

# Teilchendetektoren I

[Video LHC1] Die im Large Hadron Collider gegenläufig beschleunigten Protonen werden an vier Stellen zur Kollision gebracht. Die Protonen zerplatzen, wodurch unzählige neue Teilchen entstehen. Vier Teilchendetektoren vermessen die Spuren dieser neu entstandenen Teilchen. Neben dem ATLAS-Detektor sind dies der CMS-Detektor sowie die Experimente ALICE und LHCb. Gemeinsam mit Frank Hartmann von der Universität Karlsruhe möchten wir den nach ATLAS zweitgrößten Detektor, CMS, besuchen.

[Video1]

## Spurdetektor

Zunächst möchten wir zwei Komponenten näher betrachten: den Spurdetektor ganz innen und die Spule, die im Zentrum des Detektors ein starkes Magnetfeld hervorruft. Wie bereits erwähnt, lässt sich mit diesen beiden Komponenten der Impuls der Teilchen bestimmen. Doch wie funktioniert das genau? Letztendlich ist es nichts anderes wie bei einem Fadenstrahlrohr. [Video] Dort erzeugen die Helmholtz-Spulen ein Magnetfeld, durch das die Bahn der Elektronen gekrümmt wird. Auf der Kreisbahn sind Lorentzkraft und Zentripetalkraft gleich groß. Dann können wir auflösen: Lorentzkraft Ladung mal Geschwindigkeit mal Masse ist Zentripetalkraft Masse mal Geschwindigkeit zum Quadrat geteilt durch den Radius der Kreisbahn. Kürzt man einmal die Geschwindigkeit  $v$  und bringt man den Radius  $r$  auf die andere Seite, so erhält man als Ergebnis: Ladung mal Magnetfeldstärke mal Radius ist gleich Masse mal Geschwindigkeit, bekanntermaßen die Formel für den Impuls  $p$ . Da man die Ladung  $q$  der Teilchen und die Stärke des Magnetfeldes  $B$  kennt, kann man aus dem Radius der Bahn den Impuls der Teilchen berechnen.

Auch wenn das Prinzip vergleichbar ist, sind die Dimensionen beim CMS-Detektor ganz anderer Art. Werden die Elektronen in der Fadenstrahlröhre mit einem Magnetfeld von wenigen Millitesla abgelenkt, so wird die Bahn der Teilchen im CMS-Detektor von einer 13 Meter langen, zylinderförmigen Spule mit einem Durchmesser von 6 Metern gekrümmt. [Video9] Dank supraleitender Magnete erreicht die Spule, der sogenannte Solenoid, ein Magnetfeld von 4 Tesla, muss aber dauerhaft auf  $-270^{\circ}\text{C}$  heruntergekühlt werden. Der Strom in der Spule beträgt dann unvorstellbare 20.000 Ampere.

[Video Fadenstrahlröhre6] Doch die Spule allein reicht natürlich nicht aus, irgendwie muss die vom Magnetfeld gekrümmte Teilchenbahn ja auch beobachtet werden. In der Fadenstrahlröhre ist das recht einfach: im Glaskolben befindet sich ein Gas, das von vorbeifliegenden Elektronen zum Leuchten angeregt wird. Der Spurendetektor von CMS, der die Teilchenbahn vermisst, arbeitet auf eine andere Weise: er besteht aus kleinen Streifen oder quadratischen Pixeln Silizium, einem Halbleiter. Im Ausgangszustand ist Silizium nicht leitend. Fliegt nun ein geladenes Teilchen durch den Halbleiter, so wird ein Elektron in den leitenden Bereich angehoben, der Halbleiter wird leitfähig. Diese Ladungsverschiebung ist als elektrischer Strom messbar, das Teilchen löst somit ein elektrisches Signal aus. Ordnet man viele solcher Halbleiterelemente in Streifen oder Pixeln nebeneinander an, lässt sich die Bahnkurve sehr genau bestimmen. Dazu noch einmal Frank Hartmann. [Video2]