GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Schlussbericht

Verbund: 05H2009 - HERA

Zuwendungsempfänger:	Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
Projektleitung:	Prof. Dr. Hans-Christian Schultz-Coulon
E-Mail:	coulon@kip.uni-heidelberg.de
Förderkennzeichen:	05H09VHF
Förderzeitraum:	01.07.2009 - 30.06.2012
Thema:	Verbundprojekt HERA: Experimente zur Elektron-Proton Streuung bei HERA
Zuwendung:	221.513,40 €
Projektträger:	Projektträger DESY
Zusätzlicher Kontakt:	martin@kip.uni-heidelberg.de
Zusätzlicher Name:	Oscar Martin-Almendral

Genutzte Großgeräte:	Labor	Gerät	Experiment
	DESY	HERA	H1

Diplomarbeiten:	0
Dissertationen:	2
Habilitationen:	0
Publikationen:	33
Konferenzbeiträge:	8
Patente:	0
Bachelorarbeiten:	1
Masterarbeiten:	0

Dieser Bericht wurde beim Projektträger über einen individuellen Online-Zugang vom Projektleiter eingereicht und am 26.12.2012 10:59 für eine Veröffentlichung freigegeben.

Schlussbericht

Analyse von Elektron-Proton-Wechselwirkungen
[Verbundprojekt HERA: Experimente zur Elektron-Proton Streuung bei HERA]

Zuwendungsempfänger: Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg

Projektleitung: Prof. Dr. Hans-Christian Schultz-Coulon

Zusammenfassung

Vorhabenziel war die Nutzung und Analyse der am Elektron-Proton Speicherring HERA aufgenommenen Daten, hier speziell der H1-Daten. Der H1-Detektor wurde von 1992 bis 2007 erfolgreich betrieben. In dieser Zeit hat er alle in ihn gesetzten Anforderungen und Erwartungen an Auflösungsvermögen, Stabilität und Effizienz vollständig erfüllt. Dies gilt insbesondere für die letzte Datennahmeperiode, die Mitte 2007 zu Ende ging. Mit dem Ende des HERA-Betriebs lagen etwa 500 pb^{-1} hochpräziser Elektron-Proton-Streudaten vor, deren Analyse bis heute wichtige und neue Erkenntnisse insbesondere zur Theorie der starke Wechselwirkung (QCD) liefert. Aufgrund der erhöhten Datenstatistik und gegenüber früheren Analysen zu verbessernden Präzision, waren langwierige Studien zur Systematik notwendig, bevor die Ergebnisse publiziert werden konnten. Dies war die Aufgabe der letzten drei Jahre.

Entsprechend hat sich die Arbeitsgruppe am Kirchhoff-Institut für Physik (KIP) im Rahmen der Förderperiode intensiv mit Untersuchungen zur Systematik der am KIP durchgeführten Analysen befasst. Insbesondere waren H1-Mitarbeiter des KIP an Arbeiten zur Verbesserung der Detektorkalibration, dE/dx-Studien, sowie damit verbunden an der Erweiterung und Verbesserung der H1-Simulationssoftware beteiligt. Damit hat das KIP nicht nur im Bereich der Physik mit schweren Quarks – dem Schwerpunkt der Analyseaktivitäten am Kirchhoff-Institut für Physik – wesentlich zu den finalen Ergebnissen der HERA-Experimente beigetragen.

Einige der in der letzten Förderperiode von H1 – teilweise zusammen mit ZEUS – veröffentlichten Resultate seien hier genannt; zu den wichtigsten gehören: (i) die Vermessung der inklusiven polarisierten ep-Streuung bei großen Viererimpulsen Q^2 unter Verwendung der gesamten mit H1 aufgezeichneten Luminosität, (ii) Messungen zur Produktion schwerer Quarks auf der Grundlage unterschiedlicher Nachweismethoden, (iii) abschließende H1-Ergebnisse zur Suche nach neuer Physik jenseits des Standardmodells, (iv) eine neue Bestimmung der totalen integrierten Luminosität, (v) neue, kombinierte Parametrisierungen der Partondichten des Protons mit Hilfe globaler Fits an H1- und ZEUS-Daten, sowie (v) die Kombination von Ergebnissen beider Kollaborationen zur Suche nach neuen Phänomenen, der Vermessung diffraktiver ep-Streuung und der Produktion schwerer Quarks in ep-Kollisionen. Die Beiträge des Kirchhoff-Instituts für Physik im Bereich der Datenanalyse lagen vor Allem bei den Untersuchungen zur Produktion schwerer Quarks, der Suche nach Anzeichen von Supersymmetrie, sowie der H1-Physikkoordination. Die meisten Analysen, an denen Mitglieder des KIP in den letzten Jahren gearbeitet hat wurden im Berichtszeitraum abgeschlossen und zur Veröffentlichung gebracht.

Bericht

Einleitung

Ziele des Vorhabens waren die Nutzung und Analyse des H1-Detektors und der von diesem am Elektron-Proton Speicherring HERA aufgenommenen Daten. Dabei sollten die bereits in der vorangegangenen Förderperiode begonnenen Analysen zum Abschluss gebracht und veröffentlicht werden; dies ist weitgehend gelungen. Der H1-Detektor wurde von 1992 bis 2007 erfolgreich betrieben und hat in dieser Zeit alle in ihn gesetzten Anforderungen und Erwartungen an Auflösungsvermögen, Stabilität und Effizienz erfüllt. Dies gilt insbesondere für die letzte Datennahmeperiode, die Mitte 2007 zu Ende ging. Mit dem Ende des HERA-Betriebs lagen etwa 500 pb^{-1} hochpräzise Elektron-Proton-Streudaten vor, Daten die es in den letzten fünf Jahren zu analysieren galt.

Mit dem Ende der H1-Datennahme im Juni 2007 verlagerte sich der Arbeitsschwerpunkt der H1-Kollaboration vollständig auf die Analyse der aufgezeichneten Daten. Intensive Studien zur Verbesserung des Detektorverständnisses, die Optimierung der Kalibration und die Feinjustierung der Monte-Carlo-Simulation wurden im Berichtszeitraum durchgeführt und fertiggestellt. Das Hauptaugenmerk der Arbeiten lag dabei auf der optimalen Nutzung der gesammelten H1-Daten und der Veröffentlichung finaler HERA-Ergebnisse, insbesondere auch in Kombination mit den Resultaten der ZEUS-Kollaboration. Zu den Analysebeiträgen speziell des Kirchhoff-Instituts für Physik (KIP) zählen: die Vermessung der Struktur des Protons insbesondere in Hinblick auf dessen Charm-Inhalt, Messungen zur Produktion von schweren Quarks in Elektron-Proton-Streuung, sowie die Suche nach Supersymmetrie; zu den technische und administrativen Beiträgen gehören die Verbesserung der H1-Software zur Simulation der zentralen Spurkammer und des schnellen Spurtriggers, die Optimierung der Kalorimeterkalibration und die Physikkoordination.

Ergebnisse

Die H1-Kollaboration hat sich im Verlauf der Förderperiode hauptsächlich mit der Fertigstellung und Veröffentlichung der Analysen befasst, die auf den nach 2003 aufgenommen Daten basieren und von der im Rahmen des HERA-Upgrades erhöhten Luminosität profitieren. Dabei konnte ein wesentlicher Teil der von der H1-Kollaboration angestrebten Veröffentlichungen im Berichtszeitraum abgeschlossen werden. Einige der wichtigsten Ergebnisse der letzten drei Jahre seien hier exemplarisch aufgeführt:

- Die inklusiven polarisierten ep-Wirkungsquerschnitte bei hohen Viererimpulsen Q^2 unter Austausch neutraler und geladener Ströme wurden mit der gesamten von H1 aufgezeichneten Luminosität vermessen. Diese Messung erlaubt zum Einen eine stringente Überprüfung der Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung im Standardmodell und liefert entscheidende Informationen über die Partondichten im Proton bei großen Impulsbruchteilen x. Darüber hinaus konnten aus dieser Messung neue Ausschlussgrenzen für Physik jenseits des Standardmodells, speziell die mögliche Existenz so genannter Leptoquarks und von Kontaktwechselwirkungen extrahiert werden; Letzteres wurde in im Rahmen zweier weiterer Veröffentlichungen publiziert.

- Die Kombination von Resultaten der H1- und ZEUS-Kollaborationen wurde auch in der letzten Förderperiode erfolgreich weitergeführt; nur so ist eine optimale Nutzung der bei HERA aufgezeichneten Elektron-Proton-Kollisionsdaten garantiert. Durch Berücksichtigung der Korrelation systematischer Unsicherheiten bei der Kombination von Messergebnissen wurde eine signifikante Verbesserung der totalen Messunsicherheiten erreicht, die über die Effekte der vergrößerten Statistik hinausgehen. Nach

der Kombination der gemessenen inklusiven Wirkungsquerschnitte wurden auch Ergebnisse zur Suche nach neuer Physik jenseits des Standardmodells, sowie zur Diffraktion und zur Produktion schwerer Quarks kombiniert.

- Die Bestimmung von Partonverteilungen aus kombinierten H1 und ZEUS-Daten wurde fortgesetzt und durch die Einbeziehung weiterer Messungen verbessert. Vorläufige Ergebnisse basierend auf allen von H1 und ZEUS gemessenen inklusiven Wirkungsquerschnitten sowie ausgewählten Jet-Messungen wurden auf internationalen Konferenzen präsentiert und regelmäßig für Vergleiche von Theorie-Vorhersagen mit LHC-Wirkungsquerschnitten genutzt.

- Die Untersuchung der Produktion schwerer Quarks erlaubt einen alternativen Zugang zur Gluondichte im Proton. Im Verlauf der Förderperiode wurden zahlreiche Analysen veröffentlicht, die auf unterschiedlichen Nachweismethoden beruhen, darunter Analysen zur J/ψ- und D*-Meson-Produktion sowie Messergebnisse zur inklusiven Charm- und Beauty-Produktion. Die Analysen zur D*-Meson-Produktion sowohl in tief-inlastischer Streuung als auch in Photoproduktion wurden federführend von der Heidelberger H1-Gruppe am Kirchhoff-Institut durchgeführt (siehe unten) und resultieren in einer verbesserten Bestimmung der entsprechenden Wirkungsquerschnitte sowie der Strukturfunktion F_2^{cc}.

- Eine Vielzahl von Analysen zur Suche nach Phänomenen jenseits des Standardmodells wurde in der letzten Förderperiode abgeschlossen und veröffentlicht; dabei wurden keine signifikanten Abweichungen von der Erwartung beobachtet. Da alle diesbezüglichen Ergebnisse jetzt auf dem vollständigen HERA I+II Datensatz basieren, konnten die zugehörigen Ausschlussgrenzen gegenüber früheren Publikationen deutlich verbessert werden. Auch die am Kirchhoff-Institut für Physik durchgeführte Suche nach R-Parität verletzender Supersymmetrie wurde im Berichtszeitraum beendet und veröffentlicht.

- Die systematischen Unsicherheiten der Luminositätsmessung konnten durch die Entwicklung einer neuen Methode zur Bestimmung der totalen integrierten, mit dem H1-Detektor während der HERA-II-Phase gesammelten Luminosität reduziert werden; durch diese Unsicherheiten war die Präzision aller HERA-II-Analysen limitiert. Die neue Methode beruht auf dem Nachweis von Ereignissen aus dem QED-Compton-Prozess. Sie liefert Ergebnisse, die mit den bisherigen Messungen basierend auf der Vermessung von Bethe-Heitler-Ereignissen konsistent sind, und resultiert in einer verbesserten totalen Unsicherheit der gemessenen Luminosität von 2.3%. Diese Messung geht direkt in die Normierungsunsicherheit aller am H1-Experiment gemessenen Wirkungsquerschnitte ein und ist besonders für die präzisen Resultate zur Untersuchung der inklusiven ep-Streuung relevant.

Beiträge des Kirchhoff-Instituts für Physik

Die H1-Gruppe des Kirchhoff-Instituts für Physik hat sich in den letzten Jahren vor Allem mit der Analyse von Ereignissen mit schweren Quarks befasst; so auch im Berichtszeitraum. Die bereits seit längerem am KIP verfolgten Analysen wurden fortgesetzt und zur Publikation gebracht. Neben intensiven Studien zur Systematik wurden dabei auch Arbeiten zur Verbesserung der Detektorkalibration durchgeführt. Zu den wesentlichen Heidelberger Beiträgen zählt insbesondere die Kalibration der Simulation des spezifischen Energieverlustes, dE/dx. Die Verwendung der darauf basierenden Teilchenidentifikation bei der Spurrekonstruktion hat zur

Verbesserung sowohl der Rekonstruktionseffizienz als auch der Impulsauflösung in der endgültigen Version der H1-Rekonstruktionssoftware geführt. Die daraus resultierende, verbesserte Massenauflösung ist für die Rekonstruktion der Endzustände mit schweren Quarks wesentlich. Zusätzlich zu den Arbeiten im Bereich schwerer Quarks wurde in Heidelberg die im Jahr 2010 veröffentlichte Suche nach R-Parität verletzender Supersymmetrie durchgeführt. Des Weiteren hat eine Heidelberger Postdoktorandin während der gesamten Förderperiode einen Teil der H1-Physikkoordination übernommen, und trug damit Mitverantwortung für alle veröffentlichten Resultate der Kollaboration; Prof. Schultz-Coulon war außerdem Mitglied des Exekutiv-Komitees der Kollaboration.

Die Analysebeiträge des Kirchhoff-Instituts im Einzelnen waren:

- Untersuchung der Produktion schwerer Quarks in tief-inelastischer ep- und γp-Streuung (Photoproduktion). Die Analyse von Ereignissen mit schweren, d.h. Charm- und Beauty-Quarks, in Elektron-Proton-Reaktionen war auch in dieser Förderperiode zentrales Arbeitsthema der Heidelberger H1-Gruppe am KIP. Hauptziel war es die in der vorangegangene Förderperiode begonnenen Analysen fortzusetzen und zum finalen Abschluss zu bringen; die Analysen nutzen die Fähigkeiten des am KIP mitentwickelten schnellen Spurtriggers.

  Die erste im Berichtszeitraum veröffentlichte Analyse war die Messung der Produktionsrate von Charm-Quarks in tief-inelastischer Streuung unter Verwendung der vollen HERA-II-Statistik. Die neuen Messungen überdecken einen erweiterten kinematischen Bereich und wurden insbesondere auch für eine neue, verbesserte Bestimmung des Beitrages von Charm-Quarks zur Protonstrukturfunktion, F_2^{cc}, verwendet; diese Messung profitiert deutlich von der – im Vergleich zur letzten H1-Messung dieser Art – etwa 20-fach höheren Statistik. Die Ergebnisse sind publiziert und werden inzwischen für die Kombination der H1- und ZEUS-Messungen des Charm-Wirkungsquerschnitts verwendet.

  Des Weiteren wurde am KIP die Erzeugung schwerer Quarks in Photoproduktion untersucht; dabei konnten die Messung der γp-Wirkungquerschnitte durch die Verwendung der dritten Stufe des schnellen Spurtriggers (Fast Track Trigger; FTT) und dort implementierter neuer Triggerbedingungen zu kleinen Transversalimpulsen und kleinen γp-Schwerpunktsenergien hin erweitert werden. Die Ergebnisse dieser Analyse wurden gemeinsam mit einer Analyse der Produktion von D*-Mesonen mit assoziierten Jets zum Ende der Förderperiode hin veröffentlicht.

  Die bereits begonnene Suche nach "Charmed Pentaquarks" konnte wegen der Übernahme der Physikkoordination nicht fortgesetzt werden; hier existieren weiterhin nur vorläufige Ergebnisse. Im Gegensatz zu HERA I wurden in HERA II Daten keine Anzeichen für eine Resonanz im D*-Proton-Massenspektrum beobachtet. Die 2008 international vorgestellte Analyse kann am KIP nicht weitergeführt werden.

- Suche nach R-Parität verletzender Supersymmetrie. Im Rahmen einer am KIP durchgeführten Doktorarbeit wurden Zerfallssignaturen von Squarks analysiert, um nach Anzeichen für R-Parität verletzende Supersymmetrie zu suchen. Im Vergleich zu vorhergehenden Messungen konnte die Analyse um mehrere für die Squark-Suche relevante Zerfallskanäle erweitert werden. Die Analyse basiert auf der gesamten von H1 aufgezeichneten Datentatistik (HERA I und II), und hat bisherige Ausschlussgrenzen deutlich verbessert. Die Analyse wurde im Berichtszeitraum veröffentlicht.

Publikationen

Veröffentlichungen

F.D. Aaron et al. [H1 and ZEUS Collaboration], "Combination and QCD Analysis of Charm Production Cross Section Measurements in Deep-Inelastic ep Scattering at HERA", DESY-12-172, submitted to EPJC.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Inclusive Deep Inelastic Scattering at High Q^2 with Longitudinally Polarised Lepton Beams at HERA", JHEP 1209 (2012) 061.

F.D. Aaron et al. [H1 and ZEUS Collaboration], "Combined Inclusive Diffractive Cross Sections Measured with Forward Proton Spectrometers in Deep Inelastic ep Scattering at HERA", Eur.Phys.J. C72 (2012) 2175.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Measurement of Beauty Photoproduction near Threshold using Di-electron Events with the H1 Detector at HERA", Eur.Phys.J. C72 (2012) 2148.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Determination of the Integrated Luminosity at HERA using Elastic QED Compton Events", Eur.Phys.J. C72 (2012) 2163.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Measurement of Beauty and Charm Photoproduction using Semi-muonic Decays in Dijet Events at HERA", Eur.Phys.J. C72 (2012) 2047.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Inclusive Measurement of Diffractive Deep-Inelastic Scattering at HERA", Eur.Phys.J. C72 (2012) 2074.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Measurement of Inclusive D*-Meson and D*-Meson Dijet Cross Sections in Photoproduction at HERA", Eur.Phys.J. C72 (2012) 1995.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Measurement of the Azimuthal Correlation between the most Forward Jet and the Scattered Positron in Deep-Inelastic Scattering at HERA", Eur.Phys.J. C72 (2012) 1910.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Measurement of Dijet Production in Diffractive Deep-Inelastic Scattering with a Leading Proton at HERA ", Eur.Phys.J. C72 (2012) 1970.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Search for First Generation Leptoquarks in ep-Collisions at HERA", Phys.Lett. B704 (2011) 388.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Search for Contact Interactions in $e^{\pm}p$ Collisions at HERA", Phys.Lett. B705 (2011) 52.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Measurement of Photon Production in the Very Forward Direction in Deep-Inelastic Scattering at HERA", Eur.Phys.J. C71 (2011) 1771.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], " Measurement of the Diffractive Longitudinal Structure Function F_L^D at HERA", Eur.Phys.J. C71 (2011) 1836.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], " Measurement of $D^{\pm *}$ Meson Production and Determination of F_2^{cc} at low Q2 in Deep-Inelastic Scattering at HERA", Eur.Phys.J. C71 (2011) 1769.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Search for Lepton Flavour Violation at HERA", Phys.Lett. B701 (2011) 20.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Measurement of the Inclusive e±p Scattering Cross Section at High Inelasticity y and of the Structure Function F_L", Eur.Phys.J. C71 (2011) 1579.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Search for Squarks in R-parity Violating Supersymmetry in ep Collisions at HERA", Eur.Phys.J. C71 (2011) 1572.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Measurement of the Cross Section for Diffractive Deep-Inelastic Scattering with a Leading Proton at HERA., Eur.Phys.J. C71 (2011) 1578.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Measurement of Charm and Beauty Jets in Deep Inelastic Scattering at HERA", Eur.Phys.J. C71 (2011) 1509.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Diffractive Dijet Photoproduction in ep Collisions at HERA", Eur.Phys.J. C70 (2010) 15.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Inelastic Production of J/ψ Mesons in Photoproduction and Deep Inelastic Scattering at HERA", Eur.Phys.J. C68 (2010) 401.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Measurement of Leading Neutron Production in Deep-Inelastic Scattering at HERA", Eur.Phys.J. C68 (2010) 381.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Measurement of the D* Meson Production Cross Section and F_2^{CC} at High Q^2 in ep-Scattering at HERA", Phys.Lett. B686 (2010) 91.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Jet Production in ep Collisions at Low Q2 and Determination of as", Eur.Phys.J. C67 (2010) 1.

F.D. Aaron et al. [H1 and ZEUS Collaboration], "Combined Measurement and QCD Analysis of the Inclusive ep Scattering Cross Sections at HERA", JHEP 1001 (2010) 109.

F.D. Aaron et al. [H1 and ZEUS Collaboration], "Events with an Isolated Lepton and Missing Transverse Momentum and Measurement of W Production at HERA" Phys. Lett. B 672 (2009) 106.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Prompt Photons in Photoproduction at HERA", Eur.Phys.J. C66 (2010) 17.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Deeply Virtual Compton Scattering and its Beam Charge Asymmetry in e+- p Collisions at HERA", Phys. Lett. B (2009) 391.

F.D. Aaron et al. [H1 and ZEUS Collaboration], "Multi-Leptons with High Transverse Momentum at HERA", JHEP 0910 (2009) 013.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Measurement of the Charm and Beauty Structure Functions Using the H1 Vertex Detector at HERA", Eur.Phys.J. C65 (2010) 89.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Diffractive Electroproduction of ρ and φ Mesons at HERA", JHEP 1005 (2010) 032.

F.D. Aaron et al. [H1 Collaboration], "Observation of the Hadronic Final State Charge Asymmetry in High Q^2 Deep-Inelastic Scattering at HERA", Phys. Lett. B 681 (2009) 125.

Publizierte Konferenzbeiträge (Proceedings)

E. Hennekemper, "Measurement of D* Meson Production and Determination of F_2^{cc} at low Q^2 in Deep-Inelastic Scattering at HERA", DIS2012, Bonn, Deutschland, 2012.

K. Krüger, "QCD Results from Hera & Jlab“, 25th International Symposium on Lepton Photon Interactions at High Energies, Lepton Photon 2011, Mumbai, Indien, 2011.

A.W. Jung, "D* Production at Low Q2 in an Extended Phase Space", DIS2011, Newport News, Virginia, USA, 2011.

A.W. Jung, "D* (+jets) in DIS and Photoproduction", 35th International Conference On High Energy Physics ICHEP 2010, Paris, Frankreich, 2010.

K. Krüger, "Recent Results from the H1 Collabration", DIS2010, Florenz, Italien, 2010.

M. Herbst, "Search for Squark production in R-parity Violating Supersymmetry at HERA", DIS2010, Florenz, Italien, 2010.

K. Krüger, "Investigation of the D^*p Resonance in the 3 GeV Region", EPS Conference, Krakow, Polen, 2009.

M. Herbst, "Search for Squark Production in R-Parity Violating Supersymmetry at HERA", EPS Conference, Krakow, Polen, 2009.

Bachelor-, Master-, Diplom- und Doktorarbeiten

M. Herbst, "A Search for R-parity Violating Squark Production with the H1-Experiment at HERA ", HD-KIP-11-158, Dissertation 2011.

E. Hennekemper, "Simulation and Calibration of the Specific Energy Loss of the Central Jet Chambers of the H1 Detector and Measurement of the Inclusive D±* Meson Cross Section in Photoproduction at HERA", HD-KIP-11-68, Dissertation 2011.

M. Wegner, "Extraktion von Partonverteilungen im Proton mit Wirkungsquerschnitten für Charm-Produktion in ep-Streuung", Bachelorarbeit 2010.