



Abbildung 31: Ausbau des letzten Urkalorimetermoduls aus dem ZEUS Detektor im September 2008.

ZEUS-Experiment

Beteiligte Institute: Univ. of the Aegean Chios, Inst. Phys. Technol. Almaty, NIKHEF und Univ. Amsterdam, ANL Argonne, Humboldt Univ. Berlin, Andrews Univ. Berrien Springs, Univ. und INFN Bologna, Univ. Bonn, Univ. Bristol, Panjab Univ. Chandigarh, RAL Chilton, Ohio State Univ. Columbus, Univ. della Calabria und INFN Cosenza, Inst. of Nucl. Physics und Jagellonian Univ. Cracow, AGH Univ. Cracow, Univ. und INFN Firenze, Univ. Freiburg, Univ. Glasgow, DESY und Univ. Hamburg, Columbia Univ. Irvington, Univ. Malaya Kuala Lumpur, Chonnam Nat. Univ. Kwangju, Univ. Lodz, Imperial Coll. und Univ. Coll. London, Univ. Cathol. de Louvain, Univ. of Wisconsin Madison, Univ. Autónoma Madrid, McGill Univ. Montreal, Engin. Phys. Inst. und State Univ. Moscow, MPI München, York Univ. North York, Oxford Univ., Univ. und INFN Padova, Weizmann Inst. Rehovot, Univ. La Sapienza und INFN Roma, Polytech. Univ. Sagamihara, Kyungpook Nat. Univ. Taegu, Tel Aviv Univ., Inst. of Technol. Tokyo, Metropolitan Univ. und Univ. Tokyo, Univ. und INFN Torino, Univ. del Piemonte Orientale Novara, Univ. Toronto, KEK Tsukuba, Pennsylvania State Univ. University Park, Inst. for Nucl. Stud. und Univ. Warschau, Meiji Gakuin Univ. Yokohama, DESY Zeuthen.

Specher: T. Haas, DESY

Das Jahr 2008 war für die ZEUS Kollaboration das erste Jahr, das ausschließlich der endgültigen Datenanalyse gewidmet war. Folglich wurden insgesamt 18 wissenschaftliche Artikel veröffentlicht. Darüber hinaus wurden große Anstrengungen unternommen die endgültige Kallibration der Daten abzuschließen und das entsprechende konsistente *Grand Reprocessing* aller im HERA-II-Run aufgenommenen Daten durchzuführen.

Abbau des ZEUS-Experiments

Im Berichtszeitraum konnte der Abbau des ZEUS Detektors mit Ausnahme des Eisenjochs abgeschlossen werden. Der Ausbau und Abtransport des Uran-Szintillator Kalorimeters begannen zwar mit einer Verzögerung von vier Monaten, die sich durch eine verspätete Erteilung der Ausfuhrgenehmigung für die Uranmodule des Kalorimeters in die USA ergeben hatte. Diese Verzögerung konnte allerdings nahezu

vollständig durch Vorziehen anderer Abbauarbeiten aufgeholt werden.

Organisation der ZEUS-Kollaboration

Das Jahr 2008 war das erste volle Jahr nach dem Ende der HERA Datennahme. Entsprechend gab es Veränderungen in der Art und Weise des wissenschaftlichen Arbeitens in der ZEUS Kollaboration. Zum Beispiel nahm die Anzahl der ständig bei DESY arbeitenden Mitarbeiter auswärtiger Institute deutlich ab. Entsprechend mußten wesentlich mehr der mit zentraler Verantwortung ausgestatteten Positionen von Mitgliedern der DESY Gruppe übernommen werden als das in früheren Jahren der Fall gewesen war.

Trotzdem bleiben die Beiträge aus den beteiligten auswärtigen Instituten bei der endgültigen Auswertung der ZEUS Daten von allerhöchster Wichtigkeit.

Um diese weiterhin zu ermöglichen wurden monatliche 3-tägige Analysetreffen eingerichtet, die sich sehr bewährt haben. Während dieser Treffen präsentieren die verschiedenen Analysearbeitsgruppen ihre Ergebnisse. Außerdem werden zentrale Veranstaltungen, wie Probevorträge für internationale Konferenzen, Editorial Boards und die Lesungen der zu veröffentlichenden Artikel abgehalten. Darüberhinaus werden inzwischen alle regelmäßigen Arbeitstreffen in Form von Video- oder Telefonkonferenzen abgehalten, um auch denjenigen die Teilnahme zu ermöglichen, die aus finanziellen oder organisatorischen Gründen nicht regelmäßig zu DESY reisen können.

Kalibration und Grand Reprocessing

Im Herbst 2008 wurden die gesamten in der HERA-II-Periode aufgenommenen Daten neu prozessiert, insgesamt fast eine halbe Milliarde ep-Streuereignisse. Mit diesem sogenannten *Grand Reprocessing* soll die bestmögliche Datenqualität für alle endgültigen Physikanalysen bereitgestellt werden.

Der Schwerpunkt des Grand Reprocessing lag im Bereich des *Präzisionstrackings* mit den für HERA II neu eingebauten Spurdetektoren. Eine der Hauptanstrengungen lag dabei im Bereich der Detektorkalibration: nacheinander wurden zunächst der *zentrale Mikrovertexdetektor (BMVD)*, dann der *Vorwärtsmikrovertexdetektor (FMVD)* und zum Schluss der *Straw-tubetracker in Vorwärtsrichtung (STT)* neu kalibriert. Der Hauptaspekt war dabei das Präzisionsalignment, d. h. die genaue Bestimmung der Positionen der einzelnen Detektoren, wie z. B. von jedem der insgesamt 600 Siliziumsensoren des BMVD und die Ausrichtung des gesamten Mikrovertexdetektorsystems relativ zum Referenzdetektor der zentralen Driftkammer. Dazu werden Spuren benutzt die durch möglichst viele Detektoren durchgehen. Eine erhebliche Verbesserung des Alignments des BMVD konnte durch die Hinzunahme von fast 600000 Myonen aus der kosmischen Höhenstrahlung erzielt werden.

Für alle drei Detektoren BMVD, FMVD und STT konnte eine signifikante Auflösungsverbesserung erzielt werden. Noch mehr zählt aber, dass mit der für jede grössere Datenperiode separat durchgeführten Kalibration nun eine weitgehend homogene Datenqualität für alle HERA-II-Daten erreicht wurde.

Ein zweiter Schwerpunkt des Grand Reprocessing lag im Bereich der Spurrekonstruktion. Hier wurde erreicht, dass nun alle HERA-II-Daten mit den besten verfügbaren Algorithmen für *Pattern Recognition* und *Spurfit* neu rekonstruiert wurden.

Als Beispiel für die erzielte Datenqualität ist in Abbildung 32 die Auflösung des transversalen Impulses gezeigt für lange zentrale Spuren die in der zentralen Driftkammer und in dem BMVD gemessen werden. Die Auflösung wurde bestimmt aus dem Vergleich der Spurparameter der oberen und unteren Spurhälfte von kosmischen Myonen. Der mit dem Impuls linear ansteigen-

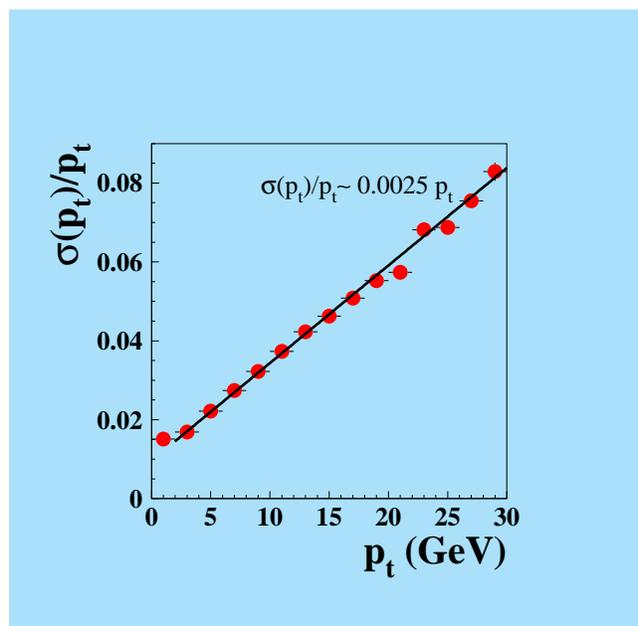


Abbildung 32: *Transversale Impulsauflösung für zentrale lange Spuren bei ZEUS nach dem Grand Reprocessing als Funktion des Transversalimpulses p_t . Die Daten sind mit einer Geradenfunktion angepasst (durchgehende Linie). Der bei großen Impulsen dominierende lineare Term der Auflösung ist zu $\sigma(p_t)/p_t \sim 0.0025 p_t / [GeV]$ bestimmt worden.*

de Term der Auflösung dominiert bei grösseren Impulsen: dieser Term ist um etwa einen Faktor zwei besser als bei HERA I, wo man noch keinen Mikrovertexdetektor zur Verfügung hatte.

Wissenschaftliche Ergebnisse

Im Jahr 2008 befand sich die ZEUS-Kollaboration in einer intensiven Phase der Datenanalyse. Die Arbeiten mit HERA-I-Daten wurden nahezu vollständig abgeschlossen, während die ersten Ergebnisse basierend auf dem vollständigen HERA Datensatz veröffentlicht werden konnten. Dieser Datensatz, der mehr als 500 Millionen Kollisionsereignisse umfaßt und einer integrierten Luminosität von ca. 500pb^{-1} entspricht, ist von unschätzbarem Wert. Mit seiner Hilfe werden im Laufe der kommenden Jahre eine große Zahl wichtiger Fragestellungen in der Hochenergiephysik bearbeitet werden. Insbesondere der konsistent prozessierte HERA-II-Datensatz eröffnet hier Perspektiven.

Im Folgenden werden eine Reihe von Ergebnissen vorgestellt, die auf dem Stand der Daten vor dem endgültigen *Reprocessing* beruhen und im Jahr 2008 veröffentlicht wurden.

Diffraktive Streuung

Bereits im Jahr 1993 kam es bei ZEUS zu einer überraschenden Beobachtung: In ca. 10 % der tiefunelastischen Streuereignisse wird kein Hinweis auf ein Zerplatzen des am Streuprozess beteiligten Protons beobachtet. Konkret sind im Vorwärtsbereich des Detektors keine Hinweise auf den sogenannten Protonrest zu sehen. Es handelt sich dabei um diffraktive Streuung, ein Phänomen, das von Hadron-Hadron Wechselwirkungen bekannt ist, aber in tiefunelastischer Streuung nicht erwartet wurde. Obwohl seit dieser Entdeckung inzwischen 15 Jahre vergangen sind, muß man eingestehen, dass diffraktive Streuung bei großen Impulsüberträgen nicht vollständig verstanden ist.

Das lässt sich mittels folgender Betrachtung erläutern: Nach unserem heutigen Verständnis ist das Proton ein

komplexer Zustand bestehend aus Quarks und Gluonen, dessen Masse von ca. 1 GeV der Bindungsenergie entspricht. Bei den untersuchten diffraktiven Prozessen findet nun eine Streuung an diesem Objekt statt, bei der der Impulsübertrag ein Vielfaches dieser Bindungsenergie beträgt. Eigentlich dürfte das Proton diese Kollision nicht überstehen und trotzdem geschieht in ca. 10 % der Fälle genau dies. Von dem Mechanismus, der das Proton vor der Zerstörung bewahrt, gibt es unterschiedliche Modellvorstellungen, die allerdings alle das Phänomen vollständig beschreiben und erklären können. Somit bleibt es eine offene, spannende und in höchstem Maße relevante Frage, wie groß der Anteil diffraktiver Prozesse am LHC sein wird.

Ein wichtiger Beitrag zur Lösung diesem Problem ist die Trennung von diffraktiven Ereignissen vom nicht-diffraktiven Untergrund. Hier werden zurzeit drei verschiedene Verfahren verwendet, die auf unterschiedlichen Eigenschaften der Ereignisse basieren, nämlich die *Large-Rapidity-Gap* (LRG), die MX- und die *Proton-Tagging* (LPS) Methode. Diese Methoden können im Detail hier nicht erklärt werden. Es sei aber erwähnt, dass die Methoden mit unterschiedlichen systematischen Fehlern behaftet sind. Erst im Jahr 2008 gelang es durch sorgfältige Studien dieser systematischen Fehler zum ersten Mal, die Ergebnisse aller drei Methoden in Einklang zu bringen. Dabei wurden zunächst die Ergebnisse der Proton-Tagging Methode verwendet um abzuschätzen welcher Anteil der Ereignisse auf Proton-Dissoziation entfällt. Die Ergebnisse der LPS und MX Methoden konnten damit entsprechend korrigiert und anschließend verglichen werden. Ein Beispiel ist in Abbildung 33 zu sehen. Hier ist der reduzierte diffraktive Wirkungsquerschnitt dargestellt. Die Messungen wurden einmal mit der MX und zum anderen Mal mit der LRG Methode gewonnen. Die Tatsache, dass die Ergebnisse der beiden Methoden in guter Übereinstimmung miteinander sind, besagt, dass es gelungen ist, die unterschiedlichen systematischen Effekte der Methoden zu verstehen und zu korrigieren. Das ist in der Tat ein entscheidender Meilenstein zum Verständnis des Phänomens der Diffraction in tiefunelastischer Streuung. Der nächste Schritt wird die Kombination dieser Daten mit denen von H1 sein.

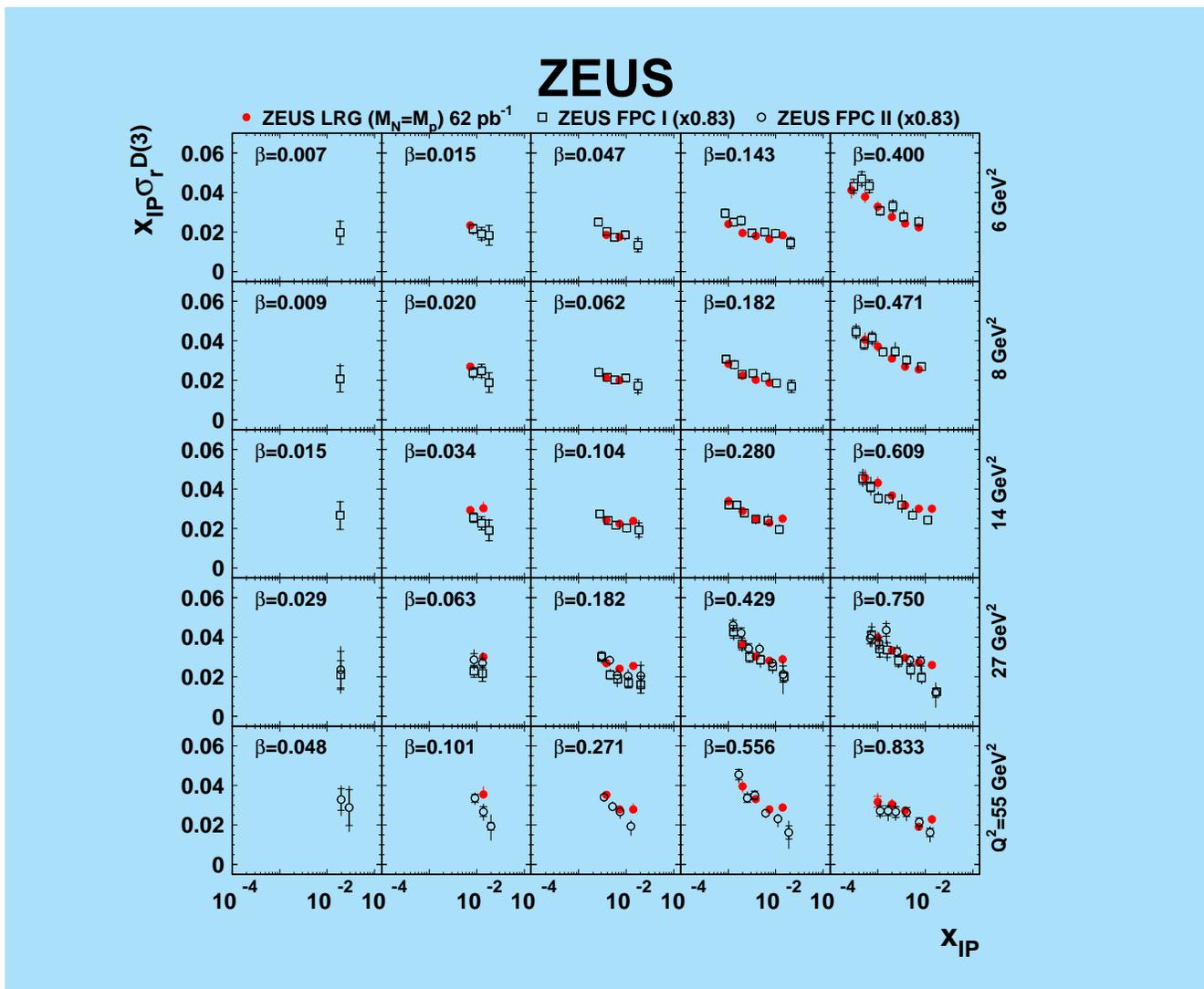


Abbildung 33: Der reduzierte diffraktive Wirkungsquerschnitt mal x_P , $x_P \sigma_r^{D(3)}$ für verschiedene Werte von Q^2 und β bei niedrigem Q^2 . Die Resultate der LRG Methode (volle Punkte) werden mit den Resultaten der MX Methode (offene Punkte und Quadrate verglichen).

Wie bereits erwähnt ist das sorgfältige Verständnis dieser Daten auch in Hinblick auf die Experimente am LHC wichtig. Auch dort wird ein erheblicher Anteil von diffraktiven Prozessen erwartet. Zum einen müssen diese als Untergrund für die Suche nach exotischen Phänomenen angesehen werden. Zum anderen kann man die speziellen Eigenschaften diffraktiver Wechselwirkungen, insbesondere den sauberen hadronischen Endzustand, nutzen, um die Eigenschaften neuer Teil-

chen besser zu untersuchen. In diesem Zusammenhang ist auch die im folgenden beschriebene Untersuchung wichtig.

Tiefvirtuelle Compton Streuung

Zur tiefunelastischen diffraktiven Elektron-Proton Streuung gibt es Beiträge von sehr unterschiedlichen einzelnen Prozessen. Ein besonders interessantes Beispiel,

mittels dessen sich wichtige Eigenschaften sowohl von Diffraktion als auch generische Eigenschaften des Protons untersuchen lassen, ist die tiefvirtuelle Compton-Streuung. Damit bezeichnet man die diffraktive Produktion von reellen Photonen, $ep \rightarrow e\gamma p$. Der Endzustand, den man im Detektor beobachtet, das gestreute Elektron und ein hochenergetisches Photon, ist dabei sehr einfach und sollte entsprechend auch ein besonders geeignetes Laboratorium zum Verständnis der Diffraktion darstellen. Allerdings ist der Endzustand auch identisch mit dem des Bethe-Heitler Prozesses, der Abstrahlung eines Photons vom gestreuten Elektron und muß deshalb statistisch separiert werden.

In perturbativer QCD beschreibt man tiefvirtuelle Compton Streuung durch den Austausch zweier Partonen mit unterschiedlichem longitudinalen und transversalen Impuls in einer farblosen Gesamtkonfiguration. Durch eine Messung dieser Prozesse gewinnt man Daten zu den Generalisierten Partondichten (GPD), die wiederum Informationen über die Wellenfunktion des Protons enthalten. Das gilt ganz besonders für die transversale Verteilung von Partonen im Proton, die mit der Abhängigkeit der GPDs vom Impulsübertrag, t , am Protonvertex zusammenhängt.

Ebenso wie bereits weiter oben diskutiert, ist für diese Messung ein Verständnis des Proton-dissoziativen Untergrunds sehr wichtig. Das gelang mithilfe des ZEUS *Leading Proton Spectrometers* (LPS). Das LPS identifiziert minimal abgelenkte Protonen, die weniger als ein Prozent ihres Longitudinalimpulses verloren haben und bestimmt ihren Transversalimpuls. Daraus lässt sich der Impulsübertrag am Protonvertex berechnen. Die Ergebnisse dieser Messung sind beispielhaft in Abbildung 34 dargestellt. Diese zeigt den Wirkungsquerschnitt als Funktion des Impulsübertrags, t , am Protonvertex. Man beobachtet einen exponentiellen Abfall $d\sigma/dt \propto \exp(-b|t|)$, wobei der Wert von b direkt Auskunft über die transversale Ausdehnung von Protons gibt. Der gemessene Wert von $b \approx 4.5$ ist vergleichsweise klein und verweist darauf, dass die für die Streuung verantwortliche Konfiguration des Protons deutlich kleiner ist als der wohlbekannte Ladungsradius des Protons, der in den 1950'er Jahren von Hofstadter in Brookhaven gemessen worden war.

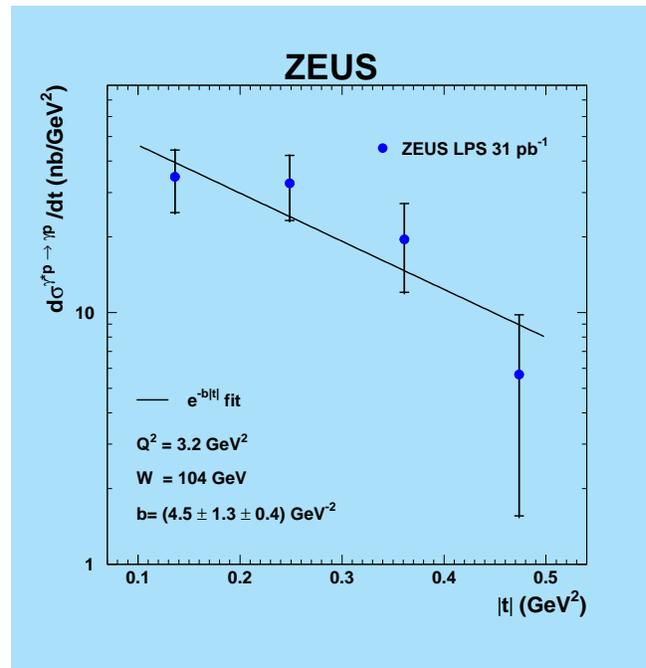


Abbildung 34: Der Wirkungsquerschnitt für tiefvirtuelle Compton Streuung, $ep \rightarrow e\gamma p$ als Funktion des Impulsübertrags, t , am Protonvertex.

Inklusive Wirkungsquerschnitte bei hohen Impulsüberträgen

Die zentrale Zielsetzung beim Umbau von HERA im Jahr 2000 waren Messungen zur Elektro-schwachen Wechselwirkung in Elektron-Proton Kollisionen bei hohen Impulsüberträgen mit longitudinal polarisierten Elektron- und Positronstrahlen. Diese Messungen sind komplementär zu anderen Messungen z. B. bei LEP und Tevatron, da man es bei HERA mit einem Austausch von raum-artigen schweren Eichbosonen zu tun hat. Man untersucht somit einen anderen Sektor des Standardmodells, in dem die Gegenwart anderer schwerer Bosonen denkbar wäre, die mit anderen Experimenten nicht nachweisbar sind. Zusätzlich zu den Parametern der Elektroschwachen Kraft hat man damit auch Zugang zu Partondichteverteilungen bei hohen Werten von x_{Bj} , insbesondere zum Verhältnis von u - und d -Quarks.

Im Berichtszeitraum wurden die endgültigen Messungen der Wirkungsquerschnitte sowohl des geladenen als

auch des neutralen Stroms bei hohen Werten des Impulsübertrags Q^2 , t für Elektron-Proton Wechselwirkungen veröffentlicht. Diese Ergebnisse sind vor allem daher bedeutsam, da aus HERA I nur eine sehr kleine Menge Daten mit Elektronstrahl vorliegt. Die Daten aus HERA II verzehnfachen diese Statistik.

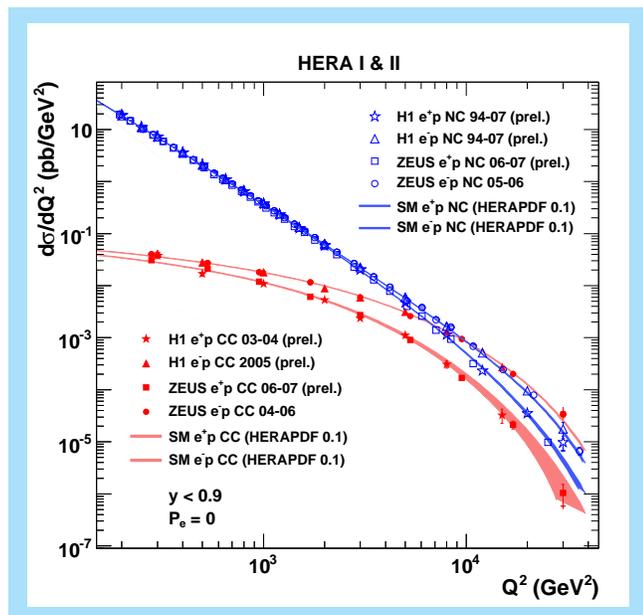


Abbildung 35: Der Wirkungsquerschnitt der tiefinelastische Elektron-Proton Streuung sowohl für Ereignisse des Neutralen Stroms als auch für Ereignisse des Geladenen Stroms. Protonvertex.

Eine Zusammenfassung dieser Ergebnisse ist in Abbildung 35 dargestellt. Diese Darstellung demonstriert auf eindrückliche Weise ein weites Spektrum zentraler Eigenschaften des Standardmodells der Teilchenphysik: Der Wirkungsquerschnitt des neutralen Stroms ($eP \rightarrow eX$, blaue Symbole) fällt über mehrere Größenordnungen mit der Virtualität, Q^2 , des ausgetauschten Bosons, typischerweise eines Photons. Der entsprechende Wirkungsquerschnitt des geladenen Stroms ($eP \rightarrow \nu X$, rote Symbole) dagegen hat einen flacheren Verlauf bei Werten von $Q^2 < 10000 \text{ GeV}^2$ aufgrund der Masse der ausgetauschten W-Bosonen. Bei Werten von $Q^2 \approx m_W^2$ sind beide vergleichbar groß, eine sehr direkte Demonstration der Vereinigung von Elektromagnetischer und Schwacher Wechselwirkung.

Die Unterschiede zwischen Elektron-Proton und Positron-Proton Wechselwirkungen bei den Prozessen des geladenen Stroms erklären sich aus den unterschiedlich großen Partondichten für u- und d-Quarks bei hohem x_{Bj} , wobei man grob erwartet, dass die u-Dichte zweimal so groß ist wie die d-Dichte. Schließlich sind Unterschiede zwischen linkshändig- und rechtshändig-polarisierten Daten zu sehen. Dieser Unterschied ist aufgrund der Paritätsverletzung der Schwachen Kraft bei Wechselwirkungen des geladenen Stroms maximal. Er ist allerdings auch für die Ereignisse des Neutralen Stroms klar zu erkennen. Dort kommt der Effekt durch die Interferenz der durch Photonen vermittelten mit denen durch Z^0 -Bosonen vermittelten Wechselwirkungen zustande. Dementsprechend können aus diesen Daten direkt die Parameter des Standardmodells wie die Masse des W-Bosons und die Fermikonstante bestimmt werden. Außerdem gewinnt man Informationen darüber, wie genau die gemessenen Daten mit den Vorhersagen des Standardmodells übereinstimmen. Aus eventuellen Abweichungen kann man dann auf neue Phänomene oder Teilchen schließen, oder eben auch Grenzen für deren Existenz aufstellen. Ein Beispiel dafür soll im folgenden beschrieben werden.

Suche nach neuen Teilchen

Die Suche nach neuen Teilchen bedarf des detaillierten Verständnisses der erwarteten Prozesse im Standardmodell der Teilchenphysik. Eine hohe Empfindlichkeit für neue Physik ist somit immer dann gegeben, wenn dieser Standardmodelluntergrund gering ist. Ein besonders geeigneter Prozess ist die Produktion freier W-Bosonen. W-Bosonen, die Austauscheteilchen der Schwachen Wechselwirkung, treten, anders als zum Beispiel die Gluonen in der QCD, auch als freie Teilchen auf. Allerdings wird nur eine kleine Zahl von Ereignissen mit freien W-Bosonen bei HERA erwartet. Die Beobachtung einer deutlich größeren Anzahl als erwartet wäre demnach ein Hinweis auf neue Physik,

Eine Untersuchung solcher Ereignisse, in denen das W-Boson leptonic zerfällt, also z. B. in ein Elektron und ein Anti-Elektronneutrino, oder ein Myon

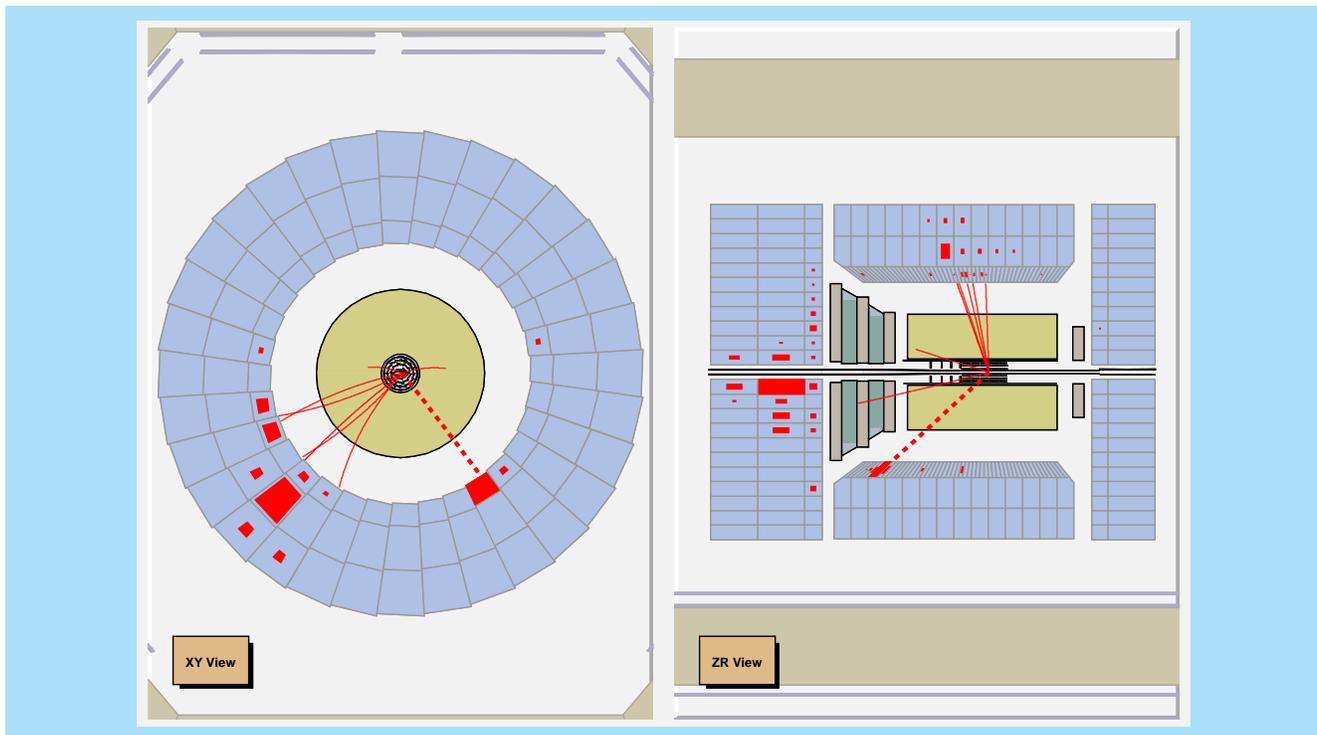


Abbildung 36: Darstellung des Zerfalls eines freien W-Bosons im ZEUS Detektor.

und ein Anti-Myon neutrino, wurde im Berichtszeitraum veröffentlicht. Die Ereignisse, die dieser Untersuchung zugrunde liegen, haben eine besonders spektakuläre Signatur: In vieler Hinsicht ähneln sie den Ereignissen des neutralen Stroms. Allerdings sind das Lepton und das hadronische System nicht gegenseitig balanciert, da das bei der Abstrahlung des W-Bosons ebenfalls entstehende Neutrino im Detektor unsichtbar bleibt. Ein solches Ereignis ist in Abbildung 36 dargestellt. In der XY-Ansicht (links) des Bildes, erkennt man auf der einen Seite den fragmentierten hadronischen Teilchenjet und leicht schräg gegenüber die Spur und die Energiedeposition des Elektrons aus dem der Zerfall des W-Bosons. Dieses Elektron liegt dem hadronischen Teil des Ereignisses nicht direkt gegenüber sondern ist leicht nach unten abgelenkt, sozusagen wie eine Speiche eines Mercedes-Sterns, in dem allerdings die dritte Speiche fehlt. Das weist darauf hin, dass nach rechts oben ein unsichtbares Teilchen, in diesem Fall das Anti-Elektron neutrino, entwichen ist.

In dem gesamten HERA-Datensatz, der nahezu eine halbe Milliarde Ereignisse enthält, und der einer integrierten Luminosität von einem halben inversen Femtobarn entspricht, finden sich nur eine Handvoll solcher W-Boson Ereignisse, in voller Übereinstimmung mit den Erwartungen des Standardmodells. Somit ergeben sich allerdings auch keinerlei Hinweise auf neue Physik in diesem Kanal. Das bedeutet wiederum, dass man den Wirkungsquerschnitt für die Produktion freier W-Bosonen zum Wert von ca. 0.9 pb bestimmt mit einem Fehler von 30 %. Dieser Prozess ist also wie im Standardmodell zweifelsfrei nachgewiesen ohne die Notwendigkeit neuer Mechanismen oder Teilchen.

Ein anderer physikalischer Bereich, in dem nach exotischen Teilchen gesucht wurde, sind die exotischen Kernteilchen oder Hadronen. Hierzu muß eine kurze Erläuterung vorangestellt werden: Man unterscheidet bei den Kernteilchen zwei Gruppen, die Mesonen und die Baryonen, wobei die Mesonen aus zwei und die Baryonen aus drei Quarks aufgebaut sind. Zusätzlich zu diesen sollte es durchaus auch Kernteilchen beste-

hend aus Gluonen, sogenannte Glueballs, oder solche mit vier oder fünf Quarks, also Tetra- und Pentaquarks, geben. Die Existenz derartiger Zustände ist allerdings bis heute nicht nachgewiesen. Die Suche insbesondere nach Pentaquarks hatte in den Vorjahren bereits zu interessanten aber durchaus auch kontroversen Ergebnissen geführt. Im Berichtszeitraum wurde bei ZEUS nun eine Untersuchung von Mesonen veröffentlicht, die in zwei neutrale Kaonen zerfallen.

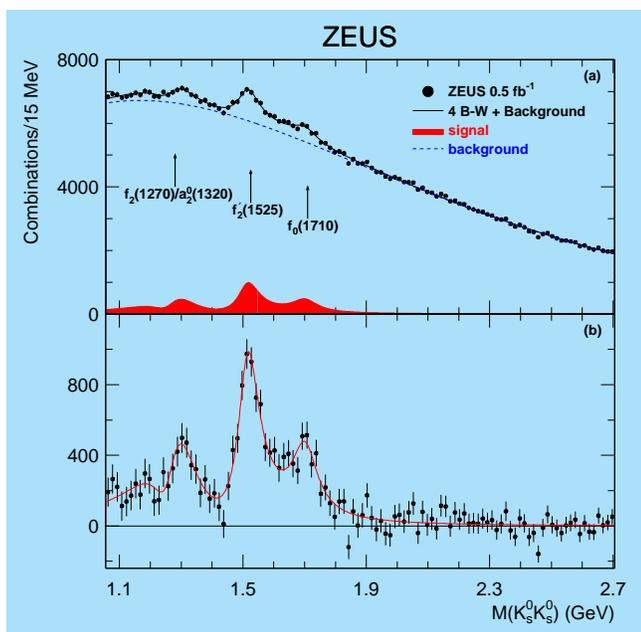


Abbildung 37: Die invariante Masse zweier neutraler Kaonen in eP Kollisionen im ZEUS Detektor.

Bei dieser Untersuchung konnte die Existenz zweier Teilchen bestätigt werden, die bereits mit deutlich geringerer Statistik einige Jahre vorher andeutungsweise gesehen worden waren. Es handelt sich dabei um das $f_2'(1525)$ und um das $f_0(1710)$. Diese Ergebnisse sind in Abbildung 37 dargestellt, in der man die invariante Masse von zwei Kaonen sieht. In einer solchen Darstellung erscheinen Teilchen als Resonanzen, also lokale Erhöhungen, die desto breiter sind, je länger die Lebensdauer eines Teilchens ist. Schmale, wohldefinierte Resonanzen sind also ein Zeichen für langlebige Teilchen. Besonders scharf ist das $f_2'(1525)$, aber auch das $f_0(1710)$ ist ganz klar zu sehen. Letzteres ist von besonderem Interesse, da es sich hierbei möglicherweise

um einen Glueball handelt. Der zweifelsfreie Nachweis eines Glueballs wäre ein erheblicher Schritt voran. Dazu muß jedoch der Produktionsmechanismus des Teilchens besser verstanden werden. An diesem Thema wird deshalb intensiv weitergearbeitet.

Angeregte Charm und Charm-Strange Mesonen

In den Elektron-Proton Kollisionen bei HERA werden in ca. 20 % der Fälle Charm-Quarks erzeugt, die wiederum ein reiches Spektrum von Mesonen bilden. Daher sind die Daten von HERA ein ergiebiges Feld für Untersuchungen mit diesen Mesonen und für die Suche nach bisher unbekannt Zuständen. Obwohl dieses Gebiet bereits seit nunmehr 30 Jahren betrieben wird, wurden dort gerade in allerletzter Zeit spannende Beobachtungen gemacht. Insbesondere die B-Fabriken am KEK und am SLAC haben dazu beigetragen. Ein Beispiel ist das $X(3872)$ Teilchen, das aus Charm Quarks besteht, dessen genaue Struktur und Zusammensetzung noch ungeklärt sind. Es wird inzwischen davon ausgegangen, dass es sich bei diesem Teilchen sogar um eine Art Molekül bestehend aus D-Mesonen handeln könnte. Das wäre dann in der Tat ein vollkommen neuer Zustand der Materie.

Im Berichtsjahr wurde eine sehr umfangreiche Studie zu Charm-Mesonen abgeschlossen und veröffentlicht. In dieser Studie wurden sowohl Mesonen bestehend aus Charm, als auch Mesonen bestehend aus Charm und Strange Quarks identifiziert und ihre Eigenschaften untersucht. Insbesondere wurde die Helizitätsstruktur der Zerfälle dieser Teilchen betrachtet und somit wichtige Beiträge zum Verständnis ihrer Zusammensetzung und Spinstruktur geleistet. In diesem Sinne sind die Daten von HERA komplementär und in einzelnen Kanälen durchaus wettbewerbsfähig mit denen der B-Fabriken. Eine wichtige Beobachtung ist außerdem in Abbildung 38 gezeigt. Dort ist das Ergebnis der Suche nach einem radial angeregten $D^{*\pm}$ gezeigt. Die Beobachtung eines solchen Zustands hatte das OPAL-Experiment veröffentlicht. Ein hypothetisches Signal entsprechend der Beobachtung von OPAL ist als gelbes

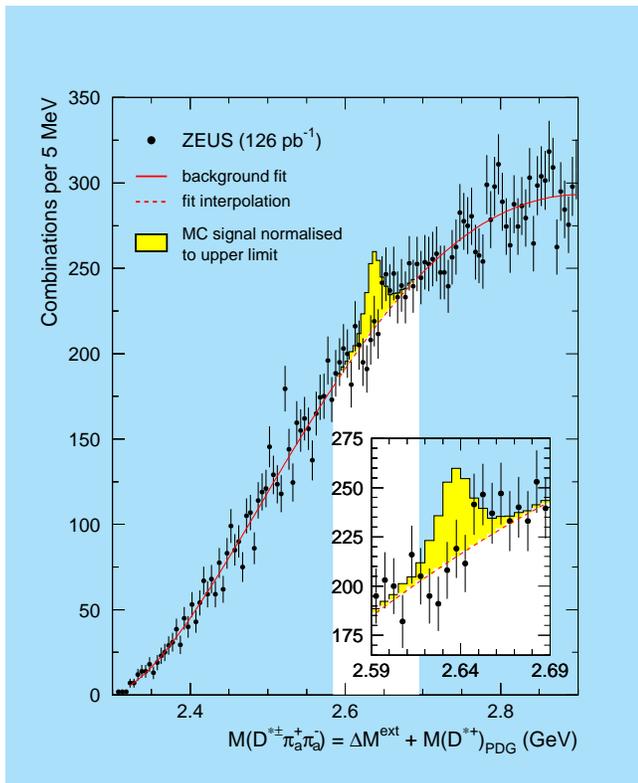


Abbildung 38: Die invariante Masse von Kombinationen von $D^{*/\pm}$ mit zwei gegensätzlich geladenen Pionen.

Histogramm gezeigt. Es ist klar ersichtlich, dass ZEUS das Ergebnis von OPAL nicht bestätigen kann. Der von ZEUS daraufhin gewonnene Grenzwert für die Produktionsraten eines solchen Zustands liegt außerdem deutlich unter dem von OPAL angegebenen Wert.

Aus diesem Ergebnis wird klar, dass die ZEUS-Kollaboration mithilfe der HERA Daten noch wichtige Beiträge zur Klärung offener Fragen in diesem und anderen Gebieten leisten kann.

Schlussbetrachtung

Im Berichtszeitraum konnten von der ZEUS-Kollaboration 18 Artikel mit einem weiten Spektrum von Themen veröffentlicht werden. Die Daten aus dem HERA-II-Run wurden durch verbesserte Kalibrationen in ihren optimalen Zustand gebracht. Die Abschätzun-

gen darüber, wie viele Wissenschaftler an der Auswertung dieser Daten mitarbeiten werden ist durchaus ermutigend. Folglich kann man davon ausgehen, dass auch in den kommenden Jahren mit vielen verschiedenen interessanten Ergebnissen zu rechnen ist.