

# Bau und Inbetriebnahme von TPC und TRD für ALICE sowie Entwicklung von Analysemethoden für ALICE

Berichtszeitraum 1. Juli 2006 bis 21. September 2009

**Gruppenleiter:** J. Stachel

**Professoren, Außerplanmäßige Professoren, Nachwuchsgruppenleiter:**

P. Glässel (ALICE TPC Technischer Koordinator bis 6/07, ALICE TRD Installation, CERES Monte-Carlo Simulationen)

N. Herrmann (ALICE TRD Elektronikintegration und Trigger)

K. Reygers (Vorbereitung ALICE Jet- und Photonenanalysen)

K. Schweda (ALICE TRD DCS, Koordination TRD Infrastruktur im CERN, Vorbereitung ALICE-Physikanalysen schwere Quarks, kollektive Effekte bei LHC Energien)

**Wiss. Assistenten und Angestellte:**

C. Adler (ALICE TRD Kammern, Physiksimulationen, bis 9/07),

O. Busch (ALICE TRD Detektor-Kontroll-System und Vorbereitung Physikanalyse zur Rekonstruktion von Jets in ALICE),

P. Constantin (ALICE TRD Datenbanken, Vorbereitung Physikanalyse zur Korrelation führenden Teilchen aus Jetfragmentation),

M. Ivanov (ALICE TPC Spurrekonstruktion, ein Drittel Heidelberg bis 2/07),

M.J. Kweon (ALICE TRD Commissioning Kontrolle der Datenintegrität, Vorbereitung Physikanalyse Rekonstruktion von Zerfällen von B-Mesonen),

W. Ludolphs (ALICE TRD Pretrigger VHDL Programmierung, bis 11/06),

J. Mercado (Koordinator ALICE Detektorkontrollsystem bis 8/07, Koordinator Read-out Board Tests, Vorbereitung HBT-Analyse),

K. Oyama (ALICE TRD Technischer Koordinator, ALICE TRD Pretrigger Koordinator, Vorbereitung ALICE Physik-Analyse von Jets),

Y. Pachmayer (TRD Run-Koordinator, TRD Alignment, Vorbereitung Analyse von offenem Charm über semi-myonische Zerfälle)

S. Radomski (ALICE TRD Online-Monitoring und Daten-Qualitätskontrolle, Vorbereitung Physikanalyse zu Impulskorrelationen geladener Teilchen),

R. Schicker (Koordinator ALICE TRD Kammertesten, diffraktive Physik in ALICE, LHC Öffentlichkeitsarbeit),

G. Tsileidakis (ALICE TRD Physikvorbereitung Korrelationen schwerer Quarks und ihrer Hadronisations- und Zerfallsprodukte, bis 2/09),

J. Wiechula (ALICE TPC Kalibration, Vorbereitung Physikanalyse  $J/\psi$  aus Zerfällen von B-Mesonen),

H.Y. Yang (Monitoring und Analyse von Rauschen in ALICE TRD, Vorbereitung Analyse von offenem Charm über semi-elektronische Kanäle)

K. Zapp (Jetquenching in Schwerionenkollisionen an RHIC und LHC)

**Gäste:**

S.I. Esumi, H.G. Ritter (2006), E. Shuryak (2006), K. Watanabe

**Doktoranden:**(nur gegenwärtige, abgeschlossene Arbeiten am Ende)

M. De Gaspari (generische Elektronikentwicklung für künftige Experimente, Pause 6/08 - 6/09 wegen Industrietätigkeit),

D. Emschermann (ALICE TRD Elektronik- und Service-Integration),

R. Grajcarek (AOD Produktion für ALICE Physik-Analysen, topologische Rekonstruktion von Baryonen mit schweren Quarks)

K. Koch (ALICE TRD Kammertesten und Vorbereitung ALICE Pion- und Eta-analysen über Paarkonversion, z.Z. Mutterschaftsurlaub),

J. Klein (ALICE TRD Elektronikkonfiguration, Auslese, Jet-Trigger, Vorbereitung Physikanalyse Mediumresponse des QGP auf Jets, Monte-Carlo Simulation Jetquenching in Schwerionenkollisionen),

D. Krumbhorn (Monte-Carlo Simulation für Pb-Pb Kollisionen am LHC,  $J/\psi$  Produktion in ALICE),

X. Lu (kombinierte Teilchenidentifikation im zentralen ALICE-Barrel, diffraktive Physik in ALICE),

S. Vallero (ALICE TRD Read-out Board Test-Software und Vorbereitung ALICE Physikanalyse des sogenannten 'Underlying Event' korreliert mit Jetproduktion),

Y. Wang (Hochspannungsregulierung TRD - online - und Vorbereitung ALICE Datenanalyse topologische Rekonstruktion von Mesonen mit Charm-Quarks),

**Diplomanden:**(nur gegenwärtige, abgeschlossene Arbeiten am Ende)

M. Al Helwi (Kalibration der TRD Gasverstärkung über in-situ Kr-Zerfälle),

D. Lohner (Alignment der TRD Kammern mit kosmischer Strahlung),

S. Schmiederer (Detektorkontrollsystem für den TRD-Pretrigger).

ausserdem arbeiten zur Zeit ca. 5 Studenten an Miniforschungsprojekten.

**Ingenieure:**

I. Rusanov (Elektronik, bis 12/07),

H.K. Soltveit (Mikroelektronik),

B. Windelband (Konstruktion, Mechanik)

## **Zusammenfassung:**

Dieser Abschlussbericht fasst die folgenden Aktivitäten zusammen: Analyse der CERES/NA45 Daten der Schwerionenstrahlzeit 2000 bei 158 A GeV/c, Phänomenologie von ultrarelativistischen Schwerionenkollisionen, Produktion und Testen von Ausleseammern und Elektronik und Entwicklung des Detektorkontrollsystems für den ALICE TRD, Integration, Installation und Inbetriebnahme der ALICE TPC und TRD, Entwicklung von Software für Simulation, Datennahme, Datenanalyse und Datenqualitätskontrolle des ALICE TRD, Entwicklung und Bau des Pretriggersystems für den ALICE TRD, Installation und Test der TRD Services, Simulationen und Softwareentwicklung für ALICE Datenanalyse. Am Schluss werden auch kurz die Aktivitäten des Forschungsschwerpunkts und die Öffentlichkeitsarbeit zusammengefasst.

## 1. Pb+Au Kollisionen bei 158 A GeV/c

(Dissertation R. Soualah)

Eine abschliessende ausführliche Veröffentlichung (bei NIM eingereicht im Januar 2008, Hauptautorin W. Ludolphs) fasst das Design und die Performance der CERES TPC zusammen, die als TPC mit radialer Drift die erste ihrer Art war. Für zentrale Pb+Au Kollisionen wurden für die Residuen der einzelnen Spurpunkte je nach Ausleseebene in der TPC 320 - 450  $\mu\text{m}$  erreicht. Für periphere Kollisionen und niedrige Okkupanz wurde der Designwert von 340  $\mu\text{m}$  erreicht. Naturgemäss ist für zentrale Stösse die Auflösung etwas schlechter. In diesem Fall ergibt sich für den linearen Term der Impulsauflösung 1 % und für die Auflösung der invarianten Masse von  $\omega \rightarrow e^+e^-$  3.8 %. Selbst bei hohen Multiplizitäten haben die rekonstruierten Spuren im Mittel 18.5 Hits (von maximal 20 möglichen) und die Rekonstruktionseffizienz ist für Impulse über 600 MeV/c ( $p_t \geq 120$  MeV/c) 96 %. Die Energieverlustmessung ergibt für 18.5 Spurpunkte eine Auflösung von 9 % und ist ein wichtiges Mittel in der Elektronenidentifikation aber auch in Analysen hadronischer Observablen. Bei 68 % Effizienz für Elektronen von 1 GeV/c erlaubt das CERES Spektrometer eine Pionrejektion um einen Faktor  $4 \cdot 10^4$ .

Eine letzte Physikanalyse dieser Gruppe wurde mit der Dissertation von R. Soualah im Sommer 2009 abgeschlossen. Es handelt sich um eine Analyse zur Produktion neutraler Pionen bei maximaler SPS Blei-Energie. Hier wird genutzt, dass sich direkt vor dem Eingang der TPC der 5 % einer Strahlungslänge dicke Spiegel des RICH2 Detektors befand, in dem Photonen konvertieren. In der TPC werden die Elektron-Positron-Paare, die zunächst einen sehr kleinen Öffnungswinkel haben und sich im Magnetfeld auseinanderkrümmen, identifiziert und in ihrem Impuls vermessen. Nach Rekonstruktion der invarianten Masse von jeweils zwei solcher Paare sind Pionen durch eine klare Peakstruktur identifizierbar. Die Akzeptanz deckt etwa eine halbe Einheit in Rapidität um Mid-Rapidität und einen grossen Bereich im Transversalimpuls ab. Die Schwierigkeit ist zweifach: das Verständnis der genauen Linienform und der Form des formidablen kombinatorischen Untergrunds, und die Nachweiseffizienz für die sehr nahe beieinanderliegenden Elektronenspuren. Beides wurde durch Monte-Carlo Simulationen im sogenannten 'overlay-mode' bestimmt. Eine Veröffentlichung ist in Vorbereitung.

## 2. Phänomenologie von hochenergetischen Schwerionenkollisionen

(Dissertation: K. Zapp, Diplomarbeit: F. Beutler)

K. Zapp studierte in ihrer Doktorarbeit den Effekt des Jet-Quenching im Quark-Gluon Plasma. Wegen der hohen Partonvirtualitäten bei LHC-Energie muss die Methodik, die bei RHIC angewandt wurde, auf wesentlich generellere Basis gestellt werden. Hierzu wurde eine Parton-Kaskade entwickelt und durch Vergleich mit Jet-Daten von LEP und anderen Beschleunigern validiert. In diese Partonkaskade werden dann Mediumeffekte wie elastische Streuung harter Partonen an Plasma-Quarks und -Gluonen und radiativer Energieverlust inkorporiert. Dabei kann auch die Kopplungskonstante als Funktion der Temperatur variiert werden. Erste Observable wurden bereits berechnet ( $R_{AA}$  und  $\langle k_t \rangle$ ) und wurden auf der Quarkmatter 2008 Konferenz vorgestellt werden. Diese Arbeiten entstehen in Zusammenarbeit mit G. Ingelmann in Uppsala und z.T. mit H.J. Pirner und U. Wiedemann (K. Zapp war mit einem halbjährigen Marie-Curie Stipendium im CERN). Im letzten Jahr ist Korinna Zapp ein Durchbruch gelungen, auch radiativen Energieverlust einschliesslich von Kohärenzeffekten (Landau Pome-

ranchuk Migdal Effekt) über eine Formationszeit zu implementieren (Zusammenarbeit mit U. Wiedemann, Veröffentlichung in Phys. Rev. Lett.).

Die statistische Hadronisierung von Charmquarks wurde zu Vorhersagen für RHIC und LHC weiterentwickelt und es ergibt sich als interessante Konsequenz für LHC eine erhöhte  $J/\psi$  Produktionsrate im Vergleich zu  $pp$  anstatt Unterdrückung. Die RHIC-Daten zur  $J/\psi$  Produktion und Zerfall in Elektronen- und Myonenpaare, die seit November 2006 bekannt sind, wurden mit den Vorhersagen verglichen. Es wurden sehr gute Übereinstimmung sowohl der Produktionsrate als auch der sehr ungewöhnlichen Rapiditätsabhängigkeit der Daten mit unserem Modell gefunden, und in der selben Veröffentlichung wurden die quantitativen Vorhersagen für LHC bereitgestellt. Wenn sich diese bestätigen, werden sie einen wirklichen Beweis für die Bildung eines Quark-Gluon Plasma liefern. Uns ist kein alternatives Szenario bekannt.

Die endgültigen LEP-Daten zur Hadronproduktion in der Fragmentation von Jets wurden zum Anlass genommen, sie einer ähnlichen Analyse in Rahmen eines statistischen Ensembles zu unterziehen, wie die Schwerionendaten. Dieser Vergleich ist wichtig, da in  $e^+e^-$ -Kollisionen kein Quark-Gluon Plasma gebildet wird und die in Schwerionenkollisionen von uns gefundene hadrochemische Äquibrierung andererseits mit der Hadronisierung des QGP erklärt wurde. Erste Fits (einer andere Gruppe) aus dem Jahr 1995 schienen auch die  $e^+e^-$ -Daten zu reproduzieren. Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde jetzt ein kanonischer Code entwickelt, der explizite Erhaltung der Quantenzahlen wie Baryonzahl, Strangeness, Ladung und Bose-Einstein Statistik enthält und auf die LEP Daten angewandt. Für  $e^+e^-$ -Daten kann in der Tat keine gute Beschreibung der Hadronproduktion erreicht werden. Kürzlich wurde die Untersuchung auf Hadronen mit schweren Quarks ausgedehnt. Wenn die Produktionsrate von schweren Quarks als externer Input benutzt wird, folgen Hadronen mit offenem Charm oder Beauty in der Tat einer statistischen Verteilung, während die statistische Produktion von Quarkonia viele Größenordnungen unter den Daten liegt.

### 3. ALICE Time Projection Chamber

Die Gruppe hatte eine wichtige Rolle in der Entwicklung des Designs der ALICE TPC. Die Projektleitung ist bei P. Braun-Munzinger (Stellvertreterin: J. Stachel). Für den Bau der TPC fungierte Peter Glässel als Technischer Koordinator bis zur Fertigstellung im Sommer 07. In der Phase zwischen Juli 06 bis Sommer 07 wurde die gesamte TPC noch im Reinraum an Point 2 mit Elektronik bestückt und sektorweise getestet. Für das integrierte System wurde mit einem elektronischen Rauschen von etwa 700 Elektronen das Designziel von 1000 Elektronen unterschritten. Ausserdem wurden Spuren vom Lasersystem und kosmischer Strahlung gemessen, die eine erste Kalibration erlauben. Im Dezember wurden die Tests abgeschlossen und Anfang Januar 2007 wurde die TPC vom Reinraum in die ALICE Kaverne transportiert. Dort begannen sofort Integrationstests, was die komplizierte und äusserst delikate sequentielle Installation von TPC und ITS (Inner Tracking System, je zwei Lagen Silizium-Pixel-, Silizium-Drift- und Silizium-Streifen-Detektoren) und deren Services in den ALICE Spaceframe betraf. Hier war die leitende Rolle von P. Glässel entscheidend. Inzwischen sind TPC und ITS endgültig installiert und in Betrieb genommen.

Um die gewünschte Präzision in der Rekonstruktion der Teilchenspuren (ca.  $100\mu\text{m}$ ) zu erreichen, ist eine komplexe Kalibrierung notwendig. Neben der Auswertung von Daten mit einem Trigger auf kosmische Teilchen werden Spuren mit Hilfe des integrierten Lasersystems erzeugt.

Zusätzlich kommt ein Pulsgenerator zum Einsatz, der es erlaubt die Pulsform-Eigenschaften jedes der 560 k Kanäle der TPC zu studieren. Aus dieser Gruppe arbeitet J. Wiechula nach seiner Dissertation bei der GSI vollzeit an der Kalibration der TPC. Hauptaugenmerk der Forschungsarbeit galt der Entwicklung von Algorithmen zur Auswertung und Visualisierung der genommenen Kalibrierungsdaten. In den Monaten Juni bis September 2009 wurden täglich Daten für verschiedene Kalibrierungen genommen, um die Langzeitstabilität der Algorithmen aber auch die Verlässlichkeit der Hardware sicher zu stellen. Momentan werden die Kalibrierungsdaten verifiziert und ihr Einfluss auf die Spurrekonstruktion untersucht. Zur Sicherstellung der Datenqualität werden mit Hilfe der genommenen Daten Grenzwerte bestimmt und eine automatisierte Überprüfung entwickelt.

## 4. ALICE Transition Radiation Detektor

(Dissertationen D. Emschermann, J. Klein, K. Koch, J. Mercado, S. Vallero, X. Lu, Diplomarbeiten R. Grajcarek, C. Haltebourg, M. Al Helwi, J. Klein, D. Lohner, M. Neher, S. Schmiederer, R. Wagner, S. Zimmer)

Die Projektleitung liegt bei J. Stachel (P. Braun-Munzinger Stellvertreter bis 2009, jetzt J.P. Wessels), K. Oyama ist seit Dezember 2007 Technischer Koordinator für Integration und Commissioning, war TRD Run Koordinator 2008 und Y. Pachmayer ist seit Sommer 2009 TRD Run Koordinator. Im folgenden werden nur die Gebiete beschrieben, die von dieser Gruppe bearbeitet werden.

Kammerbau: In Heidelberg wurden die TRD Kammern entwickelt und die insgesamt 540 Kammern werden in 5 Instituten gebaut (GSI, U. Frankfurt, Dubna, NIPNE Bucharest und Heidelberg). Der Bau von einer Kammer pro Woche war geplant, konnte aber nicht immer aufrechterhalten werden. Insbesondere war durch die Finanzierung des gesamten TRD mit Beginn der Förderperiode eine neue Bestellung und Vorbereitung vieler Komponenten nötig (Padplanes, Backpanels, die speziell in der Industrie für uns gefertigt werden mit von uns gelieferten vorbereiteten Bauteilen, Seitenprofile durch Extrusion speziell für uns industriell gefertigt und dann in Heidelberg in der Werkstatt nachbearbeitet, etc.). Ausserdem musste in Heidelberg die Manpower in der Mechanischen Werkstatt im Sommer 2006 schwerpunktmässig auf eine Vielzahl von Projekten für die Fertigstellung des ersten Supermoduls verlegt werden (alles Prototypenentwicklung für eine industrielle Fertigung der Teile für die nächsten 17 Supermodule). Permanent arbeiteten für dieses Projekt 3.5 Feinmechaniker aus der Institutswerkstatt und zeitweise war dies mindestens verdoppelt. Die Rate der Kammerproduktion war nie zeitkritisch für die Zeitskala des Projekts. Die Kammerproduktion ist abgeschlossen, nur noch einzelne problematische Kammern, die sich über die Jahre angesammelt haben, werden nachbearbeitet, so dass sie als Ersatzkammern für Probleme in der Zukunft dienen können. Die Kammern werden in einem speziell dafür eingerichteten Labor vor und nach endgültigem Verkleben getestet (Uniformität der Gasverstärkung, Spannungs-Verstärkungskurve, Spannungsfestigkeit, Leckrate). Die Methodik dafür wurde von R. Schicker entwickelt. Die Produktions- und Testdaten werden in einer speziellen Datenbank gespeichert (Entwicklung P. Constantin).

Front-End-Elektronik: Die TRD Auslese-Elektronik besteht aus 2 ASICS (PASA/Shaper entwickelt und gesamte Produktion getestet von H.K. Soltveit; ADC entwickelt in die Gruppe Tielert an der U. Kaiserslautern; Digitaler Chip entwickelt, ADC integriert, gesamte Produktion getestet in der Gruppe Lindenstruth am KIP in Heidelberg), die mit Drähten auf Multichip-