

Zwischenbericht 2002 an das BMBF

Prof. Ch. Berger
I. Physikalisches Institut der RWTH Aachen

Zusammenfassung

Der fachliche Teil des Zwischenberichts ist etwas ausführlicher als üblich geraten, da mit meinem Ausscheiden im März 2004, das H1 Vorhaben des I. Physikalischen Instituts nicht mehr weitergeführt wird. Es ist daher auch kein neuer Antrag auf Förderung gestellt worden. Der Bericht kann deshalb auch als Schlußbericht aufgefaßt werden, der 2004 nur noch durch Literaturzitate etc. ergänzt werden muß.

Einleitung

Nachfolgend werden die Themengebiete behandelt, die wir in den letzten drei Jahren bearbeitet haben. Innerhalb der H1-Kollaboration haben wir uns auf Analysen zur Quantenchromodynamik (QCD) und zur Suche nach physikalischen Prozessen, die vom Standardmodell nicht beschrieben werden, konzentriert. Diese Arbeiten werden gern durch die Begriffe BSM (*physics beyond the standard model*) oder „Neue Physik“ gekennzeichnet. Über die Beiträge zu H1 hinaus, haben wir aktiv an der Vorbereitung von TESLA mitgewirkt. In diesem Bericht werden nur die theoretischen Untersuchungen behandelt.

1 Jets in der Photoproduktion

Die Messung von Jets in der Photoproduktion erlaubt Tests der Theorie der starken Wechselwirkung (QCD) und der Struktur des Protons und des Photons.

Reaktionen der Elektron-Proton Streuung, bei denen das Elektron unter sehr kleinen Winkeln gestreut wird (genauer: bei sehr kleinen quadrierten Beträgen Q^2 des Impulsübertrags zwischen ein- und auslaufendem Elektron), bilden den Grenzfall des Übergangs zur Photoproduktion. Hier wird die Elektron-Proton Wechselwirkung als Wechselwirkung eines vom Elektron abgestrahlten hochenergetischen reellen Photons mit dem Proton beschrieben. Photonen können innerhalb der Quantenfeldtheorie für eine kurze Zeit in Quarkpaare fluktuieren bevor sie mit dem Proton wechselwirken. Die so entstandenen Quarks strahlen wiederum Gluonen ab. Aus diesem Grunde wechselwirken die Teilchen innerhalb des Protons nicht nur mit Photonen (*direct*), sondern auch mit Quarks und Gluonen aus den Fluktuationen des Photons (*resolved*). Diese Fluktuationen sind beschreibbar mittels der Einführung hadronischer Partondichtefunktionen des Photons.

Die hochenergetischen Photon-Proton Wechselwirkungen produzieren wiederum Quarks und Gluonen im Endzustand. Diese Teilchen sind jedoch nicht observabel, da sie schnell in Bündel von Hadronen, *Jets*, hadronisieren. Die Untersuchung der Paarproduktion von Jets erlaubt die Rekonstruktion der Energien der an der Streuung beteiligten Quarks und Gluonen (Partonen) aus den Energie- und Winkelverteilung der Jets.

Der Bruchteil der Photonenergie, den ein Parton aus dem Photon in die Streuung hineinträgt wird x_γ , die Energie den ein Parton aus dem Proton in die Streuung hineinträgt wird x_p genannt, z.B. ist $x_\gamma = 1$ falls das Photon direkt (als ganzes) mit dem Proton wechselwirkt.

Das Resultat der Analyse von Jets in Photoproduktion ist die Bestimmung von 2- und 3-Jet Wirkungsquerschnitten als Funktion verschiedenster Observablen. Dabei wurde eine signifikante Reduzierung des systematischen Fehlers (im Vergleich zu vorigen Messungen) aufgrund einer detaillierten Studie der Energiekalibration des H1 Kalorimeters erreicht. Jets sind mittels des inklusiven k_\perp Algorithmus definiert und es ist ein Transversalimpuls von mindestens 25 GeV gefordert. Durch die Wahl hoher Transversalimpulse werden nicht-perturbative Korrekturen minimiert.

Abbildung 1a) und b) zeigt beispielsweise den 2-Jet Wirkungsquerschnitt $d\sigma/dx_\gamma$ als Funktion von x_γ für zwei gemessene x_p Bereiche und Figur 1c) und d) den Wirkungsquerschnitt

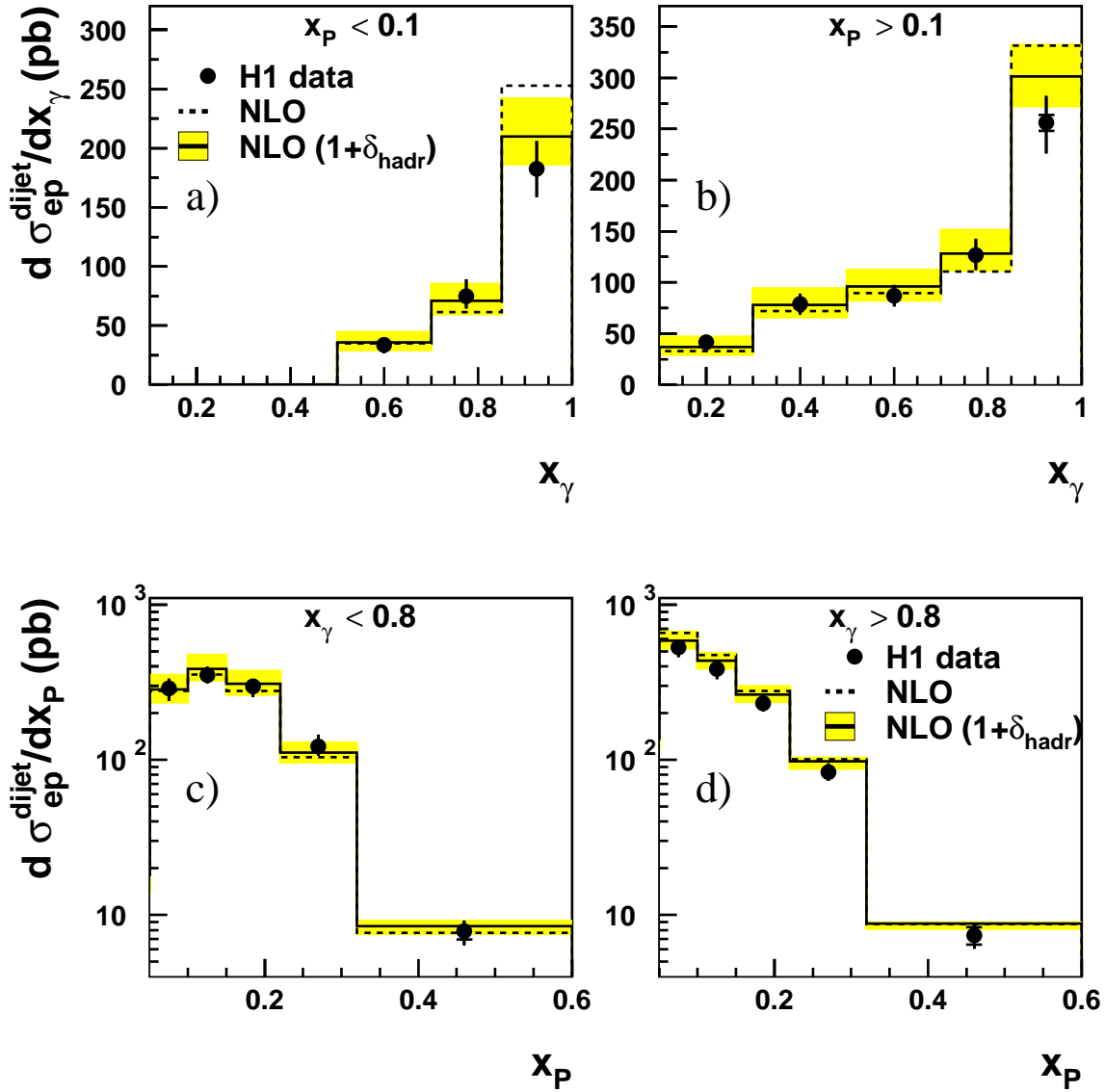


Abbildung 1: Differentieller ep Wirkungsquerschnitt für 2-Jet Produktion als Funktion von x_γ a) und b) und x_p c) und d). Abbildung a) und b) unterscheidet Regionen mit kleinem und großem x_p und Abbildung c) und d) unterscheidet Regionen in x_γ . NLO Vorhersagen mit CTEQ5M Parton Dichte Funktion für das Proton und GRV-HO Parton-Dichte-Funktionen für das Photon sind als gestrichelte Linie dargestellt. Die durchgezogene Linie zeigt die NLO Vorhersagen korrigiert für Effekte der Hadronisierung und das graue Band gibt die Skalenunterschiede der NLO Vorhersage an.

$d\sigma/dx_p$ als Funktion von x_p für unterschiedliche x_γ Bereiche. Die Daten (Punkte) sind verglichen mit Rechnungen der führenden (LO) und nächst-zu-führenden Ordnung (NLO) perturbativer QCD. Bei diesen Rechnungen wurden neueste Parton Dichte Funktionen des Photons und Protons verwendet. Zur Beschreibung der Daten mittels NLO Rechnungen werden keine signifikanten Änderungen der Parton Dichte Funktionen benötigt. Diese Daten sind jedoch

zweifelloos nützlich in der genaueren Festlegung der Parton Dichte Funktionen des Protons und Photons. Diese Analyse war Gegenstand der Dr.-Arbeit von Sascha Caron [4]. Sie wurde von der H1 Kollaboration in Ref. [23] publiziert.

2 Bottom-Jets in der Photoproduktion

Die Physik schwerer Quarks stellt ein ideales Gebiet dar, um die Vorhersagen der perturbativen QCD zu testen. Am Elektron-Proton-Speicherring HERA werden Schwerpunktsenergien von ungefähr 320 GeV erreicht. Der Wirkungsquerschnitt der *top*-Produktion im Rahmen des SM ist bei diesen Schwerpunktsenergien vernachlässigbar klein, so da die Produktion von *beauty*-Quarks (*b*-Quarks) bei HERA ein sehr interessantes Feld zum Test der pQCD bietet. Darüberhinaus spielen *b*-Quarks eine zentrale Rolle im Zusammenhang mit Erweiterungen des SM, wie z.B. Prozesse der *R*-Paritätsverletzenden Supersymmetry (SUSY) oder sog. *flavor changing neutral currents* Prozesse (FCNC).

Alle bei HERA bislang veröffentlichten Messungen der *b*-Produktion basieren auf leptonschen Zerfällen der aus dem *b*-Quark entstandenen *B*-Hadronen. Im Bereich der Photoproduktion liegen die gemessenen Wirkungsquerschnitte alle deutlich über den Vorhersagen der QCD-Rechnungen. Nur eine aktuelle ZEUS-Messung bei hohem Q^2 liefert ein mit der Theorie konsistentes Bild [38]. Dies ist insofern interessant, als bei hohen Virtualitäten Q^2 des Photons Prozesse, die die hadronische Struktur des Photons berücksichtigen, vernachlässigt werden können.

Eine Analyse der *b*-Produktion in Photoproduktion, die die verschiedenen Produktionsprozesse explizit berücksichtigt, bietet daher die Möglichkeit, das Verständnis in diesem Bereich zu verbessern. Im Rahmen unserer Untersuchungen werden zwei Methoden zur Selektion von Ereignissen mit *b*-Quarks getestet: die Multi-Impaktparameter Methode (MIP) und die Methode der expliziten Vertexrekonstruktion. Beide Methoden stellen einen gänzlich neuen Zugang zur Identifizierung von *b*-Quarks bei HERA dar, da nicht mehr ausschließlich leptonsche Zerfälle nachgewiesen werden. Zur Analyse werden 2-Jet Ereignisse mit hohen Transversalimpulsen der einzelnen Jets herangezogen.

Jets, die aus *b*-Quarks entstehen, lassen sich aufgrund der langen Lebensdauer der *B*-Hadronen vom primären Vertex eines Ereignisses trennen. Die MIP-Methode [39] nutzt die hohen Impaktparameter von Spuren, die zu einem solchen Jet gehören, aus um eine Jet-Wahrscheinlichkeit P_{Jet} zu berechnen, die angibt, inwieweit ein Jet mit dem primären Vertex verträglich ist. Abbildung 2 zeigt die Verteilung der Jet-Wahrscheinlichkeit zusammen mit den zur *b*-Produktion beitragenden Anteilen. Ein Schnitt in diese Verteilung dient der Anreicherung einer Stichprobe mit *b*-Jets. Die Unsicherheit des *b*-Wirkungsquerschnitts schlägt sich im Skalierungsfaktor für die Anteile des *b*-Monte-Carlos nieder. Unsere Faktoren stimmen mit den bei HERA an anderer Stelle veröffentlichten Messungen überein.

Abbildung 3 zeigt für eine mit *b*-Jets angereicherte Probe (*Sample* den Impulsbruchteil x_γ^{obs} des Photonimpulses, der aus den beiden führenden Jets im Ereignis rekonstruiert wurde. Die Reinheit in diesem Sample beträgt 57%. Man beobachtet eine deutliche Trennung von direct und resolved Prozessen, wobei die *b*-excitation Prozesse bei weitem den größten Anteil der *b*-resolved Prozesse ausmachen. Als excitation-Prozesse werden Reaktionen benannt, bei denen die *b*-Quarks aus dem Photon stammen.

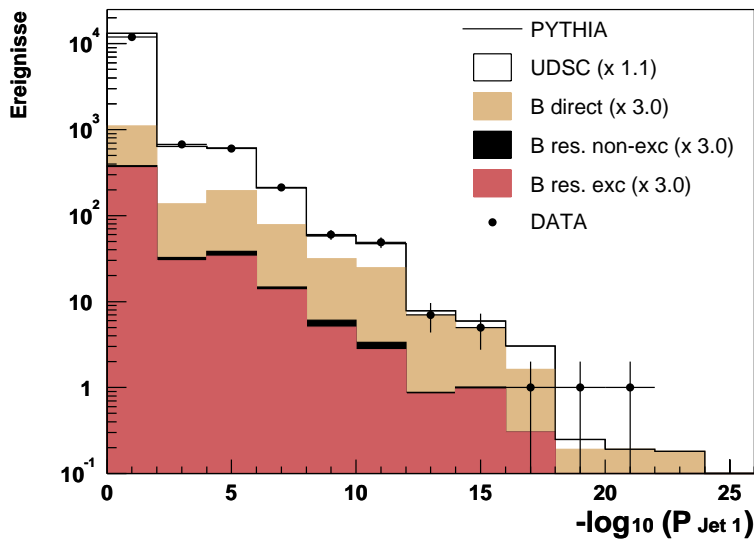


Abbildung 2: Jetwahrscheinlichkeit P_{Jet1} mit einzelnen zur b -Produktion beitragenden Anteilen. In Klammern:

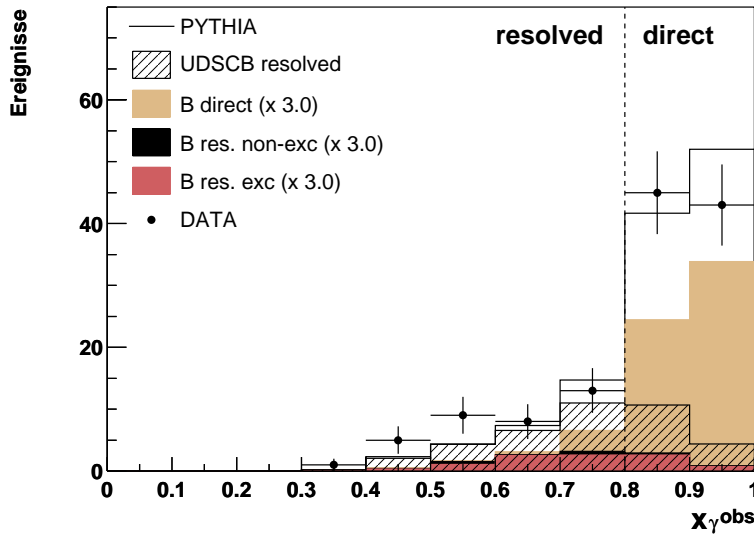


Abbildung 3: Impulsbruchteil x_{γ}^{obs} für ein mit b -Jets angereichertes Sample. Die Bedingung $P_{Jet1} < 10^{-8}$ führt zu einer Reinheit von 57% in diesem Sample. Die gestrichelte Linie repräsentiert die experimentelle Grenze zwischen resolved und direct Photoproduktionsprozessen. Auf der linken Seite sind mehr als 55% der Ereignisse mit b -Anteil auf b -excitation Prozesse zurückzuführen.

Diese Ergebnisse wurden im Rahmen der Diplomarbeit von Lars Finke [1] erzielt. Wegen der Beendigung des Projekts können diese völlig neuen Resultate leider nicht mehr publiziert werden.

3 Ereignisform-Variablen

Ziel dieser Analyse ist die Messung von Ereignisform-Variablen (*Eventshapes*) in tiefinelastischer Streuung und ein anschließender QCD-Test.

Eventshapes ordnen der Hadronkonfiguration jedes Ereignisses eine positive reelle Zahl zu. In tiefinelastischer Streuung ist es dabei erforderlich, zunächst den Protonrest abzutrennen. Dazu wird ein Ereignis im sog. "Breit" Referenzsystem betrachtet, und es werden nur die Teilchen akzeptiert, die in der dem einlaufen Proton abgewandten Hemisphäre liegen (*current hemisphere*, CH). In der Vergangenheit wurden bei H1 die Mittelwerte solcher Größen in Abhängigkeit vom Viererimpulsübertrag Q studiert. Es konnte gezeigt werden, dass eine gute Beschreibung durch perturbative QCD möglich ist, wenn Hadronisierungseffekte durch potenzartige Korrekturterme berücksichtigt werden.

Fortschritte in der theoretischen Behandlung erlauben es mittlerweile, von den Mittelwerten zu den differentiellen Verteilungen der Observablen überzugehen. In unserer Analyse werden daher die differentiellen Verteilungen von folgenden Eventshapes gemessen: Thrust τ , Jetbreite B , Jetmasse ρ , C-Parameter C , Out-of-Plane Momentum K_{out} und Azimutale Korrelation χ . Zwei weitere Eventshapes, y_2 und y_3 , verwenden den k_t -Jetalgorithmus und geben an, bei welchem Wert des Abschneideparameters y der Übergang von einer 1- in eine 2-Jet- bzw. von einer 2- in eine 3-Jetkonfiguration erfolgt.

Der verwendete Datensatz erstreckt sich über die Jahre 1995-2000 und entspricht einer integrierten Luminosität von 115pb^{-1} . Im Vergleich zu bestehenden Analysen wurden eine Reihe von Erweiterungen und Verbesserungen erzielt:

die integrierte Luminosität des Datensatzes ist ungefähr dreimal so groß, der statistische Fehler im Bereich hoher Q konnte somit signifikant reduziert werden

die Rekonstruktion der Hadronen im Endzustand wurde durch die Verwendung von kombinierten Objekten (kombiniert aus Daten der Kalorimeter und der Spursysteme) signifikant verbessert

eine neue Kalibration des hadronischen Kalorimeters halbiert die Unsicherheit in der absoluten Energieskala auf 2%

für die Eventshapes K_{out}, χ und y_3 wird die erste Messung überhaupt in tiefinelastischer Streuung durchgeführt

Die gemessenen Verteilungen werden mit der für die jeweilige Observable zur Zeit besten Theorievorhersage verglichen. Störungstheoretische Rechnungen liegen in bis zu nächstführender Ordnung in α_s vor (NLO), resummierte Beiträge in bis zu nächstführenden Logarithmen der Observable (NLL). Die nicht perturbative Hadronisierung kann mit Potenzkorrekturen behandelt werden.

Abbildung 4 zeigt die Datenverteilungen und die theoretische Vorhersage für den Thrust. Die sechs Q -Bins wurden in der logarithmischen Darstellung zur besseren Vergleichbarkeit übereinander angeordnet. (Im Unterschied zum üblichen Verfahren in der Elektroproduktion wird hier Q und nicht Q^2 als Variable gewählt.) Den Datenverteilungen liegt ein Teil des gesamten Datensatzes zugrunde. Die Kurven resultieren aus einer resummierten NLO Rechnung mit Potenzkorrekturen. Eine Anpassung der beiden freien Parameter ergab Werte von $\alpha_s = 0.117$ und

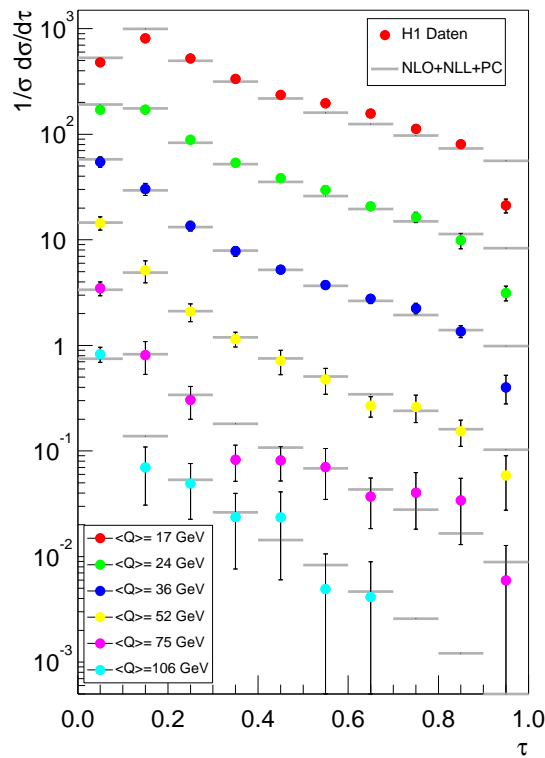


Abbildung 4: Verteilung des Thrust.

$\alpha_0 = 0.5$. Bis auf das niedrigste Q -Bin erkennt man eine gute Beschreibung der Daten durch die Theorie. Nach Abschluß der Dr. Arbeit von Thomas Kluge [7] wird eine Publikation durch H1 angestrebt.

4 Myonpaarproduktion in Elektron-Proton Kollisionen

In Elektronen-Proton Kollisionen am H1 Experiment wird die Myonpaarproduktion bei hohen invarianten Massen untersucht. Von besonderem Interesse sind die nicht resonante Produktion von Myonpaaren, die hauptsächlich durch den Zwei-Photon-Prozess erzeugt werden und die Produktion der Υ -Resonanz, die durch ihren Zerfall in ein Myonpaar nachgewiesen werden kann.

Myonen zeichnen sich durch eine klare Signatur im Detektor aus. Sie eignen sich daher vorzüglich zur Suche nach neuen Phänomenen. In leptonischen Zerfallskanälen werden am H1 Experiment Überschüsse an Daten im Vergleich zur Vorhersage beobachtet. [11, 37]. Um diese Beobachtungen zu überprüfen, muß bewiesen werden, daß die Myonpaarproduktion in Prozessen des Standard-Modells verstanden ist.

Myonen werden im H1 Detektor durch eine Verbindung einer Spur im Myondetektor oder einer Signature im Liquid Argon Kalorimeter mit einer inneren Spur gemessen. Es wird verlangt, daß die Myonen von anderen Spuren isoliert sind. Der Hauptuntergrund aus kosmischer Höhenstrahlung kann an Hand der Kollinearität und des Zeitverhaltens der Myonen unterdrückt werden.

Myonpaare werden im wesentlichen durch den Zwei-Photon-Prozess erzeugt, bei dem sowohl vom Elektron als auch vom Proton jeweils ein Photon abgestrahlt werden, die dann miteinander wechselwirken und ein Myonpaar erzeugen. Daneben existieren als weitere nicht resonante Beiträge bremsstrahlungsartige Prozesse, bei denen das von einem der Strahlteilchen abgestrahlte Photon in ein Myonpaar konvertiert. Im beobachteten Phasenraum führen diese Prozesse durch negative Interferenz zu einem um etwa 10 % erniedrigten Wirkungsquerschnitt.

In Abbildung 5 ist der Wirkungsquerschnitt der Myonpaarproduktion als Funktion der invarianten Masse des Myonpaares aufgetragen. Alle gemessenen Wirkungsquerschnitte der Myonpaarproduktion stimmen sehr gut mit dem Standardmodell überein. Die von uns vorgeschlagene Publikation dieser Dr.-Arbeit von Boris Leißner [5] läuft zur Zeit innerhalb der Kollaboration um.

Bei relativ niedrigen invarianten Myonpaarmassen liegt die Υ -Resonanz ($M_{\mu\mu} = 9.5 \text{ GeV}$). Dieser gebunden $b\bar{b}$ Zustand kann entweder diffraktiv oder durch Boson-Gluon Fusion erzeugt werden. Diffraktive Prozesse lassen sich noch in elastische und proton-dissoziative Prozesse einteilen. Bisher ist in ep Kollisionen nur die elastische Υ -Produktion mit äußerst geringer Statistik untersucht worden. Mit der in den Jahren 1999 und 2000 genommenen Datenmenge, die einer Luminosität von etwa 70 pb^{-1} entspricht kann die Messung des elastischen Wirkungsquerschnitts dieser Resonanz deutlich verbessert werden. Diese Messung von besonderem Interesse, da die theoretischen Modelle der „Skewed Parton densities“ [40] hiermit überprüft werden können. In der Abbildung 6 wird der Wirkungsquerschnitt der Messung mit anderen HERA Messungen verglichen, die alle auf einem wesentlich kleineren Datensatz basieren. Der Wirkungsquerschnitt ist als Funktion der Schwerpunktsenergie des Photon-Proton Systems $W_{\gamma p}$ dargestellt. Die Messung stimmt sehr gut mit der Vorhersage überein. Allerdings ist sie im Rahmen der Fehler auch verträglich mit den bisherigen Messungen.

Erstmals wird auch die nicht elastische Υ -Produktion bei H1 nachgewiesen. Die Untersuchung, in wie weit die beobachteten Ereignisse durch Boson-Gluon Fusion oder mittels proton-dissoziativer diffraktiver Prozesse erfolgt ist noch abzuschliessen. Die hier beschriebenen Analysen der Paarproduktion von Myonen im Bereich der Υ -Resonanz waren Gegenstand der Diplomarbeit von Carsten Schmitz [3]. Auch sie konnte wegen Beendigung unseres Vorhabens nicht mehr zu einer Publikation geführt werden.

5 Suche nach anomaler W Produktion im hadronischen Zerfallskanal

Die größte Abweichung vom Standard Modell, die bei HERA bisher gefunden wurde, ist ein Überschuß von Ereignissen mit einem isolierten Elektron oder Muon, einem Jet mit hohem Transversalimpuls (p_T^X) und fehlenden Transversalimpuls [11]. Im Standard Modell (SM) können solche Ereignisse durch die Produktion eines Jets und eines W Bosons auftreten. Eine

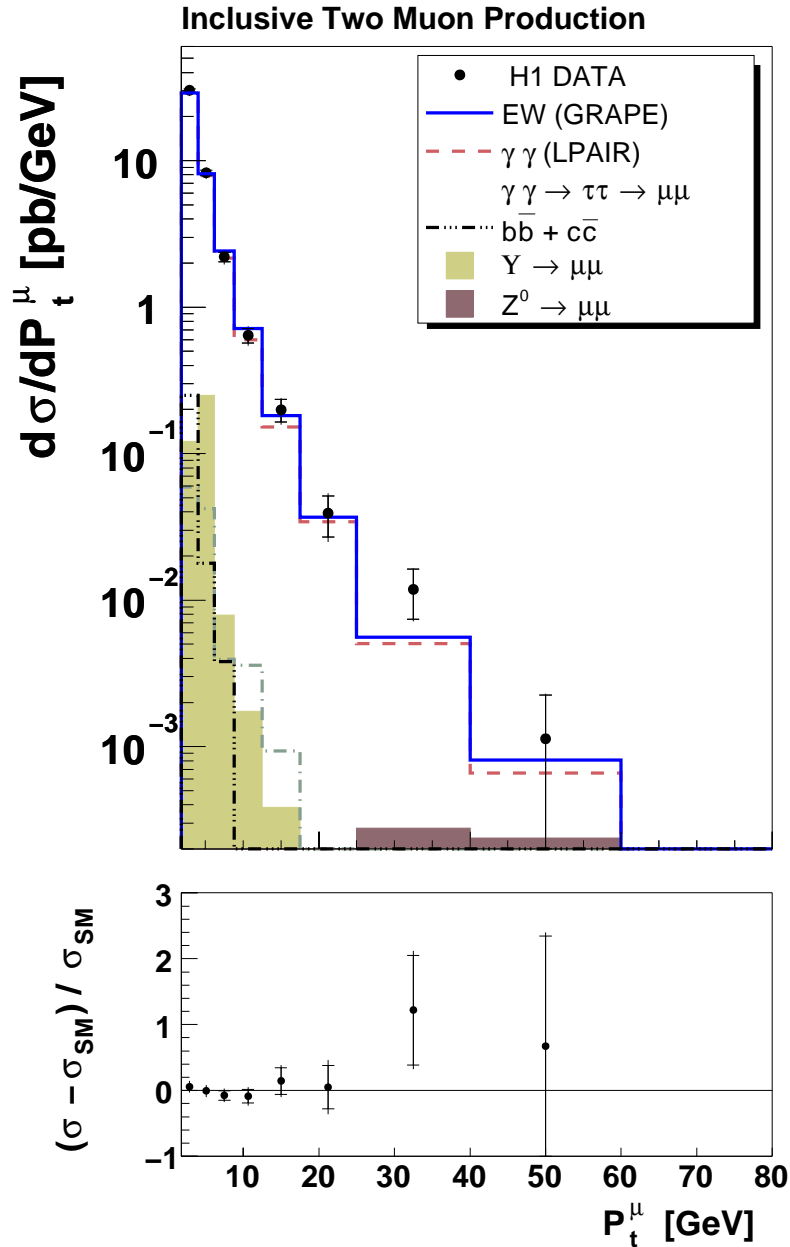


Abbildung 5: Wirkungsquerschnitt der Myonpaarproduktion in ep Wechselwirkungen als Funktion der invarianten Masse der Myonpaare $M_{\mu\mu}$ im Vergleich zur elektroschwachen Vorhersage mit dem Monte Carlo Program GRAPE. Der Beitrag des dominanten Zwei-Photon Prozess (LPAIR) und der Z^0 -Resonanz sind auch noch einzeln dargestellt. Der Anteil anderer Prozesse an der Myonpaarproduktion ist ebenfalls dargestellt: $\gamma\gamma \rightarrow$, Zerfälle schwerer Quarks ($c\bar{c}$ und $b\bar{b}$) und der Zerfall der Y -Resonanz. Das untere Bild zeigt die relative Abweichung der Messung von der Vorhersage des Standardmodells. Die inneren Fehlerbalken stellen den statistischen Fehler dar, die äußeren die quadratische Summe des statistischen und systematischen Fehlers.

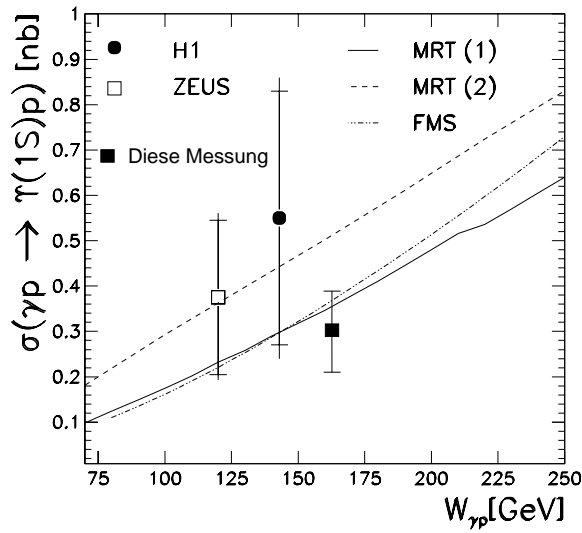


Abbildung 6: Wirkungsquerschnitt der elastischen Upsilon-Produktion als Funktion der Scherpunktsenergie $W_{\gamma p}$ des Photon-Proton Systems.

mögliche Erklärung des Überschusses ist eine anomale Produktion von W Bosonen durch BSM-Prozesse. Unsere Suche im hadronischen Zerfallskanal des W Bosons im gleichen Phasenraum zeigt eine gute Übereinstimmung mit der SM-Erwartung. Dies reduziert die Wahrscheinlichkeit der Hypothese von anomaler W Produktion bei $p_T^X > 40$ GeV, dem Bereich mit der größten Abweichung.

Abbildung 7 zeigt die 2-Jet Massenverteilung für Jetpaare, die die größte Wahrscheinlichkeit vom W Zerfall zu stammen, besitzen und die Verteilung des Transversalimpulses p_T^X des zusätzlichen Jets. Zur Bestimmung der höchsten Effizienz und Reinheit zur Suche nach hadronisch zerfallenden W Bosonen wurden multivariate Techniken entwickelt und verglichen. Die Resultate dieser Analyse wurden von H1 in Ref. [33] veröffentlicht und werden Teil der Dr. Arbeit von Gilles Frising [8] sein.

6 Generelle Suche nach neuen Phänomenen bei HERA

Die Grundidee dieser Analyse ist eine modellunabhängige Suche nach Signalen neuer Physik in allen möglichen Endzuständen bei hohem Transversalimpuls. Für diese Analyse wird eine genaue und unzweifelhafte Definition von sogenannten Objekten benötigt. Objekte sind Jets, Photonen, Elektronen und Neutrinos mit hohem transversalem Impuls. Hierfür wurde im Rahmen der Diplomarbeit von Markus Stoye [2] die Identifikation von Photonen bei H1 signifikant verbessert. Nach der Definition von Objekten werden alle H1 Ereignisse nach Anzahl und Typ der Objekte in *Ereignisklassen* eingeteilt, z.B. in die Photon-Elektron, Jet-Jet oder Jet-Jet-Neutrino Klasse. Die Anzahl der selektierten Ereignisse pro Ereignisklasse und die SM-Erwartung ist in Abbildung 8 dargestellt.

Kinematische Größen mit hoher Sensitivität auf neue physikalische Signale werden bestimmt, z.B. die Summe der transversalen Impulse der Objekte oder die invariante Masse aller Objekte einer Klasse. Ein neuartiger Suchalgorithmus wurde speziell für diese Analyse

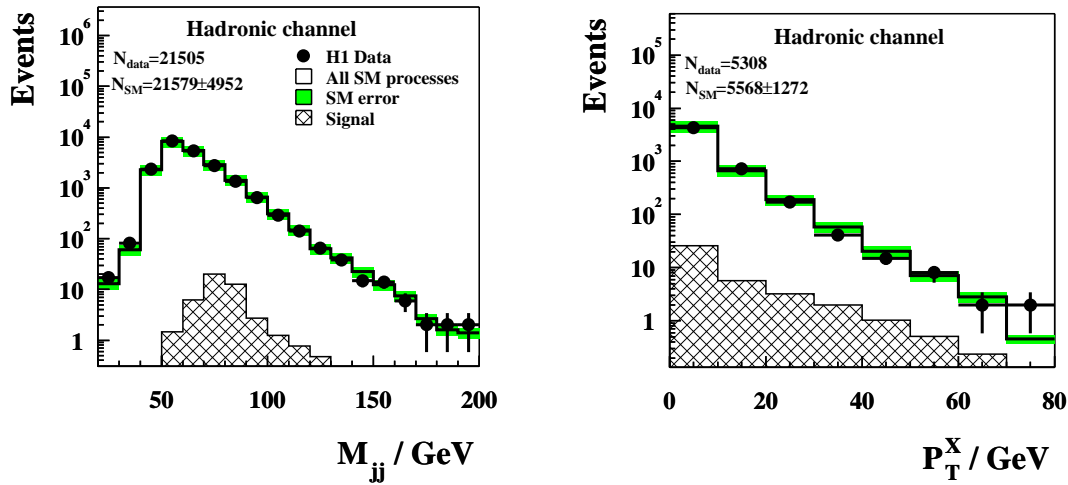


Abbildung 7: Die 2-Jet Massenverteilung M_{ij} (links) und die P_T^X Verteilung für $M_{ij} > 70$ GeV verglichen mit dem Standard Modell (offenes Histogramm). Das schraffierte Histogramm zeigt die Standard Modell W Erwartung.

entwickelt. Der Algorithmus sucht in den Verteilungen der kinematischen Größen nach der Region mit der jeweils größten Abweichung und quantifiziert diese anhand von sogenannten hypothetischen Experimenten. Er bestimmt dazu, in wie vielen hypothetischen Experimenten eine größere Abweichung vorliegt als die, die in den Daten gefunden wurde. Abbildung 9 zeigt beispielhaft die Ereignisanzahl pro bin als Funktion der Summe der transversalen Impulse der Objekte der Elektron-Jet Klasse und der Elektron-Elektron-Klasse.

Resultat dieser Analyse werden die Regionen mit der größten Abweichung zum SM sein, zusammen mit einer statistischen Quantifizierung der Abweichungen. Diese Multi-Kanal Analyse wird die allgemeinste Suche nach neuer Physik (in einer Analyse) sein, die bisher an einem Hochenergie-Experiment durchgeführt wurde. Sie wird in den Dr.-Arbeiten von Martin Wessels [9] und Gilles Frising [8] beschrieben werden. Es wird eine Publikation der Resultate im Rahmen der H1 Kollaboration für den Sommer 2003 angestrebt.

7 Suche nach dem Stop Quark in R-Paritäts-verletzender Supersymmetrie bei H1

Neben der generellen Suche nach Abweichungen vom Standard-Modell wurden auch unsere früheren Suchen nach BSM-Physik in besonders ausgewählten Kanälen fortgesetzt. Hier haben wir uns in jüngster Zeit der Suche nach SUSY-Signalen im bosonischen Stop-Zerfall bei H1 zugewandt. Es werden wie üblich Ausschlussgrenzen im SUSY-Parameterraum bestimmt, falls kein Signal gefunden wird. Die hier behandelte Analyse umfaßt den in den Jahren 1995 bis 2000 genommenen Datensatz der Positron-Proton-Streuung ($\mathcal{L} \approx 100 \text{ pb}^{-1}$).

Die ep-Streuung bei HERA ermöglicht die resonante Erzeugung des Stop Quarks über die sog. Kopplung λ'_{131} . Das Stop Quark kann im Anschluss bosonisch zerfallen:

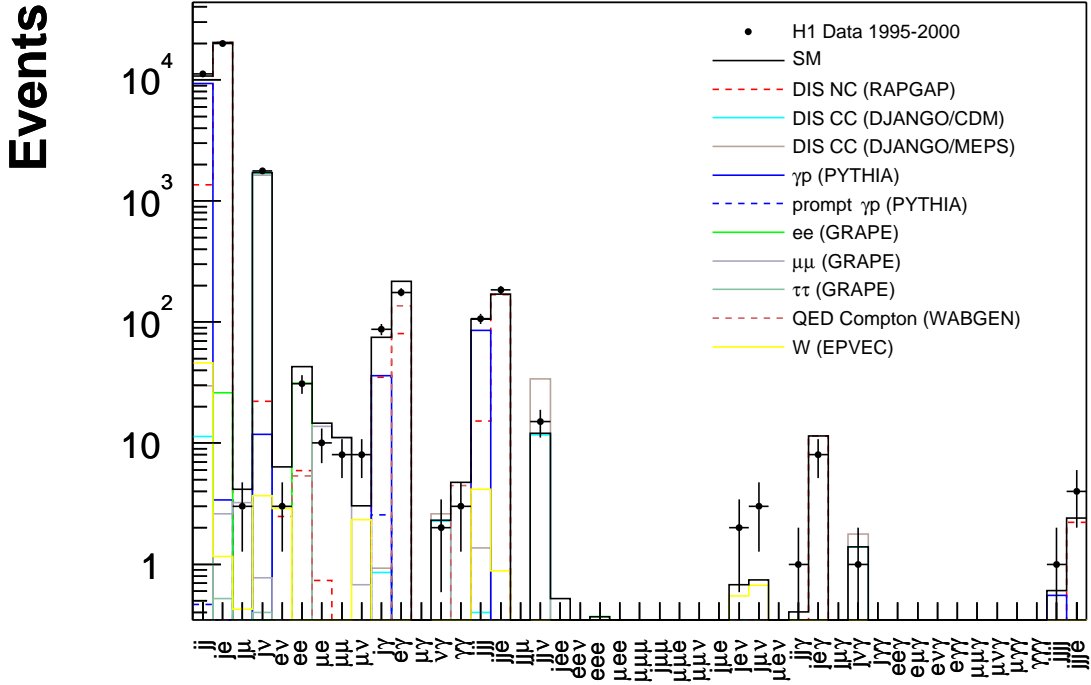


Abbildung 8: Die Anzahl der gemessenen Ereignisse und die SM Erwartung für alle Ereignisklassen.

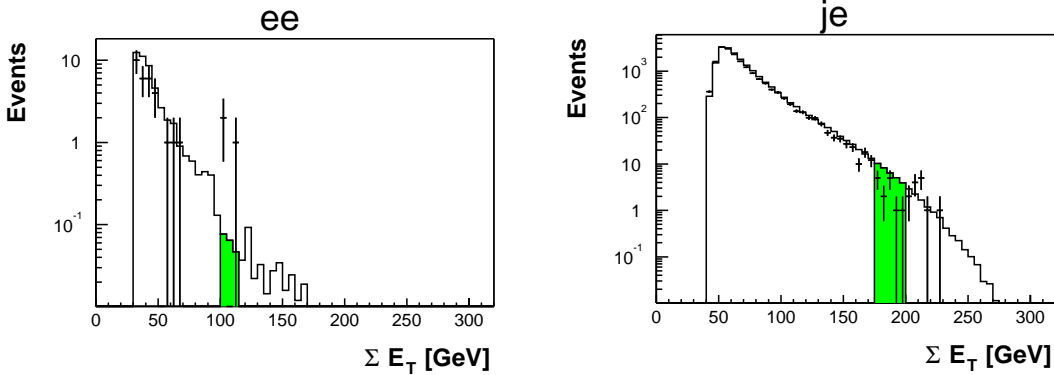


Abbildung 9: Anzahl der gemessenen Ereignisse pro Bin als Funktion der Summe der Transversalimpulse (Punkte) und die SM Erwartung für die Jet-Elektron (je) und Elektron-Elektron Ereignisklasse. Die farbige Fläche gibt die mit dem Suchalgorithmus bestimmte Region der größten Abweichung an.

$$e^+d \longrightarrow \tilde{t} \longrightarrow \tilde{b}W^+$$

Dieser Prozess wurde in bisherigen Analysen bei H1 nicht untersucht. Unter der Annahme, daß das Sbottom R-Paritäts-verletzend zerfällt während das W-Boson leptonisch oder hadronisch zerfallen kann, bleiben drei zu untersuchende Endzustände: $j e P_T^{miss}$, $j \mu P_T^{miss}$ und $j j j P_T^{miss}$.

Hierbei könnten die ersten zwei Signaturen eine mögliche Erklärung für die bei H1 aufgetretenen high P_T -Lepton Ereignisse sein.

Zerfall	Endzustand
$\tilde{b} \longrightarrow \bar{\nu}_e d$	
$W^+ \longrightarrow \nu_e e^+$	jeP_T^{miss}
$W^+ \longrightarrow \nu_\mu \mu^+$	$j\mu P_T^{miss}$
$W^+ \longrightarrow qq$	$jjjP_T^{miss}$

Für die Generierung des SUSY-Signals und zur Berechnung des SUSY-Parameterraums wird der MC-Signal-Generator SUSYGEN 3.0 verwendet. Zuerst werden in der $M_{\tilde{\tau}} - M_{\tilde{b}}$ -Ebene die Nachweiswahrscheinlichkeiten für die einzelnen Zerfallskanäle bestimmt. In Abbildung 10 a) sind die Effizienzen für den Kanal jeP_T^{miss} zu sehen. Ausserdem werden die Verteilungen der transversalen Massen der Daten, des SM-Untregundes und des SUSY-Signals zur Berechnung der Ausschlussgrenzen benötigt. Abbildung 10 b) zeigt die Verteilung der transversalen Masse für die 99/00er Daten im Kanal jeP_T^{miss} .

Mit Hilfe der Effizienzen und dem Vergleich der Verteilungen der transversalen Massen wird im Anschluss die Berechnung der Ausschlusslimits bei 95% CL mit der *Likelihood Ratio Methode* erfolgen. Die Dr.-Arbeit von Anja Vest [10] ist mehrfach in den Arbeitsgruppen von H1 vorgestellt worden. Nach Abschluß der Arbeit ist eine Publikation durch die Kollaboration vorgesehen.

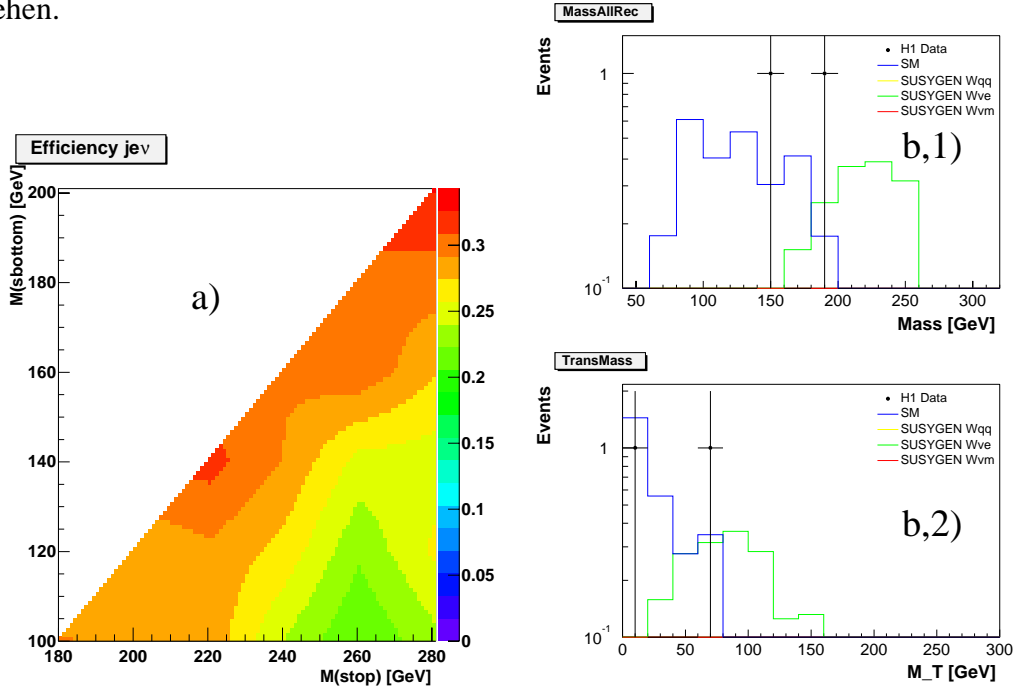


Abbildung 10: Nachweiswahrscheinlichkeiten in der $M_{\tilde{\tau}} - M_{\tilde{b}}$ -Ebene (a)) und Verteilung der invarianten (b,1) und transversalen Masse im Kanal jeP_T^{miss} (b,2)).

8 Suche nach neuer Physik in Kontaktwechselwirkungen

Neben der *direkten* Suche nach Resonanz-Zuständen wie im letzten Abschnitt und der generellen Suche wie in Abschnitt 6 haben wir ein weiteres Verfahren auf der Suche nach BSM-Physik angewandt. Der Massenbereich einer Suche kann erheblich erweitert werden durch die Beobachtung des virtuellen Austauschs schwerer Teilchen, charakteristisch für neuartige Wechselwirkungen. Für Skalen weit oberhalb der verfügbaren Schwerpunktsenergie können solche *indirekten* Signaturen durch Kontaktwechselwirkungen auf eine modellunabhängige Weise beschrieben werden. Die Propagatoren „kontrahieren“ zu einer effektiven punktförmigen Vier-Fermion-Wechselwirkung und deren Amplitude interferiert mit den bekannten Feldern von Photon und Z -Boson, was zu einer beobachtbaren Modifikation des Wirkungsquerschnitts $d\sigma/dQ^2$ bei hohen Q^2 führen kann.

Mögliche Quellen von Kontakttermen sind entweder Substrukturen des Elektron-Quark Systems, wobei die Skala Λ die reziproke Ausdehnung des zusammengesetzten Objekts angibt, oder der Austausch schwerer Teilchen, z.B. Leptoquarks oder supersymmetrische Quarks, wobei die Skala mit der Masse M und Kopplung λ des neuen Teilchens verknüpft ist.

Interessant ist die Frage, ob weitere räumliche Dimensionen existieren, die bei relativ großen Abständen „aufgerollt“ sind (*large extra dimensions*). Innerhalb solcher Volumen ändert sich die Gravitation, steigt rasch an und kann vergleichbar mit der elektroschwachen Kraft werden. Der Austausch von Gravitonen kann ähnlich einer Kontaktwechselwirkung durch eine ‘effektive’ Planck-Skala M_S beschrieben werden. Der Nachweis erfolgt ebenfalls über Interferenz mit dem Photon und Z -Boson des Standardmodells

Im Berichtszeitraum wurde zunächst der Wirkungsquerschnitt der e^+p Daten bei $\sqrt{s} = 301$ GeV interpretiert [12]. In der Dr.-Arbeit von Jürgen Scheins [6] folgte eine detaillierte Untersuchung der Reaktionen $e^\pm p \rightarrow e^\pm X$ bei $\sqrt{s} = 319$ GeV, wobei die beiden Leptonladungen komplementäre Informationen ergeben. In einer gemeinsamen Analyse sämtlicher Datensätze, entsprechend einer HERA I Luminosität von 117 pb^{-1} , wurden keine Abweichungen vom Standardmodell und somit keine Evidenz für neue Physik beobachtet. Mit einer statistischen Analysenmethode basierend auf der Simulation zahlreicher Monte Carlo Experimente konnten Ausschlußgrenzen für diverse Modelle von Kontaktwechselwirkungen angegeben werden, die von der Kollaboration veröffentlicht wurden [36]. Die Suche nach *eq Compositeness* führt zu Skalen $\Lambda > 1.6 - 5.5$ TeV, s. Abb. 11. Für Leptoquarks und Squarks mit Verletzung der R -Parität gilt $M/\lambda > 0.3 - 1.4$ TeV. Die Suche nach Quanten-Gravitationseffekten in Modellen mit zusätzlichen Dimensionen in Abb. 12 ergibt für die effektive Planck-Skala $M_S > 0.8$ TeV.

9 Supersymmetrie an einem zukünftigen e^+e^- Linear Collider

Die Supersymmetrie (SUSY) gilt als das attraktivste und vielversprechendste Konzept einer Erweiterung des Standardmodells. Hierbei wird jedem Teilchen ein Superpartner zugeordnet, der sich um den Spin $1/2$ unterscheidet, zu jedem Fermion gehört also ein supersymmetrisches Boson und umgekehrt gehört zu jedem Boson ein supersymmetrisches Fermion. Falls die Supersymmetrie in der Natur realisiert sein sollte, wird ihre Entdeckung am Large Hadron Collider

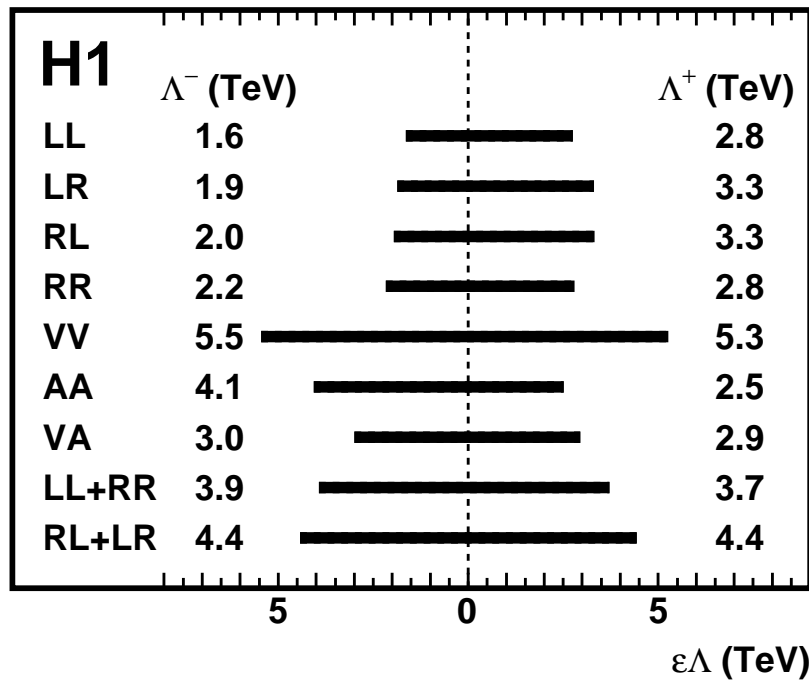


Abbildung 11: Ausschlußregionen und untere Grenzen (95% CL) auf eq Compositeness Skalen Λ^\pm für Modelle mit verschiedenen chiralen Kopplungen

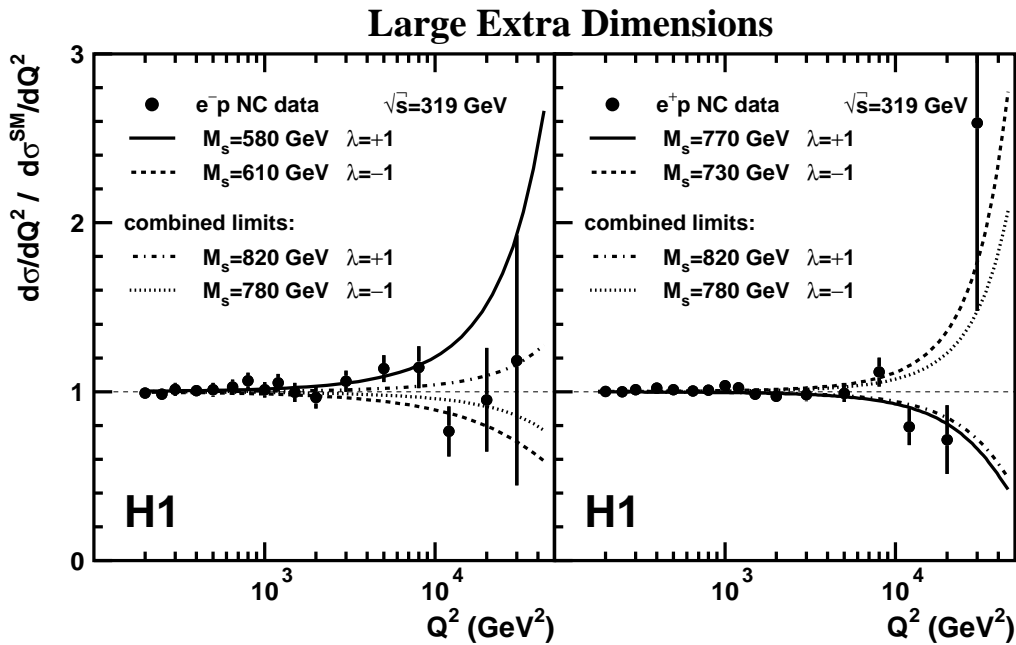


Abbildung 12: e^-p und e^+p Wirkungsquerschnitte $d\sigma/dQ^2$ (normiert auf die Erwartung des Standardmodells) verglichen mit 95% CL Ausschlußgrenzen für die Gravitationskala M_S für positive ($\lambda = +1$) und negative ($\lambda = -1$) Kopplung in einem Modell mit Extra-Dimensionen

erwartet. Eine präzise Vermessung des gesamten Spektrums und der Eigenschaften der Superpartner wird jedoch nur mit einem e^+e^- Linear Collider möglich sein. Die Supersymmetrie

bildet daher ein wichtiges Forschungsprogramm an einem zukünftigen e^+e^- Linear Collider, wie z.B. dem TESLA Projekt mit einer Schwerpunktsenergie bis zu 1 TeV.

Zur Vorbereitung des *TESLA Technical Design Reports* [41] wurden detaillierte Simulationen der Erzeugung skalarer Leptonen, Charginos und Neutralinos durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, daß aus den Spektren der Zerfallsprodukte die Massen der supersymmetrischen Teilchen mit einer Genauigkeit im Promille-Bereich rekonstruiert werden können, siehe Abb. 13 und Abb. 14. Ebenso können polarisierte Wirkungsquerschnitte, Quantenzahlen und Kopplungen exakt bestimmt werden.

In weiteren Studien wurden andere Teilchenspektren unterschiedlicher SUSY Szenarien untersucht. Es wurde die Präzision berechnet, mit der die fundamentalen SUSY Parameter bestimmt werden können. Damit hofft man, zu hohen Energien nahe der GUT oder Planck Skala zu extrapolieren und letztendlich in modellunabhängiger Weise die zugrundeliegende Theorie finden zu können [42]. Die an TESLA zu erwartende Genauigkeit erfordert naturgemäß ein sehr gutes Verständnis der experimentellen und theoretischen Vorhersagen.

Die Arbeiten wurden durchgeführt im Rahmen mehrerer Sequenzen der *Joint ECFA/DESY Study on Physics and Detectors for a Linear Electron-Positron Collider*, deren Arbeitsgruppe 'Supersymmetry' seit 1998 von Dr. H.U. Martyn geleitet wird. Zu den Aufgaben gehören u.a. die Vorbereitung und Durchführung der regelmäßigen Arbeitstreffen (2-3 pro Jahr) mit Berichten über den Fortschritt, sowie die Vorbereitung der SUSY Sitzungen bei den weltweiten *International Workshops on Linear Colliders*, wie LCWS 2000 Fermilab, USA, und LCWS 2002 Jeju Island, Korea.

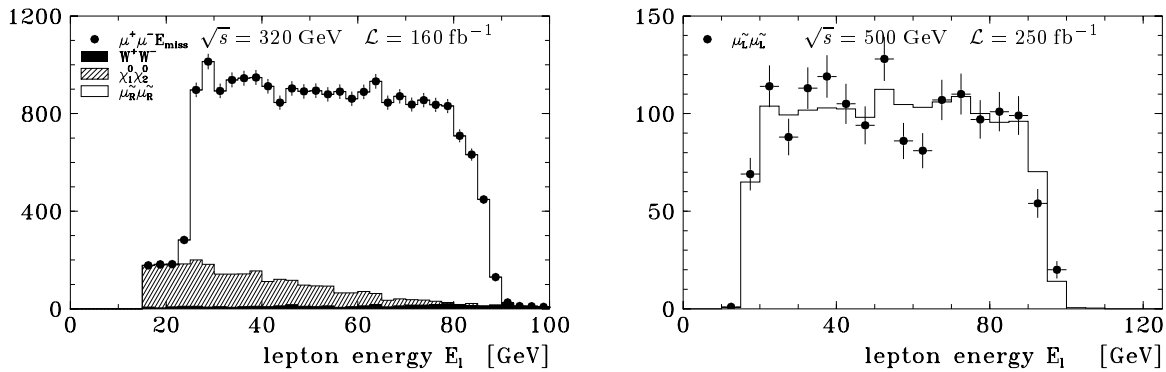


Abbildung 13: Myon Energie Spektren E_μ der Prozesse $e_R^-e_L^+ \rightarrow \tilde{\mu}_R^- \tilde{\mu}_R^+ \rightarrow \mu^- \tilde{\chi}_1^0 \mu^+ \tilde{\chi}_1^0$ (links) und $e_L^-e_R^+ \rightarrow \tilde{\mu}_L^- \tilde{\mu}_L^+ \rightarrow \mu^- \tilde{\chi}_2^0 \mu^+ \tilde{\chi}_2^0$ mit $\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \ell^+ \ell^- \tilde{\chi}_1^0$ (rechts), mSUGRA Modell RR 1 [41]

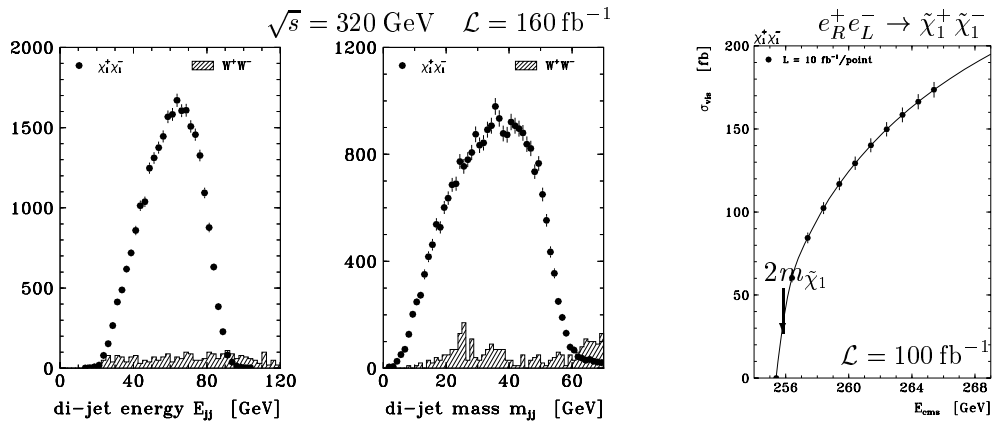


Abbildung 14: Reaktion $e_R^+ e_L^- \rightarrow \tilde{\chi}_1^+ \tilde{\chi}_1^- \rightarrow \ell^\pm \nu_\ell \tilde{\chi}_1^0 q \bar{q}' \tilde{\chi}_1^0$ im mSUGRA Szenario RR 1 [41]: Di-Jet Energie und Di-Jet Masse (links), Wirkungsquerschnitt an der Produktionsschwelle (rechts)

Literatur

Zitierte Diplomarbeiten

- [1] Lars Finke, “Untersuchungen zur Erkennung von b -Quarks im H1-Detektor,” Diplomarbeit, RWTH Aachen, Mai 2003
- [2] Markus Stoye, “Untersuchung von Endzuständen mit mehreren Lelektronen in der Elektron-Proton-Streuung, Diplomarbeit, RWTH Aachen in Vorbereitung.
- [3] Carsten Schmitz, “Elektroproduktion von Myon-Paaren im Massenbereich der Υ -Resonanz, Diplomarbeit, RWTH Aachen, Juli 2002

Zitierte Dr.-Arbeiten

- [4] Sascha Caron, “Jets in Photoproduction at Hera”, RWTH Aachen, September 2002, DESY-Thesis 2002-035
- [5] Boris Leissner, “Muon Pair Production in Electron Proton Collisions”, RWTH Aachen, Oktober 2002, DESY-Thesis 2002-049
- [6] Jürgen Scheins, “Suche nach Kontaktwechselwirkungen und Gravitoneffekten in der tiefinelastischen Streuung bei HERA, RWTH Aachen, Juli 2001, DESY Thesis 2001-041
- [7] Thomas Kluge, Dr. Arbeit in Vorbereitung, RWTH Aachen
- [8] Gilles Frising, Dr. Arbeit in Vorbereitung, RWTH Aachen
- [9] Martin Wessels, Dr. Arbeit in Vorbereitung, RWTH Aachen
- [10] Anja Vest, Dr. Arbeit in Vorbereitung, RWTH Aachen

Arbeiten mit der H1-Kollaboration

- [11] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], "Observation of events with an isolated high energy lepton and missing transverse momentum at HERA", *Eur. Phys. J. C* **5** (1998) 575
C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], "Isolated electrons and muons in events with missing transverse momentum at HERA", [hep-ex/0301030]
- [12] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], "Search for compositeness, leptoquarks and large extra dimensions in e q contact interactions at HERA", *Phys. Lett. B* **479** (2000) 358.
- [13] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], "Searches at HERA for squarks in R-parity violating supersymmetry," *Eur. Phys. J. C* **20** (2001) 639 [arXiv:hep-ex/0102050].
- [14] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], "Photoproduction with a leading proton at HERA," *Nucl. Phys. B* **619** (2001) 3 [arXiv:hep-ex/0106070].
- [15] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], "Three-jet production in deep-inelastic scattering at HERA," *Phys. Lett. B* **515** (2001) 17 [arXiv:hep-ex/0106078].
- [16] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], "A search for leptoquark bosons in e- p collisions at HERA," *Phys. Lett. B* **523** (2001) 234 [arXiv:hep-ex/0107038].
- [17] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], "Measurement of deeply virtual Compton scattering at HERA," *Phys. Lett. B* **517** (2001) 47 [arXiv:hep-ex/0107005].
- [18] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], "Measurement of D*+- meson production and F2(c) in deep inelastic scattering at HERA," *Phys. Lett. B* **528** (2002) 199 [arXiv:hep-ex/0108039].
- [19] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], "D*+- meson production in deep-inelastic diffractive interactions at HERA," *Phys. Lett. B* **520** (2001) 191 [arXiv:hep-ex/0108047].
- [20] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], "On the rise of the proton structure function F2 towards low x," *Phys. Lett. B* **520** (2001) 183 [arXiv:hep-ex/0108035].
- [21] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], "Search for excited neutrinos at HERA," *Phys. Lett. B* **525** (2002) 9 [arXiv:hep-ex/0110037].
- [22] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], "Measurement of dijet electroproduction at small jet separation," *Eur. Phys. J. C* **24** (2002) 33 [arXiv:hep-ex/0111006].
- [23] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], "Measurement of dijet cross sections in photoproduction at HERA," *Eur. Phys. J. C* **25** (2002) 13 [arXiv:hep-ex/0201006].
- [24] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], "Energy flow and rapidity gaps between jets in photoproduction at HERA," *Eur. Phys. J. C* **24** (2002) 517 [arXiv:hep-ex/0203011].
- [25] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], "A measurement of the t dependence of the helicity structure of diffractive rho meson electroproduction at HERA," *Phys. Lett. B* **539** (2002) 25 [arXiv:hep-ex/0203022].

- [26] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], “Inelastic photoproduction of J/psi mesons at HERA,” *Eur. Phys. J. C* **25** (2002) 25 [arXiv:hep-ex/0205064].
- [27] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], “Inelastic lepton production of J/psi mesons at HERA,” *Eur. Phys. J. C* **25** (2002) 41 [arXiv:hep-ex/0205065].
- [28] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], “Search for QCD instanton-induced processes in deep-inelastic scattering at HERA,” *Eur. Phys. J. C* **25** (2002) 495 [arXiv:hep-ex/0205078].
- [29] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], “Diffractive photoproduction of psi(2S) mesons at HERA,” *Phys. Lett. B* **541** (2002) 251 [arXiv:hep-ex/0205107].
- [30] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], “Measurement of inclusive jet cross-sections in deep-inelastic e p scattering at HERA,” *Phys. Lett. B* **542** (2002) 193 [arXiv:hep-ex/0206029].
- [31] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], “Search for odderon-induced contributions to exclusive pi0 photoproduction at HERA,” *Phys. Lett. B* **544** (2002) 35 [arXiv:hep-ex/0206073].
- [32] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], “Search for excited electrons at HERA,” *Phys. Lett. B* **548** (2002) 35 [arXiv:hep-ex/0207038].
- [33] V. Andreev *et al.* [H1 Collaboration], “Isolated electrons and muons in events with missing transverse momentum at HERA,” arXiv:hep-ex/0301030.
- [34] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], “Measurement of inclusive jet cross sections in photoproduction at HERA,” arXiv:hep-ex/0302034.
- [35] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], “Measurement and QCD analysis of neutral and charged current cross sections at HERA,” arXiv:hep-ex/0304003.
- [36] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration], “Search for new physics in e q contact interactions at HERA”, DESY 03–052.
- [37] C. Adloff *et al.* [H1 Collaboration] ”Multi-Electron Production at High Transverse Momentum in ep Collisions at HERA”, to be published.

Weitere zitierte Arbeiten

- [38] F. Sefkow, “Open beauty production,” *J. Phys. G* **28** (2002) 953 [arXiv:hep-ex/0109038].
- [39] D. Buskulic *et al.* [ALEPH Collaboration], “A Precise measurement of $\Gamma_{Z \rightarrow b\bar{b}}/\Gamma_{Z \rightarrow hadrons}$,” *Phys. Lett. B* **313** (1993) 535.
- [40] L. L. Frankfurt, M. F. McDermott and M. Strikman, “Diffractive photoproduction of Upsilon at HERA”, *JHEP* **9902**, 002 (1999) [hep-ph/9812316].
- [41] Beiträge zu ”2nd Joint ECFA/DESY Study on Physics and Detectors for a Linear Electron-Positron Collider, 1998 - 2001” (<http://www.desy.de/conferences/ecfa-desy-lc98.html>)
H.-U. Martyn and G. A. Blair, “Determination of sparticle masses and SUSY parameters”, hep-ph/9910416.

H.-U. Martyn, “Width effects in slepton production $e^+e^- \rightarrow \tilde{\mu}_R\tilde{\mu}_R$ ”, hep-ph/0002290.

W. Majerotto and H.-U. Martyn, “Supersymmetry” in “TESLA Technical Design Report, Part III: Physics at an e+e- Linear Collider”, DESY 2001-011 [hep-ph/0106315].

[42] Beiträge zu “*Extended Joint ECFA/DESY Study on Physics and Detectors for a Linear Electron-Positron Collider, 2001 - 2003*” (<http://www.desy.de/conferences/ecfa-desy-lcext.html>)

N. Ghodbane and H. U. Martyn, “Compilation of SUSY particle spectra from Snowmass 2001 benchmark models”, hep-ph/0201233.

B. C. Allanach *et al.*, “The Snowmass points and slopes: Benchmarks for SUSY searches,” Eur. Phys. J. C **25** (2002) 113.

P. M. Zerwas *et al.*, “Reconstruction of fundamental SUSY parameters”, hep-ph/0211076.

A. Freitas *et al.*, “Sfermion precision measurements at a Linear Collider”, hep-ph/0211108.

E. Boos, H.-U. Martyn, G. Moortgat-Pick, M. Sachwitz, A. Sherstnev and P. M. Zerwas, “Polarisation in sfermion decays: Determining $\tan(\beta)$ and trilinear couplings”, hep-ph/0303110.