Untersuchung eines Monitors zur Messung der Elektronendriftgeschwindigkeit in einem Ar/CO_2 Gasgemisch

Diplomarbeit am
Physik-Department der
Technischen Universität München

eingereicht von
Peter Maierbeck

angefertigt am

Max-Planck-Institut für Physik
(Werner-Heisenberg-Institut)
München

TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
MÜNCHEN

April 2003

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

Die uns umgebende sichtbare Materie ist zu mehr als 99,9% in Atomkernen konzentriert, die aus Protonen und Neutronen bestehen ([DPG00]). Diese Kernbausteine sind wiederum selbst aus Quarks und den Eichbosonen der starken Wechselwirkung, den Gluonen, zusammengesetzt. Die physikalischen Eigenschaften dieser Teilchen werden durch die Quanten-Chromo-Dynamik (QCD) beschrieben. Die QCD bildet zusammen mit der vereinheitlichten Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung das Standardmodell der Teilchenphysik.

1.1 Schwerionenkollisionen bei relativistischen Energien

Ein einzelnes freies Quark kann nicht beobachtet werden („Confinement“). Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass sowohl die Quarks wie auch die Gluonen sog. Farbladungen tragen. Je weiter zwei Quarks voneinander entfernt werden, desto mehr Energie wird durch die Selbstwechselwirkung der Eichbosonen im Gluonenfeld zwischen den Quarks gespeichert. Schließlich ist die Energie so groß, dass ein Quark-Antiquark-Paar gebildet werden kann. Das Entfernen eines einzelnen Quarks aus einem Hadron ist daher nicht möglich.

Bei sehr hohen Temperaturen T bzw. Baryonendichten ρ wird durch die QCD ein Phasenübergang vorausgesagt. Die hadronische Materie geht dabei in ein Quark-Gluon-Plasma (QGP) über, ein Plasma aus freien Quarks und Gluonen (siehe Abbildung 1.1). Als kritische Werte der Temperatur und der Baryonendichte werden $T \approx 200\,\mathrm{MeV}$ (bei $\rho = 0$) bzw. einige $\mathrm{GeV/fm^3}$ (bei $T = 0$) erwartet ([WON94]). Es wird vermutet, dass kurz nach dem Urknall (sehr hohe Temperaturen) und in Neutronensternen (sehr hohe Baryonendichten) ein QGP vorlag bzw. vorliegt. Durch Kollisionen schwerer Atomkerne wird versucht, im Labor ein QGP zu erzeugen. Abbildung 1.1 zeigt schematisch die Zustandskurven einiger Experimente (SPS[1], AGS[2], RHIC[3] und LHC[4]). Das durch den Zusammenstoß zweier Atomkerne erzeugte QGP hat eine Lebensdauer von 10^{-23} s. Nach dieser Zeitspanne ist die Temperatur wieder so weit gesunken, dass sich die Quarks zu zahlreichen Hadronen verbinden („ausfrieren“). Eine direkte Beobachtung des QGPs

---

[1] Super Proton Synchrotron

[2] Alternating Gradient Synchrotron

[3] Relativistic Heavy Ion Collider

[4] Large Hadron Collider

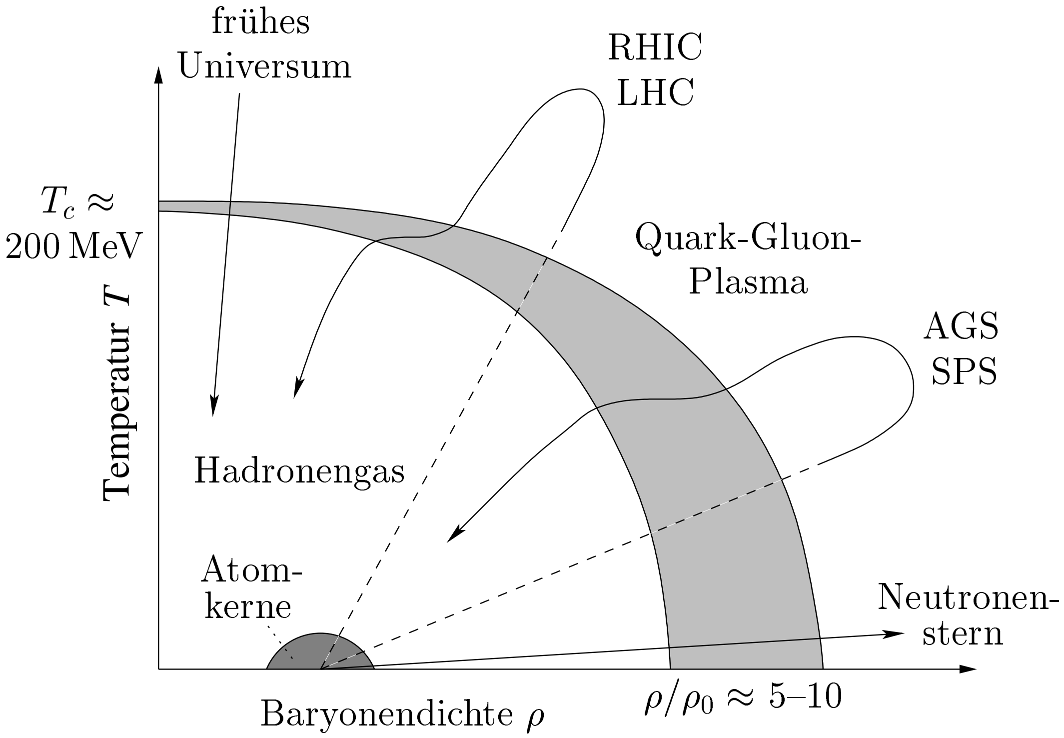


Abbildung 1.1: Phasendiagramm hadronischer Materie ([OLD01]).

ist deshalb nicht möglich. Theoretische Vorhersagen verschiedener Modelle ergeben allerdings Signaturen, die ein QGP im Endzustand einer Schwerionenkollision hinterläßt ([HÜM00]). Durch den Vergleich der Messungen physikalischer Größen der erzeugten Teilchen mit den theoretischen Erwartungen kann man eine Aussage über die mögliche Erzeugung eines QGPs treffen.

1.2 Das STAR-Experiment

1.2.1 Der RHIC

Der RHIC ist die Endstufe des Beschleunigerkomplexes am Brookhaven National Laboratory (BNL) (siehe Abbildung 1.2). Er stellt den ersten Speicherring dar, der von Anfang an für Schwerionen konzipiert wurde. Mit ihm wird die zur Zeit höchste Schwerpunktsenergie pro Nukleonenpaar ($\sqrt{s_{NN}}$) erreicht ([PER02]). Diese kann bei einer Kollision von zwei Goldkernen bis zu 200 GeV betragen.

Ein Speicherring wird mit bereits vorbeschleunigten Teilchenstrahlen betrieben. Der RHIC steht daher am Ende des Beschleuniger-Komplexes am BNL. In einer gepulsten Ionenquelle werden einfach negativ geladene Goldatome (${}^{197}_{79}\mathrm{Au}^-$) erzeugt. Nach Durchlaufen eines Tandem-Van de Graff-Beschleunigers und zweier „Stripper“-Folien besitzen sie eine Energie von 1 MeV pro Nukleon und sind 32-fach positiv geladen. Eine weitere Beschleunigung der Ionen erfolgt im Booster und im Alternating Gradient

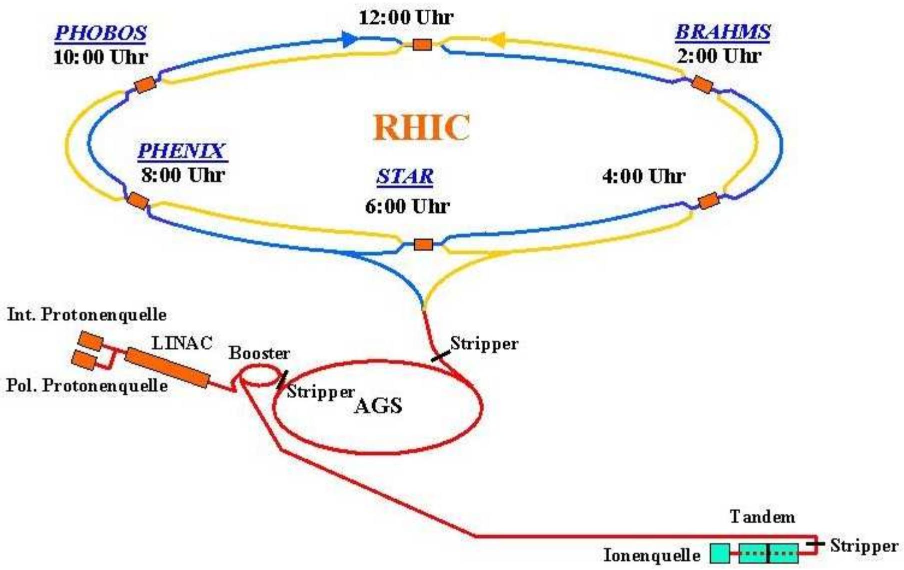


Abbildung 1.2: Der Beschleunigerkomplex am BNL ([OLD01])

Synchrotron (AGS). Über mehrere Stripper-Stationen vor und nach diesen Beschleunigerstufen werden die restlichen Elektronen entfernt. Die dann vollständig ionisierten Goldkerne ($^{197}_{79}\mathrm{Au}^{79+}$) werden mit einer Energie von 9 GeV pro Nukleon in den RHIC injiziert. Dort werden sie auf maximal 100 GeV pro Nukleon beschleunigt. Dies entspricht einer Energie von 19,7 TeV pro Goldkern. Der RHIC besteht aus zwei von den Ionen gegenläufig durchlaufenen Strahlrohren mit einem Umfang von über 3,8 km. Die Teilchenstrahlen werden durch supraleitende Magnete auf der erforderlichen Bahn gehalten. An vier der sechs Kreuzungspunkte der Strahlrohre sind Experimente aufgebaut: BRAHMS (**B**road **RA**nge **H**adron **M**agnetic **S**pectrometer), PHENIX (**P**ioneering **H**igh **E**nergy **N**uclear **I**nteraction e**X**periment), PHOBOS und STAR (**S**olenoidal **T**racker **A**t **R**HIC).

Über einen Linearbeschleuniger kann eine Protonenquelle an den Booster angekoppelt werden. Sie ermöglicht die Untersuchung von Proton-Proton-Kollisionen bei Schwerpunktsenergien ($\sqrt{s}$) von bis zu 500 GeV. Dadurch können mit denselben Detektoren Referenzdaten gemessen werden. Eine Quelle mit polarisierten Protonen ermöglicht zusätzlich die Erforschung der Spinstruktur des Protons.

1.2.2 Der STAR-Detektor

Der Detektor des STAR-Experiments befindet sich an der sechs Uhr-Position des RHIC-Rings (siehe Abbildung 1.2). In seiner Konzeption gleicht er anderen Detektoren, die bei Speicherring-Experimenten eingesetzt werden. Abbildung 1.3 zeigt seinen schematischen Aufbau.

Der STAR Detektor setzt sich aus mehreren Einzeldetektoren zusammen ([STA92]). Der komplette Aufbau befindet sich in einer Magnetspule, die ein Solenoid-Feld mit einer Stärke von bis zu 0,5 T erzeugt. Größter Einzeldetektor ist eine zentrale Spurendriftkammer (**T**ime **P**rojection **C**hamber, TPC). Sie hat einen Außendurchmesser von 4,0 m und eine Länge von 4,2 m. Damit ist sie die zurzeit größte TPC weltweit.

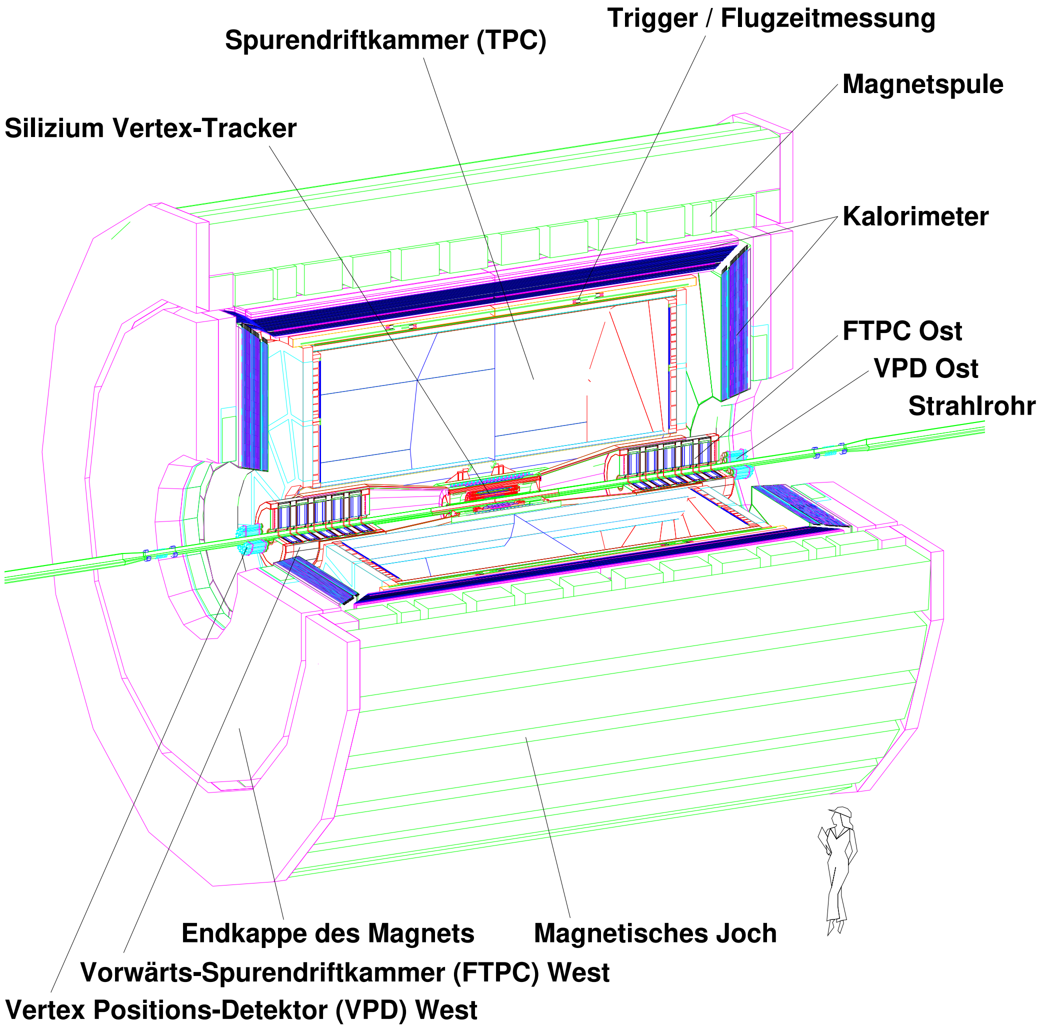


Abbildung 1.3: Aufbau des STAR-Detektors

Sie deckt einen Pseudorapiditätsbereich von $|\eta| < 1{,}5$ ab. Weitere Detektorsysteme ergänzen die Haupt-TPC. So verbessert z.B. der Silizium Vertex Tracker (SVT) durch seine Lage nahe am Strahlrohr die Ortsbestimmung des Kollisionspunktes (Vertex). Durch die beiden am Max-Planck-Institut für Physik in München gebauten Vorwärts-Spurendriftkammern (**F**orward **T**ime **P**rojection **C**hamber, FTPC) wird der überdeckte Pseudorapiditätsbereich um die Region $2{,}5 < |\eta| < 4{,}0$ erweitert (siehe Abschnitt 1.3).

Große räumliche Akzeptanz und hohe Impulsauflösung ermöglichen es, mit dem STAR-Detektor möglichst viele der in einer Schwerionenkollision erzeugten Teilchen aufzuzeichnen. Globale Messgrößen wie Multiplizität oder mittlerer Transversalimpuls der erzeugten Teilchen können dadurch für ein einzelnes Ereignis bestimmt werden. (Für eine Definition der physikalischen Begriffe siehe Tabelle 1.1.)

Rapidität	Die Rapidität y ist das relativistische Analogon zur Geschwindigkeit und wird definiert durch den Viererimpuls eines Teilchens: $y = \frac{1}{2}\ln(\frac{E+c\cdot p_z}{E-c\cdot p_z})$.
Pseudorapidität	Die Pseudorapidität η eines Teilchens wird definiert durch den Winkel θ, den die Strahlachse und die Impulsrichtung des Teilchens einschließen: $\eta = -\ln(\tan(\theta/2))$.
Multiplizität	Als Multiplizität wird die Anzahl der erzeugten Teichen bezeichnet.
Transversalimpuls	Der Transversalimpuls $\mathbf{p}_\mathrm{T}$ ist die Impulskomponente eines erzeugten Teilchens senkrecht zur Strahlachse.

Tabelle 1.1: Definition einiger physikalischer Begriffe

1.3 Die FTPCs

1.3.1 Mechanischer Aufbau

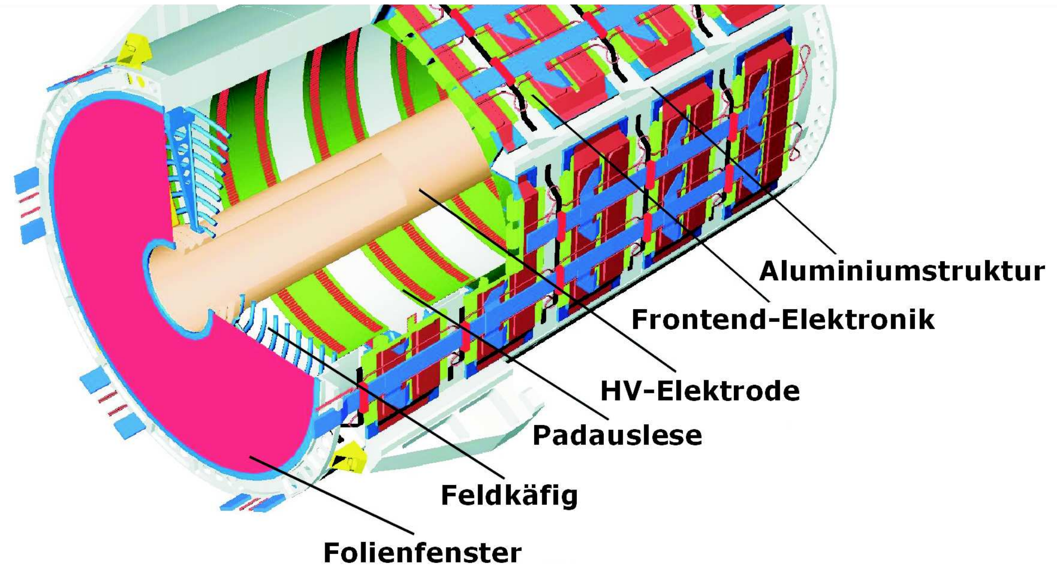
Die FTPCs sind im Abstand von je 1,5 m zum Wechselwirkungspunkt um das Strahlrohr positioniert. Sie werden nach ihrer Position innerhalb des STAR-Detektors als West- bzw. Ostkammer bezeichnet. In dem von ihnen überdeckten Pseudorapiditätsbereich werden 30% der bei einer Schwerionenkollision erzeugten Teilchen erwartet ([BIE98], [ACK02]). Die äußeren Abmessungen der Driftkammern werden durch die sie umgebenden anderen Detektorsysteme beschränkt. Diese Faktoren wurden bei der Konzeption der FTPCs berücksichtigt.

Die Driftkammern wurden als 120 cm lange Zylinder aus Aluminium mit einem Durchmesser von 75 cm realisiert (siehe Abbildung 1.4). Sie wurden mit einem radialen Driftfeld konzipiert. Der Feldkäfig wird in radialer Richtung durch die HV-Elektrode ($r = 7,73$ cm) und ein Frischgitter bei einem Radius von 30,05 cm bestimmt. Potenzialringe an beiden Enden der Kammer schliessen ihn in z-Richtung ab. Die speziell für diese Geometrie entwickelten gebogenen Auslesekammern ([MAR98]) sind in Aussparungen der Aluminiumstruktur eingesetzt. Auf Grund der kurzen Driftstrecke von 23 cm kann ein Füllgas mit niedriger Driftgeschwindigkeit verwendet werden. Es wird ein Gemisch aus 50% Argon und 50% CO_2 benutzt. Diese Zusammensetzung weist einen niedrigen Diffusionskoeffizienten auf. Dadurch wird das Auseinanderlaufen der driftenden Elektronen einer Spur vermieden. Tabelle 1.2 zeigt eine Übersicht der wichtigsten Unterschiede zwischen einer herkömmlichen Spurendriftkammer und der FTPC.

TPC	FTPC
homogenens Driftfeld	radiales Driftfeld
Driftfeld parallel zum Magnetfeld	Driftfeld senkrecht zum Magnetfeld
Auslesekammern in den Endkappen	Auslesekammern in der äußeren Zylinderfläche

Tabelle 1.2: Unterschiede zwischen einer herkömmlichen TPC und der FTPC

Die Teilchenspuren im durch die FTPCs abgedeckten Pseudorapiditätsbereich ver-


Aluminiumstruktur
Frontend-Elektronik
HV-Elektrode
Padauslese
Feldkäfig
Folienfenster