

# FUTURE CIRCULAR COLLIDER STUDIE

Das Ziel der Future Circular Collider (FCC) Studie ist es, im Rahmen einer internationalen Arbeitsgemeinschaft das Konzept für eine neue Teilchenbeschleunigeranlage zu entwickeln. Diese Anlage soll etwa 2035, nach Ende des Forschungsprogramms am Large Hadron Collider (LHC), in Betrieb gehen. Weit höhere Energien und Intensitäten sollen helfen, jene Fragen anzugehen, welche das Standardmodell der Teilchenphysik nicht beantworten kann. Nach heutigem Stand der Beschleunigerforschung läßt sich dieses Ziel nur mit einem großen Ringbeschleuniger nachhaltig erreichen.

Die europäische Arbeitsgruppe zur Teilchenphysikstrategie empfahl im Jahre 2013 daher eine solche Maschine. Die europäische Strategie deckt sich mit den Empfehlungen des Internationalen Komitees für zukünftige Beschleuniger (ICFA) und des US Komitees zur Prioritätensetzung in der Teilchenphysik (P5).

Im Februar 2014 wurde das europäische Kernforschungszentrum (CERN) in Genf damit beauftragt, diese Studie zu koordinieren, welche bis Ende 2018 die Konzepte, Kosten und Realisierungsszenarien ausarbeiten wird.

Langfristiges Ziel und Herzstück der zukünftigen Anlage ist ein 100 km langer, ringförmiger, 100 TeV Hadronenbeschleuniger (FCC-hh). Vor der Installation einer solchen Maschine könnte dieser Tunnelkomplex als möglichen Zwischenschritt auch einen Elektron-Positronbeschleuniger (FCC-ee) mit Energien bis etwa 350 GeV beherbergen. Die Option eines Wechsellwirkungspunktes für Hadron-Lepton-Kollisionen (FCC-he) wird ebenfalls studiert, wie auch die Möglichkeit höhere Energien mit neuartigen Magneten im LHC-Tunnel (HE-LHC) zu erreichen. Mittlerweile beteiligen sich mehr als 100 Institute aus über 30 Ländern an diesem ehrgeizigen Vorhaben.

Mehrere Schlüsseltechnologien müssen neu entwickelt oder deutlich verbessert werden, um einen solchen Hochenergiebeschleuniger umsetzen zu können. Dazu gehören energie-effiziente Hochfeldmagnete zur Steuerung der Teilchenstrahlen, hochwirksame Hochfrequenzsysteme zur Beschleunigung der Teilchen, leistungsstärkere Kältetechnik, und hochresistente Materialien, welche zu unterschiedlichen Zwecken mit den hochenergetischen Strahlen in Kontakt kommen werden.

Dabei können Synergien mit verwandten Entwicklungstätigkeiten in aller Welt zusätzlichen Nutzen für andere Forschungsinfrastrukturen ergeben. Beispiele dafür sind Hochfeldmagnete für andere Teilchenbeschleuniger wie FAIR in Deutschland und für Fusionsexperimente wie ITER in Frankreich. Hochfrequenztechnologien kommen bei Röntgenlasern wie dem XFEL in Deutschland oder dem SwissFEL in der Schweiz zum Einsatz. Auch gemeinsame Innovationsschübe, wie etwa die Entwicklung von additiven Produktionsverfahren mit Metallen zur kostengünstigen Herstellung von Maschinenelementen (3D-Druck) bieten Möglichkeiten zur gemeinsamen Effizienzsteigerung im Teilchenbeschleunigersektor, zum Beispiel im Medizinbereich bei HIT in Deutschland oder bei MedAustron in Österreich.

## HORIZONTE ERWEITERN

### Kontakt

**Email :** [fcc.office@cern.ch](mailto:fcc.office@cern.ch)

**Postanschrift :** FCC Office  
Mailbox M22100  
CERN - CH1211  
Geneva, Switzerland

**Telephone :** +41 22 767 4058

**Fax :** +41 22 766 9731

### Weitere Informationen

[fcc.web.cern.ch](http://fcc.web.cern.ch)



Education, Communication and Outreach Group  
März 2017  
CERN-Brochure-2016-003-De



Dieses Projekt erhält Finanzierung im Rahmen des EU Horizont 2020 Forschungs- und Innovationsprogrammes unter der Fördernummer 654305. Die hier reproduzierte Information stellt ausschließlich die Sicht der Autoren dar.



## FUTURE CIRCULAR COLLIDER STUDIE

# WAS

Die Future Circular Collider (FCC) Machbarkeitsstudie entwickelt Konzepte für einen Hadronen- und einen Leptonenbeschleuniger mit dem Ziel, der Grundlagenforschung gänzlich neue Energie- und Luminositätsbereiche zu eröffnen.

Der Large Hadron Collider (LHC) am CERN wird in den nächsten beiden Jahrzehnten die weltweit einzige Infrastruktur zur Erforschung der physikalischen Grundgesetze in hohen Energiebereichen bleiben. Das Forschungsprogramm des LHC definiert damit ein klares **Zeitfenster zur Vorbereitung der nächsten Großforschungsanlage für die Teilchenphysik.**

Die FCC Studie ergänzt bereits bestehende Konzepte für lineare Elektron-Positron-Beschleuniger wie ILC und CLIC, welche komplementäre Forschungsprogramme abdecken. Ein leistungsstärkerer Protonenkreisbeschleuniger würde gänzlich neue Energiebereiche erschließen. Vergleichbare Kollisionsenergien sind im 21. Jahrhundert mit keiner anderen, konkurrenzfähigen Technologie erreichbar. Daher bildet ein 100 TeV Hadronenbeschleuniger in einem 100 km langen Tunnel das Herzstück der Studie. Der Entwurf eines Elektron-Positron Beschleunigers zur hochpräzisen Erkundung seltener physikalischer Prozesse wird ebenfalls untersucht. Das Arbeitsprogramm umfasst auch die Entwicklung von Detektorkonzepten zur Aufzeichnung und Analyse der Teilchenkollisionen sowie eine umfassende Analyse der physikalischen Fragen.

Ob eine derartige Anlage umgesetzt werden kann, hängt entscheidend von Durchbrüchen bei Schlüsseltechnologien ab. Um diese zu erreichen, sind zielgerichtete Forschungs- und Entwicklungsprogramme notwendig:

- neuartige 16 Tesla Hochfeldmagnete und die begleitende Entwicklung von Supraleitern,
- energie- und kosteneffiziente Hochfrequenzbeschleunigersysteme,
- energie- und kosteneffiziente Kältetechnik und Kryoplanzen.

Für einen verlässlichen, nachhaltigen und effizienten Beschleunigerbetrieb sind zahlreiche weitere Technologien notwendig. Die diesbezüglichen Technologieentwicklungsprogramme werden in weltweiter Zusammenarbeit mit Universitäten, Forschungszentren und Firmen erstellt.

- **Future Circular Collider (FCC)**  
Umfang : 90 - 100 km  
Energie : 100 TeV (pp) 90-350 GeV (e<sup>+</sup>e<sup>-</sup>)
- **Large Hadron Collider (LHC)**  
**Large Electron-Positron Collider (LEP)**  
Umfang : 27 km  
Energie : 14 TeV (pp) 209 GeV (e<sup>+</sup>e<sup>-</sup>)
- **Tevatron**  
Umfang : 6.2 km  
Energie : 2 TeV (p $\bar{p}$ )

# WARUM

Die Entdeckung des Higgs-Bosons am LHC im Jahre 2012 stellt einen wichtigen Meilenstein der Grundlagenforschung dar: Dieses Teilchen war das letzte noch fehlende Element im Standardmodell der Teilchenphysik. Das Standardmodell beschreibt alle bekannten Elementarteilchen und Prozesse, die das beobachtbare Universum – auch uns Menschen – bilden. Es deckt jedoch nur 5% der im Universum vorhandenen Materie ab. Was ist mit den restlichen 95%?

Das Standardmodell kann verschiedene Beobachtungen nicht erklären, wie zum Beispiel:

- Woraus besteht dunkle Materie?
- Wieso gibt es mehr Materie als Antimaterie?
- Wie erhalten Neutrinos ihre Masse?
- Wie wurde die stabile Materie gebildet?

Zukünftige Beschleunigeranlagen zur Erforschung dieser Fragen werden die Suche nach neuen Teilchen und Wechselwirkungen ermöglichen, die den Schlüssel zur Erklärung bislang ungeklärter Phänomene enthalten könnten. Grundlegende physikalische Modelle müssen neu bewertet werden. Daraus ergeben sich die erforderlichen Anlagenparameter, damit die zukünftigen Experimente Antworten auf die offenen Fragen geben können. Neugier, Kreativität und Innovation sind die Voraussetzungen, um diesen Menschheitstraum zu verwirklichen. Die lange Vorlaufzeit von mindestens zwanzig Jahren für die Entwicklung und Umsetzung einer neuen Großbeschleunigeranlage erfordert eine internationale Anstrengung. Das Ziel ist es, die nahtlose Fortführung des weltweiten Teilchenphysikprogrammes im Anschluß an die LHC-Ära zu gewährleisten.

# WIE

Die internationale Organisation CERN bietet eine hervorragende Plattform für weltweite Zusammenarbeit und für geographisch verteilte und inhaltlich komplementäre Beiträge von Experten aus aller Welt. Nur durch internationale Arbeitsteilung können die unterschiedlichen Technologie- und Forschungsbereiche wirksam abgedeckt werden. Zentrale Teile der FCC-Studie werden zudem durch das Horizont 2020 Programm der Europäischen Union unterstützt (EuroCirCol Projekt).

Die FCC-Studie stellt sicher, daß die weltweite wissenschaftliche Gemeinschaft vollständig in den Entwicklungsprozess eingebunden ist. Theoretische Physik und Experimentalphysik, Teilchenbeschleuniger und Technologien sowie Organisation und Kostenstudien sind in einer einzigen Studie zusammengeführt, die es erlaubt, ein kohärentes und konsistentes Gesamtkonzept zu entwickeln.

Die FCC-Studie baut auf den Erfahrungen auf, die beim Betrieb des LEP (Large Electron-Positron Collider), des LHC und bei verschiedenen anderen Teilchenbeschleunigern in Amerika und Asien gewonnen wurden und sie integriert, soweit wie möglich, auch Ergebnisse der Konzeptstudien zu Linearbeschleunigern (z.B. CLIC, ILC, ESS).

