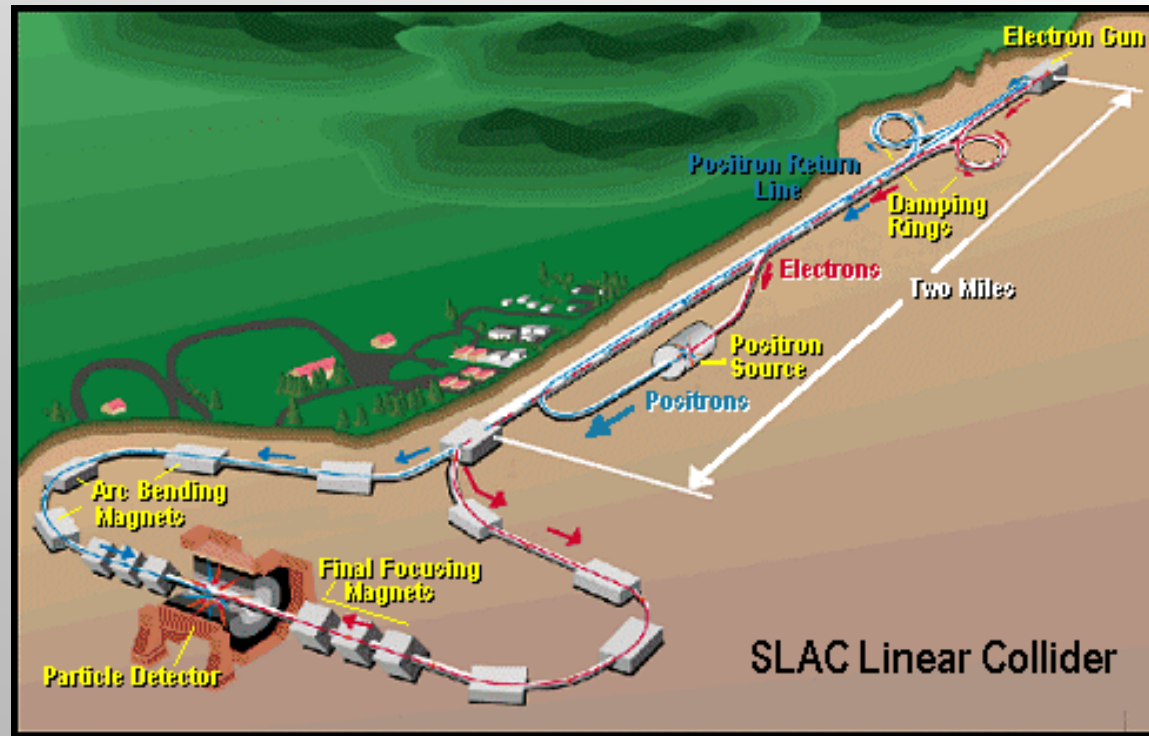




Das Konzept der Speicherringe
(„colliding-beam“-Experimente)

Kapitel 12





Colliding-beam-Experimente

- Ab 1960 → ersten colliding-beam-Experimente
- vor allem e^+e^- Speicherringe (zwei getrennten Ringen oder im gleichen Ring)
- wohldefinierte Wechselwirkungszonen → Detektorsystemen
- Heute: Elektronen, Positronen, aber auch Protonen, Antiprotonen und schweren Ionen
- Speicherringe sind synchrotronartige Beschleuniger, die mit einem zeitlich konstanten Magnetfeld betrieben werden.



Luminosität

- Luminosität L ist ein Maß für die Qualität des Strahls
- Die Luminosität charakterisiert den Zusammenhang zwischen der Ereignisrate (Einheit: s^{-1}) in einem Detektor und dem Wirkungsquerschnitt σ (Einheit: cm^2) der untersuchten Reaktion:

$$\dot{N}_D = R$$

$$\frac{dN_D}{dt} = L\sigma$$

Streuexperiment

- extrahierter Strahl auf ein externes Target

- $L = \dot{N}_P \frac{N_T}{A}$ Einheit: $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

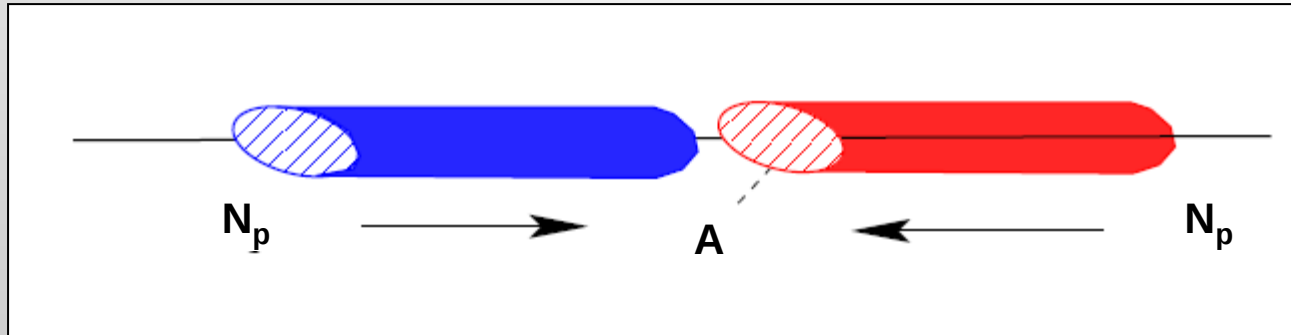
- $\dot{N}_P$ Zahl der Projektile pro Zeiteinheit
- $\frac{N_T}{A}$ Zahl der Targetteilchen pro Flächeneinheit

- Colliding-beam-Experiment

$$L = f \cdot n \frac{N_1 N_2}{A}$$

- N_1, N_2 Anzahl der Teilchen in Strahl 1 bzw. 2
- n Zahl der Pakete
- σ Wirkungsquerschnitt für die Reaktion
- L Luminosität
- f Umlauffrequenz
- A Querschnitt der sich überlappenden Strahlen

Luminosität Collider



$$L \propto f \cdot n \cdot \left(\frac{N_P}{A} \right) \cdot N_P$$

- Um große Reaktionsraten $R = \sigma \cdot L$ zu erhalten, sollten:
 - N_1 und N_2 groß sein, was allerdings durch die Wechselwirkung der Teilchen im Paket untereinander begrenzt wird, und
 - A klein sein, was durch die Strahl-Strahl-Wechselwirkung begrenzt wird.

- Typische Werte: $L = 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Cornell, FNAL),
angestrebt für LHC: $L = 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$



Lepton vs. Hadronkollisionsmaschinen

- Leptonen sind Fundamentarteilchen (keine Sub-Struktur)
 - e^- , e^+ , μ^- , μ^+ , τ^- , τ^+ und Neutrinos (nur e^- , e^+ wegen Erzeugung).
 - Stossparameter in der Kollision sind genau definiert.
 - Hohe Präzision bei Auswertung da Ausgangsparameter gut bekannt.
 - “Präzisionsmessmaschinen”
- Hadronen haben Sub-Struktur (Quarks, Gluonen)
 - p^+ (uud Quarks + Gluonen).
 - Es kollidieren einzelne Quarks, effektive Reaktionsenergie wird verringert.
 - Stossparameter schlecht bekannt, geringere Präzision.



12.1 Colliding-Beam-Experiment mit einem Linearbeschleuniger

- In einem Linearbeschleuniger wird das **ständige Umpolen der elektrischen Felder** der Beschleunigerstrecken ausgenutzt, um dort Teilchen- und Antiteilchenpakete (mit entgegengesetzten elektrischen Ladungen) zu beschleunigen, z.B. Elektronen und Positronen
- → **zur Kollision gebracht**
- Teilchenpakete können nur **einmalig genutzt** werden (Beispiel: SLC).

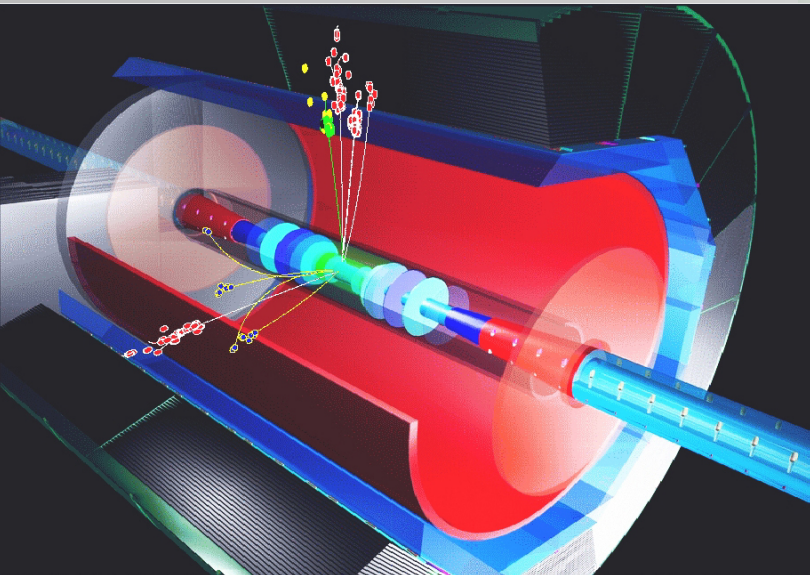


12.2 Colliding-Beam-Experiment mit zwei Linearbeschleunigern

- Studien für zukünftige TeV e^+e^- Kollisionsmaschinen
- Teilchenpakete in entgegengesetzter Richtung beschleunigt und zur Kollision gebracht
 - In Planung: TESLA (= TeV-Energy Superconducting Linear Accelerator)
 - supraleitender linearer Beschleuniger für Tera-Elektronenvolt-Energien
 - 33 Kilometer langer, supraleitender Linearbeschleuniger
 - Elektronen + Positronen → Stoß
 - Physik der Struktur der Materie
 - Entstehung der Materie und des Universums
 - Zukunftsprojekt zwischen Hamburg-Bahrenfeld bis an die Nordgrenze des Kreises Pinneberg in Schleswig-Holstein



TESLA, Testanlage 2003

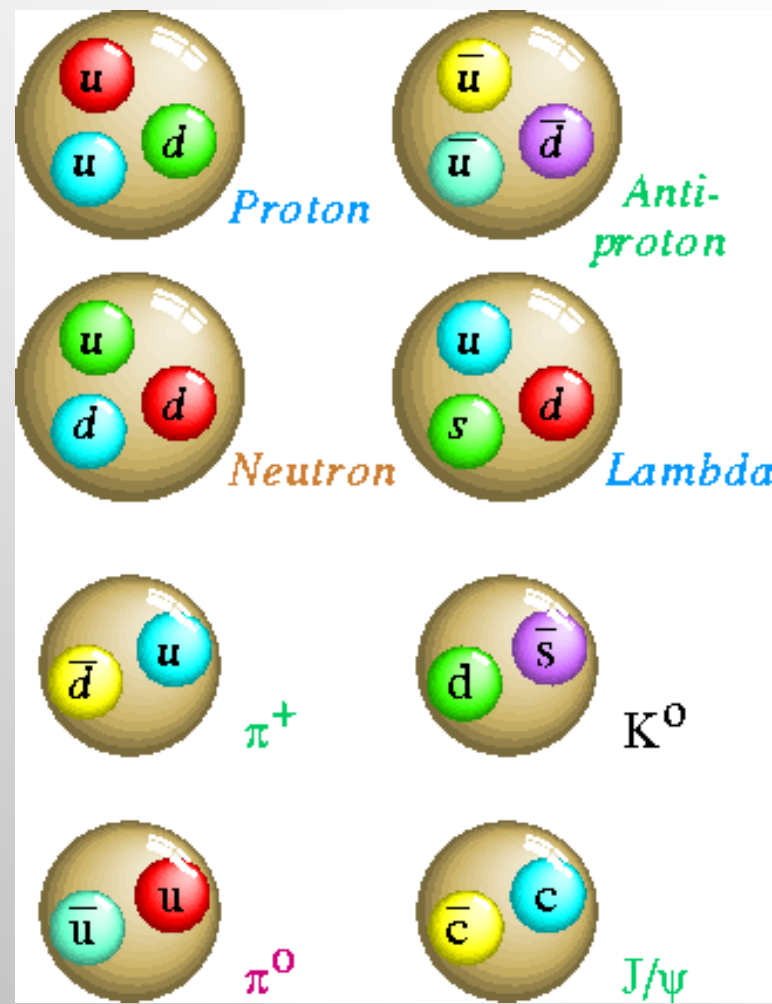
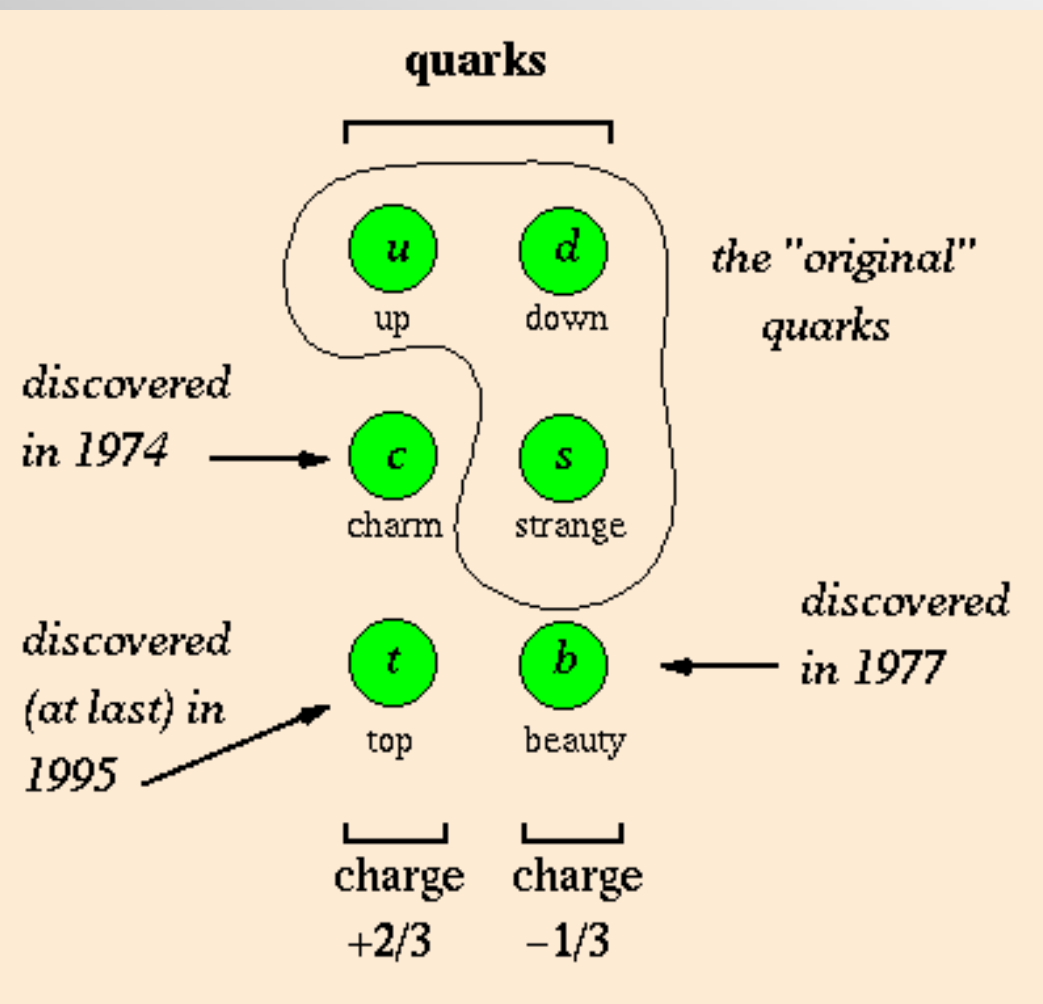


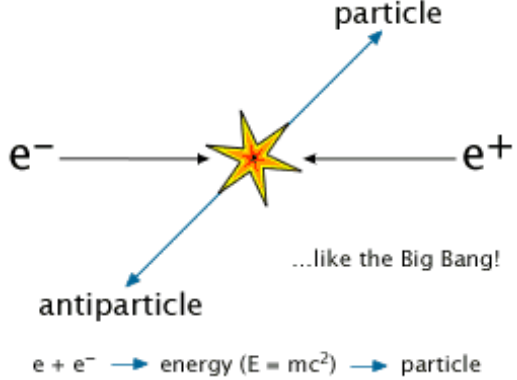


12.2.1 Single-Ring-Colliders

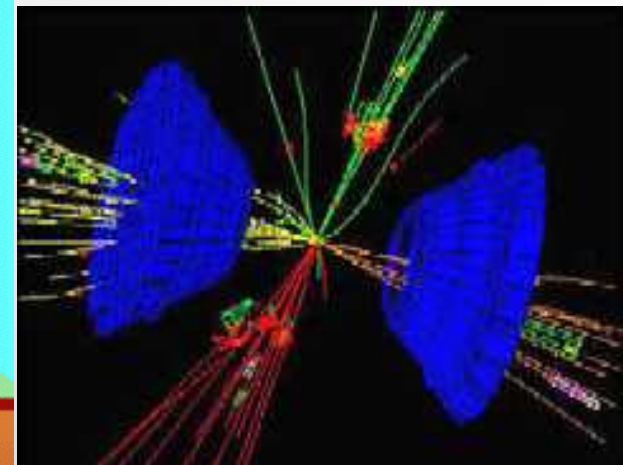
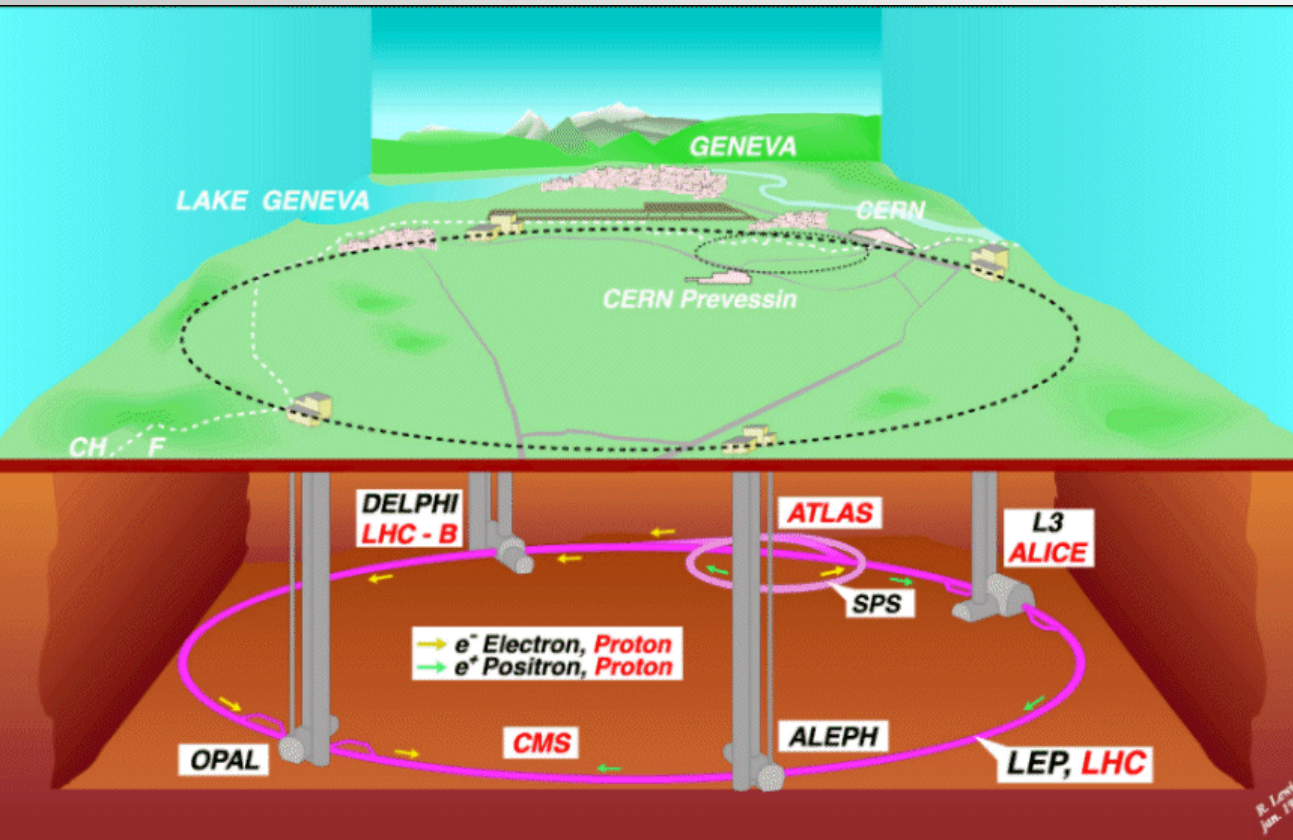
- entgegengesetzte elektrische Ladung
- gleiche Masse von Teilchen und Antiteilchen
- in den elektrischen Beschleunigungsstrecken entgegengesetzt beschleunigt
- in einer Beschleunigerröhre zirkulieren
- Orten der Kollisionen = Detektoren
- Elektron-Positron-Collider: z.B. LEP am CERN mit den Experimenten Aleph, Delphi, Opal und L3
- Proton-Antiproton Collider: z.B. Tevatron am Fermilab mit den Experimenten CDF und Dzero. Am Tevatron wurden das Top und das Bottom Quark entdeckt.

Quarks





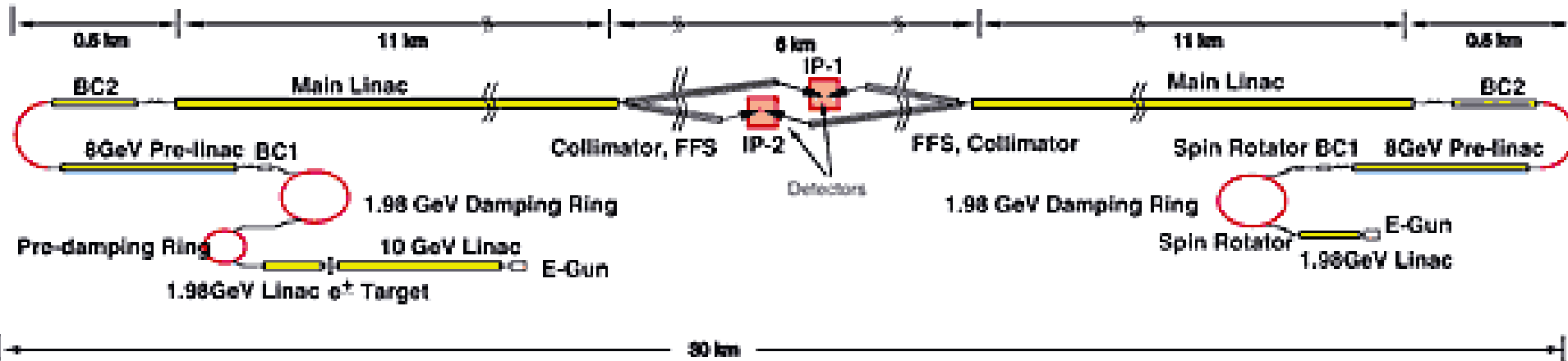
Elektron-Positron-Collider



■ LEP, CERN

Electron-Positron Linear Collider *JLC*

500 GeV JLC-I $\rightarrow$ ≥ 1 TeV JLC



1.0 TeV Configuration



■ KEK, Japan

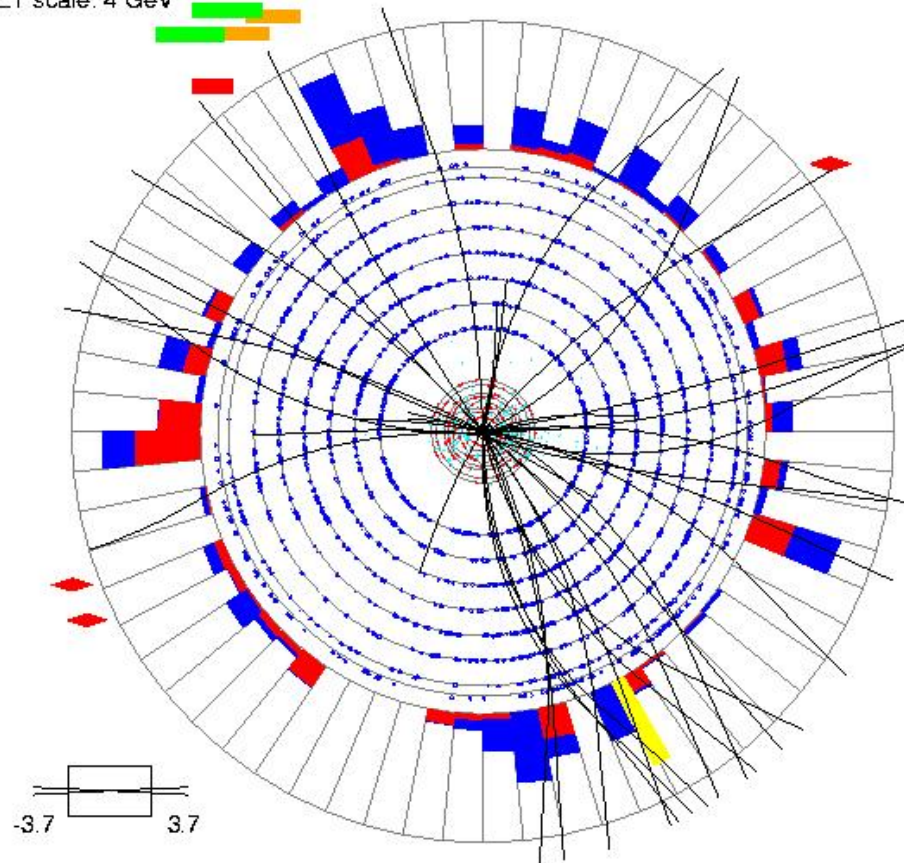
- 1.54 GeV injector linac
- Construction start in 1993
- 33 MeV/m
- multi-bunch beam of 20 bunches had been demonstrated in 1994 to 1996 period
- completed in 1996



12.2.2 Twin-Ring-Colliders

- Hier benötigt man auf Grund der unterschiedlichen Masse oder gleichen elektrischen Ladung zwei Beschleunigerröhren
- Jeder Teilchenstrahl wird in einer separaten Röhre beschleunigt, an manchen Stellen werden die Röhren gekreuzt und dort die Teilchen zur Kollision gebracht. (Beispiele: HERA, LHC)
- Übersicht:
<http://www-spires.slac.stanford.edu/find/explist.html>

ET scale: 4 GeV



- **Kollision** (aus der Sicht des Protonenstrahls)
 - inneren konzentrischen Kreise geben die Lage der Detektoren an, die Punkte die Events
 - äußeren Balken zeigen die absorbierte Energie an.