaben des CERN kontinuierlich stiegen, hatten die einzelnen CERN-Mitgliedsstaaten seit den 1950er Jahren ihre Ausgaben für Wissenschaft und Forschung stark reduziert: von bis zu 15 Prozent auf einige wenige Prozentpunkte der Staatshaushalte.

Für den Bau des ISR vereinbarte das CERN Council mit Frankreich, das bisherige Laborgelände über die französische Grenze hinaus zu erweitern. Auf 40 Hektar Land sollte der geplante Protonen-

Speicherring entstehen, der nach einem völlig neuen Prinzip konstruiert war. Bisher hatte man die beschleunigten Teilchen mit einem festen, unbewegten Ziel kollidieren lassen. Im Gegensatz dazu sollten mit dem ISR zwei *gegenläufige* Teilchenstrahlen zur Kollision gebracht werden, die Kollisionsenergie würde damit verdoppelt werden können. Im November 1966 begannen schließlich die Bauarbeiten am neuen CERN Hightech-Arbeitspferd: Der ISR hatte einen Umfang von 943 Metern, genau 1,5 Mal so viel wie das PS. In der »beam-pipe«, dem Strahlrohr, konnte ein für damalige Verhältnisse ultrahohes Vakuum von ca. 10 Torr (1 atm = 760 Torr) erzeugt werden. Der ISR war ein technologischer Meilenstein in der Geschichte der Teilchenbeschleuniger.

Am 27. Januar 1971 wurden mit dem ISR die ersten Proton-Proton-Kollisionen registriert. Auch die stabile Leitung und Fokussierung der sich gegenläufig bewegenden beiden Strahlen gelang schon in den ersten Tests. Die Protonen wurden aus dem PS kommend in zwei identische Beschleunigerringe mit jeweils 300 Meter Durchmesser eingebracht. An 8 festgelegten Punkten, an denen sich die beiden Ringe überschneiden, wurden Kollisionen herbeigeführt und die entstehenden Wechselwirkungen gemessen. In den folgenden Jahren stellte sich das ISR als äußerst zuverlässige und präzise arbeitende Maschine heraus: Mit dem ISR konnten stabile Testreihen von 60 Stunden (später bis über 300 Stunden) durchgeführt werden. Ab November 1980 wurden am ISR das erste Mal weltweit supraleitfähige Magnete eingesetzt, die die Luminosität (Ereignisdichte) weiter steigerten. Die Anlage war bis 1984 in Betrieb. Viele technologische Herausforderungen wurden mit den experimentellen Arbeiten am ISR gelöst, zum Beispiel im Bereich der Vakuumtechnologie und der stochastischen Kühlung.

Vom PS zum SPS – John Adams kehrt zurück

John Adams war 1961–1966 Direktor des Culham Labors und in den folgenden Jahren bis 1971 leitend in der britischen Atomenergiebehörde (United Kingdom Atomic Energy Authority) tätig gewesen. Ende des Jahres 1969 kehrte Adams nach Genf zurück. Er wurde Leiter des Nachfolgeprojekts für das Proton-Synchrotron, das zehnmal größere 300-GeV-Projekt (The 300 GeV Machine Committee). Die kalkulierten Kosten der neuen Über-Maschine waren mit mehr

als einer Milliarde Schweizer Franken auch fast zehnmal so hoch wie bei dessen Vorgänger, dem Proton-Synchrotron, das 1959 mit einem Budget von damals 120 Millionen Franken noch vergleichsweise »günstig« gewesen war.

Der Bau des neuen, großen Beschleunigers hatte sich bereits um einige Jahre verzögert, besonders wegen der bis dahin nicht finanzierbaren Kosten. Es wurden nicht nur verschiedene technologische Konzepte, sondern auch mehrere europäische Standorte diskutiert. Das geplante Projekt verlangte den Bau einer völlig neuen Maschine, die für die angestrebte Energieleistung erheblich größer werden musste als alle bisherigen. Eine solche Maschine konnte überall gebaut werden, nicht nur am CERN in Genf. Im Dezember 1970 schlug John Adams schließlich vor, das neue Labor auf französischer Seite an das bisherige CERN-Gelände anzubauen, die vorhandenen Beschleuniger Linac und PS weiter als Vorbeschleuniger zu nutzen und dadurch sogar ein noch höheres Energieniveau (400 GeV) als geplant bei gleichzeitig niedrigeren Kosten zu erzielen. Diese Vorgehensweise, vorhandene Beschleuniger zu nutzen und durch Anbau neuer, größerer Beschleuniger höhere Teilchenenergien zu erreichen, ließen John Adams zum »Vater der großen CERN-Beschleuniger« werden – technisch, technologisch, theoretisch und praktisch der Konkurrenz immer einen Schritt voraus.

1971 wurde das Super-Proton-Synchrotron (SPS) von den CERN-Teilnehmerstaaten genehmigt. Die von John Adams und seinem Team entworfene Anlage war logistisch und technologisch völliges Neuland: Das SPS sollte in einem 40 Meter unter der Erdoberfläche verlaufenden Tunnel mit fast 7 Kilometern (6912 Metern) Umfang untergebracht werden! Für den Bau der unterirdischen Tunnelanlage musste sogar die CERN-Konvention geändert werden, die legal nur für ein einziges Labor gelten konnte. Die riesigen Ausmaße des Beschleunigerrings machten die Schaffung eines neuen, eigenständigen Standorts in Prévessin (Pays de Gex) nötig. (Die zwei Laboratorien, die jeweils eigene Verwaltungsstrukturen und Generaldirektoren hatten, wurden 1976 wieder zusammengeführt.)

Zwei Jahre später, am 31. Juli 1974, hatte eine riesige Tunnelbohrmaschine den Tunnel gegraben, der zweimal die schweizerisch-französische Grenze unterquerte. In den folgenden zwei Jahren wurden beinahe eintausend Magnete zum SPS-Ring zusammengesetzt und schon am 17. Juni 1976 konnte John Adams vor Mitgliedern

des CERN-Rates die ersten Beams mit einer Energie von 400 GeV melden. Ende 1978 wurde sogar eine Leistung von 450 GeV erreicht. John Adams wurde für den Zeitraum 1976 bis 1980 zum zweiten Mal Generaldirektor des CERN. Während dieser Zeit war er vor allem damit beschäftigt, die nächste, größere Maschine zu entwerfen und die Finanzierung dafür zu sichern.

In den Jahren 1979 bis 1981 wurde das SPS in einen Protonen-Antiprotonen-Beschleuniger umgebaut, der nach dem schon im ISR erfolgreich angewendeten »Collider«-Prinzip mit gegenläufigen Teilchenpaketen betrieben werden sollte. Dieses Prinzip als Grundaufbau der Beschleuniger und die Verwendung von Materie (Protonen) und Antimaterie (Antiprotonen) als Teilchenmaterial ermöglichte Experimente, die noch weiter in die innere Struktur der Protonen vordringen konnten. In das neue SPS, genannt SppS, wurden zwei Detektoren-Komplexe (UA⁴-1 und UA-2) integriert, mit denen im Juli 1981 die ersten Proton-Antiproton-Kollisionen beobachtet werden konnten.

Im Laufe des Jahres 1983 wurden mit diesen beiden Detektor-Experimenten die bis jetzt nicht entdeckten W-Bosonen (Januar) und Z-Bosonen (Mai) durch das Team um Projektleiter Carlo Rubbia nachgewiesen. Durch den experimentellen Nachweis dieser Übermittler-Teilchen der schwachen Kernkraft wurde die Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung und damit der Grundaufbau des Standardmodells der Teilchenphysik weiter stark untermauert. Für ihre Entdeckung erhielten die beiden CERN-Wissenschaftler Carlo Rubbia und Simon van der Meer (stochastische Kühlung) 1984 den Nobelpreis für Physik (siehe Kapitel 13).

Vom Large Electron-Positron Collider (LEP) zum LHC

Die vermehrte Produktion und bessere Vermessung der neu entdeckten Mittlerteilchen, der W- und Z-Bosonen, sollten durch einen neuen Beschleuniger ermöglicht werden. Er sollte anstelle von Protonen und Antiprotonen nun Elektronen und Positronen mit sehr hohen Energien zur Kollision bringen, um dabei die gesuchten Transferbosonen kurzzeitig entstehen zu lassen. Der Vorteil dieser

4) Underground Area



Carlo Rubbia (links) und Simon van der Meer feiern die Verleihung des Nobelpreises 1984 mit einem Toast am CERN (© 1984 CERN, CERN-HI-8410523).

Methode ist, dass Elektronen – wie auch Positronen – punktförmig sind und deshalb bei hohen Energien symmetrische Kollisionen und eindeutige Ereignisse liefern. Im Gegensatz dazu erzeugen Protonen (und Antiprotonen), die aus mehreren Teilchen zusammengesetzt sind »schmutzige« Kollisionen. In einem Programmpapier vom Juni 1979 (Science Policy Committee 435) wird die Auslegung für das nächste, größere Beschleuniger-Projekt des CERN jedem verständlich so begründet:

»In den vergangenen 10 Jahren haben wir gelernt, dass Protonen zusammengesetzte Teilchen sind, die aus drei subnuklearen Objekten zusammengesetzt sind, den Quarks. Elektronen aber sind die einzigen bekannten *Elementarteilchen*, die auf hohe Energien beschleunigt werden können. Wenn man im Bereich sehr kurzer Entfernungen und mit sehr hohen Energien forschen will, sollte man keine Ziegelsteine, Atome, Atomkerne oder Protonen nehmen, sondern Elektronen« [Hervorhebung im Original]

Die vom CERN eingeschlagene Forschungsrichtung orientierte sich selbstverständlich eng an den Konkurrenzprojekten in den USA (Fermilab, Brookhaven) und in der UdSSR (Dubna), aber man wollte am CERN, der inzwischen weltweit größten Physik-Forschungseinrichtung, weiter vor allem die Eigenschaften der Vektorbosonen W und Z erforschen. Schon damals stand ein weiteres, noch völlig unbekanntes und sicherlich noch schwerer zu erfassendes Teilchen auf der Wunschliste der CERN-Physiker, das *Higgs-Boson*. Die mögliche Existenz dieses Teilchen hatte 1964 der schottische Physiker Peter Higgs (und zeitgleich 5 weitere Teilchenphysiker) als Mittlerteilchen für die Masse aller bekannten Teilchen postuliert. Über das Higgs-Boson und andere grundsätzliche Fragen hatte man schon 1979 (CERN/SPC/446) sehr zielgerichtete Ansichten am CERN:

»Wenn das Higgs-Teilchen (oder ein anderer Mechanismus zur Generierung der Masse) unentdeckt bleiben sollte, dann werden wir höhere Energien einsetzen müssen. [...]«

»Große Fortschritte der Wissenschaft haben immer zu weiterführenden wissenschaftlichen Fragen geführt. Wir können mit Überzeugung feststellen, dass es innerhalb der gesamten Geschichte der Teilchenphysik niemals zuvor möglich gewesen ist, die zu lösenden wissenschaftlichen Fragen so genau zu benennen wie heute – und welche Beschleuniger gebaut werden müssen, um die entscheidenden Experimente durchzuführen. [...]«

»Falls Europa den Bau einer großen Elektronen-Maschine zu Beginn der nächsten Dekade beginnen könnte, dann wären wir am Ende der Dekade in einer sehr starken Position. Zwar ist der Wettbewerb nicht unsere erste Motivation, aber es muss auch erlaubt sein, seine Rolle auszuspielen. Wir sehen hierin für Europa eine exzellente Möglichkeit, erster in diesem Feld menschlicher Aktivitäten zu sein.«

CERN war inzwischen ein Global Player geworden mit einem jährlichen Budget von 600 Millionen Schweizer Franken; LEP würde einen Großteil davon verschlingen. Die Ausarbeitung der Pläne für das zukünftige CERN-Flaggschiff begannen 1975. Sie wurden mehrmals umgearbeitet, immer den Ausgleich zwischen den Forderungen der Wissenschaftler-Community und den realisierbaren Möglichkeiten suchend. Die größte Herausforderung war dabei der Bau des unterirdischen, durch harten Fels getriebenen Tunnels, der die Beschleunigeranlage schützen und sicher beherbergen sollte.

Um die Teilchen auf die zur Erzeugung der zu untersuchenden W- und Z-Bosonen benötigten Energien zu beschleunigen, musste dieser Tunnel sehr lang sein: Je mehr die Flugbahn hochenergetischer Elektronen gekrümmt wird, umso mehr Strahlung emittieren sie – sie verlieren Energie durch die sogenannte »Synchrotronstrahlung«. Umgekehrt gilt: je größer der Radius des Beschleunigers, desto geringer der Energieverlust. Nach den Berechnungen musste die Dimension des Tunnels alles Bisherige übertreffen. War ursprünglich ein Umfang von 52 Kilometern (!) geplant, einigte man sich schließlich auf 27 Kilometer Länge und das in einer durchschnittlichen Tiefe von 100 Metern unter der Erdoberfläche und einer Passgenauigkeit des Bohrvorgangs von weniger als einem Zentimeter auf der gesamten Länge.

Der Aushub des LEP-Tunnels zwischen Juragebirge und Genfer See begann mit dem offiziellen Spatenstich der Vertreter Frankreichs, François Mitterrand und Pierre Aubert (Schweiz) am 13. September 1983. Ein Wassereinbruch warf das Projekt für mehrere Monate zurück, doch konnte der Ringtunnel am 8. Februar 1988 fertiggestellt werden. Weniger als die Hälfte der 1,4 Millionen Kubikmeter Aushubmaterial entfielen dabei auf den Tunnel. Die Kavernen für die Experimente, zahlreiche Galerien, Transfertunnel für die angeschlossenen Vorbeschleuniger und riesige Materialschächte, die für die Zulieferung zu den geplanten unterirdischen Experimenten nötig waren, machten den Großteil des unterirdischen Raumbedarfs dieser technologischen Meisterleistung aus. CERN begründete diesen Riesenbau mit der unbedingten wissenschaftlichen Pflicht zum experimentellen Beweis und den damit verbundenen gigantischen Experimenten getreu dem Grundsatz:

»Theorie mag das Gerüst der Physik sein, doch Experimente sind ihre Mauern.«

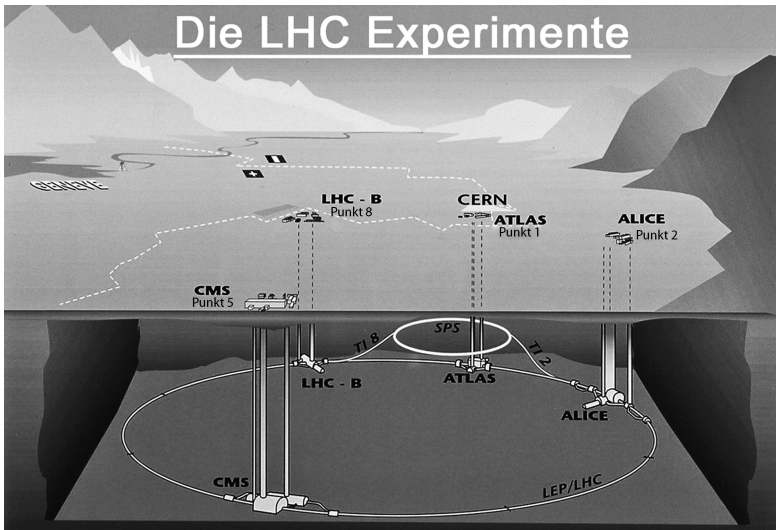
LEP war ein weiterer Meilenstein in der Geschichte der Experimentalphysik am CERN. Zwischen 1989 und 1993 wurden mit den 4 LEP-Detektoren (ALEPH, DELPHI, L3 und OPAL) die Zerfallsprozesse von mehr als 10 Millionen Z-Bosonen analysiert. Ab 1995 wurde LEP für eine zweite Phase mit supraleitenden Magneten aufgerüstet, was die erzielte Teilchenenergie verdoppelte und so auch die Produktion von W^+W^- -Paaren ermöglichte, den beiden anderen Vektorbo-

sonen der schwachen Wechselwirkung. Nach 11 Jahren erfolgreicher Forschung wurde LEP am 13. November 2000 außer Betrieb genommen. Die gesamte Technik der Anlage wurde aus dem Tunnel und den Kavernen entfernt, um darin Platz für den Bau der neuen »Supermaschine« zu machen. Mit dem Large Hadron Collider, dieser neuen »Weltmaschine«, wollte man am CERN in Energiebereiche vorstoßen, in denen die Entdeckung des bisher trotz vieler Anzeichen nicht eindeutig nachgewiesenen Higgs-Bosons endlich möglich sein würde.

Die Experimente am LEP hatten das Standardmodell der Teilchenphysik mit der außerordentlichen Präzision seiner Messungen auf eine solide experimentelle Basis gestellt und eine Reihe neuer Fragen, teilweise auch ausgelöst durch die Beobachtung anderer kosmischer Phänomene, aufgeworfen:

- Gibt es das Higgs-Boson, das auf elegante Weise erklären würde, durch welchen Vorgang Teilchen ihre Masse erhalten (Higgs-Mechanismus)?
- Warum haben Elementarteilchen so extrem unterschiedliche Massen – selbst wenn sie zu derselben der sogenannten drei Familien gehören?
- Warum existiert im Universum viel mehr Materie als Antimaterie?
- Was ist Dunkle Materie? Woraus besteht sie?
- Was treibt das Universum zu immer schnellerer Expansion an? Dunkle Energie? Was ist das?
- Existieren Extradimensionen und wenn ja, wo?
- Sind die beobachteten Elementarteilchen wirklich elementar, oder gibt es noch kleinere Bestandteile?
- Gibt es supersymmetrische Teilchen, die viel schwereren »Schwestern« der bekannten Teilchen und damit mögliche Kandidaten für Dunkle Materie?

Anhand der in den letzten Monaten des LEP erzielten Ergebnisse vermutete man das Higgs-Teilchen bei einer Masse von zirka 115 GeV. Ähnliche Messwerte hatte auch das Tevatron (USA) erhalten, allerdings mit einem noch größeren Unsicherheitsfaktor und deshalb genauso unzuverlässig wie die bisherigen, mit den Experimenten am LEP erzielten Werte. Wollte man Teilchen mit höherer Masse



(© 1999 CERN, CERN-AC-9906026)

und mit einem höheren Sicherheitsfaktor detektieren und möglicherweise auch Antworten auf viele der anderen offenen Fragen erhalten, dann musste man eine neue, viel leistungsfähigere Maschine bauen. Die hohen Energieregionen, in denen schwere Teilchen (Higgs-Teilchen, SUSY-Teilchen) entstehen, konnten nicht mehr mit Elektron-Positron-Kollisionen erreicht werden. Protonen (Hadronen) allerdings, positiv geladene Wasserstoff-Atomkerne, verlieren im »Kreisverkehr« von Ringbeschleunigern weniger Energie als Elektronen und lassen sich somit leichter beschleunigen – daher stammt die Bezeichnung Large Hadron Collider (Großer Hadronenbeschleuniger) für die neue Supermaschine des CERN.

Der Large Hadron Collider LHC – die große Weltmaschine

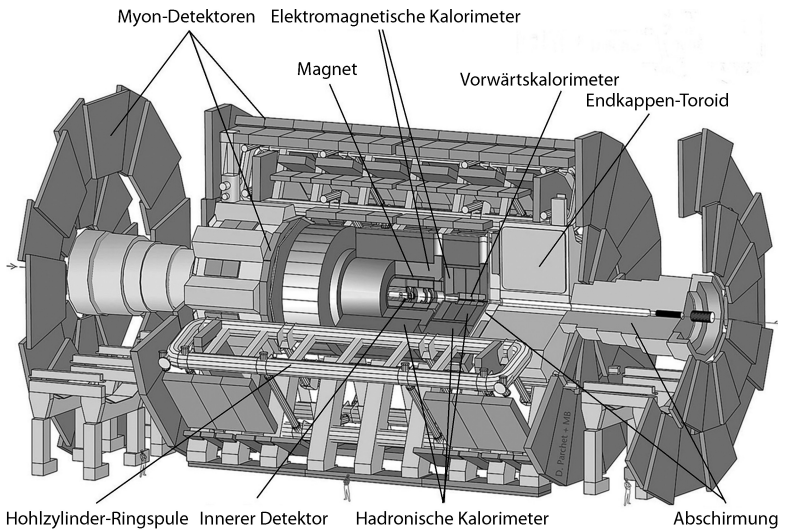
Seit Mitte der 1980er Jahre war am CERN über einen neuen Partikelbeschleuniger nachgedacht und dessen Spezifikationen heftig diskutiert worden. Ursprünglich sollte die neue Maschine Proton-Proton-Kollisionen von 10 TeV kinetischer Energie (Teraelektronenvolt = $10^{12} = 1 \text{ Billion Elektronenvolt}$) ermöglichen. Der erste Projektvorschlag wurde aber im Dezember 1993 vom CERN Council abgelehnt. Nach Änderung der Konstruktion (der LHC wurde nun

darauf ausgelegt, Protonen mit einer Energie von $2 \times 7 = 14$ TeV kollidieren zu lassen) und nachdem etliche Finanzierungsschwierigkeiten (Deutschland, größter Nettozahler des CERN, hatte seinen Beitrag substantiell reduziert) überwunden werden konnten, wurde der Bau des LHC am 16. Dezember 1994 vom CERN Council als in zwei Phasen durchzuführendes Projekt genehmigt.

Der Large Hadron Collider (Umfang: 26 659 Meter, Radius: 4243 Meter) sollte mit einem veranschlagten Budget von 2,6 Milliarden Schweizer Franken der größte Teilchenbeschleuniger der Welt werden. Das amerikanische Konkurrenzprojekt einer Riesen-Maschine mit 87 Kilometern Umfang, der SSC (Superconducting Super Collider), war ein Jahr zuvor storniert worden, nachdem bereits 2,2 Milliarden Dollar investiert worden waren. Um an den weiteren Hochenergieforschungen am CERN beteiligt zu werden, erhielten die USA 1997 den Observer-Status, nachdem ein signifikanter Beitrag (insgesamt ca. 530 Millionen Dollar) zur Finanzierung des LHC vereinbart worden war. Im Laufe des LHC-Baus wurden auch andere Staaten mithilfe finanzieller Beteiligungen CERN-Observers: Japan, Indien, Russland und Kanada. Diese Beteiligungen und weitere Anleihen am Finanzmarkt führten dazu, dass das LHC-Projekt in einer einzigen Bauphase zügig durchgeführt werden konnte. Insgesamt beteiligten sich über 100 Staaten am Bau dieser gigantischen Maschine. Die Bauzeit sollte über 10 Jahre sein, die endgültigen Baukosten wurden offiziell mit 6,5 Milliarden Schweizer Franken angegeben.

Der Plan zum Bau des LHC umfasste drei Arbeitsfelder:

1. Aushub und Ausbau der für die großen Experimente ATLAS, CMS, ALICE und LHCb benötigten Kavernen. Man nutzte teilweise die bereits vorhandenen LEP-Kavernen und baute sie aus. CERN beteiligte sich an den einzelnen Experimenten – anders als beim LHC, der von CERN komplett finanziert werden musste, mit jeweils 14–20 %, der Rest musste von den einzelnen Kollaborationen aufgebracht werden.
2. Konstruktion, Bau und Einrichtung der für die Experimente benötigten Kontrollzentren und Serviceräume.
3. Entwurf, Bau und Installation des eigentlichen Ringbeschleunigers, im Endausbau mit 1232 supraleitenden Dipol-Magneten, plus weitere ca. 8500 verschiedenartige Magnete zur Fokussierung und Lenkung des Teilchenstrahls.

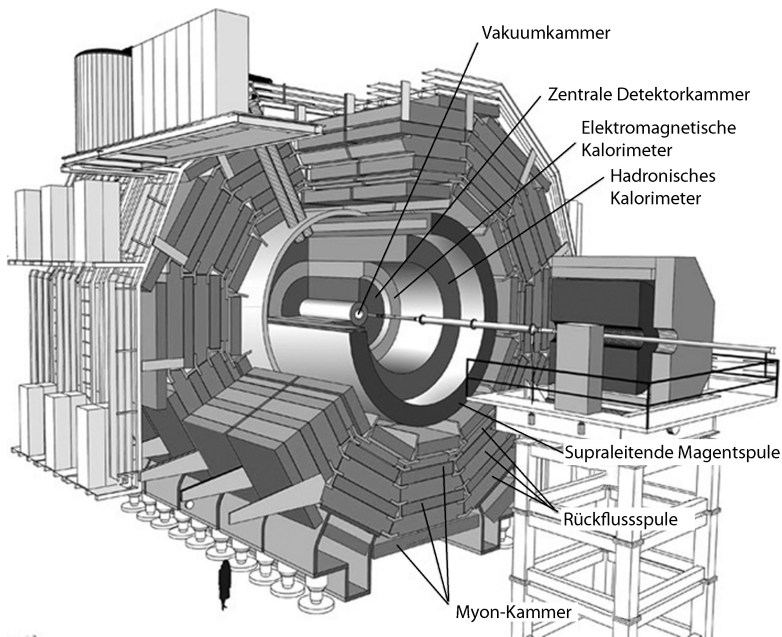


ATLAS – A Toroidal LHC ApparatuS: größter jemals gebauter Teilchendetektor. Mehrzweckanlage zum Nachweis des Higgs-Felds, supersymmetrischer Teilchen und Verletzung der

CP-Symmetrie (siehe Kapitel 14, Kapitel 15 und Kapitel 16; Interviews mit White und Butterworth) (© 1998 CERN, CERN-DI-9803026).

2001 wurde mit dem Bau der unterirdischen Kavernen und der Zuleitungsschächte für das ATLAS-Experiment begonnen. 2003 konnte der Rohausbau der ATLAS-Höhle gefeiert werden, danach wurden die Komponenten für den Detektor installiert. Dazu mussten dessen Einzelteile durch den senkrecht ins Erdreich getriebenen, 70 Meter langen und 16 Meter weiten Zuleitungsschacht nach unten herabgelassen und dort zusammengebaut werden. Die fertige ATLAS-Kaverne hat die Ausmaße von $35 \times 40 \times 55$ Meter und der Detektor ein Gesamtgewicht von 7000 Tonnen – ungefähr so viel wie der Eiffelturm in Paris.

Die Bauingenieure des CMS-Experiments stießen auf ungeahnte Schwierigkeiten. Die Arbeiten an der Kaverne mussten für zwei Jahre unterbrochen werden, weil man auf die Überreste einer gallorömischen Villenanlage gestoßen war und den Archäologen Vorrang lassen musste. Außerdem lag die CMS-Kaverne direkt über einer unterirdischen Wasserader, die abgedichtet werden musste. Der sehr schwere CMS-Detektor (Maße: $21 \times 10 \times 13$ Meter, Gewicht: 12 500

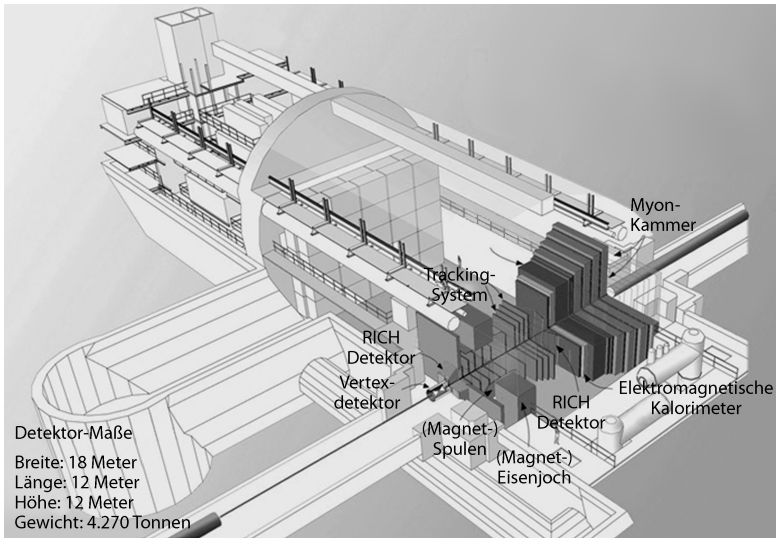


CMS – Compact Muon Solenoid Experiment: Higgs- und SUSY-Suche; Konkurrenz-Experiment zu ATLAS mit methodisch anderem Aufbau

(siehe Kapitel 4 und Kapitel 15, Interviews mit Virdee sowie White und De Roeck) (© 1998 CERN, CERN-DI-9803027).

Tonnen) wurde daraufhin entgegen aller Planungen zum großen Teil überirdisch zusammengebaut. Die vorgefertigten Bauteile konnten dann durch den riesigen Zuleitungsschacht per Kran in die Höhle herabgelassen werden. Trotz aller Schwierigkeiten mit Bau und Finanzierung konnten CMS, ATLAS und die anderen Experimente (LHCb, ALICE, TOTEM, LHCf) planungsgemäß nach fast zehnjähriger Bauzeit im Frühjahr 2008 fertiggestellt werden.

Die über 1200 benötigten Dipol-Magneten des LHC, jeder 15 Meter lang mit einem Gewicht von über 30 Tonnen, wurden von Firmen in Frankreich, Deutschland und Italien nach der Auftragsvergabe im Jahr 2002 sukzessive hergestellt. Diese Magnete zum Stückpreis von ca. 700 000 € sind in sich Präzisionsinstrumente: Sie beherbergen zwei Röhren nebeneinander (Durchmesser jeweils 56 mm, Abstand 194 mm), in denen die Protonen gegenläufig verkehren. Der Teilchenstrahl ist im Mittel ungefähr einen Millimeter dick. 10 000 Tonnen

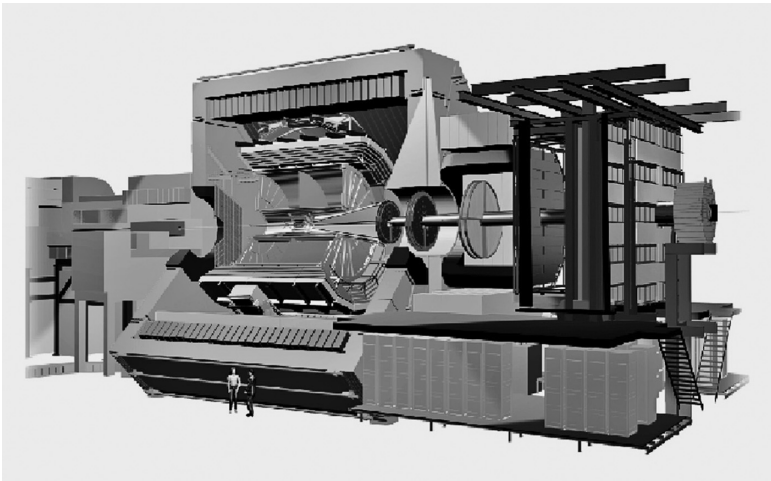


Das LHCb-Experiment untersucht die Frage, warum es im Universum viel mehr Materie als Antimaterie gibt anhand von »Beauty« (oder Bottom-)

Quarks – daher LHCb (Punkt 8, siehe Kapitel 7, Interview mit Shears) (© 1998 CERN, CERN-DI-9803030).

flüssiger Stickstoff und 120 Tonnen flüssiges Helium kühlen die Röhren auf $-271,3^{\circ}\text{Celsius}$ ($1,9\text{ Kelvin}$) herab. Dann werden die Magnete supraleitfähig und erzeugen bei einem Betriebsstrom von $11\,800$ Ampere (!) ein Magnetfeld von $8,3\text{ Tesla (T)}$ – ungefähr $200\,000$ -mal so viel wie die Stärke des natürlichen Erdmagnetfelds. Der Druck innerhalb der Strahlröhren, in denen sich der Beam befindet, beträgt 10^{-13} Atmosphären, ungefähr zehnmal weniger als der Druck auf dem Mond.

Im Jahr 2007 wurde der letzte Dipol-Magnet installiert. Der anschließende Test einer über 3 Kilometer langen Teststrecke bewies erfolgreich die exzellente Funktionsfähigkeit des Systems. Insgesamt werden am LHC über 9000 Magnete in mehr als 50 verschiedenen Bauarten eingesetzt: zum Beschleunigen, Fokussieren, Bündeln und Umlenken. Der Beam durchläuft die gesamte Strecke des LHC dabei pro Sekunde $11\,245$ -mal oder mit $99,999\,999\,1\%$ der Lichtgeschwindigkeit.



Das ALICE-Experiment (A Large Ion Collider Experiment) arbeitet mit Blei-Ionen, die etwa 200-mal schwerer sind als die sonst im LHC verwendeten Wasserstoffprotonen. Bei

diesen Kollisionen entsteht ein ultraheißes (ca. 10 Billionen Grad Celsius) Quark-Gluon-Plasma, wie es kurz nach dem Big Bang existiert hat (© 2003 CERN, CERN-EX-0307012).

Teilchenbeschleuniger am CERN

Am CERN sind Teilchenbeschleuniger unterschiedlicher Bauart und Typen im Einsatz. Die für die Experimente mit dem LHC benötigten Protonen entstehen bei der Umwandlung von Wasserstoffgas (H_2) im sogenannten Duoplasmatron. Dann werden die Protonen zuerst von einem Linearbeschleuniger (Linac 2) auf eine Energie von 50 MeV beschleunigt; danach folgen der Proton-Synchrotron-Booster (PSB), das Proton-Synchrotron (PS) und das Super-Proton-Synchrotron (SPS), das die Partikel auf 450 GeV beschleunigt, ehe sie in den LHC eingebracht werden. Der LHC (Large Hadron Collider) beschleunigt die beiden Protonenstrahlen in gegenläufigen Richtungen von 450 GeV auf 4 TeV bzw. im Endausbau auf 7 TeV pro Atomkern. Die Protonen kollidieren an vier Orten, an denen mit insgesamt sechs Experimenten (ATLAS, CMS, ALICE, LHCb, LHCf, TOTEM) Daten gesammelt und analysiert werden. Der LHC kann neben Protonen (Wasserstoffkerne) auch Blei-Ionen bis zu einer Energie von maximal 2,67 TeV beschleunigen. Bei diesen Experimenten werden

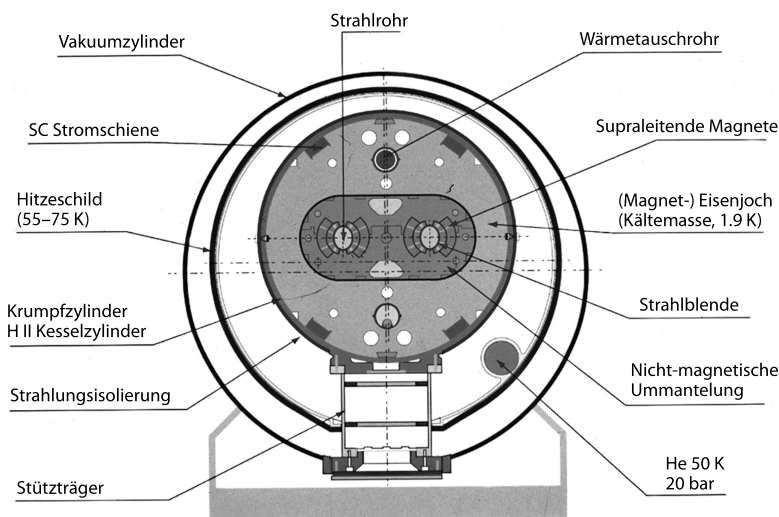


Dipol-Magnet: Ausstellungsexemplar vor der CERN-Cafeteria (© Michael Krause).

Linac 3, LEIR, PS und SPS als Vorbeschleuniger eingesetzt. Andere CERN-Experimente sind: Antiprotonen-Decelerator (AD); ISOLDE (Isotope Separator On-Line Detector) und CNGS (CERN Neutrinos for Gran Sasso), bei dem das CERN Neutrinos für die Experimente im italienischen Gran Sasso erzeugt. Im Bau befindlich ist der Linac 4, SPL (Super Proton Linac) und PS2.

Verantwortlicher Hauptingenieur des LHC war Lyn (Lyndon Rees) Evans, ein 1945 geborener Waliser. Evans arbeitet seit 1969 am CERN und nach Arbeiten an SPS und LEP ab 1994 als Projektleiter des LHC (siehe Kapitel 6, Interview mit Lyn Evans).

Der Large Hadron Collider ist das größte wissenschaftliche Instrument, das jemals gebaut wurde. Die hier angewendete Technologie ist atemberaubend und fast unvorstellbar. Im Beam des LHC kreisen 2808×2808 Pakete im Abstand von jeweils 7,5 Metern. In jedem dieser Pakete befinden sich 10^{11} (100 Milliarden) Protonen. Pro Sekunde finden etwa 600 Millionen Kollisionen statt, bei denen Temperaturen von bis zu 10^{16} Kelvin (10 Billionen) entstehen, eine Milliarde Mal höher als im Zentrum der Sonne. Allerdings sind von den 600 Millionen Kollisionen, die pro Sekunde stattfinden, gerade einmal 200 interessant für die weitere Auswertung. Neben diesen interessanten Ereignissen (Events) entsteht jede Menge »background« – Datenschnitt von anderen Events, die man nicht braucht und die deswegen in ei-



Querschnitt LHC-Dipol-Magnet

LHC-Dipol-Magnet: Querschnittsschema (© 1996 CERN, CERN-AC-9602021 02).

nem komplexen Computerverfahren herausgefiltert werden müssen. Die Anforderungen an Aufzeichnung, Selektion und Vermessung der Kollisionen sind enorm. Dies führte am CERN zu der Überlegung, die benötigte Rechenleistung auf ein weltweites Datenverarbeitungsnetz zu verteilen.

Teilchenbeschleuniger-Typen

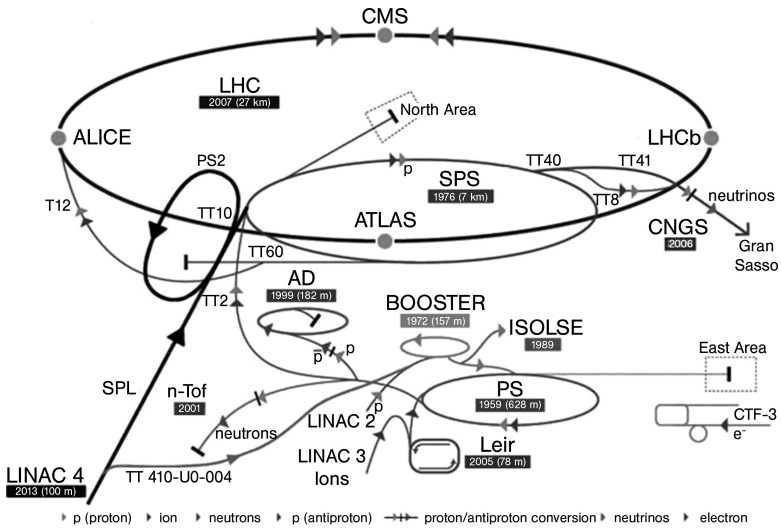
Teilchenbeschleuniger sind Apparate, um geladene Teilchen (Elektronen oder Ionen) auf hohe Energiezustände zu beschleunigen. Sie gehören zu den größten und teuersten Apparaten, mit denen Physiker heute nach den Strukturen und den Bestandteilen der Materie forschen. Es werden immer leistungsfähigere Beschleuniger gebaut, weil man mit immer energiereicheren Teilchen immer kleinere Strukturen innerhalb der Atome aufspüren kann.

Alle Teilchenbeschleuniger haben drei grundlegende Bestandteile:

- eine Quelle mit Elementarteilchen oder Ionen
- eine Röhre, in der die Teilchen in einem hohen Vakuum beschleunigt werden
- Apparaturen, um die Teilchen zu beschleunigen.

Es gibt zwei Klassen von Teilchenbeschleunigern:

Elektrostatische Beschleuniger benutzen statische elektrische Felder, um Teilchen zu beschleunigen. Das bekannteste Beispiel ist die Kathodenstrahlröhre eines



Teilchenbeschleuniger am CERN (© 2008 CERN, CERN-AC-0812015).

Röhrenfernsehers. Weitere Formen sind der Cockcroft-Walton-Generator und der Van-de-Graaf-Generator. Bei hohen Spannungen (Durchschlagsspannung über 15 MV) kann jedoch das elektrostatische Feld durch Überschläge zusammenbrechen.

Beschleuniger mit hochfrequenter Wechselspannung nutzen Wechselfelder im Radio- oder Mikrowellenbereich, um die Teilchen zu beschleunigen. Leo Szilard, Rolf Wideroe und Ernest Lawrence waren die Pioniere auf diesem Gebiet. Sie bauten die ersten Linearbeschleuniger, das Betatron und das Cyclotron.

Linearbeschleuniger In Linearbeschleunigern werden die Teilchen auf entweder statisch oder abwechselnd gepolten Beschleunigerstrecken immer schneller gemacht. Der größte Linearbeschleuniger ist der Stanford Linear Accelerator (SLAC) in den USA. Er hat eine Länge von zirka 3 Kilometern und beschleunigt Elektronen oder Positronen auf 50 GeV.

Cyclotron Um den hohen Platzbedarf eines Linearbeschleunigers zu reduzieren, entwickelte Ernest Orlando Lawrence (1901–1958) 1929 das Cyclotron. Das Cyclotron ist ein ringförmiger Teilchenbeschleuniger, in dem elektrisch geladene Teilchen (Protonen) durch hochfrequente elektromagnetische Felder beschleunigt werden, die zwischen zwei D-förmigen Kammern (Duanden) angelegt werden. Die immer schneller werdenden Teilchen durchlaufen dabei Bahnen mit immer größeren Radien, die sie vom Inneren des Kreises in einer spiralförmigen Bahn nach außen hin beschleunigen. Mit einem Cyclotron können Teilchen auf bis zu 80 Prozent der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden.

Mit einem Cyclotron wurden 1941 erstmals die aus der kosmischen Strahlung bekannten Mesonen künstlich erzeugt. Ernest Lawrence erhielt 1939 den Nobelpreis für Physik »für die Erfindung und Entwicklung des Cyclotrons und für die damit erzielten Resultate, besonders in Bezug auf künstliche radioaktive Stoffe.« Lawrence erforschte außerdem die An-

wendungsmöglichkeiten des Cyclotrons in Medizin und Biologie. Das Element mit der Kernladungszahl 103 heißt ihm zu Ehren Lawrencium.

Synchrotron Das Synchrotron ist ein Ringbeschleuniger mit festem Ziel. Die geladenen Teilchen werden in einzelnen Paketen und nicht mehr kontinuierlich auf einer Bahn geführt, die oft durchlaufen wird. Die Beschleunigung der Teilchen erfolgt durch ein synchronisiertes, hochfrequentes elektrisches Wechselfeld im Mikrowellenbereich auf weitaus höhere Energien als beim Cyclotron. Mit einem Synchrotron lassen sich Teilchen auf beinahe Lichtgeschwindigkeit beschleunigen. Das Konzept des Synchrotrons wurde unabhängig voneinander von Wladimir Weksler 1944 in Russland und im selben Jahr von Edwin MacMillan in den USA entwickelt. Am Brookhaven National Laboratory (BNL) wurde seit 1952 das erste Synchrotron (Cosmotron) eingesetzt. Durch die folgende Entwicklung (starke Fokussierung; PS, SPS) ist das Synchrotron bis heute ein sehr erfolgreicher Beschleuniger-Typ. Elektron-Synchrotrone finden heute durch die verfügbare Syn-

chrotronstrahlung auch in der medizinischen und in der Materialforschung Anwendung.

Speicherringe Speicherringe waren ein riesiger technologischer Schritt in der Entwicklung von Teilchenbeschleunigern. Die Energie (und die wissenschaftliche Ausbeute) der kollidierenden Teilchen ist durch die angewendete Methode weitaus höher als bei anderen Ringbeschleunigern. Speicherringe sind Kollisionsmaschinen, bei denen durch gegenläufige Teilchenstrahlen, die fast lichtschnell sind, Volltreffer (head-on collisions) mit der vollen Energie beider kollidierender Teilchen möglich sind. Die ersten Elektron-Positron-Speicherringe wurden Anfang der 1960er Jahre in Italien am Istituto Nazionale in Frascati und in Russland gebaut. 1971 begann am CERN die Arbeit mit dem ISR, dem ersten Hadronenbeschleuniger (Proton-Antiproton-Beschleuniger) der Welt. Stochastische Kühlung und Einsatz von Supraleitfähigkeit in Magneten machen Hadronenbeschleuniger zum momentan erfolgreichsten Konzept für Forschungen im Hochenergiebereich der Teilchenphysik.

Vom CERN-Datenverarbeitungsnetz zum World Wide Web

Hohe Rechenleistung wurde am CERN immer benötigt. Bereits 1958 wurde ein damals hochmoderner Ferranti Mercury Computer für 150 000 Schweizer Franken installiert. Die Komponenten der neuen Rechenmaschine füllten einen ganzen Raum, doch sie hatte dabei nur die Gesamtrechenleistung eines modernen Taschenrechners – sogar zu wenig, um eine einzige Proton-Proton-Kollision des heutigen LHC aufzeichnen zu können. Die Großrechner der ersten (Ferranti) und zweiten (IBM 709) Generation mussten bald den ersten kleineren Computern (IBM, HP) Platz machen. 1964 waren am CERN bereits 50 der damals sogenannten »Minis« im Einsatz. Mit der rapiden Entwicklung der Elektronik in den 1960er und 70er Jah-

ren wurde die Nachfrage nach elektronischer Datenerfassung immer größer, die benötigte Rechenleistung immer höher.

Die von den Experimenten produzierte Datenmenge wuchs schnell. Nicht nur mehr Rechenleistung, sondern auch die Verbesserung der Kommunikation untereinander war nötig. Der »Flaschenhals« bestand darin, dass alle vorhandenen Computer bislang nur einzeln ansteuerbar waren. Um die Kommunikation zwischen den einzelnen Experimenten und den weltweit verteilten Teilchenphysikern effektiver zu machen, entwickelte der Brite Tim Berners-Lee im Jahr 1989 am CERN ein neues Vernetzungssystem, das nach mehreren Namenswechseln zum *World Wide Web (WWW)* wurde. Während der Entwicklungszeit wurden die bis heute gültigen Basiskonzepte wie URL, http und HTML definiert und erste Browser- und Server-Software entwickelt. Berners-Lee hat stets darauf verzichtet, Kapital aus seiner Entwicklung zu schlagen und auch das CERN-Management entschied sich dafür, diese Erfindung in die »public domain« zu geben und damit für alle Menschen frei verfügbar zu machen. Das Internet, das weltweite Netz von miteinander verknüpften, jederzeit abrufbaren Informationen, das bisher ausschließlich von einer Handvoll Forschern, Militärs und Computernerds genutzt werden konnte, wurde damit der breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

Tim Berners-Lee und sein belgischer Kollege Robert Cailliau hatten ein einfaches System entworfen, das heute die gesamte Menschheit miteinander verbindet. Das Netz revolutionierte den freien Zugang zur Information und ließ sehr schnell ganz neue Wirtschaftszweige entstehen. Das weltweite Computernetz ist die populärste Erfindung, die je am CERN gemacht wurde. Heute benutzen es weltweit mehr als 2,2 Milliarden Menschen (Stand 31.12.2011). Berners-Lee erhielt für die Erfindung des WWW unter anderem den mit einer Million Euro dotierten Millennium-Technologiepreis. Er wurde im Jahr 2004 von Königin Elizabeth II. zum Ritter geschlagen. Heute leitet Dr. Berners-Lee das World Wide Web Consortium (W3C), eine Organisation, deren Mission es ist »das volle Potenzial des World Wide Web zu entwickeln.« Sir Tim Berners-Lees betonte immer die entscheidende Rolle des CERN bei der Entwicklung des Internet:

»Schon Ende der 1980er Jahre war das Internet ein gutes Werkzeug für die Wissenschaftler. Es erlaubte ihnen, E-Mails auszutauschen und

große Computer von außen anzusteuern. Aber es brauchte eine einfachere Art, Information auszutauschen. CERN mit seiner langen Tradition an Informatik und Netzwerken war der ideale Platz, sie zu finden.«

Die Idee des 2005 entworfenen LHC Computing Grid (LCG) ist es, möglichst viele Computer miteinander zu vernetzen, um damit die Riesendatenmengen, die von den Experimenten am LHC bereitgestellt werden, auf einer gemeinsamen Rechnerplattform verarbeiten zu können. Es gilt dabei, aus den Datenmengen diejenigen Ereignisse herauszufiltern, die für die weiteren Forschungen wirklich relevant sind. Die Experimente mit dem LHC produzieren zusammengenommen etwa ein Prozent der gesamten weltweiten Datenmenge. Jedes Jahr entstehen zirka 25 Pbyte (Petabytes) oder 20 Millionen GB Daten. Am CERN selbst arbeitet das Rechenzentrum, das PC-Farm genannt wird, mit etwa 9000 parallelen Servern, was etwa 20 Prozent der benötigten Gesamtkapazität entspricht. Am LCG angeschlossen sind heute 170 Rechenzentren in 36 Ländern. Nur durch die Einrichtung des LHC Computing Grid kann die Arbeit des LHC und der Detektoren adäquat ausgewertet werden. Das LCG ist ein Modell, wie Datenverarbeitung in Zukunft aussehen wird. Komplexe Vorgänge werden nicht mehr vor Ort, sondern in einer Computer Cloud gerechnet werden.

Unfall und Neustart des LHC

Am 10. September 2008 setzte der LHC Projektleiter Lyn Evans den Large Hadron Collider (LHC) in Betrieb. Der Probelauf verlief einwandfrei, bis es am 19. September zu einem Zwischenfall in Sektor 3–4 des Beschleunigers kam. Eine fehlerhafte elektrische Verbindung zwischen zwei Dipol-Magneten führte zu einem hochenergetischen Lichtbogen, der die Hülle des Magneten zerstörte. Sicherheitsventile ließen mehrere Tonnen des Kühlmittels Helium ab, doch der plötzliche Druckanstieg führte zu weiteren, massiven Schäden an den umliegenden Magneten. Der Tunnel musste für einen Monat gesperrt werden, bis der betreffende Tunnelabschnitt auf Raumtemperatur aufgewärmt war und mit den Reparaturarbeiten begonnen werden konnte. Insgesamt waren 53 Magnete schwer beschädigt worden; sie mussten ersetzt werden. Um solche Vorfäl-

le in Zukunft zu vermeiden, wurde ein neues Überwachungs- und Frühwarnsystem eingebaut.

Am 23. Oktober 2009 wurde der LHC mit niedriger Energie wieder hochgefahren. Nach dem Unfall beschränkte der Generaldirektor des CERN, Rolf-Dieter Heuer (siehe Kapitel 2), die Leistung des LHC auf 50 Prozent. Am 30. März 2010 gelang es, 3,5 TeV pro Protonenstrahl zu erreichen. Seitdem konnte die Kollisionsenergie auf 4 TeV gesteigert werden. Der LHC arbeitet zuverlässiger und präziser als von seinen Konstrukteuren, den Theoretikern und den Experimentalphysikern am CERN erwartet worden war: Die große Maschine liefert eine höhere Anzahl an Ereignissen (Events) als geplant. Nach einer Umbauphase wird der LHC 2014 wieder gestartet werden, um dann Kollisionsenergien von bis zu 7 TeV pro Teilchenstrahl zu erzeugen.

CERN heute

Das CERN-Hauptgelände liegt bei Meyrin nahe Genf in der Schweiz, direkt an der Grenze zu Frankreich. Das CERN hat als internationales Forschungszentrum eine besondere Stellung: Große Teile der Beschleunigerringe und einige unterirdische Experimente befinden sich auf französischem Staatsgebiet, gehören aber administrativ zur Schweiz. Auf dem CERN-Gelände gilt kein nationales Recht, CERN kann vor keinem nationalen Gericht verklagt werden. Oberstes Entscheidungsgremium ist der CERN-Rat (CERN Council). Die Mitgliedsstaaten entsenden jeweils zwei Delegierte in diesen Rat, einen Repräsentanten der Regierung und einen Wissenschaftler, die zusammen eine Stimme haben.

Offizielle Arbeitssprachen sind Englisch und Französisch. CERN hat etwa 3150 Mitarbeiter (Stand: 31. Dezember 2010). Über 10 000 Gastwissenschaftler aus 85 Staaten arbeiten an CERN-Experimenten. Das Jahresbudget des CERN belief sich 2010 auf 1,11 Milliarden Schweizer Franken.

Eine in Zusammenhang mit CERN oft gestellte Frage ist die nach dem Nutzen: CERN ist ein riesiger Think-Tank, hier arbeiten 50 Prozent der mit Grundlagenforschung beschäftigten Physiker weltweit. Sie treiben dabei die Grenzen des Machbaren voran – was der Gesellschaft durch die Entwicklung neuer Technologien und Zurverfügungstellung der Forschungsergebnisse allgemein zugutekommt. Das

weltweite Computer-Web, entwickelt am CERN, revolutionierte das öffentliche Leben. CERN ist auch eines der Zentren für die Entwicklung bildgebender Verfahren und der Elektronik. Georges Charpaks MultiWire-Proportional-Kammer (MultiWire Proportional Chamber) revolutionierte nicht nur die Teilchenerkennung in physikalischen Experimenten, sondern auch die medizinische Bildgebung. Die ersten Positronen-Emissions-Tomografie-(PET)-Scanner, die Schlüsseltechnologie moderner bildgebender Verfahren in der Medizin, wurden von CERN-Physikern entwickelt. Seit den 1990er Jahren werden kleinere Protonenbeschleuniger zur Tumor-Behandlung in Spezialkliniken eingesetzt. Mit der Protonentherapie kann man sehr viel genauer arbeiten und die deponierte Strahlenenergie viel präziser dosieren und platzieren als mit herkömmlichen Methoden, was besonders bei Tumorerkrankungen im Augenbereich oder im Gehirn von großer Bedeutung ist.

Artikel II der CERN-Konvention sieht vor, dass »die Ergebnisse der (...) Arbeit veröffentlicht oder anderweitig zur Verfügung gestellt werden.« Diese offene Politik hat einen großen Lerneffekt für die beteiligten Wissenschaftler und Institute. Technologieentwicklung und dessen Transfer sind Hauptziele des CERN, indem es die Zusammenarbeit der Wissenschaftler aus verschiedenen Nationen mit unterschiedlichen politischen Zielen und Hintergründen entwickelt und fördert. Die Sprache, die alle verstehen ist Wissenschaft, und gemeinsam dienen sie alle der großen Mission des CERN: Antworten zu finden auf die großen Fragen der Menschheit: »Woraus besteht der Kosmos?«, »Wo kommen wir her?« und »Wo gehen wir hin?«

Internationale Trägerschaft des CERN

1954

Die 12 Gründungsstaaten des CERN: Belgien, Dänemark, Frankreich, Bundesrepublik Deutschland, Griechenland, Italien, Niederlande, Norwegen, Schweden, Schweiz, Großbritannien, Jugoslawien.

1959–61

Österreich und Spanien werden Mitglied. Jugoslawien verlässt die Organisation 1961 aus finanziellen Gründen.

1969

Spanien verlässt die Organisation und tritt 1983 wieder bei.

1991

Finnland und Polen treten bei.

1992–93

Ungarn, Tschechien und Slowakei werden Mitglieder.

1999

Bulgarien wird der 20. Mitgliedsstaat des CERN.

Rumänien ist Kandidat, Israel und Serbien sind Anwärter auf eine Mitgliedschaft. Bewerber sind momentan Zypern, Slowenien, Türkei.

Beobachterstatus haben die Vereinigten Staaten, Indien, Japan, Russland, die Europäische Kommission und die UNESCO.

Zukunft des CERN

Der LHC wird ab Februar 2013 für 18 Monate abgeschaltet und 2014 – nach einer gründlichen Überholung – wieder in Betrieb genommen, dann mit der vollen Beschleunigerleistung von 14 TeV. Der LHC wird eine Lebensdauer bis mindestens 2030 haben und der Einbau neuerer, stärkerer Magnete wird es ermöglichen, den Strahl besser zu fokussieren. Dadurch wird die Luminosität und die Anzahl der Kollisionen beträchtlich erhöht werden. Für die Zukunft wurde am CERN auch schon über den Bau eines Very Large Hadron Collider (VLHC), eines noch größeren Ringbeschleunigers nachgedacht. Diese Überlegungen wurden bis jetzt aus geologischen – und finanziellen – Gründen nicht weiter verfolgt. Laut Berechnungen müsste ein Beschleuniger, der 40 TeV, das Dreifache der Leistung des LHC, bereitstellt, ungefähr 200 Kilometer Umfang (65 Kilometer Durchmesser) haben.

In der globalen Physikergemeinde scheint Konsens darüber zu herrschen, dass die nächste Beschleuniger-Generation kein Ring-, sondern wieder ein Linearbeschleuniger für die Kollision von Elektronen und Positronen werden sollte. Die Energie der beschleunigten Teilchen wird zwischen 0,5 TeV und 1 TeV liegen. Obwohl dies viel weniger als beim LHC ist, ergänzen die Möglichkeiten eines starken Elektronenbeschleunigers die Forschungen der Experimente am CERN, etwa wenn es um die Qualifizierung und genaue Beschreibung des Higgs-Bosons geht. Die Idee des International Linear Collider (ILC) wird in Genf heftig diskutiert, denn auch DESY in Hamburg hat im Rahmen der TESLA Technology Collaboration das Modell eines neuen Linearbeschleunigers entwickelt. Der ILC hat in der Planung eine Länge von 31 Kilometern, die Gesamtkosten betragen 7 Milliarden Dollar – wenn es dabei bleiben sollte (www.linearcollider.org).



CERN: Luftbildaufnahme, Flughafen Genf, LEP/LHC-Tunnel (© 1986 CERN, LHC-PHO-1986-001).

Geschichte des CERN

- Churchills Züricher Rede: »Die Zukunft Europas liegt in der gemeinsamen Wissenschaft.«
- Europäische Teilchenphysik ist wegen der hohen Kosten nur als gemeinsame Unternehmung möglich.
- Isidor Rabi bringt europäische Initiative (de Broglie, Amaldi, Bohr) vor UNESCO.
- CERN-Konvention 1953: Physiklabor zur reinen Grundlagenforschung mit Lehrcharakter und offener Informationspolitik.
- 1954: 12 Gründungsstaaten, bis 1960 Budget 130 Millionen Schweizer Franken.
- 1960: PS (Proton-Synchrotron) fertiggestellt (Leiter: John Adams); Bau der großen Blasenkammern (BEBC, Gargamelle); Entdeckung neutraler Ströme, damit Bestätigung der elektroschwachen Kraft innerhalb des Standardmodells.
- 1960er/70er Jahre: Elektronische Detektoren – Georges Charpak Multi-Wire Proportional Chamber, Bau des Super Proton Synchrotron (SPS) und des Intersecting Storage Ring (ISR).
- 1983: Bestätigung der W- und Z-Vektorbosonen (Carlo Rubbia); Standardmodell gefestigt; Bau des LEP-Tunnels mit 27 Kilometern Umfang.
- 1990: Tim Berners-Lee entwickelt WWW.
- Ab 1994: Bau des LHC (Budget 6,5 Mrd. Franken).
- 4. Juli 2012: »Higgs-ähnliches« Teilchen entdeckt.

