

Suche nach Leptoquarks bei HERA



Universität Hamburg

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Antje Hüttmann
Robert Klanner
Peter Schleper
Jolanta Sztuk-Dambietz



BMBF - Förderschwerpunkt
Elementarteilchenphysik
Großgeräte der physikalischen
Grundlagenforschung

DPG-Tagung
Freiburg, 7. März 2008

Gliederung

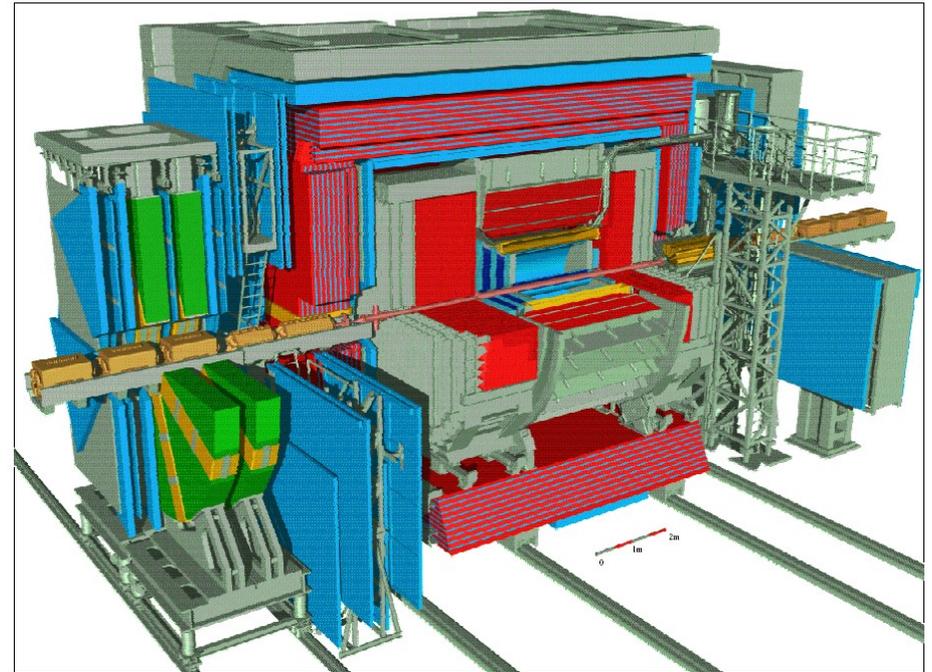
- HERA und ZEUS
- Tiefinelastische Streuung (DIS)
- Einführung ins Leptoquark-Modell
- Suche nach Leptoquark-Resonanzen
- Massengrenzen
- Vergleich mit anderen Experimenten
- Zusammenfassung

Der ZEUS-Detektor bei HERA



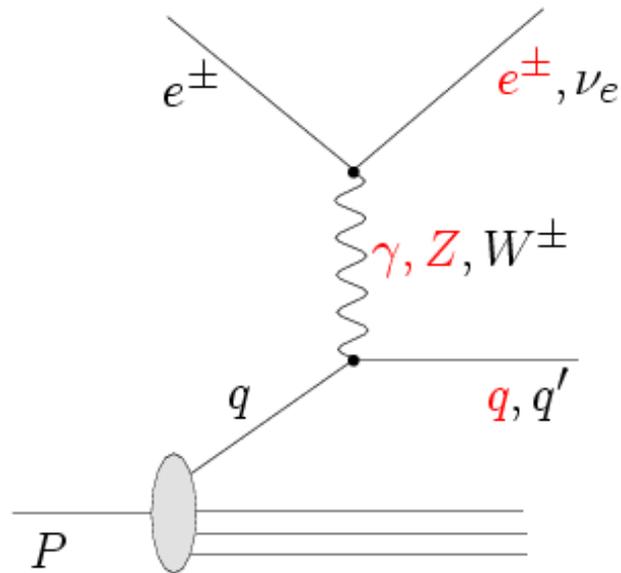
- HERA-II-Daten (2004-2007) analysiert, e^\pm links- oder rechtshändig **polarisiert**
- Kombination mit HERA-I-Daten (1994-2000), e^\pm unpolarisiert

Datensatz	$L_{\text{int}} [\text{pb}^{-1}]$	Pol. [%]	$\sqrt{s} [\text{GeV}]$
06-07 LH e^+	55	-36	318
06-07 RH e^+	75	+32	318
04-06 LH e^-	104	-27	318
04-06 RH e^-	79	+30	318
99-00 e^+	66	0	318
98-99 e^-	17	0	318
94-97 e^+	49	0	301



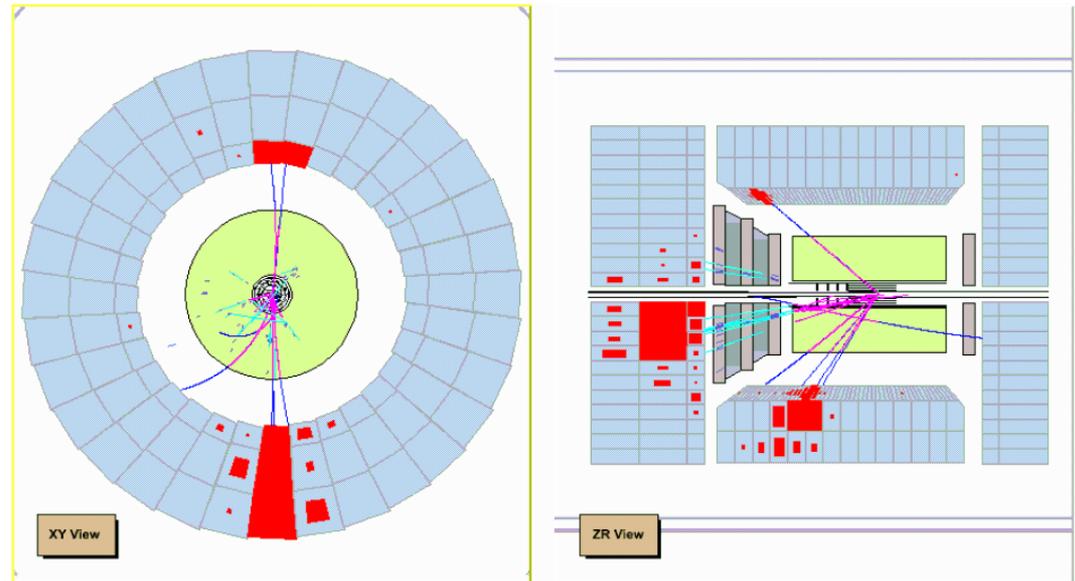
- **ZEUS-Detektor** ist Universaldetektor
- **Uran-Kalorimeter**, Auflösung:
 $\sigma_E/E = 0.35/(E[\text{GeV}])^{1/2}$ hadronisch
 $\sigma_E/E = 0.18/(E[\text{GeV}])^{1/2}$ elektromagn.
- Zentrale **Spurkammer**
- Weitere Komponenten

Tiefunelastische Streuung (DIS)



Es wurden nur **Ereignisse des neutralen Stromes** selektiert

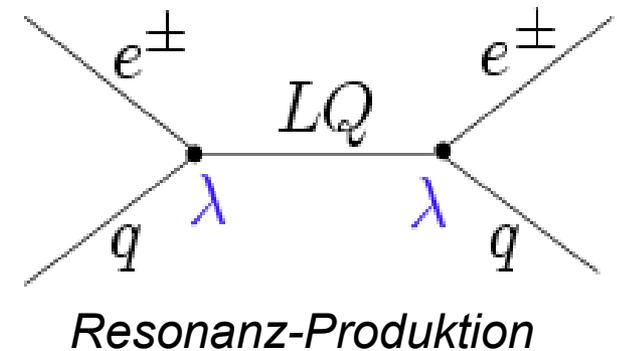
- Q^2 : Absolutquadrat des Viererimpulsübertrags
- x : Bruchteil des Protonimpulses, der vom getroffenen Parton q getragen wird
- y : Energieübertrag vom einlaufendem Elektron zum Austauschboson im Ruhesystem des Protons
- Zusammenhang: $Q^2 = x \cdot y \cdot s$



Tiefunelastisches Ereignis des neutralen Stromes mit $Q^2=10000 \text{ GeV}^2$

Einführung ins Leptoquark-Modell

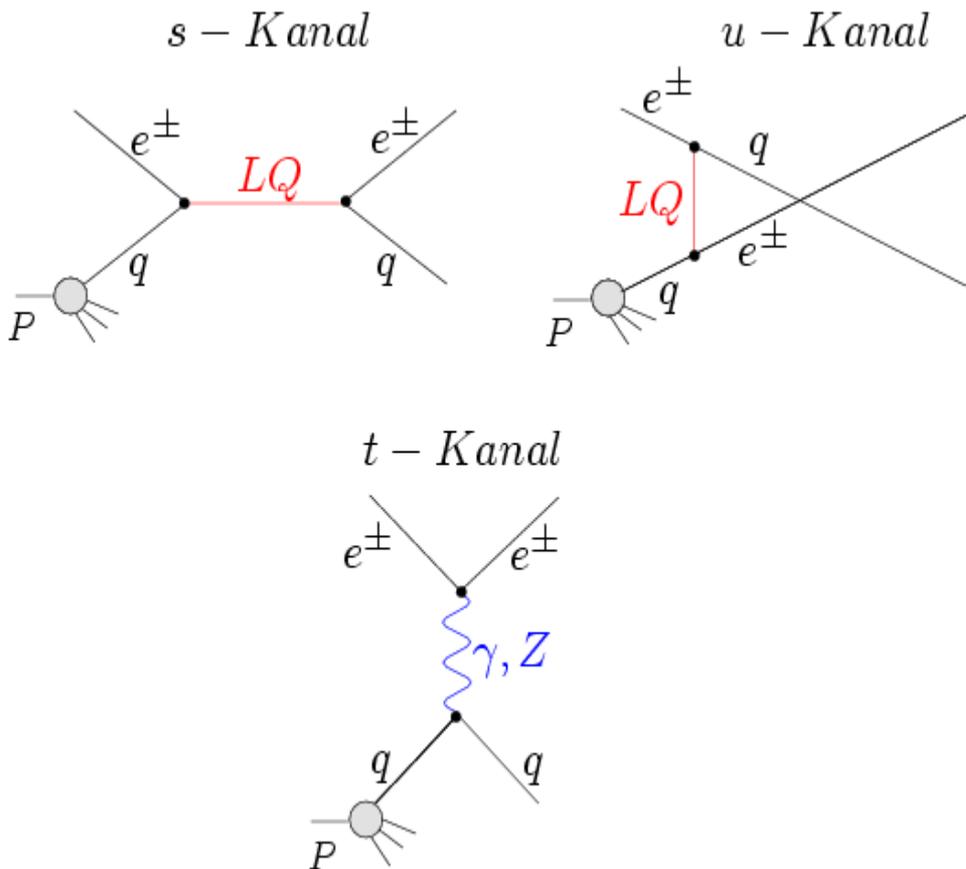
- Leptoquarks sind skalare oder vektorielle Farb-Tripletts, tragen sowohl Lepton- als auch Baryon-Zahl → HERA besonders geeignet für die Suche nach Leptoquarks
- Fermion-Zahl: $F=L+3B$, ($F=0,2$)
- Das Buchmüller-Rückl-Wyler-Modell:
 - ♦ Standardmodell-Symmetrie erhalten
 - ♦ Lepton- und Baryonenzahl erhalten
 - ♦ Nur Kopplung an links- oder an rechtshändige Fermionen
 - ♦ Leptoquark-Kopplungen werden als flavor-diagonal angenommen
 - ♦ → 7 skalare und 7 vektorielle Leptoquarks



Der Leptoquark-Wirkungsquerschnitt

- Totaler Wirkungsquerschnitt:

$$\sigma(e^\pm p) = \sigma_{\text{SM}} + \sigma_{\text{s/SM}}^{\text{Int}} + \sigma_{\text{u/SM}}^{\text{Int}} + \sigma_{\text{s}} + \sigma_{\text{u}}$$



- Für kleine Yukawa-Kopplung λ und $M_{LQ} \leq s^{1/2}$ dominiert der **s-Kanal**, beschrieben durch die „**Narrow Width Approximation**“:

$$\sigma^{\text{NWA}} = (J + 1) \frac{\pi}{4s} \lambda^2 q(x_0, M_{LQ}^2)$$

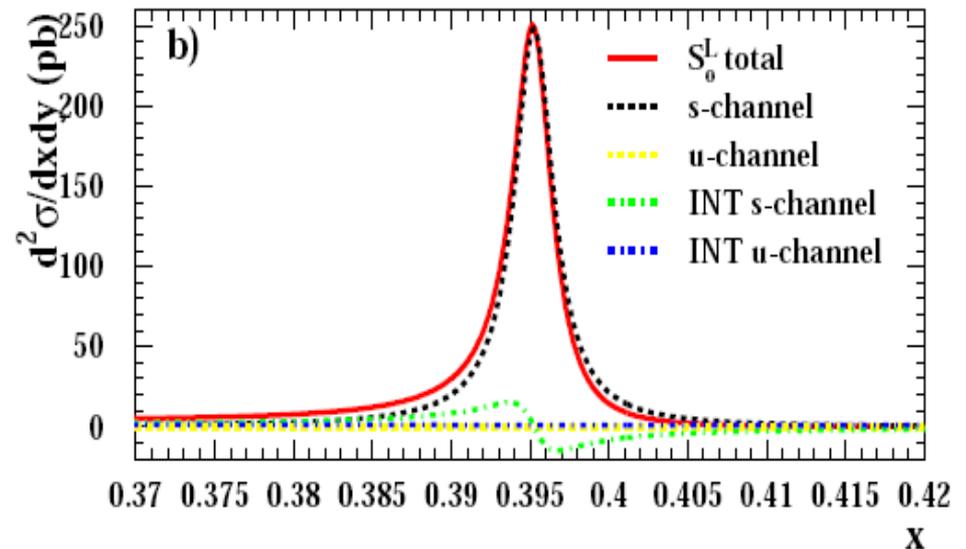
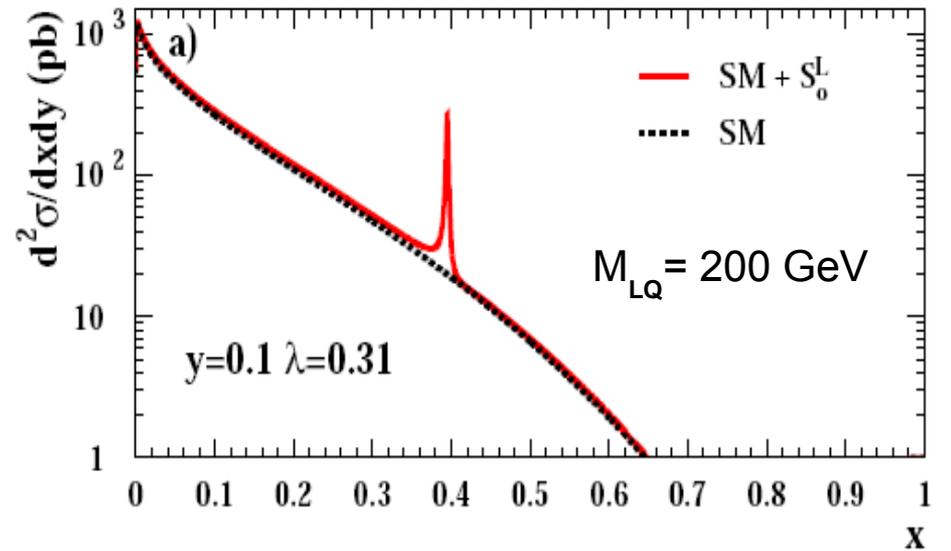
$q(x_0, M_{LQ}^2)$: Partondichte

J : Spin des Leptoquarks ($J=0,1$)

- Im **allgemeinen** Fall sind **alle Terme** wichtig, $\sigma \sim \lambda^4$

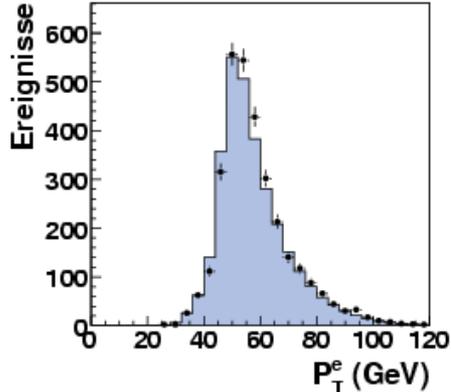
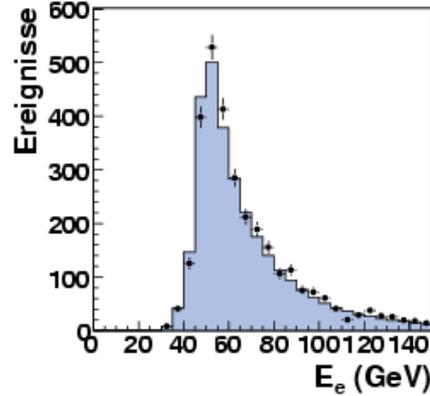
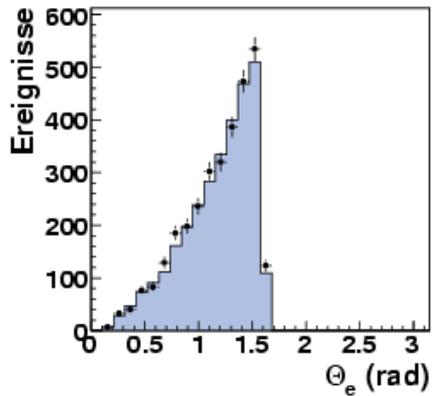
Invariante Masse

- Die **invariante Masse** wird aus dem Elektron und allen Jets im Endzustand berechnet
- Ein Leptoquark-Beitrag zum Standardmodell würde zu einem „**Peak**“ in der Verteilung der **invarianten Masse** führen
- **Ereignisselektion:**
 - ◆ $Q^2 > 2500 \text{ GeV}^2 \rightarrow$ hohes Q^2
 - ◆ $x > 0.1 \rightarrow$ hohe Masse $M=(x \cdot s)^{1/2}$
 - ◆ Endzustandstopologie:
 - Elektron
 - Jets (führender Jet mit $p_T > 15 \text{ GeV}$)



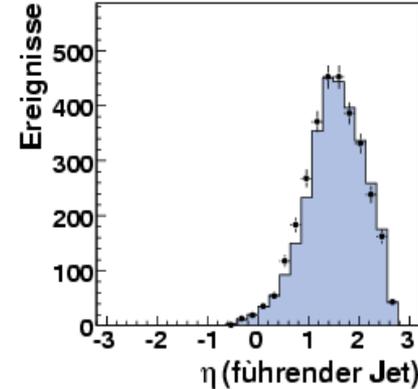
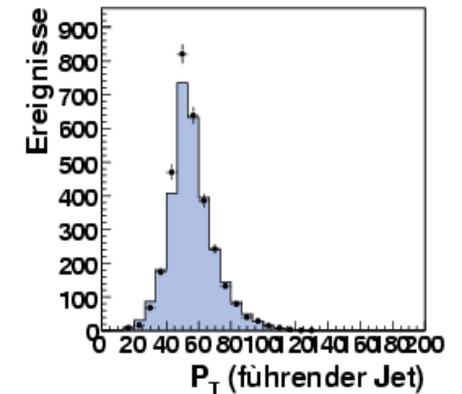
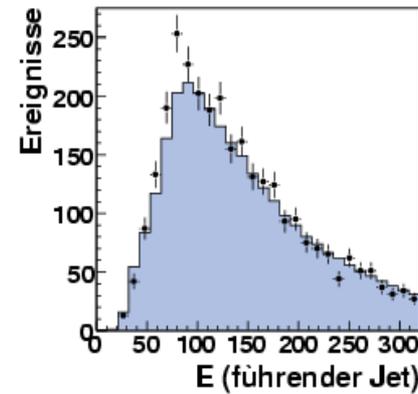
Verteilungen für DIS-Elektron und Jets (LH e^-)

Elektron-Variablen



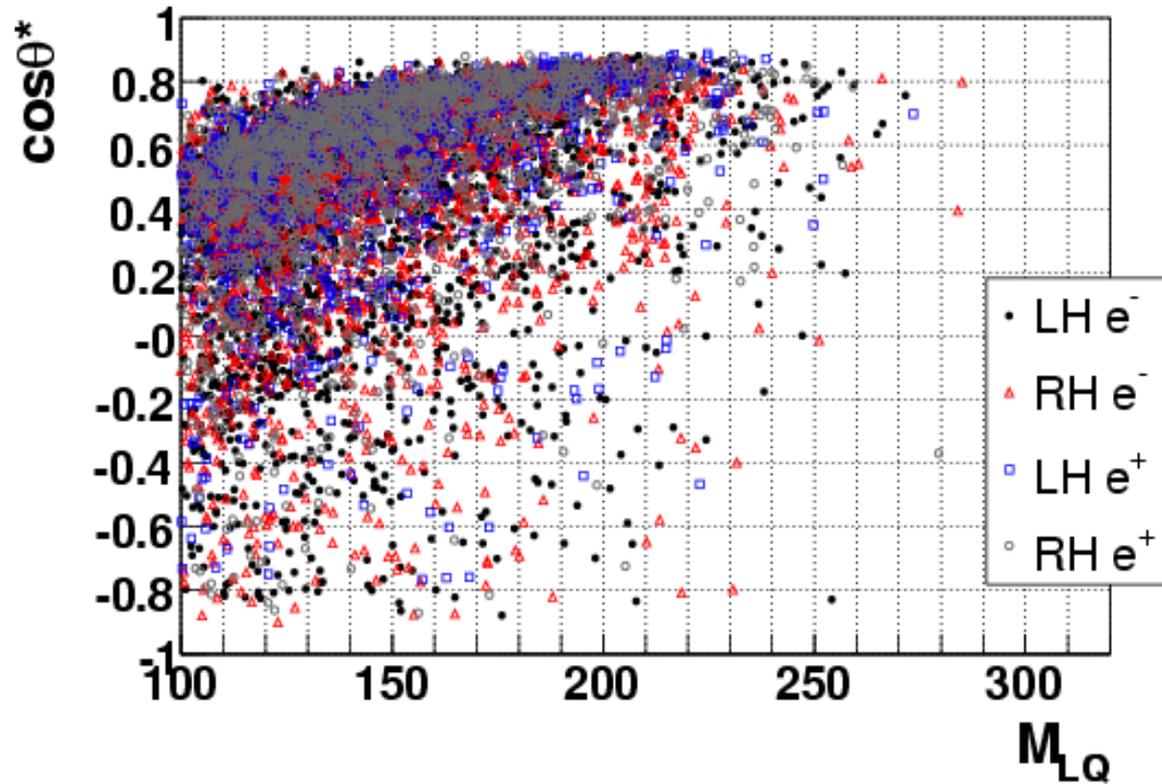
Punkte: Daten
Histogramme: SM-NC-Monte-Carlo

Jet-Variablen



- Monte-Carlo auf die Luminosität normiert
- **Akzeptable Übereinstimmung** zwischen Daten und MC
- Andere Datensätze ähnlich gut beschrieben

Datenverteilung



- $\cos\theta^*$: Elektron-Sreuwinkel im Elektron-Quark-Schwerpunktsystem
- Region mit **großem** M_{LQ} am sensitivsten auf Leptoquarks
- **kein offensichtlicher Überschuss** bei fester Masse und kleinem $\cos\theta^*$

Winkelabhängigkeit:

$$y = 0.5 (1 - \cos\theta^*)$$

- **Skalare** Leptoquarks:

$$\left. \frac{d\sigma}{dy} \right|_{\text{skalar}} : \text{unabhängig von } y$$

- **Vektorielle** Leptoquarks:

$$\left. \frac{d\sigma}{dy} \right|_{\text{vekt.}} \sim (1 - y)^2$$

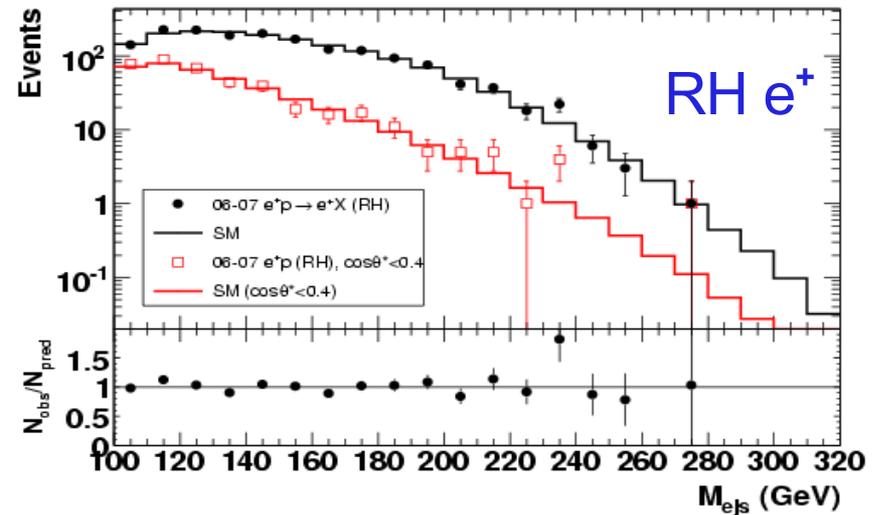
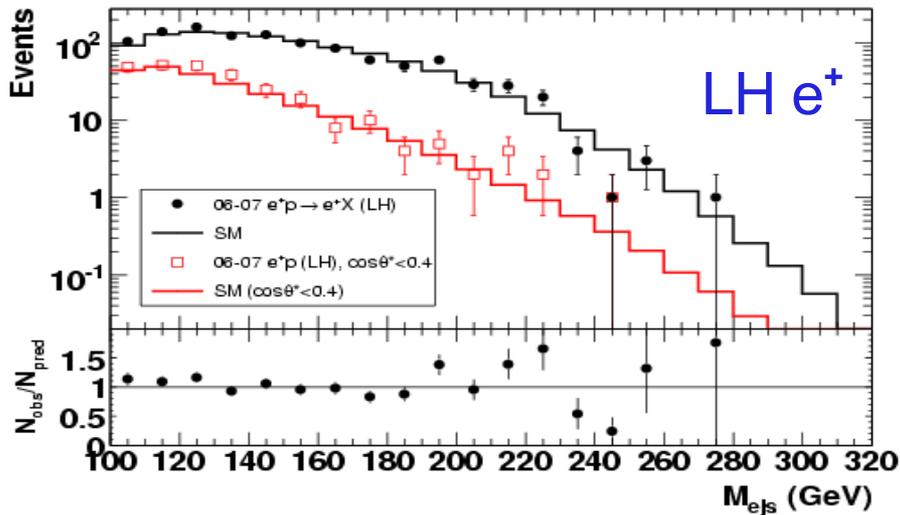
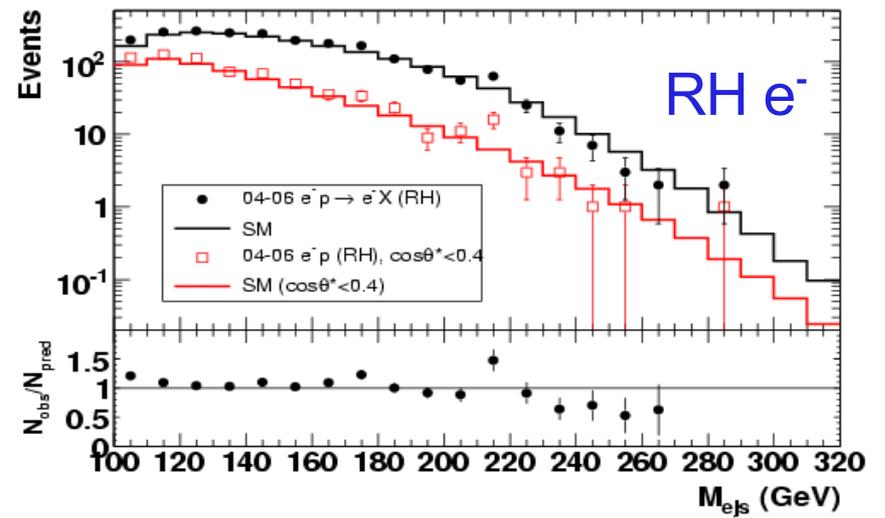
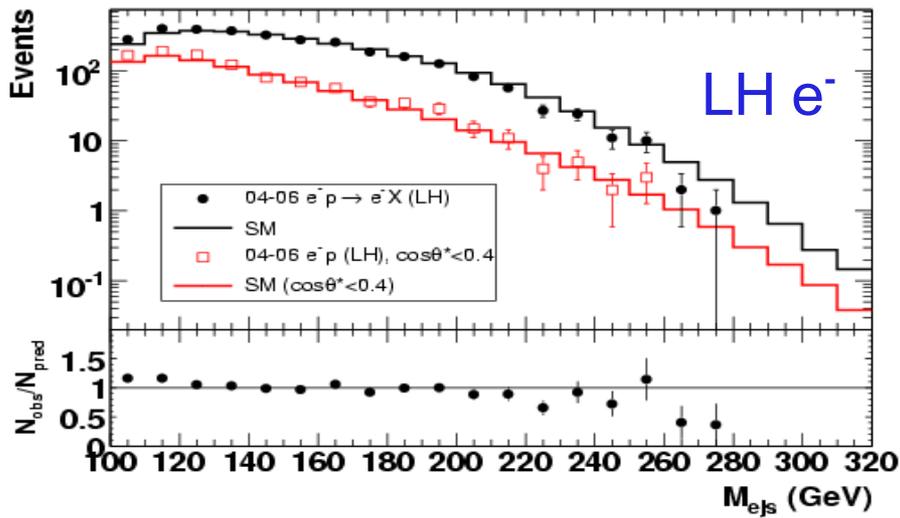
- **NC-DIS-Untergrund:**

$$\left. \frac{d\sigma}{dy} \right|_{\text{SM}} \sim \frac{1}{y^2}$$

→ Die Region mit **hohem** y ($\cos\theta^*$ negativ) ist sensitiver auf Leptoquarks als auf den SM-Untergrund

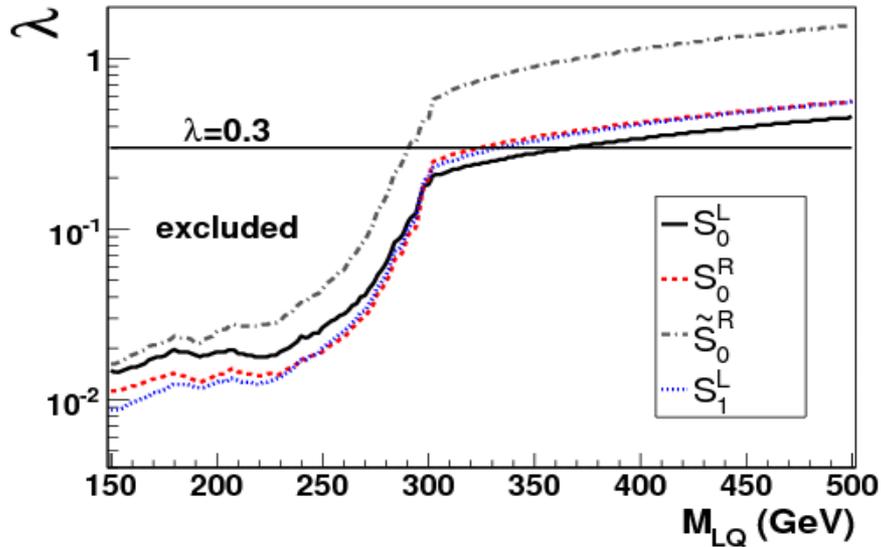
Verteilungen für die invariante Masse

In *rot*: mit Schnitt auf $\cos\theta^* < 0.4$



→ keine Hinweise auf Leptoquarks

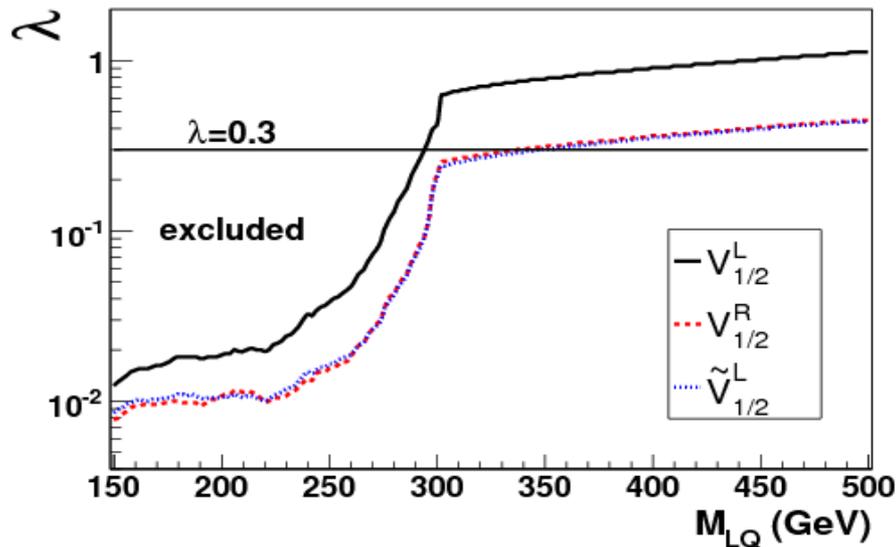
Grenzen für Leptoquarks mit F=2



- Elektromagnetische Kopplung:

$$\lambda = \sqrt{4\pi\alpha} \approx 0.3$$

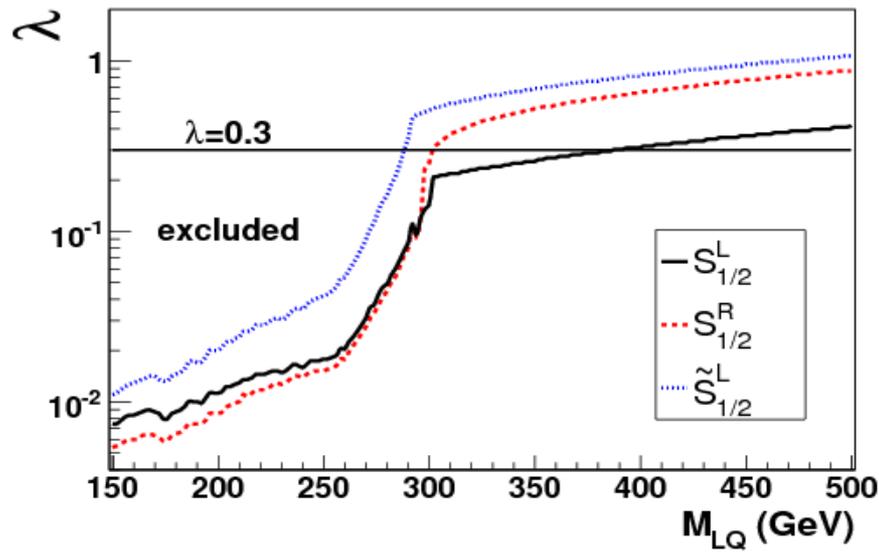
- Für **skalare Leptoquarks** gilt mit $\lambda=0.3$:
 $M_{LQ} > 290 - 366 \text{ GeV}$



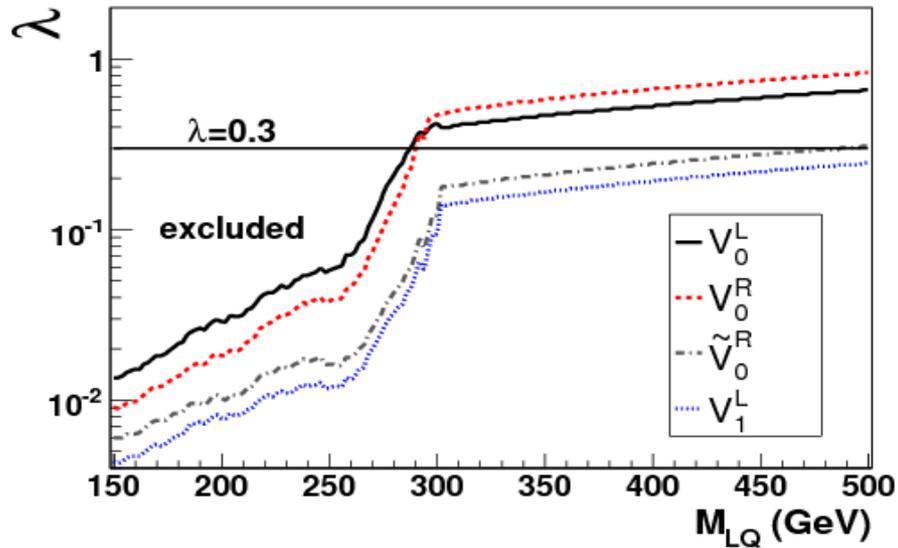
- Für **vektorielle Leptoquarks** gilt mit $\lambda=0.3$:
 $M_{LQ} > 294 - 346 \text{ GeV}$

- Grenzen auch **oberhalb von $s^{1/2}=320 \text{ GeV}$** durch **virtuellen** s-Kanal und u-Kanal

Grenzen für Leptoquarks mit $F=0$

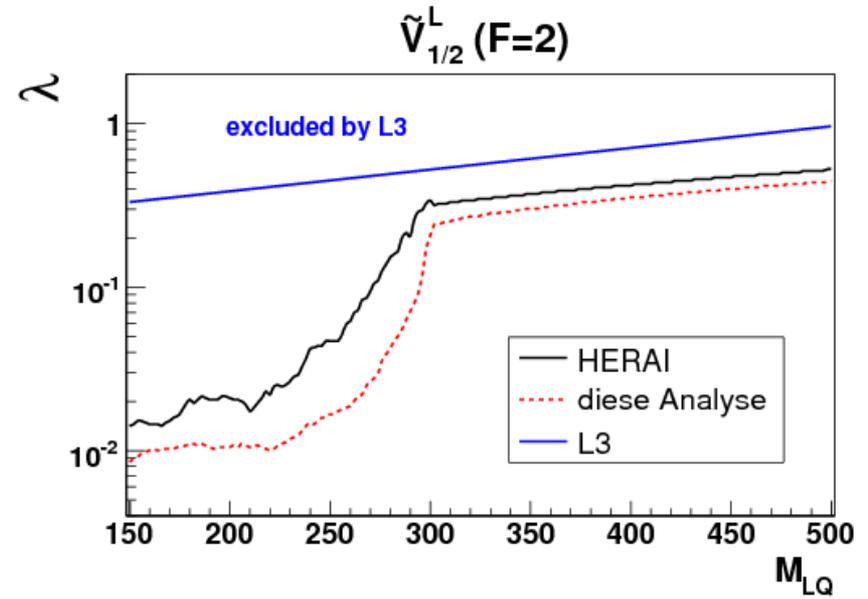
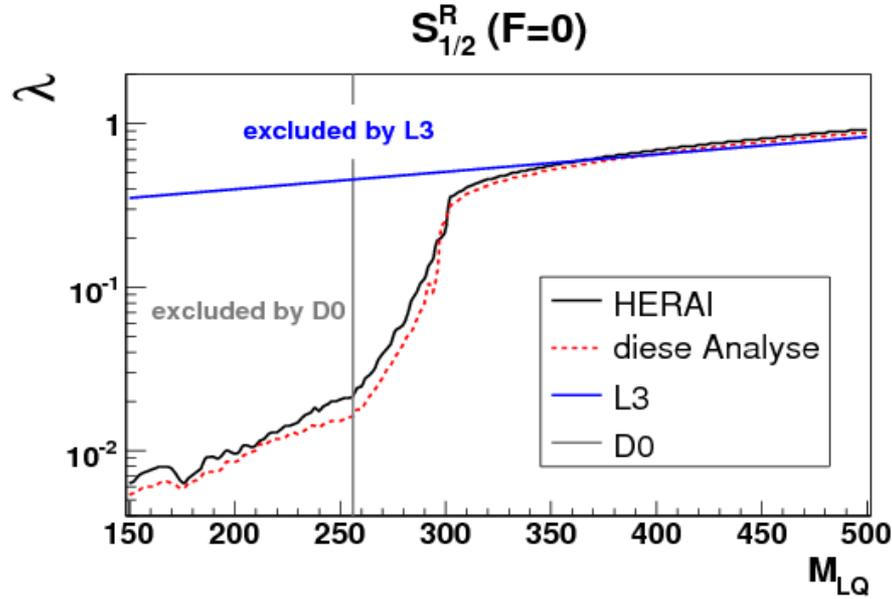


Für **skalare Leptoquarks** gilt mit $\lambda=0.3$:
 $M_{LQ} > 288 - 386$ GeV



Für **vektorielle Leptoquarks** gilt mit $\lambda=0.3$:
 $M_{LQ} > 286 - 606$ GeV

Vergleich mit anderen Experimenten



- ZEUS-Massengrenzen für Leptoquarks bei $\lambda=0.3$ (ohne systematische Fehler, nur NC):
 - HERA-I: $M_{LQ} > 272 - 404$ GeV
 - diese Analyse (04-07 und HERA-I): $M_{LQ} > 286 - 606$ GeV
- L3: indirekter t/u-Kanal-Effekt in $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$, Massengrenzen für **alle Leptoquarks in Abhängigkeit von λ**
- D0: Leptoquark-Paarproduktion \rightarrow Massengrenzen für **skalare Leptoquarks unabhängig von λ**

Zusammenfassung

- Es wurden **keine Hinweise auf Leptoquarks** gefunden
- Für HERA-I- und HERA-II-Daten mit insgesamt $L_{\text{int}} = 444 \text{ pb}^{-1}$ wurden Massengrenzen bestimmt. Die Polarisation der HERA-II-Daten wird hierbei berücksichtigt ($|P| \approx 30\%$). Für die **elektromagnetische Kopplung** ($\lambda=0.3$) ergeben sich als **untere Massengrenzen:**
 $M_{LQ} > 286 - 606 \text{ GeV}$
- Die bestimmten Massengrenzen sind vergleichbar mit den Grenzen anderer Experimente und in einigen Regionen besser.

Backup Slides

Leptoquarks in Aachen-Notation

Model	Fermion number F	Charge Q	$BR(LQ \rightarrow e^\pm q)$ β	Coupling	Squark type
S_0^L	2	-1/3	1/2	$e_L u$ νd	\tilde{d}_R
S_0^R	2	-1/3	1	$e_R u$	
\tilde{S}_0	2	-4/3	1	$e_R d$	
$S_{1/2}^L$	0	-5/3	1	$e_L \bar{u}$	
		-2/3	0	$\nu \bar{u}$	
$S_{1/2}^R$	0	-5/3	1	$e_R \bar{u}$	
		-2/3	1	$e_R \bar{d}$	
$\tilde{S}_{1/2}$	0	-2/3	1	$e_L \bar{d}$	$\overline{\tilde{u}_L}$
		+1/3	0	$\nu \bar{d}$	$\overline{\tilde{d}_L}$
S_1	2	-4/3	1	$e_L d$	
		-1/3	1/2	$e_L u$ νd	
		+2/3	0	νu	
V_0^L	0	-2/3	1/2	$e_L \bar{d}$ $\nu \bar{u}$	
V_0^R	0	-2/3	1	$e_R \bar{d}$	
\tilde{V}_0	0	-5/3	1	$e_R \bar{u}$	
$V_{1/2}^L$	2	-4/3	1	$e_L d$	
		-1/3	0	νd	
$V_{1/2}^R$	2	-4/3	1	$e_R d$	
		-1/3	1	$e_R u$	
$\tilde{V}_{1/2}$	2	-1/3	1	$e_L u$	
		+2/3	0	νu	
V_1	0	-5/3	1	$e_L \bar{u}$	
		-2/3	1/2	$e_L \bar{d}$ $\nu \bar{u}$	
		+1/3	0	$\nu \bar{d}$	

Referenzen für Leptoquark-Limits

- **L3:** *Phys. Lett. B* 489 (2000) 81-92
- **D0:** *Phys. Rev. D* 71, 071104(R) (2005)