

Abbildung 15: Diffraktive Quarksinglet- und Gluon-Dichteverteilungen als Funktion des Partonimpulsanteils, z , für verschiedene Werte von Q^2 , wie sie sich aus zwei unterschiedlichen NLO QCD Fits an die Messergebnisse des diffraktiven Wirkungsquerschnitts ergeben. Die beiden Fits A und B unterscheiden sich in der gewählten Form der Parametrisierung der diffraktiven Parton-Dichteverteilungen, siehe Text auf Seite 63.

H1-Experiment

Beteiligte Institute: RWTH Aachen, Univ. Antwerpen, Vinca Inst. of Nucl. Sci. Belgrad, Univ. of Birmingham, Inter-Univ. ULB-VUB Brussels, Rutherford Appleton Lab. Chilton, Inst. for Nucl. Phys. Cracow, Univ. Dortmund, JINR Dubna, CEA Saclay, DESY und Univ. Hamburg, Univ. und MPI Kernphys. Heidelberg, Slovak Acad. Sci. Košice, Univ. of Lancaster, Univ. of Liverpool, QMWC London, Univ. of Lund, Univ. of Manchester, Univ. Marseille, CINVESTAV Merida und Mexico, ITEP und Lebedev Inst. Moscow, MPI Phys. München, Univ. de Paris-Sud Orsay, Ec. Polytech. Palaiseau, Univ. Paris VI und VII, Univ. of Montenegro Podgorica, Czech Acad. Sci. und Charles Univ. Prag, INFN und Univ. 3 Rom, Inst. for Nucl. Research and Nucl. Energy Sofia, Inst. of Phys. and Techn. Mongolian Acad. of Sci. Ulaanbaatar, Paul Scherrer Inst. Villigen, Univ. Wuppertal, Phys. Inst. Yerevan, DESY Zeuthen, ETH und Univ. Zürich.

Sprecher: M. Klein, DESY (bis August 2006); C. Vallée, CPPM Marseille, Frankreich (ab August 2006)

HERA und die H1 Kollaboration konnten im Jahr 2006 wieder einen neuen Rekord in der Luminosität erzielen. Insgesamt wurden für Physikanalysen Daten aufgezeichnet, die einer integrierten Luminosität von 150 pb^{-1} entsprechen. Dies ist eine Steigerung gegenüber dem bislang erfolgreichsten Jahr 2005 um 25%. In der ersten Jahreshälfte wurde der im Herbst 2004 begonnene HERA-Betrieb mit Elektronen fortgesetzt, sodass nun mit insgesamt etwa 180 pb^{-1} eine mehr als zehnmal größere e^-p -Statistik für Physikanalysen zur Verfügung steht als bei HERA I. Im Juli wurde HERA nach einer kurzen Unterbrechung wieder auf den Betrieb mit Positronen umgestellt. Der Wiederanlauf erfolgte problemlos, sodass H1 in der zweiten Jahreshälfte $90 \text{ pb}^{-1} e^+p$ -Daten aufzeichnen konnte.

Die Effizienz der H1-Datennahme konnte im Laufe des Jahres kontinuierlich verbessert werden und erreichte in den letzten Monaten regelmässig Werte um 85%. Alle Detektorkomponenten, einschließlich der drei Ende 2005 wieder eingebauten Siliziumdetektoren (FST, BST und CST) liefen sehr zuverlässig und der schon im Jahr 2005 zu großen Teilen installierte Jet-Trigger wurde erfolgreich in Betrieb genommen.

Die durch Verwendung der dritten Triggerstufe des Fast Track Triggers (FTT L3) gewonnene Flexibilität konnte dazu genutzt werden, die für die Datennahme verwendete Triggerzusammensetzung weiter zu optimieren.

Parallel zur Datennahme wurde das Verständnis der Detektorsystematik und der Kalibration weiter verbessert. Zudem wurden Maßnahmen getroffen, die es erlauben, den Zeitaufwand für eventuelle Wiederholungen der gesamten Datenrekonstruktion auf ein Viertel zu reduzieren. Für die Rechenzeit-intensive Massenproduktion von Monte Carlo Ereignissen werden von H1 inzwischen überwiegend CPU Ressourcen des GRID genutzt. Hier kann H1 auf 5 Computerzentren zurückgreifen, die im Rahmen des GRID zur Verfügung stehen. Die nach Abschluss der Datennahme veränderten Anforderungen im Bereich der Datenverarbeitung wurden in einer Neuauflage des im Jahre 2000 erstellten Dokuments zur H1 Computing Strategie zusammengefasst.

Von den insgesamt 11 im Berichtsjahr veröffentlichten H1-Publikationen sind insbesondere zwei Analysen im Bereich der Diffraktion hervorzuheben, die eine erheblich verbesserte Messung der diffraktiven Partondichten

erlaubten. Die anderen Papiere behandeln weitere Themen im Bereich der Quantenchromodynamik (QCD), zur Photonstruktur und der Produktion von schweren Quarks, sowie Suchen nach Physik jenseits des Standardmodells. Darüberhinaus wurden H1 Resultate in mehr als 120 Vorträgen von Mitgliedern der Kollaboration auf zahlreichen Konferenzen und Workshops vorgestellt. Zu der in diesem Jahr in Moskau stattgefundenen Sommerkonferenz (ICHEP06) wurden von der H1 Kollaboration neben vielen weiteren Beiträgen 29 völlig neue Analysen eingereicht. Erwähnenswert ist, dass zum erstenmal auch ein Beitrag gemeinsam von H1 und ZEUS verfasst wurde, in dem die Resultate beider Kollaborationen zur Interferenz der schwachen und der elektromagnetischen Wechselwirkung bei hohen Impulsüberträgen kombiniert wurden, um eine möglichst genaue Bestimmung der durch die Valenzquarks dominierte Strukturfunktion xF_3 zu ermöglichen. Zudem ermöglichte die Kombination der Daten die erste Beobachtung der Paritätsverletzung für den Neutralen Strom für Distanzen bis hinab zu 10^{-18} m. Verstärkte Zusammenarbeit mit der ZEUS Kollaboration findet auch auf anderen Gebieten der HERA Physik statt. Mittlerweile wurden fünf H1-ZEUS übergreifende Arbeitsgruppen gebildet, deren Aufgabe es ist, die Kombination der gesamten HERA Daten optimal vorzubereiten. Zudem wurde innerhalb von H1 eine neue Arbeitsgruppe eingesetzt, die alle Analysen zur Extraktion von Partondichten und anderen Physikparametern aus den Daten auf eine gemeinsame Basis stellen soll.

Bereits im Herbst 2005 hat H1 sein Interesse bekundet, einen Teil der in 2007 verbleibenden Betriebszeit für Messungen bei reduzierter Protonenergie zu verwenden, um die longitudinale Strukturfunktion des Protons, F_L , modellunabhängig zu bestimmen. In den vergangenen Monaten wurden die vorbereitenden Studien für solch eine Messung sowohl von HERA als auch von H1 erfolgreich fortgesetzt.

Das Forschungsprogramm von H1, das auch nach Ende der aktiven Datennahme auf mehrere Jahre angelegt ist, zieht weiterhin neue Gruppen an. Im Berichtsjahr sind zwei weitere Institute von der H1 Kollaboration als neue Mitglieder aufgenommen worden.

Der H1-Detektor

Datennahme

Nach der Wartungsperiode zum Jahreswechsel begann das H1-Experiment im Februar 2006 mit seiner bisher längsten Datennahmeperiode. Mit Ausnahme der kurzen Unterbrechung beim Wechsel von Elektron- auf Positron-Betrieb Mitte des Jahres, wurde der Detektor kontinuierlich betrieben, und es ist geplant ohne weitere Wartungsperioden bis Mitte 2007 Daten aufzuzeichnen.

Das Jahr 2006 war das erfolgreichste Jahr für HERA und H1, nicht nur in Hinsicht auf die aufgezeichnete Datenmenge sondern auch bezüglich der Datenqualität. Von den von HERA produzierten 200 pb^{-1} kann H1 insgesamt 150 pb^{-1} für Physikanalysen verwenden. Dies bedeutet eine Steigerung der Datenmenge um 25% im Vergleich zum bisher besten Jahr 2005.

In der ersten Hälfte des Jahres wurde die Aufzeichnung von e^-p Kollisionen fortgesetzt und H1 akkumulierte in diesem Betriebsmodus fast 60 pb^{-1} . Damit steht H1 für die Physikanalyse eine e^-p Datenmenge von insgesamt 180 pb^{-1} zur Verfügung. Nach der Umstellung von HERA auf Positron-Betrieb konnte H1 ab Juli bis Ende 2006 etwa 90 pb^{-1} an e^+p Kollisionen aufzeichnen.

Dank der verbesserten HERA Betriebsbedingungen und einer Reihe von Verbesserungen im Bereich der H1 Trigger- und Auslesesysteme sowie der Steuerung der Hochspannungsversorgung konnte die Gesamteffizienz der Datennahme in den letzten Monaten auf etwa 85% gesteigert werden.

Die Richtung der longitudinalen Leptonpolarisation wurde in dieser Datenperiode sowohl für den e^-p als auch für den e^+p Betrieb jeweils einmal gewechselt, um in beiden Datensätzen möglichst ausgeglichene Datenmengen für beide Ausrichtungen zu erhalten.

Reparaturen und Erweiterungen

Der Wiedereinbau der reparierten, bzw. neu aufgebauten Siliziumdetektoren (FST, CST, BST) in der War-

tungsperiode 2005/2006 erforderte ein kurzes Öffnen des Strahlvakuum in der H1 Region. Durch frühzeitiges Abpumpen war das Vakuum bereits bei Beginn der Datennahme im Februar 2006 gut genug, um einen effizienten Betrieb von H1 zu ermöglichen, und hatte schon Ende März seinen Sollwert wieder erreicht.

Um die Stabilität der Datennahme weiter zu erhöhen, wurde für die Auslese der Siliziumdetektoren der optische Ring durch ein schon in der zentralen Datennahme von H1 bewährtes, auf Ethernet basierendes Datennahmesystem ersetzt.

Weitere Wartungsarbeiten betrafen die innere zentrale Proportionalkammer (CIP) und das rückwärtige Kalorimeter (Spacal), was ebenfalls zu einer Verbesserung der Datennahmeeffizienz und der Datenqualität führte.

Ein im Juni 2006, unmittelbar vor dem Wechsel auf den Positronbetrieb, durch Synchrotronstrahlung verursachtes Vakuumleck erforderte die Rücknahme einer im Jahr 2002 vorgenommenen Modifikation des Strahlrohres im Abstand von 6 Metern von H1. In der neuen Konfiguration kann nicht mehr ausgeschlossen werden, dass Abweichungen des Positronorbits vom Sollwert zur Rückstreuung eines erheblichen Teils der direkten Synchrotronstrahlung in das Experiment führen. Um eine mögliche Schädigung von Detektorkomponenten zu vermeiden, musste daher ein automatischer Strahldump implementiert werden. Dies konnte innerhalb kurzer Zeit durch die Verwendung der Signale von zwei unabhängigen Strahlungsmonitoren von H1 realisiert werden.

Im Laufe des Jahres wurden die neuen Elemente des H1 Triggersystems in den Routinebetrieb eingebunden. Die letzte Stufe des Fast Track Triggers (FTT L3) wurde einerseits dazu eingesetzt, die Selektivität vorhandener Trigger zu steigern, und erlaubte andererseits, qualitativ neuartige Trigger zu etablieren. Darüber hinaus wurde der bereits im letzten Jahr installierte Jet-Trigger zur weiteren Optimierung der Triggerzusammensetzung verwendet. Im Hinblick auf die geplante Datennahme bei einer reduzierten Protonenergie von 460 GeV für die Messung der longitudinalen Strukturfunktion F_L wurde ein auf den Signalen von CIP, BST und Spacal basierender neuer Trigger gebaut, installiert und in Betrieb

genommen. Dieser Spacal-Topologische-Trigger (STT) verwendet programmierbare Triggerlogik, um topologische Signaturen in den drei Detektoren zu erkennen und auf diese Weise Untergrund zu verwerfen, was zu einer besseren Ausnutzung der für die Datenübertragung vorhandenen Bandbreite führt.

Physikergebnisse

Quantenchromodynamik

Eine der Veröffentlichungen beinhaltet die Analyse von Zweijet-Ereignissen in der Photoproduktion. In Photoproduktionsprozessen kann das Photon nicht nur als punktförmiges Objekt (*direktes Photon*) an der harten Wechselwirkung teilnehmen, sondern fluktuiert mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit vorher in einen hadronischen Zwischenzustand (*aufgelöstes Photon*). Jets mit hohem Transversalimpuls können sowohl durch eine direkte Wechselwirkung eines Partons aus dem Proton mit dem nahezu reellen Photon, als auch mit einem Parton aus dem aufgelösten Photon erzeugt werden. Die Partonen können hier sowohl Quarks als auch Gluonen sein. Der Wirkungsquerschnitt für die Zweijet-Produktion kann in perturbativer QCD berechnet werden und seine Messung liefert die Möglichkeit, die Partondichten (PDF's) von Proton und Photon zu bestimmen.

Es wurden Daten der Jahre 1999 und 2000 entsprechend einer Luminosität von 67 pb^{-1} untersucht. In der Analyse wurden mindestens zwei Jets mit wenigstens 25 (15) GeV transversaler Energie verlangt. Aus der Kinematik der Jets können die relativen Impulsbruchteile x_γ und x_p der an dem harten Streuprozess beteiligten Partonen des Photons bzw. Protons bestimmt werden. Wirkungsquerschnitte wurden als Funktion dieser Variablen gemessen und mit den Vorhersagen von zwei unterschiedlichen QCD-Modellen verglichen. Im ersten Modell wird der harte Streuprozess in niedriger Ordnung berechnet und Effekte höherer Ordnung durch Partonschauer simuliert. Im Gegensatz hierzu wird in dem zweiten Modell das Matrixelement in nächstführender Ordnung berechnet. In Abbildung 16

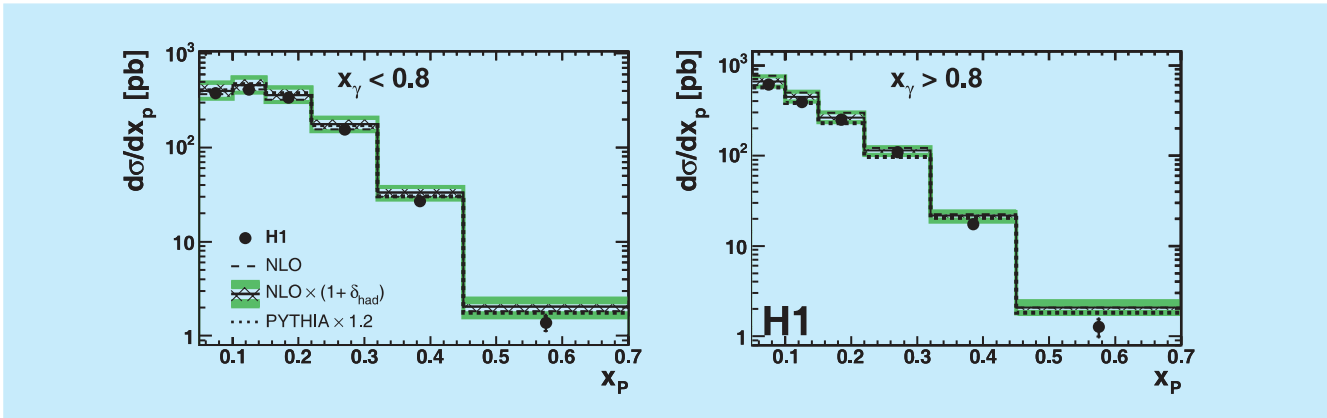


Abbildung 16: Wirkungsquerschnitt für Zweijet-Photoproduktion als Funktion von x_p für zwei Bereiche von x_γ verglichen mit den Vorhersagen zweier QCD-Rechnungen.

wird der Wirkungsquerschnitt als Funktion von x_p für zwei Bereiche von x_γ gezeigt und mit der Erwartung verglichen. Sowohl im Bereich direkter Photonwechselwirkung ($x_\gamma > 0.8$) als auch im Fall aufgelöster Photonstruktur ($x_\gamma < 0.8$) beschreiben beide QCD Rechnungen die Daten gut. Die gute Beschreibung auch anderer, hier nicht gezeigter kinematischer Variablen ist in Übereinstimmung mit unseren Vorstellungen von der Partonstruktur des Protons und der des ausgetauschten Photons und bestätigt unser Verständnis des harten Streuprozesses.

Physik schwerer Quarks

Dem Nachweis schwerer Quarks bei HERA (Charm und Beauty) kommt besondere Bedeutung zu, da bei der Berechnung der Wirkungsquerschnitte schon allein durch die große Quarkmasse eine harte Skala vorhanden ist. Daher sind Rechnungen der perturbativen QCD anwendbar, die experimentell überprüft werden können. Auch in diesem Jahr beschäftigen sich mehrere Veröffentlichungen mit diesem zentralen Thema der HERA Physik. In vorherigen Analysen, über die in den vergangenen Jahren schon berichtet wurde, konnte bereits demonstriert werden, dass bei HERA der dominante Prozess zur Erzeugung schwerer Quarks die Photon-Gluon Fusion ist. Unter Verwendung der HERAI Daten von ca. 50 pb^{-1} konnten nun weitere detailliertere Untersuchungen angestellt werden. In

zwei der Analysen wird die Rekonstruktion von D^* -Mesonen über den Zerfallskanal $D^* \rightarrow D^0\pi \rightarrow K\pi\pi$ verwendet, um Charm-Ereignisse zu selektieren. Dank der um einen Faktor fünf gegenüber früheren Analysen verbesserten Statistik sind bei der ersten der beiden Veröffentlichungen über Ereignisse der Photoproduktion die experimentellen Fehler für inklusive D^* -Wirkungsquerschnitte erheblich kleiner als die Fehler der NLO Rechnung. In den differentiellen Verteilungen werden zum Teil erhebliche Unterschiede zwischen Daten und Vorhersagen beobachtet. Die größere Statistik erlaubt es, Ereignisse zu studieren, die neben dem D^* mindestens einen Jet enthalten. Diese zusätzliche Bedingung erhöht die Sensitivität gegenüber höheren Ordnungen der QCD und bietet die Möglichkeit, zwischen unterschiedlichen theoretischen Vorhersagen zu unterscheiden. Aus den unterschiedlichen Polarwinkelabhängigkeiten der D^* -Mesonen und der Jets lässt sich schliessen, dass diese Jets mit hoher Wahrscheinlichkeit von Gluonen oder leichten Quarks verursacht werden.

Zusätzliche Information erhält man aus der Winkelkorrelation in der transversalen Ebene. In niedrigerer Ordnung erwartet man, dass die beiden Quarks mit einer Winkeldifferenz $\Delta\phi = 180^\circ$ emittiert werden. Da das D^* -Meson und der Jet die ursprüngliche Richtung der Quarks in guter Näherung beibehalten, liefert der Verlauf der $\Delta\phi(D^*, \text{jet})$ -Verteilung wichtige Hinweise auf die Größe von Beiträgen höherer Ord-

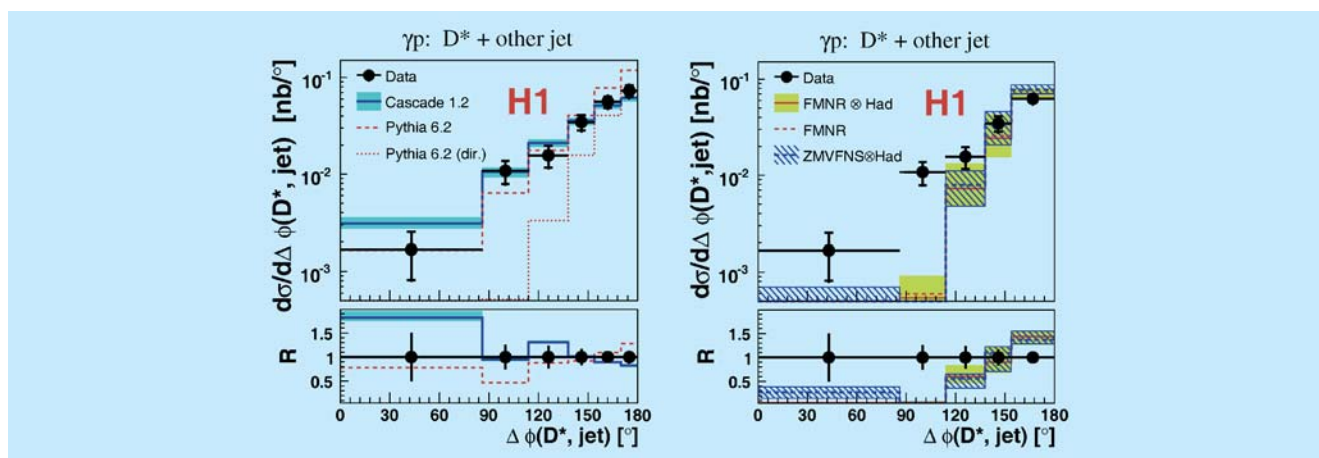


Abbildung 17: Vergleich des gemessenen $D^* + \text{jet}$ Photoproduktions-Wirkungsquerschnitts als Funktion von $\Delta\phi(D^*, \text{jet})$ mit den Vorhersagen von Monte Carlo Programmen (links) und mit NLO Rechnungen (rechts). Im unteren Teil der Figur ist jeweils das Verhältnis von gemessenem zu vorhergesagtem Wirkungsquerschnitt gezeigt.

nung. Abbildung 17 zeigt den gemessenen Wirkungsquerschnitt als Funktion von $\Delta\phi(D^*, \text{jet})$ im Vergleich zu verschiedenen Monte Carlo Vorhersagen und zu Rechnungen in nächst führender Ordnung. Die Abweichungen der Vorhersage des Monte Carlo Programms CASCADE von den Daten zeigen, dass die in diesem Ansatz verwendete unintegrierte Gluondichte den Bereich großer Transversalimpulse k_t etwas überschätzt. Auf der anderen Seite unterschätzen die vorhandenen NLO-Rechnungen den Bereich $\Delta\phi(D^*, \text{jet}) < 120^\circ$ beträchtlich, was auf das Vorhandensein von zusätzlicher harter QCD-Strahlung hinweist. Für Ereignisse, die neben dem D^* zwei Jets enthalten, kann der Anteil des Photonimpulses x_γ^{obs} , der am harten Streuprozess teilnimmt, bestimmt werden. Es zeigt sich, dass in dem Bereich $x_\gamma^{\text{obs}} < 0.6$, in dem aufgelöste Photonen und andere Effekte höherer Ordnung eine Rolle spielen, alle Rechnungen zu kleine Wirkungsquerschnitte liefern.

Die andere erwähnte Veröffentlichung dehnt die Studien von Zweijet-Ereignissen, die ein D^* enthalten, zum ersten Mal auf den Bereich der tief-inelastischen Streuung, $2 \leq Q^2 \leq 100 \text{ GeV}^2$ aus. Der Vergleich der gemessenen Verteilung des azimuthalen Öffnungswinkels zwischen den beiden Jets mit den theoretischen Vorhersagen führt zu sehr ähnlichen Schlussfolgerungen wie im oben diskutierten Fall der Photoproduktion.

Hingegen wird in dieser Analyse die x_γ^{obs} -Abhängigkeit des Wirkungsquerschnittes im Rahmen der Fehler gut vorhergesagt, sodass es hier keine Notwendigkeit für zusätzliche aufgelöste Photon-Beiträge gibt, die über die schon in den NLO-Rechnungen vorhandenen hinausgehen.

Eine dritte Analyse nutzt eine schon mehrfach erfolgreich verwendete, auf der endlichen Lebensdauer der schweren Quarks basierende Technik zur Bestimmung von differentiellen Charm und Beauty Wirkungsquerschnitten für Ereignisse mit zwei Jets in der Photoproduktion. Mit der hohen Präzision des zentralen Siliziumdetektors von H1 (CST) lassen sich schwere Quarks enthaltende Teilchen daran erkennen, dass sie wegen der größeren Lebensdauer nicht schon am Erzeugungsort, dem ep Wechselwirkungspunkt, sondern erst nach einer Strecke von einigen $100 \mu\text{m}$ zerfallen. Während die auf diese Weise bestimmten Charm-Wirkungsquerschnitte gut mit den NLO-Vorhersagen übereinstimmen, liegt der totale Beauty-Wirkungsquerschnitt etwa einen Faktor 2 über der Erwartung, wobei sich die Diskrepanz im Bereich $x_\gamma^{\text{obs}} < 0.85$, wo aufgelöste Photonen eine größere Rolle spielen, noch etwas verstärkt (siehe Abbildung 18 links). In der durch direkte Prozesse dominierten Region, $x_\gamma^{\text{obs}} > 0.85$, stimmen die relativen Beiträge von

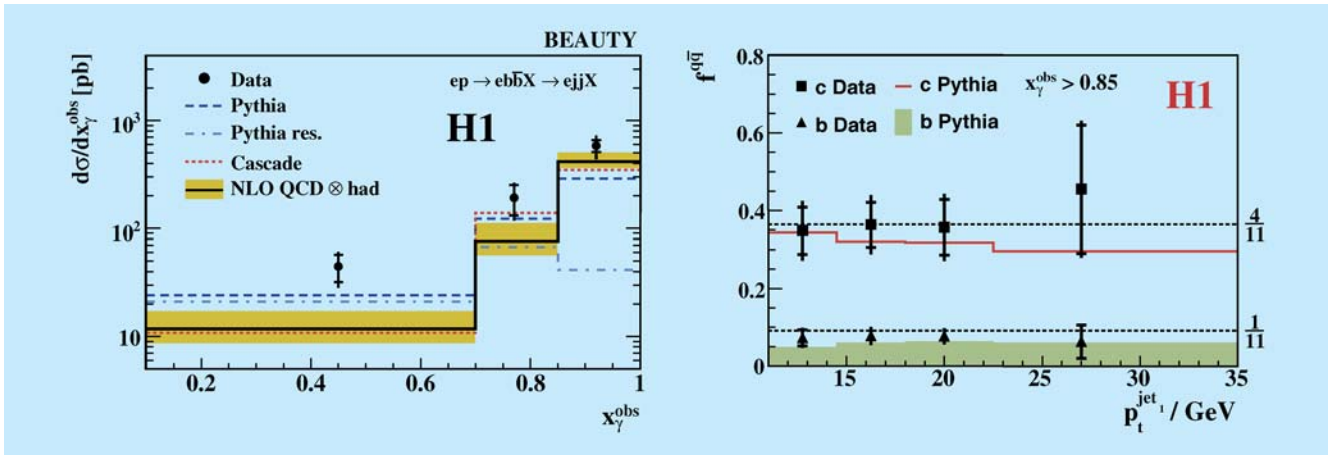


Abbildung 18: Vergleich des gemessenen Photoproduktions-Wirkungsquerschnitts für Zweijet-Ereignisse mit Beauty als Funktion von x_γ^{obs} mit den Vorhersagen von Monte Carlo Programmen und NLO Rechnungen (links). Relativer Anteil von schweren Quarks als Funktion des Jet-Transversalimpulses im Bereich $x_\gamma^{\text{obs}} > 0.85$ (rechts).

Charm und Beauty Ereignissen sehr gut mit der naiven Erwartung für den direkten Photon-Gluon Fusionsprozess überein. Dies ist im rechten Teil der Abbildung 18 zu sehen, wo das Verhältnis für Charm und Beauty als Funktion des Jet-Transversalimpulses dargestellt ist und mit der naiven, sich aus den Quarkladungen ergebenden Erwartung und der Monte Carlo Vorhersage verglichen wird.

Diffraktion

Schon in den frühen HERA Daten wurde eine spezielle Klasse von Ereignissen beobachtet, welche in der Richtung des auslaufenden Protons eine Lücke im Teilchenfluss (*rapidity gap*) zwischen den auslaufenden Protonfragmenten und dem hadronischen Endzustand aufweisen. Solche Ereignisse können dadurch erklärt werden, dass ein farb-neutrales Objekt zwischen dem bei der Elektronstreuung emittierten Photon und dem Proton ausgetauscht und dabei ein hadronisches System erzeugt wird. Die detaillierte Untersuchung dieser Ereignisse gibt Aufschluss über die Struktur des ausgetauschten farb-neutralen Objektes, welches als Pomeron bezeichnet wird.

Einer der einfachsten diffraktiven Prozesse bei HERA ist die Produktion von ρ -Mesonen ($ep \rightarrow epY$), wobei mit Y das auslaufende Proton oder ein angeregter Zustand kleiner Masse bezeichnet wird. Durch Messung des auslaufenden Elektrons und der Zerfallsprodukte des ρ -Mesons ist die Kinematik des Prozesses vollständig bestimmt. Die Reaktion wurde im Bereich der Photoproduktion untersucht, d. h. das Elektron wird unter kleinem Winkel gestreut und das ausgetauschte Photon ist damit quasi reell ($Q^2 \sim 0$). Für das Quadrat des Viererimpulsübertrages auf das Proton, t , wurden jedoch hohe Werte ($1.5 < t < 10 \text{ GeV}^2$) untersucht.

Theoretisch kann man den Prozess derart beschreiben, dass das ausgetauschte Photon in ein Zweiquarksystem fluktuiert, das sich über den Pomeron-Austausch mit dem Proton in ein ρ Meson verwandelt. Die in diesem Experiment erreichten relativ hohen Werte von t erlauben es, den Prozess störungstheoretisch im Rahmen der QCD zu berechnen. In führender Ordnung wird ein farb-neutraler Gluonpaar ausgetauscht. In höheren Ordnungen geschieht der Austausch über Gluonleitern, welche theoretisch im Rahmen der BFKL Entwicklung beschrieben werden können. Die gemessenen Wirkungsquerschnitte werden als Funktion von t gut

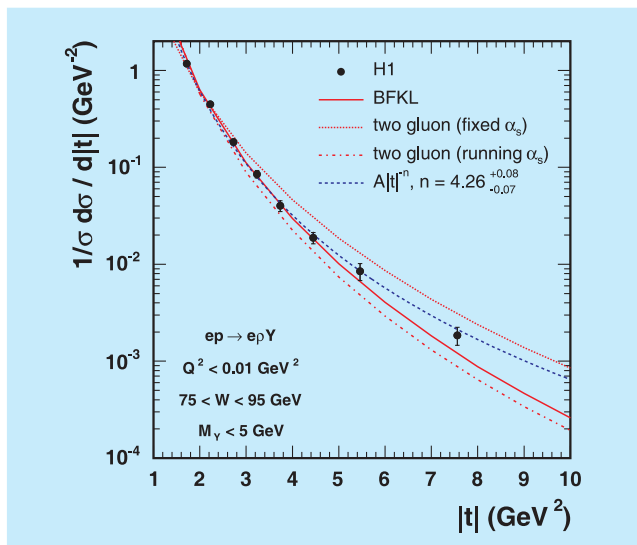


Abbildung 19: Die t -Abhängigkeit des Wirkungsquerschnittes des Prozesses $ep \rightarrow epY$ verglichen mit verschiedenen Vorhersagen der QCD.

von den QCD-Rechnungen beschrieben, insbesondere durch den BFKL Ansatz, wie in Abbildung 19 dargestellt ist.

Ein weiterer interessanter Aspekt dieser einfachen diffraktiven Reaktion ist die Übertragung der Helizität des ausgetauschten Photons auf das Vektormeson ρ . Das quasi reelle Photon hat nur zwei mögliche Helizitätszustände ($h = +1, -1$), während das ρ -Meson auf Grund seiner Masse in drei Helizitätszuständen $h = (+1, 0, -1)$ auftreten kann. Durch Messung der Winkelverteilungen der ρ -Produktion und des ρ -Zerfalls kann bestimmt werden, welche der theoretisch möglichen Werte für den Helizitätstransfer ($\Delta h = 0, 1, 2$) tatsächlich auftreten. Die Messungen ergeben, dass im Gegensatz zur Erzeugung von schweren Vektormesonen (wie des J/Ψ) beim ρ signifikante Beiträge von $\Delta h = 1$ und 2 vorhanden sind, was als Nicht-Erhaltung der s -Kanal-Helizität bezeichnet wird. Obwohl dies in den QCD-Modellen prinzipiell erlaubt ist, ergeben die Rechnungen quantitativ keine Übereinstimmung mit der gemessenen Größe der helizitätsverletzenden Beiträge. Es zeigt sich daher, dass die QCD-Modelle trotz der befriedigenden Beschreibung der t -Verteilung noch nicht

alle Aspekte der diffraktiven Prozesse beschreiben können.

In zwei weiteren Veröffentlichungen wurden diffraktive Streuprozesse inklusiv untersucht, d. h. es wurde dabei keine bestimmte Reaktion, wie z. B. bei der oben beschriebenen Messung, festgelegt. Die so bestimmten inklusiven diffraktiven Wirkungsquerschnitte $\sigma_r^{D(3)}(x, Q^2, x_p)$ bzw. $\sigma_r^{D(4)}(x, Q^2, x_p, t)$ hängen nicht nur von den Variablen x und Q^2 , sondern auch noch von den zusätzlichen diffraktiven Variablen x_p und t ab. Hierbei gibt x_p den Impulsanteil des Pomerons am Protonimpuls an.

In der ersten Veröffentlichung wurden diffraktive Ereignisse durch eine Lücke im Teilchenfluss (*rapidity gap*) identifiziert und der Wirkungsquerschnitt als Funktion von x , Q^2 und x_p im Bereich $3.5 < Q^2 < 1600 \text{ GeV}^2$ gemessen. Der Impulsübertrag t konnte in dieser Analyse nicht bestimmt werden. Die Abhängigkeit des Wirkungsquerschnittes von x_p wird durch $x_p^{-\alpha(t)}$ parametrisiert, mit $\alpha(t) = \alpha(0) + \alpha' t$, in Analogie zur Beschreibung von Messungen diffraktiver Ereignisse in Proton-Proton Wechselwirkungen. Der hier von H1 in tief-inelastischer diffraktiver Wechselwirkung gemessene Wert $\alpha(0) = 1.118 \pm 0.008$ liegt deutlich über dem Wert von $\alpha(0) = 1.08$ aus der Proton-Proton Streuung. Der höhere Wert kann als ein Beitrag von harter Wechselwirkung zum nicht-perturbativen Pomeron interpretiert werden.

Die Messung des inklusiven Wirkungsquerschnittes $\sigma_r^{D(3)}(x, Q^2, x_p)$ kann dafür benutzt werden, die partonische Struktur der diffraktiven Streuung zu untersuchen. Ähnlich wie im nicht-diffraktiven Fall gibt es auch für diffraktive Wirkungsquerschnitte einen Faktorisierungsansatz, der besagt, dass sich der Wirkungsquerschnitt als Faltung einer prozessunabhängigen Partondichteverteilung mit dem Matrixelement des Streuprozesses beschreiben lässt. Aus dem gemessenen Wirkungsquerschnitt $\sigma_r^{D(3)}(x, Q^2, x_p)$ wird die Partondichteverteilung im Pomeron mit Hilfe der DGLAP Entwicklung bestimmt. Die genauen Messungen erlauben zum ersten Mal auch eine Abschätzung der Unsicherheiten der Parametrisierung der Partondichteverteilungen. In Abbildung 15 ist die Quark- und

Gluon-Dichteverteilung als Funktion des Partonimpulsanteils z für verschiedene Werte von Q^2 und zwei verschiedene Parametrisierungsansätze gezeigt.

Es ist deutlich zu sehen, dass beide Parametrisierungen der Quarkverteilungen sehr ähnlich sind, da der inklusive Wirkungsquerschnitt σ_r^D direkt von ihnen abhängt. Demgegenüber unterscheiden sich die nur indirekt aus der Skalenverletzung bestimmten Gluonverteilungen im Bereich großer Werte von z erheblich. Um die Sensitivität auch in diesem Bereich zu erhöhen müssen weniger inklusive Daten, wie z. B. die Messung von diffraktiven Zweijet-Ereignissen hinzugezogen werden.

In der zweiten Analyse wurden diffraktive Ereignisse über den direkten Nachweis des gestreuten Protons im *Forward Proton Spectrometer* (FPS) gemessen. Die Luminosität von 28.4 pb^{-1} mit Signalen im FPS (aufgenommen 1999 und 2000) ist wesentlich kleiner als die der *rapidity gap* Methode. Allerdings erlaubt der Nachweis des gestreuten Protons im FPS auch die Bestimmung des Impulsübertrages t und damit auch die Messung von $\sigma_r^{D(4)}(x, Q^2, x_p, t)$. Während mit der *rapidity gap* Methode nicht unterschieden werden kann, ob das Proton intakt bleibt oder dissoziiert und ein System kleiner Masse M_Y bildet, erlaubt die FPS-Analyse durch den Protonnachweis eine eindeutige Identifikation diffraktiver Ereignisse. Die Messung des differentiellen Wirkungsquerschnittes $\frac{d\sigma}{dx_p dt}$ im Bereich von $2 < Q^2 < 50 \text{ GeV}^2$ und $x_p < 0.1$ erlaubt die Bestimmung der Pomeron-Trajektorie $\alpha(t) = \alpha(0) + \alpha' t$. Der Wert α' bestimmt das sogenannte *Shrinkage*, welches besagt, dass die Breite der t -Verteilung mit wachsender Energie des sekundären Protons, d. h. mit abnehmendem x_p , abnimmt. Dies ist ein typischer Effekt aus der weichen Hadron-Hadron Streuung. Sind hingegen perturbative Prozesse von entscheidender Bedeutung, erwartet man kein *Shrinkage*, also $\alpha' \rightarrow 0$. Die hier vorgestellte Messung ergibt $\alpha' = 0.02 \pm 0.014_{-0.09}^{+0.21}$ für den Bereich $0.0009 < x_p < 0.0094$. Dieser Wert ist kleiner als der Wert $\alpha' = 0.25$ aus weicher Hadron-Hadron Streuung, allerdings im Rahmen der systematischen Unsicherheiten noch damit verträglich. Der gemessene Wirkungsquerschnitt $\sigma_r^{D(4)}(x, Q^2, x_p, t)$ im Bereich $t < 1 \text{ GeV}^2$ wird sehr gut mit den Partondichtevertei-

lungen beschrieben, die aus der *rapidity gap* Methode bestimmt wurden, was eine Bestätigung des Faktorisierungsansatzes darstellt. Darüber hinaus konnte der Anteil von Protodissoziation in den mit der *rapidity gap* Methode bestimmten Querschnitten experimentell zu etwa 20% ermittelt werden.

In einer weiteren Analyse wurden diffraktive Ereignisse untersucht, bei denen schwere Quarks (Charm) erzeugt wurden. Es wurden D^* -Mesonen in Photoproduktion ($Q^2 \sim 0$) und in tief-inelastischer Streuung im Bereich $2 < Q^2 < 100 \text{ GeV}^2$ gemessen, welche über $D^* \rightarrow D^0 \pi \rightarrow K \pi \pi$ zerfallen. Mit einer zweiten Nachweismethode wurde die Vertexverteilung geladener Spuren gemessen, die aufgrund der endlichen Lebensdauer vom Nullpunkt verschoben ist (*displaced track*), wenn schwere Quarks produziert werden. Sowohl in der tief-inelastischer Streuung, als auch in der Photoproduktion, wird der gemessene Wirkungsquerschnitt als Funktion der Variablen des D^* -Mesons gut von Vorhersagen beschrieben, welche auf den aus $\sigma_r^{D(3)}(x, Q^2, x_p)$ bestimmten Partondichteverteilungen beruhen. Dies ist eine sehr wichtige Beobachtung, da sie direkt den oben beschriebenen Faktorisierungsansatz bestätigt. Die Photoproduktion von Jets, wie auch diffraktive Ereignisse der pp Streuung am Tevatron, lassen sich dagegen nicht mit diesen Partondichteverteilungen beschreiben, was eine Abweichung von dem Faktorisierungsansatz bedeutet.

Wenn man das Pomeron als ein 2-Gluon-System begreift und daher die Wahrscheinlichkeit für seinen Austausch als proportional zum Quadrat der Gluondichte im Proton annimmt, lässt sich der gemessene Wirkungsquerschnitt der D^* -Produktion ebenfalls gut beschreiben. Dies bedeutet, dass man auch ohne Einführung neuer diffraktiver Partondichten die Diffraktion als einen speziellen Zustand mehrerer Gluonen des Protons auffassen kann. In Abbildung 20 wird der differentielle Wirkungsquerschnitt für diffraktive D^* -Produktion als Funktion des Transversalimpulses des D^* und seiner Pseudorapidität mit verschiedenen Modellrechnungen verglichen.

Mit der Methode der *displaced tracks* konnte das Verhältnis von diffraktiver Charm Produktion zu in-

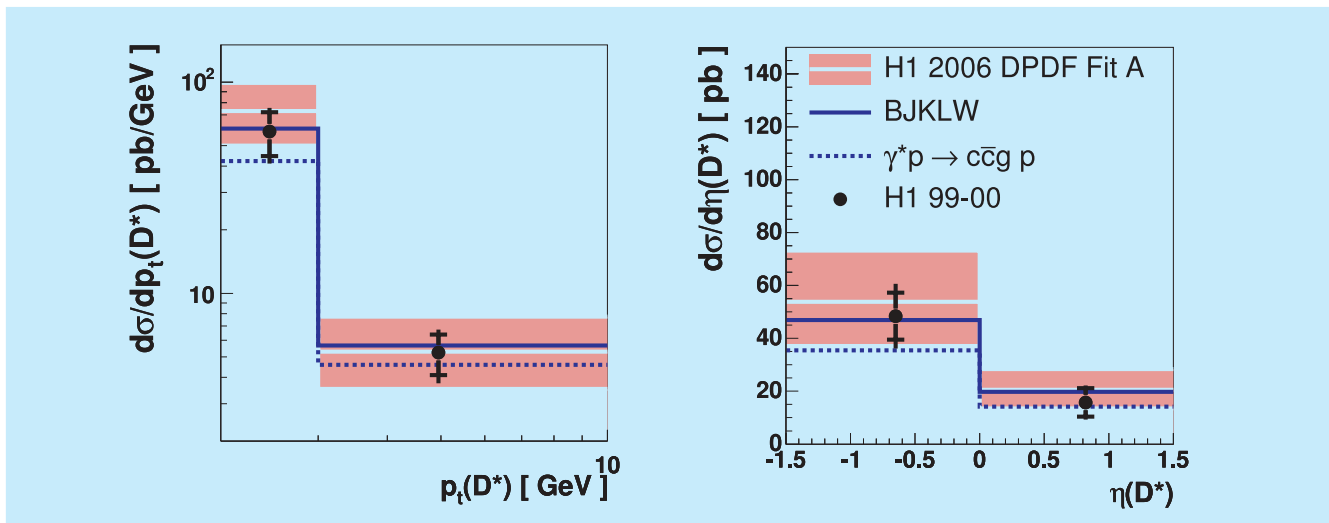


Abbildung 20: Differentieller Wirkungsquerschnitt für diffraktive D^* Produktion in DIS als Funktion des Transversalimpulses, p_t , und der Pseudorapidität, η , verglichen mit Rechnungen basierend auf diffraktiven Partondichten (DPDF Fit A) und solchen basierend auf dem 2-Gluon Modell (BJKLW).

klusiver Diffraction im gleichen kinematischen Bereich zu $f_{\text{diff}}^{\text{cc}} \sim 20\%$ bestimmt werden. Ein ähnlicher Charm-Anteil wurde von H1 in nicht-diffraktiven Ereignissen bei kleinem x und vergleichbarem Q^2 gemessen.

Suche nach Physik jenseits des Standardmodells

Im Berichtsjahr wurde in drei Veröffentlichungen über die Suche nach Physik jenseits des Standardmodells berichtet. Eine Veröffentlichung beinhaltet die Suche nach doppelt geladenen Higgsbosonen, eine andere die Suche nach Teilchen, die aus fünf Quarks (Pentaquarks) aufgebaut sind. In einer weiteren Veröffentlichung werden Tau-Leptonen zur Suche nach neuer Physik benutzt.

Im Jahre 2003 wurde in einer H1 Analyse von HERA I Daten im Zweielektronkanal bei hoher invarianter Masse ein Überschuss von Daten relativ zur Standardmodellerwartung beobachtet. Multileptonereignisse sind unter anderem deshalb interessant, weil sie auf Physik jenseits des Standardmodells sensitiv sind. Im Rah-

men des Standardmodells wird die Erzeugung von Masse durch die Existenz eines hypothetischen neutralen Higgsbosons erklärt. In erweiterten Higgsmodellen treten auch geladene Higgsbosonen auf, so auch zweifach positiv oder negativ geladene. Diese können aufgrund von Ladungserhaltung nur in Leptonpaare zerfallen. Diese Tatsache macht es interessant, nach Leptonpaaren aus Higgszerfällen zu suchen. Die aus vorangegangenen Experimenten bekannten Grenzen auf den Produktionswirkungsquerschnitt schliessen die Möglichkeit eines Nachweises bei HERA nicht aus. Es wurden die gesamten HERA I Daten, die einer integrierten Luminosität von 118 pb^{-1} entsprechen, analysiert. Hierbei wurde in den Zweieleptonkanälen ee , $e\mu$ und $e\tau$ in der invarianten Masse nach Überhöhungen relativ zur Standardmodellerwartung gesucht. Die Selektionskriterien für die Higgsuche erfüllten nur drei Ereignisse im ee -Kanal, ein Ereignis im $e\mu$ -Kanal und ein Ereignis im $e\tau$ -Kanal. Diese Ereigniszahlen sind mit der Erwartung für Untergrundprozesse kompatibel. Aus der Nichtbeobachtung eines Higgs-Signals konnten Grenzen auf die Kopplungsstärke der zweifach geladenen Higgsteilchen an Leptonen als Funktion der Masse abgeleitet werden. Dies ist in Abbildung 21 für

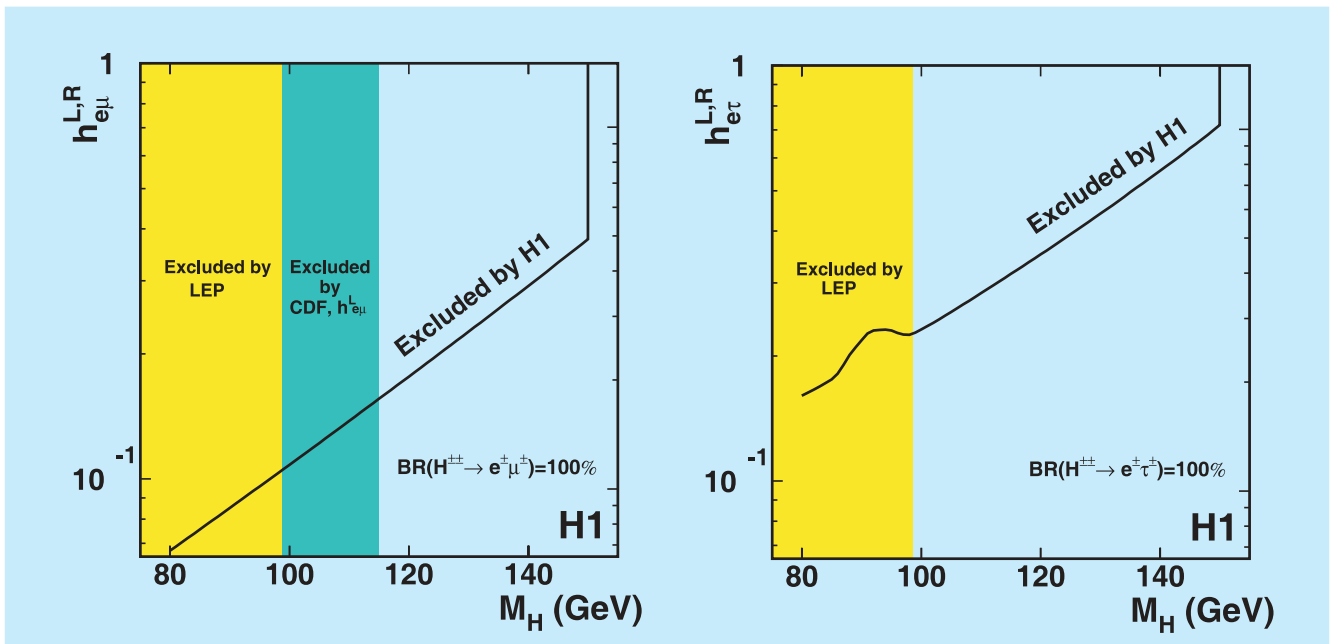


Abbildung 21: Obere Grenzen auf die Kopplung eines zweifach geladenen Higgs an $e\mu$ (links) und $e\tau$ (rechts) als Funktion der Higgsmasse. Von LEP und CDF ausgeschlossene Bereiche sind ebenfalls angegeben.

die $e\mu$ - und $e\tau$ -Kopplung gezeigt. In beiden Kanälen erweitert die Messung den ausgeschlossenen Bereich relativ zu früheren Messungen bei LEP und CDF zu hohen Massen hin beträchtlich. Zum Beispiel sind für eine Kopplung von elektromagnetischer Stärke Higgsmassen unterhalb von 141 GeV (112 GeV) im $e\mu$ ($e\tau$) Kanal ausgeschlossen.

Sehr große Aufmerksamkeit erregte im Jahr 2003 die in einigen Experimenten gemachte Beobachtung von Zuständen, die mit der Erzeugung von sogenannten Pentaquarks verträglich sind. Pentaquarks sind Hadronen, die aus fünf Quarks aufgebaut sind; im Gegensatz zu den bekannten Mesonen, die aus zwei bzw. den Baryonen, die aus drei Quarks bestehen. Der zweifelsfreie Nachweis von Pentaquarks gelang jedoch nicht, da es andere Experimente gab, die das Signal trotz ausreichender Sensitivität nicht bestätigen konnten. Insofern war es interessant, auch bei HERA nach solchen Zuständen zu suchen. Das ZEUS Experiment veröffentlichte 2004 Evidenz für die Erzeugung von Strangeness enthaltenden Pentaquarks in der ep Streuung im $K^0 - (\text{Anti})\text{Proton}$ Zerfallskanal.

Die neue H1 Analyse sucht im selben Kanal ebenfalls nach einer schmalen Resonanzüberhöhung in der invarianten Masse des $K^0 - (\text{Anti})\text{Proton}$ Systems. Verwendet wurden hierzu alle in den Jahren 1996 bis 2000 aufgenommenen Daten. Ereignisse mit gestreuten Elektronen im Bereich $5 < Q^2 < 100 \text{ GeV}^2$ wurden selektiert. Das K^0 wurde in der zentralen Spurkammer (CJC) über seinen Zweipionzerfall nachgewiesen. Das Proton (Antiproton) wurde über die spezifische Ionisation dE/dx in der CJC identifiziert. Es wurde in den Daten keine signifikante Resonanzstruktur über der Untergrunderwartung nachgewiesen. Dies gilt, wie in Abbildung 22 gezeigt, auch für hohe Q^2 und limitierte Protonimpulse, einem Bereich, in dem ZEUS Evidenz für das Pentaquark-Signal hat. Aus der Nichtbeobachtung eines Signals wurden von H1 obere Grenzen für das Produkt aus Produktionswirkungsquerschnitt und Zerfallsverhältnis in $K^0 - (\text{Anti})\text{Proton}$ ermittelt. Diese obere Grenze ist ebenfalls in Abbildung 22 eingezeichnet.

Ereignisse mit Leptonen sind besonders gut geeignet, um nach Physik jenseits des Standardmodells zu su-

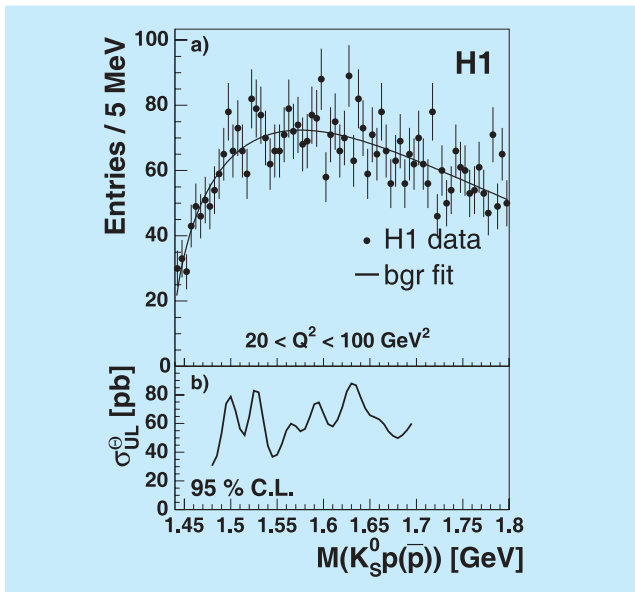


Abbildung 22: Oben: Anzahl der Ereignisse als Funktion der invarianten $K_S^0 p$ Masse. Die durchgezogene Linie zeigt das Ergebnis einer Anpassung einer empirischen Untergrundfunktion an die Daten. Unten: Obere Grenze (95% C.L.) für das Produkt aus Produktionswirkungsquerschnitt und Zerfallsverhältnis des Pentaquarks.

chen. In der Vergangenheit hat H1 nach Anomalien in den Zweileptonkanälen ee und $\mu\mu$ gesucht. Eines der spektakulärsten Ergebnisse von HERA ist jedoch die Beobachtung eines gewissen Überschusses von Ereignissen mit einem Elektron oder Muon und unausgeglichenem gesamten Transversalimpuls. Diese Untersuchungen wurden nun auch auf Leptonen der dritten Familie, die τ 's, ausgedehnt. Hierzu wurden alle bei HERA I gewonnenen Daten auf die Existenz von Ereignissen mit τ -Paaren bzw. auf transversal unbalancierte τ -Ereignisse untersucht. τ -Paare werden im Standardmodell dominant über Photon-Photon-Fusionsprozesse produziert. Diese liefern dann τ 's mit relativ niedrigem Transversalimpuls. Transversal unbalancierte τ -Ereignisse werden dagegen dominant aus leptonen W-Zerfällen erwartet, die aufgrund der hohen W Masse τ 's mit hohen Transversalimpulsen erzeugen.

Nach τ -Paarproduktion wurde sowohl in leptonen als auch in hadronischen τ -Zerfallskanälen gesucht.

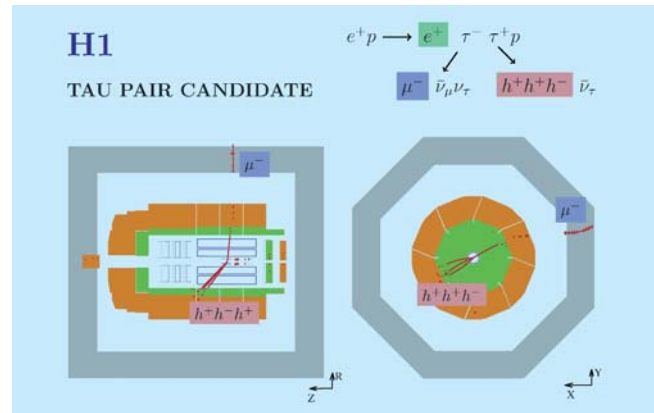


Abbildung 23: Ein τ -Paarereignis, in dem ein τ muonisch und das andere τ hadronisch zerfällt.

Untergrundprozesse wurden erfolgreich mit Hilfe neuronaler Netze eliminiert. Es gelang, 30 τ -Paarkandidaten zu isolieren, wobei insgesamt 27.1 ± 4.1 Ereignisse im Standardmodell erwartet werden, bei einem τ -Paarbeitrag von 16.0 ± 3.4 Ereignissen. Abbildung 23 zeigt ein τ -Paarereignis, in dem ein τ muonisch und das andere τ hadronisch zerfällt. Dieses ist die erste Messung der τ -Paarproduktion in der Elektron-Proton-Streuung. Aus der Ereignisrate wurde ein Produktionswirkungsquerschnitt von $\sigma = 13.6 \pm 4.4 \pm 3.7$ pb bestimmt, was mit der Erwartung von $\sigma = 11.2 \pm 0.3$ pb gut übereinstimmt.

Die Suche nach Ereignissen mit transversal unbalancierten τ 's beschränkt sich auf hadronische τ -Zerfälle. Hier wird verlangt, dass der hadronische Zerfall nur ein geladenes Teilchen beinhaltet und einen stark kollimierten Teilchenjet im Detektor hinterlässt. Eine Selektion analog zu der früher publizierten Suche nach Ereignissen mit transversal unbalancierten Elektronen oder Muonen ergab sechs Ereignisse in guter Übereinstimmung mit der Erwartung des Standardmodells. Im Bereich hoher hadronischer Transversalimpulse, wo im e - und μ -Kanal ein Überschuss an Ereignissen gesehen wurde, zeigten sich im τ -Kanal keine Ereignisse. Aufgrund der geringen Akzeptanz und des hohen Untergrundes im τ -Kanal steht dieses Resultat jedoch quantitativ nicht im Widerspruch zu den Ergebnissen im e - und μ -Kanal.