32. Herbstschule für Hochenergiephysik
Maria Laach 2000

Andreas O. Gärtner
Max-Planck-Institut für Physik (Werner-Heisenberg-Institut), München

Kalibration der Driftgeschwindigkeit von Elektronen im Kammergas der FTPCs des Experiments STAR

Der Beschleunigerkomplex des BNL Das Hauptinteresse der Experimente, die am RHIC-Speicherring (Relativistic Heavy Ion Collider) des BNL (Brookhaven National Laboratory) auf Long Island (USA) errichtet wurden, gilt Stößen hochrelativistischer Schwerionen (Gold+Gold): bei Schwerpunktsenergien von 200 GeV/Nukleonenpaar, die hier weltweit erstmalig zur Verfügung stehen, werden neue Erkenntnisse über Zustand von Kernmaterie bei derart extremen Bedingungen erwartet. Beispielsweise sagen theoretische Arbeiten einen Phasenübergang von gewöhnlicher Kernmaterie zum Quark-Gluonen-Plasma (QGP) vorher, in welchem das Confinement von Quarks und Gluonen aufgehoben ist.
Es sind vier Experimente am RHIC errichtet worden: die beiden kleineren Experimente *BRAHMS* und *PHOBOS*, sowie die beiden großen Experimente *PHENIX* und *STAR*.

Das STAR-Experiment Das STAR-Experiment hat sich die möglichst vollständige Erfassung sämtlicher Hadronen einzelner Kollisionsereignisse als Ziel gesetzt. Zu diesem Zweck ist eine gute Impulsauflösung und eine große Raumwinkelakzeptanz des Detektorsystems erforderlich.
Zentrale Komponente des STAR-Detektors ist eine großvolumige TPC (Spurendriftkammer, engl. Time Projection Chamber). Sie deckt einen Akzeptanzbereich von $-1{,}5 < \eta < 1{,}5$ (η: Pseudorapidität) bei voller azimutaler Akzeptanz ab und kann dank eines homogenen Magnetfeldes der Stärke 0,5 T den Impuls der einzelnen Teilchen bestimmen. Die weiteren Detektorkomponenten von STAR dienen im Wesentlichen der Verfeinerung bzw. Erweiterung der TPC-Messungen (z. B. der Silicon Vertex Tracker) oder dem Zugang zu weiteren Observablen (z. B. elektromagnetisches Kalorimeter). Die FTPCs, die unsere Gruppe entwickelt und gebaut hat, erweitern die Akzeptanz von STAR um den Pseudorapiditätsbereich $2{,}5 < |\eta| < 4{,}0$.

Die STAR-FTPCs Im Allgemeinen bestehen Spurendriftkammern in Collider-Experimenten aus einem zylindrischen gasgefüllten Volumen, welches sich in einem axial orientierten, homogenen elektrischen Feld befindet. Ein das Volumen durchquerendes Teilchen, das z. B. aus einer Kollision stammt, erzeugt längs seiner Trajektorie durch Ionisation von Gasteilchen eine Spur aus Elektronen-Ionen-Paaren. Die Elektronen driften sodann mit konstanter Geschwindigkeit v_{Drift} entlang der elektrischen Feldlinien, bis sie auf die Endkappen der Kammer auftreffen. Dort werden sie verstärkt und ortsaufgelöst registriert

und man erhält zunächst eine zweidimensionale Projektion der Teilchenspur auf der Endkappe. Die dritte Raumkoordinate – und damit die Teilchentrajektorie im Raum – erhält man aus der Zeitspanne zwischen Produktion des Elektrons im Gasvolumen (entspricht Zeitpunkt des Teilchendurchgangs) und dessen Registrierung auf der Endkappe – wobei v_{Drift} präzise bekannt sein muß.
Die von uns entwickelten und gebauten FTPCs erfahren zweckbedingt ein paar unkonventionelle Änderungen. Da sie für den Nachweis von Teilchen konzipiert sind, welche die Reaktionszone unter flachem Winkel zur Strahlachse verlassen, wäre eine Projektion der Trajektorie auf die Endkappen unbrauchbar: sowohl die Zweispurtrennung als auch die Impulsauflösung wären schlecht. Sinnvoll hingegen ist die Projektion der Teilchenspur auf die *Mantelfläche* der zylindrischen Kammer. Zu diesem Zweck muß allerdings ein *radiales elektrisches Feld* angelegt werden. Bedingt durch dessen $\frac{1}{r}$-Abhängigkeit ändert sich auf der Driftstrecke der Elektronen jedoch laufend deren Driftgeschwindigkeit v_{Drift}. Ferner steht in dieser Konfiguration das Magnetfeld senkrecht auf dem elektrischen Feld, so dass die Driftrichtung der Elektronen nicht parallel zum Driftfeld gerichtet ist, d. h. die Elektronen werden um einen bestimmten Winkel abgelenkt (*Lorentzwinkel*). Neben diesen Schwierigkeiten bei der Rekonstruktion der Spurpunkte mussten auch Wege gefunden werden, gekrümmte Vieldraht-Proportionalkammern für die FTPC-Mantelflächen zu fertigen.

Die Driftmonitore Bedingt durch oben genannte Schwierigkeiten ist es erforderlich, stets die Elektronen-Driftgeschwindigkeit v_{Drift} im FTPC-Volumen mit möglichst hoher Genauigkeit zu kennen. Daher befinden sich im Gassystem der FTPCs sogenannte Driftmonitore, welche laufend v_{Drift} messen. Ein Driftmonitor enthält einen zylindrischen Feldkäfig, der ein homogenes elektrisches Feld (E_{Drift}) entlang seiner Achse erzeugt. Ferner ist an jedem Ende des Feldkäfigs je eine ^{241}Am-Quelle angebracht, die α-Teilchen senkrecht zu E_{Drift} durch das Driftfeld hindurch emittieren. Nun bewege sich ein α-Teilchen einer Quelle durch das Driftvolumen. Dabei ionisiert es das Gas und wird im Anschluss durch ein Proportionalzählröhrchen nachgewiesen ($\Rightarrow t_0$). Die soeben produzierten Elektronen driften nun längs E_{Drift}, bis sie schließlich das Ende des Feldkäfigs erreichen. Dort werden sie ebenfalls nachgewiesen ($\Rightarrow t_1$). Allerdings liefert die Zeitdifferenz $t_1 - t_0$ noch nicht exakt die Driftzeit für den zurückgelegten Weg, da dieser Wert noch mit diversen systematischen Fehlern behaftet ist. Daher gibt es noch eine zweite Anordnung aus ^{241}Am-Quelle und Zählröhrchen, die an einer anderer Position im Driftvolumen angebracht ist. Hier wird nach gleichem Schema verfahren. Da davon auszugehen ist, dass die beiden so ermittelten Driftzeiten mit dem gleichen systematischen Fehler versehen sind, wird dieser durch Differenzbildung eliminiert. Division der exakt bekannten Weglängendifferenz durch diesen Wert ergibt v_{Drift}. Damit ist die Driftgeschwindigkeit v_{Drift} bei einer bestimmten Feldstärke bekannt und kann nun in Kalibrierung der FTPC eingehen.