DPG Fühjahrstagung
Heidelberg, 1999

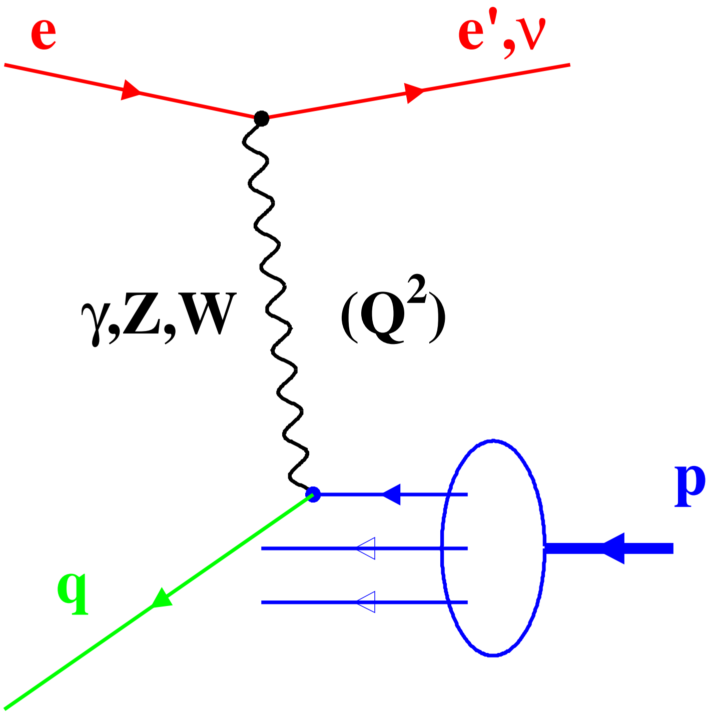
Lepton-Proton-Streuung bei großen Impulsüberträgen

Jörn Grosse-Knetter
University of Oxford

für die H1 und ZEUS Kollaborationen

- Einleitung ℓp-Streuung
- tief-unelastische Streuung
  neutraler & geladener Strom:
  Wirkungsquerschnitte, elektroschwache Einflüsse
- jenseits des Standardmodells
  Resonanz?, Kontakt-WW etc.
- Zusammenfassung und Ausblick

Kinematik



HERA:
27.5 GeV e
auf
820 GeV p
$\Rightarrow \sqrt{s} =$
300 GeV
CMS-Energie

Kinematische Variablen

$$Q^2 \quad = \quad \text{Viererimpulsübertrag}$$

Bestimmt die Auflösung

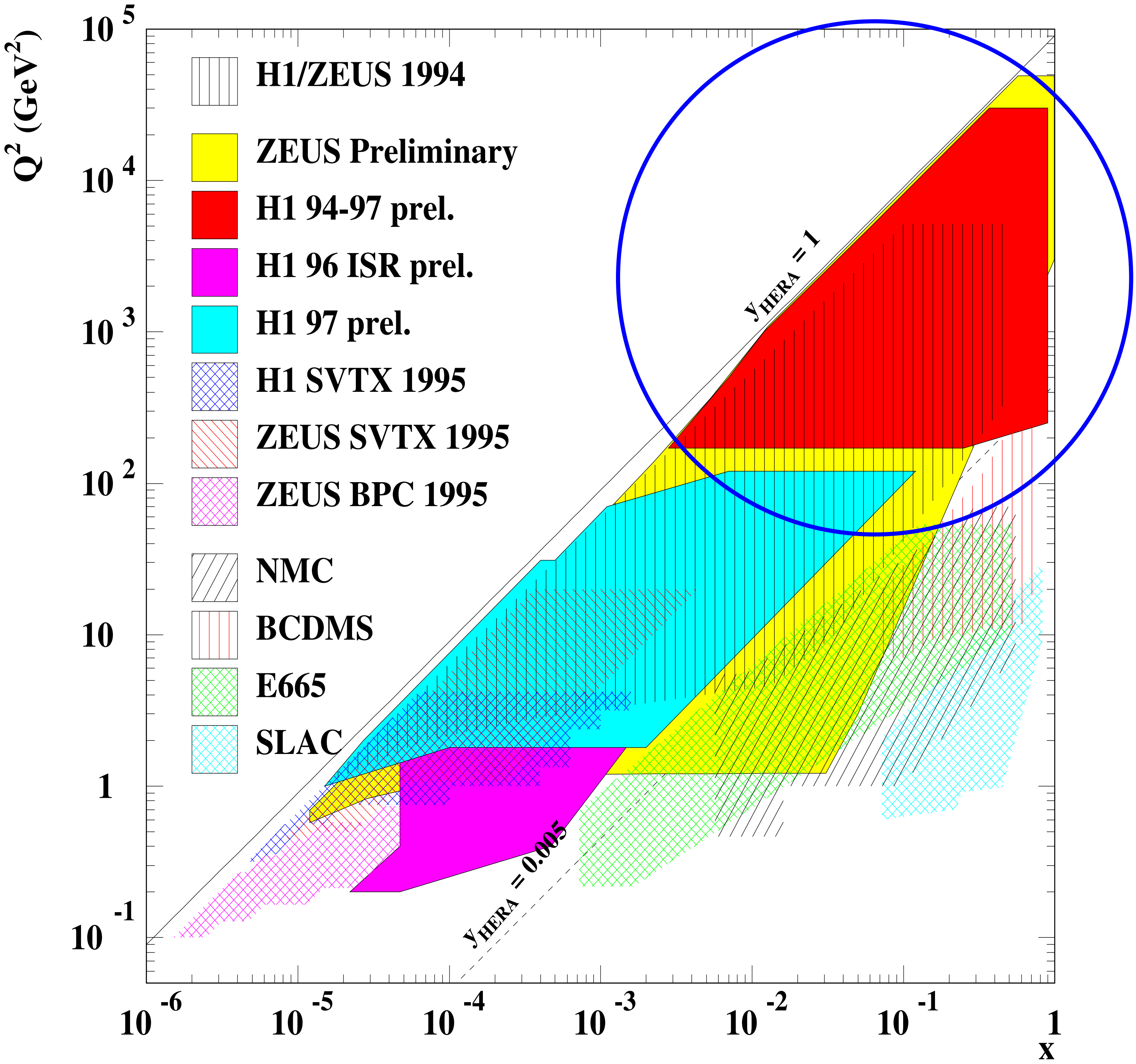
$$\lambda \sim \hbar c / \sqrt{Q^2}$$

$$x \quad = \quad \text{Impulsanteil des Parton}$$

$$y \quad = \quad \text{Inelastizität}$$

$Q^2 = sxy \rightarrow$ nur zwei unabhängige Variablen

Kinematische Ebene



Warum hohes Q^2 ?

- hohe Virtualität des ausgetauschten Bosons (γ, Z, W)
- Partonverteilung $\rightarrow$ Vortrag von Marc Weber
  Test der QCD Entwicklung bis in einen extremen kin. Bereich
- Schwache WW
  bei hohem Q^2: Dominanz des γ-Austauschs nimmt ab:
  neutraler Strom: Z Austausch;
  geladener Strom: reiner W Austausch
  $\rightarrow$ sensitiv auf elektroschwache Physik
- neue Physik?
  hohes Q^2 $\rightarrow$ gute Auflösung, empfindlich auf hohe Massenskalen:
  - neue Teilchen
  - neue Wechselwirkungen

Tief-unelastische Streuung

Neutraler Strom (NC) $(e^\pm p \to e^\pm X)$ –

Born Wirkungsquerschnitt: $(Y_\pm = 1 \pm (1-y)^2)$

$$\frac{d^2\sigma^{NC(e^\pm)}}{dx dQ^2} = \frac{2\pi\alpha^2}{xQ^4}\left[Y_+ F_2^{NC}(x,Q^2) \mp Y_- xF_3^{NC}(x,Q^2)\right]$$

$$F_2^{NC} = \sum_f A_f(Q^2)\left[xq_f(x,Q^2) + x\bar{q}_f(x,Q^2)\right]$$

$$xF_3^{NC} = \sum_f B_f(Q^2)\left[xq_f(x,Q^2) - x\bar{q}_f(x,Q^2)\right]$$

el.schw. Kopplungen, M_Z Partonverteilungen

neu bei großem Q^2, Paritätsverletzung

Geladener Strom (CC) $(e^\pm p \to \overset{(-)}{\nu}_e X)$ –

Born Wirkungsquerschnitt:

$$\frac{d^2\sigma^{CC(e^+)}}{dx dQ^2} = \frac{G_F^2}{2\pi x}\left(\frac{M_W^2}{M_W^2+Q^2}\right)^2$$

$$\cdot \left[(\bar{u}+\bar{c}) + (1-y)^2(d+s)\right]$$

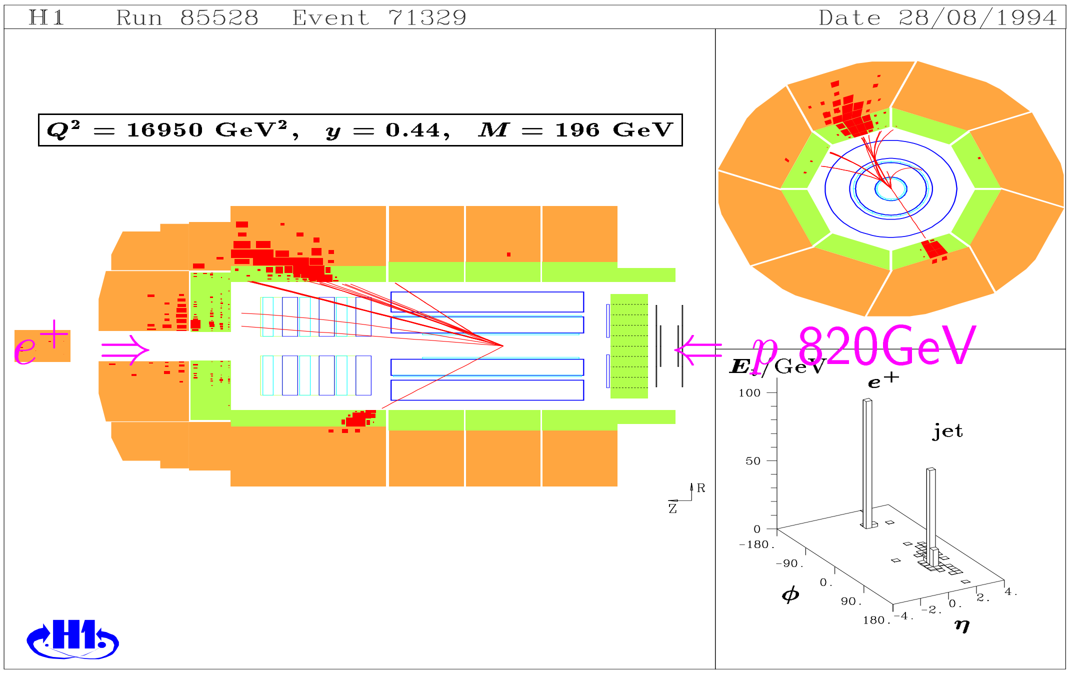
elektroschwach Partonverteilungen

$e^- p$: $\bar{u} \to u$ etc.

CC & NC Ereignisse

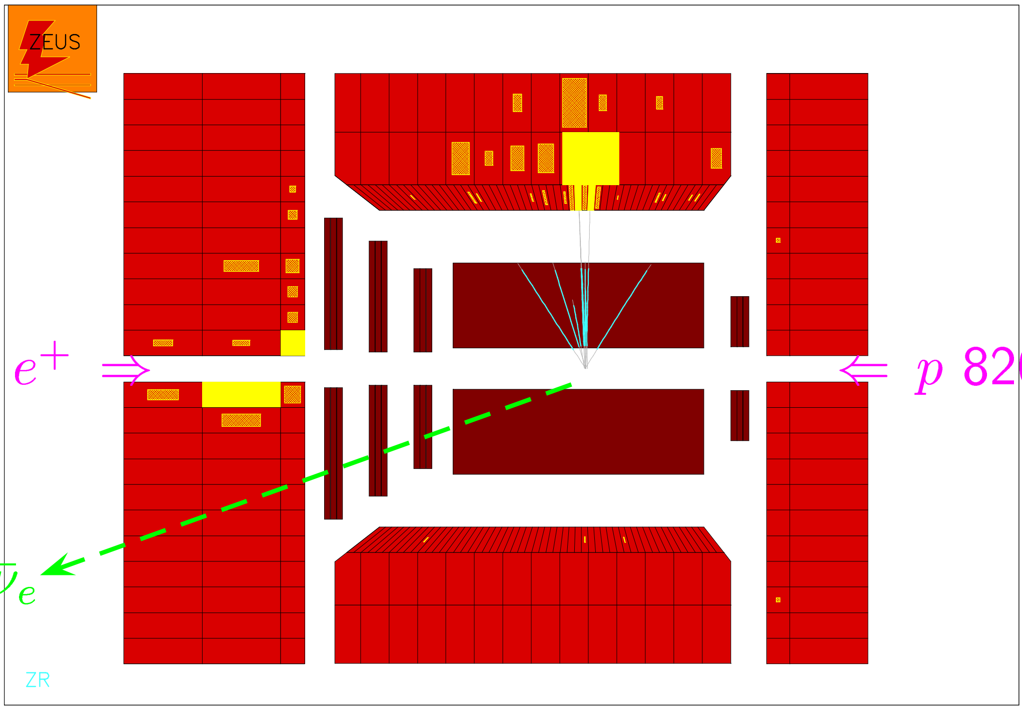
1994 – 1997 Daten $\rightarrow$ $37\,\mathrm{pb}^{-1}$ (H1), $47.7\,\mathrm{pb}^{-1}$ (ZEUS)

$e^+p \rightarrow e^+X$ $\rightarrow$ suche gestreutes Positron



27.5GeV e^+ $\Rightarrow$ $\Leftarrow$ p 820GeV

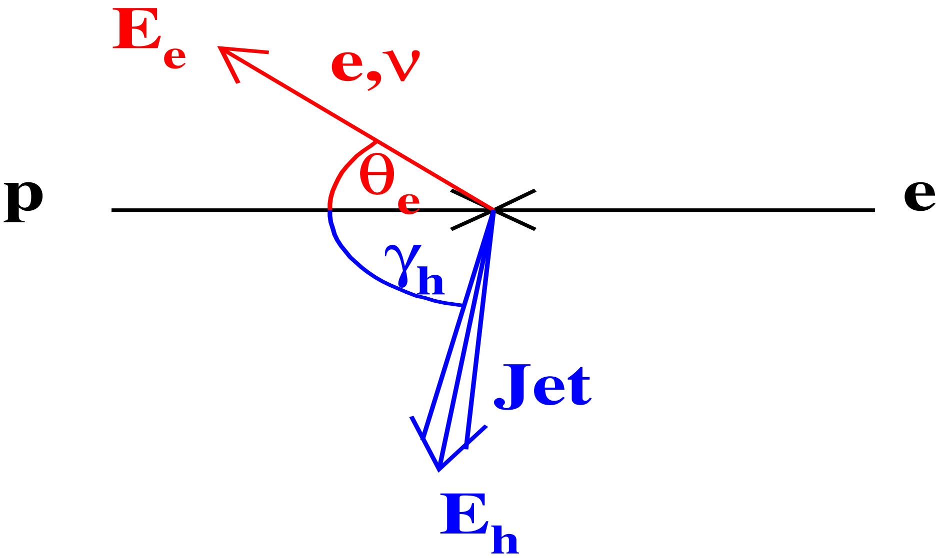
$e^+p \rightarrow \bar{\nu}_e X$ $\rightarrow$ verlange fehlende Energie



27.5GeV e^+ $\Rightarrow$ $\Leftarrow$ p 820GeV

$\bar{\nu}_e$

Rekonstruktion



Elektron-Methode: (H1)

Energie E_e + Winkel θ_e vom Positron

gut bei hohem y

Doppelwinkel-Methode: (ZEUS)

Positron Winkel θ_e +

Hadron Winkel γ_h

unabhängig von E-Kalibration

Jacquet-Blondel Methode: (H1,ZEUS)

$E_h - P_{Z,h}$ und $P_{T,h}$ vom hadronischen Endzustand

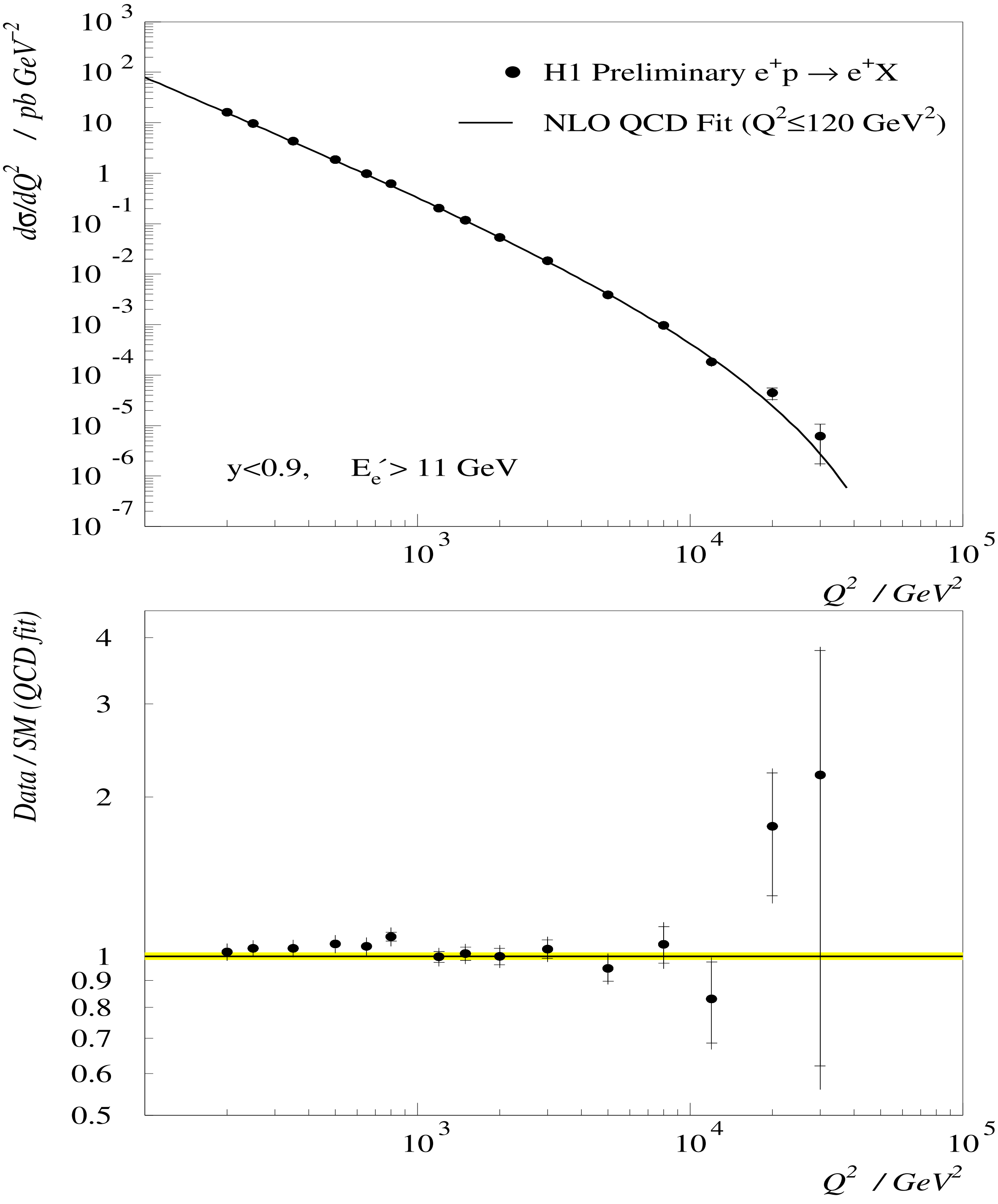
einzige Methode für CC

$e\Sigma$-Methode: (H1)

Kombination von $E_h - P_{Z,h}$, E_e, θ_e

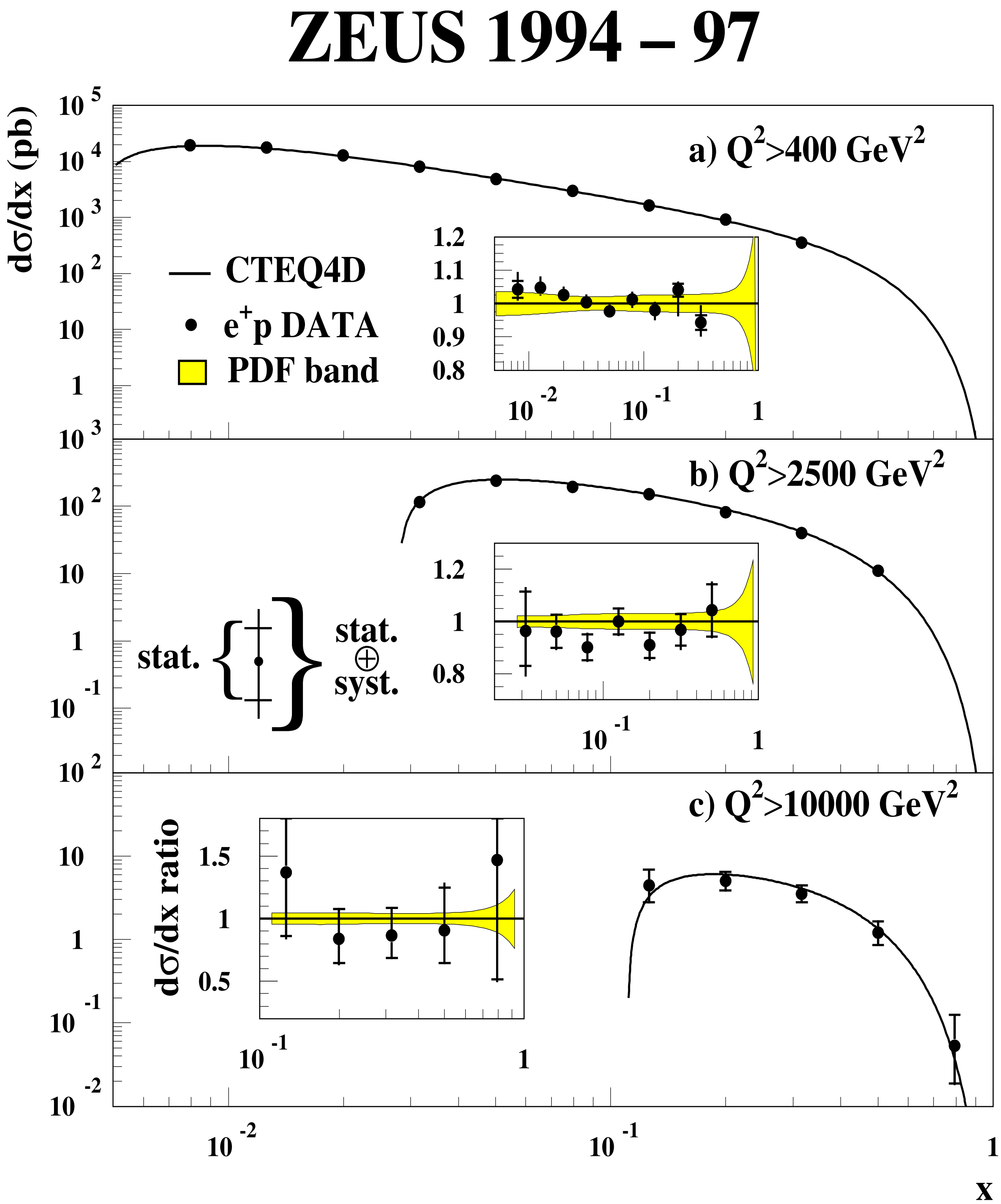
gute Auflösung im gesamten kin. Bereich

NC-Wirkungsquerschnitt in Q^2



Daten ↔ SM: gute Übereinstimmung

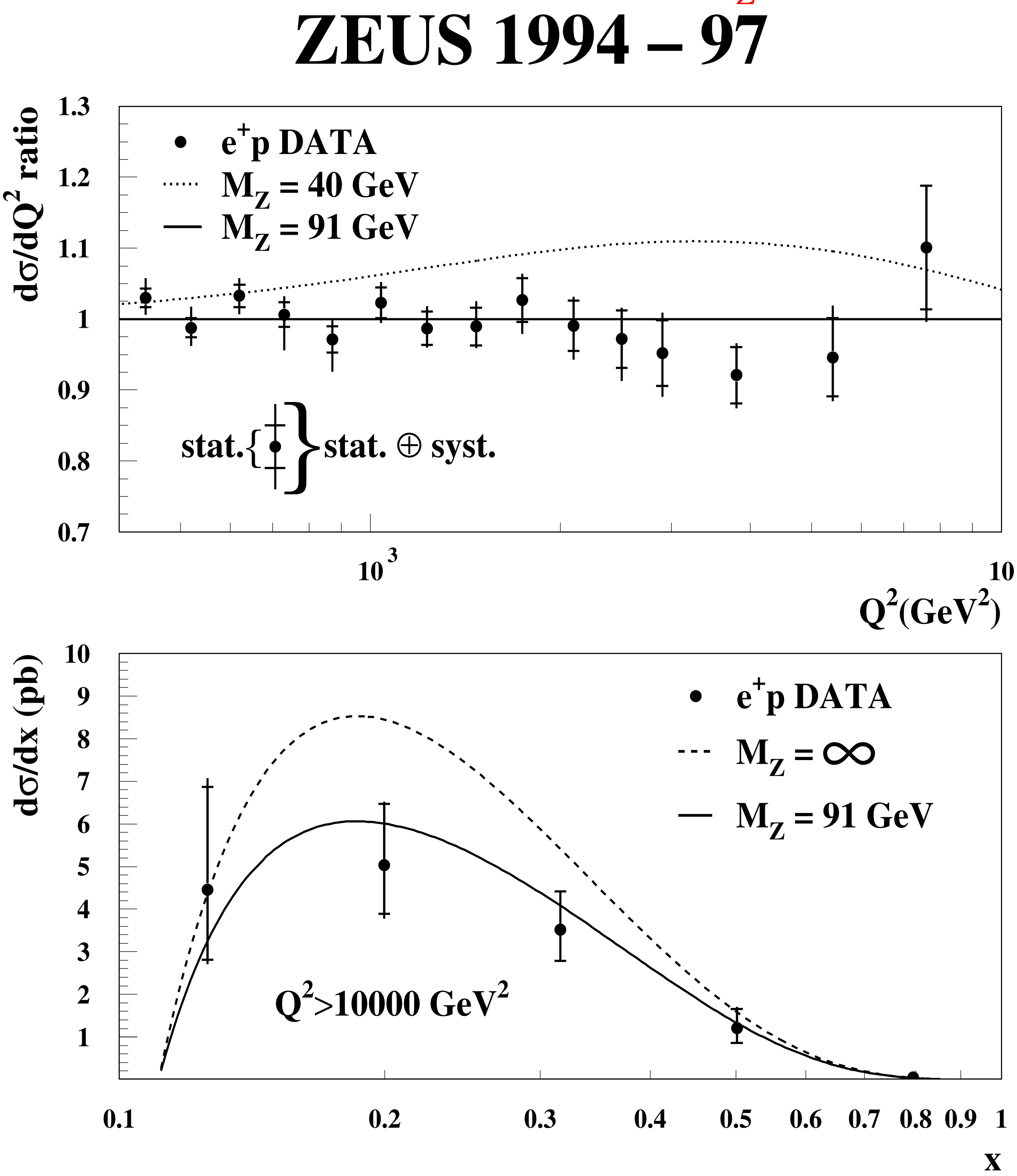
NC-Wirkungsquerschnitt in x



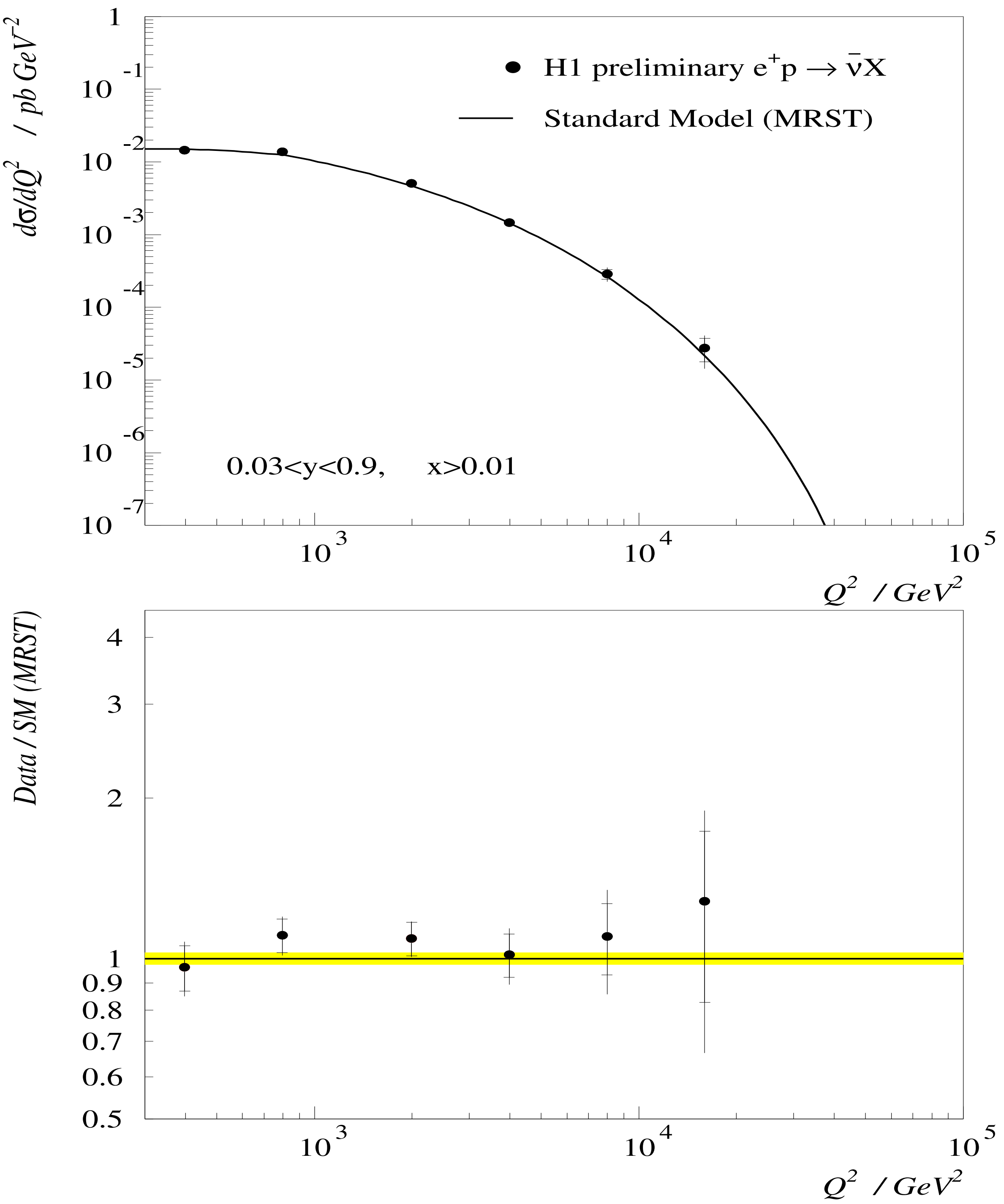
folgt der Partonverteilung – gute Übereinstimmung

NC – Elektroschwache Beiträge

sensitiv auf Propagatorverhältnis $\frac{Q^2}{Q^2+M_Z^2}$ in F_2, xF_3

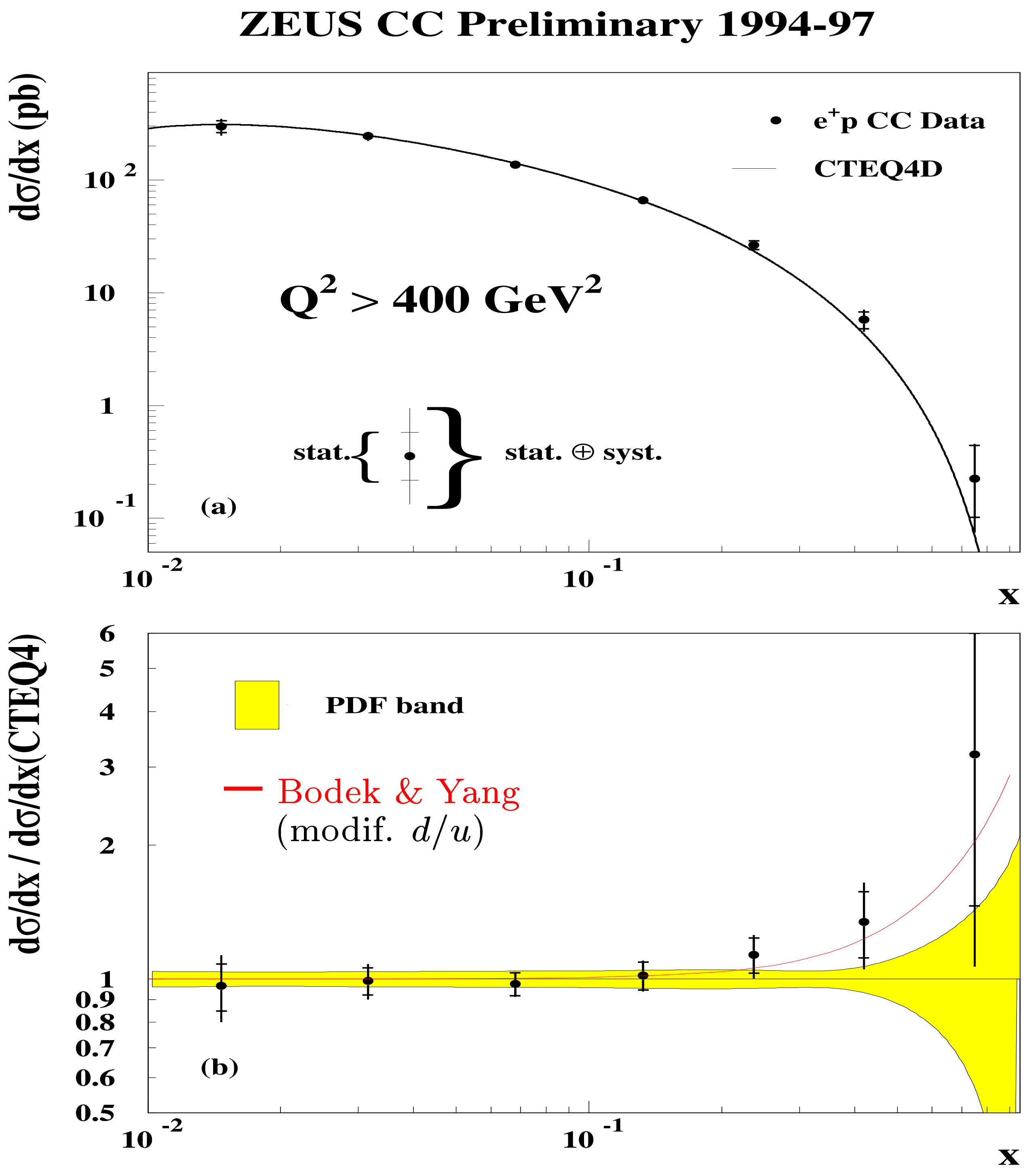


CC – Wirkungsquerschnitt in Q^2



gute Übereinstimmung

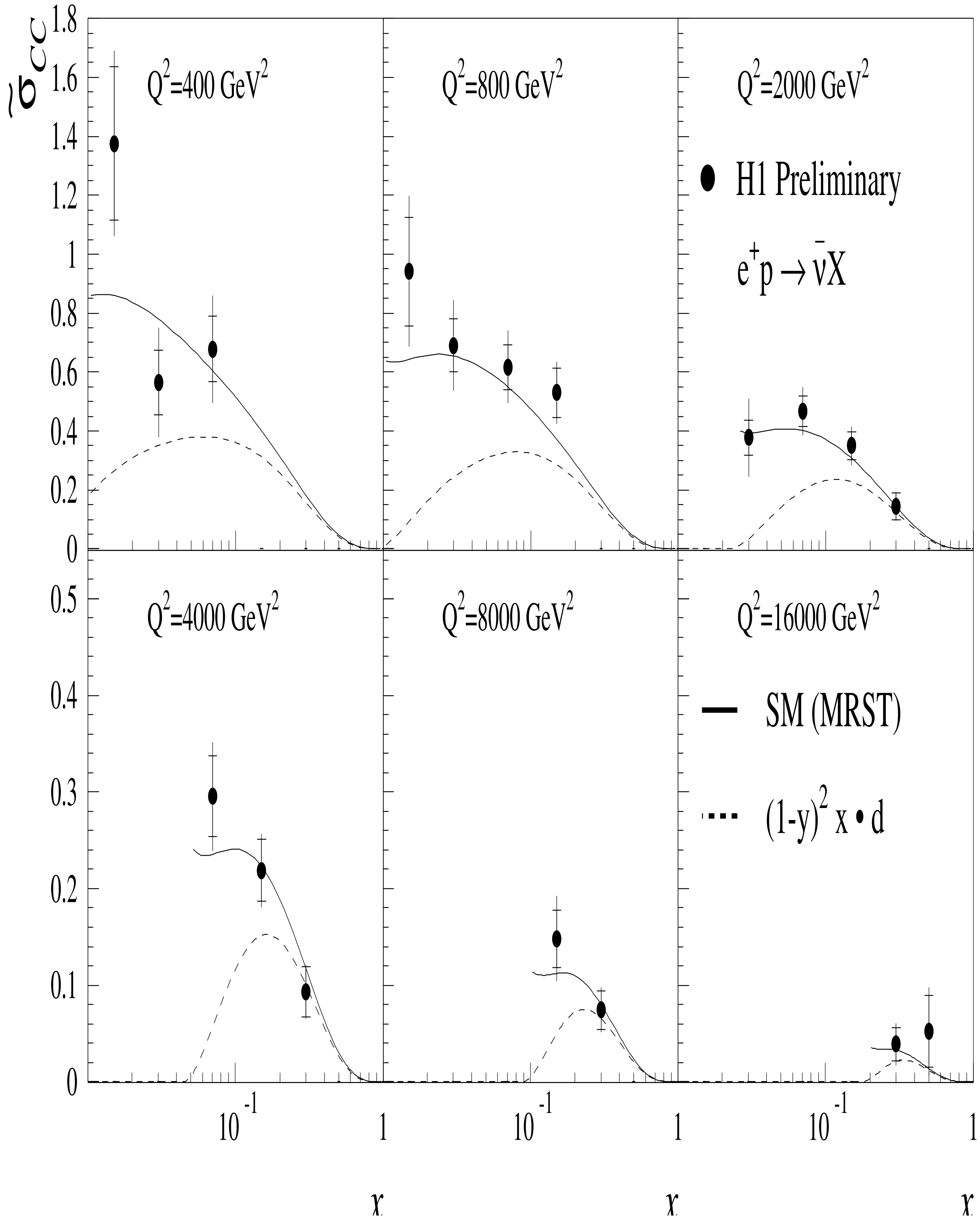
CC – Wirkungsquerschnitt in x



Daten/SM: Tendenz zu steigen bei hohem x

– brauche andere d-Verteilung?

CC – Reduzierter Wirkungsquerschnitt



sensitiv auf Verteilung bestimmter Quarks

CC – Bestimmung von M_W

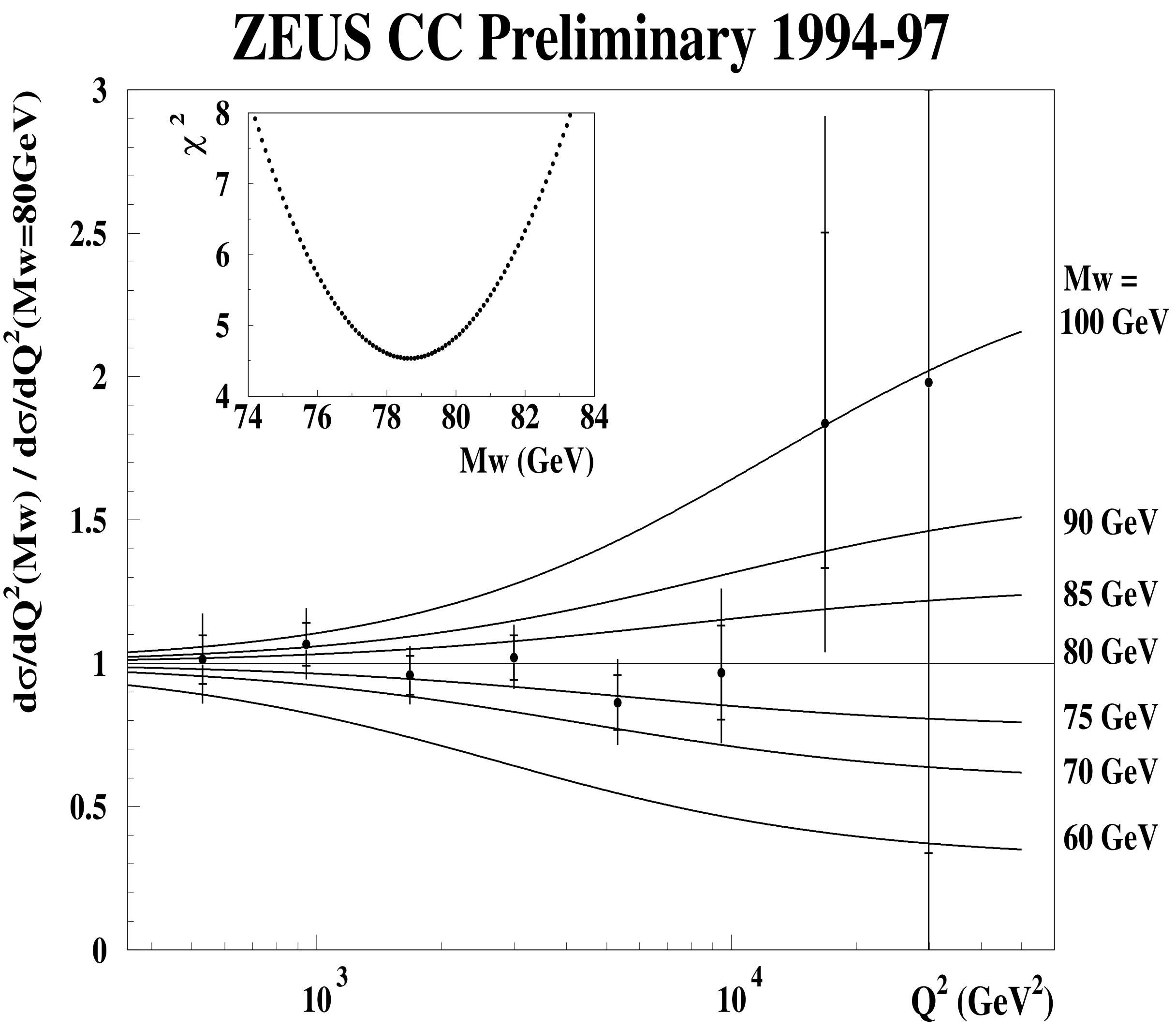
sensitiv auf W Masse durch $\frac{M_W^2}{Q^2+M_W^2}$ (G_F fest)

Anpassung von $\frac{d\sigma}{dQ^2}$ liefert M_W:

$81.2 \pm 3.3(\text{stat.}) \pm 4.3(\text{syst.}) \pm 2.8(\text{theo.})\,\text{GeV}$ (H1)

$78.6^{+2.5}_{-2.4}(\text{stat.})^{+3.3}_{-3.0}(\text{syst.})\,\text{GeV}$ (ZEUS).

PDG Wert: $M_W = 80.41 \pm 0.10\,\text{GeV}$

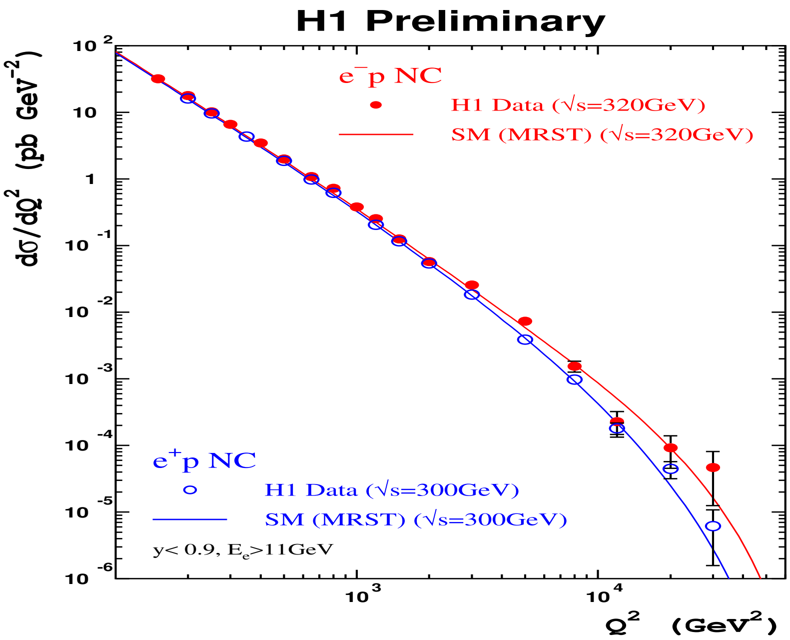


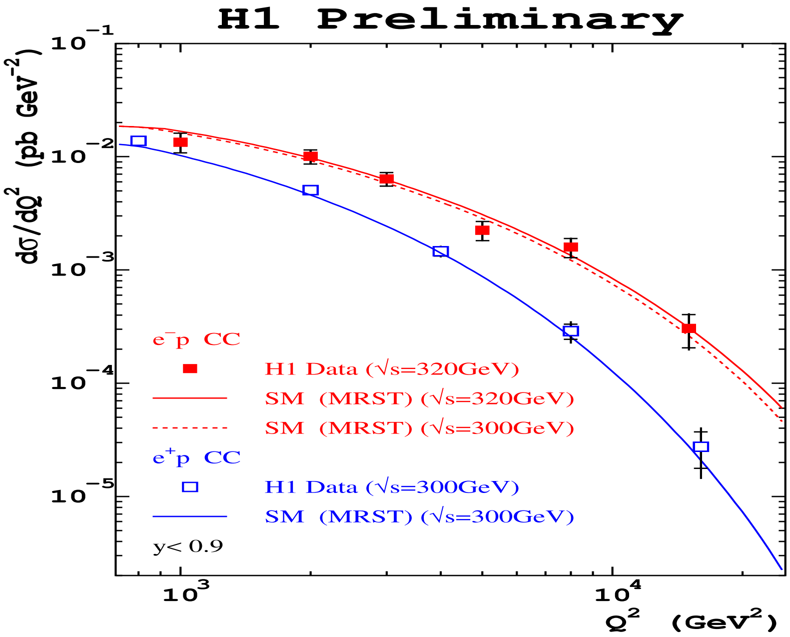
Erste Elektron-Daten

während 1998-1999: Datennahme mit e^-; $\sqrt{s} = 320$ GeV

$\rightarrow$ NC: xF_3 mit anderem Vorzeichen

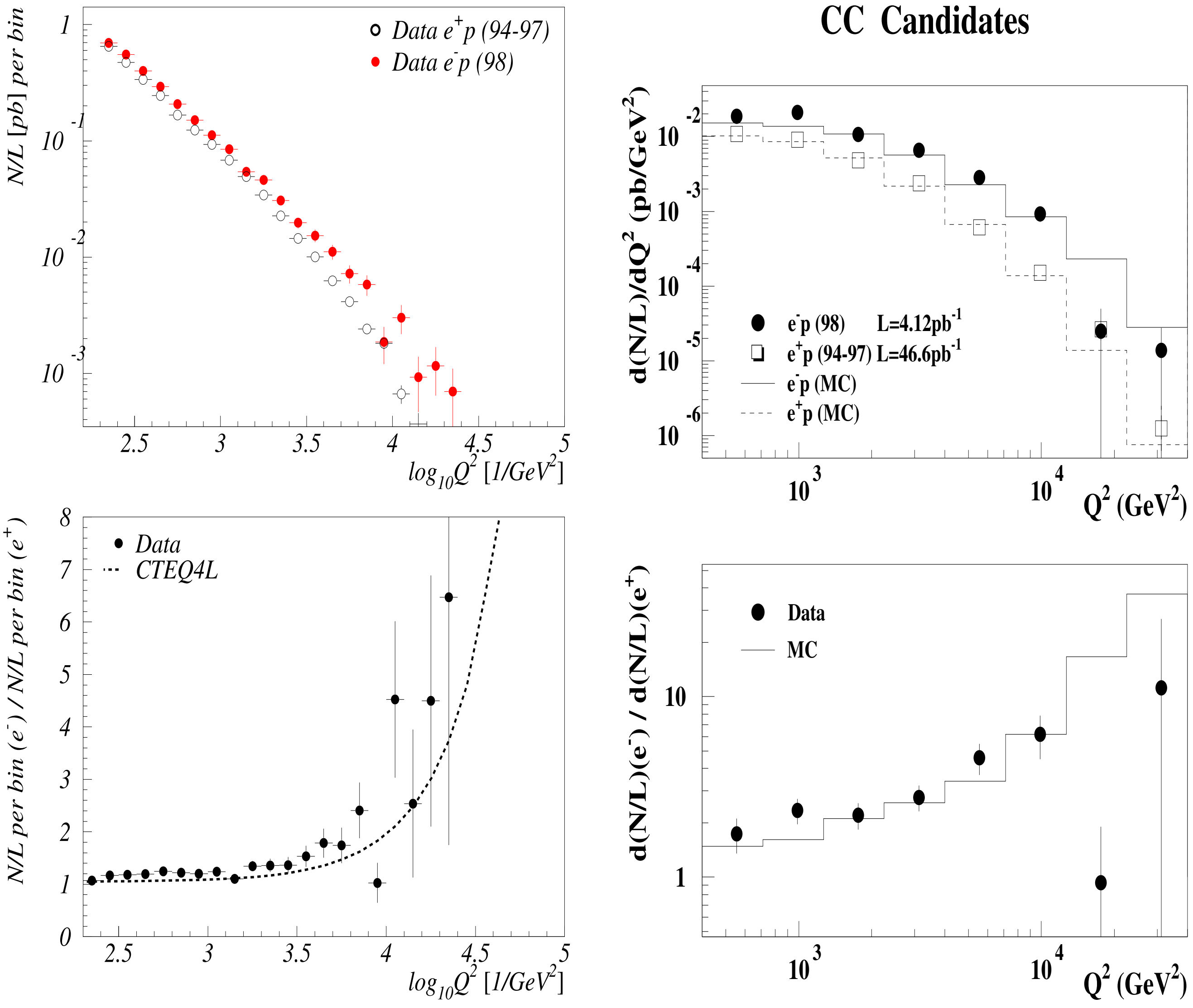
CC: Kopplung an u-Quark





Erste Elektron-Daten

ZEUS 1998 Preliminary



Jenseits des Standardmodells

Bereich von hohen Impulsüberträgen birgt Potential für neue Physik außerhalb des Standardmodells (SM):

neue Wechselwirkungen:

- Kontaktwechselwirkungen

neue Teilchen

- Leptoquarks
- SUSY

Suche nach Signalen bei HERA

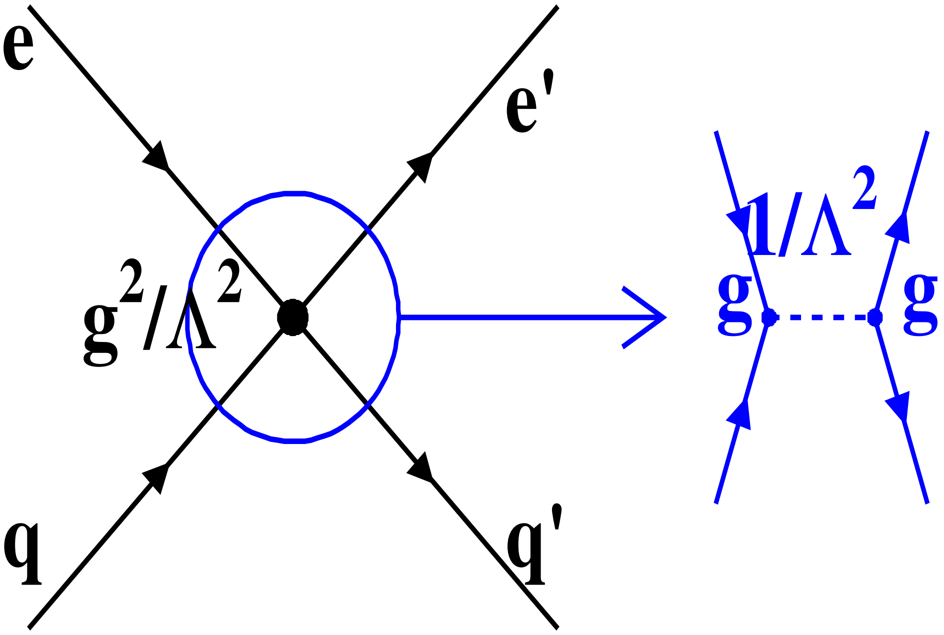
betrachtete Ereignisse meist aus NC und CC Analyse

Kontaktwechselwirkungen

Kontakt-WW verursacht durch:

- neue schwere Bosonen
- Leptoquarks
- Fermion-Substruktur

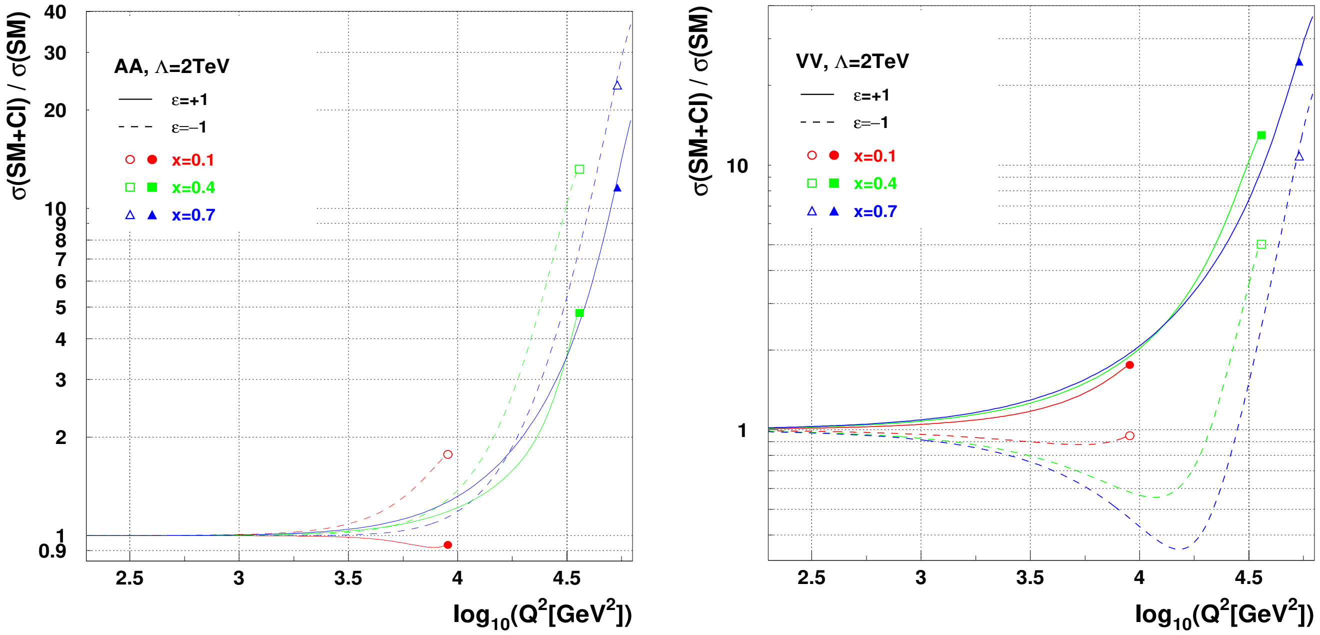
Sichtbar bei HERA als Punkt-WW in Interferenz mit SM-WW:



g = Kopplung, Λ = Massenskala

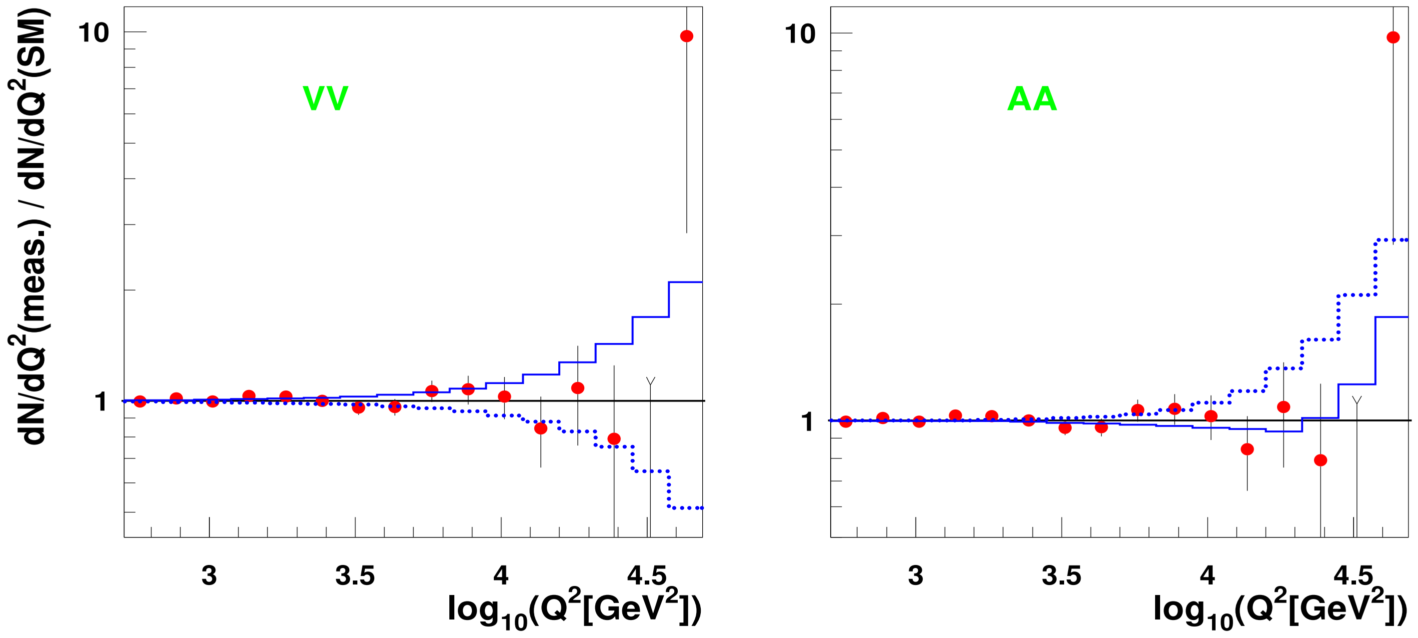
Kont.WW Wirkungsquerschnitt

Kontakt-WW haben Einfluß auf NC Wirkungsquerschnitt

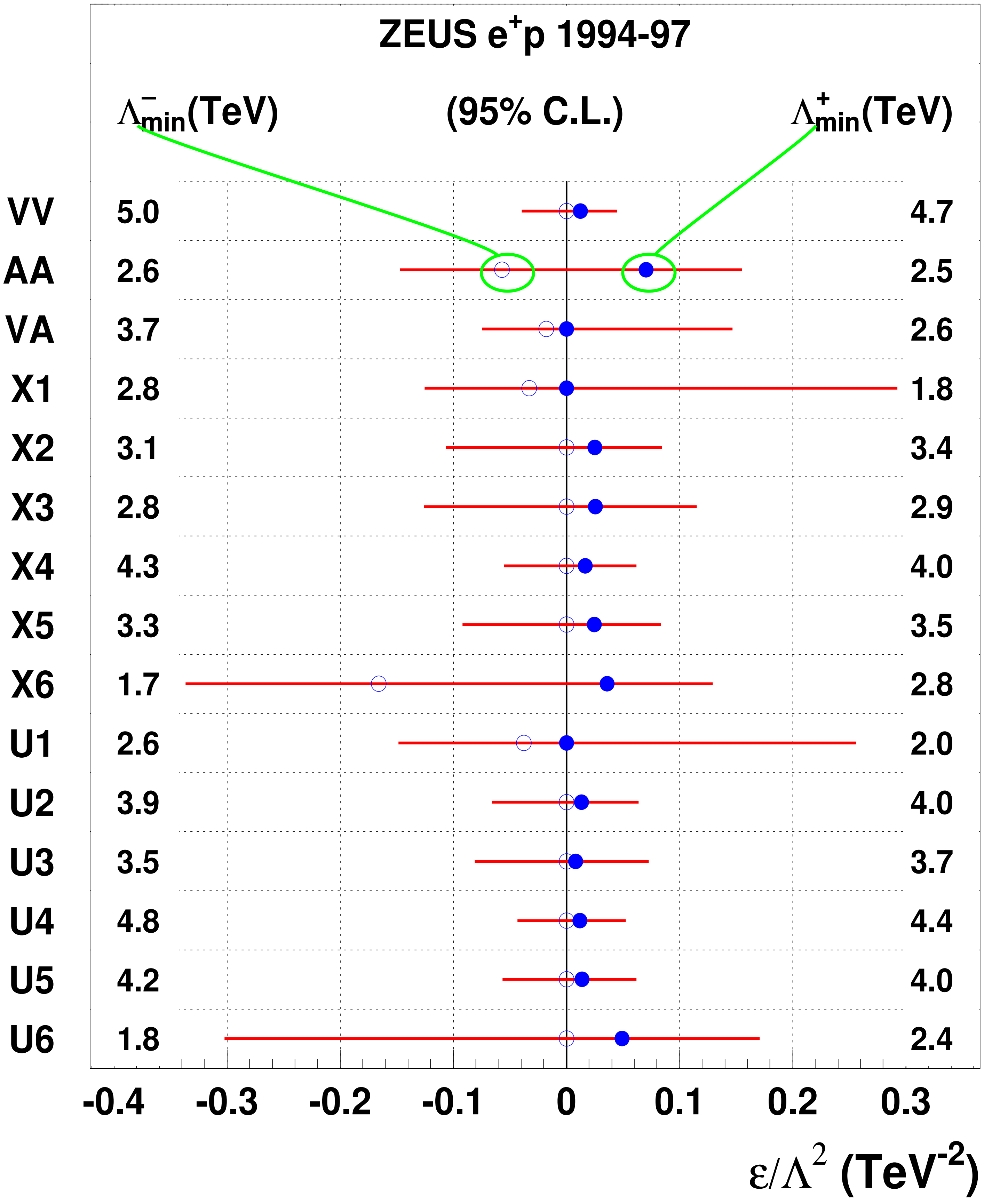


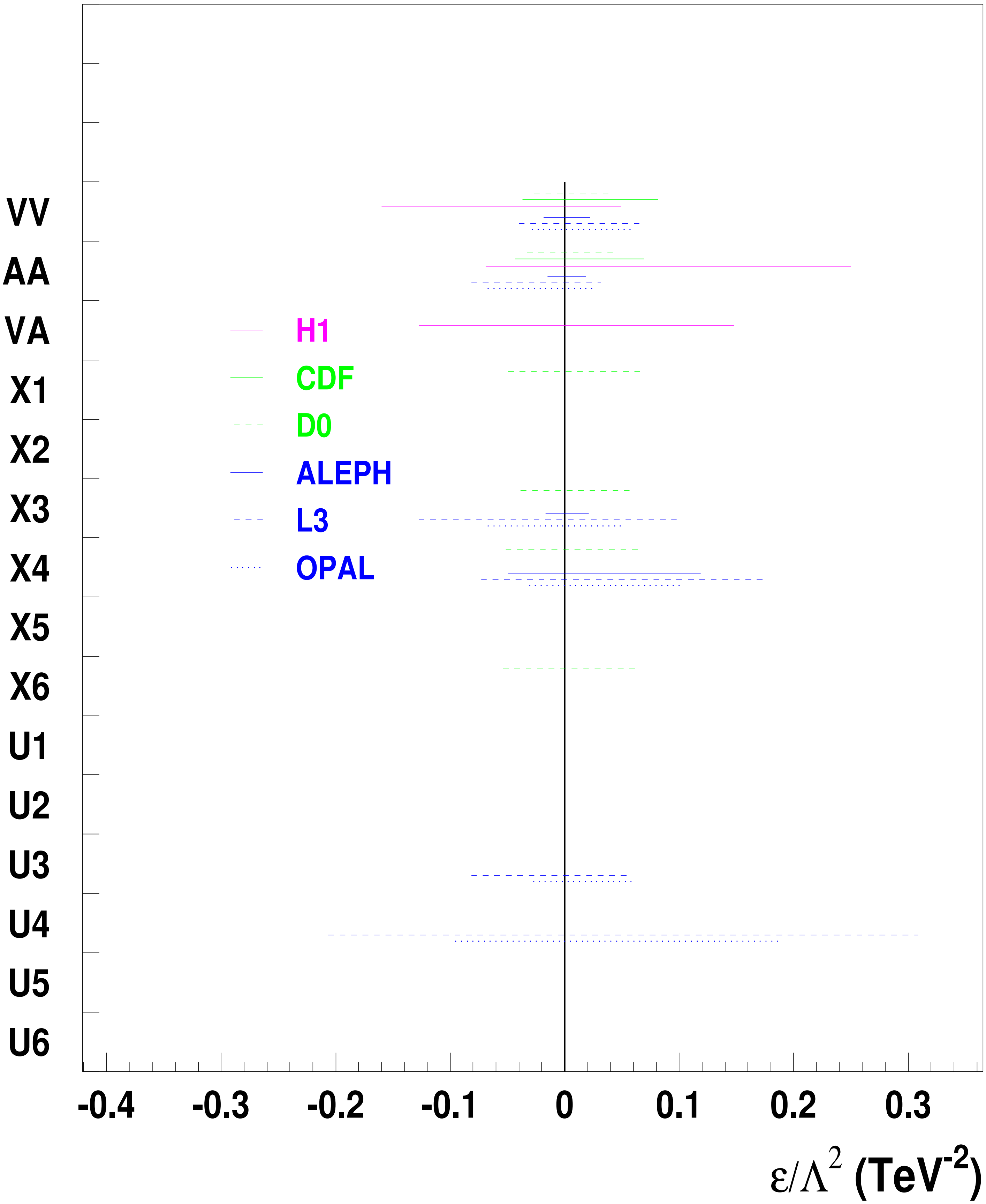
$\Rightarrow$ χ^2-Anpassung von g,Λ an $d\sigma^{\mathrm{NC}}/dQ^2$

ZEUS 1994 – 97



Kont.WW Grenzen





VV
AA
VA
X1
X2
X3
X4
X5
X6
U1
U2
U3
U4
U5
U6
H1
CDF
D0
ALEPH
L3
OPAL
-0.4
-0.3
-0.2
-0.1
0
0.1
0.2
0.3
ε/Λ^2 (TeV^{-2})

Leptoquarks

Leptoquarks (LQ) sind:

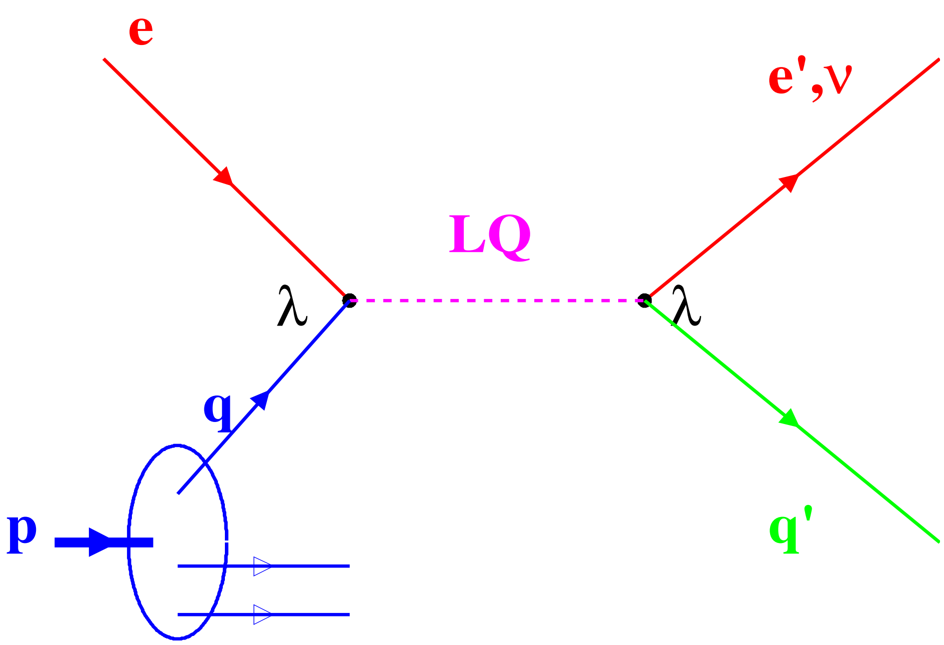
- Farbtriplet Bosonen
- Spin 0 oder 1 (skalar/vektoriell)
- Lepton-/Baryonzahl $\neq 0$
- gebrochenzahlige Ladung

von vielen Erweiterungen des SM vorhergesagt

LQ koppeln direkt an Lepton-Quark Paare
$\Rightarrow$ direkte Produktion bei HERA möglich ($M_{LQ} < \sqrt{s}$)

Zerfall in eq-, manche Typen auch in νq-Paare
$\Rightarrow$ sowohl NC als auch CC relevant

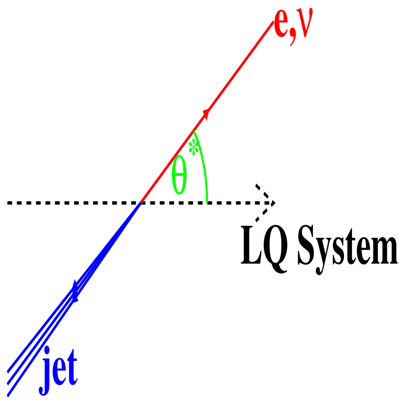
LQ bei HERA



Nachweis:

ℓ-Jet Massenspektrum: Resonanz in $M(\ell\,\mathrm{jet}) \simeq \sqrt{xs}$

aber: QCD-Korrekturen sorgen für $M_{\mathrm{rec}} \gtrsim \sqrt{xs}$



$\cos\theta^* = 2y - 1$

DIS bei kleinem $\cos\theta^*$

skal. LQ flach in $\cos\theta^*$

vekt. LQ wie $(1 - \cos\theta^*)^2$

LQ Ereignisse

benutze im wesentlichen NC Selektion (ZEUS,H1) oder CC Selektion (H1):

Massenrekonstruktion

$M_{ej}^2 = 2E_e E_{\text{jet}} \cdot (1 - \cos \sphericalangle(e, \text{jet}))$
$M_e^2 = \sqrt{x_e \cdot s}$ (aus Elektronmethode)
$M_{\text{DA}}^2 = x_{\text{DA}} \cdot s$ (aus Doppelwinkelmethode)
$M3^2 = 2E_e^{\text{Strahl}} \cdot (E + P_Z)$
$M_h^2 = Q_h^2 / y_h$ (aus Jacquet-Blondel Methode)

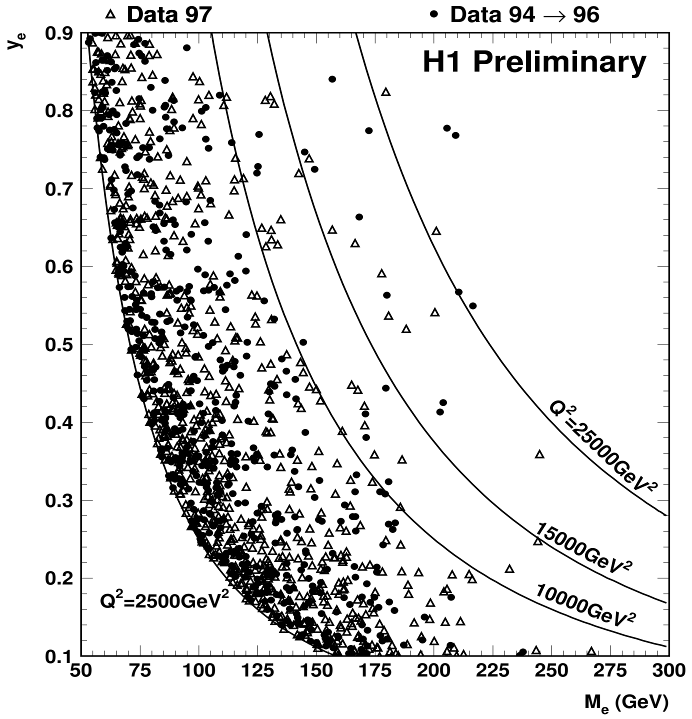
Massengrenzen

Wirkungsquerschnitt hängt ab von:

- LQ Masse M_{LQ}
- Kopplungskonstante λ
- Verzweigungsverhältnis $\beta(\text{LQ} \rightarrow \ell q)$

setzte einen Parameter fest, Grenze als Funktion der anderen beiden

LQ Ereignisse



H1:

$M_e =$

200 ± 12.5 GeV

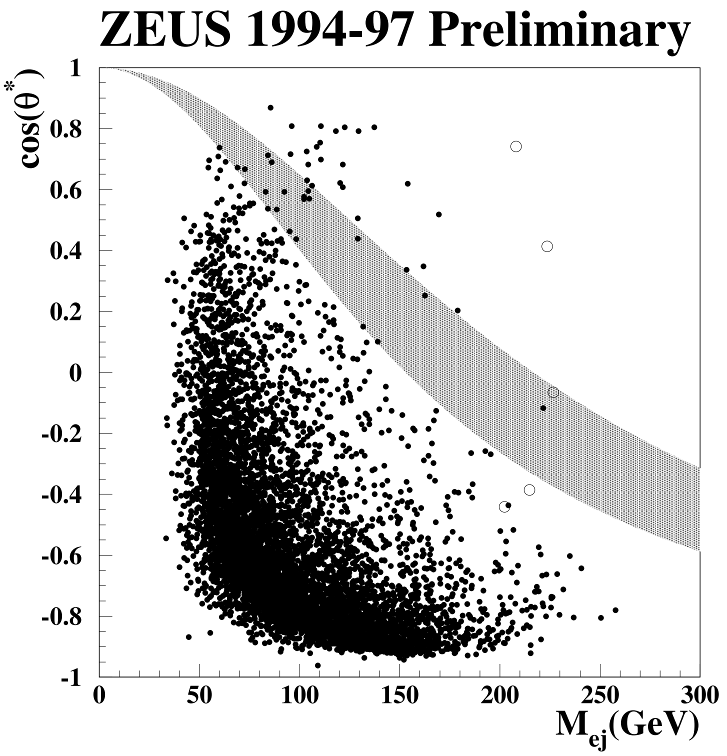
$y_e > 0.4$

Daten:

8 Ereign.

DIS Erw.:

3.0 ± 0.5



ZEUS:

$M_{ej} > 200$ GeV

Daten:

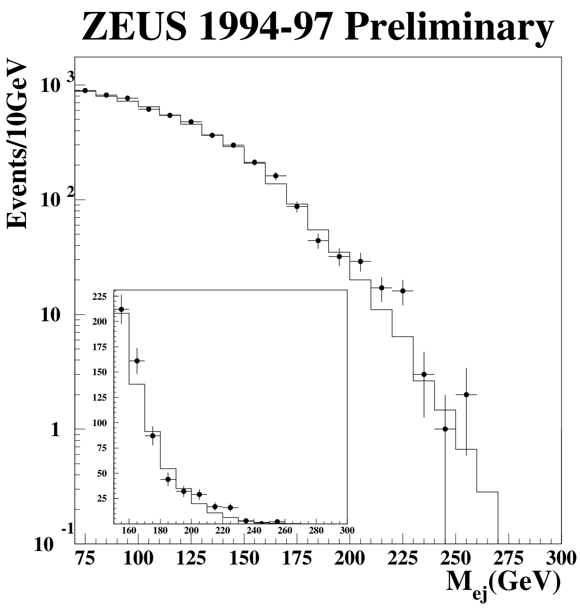
68 Ereign.

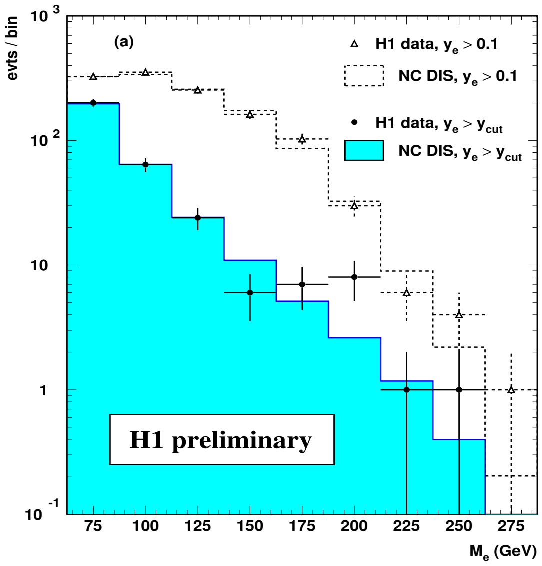
DIS Erw.:

43^{+14}_{-12}

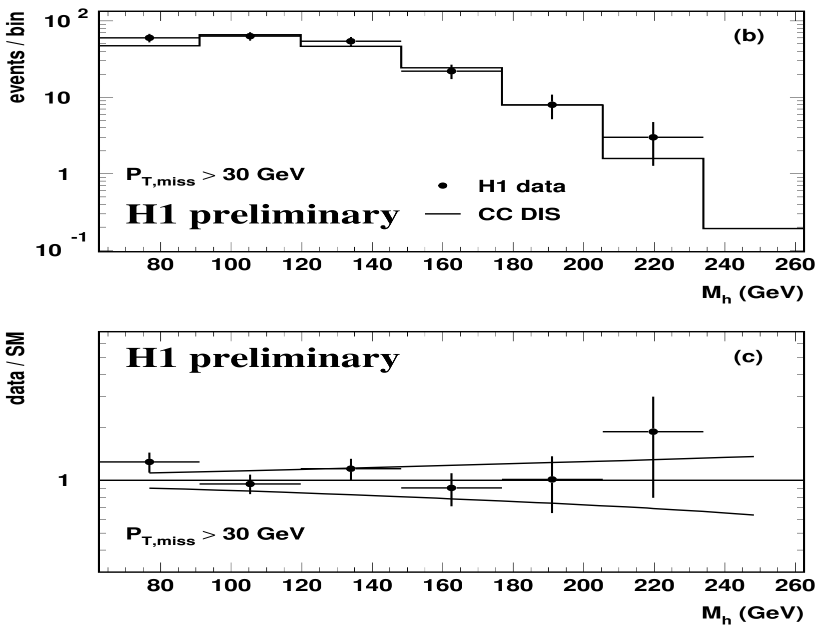
LQ – Massenspektrum

In NC-artigen Ereignissen



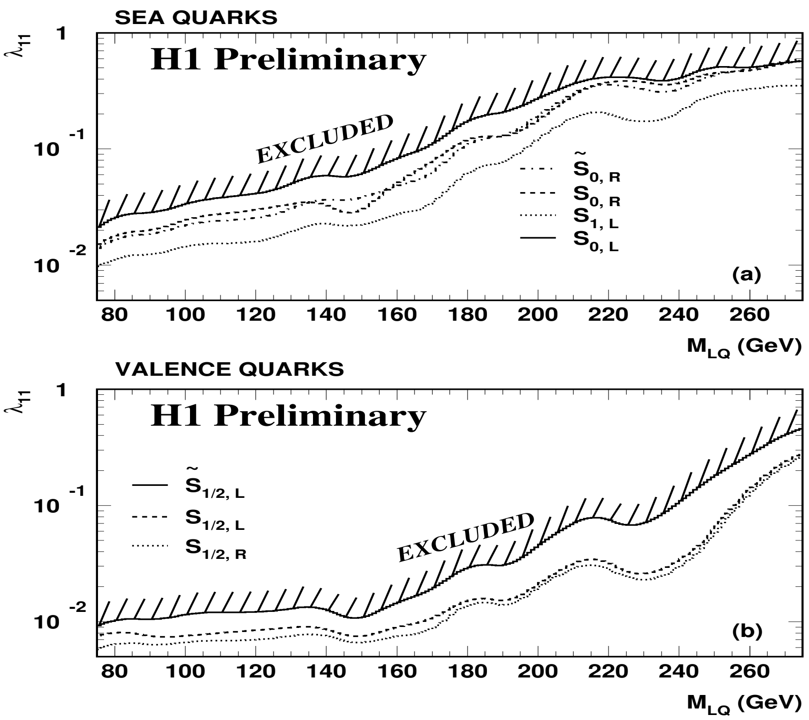


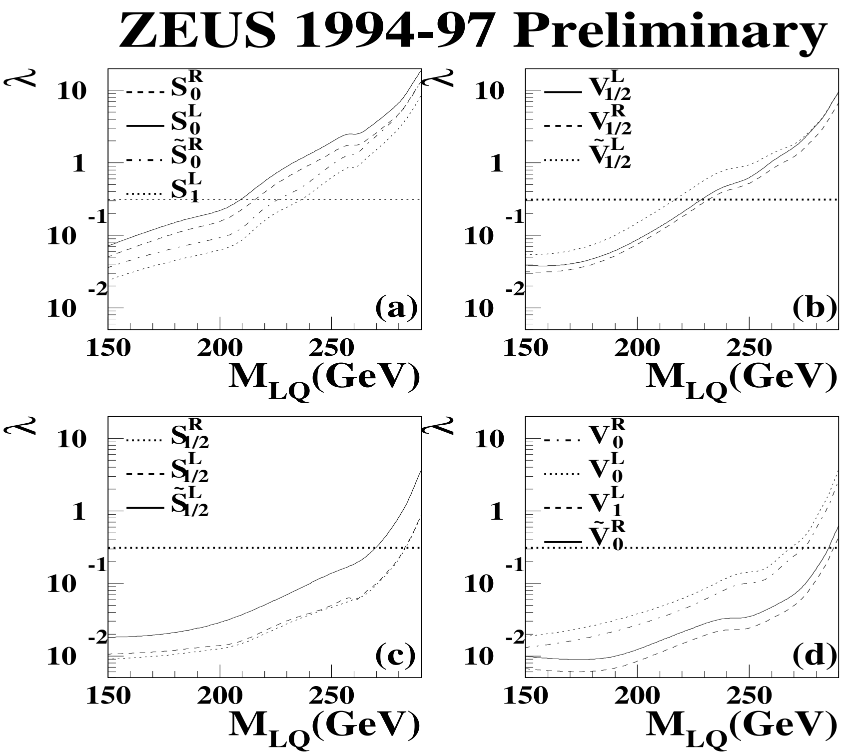
In CC-artigen Ereignissen



LQ Grenzen

setze β auf theor. Erwartung:





LQ – Tevatron

LQ-Produktion am Tevatron in Paaren

$\Rightarrow$ nicht sensitiv auf Kopplung

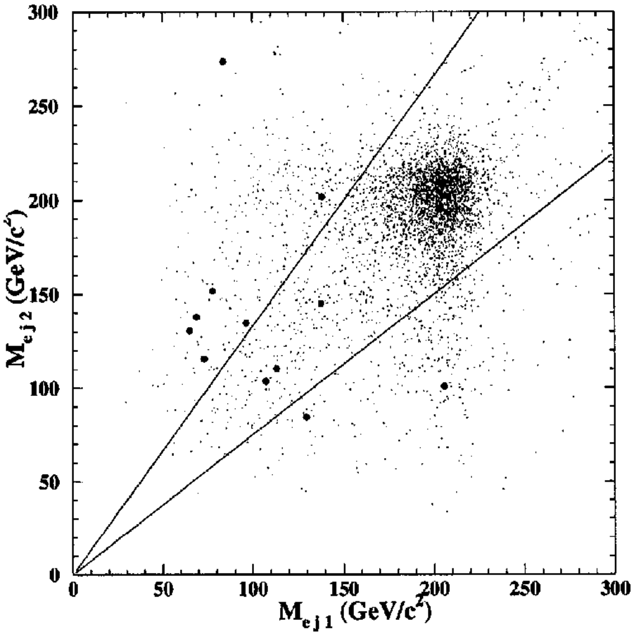
Suche nach 1. Generation skalarer LQ's

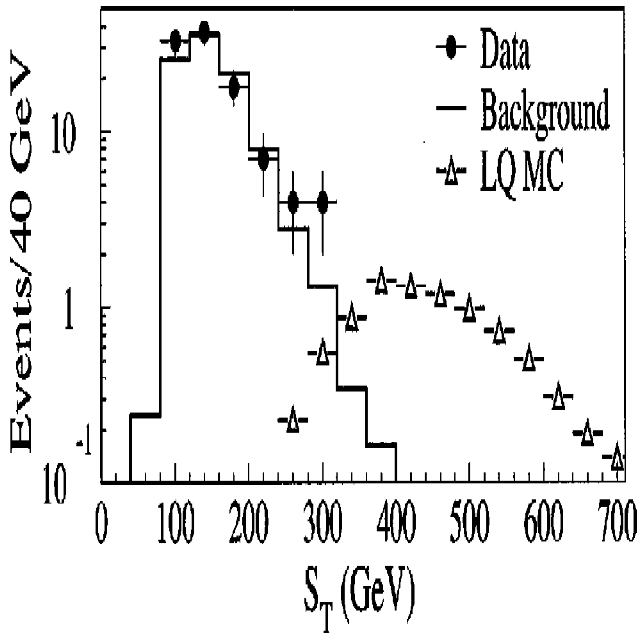
Signal: $q\bar{q} \to LQ_1 LQ_2$

Untergrund: $(q\bar{q} \to Z \to e^+e^-)$ + Jets

Selektion mit:

M_{ee} und $M_{ej,1/2}$ (CDF) oder E_T-Verteilungen (D0)

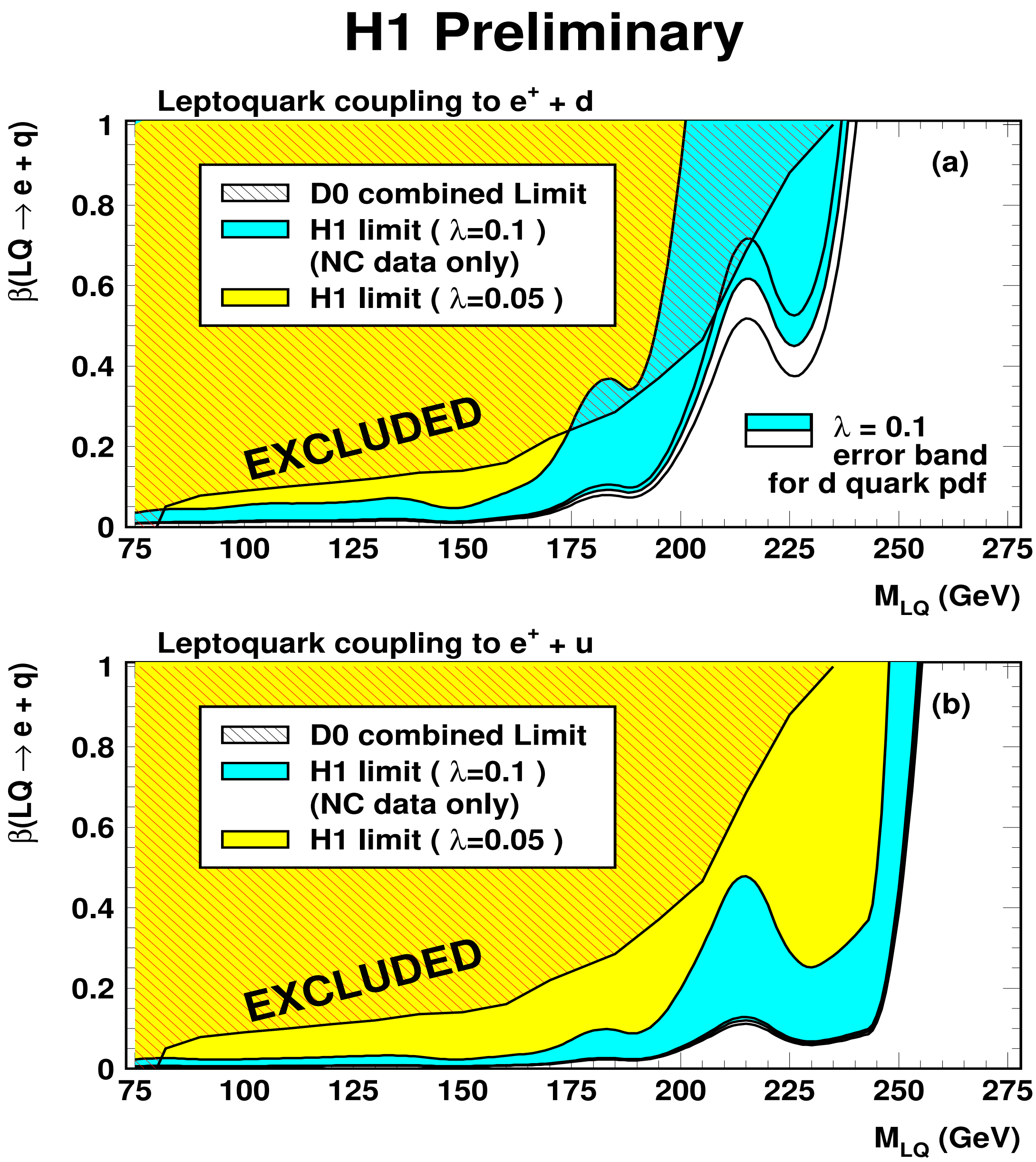




Verzweigungsverh. $= 1 \to$ Massengrenze

CDF: $M_{LQ} > 213$ GeV, D0: $M_{LQ} > 225$ GeV CDF+D0 kombiniert: $M_{LQ} > 242$ GeV

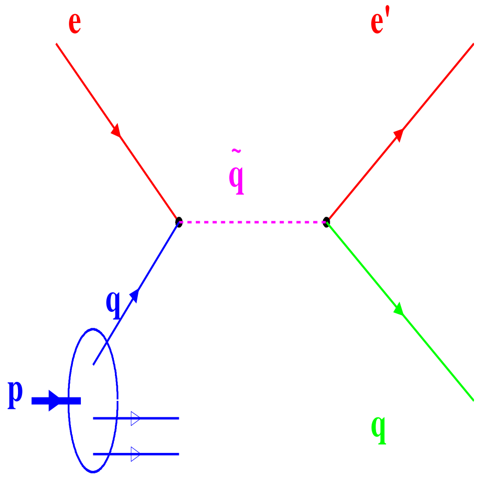
LQ – Tevatron-Grenzen



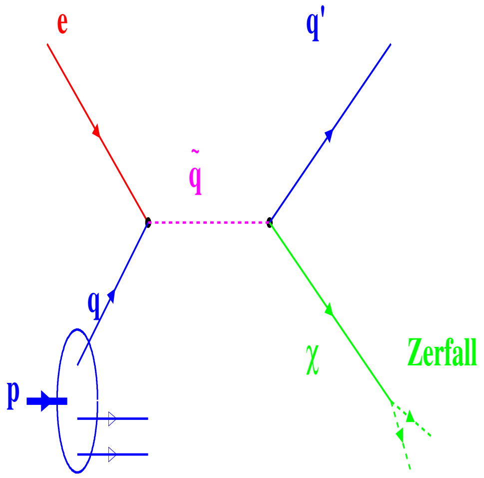
$\not{R}_p$ SUSY

$\not{R}_p$–SUSY $\simeq$ MSSM, erlaubt aber Kopplung von Squarks/Sleptonen an SM Teilchen

$\Rightarrow$ Produktion bei HERA möglich



analog zu LQ Produktion



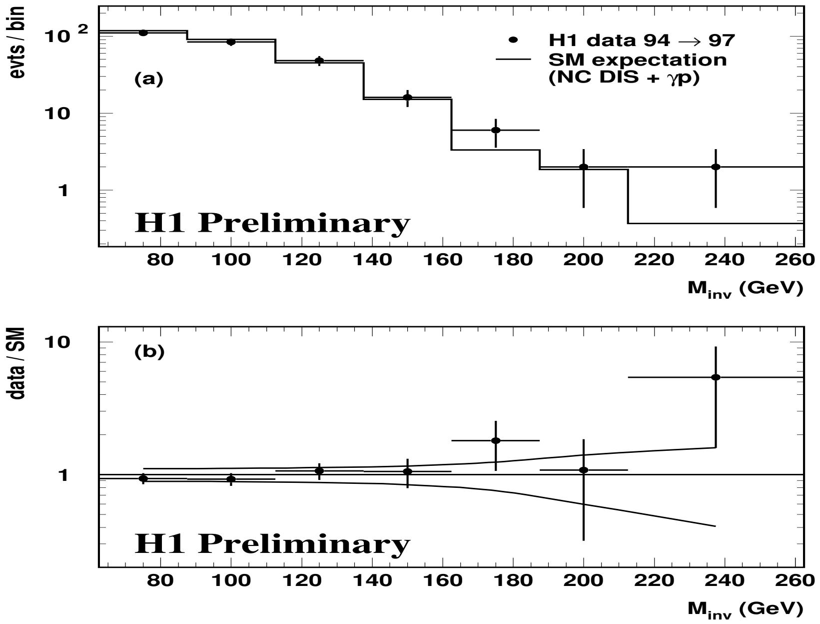
Zerfall in Neutralino oder Chargino
$\chi \rightarrow$ Fermionen

Annahmen:

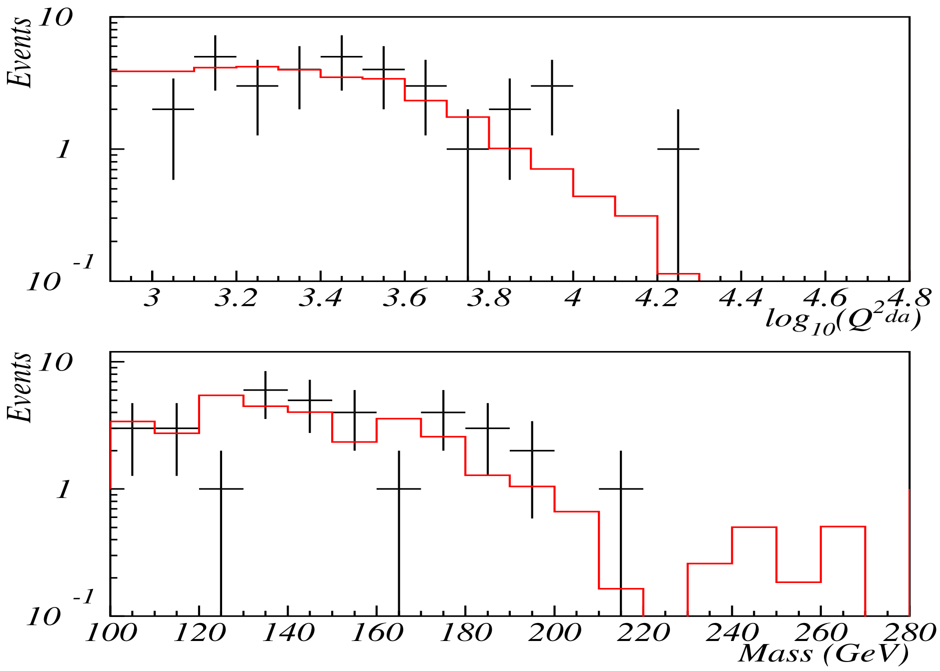
- leichtestes SUSY-Teilchen ist χ_1^0
- Kopplung nur für eine Generation $\neq$ Null

$\not{R}_p$–Squark Massenspektrum

H1 Preliminary

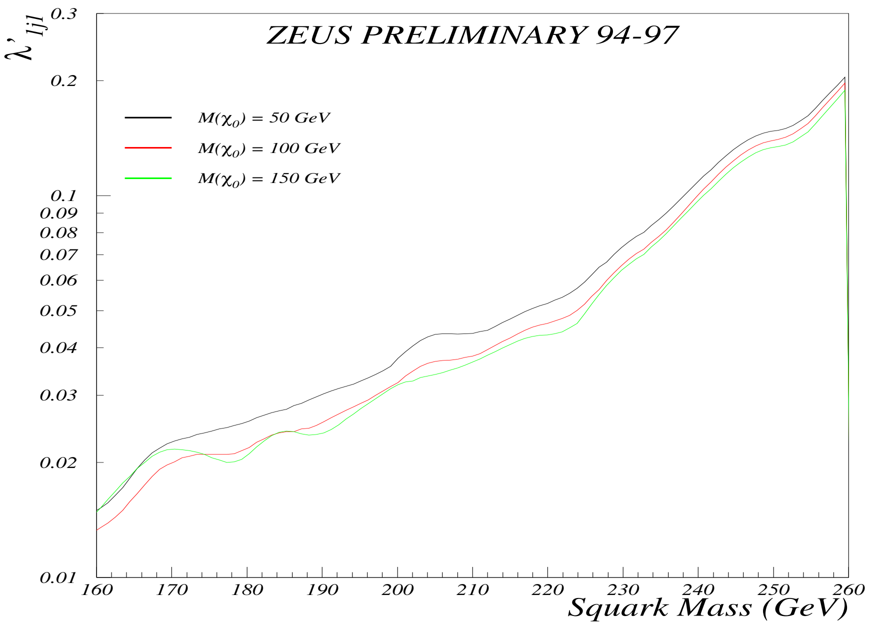


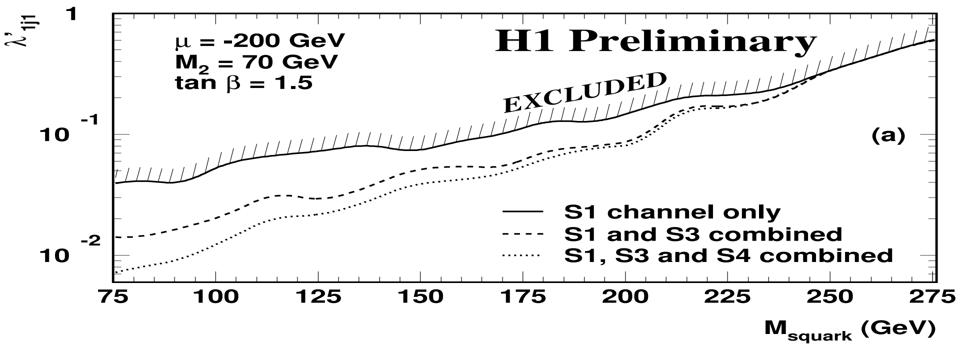
ZEUS Preliminary

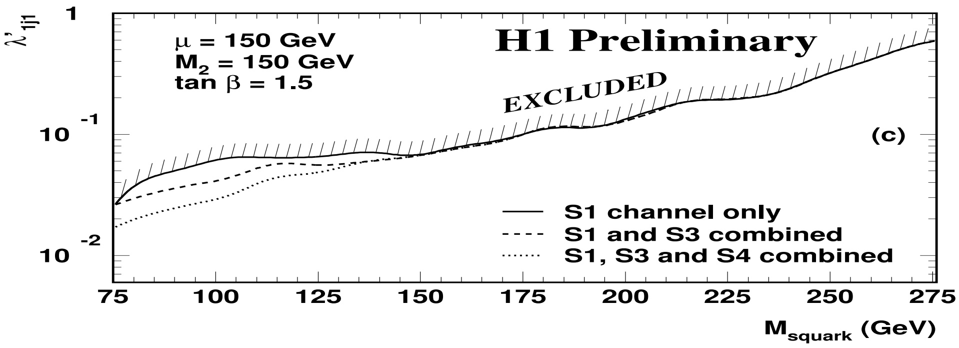


$\not{R}_p$–Squark Massengrenzen

SUSY-Parameter μ, β, $M_2 \Rightarrow M_\chi$, Verzweigungsverh.

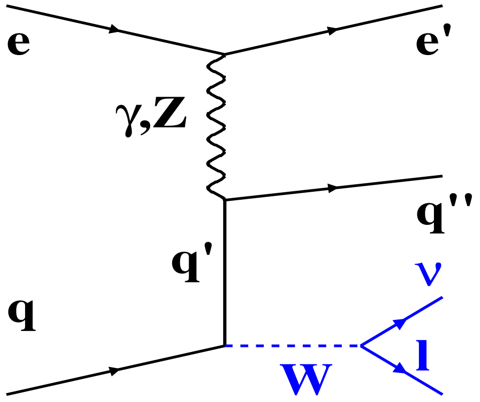




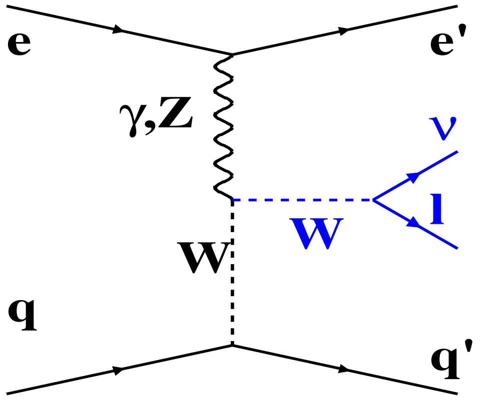


Isolierte Leptonen

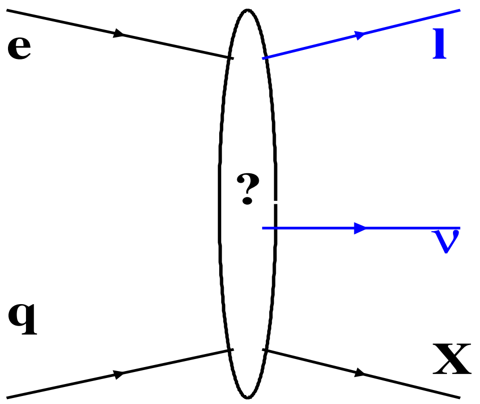
...mit hohem P_T bei fehlendem P_T im Ereignis:



W-Produktion durch Abstrahlung



W-Produktion durch
drei-Boson-Vertex
könnte anomal sein



neue Teilchen:
z.B. SUSY

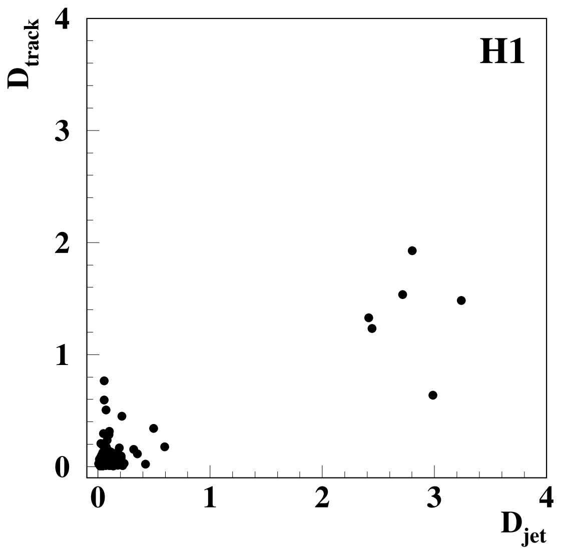
Isol. Lept. – Selektion

verlange:

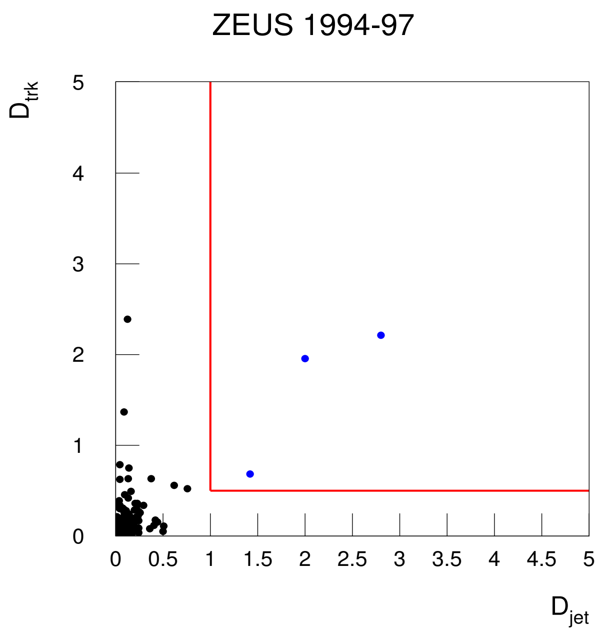
- fehlendes P_T im Kalorimeter
- isolierte Spur mit großem P_T

Abstand Spur $\leftrightarrow$ Jet oder nächste Spur in η–ϕ

H1:



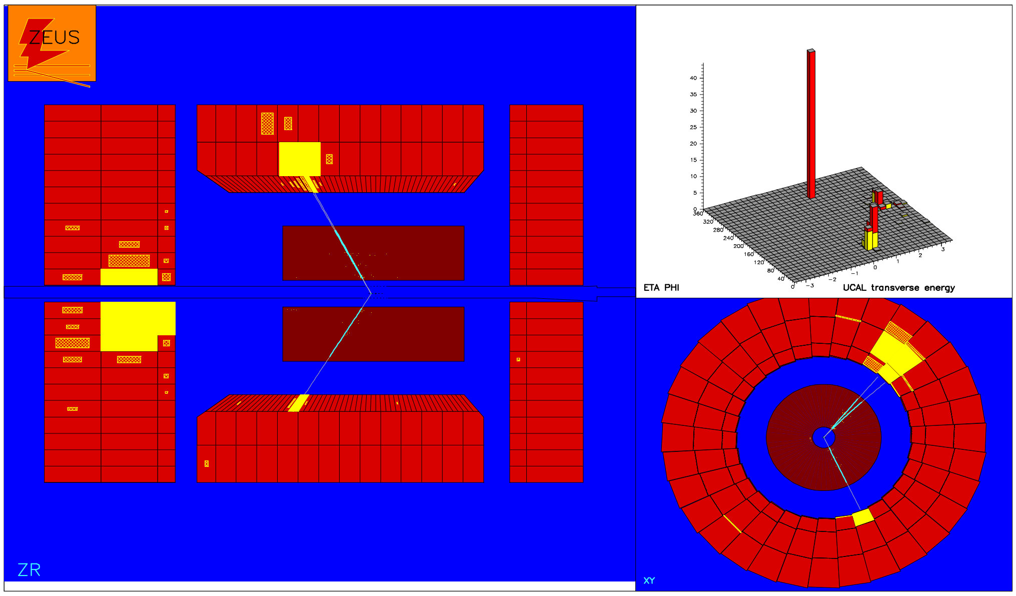
ZEUS:



untersuche Kandidaten bei großem D_{track}-D_{jet}

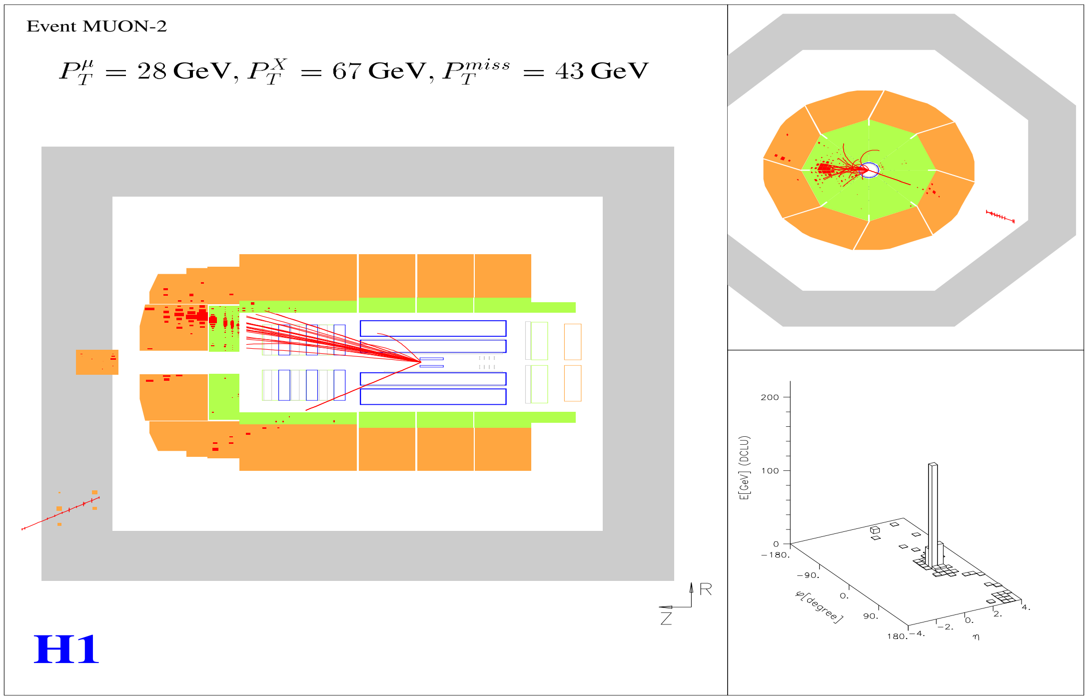
Isol. Lept. – Ereignisse

Kandidat für W-Produktion ($M_T = 81.4 \pm 3.2$ GeV)



Zerfall in μ

$$e^+p \to \mu^+X$$



Isol. Lept. – Vergleich mit SM

e^+p-Streuung in 1994–1997

H1:

Lepton	SM	Daten	
μ	0.8 ± 0.2	5	(2 μ^-, 2 μ^+, 1 undef.)
e	2.4 ± 0.5	1	(1 e^-)

ZEUS:

Lepton	SM	Daten	
μ	2.0 ± 0.4	0	
e	3.5 ± 0.7	3	(3 e^+)

e^-p-Streuung in 1998–1999; vorläufig, 5.1 pb^{-1}

ZEUS:

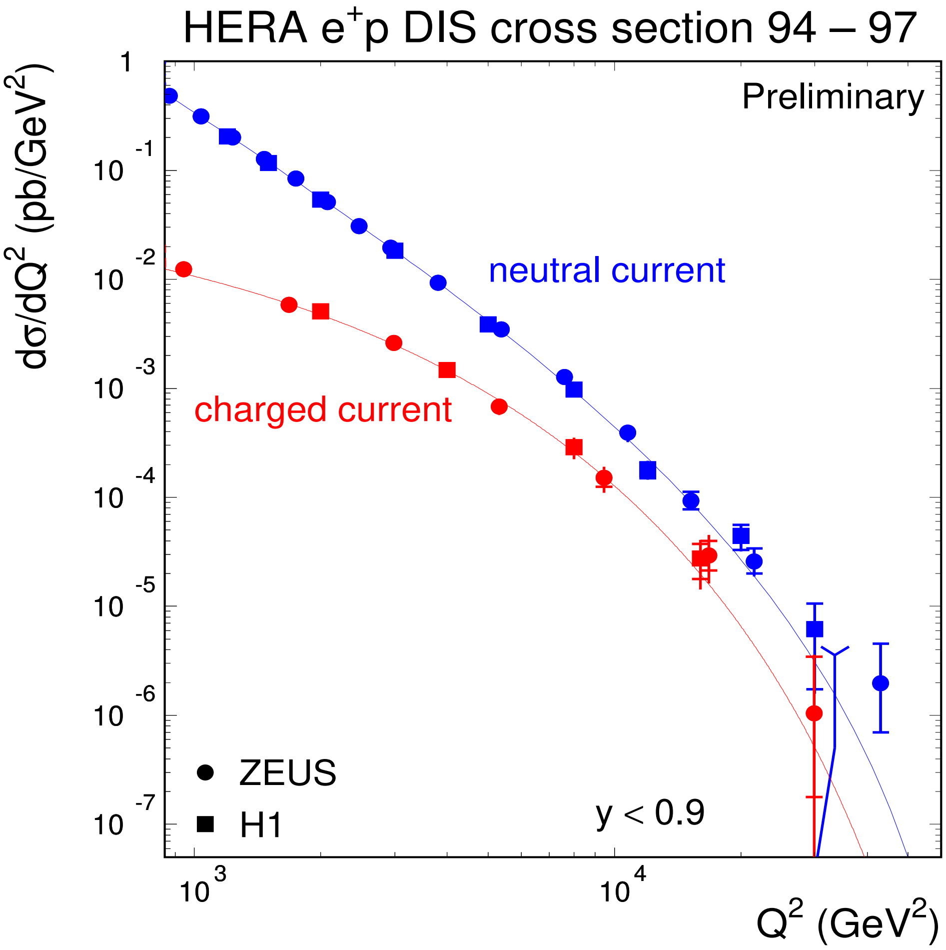
Lepton	SM	Daten	
μ,e	0.50 ± 0.14	1	(1 e^-)

H1:

Lepton	SM	Daten
e	0.37 ± 0.07	0
μ	0.14 ± 0.04	0

Zusammenfassung

NC und CC Wirkungsquerschnitte in einem Bereich über mehrere Größenordnungen gemessen, in guter Übereinstimmung mit dem SM



NC: Einfluß von Z-Austausch sichtbar, CC: W-Masse OK

Kontakt-WW: Grenzen bis zu mehreren TeV

LQ-, $R\!\!\!/_p$-Squark-Grenzen bis über 200 GeV, vergleichbar mit TeVatron

Ursache für isolierte μ bei H1 ungeklärt, nicht von ZEUS beobachtet

Ausblick

Datennahme 1998–1999 mit Elektronen:

- höhere p-Strahlenergie $\Rightarrow$ s größer
- NC: erste Bestimmung von xF_3 bei HERA möglich
- CC: Kopplung ans u $\Rightarrow$ größerer Wirkungsquerschnitt
- exotisch: andere Kanäle zugänglich
  insbes. andere Leptoquarks

nach 2000:

- neue Strahloptik $\rightarrow$ fünffache Luminosität $\Rightarrow$
  - mehr elektroschwache Physik
  - bessere Sensitivität auf exotische Prozesse
  - Klärung ungelöster Fragen
- longitudinale Polarisation $\Rightarrow$ Spinabhängigkeit