

Schlussbericht

NA58 COMPASS-Experiment (CERN)

Zuwendungsempfänger: *Johannes-Gutenberg-Universität Mainz
Institut für Kernphysik*

Projektleitung: *Prof. Dr. Josef Pochodzalla/ Prof. Dr. Michael Ostrick*

Zusammenfassung

Der folgende Bericht gibt einen Überblick über die Aktivitäten der Mainzer Gruppe am COMPASS-Experiment am CERN. Das Experimentierprogramm ist im genehmigten COMPASS II-Proposal festgelegt. Im Berichtszeitraum lag der Schwerpunkt auf dem Aufbau des Rückstoßprotonendetektors und dem Umbau des Triggersystems für Messungen zur tiefvirtuellen Comptonstreuung und der Drell-Yan-Produktion von Myonpaaren. Für beide Programme wurden in 2012 bzw. 2014 Teststrahlzeiten mit dem fast vollständigen Spektrometer durchgeführt. In 2015 begann dann die Messung von Drell-Yan-Asymmetrien mit transversal polarisiertem Target und Pionstrahlen von 190 GeV. Während der Datennahmen wurde das gesamte Triggersystem betreut.

Die Mainzer Gruppe ist maßgeblich an Analysen sowohl von Hadronstrahl- als auch von Myonstrahl-Experimenten beteiligt. So werden longitudinale Asymmetrien und Spinstrukturfunktionen bestimmt, polarisierte Quarkverteilungen extrahiert und Multiplizitäten und Fragmentationsfunktionen von Pionen und Kaonen gemessen. Außerdem wurde die Produktion von Vektormesonen in Proton-Proton-Stößen und Fragestellungen zur Baryonspektroskopie untersucht.

¹Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

Bericht

1 Einleitung

In den Berichtszeitraum fallen mit der 2. Hälfte der Datennahmeperiode 2012, der Teststrahlzeit 2014 und der erste Hälfte der Datennahme 2015 die ersten Messungen des genehmigten COMPASS II-Proposals [1].

Nach einem in kürzester Zeit durchgeführten Umbau im Sep./Okt. 2012 fand in 2012 eine erste Messung mit dem fast vollständigen Aufbau für DVCS-Messungen (Deeply Virtual Compton Scattering) statt. In 2013 und dem größten Teil von 2014 stand kein Strahl am CERN zur Verfügung. In dieser Zeit wurde der Umbau für die Drell-Yan-Messungen von Myonpaaren vorgenommen, insbesondere die Reinstallation des polarisierten Targets, der Aufbau des Hadronabsorbers und der Umbau des Triggersystems. Mit noch unpolarisiertem Target wurde Ende 2014 eine kurze Messung durchgeführt. In 2015 wurden dann mit transversal polarisiertem Target erstmals Drell-Yan-Asymmetrien gemessen.

Die Mainzer Gruppe war zusammen mit Bonn (Klein) für den Umbau und die Betreuung des Triggersystems für die verschiedenen Messungen verantwortlich. Zusammen mit den Gruppen aus Saclay, Freiburg und Warschau hat die Mainzer Gruppe zudem in 2012 den Rückstoßprotonendetektor für die DVCS-Messungen aufgebaut.

2 Datennahme

In der ersten Hälfte der Strahlzeit 2012 wurde mit Pionstrahl eine Primakoffmessung durchgeführt. Dazu wurde der in Ref. [9] beschriebene Aufbau für Messungen mit Hadronstrahlen verwendet. Nach Beendigung dieser Messung wurde das Spektrometer innerhalb von nur sechs Wochen für die DVCS-Testmessung umgebaut. Die wichtigste Arbeit dabei war die Installation des 2.5 m langen Flüssigwasserstofftargets mit dem umgebenden 4 m langen Rückstoßprotonendetektor (CAMERA), der aus zwei Lagen Szintillatorstreifen zur Flugzeitmessung besteht. Darüberhinaus wurde ein Prototyp eines elektromagnetischen Kalorimeters für große Photonwinkel aufgebaut und das Myontriggersystem nach Umbau wieder in Betrieb genommen. In der anschließenden Teststrahlzeit wurde demonstriert, daß die seltenen DVCS-Ereignisse aus dem Untergrund herausgefiltert und analysiert werden können. In der Zeit von Januar 2013 bis Oktober 2014, in der kein Strahl am CERN zur Verfügung stand, erfolgte der Umbau des Spektrometers für Drell-Yan-Messungen von Myonpaaren. Dazu wurden Target und CAMERA in eine Parkposition gebracht und das COMPASS polarisierte Target in einer neuen Position wieder installiert. Die Verschiebung war nötig, um vor dem Spektrometer Platz für den massiven Hadronabsorber und Strahlfänger zu schaffen. Im Oktober 2014 wurde eine kurze Testmessung mit unpolarisiertem Target durchgeführt, während der mit voller Strahlintensität die fast untergrundfreie Messung von Myonpaaren mit hohen invarianten Massen demonstriert wurde. Im Winter erfolgte die Inbetriebnahme des völlig überholten supraleitenden Targetmagneten, so daß im Frühjahr 2015

die erste Drell-Yan-Messung mit polarisiertem Target begonnen wurde. Erste Analysen der Messungen, die bis Ende 2015 liefen, zeigen wiederum ein sehr zufriedenstellendes Myonpaarsignal und eine klare Trennung der Signale der beiden entgegengesetzt polarisierten Targethälften. Seit April 2014 stellt die Mainzer Gruppe den technischen Koordinator des COMPASS-Experiments.

3 Experiment

3.1 CAMERA

Der neue große Rückstoßprotonendetektor (CAMERA) basiert auf der Messung der Teilchenflugzeit zwischen zwei Lagen von Szintillatorelementen im Abstand von 95 cm. Er wurde gemeinsam durch die Gruppen aus Saclay, Freiburg, Warschau und Mainz aufgebaut. Der Detektor besteht aus zwei zylindrischen Lagen aus 24 Elementen. Die innere Lage hat einen Durchmesser von 50 cm und 2.75 m lange, nur 4 mm dicke Streifen, die äußere einen Durchmesser von 2.20 m und 4 m lange, 5 cm dicke Streifen. Neben der Durchtrittszeit wird in der inneren Lage der Energieverlust und in der äußeren Lage die Gesamtenergie der Protonen (falls sie gestoppt werden) gemessen. Die Szintillatoren der inneren Lage werden über lange gebogene Lichtleiter ausgelesen, so daß die Photomultiplier mit ihrem Abschirmungen und Hochspannungsversorgungen außerhalb der Spektrometerakzeptanz angebracht werden können und außerdem das 2.5 m lange Target mit flüssigem Wasserstoff in den Detektor eingesetzt werden kann. Abbildung 1 zeigt den Einbau der inneren Lage in die äußere. CAMERA erlaubt die Messung von Protonen bis zu Impulsen von 270 MeV/c mit Winkeln zwischen etwa 60 und 90 Grad. Für eine saubere Protonenidentifikation werden Zeitaufösungen 310 ps benötigt, wie sie in Testmessungen mit Prototypszintillatoren erreicht wurden.

Während des Aufbaus von CAMERA im Sommer 2012 wurden zunächst alle Szintillatoren sorgfältig mit kosmischen Myonen vermessen. Dabei stellte sich heraus, daß die Szintillatoren für die innere Lage nicht die erforderlichen großen Abschwächlängen erreichten, die mit den Prototypen erzielt wurden. Die Abschwächlängen lagen zwischen 70 cm und 120 cm an Stelle von mehr als 200 cm bei den Prototypen. Im äußeren Ring wurden die erwarteten Werte um 300 cm erreicht.

Auf Grund der langen Lieferzeiten und geänderten Strahlzeitplanung am CERN war es nicht möglich vor Beginn der Teststrahlzeit 2012 bessere Szintillatoren zu beschaffen, so daß die vorhandenen in den Detektor eingebaut wurden. Die Szintillatoren der inneren Lage müssen aber vor Beginn der zweijährigen DVCS-Messung in 2016/17 ausgetauscht werden. Typische Protonensignale für Ereignisse mit exklusiver Rhomeosonproduktion sind in Abb. 2 gezeigt. Neben dem Aufbau der inneren Lage war die Mainzer Gruppe auch an der Inbetriebnahme und Kalibrierung von CAMERA beteiligt.



Abbildung 1: Einbau des inneren Rings von CAMERA in den äußeren Ring

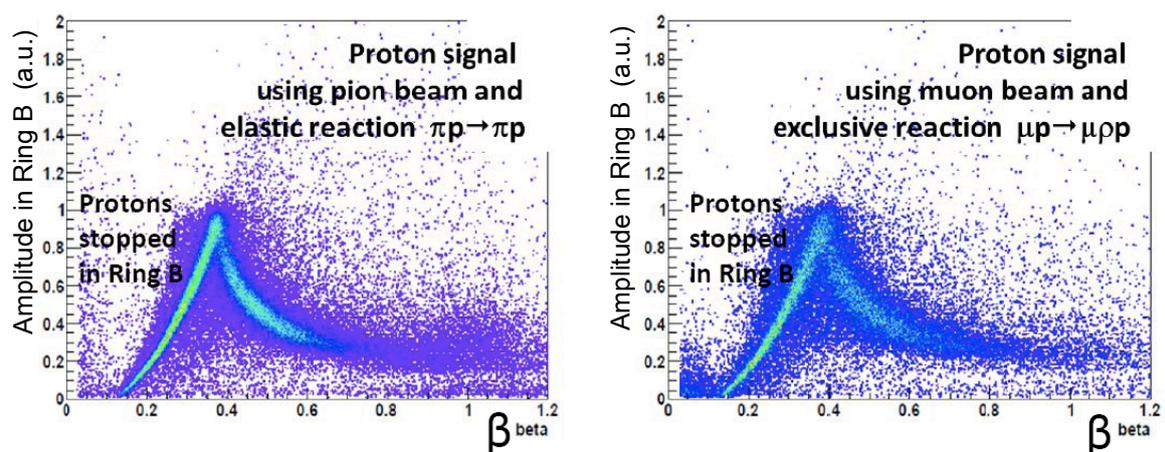


Abbildung 2: Energiedeposition im äußeren Ring von CAMERA aufgetragen gegen $\beta = v/c$ gemessen über die Flugzeit zwischen innerem und äußeren Ring für Messungen mit Pion- und Myonstrahl

3.2 Triggersystem

Das Triggersystem wurde im Berichtszeitraum mehrfach umgebaut. Für die Messungen des COMPASS II-Proposals [1] musste die Position des Targets verändert werden, um Platz für CAMERA bzw. den Hadronabsorber für die Drell-Yan-Messungen zu schaffen. Die Triggersysteme bestehen jeweils aus zwei Hodoskopen, deren Abstand den Hebelarm zur Messung der Myonspuren festlegt. Lässt man das hintere größere Hodoskop unverändert, muß das vordere Hodoskop an die veränderte Targetposition angepaßt werden.

Für das 2010 installierte Large-Angle-Triggersystem (LAS) in der ersten Spektrometerstufe mußte vor allem das zentrale Loch im vorderen Hodoskop H1, das der Akzeptanz der zweiten Spektrometerstufe entspricht, vergrößert werden. Die beiden Szintillatorhälften rechts und links des Lochs sind durch Luftlichtleiter aus hochreflektierender Folie verbunden, um so wenig Material wie möglich in der Akzeptanz des nachfolgenden Cherenkovdetektor zu installieren. Dieser Umbau wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit [36] erfolgreich durchgeführt.

Außer dem LAS-System mußte auch das Outer-Triggersystem, mit dem in der zweiten Spektrometerstufe Ereignisse mit Impulsüberträgen von 1 bis 20 GeV^2/c^2 nachgewiesen werden, auf die neue Targetposition angepaßt werden. Allerdings stellen hier das DVCS- und Drell-Yan-Programm unterschiedliche Anforderungen. Für die Drell-Yan-Messungen müssen die beiden Outer-Hodoskope H3 und H4 symmetrisch zum Myonstrahl aufgebaut werden, da gleichermaßen auf positiv und negativ geladene Myonen getriggert werden soll. Dieser Umbau erfolgte in 2013/2014 im Rahmen einer Bachelorarbeit [37]. Bei beiden Hodoskopen wurden im zentralen Bereich die Szintillatoren ersetzt, so daß strahlsymmetrische zentrale Löcher entstanden. Diese Löcher werden im Experiment durch die Hodopkope der Middle-Triggersystems abgedeckt, die eine höhere Granularität aufweisen. Bei diesen Hodopskopen mußte lediglich die Position relativ zum Strahl geändert werden. Abbildung 3 zeigt eine Hälfte des größeren Hodoskops H4 nach dem Umbau.

3.3 Finanzierung

Die innere Lage von CAMERA und der Umbau der Triggersysteme wurde weitgehend mit Mitteln des BMBF finanziert. Dabei wurden für 17400 Euro die Szintillatoren und für 38300 Euro die Lichtauslese (einschließlich Kabel) verwendet. Ein Teil des Photomultiplier für die Lichtauslese wurde von Warschau beigesteuert. Die etwas erhöhten Kosten für CAMERA konnten durch Einsparungen bei Triggerinstandhaltung und Erneuerung HV ausgeglichen werden. Für das LAS-System wurden 3200 Euro und für das Outer-System 7800 Euro verwendet. Hier konnte ein Teil der neuen Szintillatoren aus anderen Mitteln beschafft werden. Für HV-Versorgung von CAMERA und Erneuerung der Trigger-HV wurden 14500 Euro aufgewendet, diese Module können teilweise gemeinsam genutzt werden. Für die Instandhaltung des Triggersystems wurden insgesamt 16400 Euro aufgewendet. Außerdem wurden in den drei Jahren insgesamt 43500



Abbildung 3: Eine der beiden Hälften von H4 nach dem Umbau für die Drell-Yan-Messungen in 2014

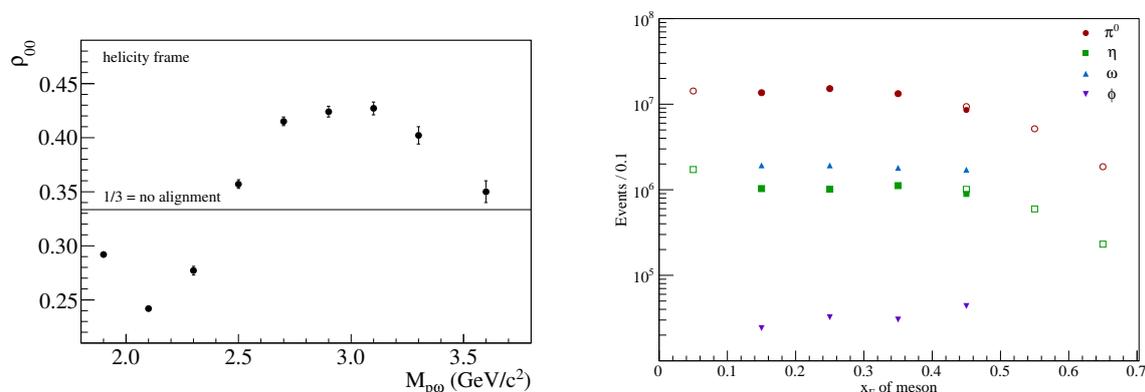


Abbildung 4: links: Spinalignment ρ_{00} in Abhängigkeit von der invarianten Proton-Omega-Masse aus Ref. [7], rechts: Exklusive Mesonproduktion in pp-Wechselwirkungen aufgetragen gegen die Feynman-Variablen x_F des produzierten Mesons aus Ref. [39]

Euro Common Fund an die COMPASS-Kollaboration für 5 bzw. 6 Wissenschaftler bezahlt.

4 Datenanalyse

Die Arbeitsgruppe ist an zahlreichen Analysen beteiligt: Vektormesonproduktion in pp-Wechselwirkungen, Baryonspektroskopie, longitudinale Spinstruktur des Nukleon und Messung von Hadronmultiplizitäten.

4.1 Diffraktive Mesonproduktion

Mit Hilfe der 2009 gemessenen Ereignisse zur diffraktiven Proton-Proton-Wechselwirkung wurde die Produktion von pseudoskalaren Mesonen und Vektormesonen untersucht. Nachdem im Rahmen einer Doktorarbeit zunächst die Verletzung der OZI-Regel in der Omega- und Phi-Produktion studiert wurde, wurde die Analyse auf die Untersuchung der Spinalignments ausgedehnt, das bei Vektormesonen aus Zerfallswinkelverteilungen bestimmt werden kann [38]. Aus der Abhängigkeit des Spinalignments von verschiedenen kinematischen Variablen kann auf die hauptsächlich beitragenden Produktionsmechanismen geschlossen werden. Ein Beispiel ist in Abb. 4 links gezeigt. Diese Arbeit ist mittlerweile abgeschlossen, und die Ergebnisse wurden publiziert [7].

In einer zweiten Doktorarbeit wurde zunächst eine neue Methode zur Strahlteilchenidentifikation entwickelt [30]. Anschließend wurde Baryonspektroskopie in diffraktiven Proton-Proton-Wechselwirkungen in Kanälen mit pseudoskalaren Mesonen untersucht. Als Testreaktion wurde $pp \rightarrow pp\pi_0$, in der viele Resonanzen bekannt sind, verwendet, um die Methoden zu entwickeln, da bei COMPASS bisher noch keine vollständige Analyse zur Baryonspektroskopie durchgeführt worden war. Dieser Kanal

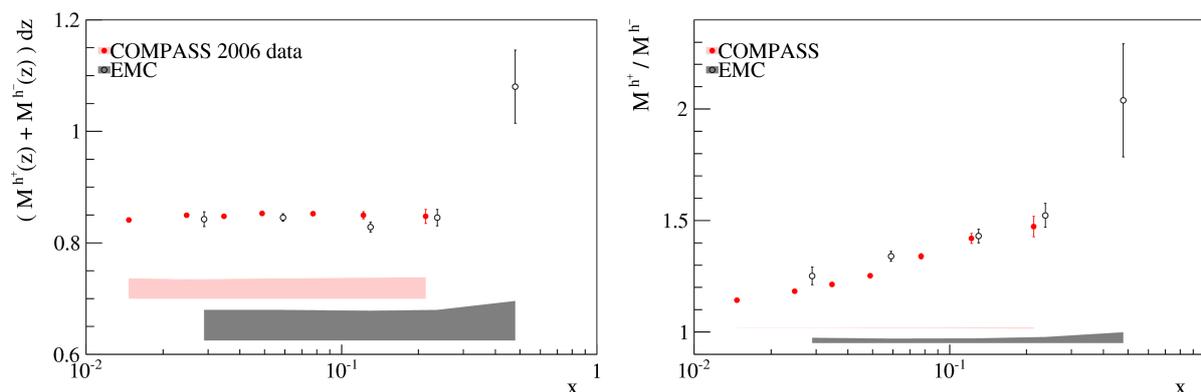


Abbildung 5: Vergleich der x -Abhängigkeit der Summe (links) und des Verhältnisses (rechts) der integrierten Hadronmultiplizitäten von COMPASS und EMC (vorläufige Ergebnisse)

erwies sich als sehr komplex, so daß eine vollständige Partialwellenanalyse bisher nicht durchgeführt werden konnte. In der Doktorarbeit [39] sind ausführlich die verschiedenen Ansätze beschrieben. Allergings konnten die Wirkungsquerschnittsverhältnisse für die Produktion von pseudoskalarn Mesonen bestimmt werden. In Abb. 4 rechts sind sie mit den Ergebnissen für Vektormesonen verglichen.

4.2 Multiplizitäten geladener Hadronen

Die Analyse geladener Hadronmultiplizitäten mit den 2006 mit ${}^6\text{LiD}$ -Target gemessenen Daten ist Gegenstand eine mittlerweile fertiggestellten Doktorarbeit [40]. Zunächst wurden die Multiplizitäten geladener Hadronen und Pionen extrahiert und aus den Piondaten in einer LO-QCD-Analyse die favorisierte und nicht-favorisierte Quark-zu-Pion-Fragmentationsfunktion bestimmt. Die Ergebnisse stimmen sehr gut mit aktuellen Anpassungen an die Welt Daten überein und werden demnächst bei Phys. Lett. B zu Veröffentlichung eingereicht. Im nächsten Schritt wurde die Quark-zu-Kaon-Fragmentation untersucht. Die K^+ und K^- -Multiplizitäten wurden mit der gleichen Methode wie die π^+ und π^- -Multiplizitäten in einem drei-dimensionalen Binning in x , y und z ermittelt. Daraus lassen sich wie für Hadronen und Pionen die über z von 0.2 bis 0.8 integrierten, über y gemittelten Multiplizitäten bestimmen und mit den Ergebnissen anderer Experimente vergleichen. In Abb. 5 sind die Summe (links) und das Verhältnis (rechts) dieser integrierten Multiplizitäten für Hadronen mit den Ergebnissen der EMC-Kollaboration verglichen. In beiden Fällen stimmen die Ergebnisse, die in einem sehr ähnlichen kinematischen Bereich gemessen wurden, hervorragend überein.

Abbildung 6 zeigt der Vergleich mit den HERMES-Ergebnissen, die bei viel niedrigeren Strahlenergien gemessen wurden. Hier zeigen sich sowohl für Pionen (links) als auch für Kaonen (rechts) deutliche Unterschiede, die sich allerdings nicht alleine durch die unterschiedlichen kinematischen Bereiche erklären lassen. An der Interpretation dieser Ergebnisse wird zur Zeit gearbeitet.

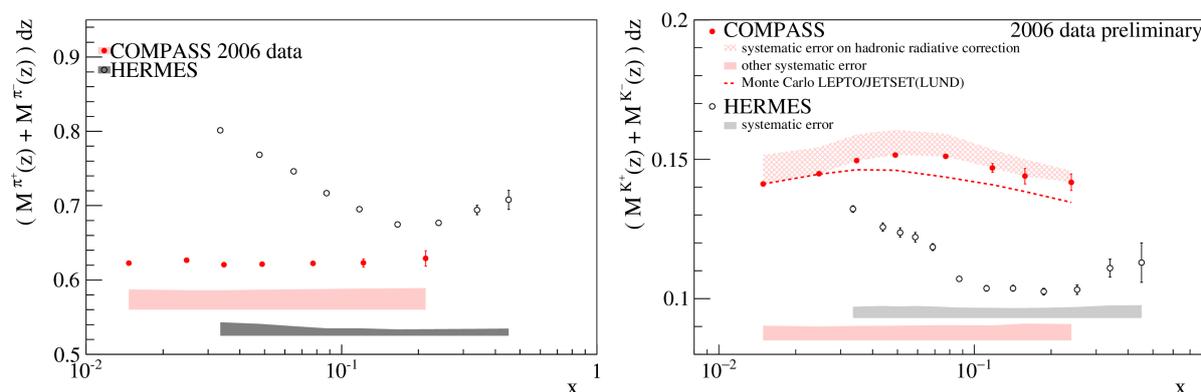


Abbildung 6: Vergleich der x -Abhängigkeit der Summe der integrierten Multiplizitäten für Pionen (links) und Kaonen (rechts) von COMPASS und HERMES (vorläufige Ergebnisse)

4.3 Spinstruktur des Nukleons

Aus den 2011 mit longitudinal polarisiertem NH_3 -Target bei 200 GeV Strahlenergie gemessenen Daten wurden in einer weiteren Doktorarbeit die inklusiven Asymmetrien und die Spinstrukturfunktion g_1^p bestimmt. Aus den COMPASS-Ergebnissen für g_1^d und g_1^p wurde ein verbesserter Wert für das erste Moment von $g_1^p - g_1^n$ bestimmt und die fundamentale Bjorken-Summenregel überprüft [35]. Zusammen mit den übrigen Welt Daten für die Spinstrukturfunktion g_1 wurden in einer NLO-QCD-Analyse die polarisierten Quarkverteilungen und der Beitrag der Quarks zum Nukleonspin bestimmt. Diese Ergebnisse sind mittlerweile veröffentlicht [10]. Die Datenanalyse der 2011er Daten wird nunmehr mit der Bestimmung der Asymmetrien identifizierter Hadronen fortgesetzt.

Bisher wurde zudem noch nicht von allen mit longitudinal polarisiertem ^6LiD -Target gemessenen Daten die Spinstrukturfunktion g_1^d bestimmt. Die aus den 2006er Daten extrahierten Ergebnisse wurden detailliert mit den veröffentlichten Ergebnissen der Messungen von 2002 bis 2004 verglichen. Abbildung 7 links zeigt den Vergleich mit den veröffentlichten Asymmetrien. Im rechten Teil der Abbildung sind die COMPASS-Ergebnisse für g_1^d mit den früheren von SMC verglichen. Mit der wesentlich höheren Datenstatistik konnte der Hinweis, daß g_1^d bei kleinen Werten von x negativ wird, nicht bestätigt werden. Die Veröffentlichung dieser Ergebnisse wird gerade vorbereitet.

4.4 Weitere Aktivitäten

Vorläufige Ergebnisse aller Mainzer Doktoranden wurden auf der Frühjahrstagung der DPG in 2013 [24], 2014 [25] und 2015 [26] und auf mehreren internationalen Tagungen [22, 23] präsentiert.

Darüberhinaus stellt die Mainzer Gruppe die Leitung der Analysegruppe zur tiefinelastischen inklusiven und semi-inklusive Streuung der COMPASS-Kollaboration. Außerdem werden maßgebliche Beiträge bei der Erstellung zahlreicher Publikationen geleistet, darunter die Messung der Gluonpolarisation mit Hadronenpaaren mit großen

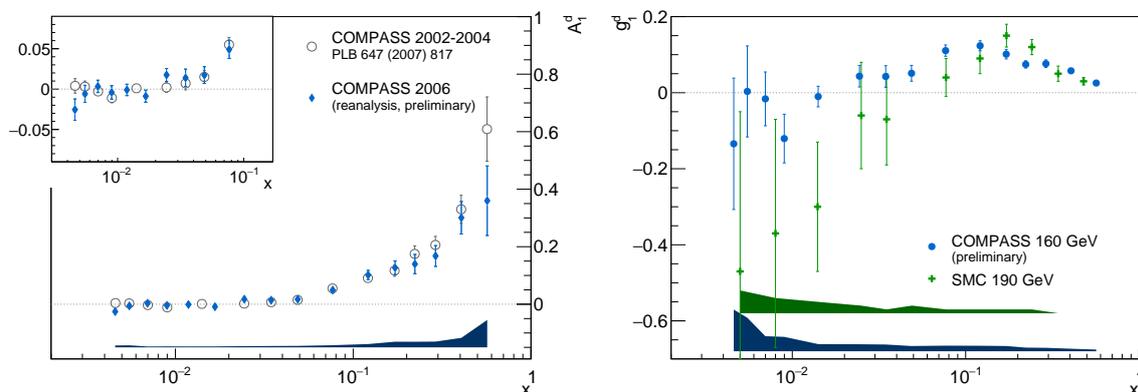


Abbildung 7: links: Vergleich der 2002-2004 und 2006 gemessenen Asymmetrien, rechts: Vergleich der x -Abhängigkeit von g_1^d von COMPASS und EMC

Transversalimpulsen [2], die Messung von exklusiver Rhoproduktion [3, 6], die Messung von Spin-Alignment [7] und Messung von azimuthalen Asymmetrien in SIDIS [8]. Fertiggestellt wurden auch eine ausführliche Publikation zur Messung der Gluonpolarisation mittels offener Charmproduktion [4], die Messung von D-Meson-Produktion [5] und eine detaillierte Beschreibung des Spektrometers für die Messungen mit Hadronstrahlen [9] und in diesem Jahr die Messung der Spinstrukturfunktion g_1^p [10].

Zur Zeit sind weitere Veröffentlichungen mit maßgeblicher Mainzer Beteiligung in Vorbereitung, so z.B. “The spin-dependent structure function g_1^d from the full COMPASS data” (für PLB) und “Charged pion multiplicities from semi-inclusive muon-deuteron deep-inelastic scattering” (für PLB).

5 Zusammenfassung

In der Förderperiode 2012-2015 wurden die genehmigten Projekte erfolgreich durchgeführt, so der Aufbau der inneren Lage des Rückstoßprotodetektors und der Umbau des Triggersystems für die Messungen des COMPASS II-Proposals. Bei diesen Arbeiten konnte in erheblichen Maße auf die Werkstätten des Instituts für Kernphysik zurückgegriffen werden. Beiträge zur Finanzierung wurden auch vom Mainzer Exzellenzcluster PRISMA beigesteuert. Aufgrund der Änderungen der Strahlzeitplanung es CERN mußte allerdings die Reihenfolge der Messungen angepaßt und die DVCS-Messung auf 2016/17 verschoben werden.

Mehrere Datenanalysen wurden beendet und publiziert bzw. befinden sich im Stadium der Veröffentlichung. Darüberhinaus gibt es laufende Arbeiten, die sich mit der Analyse der 2006 bis 2012 gemessenen Daten beschäftigen. Themen, die in Mainz bearbeitet werden, sind die Bestimmung der Spinstrukturfunktion von Proton und Deuteron und Multiplizitäten geladener Hadronen in tiefinelastischer Myon-Nukleon-Streuung

sowie Baryonspektroskopie und Vektormesonproduktion in diffraktiver Proton-Proton-Streuung.

Mit den bewilligten Reisemitteln wurden nicht nur CERN-Aufenthalte für Aufbau, Datennahme und Datenanalyse finanziert, sondern auch etliche Besuche zu internationalen Konferenzen unterstützt, auf denen Mitglieder der Mainzer Gruppe COMPASS-Resultate vorgestellt haben. Konferenzreisen von Doktoranden wurden teilweise über das Mainzer Graduiertenkolleg finanziert.

Insgesamt wurde der finanzielle Rahmen des Projekts eingehalten.

Literatur

- [1] COMPASS, COMPASS-II Proposal, CERN-SPSC-2010-014, SPSC-P-240

Publikationen

Publikationen mit besonderen Beiträgen der Gruppe:

- [2] COMPASS, C. Adolph et al.
'Leading order determination of the gluon polarisation from DIS events with high- p_T hadron pairs', Phys. Lett. B 718 (2013) 922.
- [3] COMPASS, C. Adolph et al.
'Exclusive ρ^0 muoproduction on transversely polarised protons and deuteriums', Nucl. Phys. B 865 (2012) 1.
- [4] COMPASS, C. Adolph et al.
'Leading and Next-to-Leading order gluon polarisation in the nucleon and longitudinal double spin asymmetries from open charm muoproduction', Phys. Rev. D 87(2013) 052018.
- [5] COMPASS, C. Adolph et al.
'D* and D meson production in muon nucleon interactions', Eur. Phys. J. C 72 (2012) 2253.
- [6] COMPASS, C. Adolph et al.
'Transverse target spin asymmetries in exclusive ρ_0 muoproduction', Phys. Lett. B 731 (2014) 96.
- [7] COMPASS, C. Adolph et al.
Spin alignment and violation of the OZI rule in exclusive ω and ϕ production in pp collisions', Nucl. Phys. B 886 (2014) 1078.
- [8] COMPASS, C. Adolph et al.
'Measurement of azimuthal hadron asymmetries in semi-inclusive deep inelastic scattering off unpolarised nucleons', Nucl. Phys. B 886 (2014) 1046.
- [9] COMPASS, P. Abbon et al.
The COMPASS setup for physics with hadron beams', Nucl. Instr. Meth. A 779 (2015) 69.
- [10] COMPASS, C. Adolph et al.
The spin structure function g_1 of the proton and a test of the Bjorken sum rule', Phys. Lett. B 753 (2016) 18.

Beteiligung an weiteren Publikationen:

- [11] COMPASS, C. Adolph et al.
'First measurement of chiral dynamics in $\pi^- \gamma \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^-$ ',
Phys. Rev. Lett. 108 (2012) 1920001.
- [12] COMPASS, C. Adolph et al.
'Transverse spin effects in hadron-pair production from semi-inclusive deep inelastic scattering', Phys. Lett. B 713 (2012) 10.
- [13] COMPASS, C. Adolph et al.
'I – Experimental investigation of transverse spin asymmetries in μ -p SIDIS processes: Collins asymmetries', Phys. Lett. B 717 (2012) 376.
- [14] COMPASS, C. Adolph et al.
'II – Experimental investigation of transverse spin asymmetries in μ -p SIDIS processes: Sivers asymmetries', Phys. Lett. B 717 (2012) 383.
- [15] COMPASS, C. Adolph et al.
A high statistics measurement of transverse spin effects in dihadron production from muon-proton semi-inclusive deep-inelastic scattering',
Phys. Lett. B 736 (2014) 124.
- [16] COMPASS, C. Adolph et al.
Measurement of radiative widths of $a_2(1320)$ and $\pi_2(1670)$ ',
Eur. Phys. Jour. A 50 (2014) 79.
- [17] COMPASS, C. Adolph et al.
Odd and Even Partial Waves on $\eta\pi^-$ and $\eta'\pi^-$ in $\pi^- \rightarrow \eta^{(\prime)}\pi^- p$ at 191 GeV/c',
Phys. Lett. B 740(2015) 303.
- [18] COMPASS, C. Adolph et al.
Search for exclusive photoproduction on $Z_l^\pm(3900)$ at COMPASS',
Phys. Lett. B 742 (2015) 330.
- [19] COMPASS, C. Adolph et al.
Measurement of the charged-pion polarisability',
Phy. Rev. Lett. 114 (2015) 062002.
- [20] COMPASS, C. Adolph et al.
Collins and Sivers asymmetries in muonproduction of pions and kaons off transversely polarised proton', Phys. Lett. B 744 (2015) 250.
- [21] COMPASS, C. Adolph et al.
Observation of a new narrow axial-vector meson $a_1(1420)$ ',
Phys. Rev. Lett. 115 (2015) 082001.

Vorträge auf Konferenzen mit Proceedings:

- [22] F. Nerling, *On the disputed $\pi_1(1600)$ resonance and the observation of a new iso-vector resonance*, 15th workshop on High Energy Spin Physics (DSPIN), Dubna (2013);
 N. du Fresne, *Hadron multiplicities at COMPASS*, 22th Int. workshop on Deep Inelastic Scattering and related subjects (DIS10), Warschau (2014);
 E. Kabuß, *The GPD program at COMPASS II*, 22th Int. workshop on Deep Inelastic Scattering and related subjects (DIS10), Warschau (2014), PoS DIS2014 (2014) 242;
 M. Wilfert, *New COMPASS results on the spin structure function g_1^p and QCD fit*, 22th Int. workshop on Deep Inelastic Scattering and related subjects (DIS10), Warschau (2014);
 E. Kabuß, *New results from COMPASS*, European Physics Society Conference of High Energy Physics (EPS-HEP), Wien (2015);
 M. Wilfert, *Results on longitudinal spin physics at COMPASS*, XX Int. QCD Conference (QCD15), Montpellier (2015).

Vorträge auf Konferenzen:

- [23] T. Weisrock, *Baryon spectroscopy at COMPASS*, Int. Workshop on New Partial-Wave Analysis Tools for Next Generation Hadron Spectroscopy Experiments (ATHOS 2013), Seeon (2013);
 M. Wilfert, *Results on A_1^p and g_1^p from 2011 COMPASS data*, Advanced Study Institute Symmetries and Spin, Prag (2013);
 J. Bernhard, *Test of the OZI rule and spin alignment measurements with the COMPASS experiment*, Int. Conf. on Meson-Nucleon Physics and the Structure of the Nucleon (MENU13), ROM (2013);
 E. Kabuß, *A facility to study QCD*, KHuK Jahrestagung, Bad Honnef (2013);
 T. Weisrock, *Results and Future Plans of the COMPASS Experiment*, Conf. of Science and Technology for FAIR in Europe, Worms (2014);
 F. Nerling, *Workshop on Unquenched Hadron Spectroscopy (Eef70)*, Coimbra (2014).

Vorträge DPG-Tagungen:

- [24] DPG-Frühjahrstagung (Physik der Hadronen und Kerne), Dresden, März 2013:
 J. Bernhard, *Spin alignment and OZI rule violation in exclusive ω and ϕ production in pp collisions at COMPASS*,
 N. du Fresne, *GPD measurements at COMPASS II*,
 T. Weisrock, *Baryon spectroscopy at COMPASS*,

M. Wilfert, *First results on the longitudinal double spin asymmetry A_1^p and g_1^p from the 2011 COMPASS data.*

- [25] DPG-Frühjahrstagung (Physik der Hadronen und Kerne), Frankfurt, März 2014:
N. du Fresne, *Hadron multiplicities at COMPASS*,
T. Weisrock, *Baryon spectroscopy at COMPASS*,
M. Wilfert, *New COMPASS results on the spin structure function g_1^p and QCD fit.*
- [26] DPG-Frühjahrstagung (Physik der Hadronen und Kerne), Heidelberg, März 2015:
N. du Fresne, *Fragmentations functions in leading order at COMPASS*,
T. Weisrock, *Produktion neutraler Mesonen in Proton-Proton Streuung bei COMPASS*,
M. Wilfert, *Improved LO extraction of the gluon polarisation using COMPASS data.*

COMPASS internal notes:

- [27] K. Novotny, E. Kabuß, Performance of trigger hodoscopes in 2007 and 2010, 2012-6.
- [28] V. Batozskaya et al., The (2012) reprocessing and analysis of 2009 DVCS test data, 2013-4
- [29] A. Düdder et al., Modification of H1, 2013-6.
- [30] T. Weisrock, E. Kabuß, Using Bayesian Methods for Particle Identification in the CEDARs, 2013-8.
- [31] Y. Bedfer et al., First look on selected topics from the DVCS 212 test run, 2013 -9.
- [32] N. Makke et al., Transverse Momentum Dependent Multiplicities of Unidentified hadrons from 2006 data, 2014-5.
- [33] M. Wilfert, Estimate of systematic uncertainties for the 2007 A_1^p data in x - Q^2 bins, 2015-3.
- [34] N. du Fresne von Hohenesche, B. Veit, Trigger modifications for Drell-Yan, 2015-4.
- [35] M. Wilfert, Estimation of the bias due to semi-inclusive triggers for $A_1^p(2011)$ and POLDIS, 2015-5.

Bachelorarbeiten:

- [36] Andreas DÜdder
Umbau des Large Angle Triggersystems des COMPASS-Experiments, Mainz (2012).
- [37] Benjamin Moritz Veit,
Umbau und Test des COMPASS-Myontriggers für das Drell-Yan-Programm, Mainz (2014).

Doktorarbeiten:

- [38] Johannes Bernhard
Exclusive vectormeson production in pp collisions at the COMPASS experiment, Mainz (2014).
- [39] Tobias Weisrock
Single Meson Production in Proton Diffraction at 190 GeV/ c at COMPASS, Mainz (2015).
- [40] N. du Fresne
Semi-inclusive muon-proton scattering at 160 GeV/ c , Mainz (2015).