

Lunds universitet  
Kandidatuppsats i idé- och lärdoms historia  
ILHK02  
Handledare: Thomas Kaiserfeld  
VT 2017

**LEP, LHC, och SSC**  
En strukturfokuserad jämförelse av faktorer för  
framgångar och misslyckanden i vetenskapliga  
projekt i mångmiljardklassen

Författare: Daniel Carlsson

# Abstract

In 1964, a theory was presented on how an invisible field is acting in nature, which causes mass to arise. The theory gives an explanation of how something can come from nothing and thus takes humanity one step closer to understanding how the universe works. Proving the theory was problematized by the fact that no experiments could be conducted since particle accelerators at the time weren't powerful enough. Not until 2013, when the results of the LHC (Large Hadron Collider) had been analyzed, the field's smallest component, the Higgs boson, could be confirmed and the theory proved to be true. The glory of the discovery fell upon, among others, Peter Higgs and Françoise Englert who first presented the theory, the facility that CERN (Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire) had created, and the research teams carrying out the experiments. On the other side of the Atlantic, in Texas, one could at the same time gaze upon the remnants of the partially completed Superconducting Super Collider (SSC), which had been abandoned since the mid 1990s. The accelerator was meant to prove the existence of the Higgs boson years ahead of the LHC, but the US Congress, partially due to ever-increasing costs, scrapped the project before completion. The study will make a detailed comparison between specific events that led to CERN's success and the United States failure in the search of the Higgs boson. This study concludes that willingness to cooperate on an international level is a crucial component in high-energy experimental physics.

# Innehållsförteckning

<b>1. INLEDNING</b>	<b>4</b>
1.1. SYFTE OCH PROBLEMFÖRMULERING	4
1.2. FRÅGESTÄLLNING	6
1.3. TIDIGARE FORSKNING	6
<b>2. METOD</b>	<b>10</b>
2.1. OPERATIONALISERING	10
2.2. MATERIAL	11
2.3. AVGRÄNSNINGAR	11
<b>3. EMPIRI</b>	<b>13</b>
3.1. STANDARDMODELLEN OCH HIGGSFÄLTET	13
3.1.1. <i>Standardmodellen</i>	13
3.1.2. <i>Higgsfältet</i>	15
3.2. CERN	16
3.2.1. <i>Historien om CERN</i>	16
3.2.2. <i>Tidiga projekt på CERN</i>	17
3.2.3. <i>LEP - Linear Electron-Positron Collider</i>	18
3.2.4. <i>LHC - Large Hadron Collider</i>	24
3.3. SSC - SUPERCONDUCTING SUPER COLLIDER	29
3.3.1. <i>Historien om SSC</i>	30
3.3.2. <i>Från idé till koncept</i>	31
3.3.3. <i>Val av plats</i>	33
3.3.4. <i>Saknade pengar, ökade kostnader</i>	35
3.3.7. <i>Början på slutet</i>	38
3.3.8. <i>Uderygång</i>	39
<b>4. ANALYS</b>	<b>41</b>
4.1. HUVUDSAKLIGA FAKTORER	41
4.1.1. <i>Internationellt samarbete och bidrag</i>	41
4.1.2. <i>Konstruktionsplats och projektledare</i>	42
4.2. SEKUNDÄRA FAKTORER	43
4.2.1. <i>Hålla sig till budget</i>	43
4.2.2. <i>Kontroll av resurser</i>	43
4.2.3. <i>Struktur och förutsättningar</i>	44
<b>5. SLUTSATSER</b>	<b>46</b>
<b>6. KÄLLFÖRTECKNING</b>	<b>49</b>

# 1. Inledning

Studien kommer huvudsakligen att beskriva centrala händelser och tillvägagångssätt av CERN (Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire) och USA i processen att konstruera partikelacceleratorer. Projektens huvudsyfte var att bekräfta existensen av Higgsfältet. En kort sammanfattning av standardmodellen där Higgsfältet ingår, samt vad Higgsfältet är kommer att ges i början av studiens empiriska del.

## 1.1. Syfte och problemformulering

Syftet med studien är att undersöka två världsdelars strävan efter att hitta higgsbosen; vilka var de avgörande framgångsfaktorerna och misslyckandena som skiljde projekten åt? Studien jämför CERN:s LEP- (Linear Electron-Positron Collider) samt LHC-projekt (Large Hadron Collider) med USA:s SSC-projekt (Superconducting Super Collider). CERN lyckades genomföra båda sina planerade partikelacceleratorer medan USA skrotade konstruktionen av sin, trots att flera miljarder dollar redan var investerade. Vilka var anledningarna till att USA inte lyckades fullfölja konstruktionen av SSC-projektet, och vad gjorde CERN annorlunda då de lyckades genomföra både konstruktionen av LEP- och LHC-acceleratorn?

För att besvara frågorna kommer studien att jämföra tillvägagångssätten för konstruktionen av dels LEP- samt LHC-acceleratorn som utformades mellan 1976-2008 vid CERN i Genève, Schweiz, och SSC-acceleratorn som utformades mellan 1983-1993 i USA. Anledningen att studien använder två acceleratorprojekt från CERN och bara ett från USA är att LHC-acceleratorn var avhängig LEP-acceleratorns existens. Projekten var nära sammanflätade, inte minst med tanke på att de byggdes i samma tunnel, med delade kostnader. Jämförelsen mellan CERN och SSC skulle halta om LEP-acceleratorn uteslöts.

Projektet kostar flera miljarder euro att genomföra och underhålla med allt från konstruktion till personalkostnader. En av anledningarna att spendera så mycket pengar på anläggningarna och experimenten är att forskningen syftar till att bevisa teorier om hur universum fungerar och bevisa var all materia

kommer ifrån. Standardmodellen har sedan 1970-talet varit den vedertagna modellen för att förstå de minsta beståndsdelarna i universum. Möjligheten att förstå partiklar och vad som ger dem sina egenskaper kan svara på frågor som mänskligheten har ställt sig i alla tider.

En av partiklarna i standardmodellen är Higgsbosonen, som bland annat kan förklara var massa kommer ifrån. Higgsbosonen har varit en del av standardmodellen sedan dess teori framfördes 1964, men teorin kom att bevisas empiriskt först 2012 då en tillräckligt kraftfull partikelaccelerator på forskningscentret CERN hade utvecklats. Med upptäckten av Higgsbosonen kom CERN:s ställning återigen att bekräftas som ledande inom partikelfysik. Titeln hade USA velat återkräva sedan tidigt 1980-tal då CERN hade lyckats bevisa tre andra partiklar som ingick i standardmodellen. I och med att president Ronald Reagan gav sitt fulla stöd till åtagandet startade processen med att konstruera en partikelaccelerator som skulle bli långt kraftfullare än någon annan i världen. Projektet kom att kallas för Superconducting Super Collider. Blotta specifikationerna för SSC-acceleratorn fick både forskare och politiker i Europa att ifrågasätta lönsamheten att vidareutveckla den redan existerande LEP-acceleratorn på CERN, men slutligen kom SSC-projektet att skrotas, uppgraderingen av LEP-acceleratorn till LHC-acceleratorn på CERN färdigställdes, och upptäckten av Higgsbosonen 2012 blev ytterligare en framgång för partikelfysik i Europa.

Mängder med journalister tog fasta på att den ständigt ökande budget som SSC-projektet krävde var anledningen till att projektet lades ner. Forskare hävdar att bidragande faktorer till nedläggningen var att amerikanerna verkade inställda på att genomföra SSC som ett nationellt projekt dit andra länder gärna fick skänka pengar utan att räkna med att ha inflytande.<sup>1</sup> Både en ökande budget och brist på internationellt stöd skulle ensamma kunna fälla projektet, de var dock inte de enda anledningarna. Vilka var orsakerna till att kostnaderna ökade så dramatiskt som de gjorde och hade det kunnat undvikas? Fanns det andra anledningar till det bristande internationella biståndet än USA:s vilja att hålla projektet nationellt?

---

<sup>1</sup> Smith, 2007:281; Schopper, 2009:188

Idag finns världens längsta och mest kraftfulla partikelaccelerator på gränsen mellan Frankrike och Schweiz, nära Genève. Med en kapacitet på 14 TeV (Teraelektronvolt) har den tillräckligt hög energinivå för att kunna upptäcka och skapa några av de minsta beståndsdelarna i vårt universum. Genom att kollidera partiklar under bestämda förutsättningar, går det att slå sönder dessa så att nya skapas. Problematiken ligger i att de beståndsdelar som skapas förekommer i högst olika frekvens. För varje Higgsboson som skapas, skapas en miljon eller mer andra beståndsdelar. Möjligheten att skapa olika beståndsdelar av befintliga partiklar förenklas genom att applicera högre energi, därav nyttan med en kraftfullare accelerator. En kraftigare accelerator tillåter helt enkelt forskare att studera de minsta beståndsdelarna vi än så länge kan skapa, vilket i sin tur ger ledtrådar till varför vårt universum beter sig så som det gör. Exempelvis kan vi, med upptäckten av Higgsbosonen år 2012, börja förstå var massa kommer ifrån.

LHC bygger på acceleratorteknologi som har utvecklats och förbättrats sedan 1929, då Ernest O. Lawrence tillverkade den första cyklotronacceleratorn som låg till grund för hans nobelpris i fysik 1939. Den första acceleratoren han byggde var endast 10 cm i diameter, för att sätta detta i perspektiv till dagens acceleratorer så har LHC acceleratoren en omkrets på 27 km och den största föreslagna acceleratoren, SSC, skulle haft en omkrets på strax över 87 km om inte projektet hade lagts ner innan den fullbordades.

## 1.2. Frågeställning

Syftet och problemformuleringen leder till slut till frågan:

*Vilka var de avgörande faktorerna som gjorde att CERN lyckades genomföra konstruktionen av LEP- och LHC-acceleratorn och USA misslyckades med genomförandet att konstruera SSC-acceleratorn?*

## 1.3. Tidigare forskning

Svårigheterna med skapandet av LEP och LHC hade mycket att göra med var anläggningen skulle ligga, hur mycket som behövde vara inbäddat i jurabergen och hur långt under jord den skulle byggas. Budgetproblemen kom oftast att lösas genom kompromisser där ökningarna blev godkända enbart i utbyte mot löften om att hitta eventuella framtida resurser ur den egna rörelsebudgeten.

Kapandet av kostnader för att få projekten godkända var också något som CERN ledningen var tvungen att göra på regelbunden basis. Till skillnad från hur SSC-projektet fortlöpte hade CERN en betydande fördel. Från första början hade organisationen en gedigen förståelse för vad som krävdes för att få internationellt samarbete att fungera. Detta är något som både Herwig Schopper och Chris Llewellyn Smith, två före detta generaldirektörer på CERN, påpekar när de på var sitt håll beskriver problemområdena för konstruktionen av LEP-respektive LHC-acceleratorn.<sup>2</sup> Ytterligare en fördel CERN hade gentemot SSC, som härstammar från det internationella samarbetet, var att projektgrupperna som fick i uppgift att utföra uppgiften att utvärdera, planera, och leda konstruktionen av både LEP och LHC hade erfarenhet av att leda successivt större och större projekt tillsammans. Det fanns en kultur av acceleratorkonstruktion på CERN, en kultur av samarbete, och en kultur av att lita på dem som ledde projekten.

Förhoppningsvis kommer det ut en fjärde volym av boken "*History of CERN*" i framtiden. De tre första volymerna, som har redigerats och delvis författats av vetenskapshistorikern John Krige, täcker organisationen CERN från koncept till och med dess verksamhet under 1970-talet. Tyvärr bedömer författarna att det skulle vara för tidigt att skriva om 1980-talet och därmed även inkludera LEP-projektet i historieförställningen om CERN.<sup>3</sup> För den som vill få en grundlig redovisning av CERN fram till 1970-talets slut finns det över 2000 sidor historia uppdelat på tre volymer att läsa.

Anledningarna till nedläggningen av SSC-projektet beskrivs ofta i media och annan forskning som budgetproblem, brist på internationellt stöd, eller saknat stöd ibland politikerna. Sällan nämns dessa som en kombination av svårigheter som slutligen gjorde att projektet skrotades. Nyhetsartiklar om SSC-projektet handlar oftast om att projektets budget ständigt ökade, och att det låg till grund för den slutgiltiga nedläggningen.<sup>4</sup> Det är däremot förvånansvärt få artiklar som beskriver *varför* budgeten kom att öka. Den komplicerade process som ett vetenskapligt projekt i mångmiljardklassen innebär gör dock denna

---

<sup>2</sup> Smith, 2007; Schopper, 2009

<sup>3</sup> Krige, 1996:4

<sup>4</sup> Wines, 1993; Quirk, 2013; Appell, 2013

översyn förståelig. För den som vill ha en nära fullständig redogörelse om SSC kan boken "*Tunnel Visions: The Rise and Fall of the Superconducting Super Collider*" av Michael Riordan, Lillian Hoddeson och Adrienne W. Kolb rekommenderas. Boken är resultatet av en vilja från författarnas sida att berätta den kompletta historien om SSC-projektet och hjälpa läsarna att förstå vad som kan gå fel med ett vetenskapligt projekt som har omfattningen som SSC kom att få. I boken får läsaren en grundlig historisk genomgång av SSC-projektet och flera anledningar till dess nedläggning. En slutledning som finns i boken är att den ökade budget som projektet krävde delvis berodde på undermålig projektledning. Författarna skriver att projektledarna för SSC var illa förberedda på de förändringar ett projekt i mångmiljardklassen medförde.<sup>5</sup> Som exempel nämns skillnaden där projektledarna vid tidigare projekt hade blivit lämnade ensamma till att genomföra projektet på egna villkor. När kostnaderna för SSC började öka allt efterhand som fler detaljer om projektet blev klara krävdes också ökad insyn av DOE (Departement of Energy) samt politiker, och beslutskedjan stramades åt.<sup>6</sup>

Bristen på internationellt bidrag till projektet pekas även ut som en stor faktor till nedläggningen av SSC.<sup>7</sup> Det var en faktor som troligen inte hade behövt finnas om de amerikanska beslutsfattarna hade varit mer villiga att samarbeta med internationella aktörer och erbjuda möjlighet att influera projektet. I epilogen till *Tunnel Visions* drar författarna paralleller till CERN och utvecklingen av LHC-acceleratorn. Att Texas vann budgivningen om vart SSC skulle konstrueras menar författarna var olyckligt sett ur ett rent praktiskt perspektiv. Det fanns pengar att spara och kompetens som kunde utnyttjats på bättre sätt om SSC hade förlagts till Illinois istället, där Fermilab fanns. Den redan existerande acceleratorn och infrastrukturen kunde utnyttjats för att injicera partiklar till SSC vilket skulle sparat hundratals miljoner dollar.<sup>8</sup> Tyvärr innebar storleken på projektet att en budgivning mellan de amerikanska staterna var ett måste.

---

<sup>5</sup> Riordan et al., 2015:272

<sup>6</sup> Ibid., 2015:272

<sup>7</sup> Ibid., 2015:291

<sup>8</sup> Ibid., 2015:106-108



En bidragande orsak till SSC:s undergång som Andrew. T. Domondon tar upp i sin artikel "*Kuhn, Popper and the Superconducting Supercollider*" är att narrativet om SSC hamnade på kostnaderna istället för vad vetenskapsnyttan en färdig accelerator skulle medföra.<sup>9</sup> Han får stöd i *Tunnel Visions* där kunskapen om vetenskapsnyttan beskrivs som bristfällig i representanthuset och att vetenskapsmännen lyckades dåligt med att förmedla den.<sup>10</sup> Även om detta inte var huvudpoängen i Domondons artikel så belyser den vikten av att kunna förmedla nytta med vetenskap till allmänheten.

En central del som tyvärr saknas i *Tunnel Visions* är historien om LEP-acceleratorn. Utan LEP:s framgångar inom partikelfysik, utan motgångarna som CERN tampades med under utgrävningen och konstruktionen, och utan förtroendet och ryktet CERN hade byggt upp genom LEP-acceleratorn skulle sannolikheten för LHC:s framgångssaga förmodligen varit annorlunda. Dessutom är kostnaden för LEP är oftast förbisedd när LHC jämförs med SSC. Slutsatserna som författarna till *Tunnel Visions* framför i jämförelsen av SSC med LHC saknar en viktig komponent i och med exkluderingen av LEP. Den här studien kommer att ge läsaren även den bakgrunden i ett försök att sammanfatta vilka faktorer som var avgörande sett till CERN:s framgångar med LEP och LHC och USA:s misslyckande med SSC. Studien kommer identifiera de centrala skillnaderna mellan CERN och SSC för att öka chanserna att undvika framtida misstag.

---

<sup>9</sup> Domondon, 2009:306

<sup>10</sup> Riordan et al., 2015:194

## 2. Metod

Förutsättningarna för CERN och USA i genomförandet av acceleratorprojekt skiljer sig naturligtvis åt på många plan. För det första är CERN en organisation med ett uttryckt syfte att skapa partikelacceleratorer för att främja forskning inom partikelfysik.<sup>11</sup> Även om USA var i behov av en ny partikelaccelerator vägs kostnaderna för detta mot finansieringen av all annan forskning, inte bara vilken typ av accelerator som ska konstrueras, som på CERN. För det andra är strukturen vida skild i beslutsprocesser och finansieringsmöjligheter. CERN gick från att vara en organisation med en enda partikelaccelerator år 1954 till att ha skapat över femton stycken fram till dagens datum. Erfarenheten som CERN hade ackumulerat genom åren av planering och acceleratorkonstruktion innebar ett försprång gentemot konstruktionen av SSC. Trots, bland annat, dessa exempel är likheterna i processerna slående och förutsättningarna för att lyckas genomföra projekt av mångmiljardstorlek är goda. Valen av vilka delar av processen som behandlas i empirin och analysen är nogra avvägda för att delvis berätta en så komplett historia som möjligt, men även för att belysa likheterna i tillvägagångssätt mellan CERN och USA.

### 2.1. Operationalisering

Studien kommer att genomföras som en strukturfokuserad jämförelse där fokus kommer att ligga på CERN:s tillvägagångssätt för genomförandet av LEP- och LHC acceleratorerna samt USA:s tillvägagångssätt för genomförandet av SSC-acceleratorn. Strukturellt kommer analysen att hantera fem olika aspekter som bedöms vara de huvudsakliga faktorerna för framgång eller misslyckande.<sup>12</sup>

De fem olika aspekterna som kommer att analyseras och ligga till grund för slutsatsen är hur **internationellt samarbete och bidrag**, både gällande monetära och materiella resurser, kom att spela roll för projektens framgångar och misslyckanden. För det andra kommer **konstruktionsplats och projektledare** att analyseras som faktorer för framgång och misslyckande. För

---

<sup>11</sup> CERN, 2017a

<sup>12</sup> George & Bennet, 2005:68

det tredje kommer vikten av att **hålla sig till budget** att analyseras. En fjärde aspekt är hur **kontroll av resurser** nödvändiga för att hantera eventualiteter som projekten kan stöta på att analyseras. Sist kommer **struktur och förutsättningar** att analyseras.

## 2.2. Material

Ett av de svåraste momenten med studien var att lokalisera empiriskt material att basera analysen och slutsatserna på. Det refererades konstant till officiella dokument, studier, utvärderingar och så vidare i diverse artiklar, men att faktiskt hitta dokumenten utgjorde stora svårigheter. Efter mycket efterforskning visade det sig att Fermilab, ett av forskningsinstituterna som föregick SSC projektet, hade en databas fylld med tusentals scannade dokument som sträckte sig ända från början till slutet på SSC projektets livscykel.<sup>13</sup> Liknande efterforskning och liknande problem visade sig när dokumentation om CERN:s olika projekt behövde lokaliseras. Det fanns ingen tvekan om att rapporterna och studierna existerade, men att hitta dem var mycket svårare än förutsett. När väl rapporterna och studierna hade lokaliserats var nästa problem att sälla ut från tusentals dokument och läsa igenom de som var viktiga. Ordentliga ansträngningar har gjorts under studiens gång för att inte behöva använda andrahandsinformation, utan istället gå direkt till källorna.

## 2.3. Avgränsningar

Då partikelfysik är ett oerhört komplicerat ämne och resultatet för studien inte är avgjort på vare sig teknisk eller teoretisk förståelse av ämnet kommer detaljer om teorier och tekniska utformningar att utelämnas i största möjliga mån. Fokus kommer istället att ligga på den övergripande förståelsen av tillvägagångssätt för utformning och utförande av LEP-, LHC- och SSC-projekten.

Studien kommer att använda de skrivna summorna i referensdokumentationen och inte räkna om siffror utifrån valutaförändringar över tid. Anledningen till detta är att göra det lättare för läsare att kontrollera materialet som är använt i studien då samma siffror kommer att stå i texten som i originaldokumenten.

---

<sup>13</sup> Fermilab Core Computing Division, 2013

Med hänsyn till storleken på studien kommer intervjuer att uteslutas, information om vem som bidrog med vad eller hur mycket i respektive projekt kommer inte heller att vara ett fokusområde; *att* internationellt samarbete var bidragande är tillräckligt för studien. Sist men inte minst kommer politiskt klimat att nämnas, men inte detaljeras i och med att en analys av detta skulle kräva en helt egen studie.

## 3. Empiri

### 3.1. Standardmodellen och Higgsfältet

För att närmare förstå varför mångmiljardbelopp används för att bygga partikelacceleratorer behöver först användningsområdet förklaras.

#### 3.1.1. Standardmodellen

Standardmodellen, eller "teorin om nästan allting" som den även kallas, beskriver de minsta beståndsdelarna i vårt universum, och hur de agerar i kontakt med tre av naturens fyra fundamentala naturkrafter: Svag växelverkan, elektromagnetism, och stark växelverkan. Den enda naturkraften som modellen inte inkorporerar är gravitationskraften, som vetenskapen idag inte förstår på en fundamental nivå.<sup>14</sup> Gravitationskraften är dock så pass svag att okunskapen inte påverkar beräkningarna för de andra partiklarna och hur de agerar, och kan därmed försummas.

Standardmodellen fungerar som ett periodiskt system för de minsta beståndsdelarna som existerar och är organiserat via deras karaktärsdrag. Totalt är det tolv beståndsdelar som ingår i standardmodellen, uppdelade i kvarkar och leptoner. Kvarkarna kallas för: upp, ner, charm, sär, topp, och botten. Leptonerna kallas för: elektron, elektron neutrino, myon, myon neutrino, tau, och tau neutrino. Kvarkarna och leptonerna är beroende av de partiklar som de är associerade med, de kraftförmedlande partiklarna: Z, W, foton, gluon och Higgs. Z-bosonen och W-bosonen är förmedlare av svag växelverkan. Svag växelverkan är kraften som orsakar olika former av radioaktivitet. Den är kraften som tillåter att partiklar utbyter energi, laddning, och massa. Detta utbyte gör det möjligt för partiklar att skifta egenskaper och bilda andra partiklar. Z- och W-bosonerna interagerar med alla tolv elementarpartiklarna. Fotonen är förmedlare av elektromagnetism och agerar med alla partiklar som har en laddning, alla beståndsdelar förutom elektron neutrino, myon neutrino, och tau neutrino. Elektromagnetism är naturkraften som ger upphov till exempelvis, kemiska

---

<sup>14</sup> CERN, 2017b

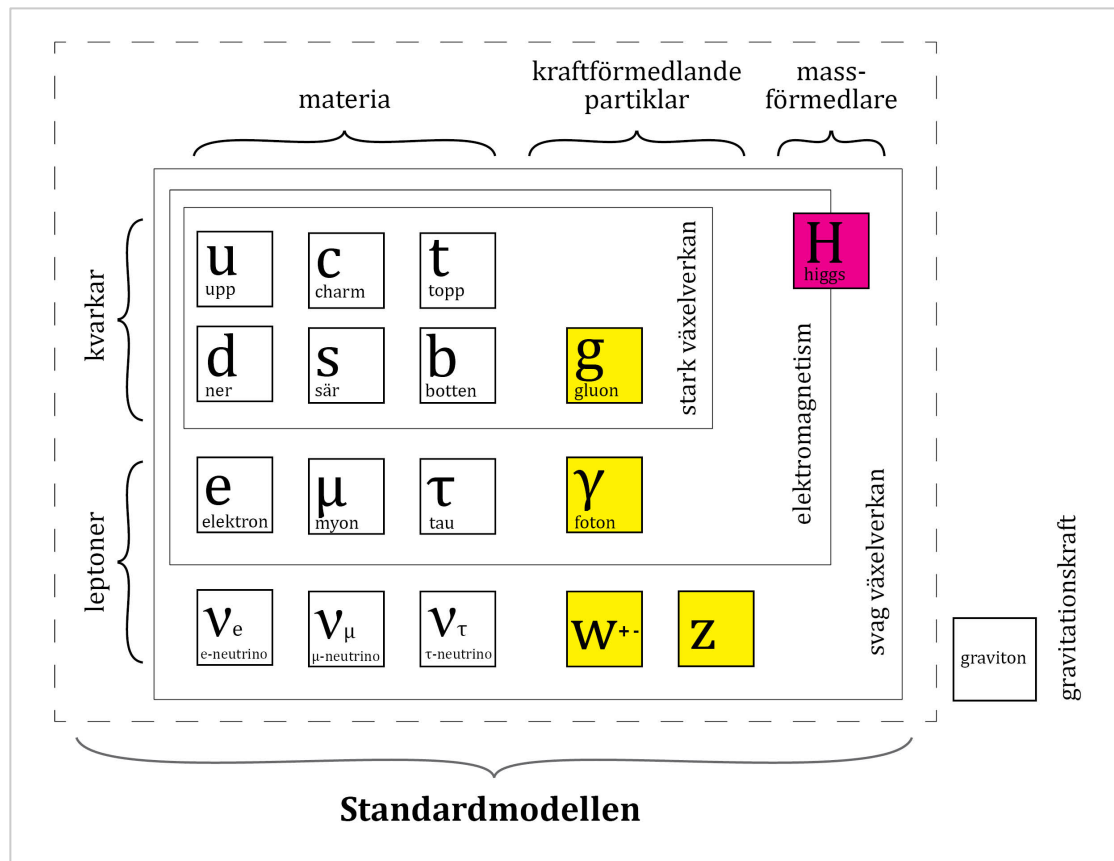
reaktioner, ljus, och radiovågor. Stark växelverkan inverkar endast på kvarkarna och har gluonen som förmedlare. Den starka växelverkan är orsaken till att atomkärnor inte faller sönder, den gör så att atomer, och alla ting de bildar, håller ihop.<sup>15</sup>

För att kunna studera dessa beståndsdelar krävs partikelacceleratorer. Exakt vad en partikelaccelerator gör är ganska enkelt att förklara, den accelererar partiklar. Partikelacceleratorer kan hjälpa till att svara på några av de mest fundamentala frågorna mänskligheten har ställt sig. Hur uppstod universum? Vad hände efter the Big Bang? Varför finns det naturlagar? Varför finns det naturkrafter, och var kommer de ifrån? Det går att svara på dessa frågor genom att försöka återskapa the Big Bang. Eller åtminstone återskapa förhållandena bråkdelen av en sekund efter att det inträffade.

Teorin om hur en partikelaccelerator fungerar är också relativt lätt att förklara. Hur den fungerar i detalj är en långt mer komplicerad fråga, en som studien inte ämnar försöka påbörja att svara på. En kort beskrivning av hur en partikelaccelerator fungerar är att den slår två objekt emot varandra tillräckligt hårt för att ta sönder dem. När objekten har gått sönder går det att observera resterna för att bättre förstå hur de är uppbyggda, och vad de är uppbyggda av. Hårdare slag (mer energi) tillåter observation av än mindre partiklar. För att undersöka vad en atom är uppbyggd av krävs det ungefär 1 eV (elektronvolt) energi, för en atoms kärna krävs ca 1 MeV (1 miljon elektronvolt). För att upptäcka Higgsbosonen krävdes det omkring 10 TeV (10 triljoner elektronvolt). Atomer och elektroner finns det gott om att använda för observation. Problematiken ligger i att Higgsbosonen inte naturligt existerar för oss att använda för observation, den måste skapas. En faktor av att använda högre och högre energinivåer är att det, förutom att slå sönder partiklar till mindre beståndsdelar, går att använda existerande partiklar för att skapa de som inte finns tillgängliga. Svårigheten ligger i att olika partiklar skapas olika ofta. Ungefärligt så skapas en bottenkvark en miljon gånger oftare än en Higgsboson. Ytterligare en problematik är att dessa bosoner inte går att observera direkt, då de är högst instabila och faller sönder extremt fort. Det enda som kan observeras är avvikelser och reaktioner av att Higgsbosonen har existerat, eller tillverkats.

---

<sup>15</sup> CERN, 2017b



Figur 1 Standardmodellens periodiska system<sup>16</sup>

### 3.1.2. Higgsfältet

Varför väger saker och ting? Varför har vissa partiklar massa? Vi vet att viss materia har massa, men det fanns ingen förklaring till *varför* förrän Peter Higgs 1964, samma år som en rad andra forskare, presenterade en teori om ett fält som agerar i naturen som så att säga förser materia med egenskapen massa. De flesta partiklar får massa genom att interagera med detta fält. Endast några få är undantagna.

Ett exempel på vad fältet gör kan förtydliga. Låt säga att man befinner sig vid ett ofantligt stort stilla hav som man behöver korsa. Skulle det gå att flyga över, så slipper man interagera med havet och man kan färdas över det väldigt snabbt. Likt fotonen som inte har någon massa och färdas i ljusets hastighet i vakuum. Om en båt finns till hands kan man använda den för att ro över havet. Båten kommer dock att sjunka ner en bit i vattnet, vilket gör att färden med hjälp av båten inte är lika snabb som färden skulle varit om man flög. En liten

<sup>16</sup> Malik, 2017

interaktion sker med vattnet, likt en partikel med låg massa. Elektronen, till exempel, har en liten massa, vilket gör att den kan färdas väldigt snabbt, men inte lika snabbt som fotonen. Ett tredje sätt att ta sig över havet skulle kunna vara att simma. Kroppen kommer förstås att sjunka ner i vattnet och interagera mycket med det. Färden över havet kommer att vara ännu långsammare än via båt eller flyg. Likt en partikel med stor massa, exempelvis en proton. Teorin är att detta hav, eller fält som är den vedertagna liknelsen, finns överallt. Vissa partiklar har en stor reaktion när det interagerar med fältet, andra har liten, och vissa har ingen alls. Fältet kom att kallas Higgsfältet, efter Peter Higgs som skapade teorin, och sägs ha tillkommit en bråkdel sekund efter att universum uppstod. Om ett sådant fält existerade kunde bevisningen av fältets minsta del, Higgsbosonen, bekräfta fältets existens. Ett av problemen med att hitta Higgsbosonen var att inga accelerators var tillräckligt kraftfulla för att kunna bevisa den när teorin formulerades. Vid den tiden visste man inte ens vilken energinivå som krävdes för att börja leta efter den, det enda man visste var att det var en väldigt hög energi.

När LHC projektet presenterades 1995 för CERN:s ledning var det just bevisningen av denna Higgsboson som fanns i åtanke. Den 4:e juli 2012 annonserade CERN att Higgsbosonen troligen var funnen, detta bekräftades lite mindre än ett år senare när tillräckligt med data hade analyserats och bevisat att bosonen som upptäcktes betedde sig enligt teorin. Jakten på Higgsbosonen är nu avslutad, men än finns flera partiklar att leta efter, som exempelvis gravitonen.

## **3.2. CERN**

### **3.2.1. Historien om CERN**

Vid slutet av andra världskriget hade europeisk forskning tappat mycket mark gentemot USA. För att vända denna trend grundades 1954 vad som kom att kallas CERN "*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*". Namnet ändrades senare till "*Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire*" men förkortningen CERN behölls. Huvudområdena för forskningen på CERN är högenergifysik, både teoretisk och experimentell, samt forskning på kosmisk strålning. Till varje laboratorium som upprättades skulle en, eller flera, tillhörande partikelacceleratorer konstrueras. Tanken med organisationen var



att europeisk vetenskap skulle främjas av internationellt samarbete. Samtidigt skulle kostnaderna för allt större och dyrare vetenskapliga projekt kunna spridas mellan flera länder. Målet med samarbetet var, och är fortfarande, att utöva forskning på nukleär nivå i en vetenskaplig anda. I CERN konventionen kan man läsa under artikel två:

The Organization shall provide for collaboration among European States in nuclear research of a pure scientific and fundamental character, and in research essentially related thereto. The Organization shall have no concern with work for military requirements and the results of its experimental and theoretical work shall be published or otherwise made generally available.<sup>17</sup>

Det som följer i texten är en kronologi av hur CERN som organisation arbetade med utvecklingen av acceleratorprojekten LEP och LHC, och vilka hinder projekten stötte på under planeringsfaserna, designfaserna, och hela vägen till färdigställande. Syftet är att ge läsaren en inblick i projekttraditionen som CERN har haft med sig ända sedan dess grundande, samt att ge en mer djupgående beskrivning om LEP- och LHC-projekten.

### **3.2.2. Tidiga projekt på CERN**

Under åren 1954 till 2017 har CERN genomfört experiment med hjälp av flera olika partikelacceleratorer. Den första de byggde var SC-acceleratorn (Synchrocyclotron) som färdigställdes 1957, tre år efter CERN officiellt inrättades som en europeisk forskningsanläggning i Genève, Schweiz. Med en energikapacitet på 600 MeV (Megaelektronvolt) var det inte den största, eller mest kraftfulla acceleratorn som världen hade skådat. Men den blev helt klart en av världens mest långlivade. Hela 33 år var SC i bruk, och producerade strålar sedan 1967 till CERN:s ISOLDE-projekt (Isotope mass Separator On-Line Device).<sup>18</sup> PS-acceleratorn (Proton Synchotron), som var CERN:s andra, men första huvudsakliga projekt startades för första gången den 24e november 1959. Den kom att vara världens mest kraftfulla accelerator under en kort tid med en maximal strålenergi på 28 GeV (Gigaelektronvolt). Knappt ett år senare kom AGS-acceleratorn (Alternating Gradient Synchrotron) i USA att ersätta den som den mest kraftfulla med 33 GeV. Sedan konstruktionen färdigställdes har PS-

---

<sup>17</sup> CERN, 1971

<sup>18</sup> CERN, 2017c

acceleratorns strålintensitet uppgraderats tusenfalt, men numera används den främst till att skapa partiklar till andra maskiner i CERN:s väldiga omfång av accelerators.<sup>19</sup> Under sin tid som primär accelerator för CERN användes den vid upptäckten av anti-deuterionen.<sup>20</sup>

1971 stod nästa accelerator redo, även denna lokaliserad i Genève. ISR-acceleratorn (Intersecting Storage Rings) använde en kollisionsprincip för att generera mer energi till experimenten. En kollision av partiklar som rör sig i motsatta riktningar genererar avsevärt mycket mer energi än att accelerera partiklar i en riktning och slå den mot en stationär yta. Med ökad effekt öppnas också en ny värld av mätbar partikelfysik. Samma år som ISR stod redo godkändes planerna för ytterligare en accelerator. SPS (Super Proton Synchotron) kom att bli CERN:s första underjordiska accelerator, och den första som korsade den Schweiz-Franska gränsen. Teknologikutvecklingen under 1970-talet gjorde att SPS kom att färdigställas två år före utsatt schema och dessutom klarade den 100 GeV högre energier än de 300 GeV som den ursprungligen var designad för. Den 7 km långa tunneln grävdes ut på endast två år och hade ett medeldjup på 40 meter.<sup>21</sup> 1983 användes accelerators för att krocka protoner och antiprotoner, vilket ledde till upptäckterna av W och Z bosonerna. Upptäckten gjorde att Carlo Rubbia och Simon van der Meer, två forskare vid CERN, tilldelades nobelpriset i fysik redan ett år senare. En oanad konsekvens av upptäckten var att acceleratorprojektet ISABELLE i USA förlorade sitt syfte och lades ner.<sup>22</sup>

### **3.2.3. LEP - Linear Electron-Positron Collider**

Inför varje nytt acceleratorprojekt går CERN:s utredningskommitté ECFA (European Committee for Future Accelerators) igenom för- och nackdelar med de föreslagna projekten. Kommitténs uppgift är att utvärdera och beräkna förutsättningarna för framtida accelerators och projekt som organisationen kan ta sig an. Förslagen lämnas sedan in för godkännande till CERN-rådet, vilket består av två representanter från varje medlemsland där den ena representerar

---

<sup>19</sup> CERN, 2017c

<sup>20</sup> En kärna av anti-neutron och anti-proton

<sup>21</sup> CERN, 2017c

<sup>22</sup> Riordan et al., 2015:25-26

medlemslandets politiska och ekonomiska intressen och den andre är en representant för medlemslandets vetenskapliga intressen.<sup>23</sup>

Tidigt i 1976 rekommenderade ECFA att en elektron-positron accelerator skulle kunna vara nästa stora projekt för CERN. Kort efteråt skapades två utredningsgrupper där den ena skulle undersöka fysiken bakomliggande en sådan accelerator, och den andra skulle undersöka designmöjligheter för själva maskinen.<sup>24</sup> Designgruppen bestod av forskare från flera olika länder. Främst forskare från CERN, som stod för hälften av utredningsgruppen, men även forskare från Rutherford Laboratoriet i England, SLAC (Stanford Linear Accelerator Center) i USA och KEK (Kou Enerugii Butsurigaku Kenkyusho (High Energy Accelerator Research Organization)) i Japan.<sup>25</sup> LEP 100 rapporten, som den kom att kallas, publicerades i augusti 1977, och beskriver med stor noggrannhet allehanda aspekter av ett sådant projekt. Många detaljer beskrevs som ytterst hypotetiska då en mycket mer noggrann studie var ett måste innan faktiska data kunde appliceras för en konstruktion i omfånget av vad LEP krävde.

Uppskattningsvis skulle projektet komma att kosta någonstans mellan 2,15 och 2,6 miljarder schweizerfranc, och acceleratoren skulle ha ett omfång på ca 50 km.<sup>26</sup> Allt för många frågor kvarstod efter rapportens slutförande, och kostnaden för att genomföra projektet bedömdes vara för stor. Även problem med vilken mängd energi och luminositet som skulle användas krävde vidare utredning. En ny accelerator för att undersöka de förväntade resultaten som PS acceleratoren skulle producera var dock fortfarande nödvändig, vilket ledde till att nya utredningar blev gjorda. De närmaste månaderna diskuterades och analyserades för- och nackdelar med att göra acceleratoren 20 km lång istället för 50, energinivåer räknades på mellan 15 GeV till 100 GeV, likaså luminositeten beräknades och jämfördes. Kostnads- och storleksberäkningar mellan lineära accelerators och synkrotronacceleratorer resulterade till slut att en synkrotronaccelerator bedömdes som mest hållbar.<sup>27</sup>

---

<sup>23</sup> CERN, 2017d

<sup>24</sup> Bennett, 1977:1

<sup>25</sup> Ibid., 1977:ii

<sup>26</sup> Ibid., 1977:66; Schnell, 1979:3130

<sup>27</sup> Schopper, 2009:12-13

Året därpå släpptes en ny rapport som kom att kallas för Blue Book rapporten. Den beskriver några av framstegen för att dels få ner kostnaderna för projektet till strax över en miljard schweizerfranc, med en årlig driftkostnad på 89 miljoner, och dels för att bibehålla en energinivå på 100 GeV.<sup>28</sup>

Konstruktionstiden för projektet beräknades att bli 6 år om alla kriterier som krävdes blev mötta. Förslaget diskuterades under flera möten under 1978 och 1979, men kom till sist att röstas ner då möjligheten till 100 GeV enbart skulle kunna uppnås ifall tekniken med superkonduktiva magneter utvecklades som förutspått. Ett måste för acceleratoren skulle vara att minst 85 GeV per stråle behövde möjliggöras med dåvarande accelerationsmetoder gjorda av koppar, dessutom bedömdes det att den underjordiska utformningen behövde vara större.<sup>29</sup>

Ytterligare en rapport, vilken kallades Pink Book, släpptes året efter Blue Book rapporten, även den här i augusti. Dokumentet skulle mer ses som en förloppsbeskrivning än som en vidareutveckling av tidigare undersökningar. Däri gavs förslag om en 30,6 km lång tunnel där acceleratoren skulle kunna tas i bruk innan fullbordan, men med en tillfälligt lägre energioutput. Energin skulle stegvis ökas desto närmare man kom färdigställningen, och till sist, när forskningen hade kommit tillräckligt långt inom superkonduktiva magneter, skulle LEP acceleratoren kunna uppnå 130 GeV.<sup>30</sup> Även linjära accelerators skulle i det här fallet utnyttjas i samarbete med synkrotronacceleratoren, som skulle vara den huvudsakliga acceleratoren i LEP-projektet. Den förväntade kostnaden för att nå det första målet på en tredjedels operationskapacitet för LEP skulle bli nära 1,3 miljarder schweizerfranc, med en konstruktionsperiod på 7 år. Det mest uppseendeväckande med rapporten var att en del av acceleratoren skulle förläggas upp till 860 meter under jorden, inbäddad under Jurabergen.<sup>31</sup>

Den slutgiltiga rapporten, Green Book, presenterades i juni 1981. Energinivåerna och luminositeten enligt Pink Book kunde behållas tack vare designgruppens ansträngningar, trots den något mindre omkretsen. 27 km i omkrets skulle LEP acceleratoren sträcka sig under jorden, med 8 km som blev

---

<sup>28</sup> Adams, 1978:153, 154, iii

<sup>29</sup> Schopper, 2009:14

<sup>30</sup> Adams, 1979:V

<sup>31</sup> Schopper, 2009:16

förlagt i Jurabergen.<sup>32</sup> En förbättring med 4 km jämfört med det tidigare förslaget. Att gräva tunnel under Jurabergen bedömdes som extremt riskfyllt av en världsledande utgrävningsexpert som menade att en mindre tunnel definitivt var att föredra gentemot att borra i berggrunden där oväntade problem kunde uppstå, i synnerhet med tanke på den strama budgeten projektet kom att få. Testborrningar i berggrunden hade påbörjats redan året innan och fortsatte under hela 1981. För att leda projektet valde Herwig Schopper, dåvarande generaldirektör för CERN, italienaren Emilio Picasso.<sup>33</sup> Bakgrunden Picasso hade som experimentalfysiker istället för acceleratoringenjör gjorde att många förvånades av beslutet, men under sin karriär hade han ofta arbetat tillsammans med både fysiker och ingenjörer vilket gjorde att han hade goda relationer i båda leden.<sup>34</sup> Förutom detta var han en duktig ledare som behöll objektivitet vid meningsskiljaktigheter och fann lämpliga kompromisser när det behövdes.<sup>35</sup>

Vid den här tiden hade CERN:s tidigare ständigt ökande budget stabiliserat sig och LEP-projektet kom att underordnas CERN:s årliga normalbudget. Tidigare acceleratorprojekt hade varit något förskonade den årliga budgeten CERN var tilldelad på grund av att de inte, fram till sitt färdigställande, var en del av forskningscentrets användningsområden. Genom att använda SPS och PS acceleratorerna för injektoracceleration kunde konstruktionsbudgeten reduceras, men det betydde samtidigt att LEP kom att räknas som en del av redan existerande anläggningar, och således blev den underordnad CERN:s årliga budget.<sup>36</sup>

För att LEP-projektet skulle bli godkänt krävdes medhåll från samtliga medlemsländer. I och med att det skulle finansieras av budgeten CERN tilldelades fanns en rädsla från många av de mindre medlemsländerna att projektet skulle komma att kosta mer än vad som utlovades. Flera av länderna hade en fastställd vetenskapsbudget som betydde att om LEP-projektet översteg de förväntade kostnaderna skulle resurserna för att kunna fortsätta investeringen vara tvungna att komma från andra vetenskapsprojekt. CERN:s

---

<sup>32</sup> CERN/FC/2444:2

<sup>33</sup> Schopper, 2009:23

<sup>34</sup> Ibid., 2009:23

<sup>35</sup> Ibid., 2009:161

<sup>36</sup> Ibid., 2009:21

generaldirektör, Herwig Schopper, reste i början av 1981 runt till många av medlemsländerna för att undersöka vad som krävdes för att projektet skulle få gensvar när omröstningen för LEP skulle göras. I slutändan var det just ett löfte, med CERN:s rykte på spel, om att hålla sig inom budgeten som krävdes för att projektet skulle bli godkänt.<sup>37</sup>

LEP presenterades som ett utvecklingsbart projekt, där framtida uppgraderingar skulle vara möjliga. Färdigställande av en första fas av projektet skulle innebära driftmöjligheter samtidigt som resterande delar av LEP konstruerades och implementerades. Budgeten som fastslogs hade reducerats, från de 1,3 miljarder schweizerfranc som förutspåddes enligt the Pink Book, till 910 miljoner.<sup>38</sup> Författarna till Green Book rapporten räknade med att kunna använda CERN:s existerande monteringsanläggningar och att kunna återanvända komponenter från ISR-acceleratorn.<sup>39</sup> Inga resurser för eventuella extrautgifter var allokerade för, och om utgrävningen av tunneln visade sig vara mer problematisk än beräknat skulle den uppskattade konstruktionstiden på 8 år tvingas att bli förlängd. De extra pengarna som blev nödvändiga skulle komma att tas från ytterligare ett års budgetering.<sup>40</sup>

Den 30:e oktober 1981 var alla medlemsländer överens om att godkänna LEP-projektet enligt Green Book rapporten. Efter att ett godkännande hade utlysts och ytterligare resultat av testborrningar i Jurabergen genomförts, visade det sig att läget LEP hade förlagts till var fylld med risker. Dessa risker involverade ökade konstruktionskostnader om exempelvis tunneln skulle stöta på en vattenreservoar. Problemet löstes genom att flytta tunneln ytterligare en bit ut ur Jurabergen så att endast 3 km behövde grävas där.<sup>41</sup> Under tiden som LEP konstruerades kom färdigställandet att förlängas med totalt ett år då diverse problem med strejker och speciellt känslig utgrävning var tvungna att lösas. Den förlängda konstruktionstiden medförde som tidigare nämnt extra kostnader, och LEP-projektet kom till slut att kosta 1,3 miljarder schweizerfranc i 1990 års

---

<sup>37</sup> Schopper, 2009:22

<sup>38</sup> CERN/FC/2444:7

<sup>39</sup> Ibid.:7

<sup>40</sup> Schopper, 2009:26

<sup>41</sup> Ibid., 2009:36

värde.<sup>42</sup> Men då CERN drevs av en årlig budget som ledningen hade stor kontroll över kunde resurser till LEP allokeras genom att dra ner på, och i vissa fall helt lägga ner, andra projekt. Många tuffa beslut var tvungna att fattas, men i slutändan färdigställdes LEP med en reviderad tidsram och budget 1988. Tunneln började grävas ut den 13e september 1983 under en ceremoni där både Frankrikes och Schweiz president närvarade. Den blev slutligen klar den 8e februari 1988 då en sista tunn vägg sprängdes bort och gjorde att tunnelns ena ände möttes av den andra.<sup>43</sup> Månaderna som följde användes till att sätta samman och testa 60 000 ton utrustning i tunneln för att LEP skulle bli driftklar. Lite mer än ett år efter att tunneln var färdig hade världens, dittills, kraftfullaste partikelaccelerator nått fas ett, och den första strålen genomförde ett varv den 14e juli 1989.

Redan innan LEP 1<sup>44</sup> var färdigställd lämnades förslag in för att uppgradera acceleratoren. Uppgraderingsmöjligheterna var som tidigare nämnt en av huvudanledningarna till att LEP-projektet blev godkänt från första början. Processen till LEP 2 blev dock mycket svårare än förväntat, mestadels beroende på tekniska problem. Intresset av forskning på högre energinivåer hade ökat i och med framgångarna för LEP 1, men en uppgradering skulle innebära nya kostnader. En av de mest kostsamma delarna av förbättringen för LEP 2 var att det var tvunget att gräva ut nya hålrum för att tillräckligt många superkonduktiva magneter skulle få plats. 32 av dessa hålrum var inte inräknade i budgeten som hade lämnats in för LEP 2-projektet och pengarna behövde komma någonstans ifrån. Ledningen lyckades övertala CERN-rådet om nödvändigheten av den ökade budgeten och uppgraderingen godkändes 1995.<sup>45</sup> Mellan 1995 och 1998 arbetades det för fullt med installationen av magneterna vilket resulterade i att totalenergin i LEP 2 nådde 189 GeV. För att öka energimängden ännu en bit övertalades rådet om att tillåta användningen av en del av budgeten för den planerade LHC-acceleratoren, då en förbättring av kylsystemet även skulle vara till nytta då LHC slutligen konstruerades. I september 1999 lyckades energinivån pressas upp till 101 GeV per stråle, vid

---

<sup>42</sup> Schopper, 2009:163

<sup>43</sup> Ibid., 2009:48

<sup>44</sup> LEP-projektet hade två faser där den första benämndes som LEP 1, och den andra som LEP 2

<sup>45</sup> Schopper, 2009:193

den här tiden hade LEP-projektet varit aktivt i strax över 10 år. Med en kollisionsenergi på 202 GeV fann man tecken som tydde på möjliga Higgspartiklar vilket ledde till att man gjorde en sista uppgradering så att LEP 2 kunde nå en totalenergi på 209 GeV mellan maj och november 2000. Med 95 % sannolikhet hade en lägsta energinivå där Higgspartiklar kunde upptäckas identifierats, och möjligheterna att bekräfta Higgsfältet beräknades vara goda för LEP 2. Kostnaderna för alla uppgraderingarna av LEP beräknas vara omkring 0,5 miljarder schweizerfranc, vilket gör att totalsumman för LEP-projektet blev ungefär 1,8 miljarder.<sup>46</sup> Att fördröja konstruktionen av LHC-projektet skulle däremot vara allt för kostsamt för att satsa vidare på LEP.<sup>47</sup> Den 2a november 2000 stängdes LEP 2 ner en sista gång, efter elva framgångsrika år.

#### **3.2.4. LHC - Large Hadron Collider**

Tack vare de fantastiska resultaten som LEP acceleratoren producerade fanns det tillräckligt med incitament för att bygga om den till en ännu kraftfullare accelerator. LEP-projektet var en stor framgång för CERN som institution och för partikelfysiker i allmänhet. I enlighet med mätningarna och resultaten som producerades kunde energinivåer nödvändiga för framtida forskning beräknas med större precision, vilket var avgörande för designen av nästa accelerator, LHC-acceleratoren. Även storleken på tunneln för LEP var beräknad till att kunna inhysa nästa accelerator, därför var det så viktigt att den blev tillräckligt lång. Flertalet förslag för LHC-acceleratoren kom in till CERN:s ledning redan innan LEP ens var färdig.

USA gjorde i mitten av 1980-talet förberedelser för att bygga SSC acceleratoren vilket ökade vikten av att få LHC-projektet godkänt så fort som möjligt.<sup>48</sup> Fördelen med en redan existerande tunnel var att LHC kunde bli färdig mycket snabbare än SSC. Det var ett starkt argument för att fullfölja planerna med att konstruera den. LHC skulle utrustas för energinivåer någonstans mellan 10 och 20 TeV. Upp emot tio gånger kapaciteten av den redan existerande Tevatron acceleratoren i USA, men maximalt endast hälften så kraftfull som SSC-acceleratoren föreslogs bli. Motstånd fanns från dem som tyckte att med SSC-

---

<sup>46</sup> Chou, 2015:95

<sup>47</sup> Schopper, 2009:194-195

<sup>48</sup> Ibid., 2009:185



acceleratoren i USA skulle LHC vara föråldrad redan innan den hann färdigställas. En högre intensitet i strålarna skulle däremot användas för LHC-projektet. Det var en detalj som gjorde att många forskare inte förväntade sig särskilt stora skillnader i forskningspektrat om man jämförde LHC med SSC.<sup>49</sup> Detaljer för att kunna bygga LHC i LEP tunneln framställdes i två rapporter från september 1984, efter att en workshop hade hållits i Lausanne några månader tidigare.<sup>50</sup> Målsättningen var att undersöka möjligheten att bygga den nya acceleratoren jämsides LEP utan att ersätta den. Den skulle också konstrueras med möjligheten att krocka protonerna i LHC med elektronerna från LEP för att kunna använda de båda maskinerna som en proton-elektron accelerator. Planerna med att kunna ha två accelerators i en och samma tunnel övergavs senare för att underlätta installationen av LHC.<sup>51</sup>

Ett av huvudsyftena med LHC-acceleratoren var att bekräfta Higgsbosonens existens, och för det krävdes en energinivå på minst 1 TeV. Mängder med forskning och utveckling var dock tvunget att genomföras innan LHC kunde byggas, speciellt inom magneterna, och magnetkonstruktion till acceleratoren. För att kunna tävla med SSC var forskarna i LRPC (Long Range Planning Committee), vars uppdrag var att, separat från ECFA, genomföra studier om LHC:s konstruktion, angelägna om att LHC-projektet skulle stå färdigt redan 1995.<sup>52</sup> Men inga definitiva kostnader presenterades i rapporten de släppte 1987, endast en notering om att kostnaderna för de nya magneterna och kylsystemet skulle vara ca 85 % av totalkostnaden för projektet.<sup>53</sup> Vid den här tiden hade fortfarande inte uppgraderingen till LEP 2 blivit godkänd och CERN-rådet valde att skjuta på LHC konstruktionen till förmån för LEP 2.

Följt av en rapport om målsättningen och uppskattade kostnader för LHC-projektet, samt en presentation om de vetenskapliga behoven associerade med acceleratoren, anammades LHC som den rätta maskinen för CERN:s framtid i

---

<sup>49</sup> Smith, 2007:281; CERN/1658, 1987:14

<sup>50</sup> ECFA 84/85 CERN 84-10, 1984:iii

<sup>51</sup> Smith, 2007:282

<sup>52</sup> CERN/1658, 1987:15

<sup>53</sup> Ibid., 1987:24

december 1991.<sup>54</sup> Ett faktiskt godkännande för design och utförande nåddes i december 1994, men vägen dit var komplicerad.

En av de största komplikationerna för projektet var budgeten. LHC skulle, liksom LEP, bekostas av den årliga summan som CERN var tilldelad av medlemsländerna. Men pengarna skulle inte räcka till. Tidigt 1992, precis efter att LHC godkändes som rätt projekt för CERN:s framtid, efterfrågades en ny rapport med alla nödvändiga detaljer för att projektet skulle godkännas för konstruktion. Rapporten skulle innehålla detaljer om kostnader projektet skulle medföra, och eventuella extra bidrag som medlemsländerna kunde tänkas ställa upp med. Den skulle även innefatta möjliga samarbeten med icke-medlemsländer, vars involvering kunde vara allt ifrån anslag till konstruktion till utveckling av komponenter.<sup>55</sup> Samtidigt som rapporten förbereddes höll Öst- och Västtyskland på att återförenas, och de medförda kostnaderna gjorde att de hade bett att få reducera sitt årliga bidrag till CERN. Detta tillsammans med en uppskattning om att projektet skulle kosta avsevärt mycket mer än vad som först beräknades komplicerade arbetet med att få projektet godkänt.<sup>56</sup> Inte minst med tanke på att inga löften om extra anslag hade inkommit från vare sig medlemsländer eller icke-medlemsländer.

Fram till att rapporten skulle presenteras arbetades det konstant för att få ner kostnaderna och för att allokera resurser från andra CERN-projekt. När rapporten slutligen presenterades i december 1993 fanns där fortfarande många obesvarade frågor. Exempelvis var kostnaderna för olika delar av konstruktionen endast uppskattningar i och med att forskning och utveckling för LHC inte var färdig än. Dessutom var budgeten för LHC betald för genom ett förslag om att öka CERN:s totalbudget, odefinierade frivilliganslag från medlemsländer, samt i vilken utsträckning icke-medlemsländer ville vara involverade i LHC och dess kostnader. Att Storbritannien och Tyskland skulle godkänna en ökad årlig budget för CERN var högst tvivelaktig då de sedan tidigare ville sänka sina bidrag, men på det hela taget var CERN-rådet positiva till presentationen. Utredningsgruppen ombads att återkomma med ytterligare

---

<sup>54</sup> CERN/1904, 1992:1

<sup>55</sup> Ibid., 1992:1

<sup>56</sup> Smith, 2007:282

budgetreduktioner samt närmare indikationer om vilka summor som kunde vara aktuella för frivilliganslag.<sup>57</sup>

Förslagen som lämnades in till CERN-rådet under 1994 gjorde gällande ytterligare reduktioner i konstruktionskostnader och nedskärningar i CERN:s andra projekt. Så pass stora reduktioner krävdes att en komplett avstängning i ett helt år av CERN:s andra program planerades. Målet med att påbörja konstruktionen av LHC någon gång under 2002 hade förlängts till 2003 eller 2004 beroende på omständigheterna med frivilliganslagen och inblandningen av icke-medlemsländer. Förslaget som lämnades in i juni 1994 fick bifall från 17 av totalt 19 medlemsländer. Storbritannien och Tyskland var de enda länderna som inte accepterade budgeten som presenterades. Efter ytterligare ett halvårs diskussioner blev LHC-projektet slutligen godkänt den 16e december 1994, efter att flera kompromisser hade blivit nådda. En av kompromisserna var att konstruktionen, och implementeringen av en tredjedel av dipol-magneterna till acceleratoren skulle skjutas upp till ett senare skede. Den första fasen skulle vara färdig 2004, och den andra fasen 2008.<sup>58</sup> Under en tid skulle LHC användas med två tredjedelars kapacitet. Men svårigheterna slutade inte där.

Till en början gick allt åt rätt håll. Frankrike och Schweiz ökade sina årliga anslag till CERN med 2 % vardera. Förhandlingarna med icke-medlemsländer gick mycket bra. Japan var det första landet som levererade på löftet att bidra till LHC. Ryssland, Indien, Canada, och USA stod på tur. Projektledaren för LHC, Lyndon Evans, guidade projektet från konstruktionsstarten till färdigställande. Evans hade arbetat med protonacceleratorer på CERN sedan 1970-talet och var väldigt familjär med både ingenjörstekniska och fysiktekniska detaljer.<sup>59</sup> Dessutom var han populär bland kollegorna och hade stort förtroende från CERN:s ledning.<sup>60</sup> Med de nya medlemmen som hade blivit lovade till LHC tyckte projektledningen ett tag att framtidsutsikterna såg så pass bra ut att de funderade på att slopa den långsiktigt dyrare planen med att konstruera

---

<sup>57</sup> Smith, 2007:282

<sup>58</sup> Ibid., 2007:283; Schopper, 2009:190

<sup>59</sup> Riordan et al., 2015:164

<sup>60</sup> Ibid., 2015:279

acceleratorn i två faser.<sup>61</sup> Men omkring slutet av 1995 började dock svårigheterna uppenbara sig.

I rapporten från samma år som LHC-projektets design, hade möjligheten att behålla LEP-acceleratorn undersökts närmare. För att underlätta installationen av LHC-acceleratorn var det nödvändigt att demontera och ta bort LEP helt och hållet. Omkring mitten av 1996 kom ett besked att Tyskland tänkte reducera sitt anslag till CERN med 8,5 % under två år och 9,3 % åren därpå för att satsa ännu mer på återföreningsprocessen av landet. Storbritannien lät CERN-ledningen veta att de också ville reducera CERN:s budget. Reduktionerna som väntade skulle innebära att LHC-projektet inte gick att genomföra utan extra tillskott, och trots minskade medel stod påtryckningarna om budgetreduktioner ändå kvar.

En klar risk fanns även att bidragen från icke-medlemsländerna skulle dras tillbaka om de fick intrycket av att projektet saknade stöd från CERN:s egna medlemsländer. Slutligen blev CERN som institution tvungen att både reducera personalens löner och ta ut banklån för att kunna finansiera LHC-projektet. Lånet var en uppenbar risk, men det tillät samtidigt att projektet kunde byggas i en fas istället för två, något som icke-medlemsländerna var väldigt måna om.<sup>62</sup> CERN tampades med fler bakslag under de följande månaderna, men i slutändan blev budgeten godkänd i december 1997 med en förväntad totalkostnad på 2,6 miljarder schweizerfranc, och en förväntad idrifttagning av LHC år 2005.<sup>63</sup> Japan, Indien, Ryssland, Canada, USA, med flera kom att bidra med omkring 800 miljoner schweizerfranc till den inledande fasen av LHC:s konstruktion.<sup>64</sup> USA kom ensamma att bidra med 531 miljoner dollar till projektet. I utbyte fick de observationsstatus i CERN, vilket innebär att de får närvara vid diverse möten som CERN-rådet har och komma med synpunkter. Dock har de ingen rösträtt i organisationen. De fick även möjlighet att delta i experimenten som skulle utföras på LHC. Även vissa konstruktionskontrakt kom att förläggas till amerikanska företag och institutioner.<sup>65</sup> Det var ett utbyte CERN gärna gick med

---

<sup>61</sup> Riordan et al., 2015:277

<sup>62</sup> Smith, 2007:283-284

<sup>63</sup> Feder, 1997:58-59

<sup>64</sup> CERN, 1997a; CERN courier, 2001

<sup>65</sup> CERN, 1997a; CERN, 1997b

på då förverkligandet av acceleratorn var den högsta prioriteringen för organisationen.

Med en extremt pressad budget, som i många fall var beroende av optimistiska antaganden om konstruktionskontrakt, påbörjades arbetet med att bygga acceleratorn. Men att sätta en budget utan utrymme för oväntade utgifter visade sig i slutändan vara dumdrigt. Kostnaderna för att konstruera vissa av magneterna till projektet löpte 180 miljoner mer än förväntat, kostnader för kontrakt arbete blev 150 miljoner över förväntan, utgrävningen till en av LHC:s experimentella detektorer kostade 70 miljoner extra, och så vidare. Totalt visade sig LHC vara 850 miljoner schweizerfranc över budget i september 2001.<sup>66</sup> Efter kritikerstormen från medlemsländerna och media kom en ny budget på 3,7 miljarder att beräknas och godkännas av CERN-rådet några månader senare. Den nya budgeten innebar att de extra pengarna skulle komma från CERN:s årliga budget som reviderades fram till 2010 för att täcka de nödvändiga extra kostnaderna. En utomstående utredning skulle dock genomföras för att se över alla kostnader med projektet, vars färdigdatum flyttades upp till april 2007.<sup>67</sup> LCH-projektet stod färdigt den 10e september 2008 efter ytterligare några få konstruktionssvårigheter. Redan efter nio dagar stängdes acceleratorn ner på grund av en allvarlig heliumläcka som orsakade stora skador på många av magneterna.<sup>68</sup> Efter en fjorton månader lång reparationsprocess accelererades återigen partiklar i världens kraftfullaste accelerator.

Ett av de huvudsakliga målen med LHC-projektet var att hitta Higgsbosonen. Upptäckten presenterades den 4e juli 2012 av CERN. I publiken fanns bland annat Peter Higgs och Françoise Englert, två av teorifysikerna som formulerade teorin.<sup>69</sup> Ett år senare, till följd av upptäckten, tilldelades de båda nobelpriset i fysik.

### **3.3. SSC - Superconducting Super Collider**

Projektet med att bygga världens största och mest kraftfulla partikelaccelerator var omgärdat av upprepade budgetproblem, vilka härstammade från både

---

<sup>66</sup> Feder, 2001:21-22; Physicsworld, 2001

<sup>67</sup> CERN Courier, 2003

<sup>68</sup> CERN, 2008

<sup>69</sup> Wu, 2014:21

otillräcklig allokering av resurser från USA:s regering, samt otillräcklig information om kostnader. Från att ha utlysts som ett vetenskapligt måste för partikelfysik med höga energinivåer och med en uppskattad total kostnad på 4,4 miljarder dollar, till att avvecklas då slutsumman troligen skulle landa närmare 12 miljarder dollar gör att SSC projektet blev ett av de mest kostsamma projektvetenskapliga misslyckanden i USA:s historia.

### **3.3.1. Historien om SSC**

Redan under 1970-talet förespråkade vetenskapsmän inom partikelfysik i USA en partikelaccelerator som kunde klara av högre energier. Under workshops som hölls på universiteten Cornell och Michigan 1983 utarbetades mer detaljerade planer, inklusive budgetering för möjligheterna att konstruera en sådan accelerator, en accelerator som skulle vara anpassad för energinivåer upp emot 40 TeV, långt högre än någon accelerator tidigare föreslagen. Planerna presenterades för DOE i mitten av 1983 av HEPAP (High Energy Physics Advisory Panel), som enhetligt menade att en partikelaccelerator av den föreslagna typen skulle hålla amerikansk högenergifysikforskning i världsklass en bra bit in i nästkommande århundrade.<sup>70</sup>

För att fortsätta utvecklingen av den nya acceleratoren kom resurser från acceleratorprojektet ISABELLE vid Brookhaven National Laboratory att flyttas och användas till "Desertron". Desertron var ett smeknamn som SSC hade i ett tidigt skede då planerna i stort sett krävde att acceleratoren byggdes någonstans i en öken för att maskinen, och den kringliggande infrastrukturen, skulle kräva ofantligt mycket plats. Det nerlagda ISABELLE-projektet hade blivit lidande av två stora problem, det första var att magneterna som hade utvecklats för acceleratoren inte fungerade som de skulle.<sup>71</sup> Det andra var att partiklarna acceleratoren byggdes för att upptäcka, Z- och W- bosonerna, hade upptäckts ett år tidigare av CERN, vilket gjorde projektet tämligen verkningslöst för att stärka amerikansk status inom partikelfysik.<sup>72</sup>

---

<sup>70</sup> Tigner - Dahl, 1987:1

<sup>71</sup> Riordan et al., 2015:8

<sup>72</sup> NYTimes, 1983

### 3.3.2. Från idé till koncept

På DOE:s inrådan tillsattes en referensdesigngrupp (RDS) för att göra ingående studier om optimering och undersökningen av SSC-projektets förberedande forskning och utveckling. Särskilt fokus lades på att uppskatta en så realistisk kostnad för genomförandet av projektet som möjligt.<sup>73</sup> Maury Tigner, en fysiker som arbetade vid Cornells universitet, valdes som ledare för studien i och med hans anseende som en av nästa generations främsta acceleratorkonstruktörer.<sup>74</sup> Rapporten som RDS-gruppen släppte presenterade tre modeller för acceleratorn, där den föredragna skulle använda en nära 90 km lång tunnel.

I beräkningarna uteslöts siffror som inte var relevanta innan projektet hade godkänts, exempelvis kostnad för att köpa upp mark, och rent operativa kostnader när väl projektet var färdigt. RDS-gruppen beräknade att ungefär 3000 vetenskapsmän och ingenjörer tillsammans med underhållspersonal skulle kunna vara verksamma på SSC när det väl var färdigställt.<sup>75</sup> Själva konstruktionen, med material, tunnelgrävning, och allt däromkring, undantaget tidigare nämnda faktorer, skulle få en totalkostnad på lite över 2,7 miljarder dollar, och konstruktionen skulle ta ungefär 6,5 år.<sup>76</sup> Ett 45-man stort lag från DOE, och konsulter gick igenom all information som RDS-rapporten från 1984 hade kommit fram till och konstaterade, med några få reservationer, att allt såg ut att vara inom ramarna för ett framgångsrikt projekt.<sup>77</sup>

Vidare undersökningar var nödvändiga innan någonting kunde presenteras för USA:s president och representanthuset. Speciellt behövdes mer information gällande kostnader för vidareutveckling och forskning, dessutom krävdes ingående studier av vilken form av magneter som behövdes konstrueras för bästa möjliga resultat från acceleratorn.

Ytterligare studier genomfördes mellan åren 1984 och 1986 som inkluderade fler och fler relevanta detaljer för projektets lyckade genomförande. I dessa studier ingick ca 250 vetenskapsmän spridda runt om i USA, och resten

---

<sup>73</sup> Elioff, 1994:3

<sup>74</sup> Riordan et al., 2015:36-37

<sup>75</sup> Elioff, 1994:4

<sup>76</sup> Tigner, 1984:204, 206

<sup>77</sup> Elioff, 1994:6

av världen, som alla bidrog till projektets ledning, CDG (Central Design Group).<sup>78</sup> CDG, som var lett av Tigner hade till uppgift att samla all nödvändig data för att förverkliga SSC-projektet enligt planerna, och enligt budget.<sup>79</sup> Totalt samarbetade 22 vetenskapliga institutioner för att se till att SSC kunde få ett godkännande. De flesta lokaliserade i USA, men även institutioner i Europa, Tyskland, och Japan var inblandade.<sup>80</sup> CDR-rapporten (Conceptual Design Report) som CDG slutligen lämnade in 1986 beskrev målsättningen för en partikelaccelerator som skulle byggas i USA med en kapacitet på 40 TeV.

När det kommer till projekt av det här slaget går det aldrig att vara helt precis. Okända faktorer måste tas i beräkning, som exempelvis ökade kostnader för utgrävning av tunnel om provtagningar på avsedd plats gav upphov till det. Oförutsedda problem med magnetdesign måste tas hänsyn till, preliminära konstruktionskontrakt behöver beräknas, och så vidare. I CDR-rapporten hade beräkningar gjorts enligt tidigare projekt, kostnader hade ökat genom att snitta kostnaderna för de tidigare projekten och omarbete det till SSC:s skala.<sup>81</sup>

Snittkostnaden för utgrävning av tunnel hade tillämpats beroende på vilken typ av geologi marken vid konstruktionsplatsen kunde tänkas ha. Kostnader för olika tekniska krav hade anpassats genom att skriva rapporten utifrån tre olika teoretiska platser för konstruktionen, och snitta denna kostnad utifrån en mängd olika parametrar. Allt för att komma så nära som möjligt när den slutgiltiga budgeten skulle lämnas in för godkännande. Till slut beräknades projektet kosta strax över tre miljarder i 1986 års dollar, inklusive en säkerhetsmarginal på 530 miljoner. Detta var i enlighet med beräkningen som gjordes 1984 justerat för inflation, skillnaden var att många fler detaljer hade budgeterats för och inte bara antagits.<sup>82</sup>

Rapporten fick strålande omdömen från DOE:s översiktskommitté med lovord om med vilken noggrannhet och dedikation forskarna hade visat vid estimeringen av budgeten för projektet.<sup>83</sup> Godkännandet från Ronald Reagan och

---

<sup>78</sup> Elioff, 1994:10

<sup>79</sup> Riordan et al., 2015:41-42

<sup>80</sup> Elioff, 1994:10

<sup>81</sup> Ibid., 1994:12-13

<sup>82</sup> Ibid., 1994:13

<sup>83</sup> Ibid., 1994:16



hans administration kom i januari 1983 tillsammans med en rekommendation om att satsa rejält.<sup>84</sup> När en slutgiltig budget skulle lämnas in för godkännande senare på året hade ytterligare justeringar gjorts. Inflationen beräknat från 1986 års penningvärde till 1988 hade orsakat en ökning med 200 miljoner dollar. Budgetökning för detektorer och datorer inkluderades även i rapporten vilket ledde till en ökning på 719 miljoner dollar.<sup>85</sup> 446 miljoner avsattes till forskning och utveckling, samt för-konstruktionsarbete. Dessa kostnader gjorde att den förutnämnda budgeten på strax över tre miljarder var uppe i nära 4,4 miljarder.<sup>86</sup> När förslaget slutligen lämnades in till representanthuset hade man förlängt konstruktionsperioden ett år för att minska den årliga kostnaden, och för att göra budgeten mer sannolik. Vilket innebar att projektet skulle komma att kosta strax över 5,3 miljarder dollar.<sup>87</sup> Budgeten röstades igenom 1987 av representanthuset med stor marginal. Samma år var delegater från Europa och Japan inbjudna till ett möte om SSC i Washington. Under mötet stod det klart att amerikanskt monopol gällde för projektet. USA hade inget emot att dela kostnaderna för projektet, men SSC var och skulle förbli ett amerikanskt åtagande.<sup>88</sup> Nästa del i SSC-projektet var att fastställa var i USA acceleratoren skulle byggas.

### **3.3.3. Val av plats**

Totalt kom det in 43 olika bud på lokalisering av SSC-projektet till DOE fram till september 1987, varav 36 mötte nödvändiga kvalifikationer.<sup>89</sup> Platsen för projektet krävde att marken skulle kunna grävas ut relativt kostnadseffektivt. Kringliggande infrastruktur behövde finnas, med tillräcklig kapacitet för att göra besök till anläggningen enkla. Miljöaspekter behövde tas hänsyn till, regionala aspekter som buller eller vibrationer i området vilket kunde inverka på SSC:s rent operativa möjligheter var tvungna att tas i beaktande. Inte minst krävdes pålitlig tillgång till billig energi, vatten, och avfallshantering.<sup>90</sup> Av dessa 36

---

<sup>84</sup> Riordan et al., 2015:52-53

<sup>85</sup> Elioff, 1994:24

<sup>86</sup> Ibid., 1994:24

<sup>87</sup> Ibid., 1994:48

<sup>88</sup> Smith, 2007:281; Schopper, 2009:188

<sup>89</sup> DOE/EIS - 0138, 1988a:5

<sup>90</sup> Ibid., 1988a:3-5

kvalificerade förslag valdes sedan åtta stycken ut av en handlingsgrupp med expertis och erfarenhet inom ärenden av projektledning av stora vetenskapsanläggningar, ett av de åtta förslagen drog tillbaka sin motion i januari 1988.<sup>91</sup> Kvarstående sju platser, Arizona, Colorado, Illinois, Michigan, North Carolina, Tennessee, och Texas/Dallas Fort Worth gick vidare till ännu en urvalsprocess. Tidigt i november 1988 beslutades det att Texas var mest lämplig för lokalisering av SSC-projektet av DOE:s STF (Site Task Force).<sup>92</sup>

Genom att välja bort Illinois försvann samtidigt möjligheten att spara hundratals miljoner dollar genom att dra nytta av den existerande forskningsanläggningen Fermilab som fanns i staten. Med detta i åtanke valdes ändå Texas i och med tekniska detaljer som bland annat inkluderade utgrävningsmöjligheter som undvek att förlägga SSC under grundvattennivå och tillförlitligt elnät.<sup>93</sup> Att Texas erbjöd att skänka marken istället för att sälja den, och att staten var villig att hjälpa till med en miljard dollar i finansiering av projektet var helt säkert en faktor när beslutet fattades.<sup>94</sup>

I undersökningarna som gjordes vid val av plats för SSC-projektet gicks ofantligt mycket data igenom, noggranna beräkningar gjordes med hänsyn till den inverkan konstruktionen skulle ha på omlokalisering av invånare som bodde på eller i nära angränsning till platsen. Eventuella störningar i form av vibrationer från tågtrafik i närheten bedömdes kunna kontrolleras med relativt enkla åtgärder. Även hänsyn tagen till konstruktionsarbetares möjliga besvär med eldmyror belägna vid arbetsplatsen skrevs in i rapporter om platsval.<sup>95</sup>

Tigner, som hade varit med och utforma SSC, kom inte att fortsätta i sin roll som en huvudfigur för projektet. När väl Waxahachie, Texas hade valts och det blev tydligt för Tigner att han inte skulle väljas till projektledare bad han om uppsägning och återvände till Cornells universitet.<sup>96</sup> Hans avgång influerade flera andra som hade haft centrala roller i designen av SSC och vars lojalitet låg

---

<sup>91</sup> DOE/EIS - 0138, 1988a:8

<sup>92</sup> Ibid., 1988a:13

<sup>93</sup> Ibid., 1988a:3-5

<sup>94</sup> Quirk, 2013

<sup>95</sup> DOE/EIS - 0138, 1988b: appendix 12:5

<sup>96</sup> Riordan et al., 2015:123-124

hos Tigner, vilket ledde till att projektet kom att tappa viktiga nyckelpersoner.<sup>97</sup> DOE, som ansåg att SSC var för stort för att lämnas i händerna på forskare, ville ha kontroll över projektet och alla detaljer däromkring.<sup>98</sup> Tyvärr ledde detta till stora problem och ledarna som efterträdde Tigner kom att bytas ut flera gånger.<sup>99</sup> När väl en fungerande projektledningsgrupp med expertis inom projekt i miljardklassen tillsatt blev tillsatt, föll ledningsframgångarna istället på konflikter med fysikerna som skulle arbeta vid SSC.<sup>100</sup>

#### **3.3.4. Saknade pengar, ökade kostnader**

Stöd för SSC projektet hade varit väldigt stort ända sedan koncept fasen. Reagan administrationen stöttade det fullt ut och bad forskarna att satsa rejält när målsättningen för projektet skulle göras. När 1988 års budget på 5,3 miljarder dollar godkändes fanns 10 miljoner dollar med i budgeten för konstruktionsstart, men inga pengar delades ut.<sup>101</sup> För 1989 års budget efterfrågades 283 miljoner dollar till initial konstruktion, samma beräkning om slutförandedatum lämnades in som året innan, men även här allokerades inga pengar.<sup>102</sup> På grund av bristen på pengar för att påbörja konstruktion kom tidsramen för färdigställande att justeras, vilket även ökade totalkostnaderna för projektet. Budgeten som lämnades in året därpå, 1990, visade en höjning med nära 600 miljoner dollar till totalt 5,9 miljarder, samt ett slutförandedatum år 1998 istället för 1996.<sup>103</sup> Konstruktionsbudgeten var sänkt till 160 miljoner dollar för samma år i enlighet med den längre tidsramen, och den här gången började det trilla in pengar, men lite över 30 miljoner mindre än vad som efterfrågades.<sup>104</sup> Själva bygget av SSC var dock äntligen igång. Anledningen till de uteblivna konstruktionsresurserna var att projektledningen inte hade kunnat

---

<sup>97</sup> Riordan et al., 2015:124

<sup>98</sup> Ibid., 2015:71

<sup>99</sup> Ibid., 2015:265

<sup>100</sup> Ibid., 2015:265

<sup>101</sup> Elioff, 1994:24-25

<sup>102</sup> Ibid., 1994:25

<sup>103</sup> Ibid., 1994:25

<sup>104</sup> Ibid., 1994:25

garantera ekonomiskt bistånd från utlandet, något som representanthuset hade krävt för att godkänna budgeten i första taget.<sup>105</sup>

När budgeten beräknades för år 1991 var projektet enligt plan tidsmässigt, men det förväntades höjningar av anslagen i en rapport från SSCL (Superconducting Super Collider Laboratory). Vissa designförändringar hade gjorts, samt platsen för var anläggningen skulle vara belägen hade bestämts, vilket möjliggjorde mer exakta beräkningar om totalkostnader. Framsteg inom acceleratordesign hade gjort att det fanns bättre men dyrare magneter tillgängliga. Närmare undersökningar av partikelfysiken visade även att injektionsenergin borde ökas från 1 TeV till 2 TeV. Magnetutveckling och konstruktion stod för nära 40 % av den initiala budgeten, vilket betydde att en förändring av dessa skulle inverka både på tunnelns storlek i bredd och längd.<sup>106</sup> Fördelarna med att göra denna förändring överträffade dock nackdelarna, och för att kunna garantera framgång för SSC-projektet var förändringen nödvändig.<sup>107</sup> Implementeringen av magnetförändringen kom att medföra stora kostnader, inte minst då det beräknades att förändringen från 4 cm till 5 cm öppning i magnetspolen skulle öka produktionskostnaden per magnet med en tredjedel.<sup>108</sup> DOE räknade med att kostnaderna skulle kunna handla om en till två miljarder mer än de 5,9 som var budgeterade.

Efter granskningen av SSCL-rapporten från 1990, där budgeten höjdes till 7,84 miljarder dollar, hölls ett möte i juni samma år för att säkerställa att budgeten den här gången överensstämde med vad projektet faktiskt skulle komma att kosta. DOE begärde att tre individuella genomgångar skulle göras istället för de sedvanliga två. En av ERC (Energy Research Committee), en av ICE (Independent Cost Estimating), och slutligen en av HEPAP (High Energy Physics Advisory Panel) för att få allt undersökt av en utomstående part. ERC beräknade att en ökning till nästan 8,4 miljarder dollar var nödvändig, HEPAP räknade ut att kostnaden skulle komma att bli 8,6 miljarder dollar och ICE beräknade slutsumman till 9,3 miljarder dollar med ytterligare 2,5 miljarder som sannolikt skulle komma behövas för att slutföra projektet, alltså en totalkostnad på

---

<sup>105</sup> H.Amdt. 732 - 100th Congress 1987-1988

<sup>106</sup> CBO, 1988:38-39; Elioff, 1994:27

<sup>107</sup> DOE, 1991:13

<sup>108</sup> Elioff, 1994:30

omkring 12 miljarder dollar.<sup>109</sup> Kontentan av dessa tre beräkningar var att det var nödvändigt med ännu en budgethöjning och ännu en förlängning för slutförande av projektet till 1999. Med hänsyn tagen till ökad kostnad för konstruktion och tekniska system sattes en budget på 8,25 miljarder dollar.<sup>110</sup>

Anledningen till den lägre satta budgeten, med hänsyn till rekommendationerna, var att en stor del av budgethöjningsförslagen utgjordes av eventualiteter. Av ERC, och HEPAP:s rekommendationer om budgetökning accepterades 85 % som sannolikt, och av ICE:s rekommendation accepterades 45 %.<sup>111</sup> Ingen av de tre undersökningarna gjorde gällande att projektet inte var värt investeringen. Dock anmärkte ICE att tidsramen för färdigställningen av projektet var orealistisk, och att datumet högst sannolikt var tvunget att skjutas upp med minst ett år.<sup>112</sup>

Efter många debatter om möjligheterna med att hålla kostnaderna nere genom att sänka energinivåerna i acceleratoren, eller att förändra projektets huvudsakliga mål beslutades det att de sistnämnda alternativen inte var acceptabla. Budgeten fick innehålla större magneter och kom att landa på 8,25 miljarder dollar 1991.<sup>113</sup> Hänsyn hade då även tagits till val av plats för projektet samt djupet nödvändigt för tunneln. Att tunneln var tvungen att grävas nästan dubbelt så djupt som var antaget i CDR-rapporten från 1986, innebar ökade kostnader förknippade med utgrävningen. Djupare schakt längs med acceleratoren behövde grävas ut, och utgrävning för detektorer med däromkring liggande system ökade dessa kostnader med en faktor av 2,5.<sup>114</sup> För att hålla nere de årliga kostnaderna associerade med SSC-projektet förlängdes konstruktionsperioden till 9 år, en 2,5 års förlängning från den ursprungliga tidsramen på 6,5 år.<sup>115</sup> 8,25 miljarder dollar blev den sista officiella siffran, men kostnader upp emot 15 miljarder har cirkulerat.<sup>116</sup>

---

<sup>109</sup> DOE, 1991:27

<sup>110</sup> Elioff, 1994:33-35

<sup>111</sup> DOE, 1991:29

<sup>112</sup> Ibid., 1991:29

<sup>113</sup> Elioff, 1994:35

<sup>114</sup> Ibid., 1994:30

<sup>115</sup> Ibid., 1994:30

<sup>116</sup> Riordan et al., 2015:234

### 3.3.7. Början på slutet

Representanthuset i USA består av totalt 435 medlemmar, där majoriteten vanligtvis har en bakgrund som jurist eller affärsman.<sup>117</sup> Andelen vetenskapsmän är få och andelen partikelfysiker var förmodligen noll. Trots detta hade SSC stort stöd fram till att Texas valdes som plats för projektet, även om röster hade höjts mot den ökande budgeten. Vetenskapen var solid och en uppdaterad forskningsanläggning där amerikanska forskare kunde utbildas och forska ansågs vara nödvändig. Dessutom skulle ett projekt av SSC:s karaktär inbringa hundratals miljoner per år till den valda staten och flera tusentals jobb skulle skapas. Men när väl delstaten Texas stod som segrare i urvalsprocessen fanns det inte lika stora skäl att stötta projektet som tidigare för representanthusledamöter och senatorer vars väljare inte hade sin bostad i Texas. USA:s ekonomi var samtidigt på väg in i en recession, och med det började politikerna leta efter besparingsmöjligheter. Mellan åren 1989 och 1993 sjönk stödet för SSC-projektet successivt i både representanthuset och senaten. I budgetomröstningarna som behövdes göras inför varje finansiellt år i representanthuset tappade projektet fler och fler röster, trots det enorma stödet som fanns i forskarvärlden. Åtminstone från forskarna vars intressen låg inom högenergifysik.

Det mesta av pengarna som användes till SSC-projektet kom från den federala myndigheten i USA. Vid 1991 års budgetrapport var det beräknat att den federala myndigheten skulle stå för 5,6 miljarder av den totala räkningen på 8,25 miljarder, resterande summa pengar väntades komma från delstaten Texas där acceleratoren skulle byggas, och från utlandet.<sup>118</sup> Men det fanns en stor problematik med att få bistånd från andra länder. Amerikanerna hade dittills inte varit särskilt villiga att samarbeta, i alla fall inte ge någon form av inflytande till de möjliga samarbetspartnerna. Ett internationellt projekt var det inte talan om, projektet var amerikanskt, och de länder som ville vara delaktiga fick vara det på USA:s villkor.<sup>119</sup> Japan förväntades trots detta bistå med nära en miljard dollar till projektet, men några pengar sågs aldrig av. Delvis sägs det bero på att

---

<sup>117</sup> Gambrell, 2013

<sup>118</sup> GAO, 1993:2

<sup>119</sup> Smith, 2007:281; Schopper, 2009:188

president Bush Sr., som vid en försenad minnesresa för Pearl Harbor 1992, aldrig tog upp ämnet med Japans premiärminister Kiichi Miyazawa. Den japanska myndigheten, som ansåg att presidentens omval såg osannolikt ut, valde att avvakta med anslag till projektet. Dessutom började stödet för SSC att vackla i representanthuset, vilket stärkte japanernas misstro till att investera i acceleratoren.<sup>120</sup> USA sökte stöd för projektet i många delar av världen förutom Japan, men Indien var det enda landet som lovade pengar, 50 miljoner dollar närmare bestämt. Korea och Ryssland var även i samtal med amerikanerna för att utarbeta detaljer kring möjliga bidrag, men ingenting fanns skrivet i sten.

En av grundpelarna för att bevilja anslag från representanthuset var att minst 25, men max 33 % av finansieringen för projektet skulle komma från utlandet.<sup>121</sup> Ett tillägg till finansieringsförslaget för SSC-projektet gjordes den 3e juni 1988 där det uttryckligen stod att inga resurser fick lov att spenderas förrän utländskt stöd hade säkrats för minst 25 % av totalkostnaden.<sup>122</sup> Hjälpen från utlandet kom däremot aldrig upp i några större summor, vare sig lovade eller utdelade. Vid fler och fler budgetmöten om SSC-projektets ständigt ökande kostnader uttryckte många sin frustration över bristen på internationella bidrag.<sup>123</sup> Ironiskt nog var det många länder som avvaktade med att lova pengar åt SSC på grund av att projektet sakta verkade fallera i USA.<sup>124</sup> Bristen på tilltro till USA:s stöd, tillsammans med kompromisslösheten från deras sida gjorde att internationellt bidrag uteblev. USA:s ovilja till att låta projektet bli internationellt, och acceptera samarbete på lika villkor där förslag och synpunkter från andra länder blev tagna på allvar, var en av de största orsakerna till det knappa utlandsstödet.<sup>125</sup>

### **3.3.8. Undergång**

Representanthuset röstade 1992 för att lägga ner SSC-projektet med 232 mot 181 röster, men det räddades av senaten genom löfte om att utländskt bidrag var att vänta. Clinton administrationen hade inte samma vilja att stötta ett allt mer

---

<sup>120</sup> Appell, 2013

<sup>121</sup> Riordan et al., 2015:269

<sup>122</sup> H.Amdt. 732 - 100th Congress 1987-1988

<sup>123</sup> Dixon, 1991

<sup>124</sup> Wojcicki, 2009:280

<sup>125</sup> Smith, 2007:281; Schopper, 2009:188

kostsamt projekt som Bush Sr. och Reagans administration före honom. Trots detta skrev president Clinton ett brev till representanthuset i juni 1993, där han uttryckte sitt stöd för SSC-projektet med motivationen att USA behövde fortsätta visa stort stöd till vetenskap för omvärlden.<sup>126</sup> När det återigen röstades senare samma månad hade det knappt synts av några resurser från utlandet. Återigen röstades fortsatt finansiering av projektet ner i representanthuset, denna gång med en ännu större marginal, 280 mot 150. Senaten lyckades rädda projektet ytterligare en gång. När nästa omröstning genomfördes av representanthuset hade marginalen för att lägga ner SSC-projektet ökat med ytterligare nio röster, 282 mot 143.<sup>127</sup> Senaten var den här gången maktlös och kunde inte skaka liv i projektet igen. Den 31:a oktober 1993, tio dagar efter att representanthuset gjorde den senaste omröstningen, skrev president Clinton under beslutet om SSC:s nedläggning, och projektet var officiellt dött.

När nedläggning var ett faktum påbörjades arbetet med att avveckla projektet. Förutom rent juridiska processer kom nerläggningen att kosta 517 miljoner dollar.<sup>128</sup> Slutligen kostade SSC-projektet två miljarder dollar mellan åren 1983 och 1993, avvecklingen avrundade totalkostnaden till strax över 2,5 miljarder.

En ny accelerator. Världens största och mest kraftfulla, med en omkrets på 87 km och en kapacitet på 40 TeV blev godkänd av USA:s representanthus år 1987 och nerlagd 1993. Anledningen sägs än idag vara på grund av ständigt ökade kostnader. När projektet godkändes fick det en budget på 5,3 miljarder dollar, projektet lades till sist ner när budgeten för projektets slutförande skulle komma att sluta på över 12 miljarder dollar. Mark var redan köpt, ingenjörer och vetenskapsmän var redan rekryterade, den 87 km långa tunneln hade redan börjat grävas och totalt två miljarder dollar var redan spenderade. Tio år tidigare hade Ronald Reagan gett SSC-projektet grönt ljus och bett forskarna att satsa rejält när de skulle ansöka om anslag. Och visst satsade de rejält, men inte rejält nog.

---

<sup>126</sup> Clinton, 2005:864-865

<sup>127</sup> Brown, 2000:56-58

<sup>128</sup> Elioff, 1994:52



## 4. Analys

### 4.1. Huvudsakliga faktorer

#### 4.1.1. Internationellt samarbete och bidrag

Den fundamentalt största skillnaden mellan CERN och USA som har identifierats i studien är tillvägagångssättet för samarbete. Själva grundidén som CERN bygger på är att utföra vetenskap i dess renaste form genom samarbete. Organisationen uppmuntrar samarbete, uppmuntrar vetenskap, uppmuntrar att dela med sig av kunskap. Just den inställningen är en av de stora anledningarna till att de lyckades växa till att bli världsledande inom partikelfysik. Det är den inställningen som gjorde att CERN lyckades skaffa stöd från utomstående länder när USA inte gjorde det. Utan samarbete skulle det också vara omöjligt för en ensam nation i Europa att förverkliga så pass kostsamma projekt som CERN tar sig an. Medlemsländerna har helt enkelt varit tvungna att arbeta tillsammans för att kunna nå sina vetenskapliga mål. När CERN sökte anslag till LHC-projektet från icke-medlemsländer var de beredda på att erbjuda både konstruktionskontrakt och designinput för att kunna nå överenskommelser. USA förhandlade dessutom till sig observations status i organisationen. CERN visste hur samarbete fungerade på ett internationellt plan, och nådde framgång i sökandet efter Higgsbosen tack vare det.

När USA inledde sökandet efter bidrag till SSC-projektet var de väldigt tydliga med att det var och skulle förbli ett amerikanskt projekt. Andra länder var välkomna att bidra med pengar, men att få inflytande över några av projektets detaljer var inte lika välkomnat. Det visade sig i slutändan omöjligt för amerikanerna att hitta tillräckligt med internationella bidrag till projektet. När den möjligheten föll, följde projektet med ner i graven. USA:s representanthus hade satt ett max tak för projektet på 5,6 miljarder dollar av federala resurser. Texas hade erbjudit att tillsätta ytterligare en miljard, samt mark att konstruera på. Men det saknades fortfarande drygt två miljarder för att kunna färdigställa acceleratoren som beräknat för 8,25 miljarder dollar. Dessa två miljarder kunde ha kommit från utlandet. I och med att projektet aldrig färdigställdes så är det

förstås omöjligt att veta exakt vad slutsumman skulle blivit. Enligt ICE-rapporten, som nämndes tidigare i texten, beräknades kostnaden till slut att uppgå till nära 12 miljarder dollar. Huruvida utländskt ekonomiskt bidrag till projektet verkligen skulle gjort att det färdigställdes går enbart att spekulera om, men uppenbart är att projektet hämmades ordentligt av avsaknaden.

#### **4.1.2. Konstruktionsplats och projektledare**

En annan anledning till att SSC projektet lades ner, var att mycket av representanhusets stöd försvann så fort Texas hade valts som plats för projektet. En centraliserad, redan etablerad plats fanns redan utvald för LEP- och LHC-projektet. Länderna involverade i CERN hade inte mycket att välja på, för att på ett ekonomiskt sätt bygga nya, kraftfullare partikelacceleratorer. För att kunna dra nytta av redan existerande acceleratorer till injektion av partiklar, fanns det heller inte mycket valmöjligheter för var de båda acceleratorerna skulle lokaliseras. Besparingarna som gjordes tack vare den redan existerande LEP-acceleratorn med en färdigutgrävd tunnel och all teknik som kunde återanvändas till LHC gjorde att kostnaden för projektet var radikalt lägre än vad det skulle varit annars. Ofta är detta en förbisedd detalj när jämförelser av LHC och SSC görs. Valet som gjordes med att förlägga SSC till Texas istället för Illinois innebar att injektionsmöjligheterna och besparingarna som kunde gjorts genom att använda sig av Fermilabs redan existerande infrastruktur försvann. Forskningsanläggningen i Texas behövde även locka forskare från andra projekt och stater istället för att utöka den redan existerande styrkan vid Fermilab och forskarna som var bosatta där. Möjligheten att dessutom ha tillgång till en projektledare som kunde varit med i processen från början till slut bör inte underskattas. Både LEP- och LHC-projektet var samordnade under vars en ledare genom hela konstruktionsperioden, en ledare som hade förtroende från både ledning och kollegor. Projektledarna för SSC hade varken eller, inte förtroende från ledningen i form av DOE eller kollegorna. DOE ville detaljstyra projektet då de inte litade på att fysikerna som var involverade kunde klara av en så pass stor budget som SSC innebar. Projektledarna som de tillsatte byttes ut flertalet gånger och klickade dessutom illa med fysikerna som var drivande för att förverkliga acceleratoren.

## 4.2. Sekundära faktorer

### 4.2.1. Hålla sig till budget

Att hålla sig till den utsatta budgeten är lika viktigt på CERN som det är i USA. Men då både LHC-projektet och SSC-projektet gick över budget kan detta inte vara den huvudsakliga anledningen till SSC:s undergång, speciellt i och med att SSC:s budget ökningarna godkändes flera gånger. LEP-projektet försenades ett år på grund av utgrävningssvårigheter, vilket medförde höga extra kostnader. Anledningen till den stora budgetökningen var i LHC:s fall dels en faktor av optimistiska antaganden om konstruktionskontrakt, dels den otroligt snäva ursprungliga budgeten, och dels brist på eventualitetsresurser ifall någonting skulle gå snett. Den amerikanska budgeten för SSC hade en annan problematik. Ny teknologi låg till grund för den största kostnadsökningen projektet fick. Magnetförändringen som krävdes för att garantera projektets framgång visade sig innebära en extremt kostsam förändring, både för utgrävningen av tunneln, och själva produktionen av magneterna.

SSC-projektet kom även att försenas på grund av återhållna resurser för konstruktionsstart, vilket i sin tur ökade totalkostnaderna för projektet och förlängde konstruktionstiden. Å andra sidan berodde de återhållna resurserna på att projektledningen inte hade fullgjort sina åtaganden, de hade inte lyckats erhålla utländskt stöd. SSC-projektet kom att landa i ett moment 22. Pengar för konstruktionsstart delades inte ut på grund av att inga löften om resurser från utlandet gavs, vilket ledde till att kostnaderna för att fullfölja projektet ökade och stödet för projektet minskade i representanthuset. Pengar från utlandet uteblev på grund av ett minskande stöd från det egna landet.

### 4.2.2. Kontroll av resurser

I CERN:s fall finns en årlig budget för hela organisationen. Hur generaldirektören, tillsammans med sin personal, väljer att använda resurserna är mestadels lämnat i dennes händer. I USA:s fall fattades beslut om SSC-projektets budget, men projektledarna kunde inte styra över de faktiska resurserna. Representanthuset skötte utdelningen, och som är nämnt tidigare i

texten, så delades resurser för konstruktion inte ut upprepade gånger. Detta bidrog till en ökad kostnad för projektet i helhet.

LEP-projektets budget godkändes genom att ledningen lovade att eventuella extra resurser skulle behöva komma från CERN:s årliga anslag. När problem med utgrävning uppenbarade sig, och mer resurser behövdes för färdigställande, var organisationen tvungen att förlänga konstruktionstiden, och på så sätt allokera resurserna från budgeten.

Både under LEP- och LHC-projektets konstruktion var det inte tal om att kräva medlemsländerna på extra pengar för att färdigställa projekten. Generaldirektören var helt enkelt tvungen att hitta resurserna inom den årliga budgeten som CERN var tilldelad, be medlemsländer om extra anslag, eller hitta resurser genom att bilda internationella relationer. Vad det gäller SSC-projektet så fanns det inte lika många alternativ. Utan en årlig budget som kunde kontrolleras av projektledarna för SSC gick det inte att förlänga slutförandedatumet för att på så sätt betala för de ökade kostnaderna. Möjligheten att finna resurser från utlandet underminerades av den negativa inställningen till samarbete på lika villkor, extra resurser från den federala myndigheten godkändes inte, och åter igen, det fanns det ingen budget som projektledarna kunde kontrollera.

#### **4.2.3. Struktur och förutsättningar**

Vid en analys uppenbaras även att förutsättningarna för att förverkliga projekt skiljer sig på ett par parametrar. På CERN arbetar ständigt en utvecklingsgrupp för att hitta det absolut bästa alternativet till vilket projekt som borde förverkligas närmast. När utvecklingsgruppen, i samråd med generaldirektören, har nått en överenskommelse, presenteras förslaget till CERN-rådet, vars medlemsländer fattar ett beslut tillsammans med generaldirektören.

I SSC-projektets fall behövde utvecklingsgruppen först övertyga DOE om projektets vetenskapliga värde. Sedan övertyga presidenten, och slutligen behövde representanthuset övertygas om samma sak. Vid en jämförelse av CERN-rådet och representanthuset märks en uppenbar nackdel till SSC-projektets del. Medan hälften av CERN-rådet utgörs av representanter för vetenskapliga intressen är den största delen av representanthuset jurister eller

affärsmän. Det verkar närmast omöjligt för en amerikansk representantmedlem att vara lika insatt i ämnet partikelfysik som CERN-rådets medlemmar kan vara. Speciellt med tanke på att organisationen CERN:s syfte är partikelfysik. Det är förstås inte alltid som CERN-rådets vetenskapliga representanter instämmer med vad forskarna på CERN vill. Dessutom förstår representanterna för USA:s representanthus mycket väl att många nya jobb skapas genom stora projekt.

En ledamot i representanthuset som inte har incitament till att sin hemstat främjas av forskningen kommer inte stötta vidare finansiering såtillvida nyttan inte kan tillfalla den egna statens, eller ledamotens intressen. Exempelvis skulle det inte spelat någon roll om ledamöterna från Tennessee eller Utah röstade för eller emot konstruktionen av SSC, forskare uppväxta och utbildade i staterna nämnda hade ändå kunnat få tillgång till acceleratoren. Deras kompetens och lämplighet skulle varit avgörande istället för hur mycket pengar staten hade betalat in i skatt till den federala myndigheten. Vid CERN fungerar det annorlunda. Enda anledningen till att amerikanska forskare kunde arbeta i den utsträckning de gjorde med LHC var tack vare bidragen USA gjorde till organisationen. Kontentan av detta är att Europa har främjats av internationaliteten där USA har hämmats av nationaliteten beträffande vetenskap i detta ändamål.

## 5. Slutsatser

Frågeställningen till studien är: *Vilka var de avgörande faktorerna som gjorde att CERN lyckades genomföra konstruktionen av LEP- och LHC-acceleratorn och USA misslyckades med genomförandet att konstruera SSC-acceleratorn?*

Det finns både ett kort och ett långt svar på frågan. Det korta svaret är att USA, till skillnad från CERN, inte lyckades säkra tillräckligt med bidrag till sitt projekt från internationella aktörer och därför röstades SSC slutligen ner. Krasst sett är detta sant, även om den fullständiga sanningen ser något annorlunda ut. Skulle SSC-projektet haft stöd av utländska medel med de maximala 33 % som representanthuset ville hade de svårligen kunnat rösta ner acceleratorn.

Det långa svaret är att det var summan av delarna som innebar underlag för SSC-projektet. USA ville återfå status i världen som ledande inom högenergifysik, för att lyckas med detta behövde projektet ses som ett nationellt åtagande. Utan att erbjuda samarbete med lika villkor till internationella aktörer fanns heller inte mycket incitament för dessa att bidra till SSC med monetära medel. CERN i sin tur tampades också med resursproblem, men genom att erbjuda delaktighet i projekten på lika villkor lyckades organisationen säkra tillräckligt med stöd för att fullfölja konstruktionen av både LEP och LHC.

En av de stora anledningarna till LEP- och LHC-projektets framgång, och SSC-projektets misslyckande hade att göra med infrastruktur. Kostnaden för LEP-projektet beräknas till omkring 1,8 miljarder schweizerfranc med alla uppgraderingar inräknade, en kostnad som i stort undveks av uppgraderingen till LHC då det projektet återanvände stora delar av existerande infrastruktur. Kostnaden för LHC-projektet kom i slutändan att bli 3,7 miljarder schweizerfranc exkluderat besparingarna som LEP:s existens innebor. För konstruktionen av SSC-projektet, en tunnel som skulle sträcka sig 87 km i omkrets, fanns igen färdig tunnel att använda sig av för att minska kostnaderna, och ingen existerande infrastruktur att utnyttja i form av exempelvis laboratorier eller injektionsacceleratorer. I jämförelse med LHC skulle SSC

tunneln vara 60 km längre i omkrets och väntades ändå att hålla sig inom den ursprungliga budgeten på 5,3 miljarder dollar.

Faktumet att SSC-projektet förlorade stöd av flera stater när Texas hade valts till platsen att konstruera acceleratoren på var inte heller någonting som CERN var tvungen att tampas med. CERN hade byggt sina partikelacceleratorer i nära anslutning till Genève sedan organisationen skapades 1954. Det fanns inget att välja mellan i frågan av var, vilket även gjorde att det inte fanns något ont blod som mellan staterna i USA. Fördelen av att ha en centraliserad plats att konstruera accelerators på med arbetslag som hade flera års erfarenhet av att samarbeta tillsammans och projektledare som inte bara var väl insatta i de tekniska detaljerna av acceleratorkonstruktion, utan även fysiken som skulle appliceras, ska inte heller underskattas. Frustrationen som skapas och omställningen som följer genom att projektledaren byts ut gång på gång måste vara oerhört stor. Projektledarna för LEP och LHC var med från början och byttes aldrig ut under processens gång.

Ständigt ökande kostnader för att fullfölja SSC-projektet låg även till grund för dess nedläggning. Det första räkneexemplet för projektet var på 2,7 miljarder dollar, många faktorer var inte inkluderade och desto mer information utredningsgrupperna fick desto mer precis blev siffran. Det första förslaget som lämnades in för godkännande var 5,3 miljarder dollar men allteftersom forskningen gick framåt och bilden av projektet blev tydligare kom kostnaderna efterhand att öka till 8,25 miljarder dollar. Slutligen lades SSC ner med en förväntad total kostnad på upp emot 12 miljarder dollar. CERN var förstås inte heller förskonade från ökade kostnader i samband med LEP- och LHC-projekten. Finansieringen av LEP-projektet godkändes tack vare CERN:s goda rykte och ett löfte om att inte behöva extra resurser från medlemsländerna. LHC-projektet gick långt över budget, från 2,6 till 3,7 miljarder schweizerfranc, men förtroendet för projektledningen var stort och många av ökningarna var ofrånkomliga.

CERN:s projektledning hade också möjlighet att styra över resurserna till en grad som projektledarna för SSC aldrig hade. En årlig budget som ledningen kunde kontrollera tillät besparingar genom att göra uppehåll i andra projekt, förlänga konstruktionstiden för acceleratorerna, ta ut banklån, och söka extra bidrag från medlemsländerna, andra vetenskapliga institutioner och andra

länder. Med inställningen att SSC-projektet var ett amerikanskt projekt föll möjligheterna att få bidrag från andra länder och projektledarna kunde inte vända sig någon annanstans än till representanthuset för att få mer pengar. Representanthuset kontrollerade de resurser som fanns och de allokerade inte resurserna som projektledarna efterfrågade.

Det går att fråga sig om SSC-projektet skulle klarat sig bättre om förändringen av magneterna hade varit beräknad från början. Inte att det skulle ha förutsetts, framstegen som teknologin gjorde var omöjlig att förutse. Men om teknologin hade existerat redan i planeringsfaserna och budgeteringsfaserna vid Reagan administrationen. En högre budget hade krävts i ett tidigare skede och ökningarna skulle inte varit lika avsevärda. Ytterligare en fråga man kan ställa sig om vi gör detta antagande är om SSC-projektet i så fall skulle accepterats överhuvudtaget.

Sist men inte minst är det viktigt att belysa att det inte fanns någon ovilja i USA att spendera pengar på vetenskap. USA sponsrade LHC-projektet med 531 miljoner dollar och fick som följd möjlighet att delta i planeringen av projektet, och delta i experimenten, dessutom lyckades de tillsätta amerikanska företag och institutioner vid tillverkning av delar till acceleratoren. Från USA:s synvinkel var det acceptabelt att LHC-projektet var ett internationellt projekt, men tvärt om när CERN och Japan ville vara delaktiga i SSC-projektet. Fördelarna som CERN hade gentemot SSC var bland annat en djupare förståelse av vikten med internationellt samarbete, och vanan att samarbeta internationellt. Kom amerikanerna att uppskatta fördelarna med internationaliteten av massiva forskningsprojekt, eller kommer även framtida amerikanska åtaganden att lysa med utländsk frånvaro?



## 6. Källförteckning

Adams, J.B. m. fl. (1978), "Design study of a 15 to 100 GeV e+e- colliding beam machine (LEP)", Geneva, CH: CERN, Tillgänglig: <https://cds.cern.ch/record/101331/files/CM-P00048058.pdf>. Hämtdatum [2017-03-16]

Adams, J.B. m. fl. (1979), "Design study of a 22 to 130 GeV e+e- colliding beam machine (LEP)", Geneva, CH: CERN, Tillgänglig: <https://cds.cern.ch/record/101333/files/cm-p00048057.pdf>. Hämtdatum [2017-03-16]

Appell, David, 2013. "The Supercollider That Never Was", *Scientific American*, Nyhetsartikel. 2013-10-15

Bennett, J.R.J. m. fl. (1977), "Design concept for a 100 GeV e+e- Storage Ring (LEP)", Geneva, CH: CERN, Tillgänglig: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/Public/09/408/9408400.pdf>. Hämtdatum: [2017-03-16]

Brown, Sherrod, 2000. *Congress from the inside: observations from the majority and the minority*. 2a utgåvan. The Kent State University Press, Kent, Ohio.

CBO - The Congress of the United States Congressional Budget Office, 1988. "Risks and Benefits of Building the Superconducting Super Collider", Tillgänglig: [https://www.cbo.gov/sites/default/files/100th-congress-1987-1988/reports/doc11b-entire\\_1.pdf](https://www.cbo.gov/sites/default/files/100th-congress-1987-1988/reports/doc11b-entire_1.pdf). Hämtdatum: [2017-03-20]

CERN - European Organization for Nuclear Research, 1953 as amended 1971. Convention for the Establishment of a European Organization for Nuclear Research, Artikel II. Tillgänglig: <https://council.web.cern.ch/en/content/convention-establishment-european-organization-nuclear-research-2>. Hämtdatum [2017-05-15]

CERN/FC/2444, 1981. Tillgänglig: <https://cds.cern.ch/record/61975/files/CM-P00087458-e.pdf>. Hämtdatum [2017-05-17]

CERN/1658, 1987. Tillgänglig: <http://cds.cern.ch/record/30710/files/CM-P00082677-e.pdf>. Hämtdatum [2017-03-16]

CERN - European Organization for Nuclear Research, 1992. CERN/1904 Tillgänglig: <https://cds.cern.ch/record/32497/files/CM-P00080639-e.pdf>. Hämtdatum [2017-03-16]

CERN - European Organization for Nuclear Research, Hemsida, [elektronisk] 1997a. U.S. to contribute \$531 million to CERN's Large Hadron Collider project.

Tillgänglig: <http://press.cern/press-releases/1997/12/us-contribute-531-million-cerns-large-hadron-collider-project>. Hämtdatum [2017-03-16]

CERN - European Organization for Nuclear Research, Hemsida, [elektronisk] 1997b. US becomes observer at CERN. Tillgänglig: <http://press.cern/press-releases/1997/12/us-becomes-observer-cern>. Hämtdatum [2017-03-16]

CERN - European Organization for Nuclear Research, Hemsida, [elektronisk] 2008. CERN releases analysis of LHC incident. Tillgänglig: <http://press.cern/press-releases/2008/10/cern-releases-analysis-lhc-incident>. Hämtdatum [2017-03-16]

CERN - European Organization for Nuclear Research, Hemsida, [elektronisk] 2017a. About. Tillgänglig: <https://home.cern/about>. Hämtdatum [2017-05-15]

CERN - European Organization for Nuclear Research, Hemsida, [elektronisk] 2017b. The Standard Model. Tillgänglig: <https://home.cern/about/physics/standard-model>. Hämtdatum [2017-05-15]

CERN - European Organization for Nuclear Research, Hemsida, [elektronisk] 2017c, The history of CERN timeline. Tillgänglig: <http://timeline.web.cern.ch/timelines/the-history-of-cern/overlay-1949-12-0900:45:00>. Hämtdatum: [2017-03-16]

CERN - European Organization for Nuclear Research, Hemsida, [elektronisk] 2017d. The Structure of CERN. Tillgänglig: <https://home.cern/about/structure-cern>. Hämtdatum [2017-05-15]

CERN Courier, 2001. "The international jigsaw puzzle", *CERN COURIER*, Nyhetsartikel. 2001-08-30

CERN Courier, 2003. "CERN Council sets the stage for the LHC", *CERN COURIER*, Nyhetsartikel. 2003-01-01

Chou, Weiren, 2015. "Cost Consideration And A Possible Construction Timeline Of the CEPC-SPPC", Batavia, Illinois, Tillgänglig: <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/HF2014/papers/frt2a3.pdf>. Hämtdatum : [2017-05-28]

Clinton, William J., 2005. "William J. Clinton: 1993 8in two books). [Book 1]", Ann Arbor, Michigan: University of Michigan Library.

Dixon, Jennifer, 1991. "Bush Says Japanese Interested In SSC; Soviets Invited To Participate", *AP*, Nyhetsartikel. 1991-07-12

DOE - U.S. Department of Energy, 1991. "Report on the Superconducting Super Collider Cost and Schedule Baseline", Tillgänglig: <http://inspirehep.net/record/328368/files/doe-er-0468p.pdf>. Hämtdatum: [2017-03-21]

DOE/EIS - 0138, 1988a. "Final Environmental Impact Statement Superconducting Super Collider Volume III", Washington D.C., Tillgänglig: <http://lss.fnal.gov/archive/other/ssc/ssc-doe-eis-0138-22.pdf>. Hämtdatum: [2017-03-20]

DOE/EIS - 0138, 1988b. Volume IV, Appendices 1, 4, 6, 9, 10, 12-16 Errata and Revisions, "Final Environmental Impact Statement Superconducting Super Collider", Washington D.C., Tillgänglig: <http://lss.fnal.gov/archive/other/ssc/ssc-doe-eis-0138-22.pdf>. Hämtdatum: [2017-03-20] Appendix 12

Domondon, Andrew T., 2009, "Kuhn, Popper and the Superconducting Supercollider", *Studies in History and Philosophy of Science*, Vol 40

ECFA 84/85 CERN 84-10, 1984. Tillgänglig: <https://cds.cern.ch/record/154938/files/CERN-84-10-V-1.pdf>. Hämtdatum [2017-03-16]

Elioff, T. 1994. SSCL-SR-1242, "A Chronicle of Costs", Dallas, TX, Tillgänglig: <http://lss.fnal.gov/archive/other/ssc/sscl-sr-1242.pdf>. Hämtdatum: [2017-03-20]

Feder, Toni, 1997, "CERN Council Decides to Build LHC Now - and Pay for It Later", *Physics Today*, Vol 50, 2

Feder, Toni, 2001, "CERN Grapples with LHC Cost Hike", *Physics Today*, Vol 54, 12, 21

Fermilab Core Computing Division, Hemsida [elektronisk] 2013. Tillgänglig: <http://lss.fnal.gov/archive/other/ssc>. Hämtdatum [2017-05-15]

GAO - US. General Accounting Office, 1993. GAO/T-RCED-93-57, "Superconducting Super Collider's Total Estimated Cost Will Exceed \$11 Billion", Tillgänglig: <http://www.gao.gov/assets/110/105159.pdf>. Hämtdatum: [2017-03-21]

Gambrell, Dorothy, 2013. "The 113th Congress, by the Numbers", Bloomberg Nyhetsartikel. 2013-01-11

George, Alexander L. & Bennet, Andrew, 2005. *Case studies and theory development in the social sciences*. Cambridge, Mass.

H.Amdt. 732 - 100th Congress (1987-1988)

Krige, John, 1996. *History of CERN - Volume 3*, red. Krige, John, Amsterdam: Elsevier.

Malik Selina, 2017. Illustration av standardmodellen

- NYTimes, 1983. "Europe 3, U.S. Not Even Z-Zero", *The New York Times*, Nyhetsartikel. 1983-06-06
- Physicsworld, 2001. "CERN to find funds for costly collider", *Physicsworld*, Nyhetsartikel. 2001-12-17
- Quirk, Trevor, 2013. "How Texas Lost the World's Largest Super Collider", *Texas Monthly*, Nyhetsartikel. 2013-10-21
- Riordan, Michael, Hoddeson, Lillian, Kolb, Adrienne W., 2015, *Tunnel Visions: the rise and fall of the superconducting super collider*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Schnell, Wolfgang 1979, "Design study of a large electron-positron colliding beam machine - LEP", Tillgänglig: <https://cds.cern.ch/record/133205/files/cer-000043786.pdf>. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. NS-26, No. 3
- Schopper, Herwig, 2009. *LEP - The Lord of the Collider Rings at CERN 1980-2000*. Berlin: Springer.
- Smith, Chris Llewellyn, 2007, "How the LHC came to be", *NATURE*, Vol 448, July
- Tigner, Maury, 1984, "The SSC Reference Designs Study", Cornell University, Tillgänglig: <http://inspirehep.net/record/215138/files/SSC-Ref.Desg.Study.pdf> Hämtdatum [2017-05-18]
- Tigner, Maury - Dahl, Per, 1987. SSC-117, "The SSC Status and Outlook", Berkley, CA - Upton NY: SSC, Tillgänglig: <http://lss.fnal.gov/archive/other/ssc/ssc-117.pdf>. Hämtdatum [2017-03-16]
- Wines, Michael, 1993. "House Kills the Supercollider, And Now It Might Stay Dead", *The New York Times*, Nyhetsartikel. 1993-10-20
- Wojcicki, Stanley, 2009. "The Supercollider: The Texas Days A Personal Recollection of Its Short Life and Demise", i Chao, Alexander W. (red); Chou, Weiren (red), *Reviews of Accelerator Science and Technology - Volume 2*. Singapore; Hackensack, N.J.: World Scientific Pub. Co
- Wu, Sau Lan, 2014, "Brief history for the search and discovery of the Higgs particle - A personal perspective", *Modern Physics Letters, A*, Vol 29, Issue 9