

Proton Synchrotron Booster

Wie wir vorhin gesehen haben, werden die Protonen als erstes mit einem Linearbeschleuniger [Video LINAC] geradlinig beschleunigt. Doch solche Linearbeschleuniger haben einen gravierenden Nachteil: je höher die kinetische Energie der Teilchen werden soll, also je schneller die Teilchen beschleunigt werden sollen, desto länger wird der Beschleuniger. Das bedeutet aber explodierende Kosten und zunehmende technische Schwierigkeiten.

Kreisbeschleuniger

[live] Deshalb kam schon 1930 die Idee auf, Teilchen auf eine Kreisbahn zu lenken. Dadurch kann die *selbe* Beschleunigungsstrecke mehrmals durchlaufen werden. Bei jedem Umlauf wird das Teilchen weiter beschleunigt. Doch wie zwingt man nun Teilchen auf eine Kreisbahn?

Im Magnetfeld erfahren geladene Teilchen die Lorentzkraft. Diese wirkt immer senkrecht zur Flugrichtung, wodurch die Teilchen auf eine Kreisbahn gelenkt werden.

[Video1] Die Fadenstrahlröhre befindet sich zwischen zwei großen Helmholtz-Spulen. Lässt man durch diese einen Strom fließen, so wird ein Magnetfeld erzeugt, das die Elektronen in der Fadenstrahlröhre auf eine Kreisbahn lenkt.

Damit ist das Grundprinzip eines Kreisbeschleunigers klar: mit Hilfe eines Magnetfelds werden die Teilchen auf eine Kreisbahn gelenkt, auf der sie bei jedem Umlauf weiter beschleunigt werden.

Ein Problem gibt es aber noch: wenn die Teilchen schneller werden, also wenn in der Fadenstrahlröhre die Beschleunigungsspannung erhöht wird, [Video2a] wird der Radius der Kreisbahn größer. Das heißt: wenn die Teilchen in einem Kreisbeschleuniger bei jedem Umlauf etwas beschleunigt werden, wächst der Radius ständig an. Bei Zyklotrons, einem älteren Typ Kreisbeschleuniger, wird das Teilchen bei jedem halben Umlauf zwischen zwei D-förmigen Elektroden beschleunigt. Jedes mal werden die Teilchen etwas schneller, der Radius wird immer größer, Ergebnis ist eine spiralförmige Bahn. Das Problem ist, dass das Magnetfeld für die Spiralbahn auf der ganzen Fläche wirken muss. Radien von mehreren Metern sind deshalb undenkbar. Wie kann hier Abhilfe geschaffen werden?

[Video3 + Video4] Wenn wir in der Fadenstrahlröhre das Magnetfeld erhöhen, wird der Radius der Kreisbahn wieder kleiner. Es ist also möglich, durch ein Nachregeln des Magnetfelds die durch die Beschleunigung verursachte Vergrößerung der Kreisbahn wieder rückgängig zu machen.

[Video5] Führt man nun beides, die Erhöhung der Beschleunigungsspannung und die Erhöhung des Magnetfeldes gleichzeitig durch, so bleibt die Teilchenbahn immer am selben Ort. Kreisbeschleuniger, in denen Magnetfeld und Beschleunigung synchron hochgefahren werden, heißen Synchrotron. Da aufgrund der synchronen Erhöhung die Teilchenbahn ortsfest ist, kann man auf diese Weise sehr große Beschleuniger bauen, weil das Magnetfeld, das die Kreisbahn verursacht, nur entlang der Bahn wirken muss und nicht etwa auf der ganzen Fläche. Magnete und Beschleunigungsstrecken sind daher nur entlang der Kreisbahn angeordnet.

[Video CERN-Beschleuniger] Am CERN kommen nach der Protonenquelle und dem Linearbeschleuniger LINAC2 vier Synchrotrons, deren Radien mit steigender Teilchenenergie immer größer werden. [live] Zunächst werden die Protonen hier im Proton Synchrotron Booster auf 1,4 Giga-elektronenvolt beschleunigt, das sind 91 Prozent der Lichtgeschwindigkeit. Der Proton Synchrotron Booster ist ein Kreisbeschleuniger mit einem Radius von 25m. In den grünen Kästen sind die Magnete, die die Protonen ablenken, so dass sie auf dem Kreis bleiben.

Dieser Beschleuniger benötigt 1,2 Sekunden, um die Protonen aus dem LINAC2 von 50 Megaelektronenvolt auf 1,4 Giga-elektronenvolt zu beschleunigen. Der Proton Synchrotron Booster hat die Besonderheit, vier Strahlrohre übereinander zu besitzen. Dies hat den Vorteil, dass pro Füllung mehr Teilchen beschleunigt werden können.