

Suche nach neuer Physik am HERA Beschleuniger



- Der HERA Collider
- Tests des Standardmodells (SM) bei HERA
- Suche nach Leptoquarks
und Leptonflavourverletzung
- Ereignisse mit hochenergetischen Leptonen
und fehlendem Transversalimpuls
- R_p verletzende Supersymmetrie

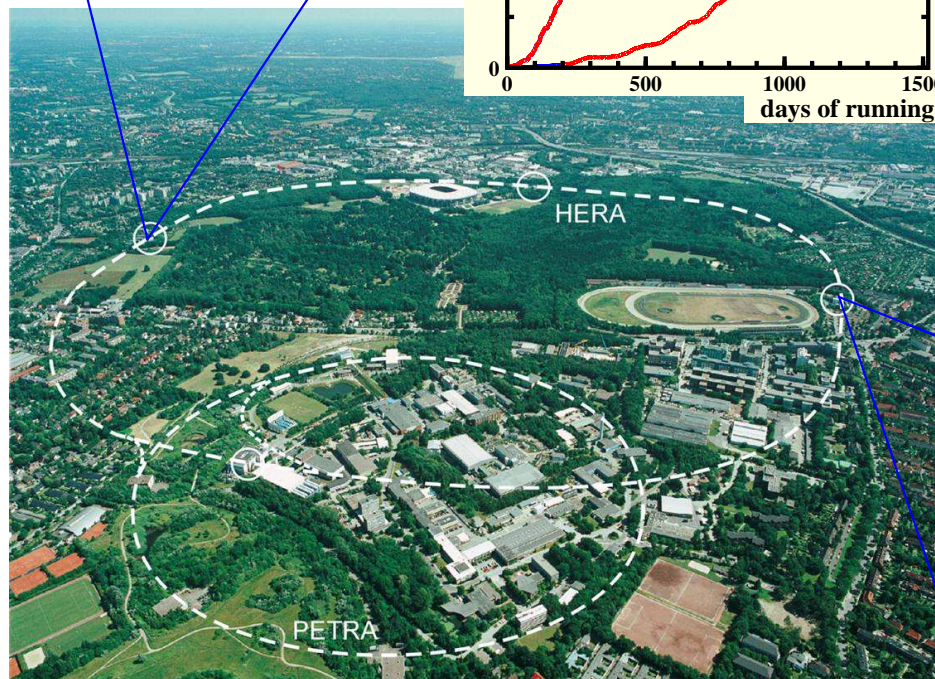
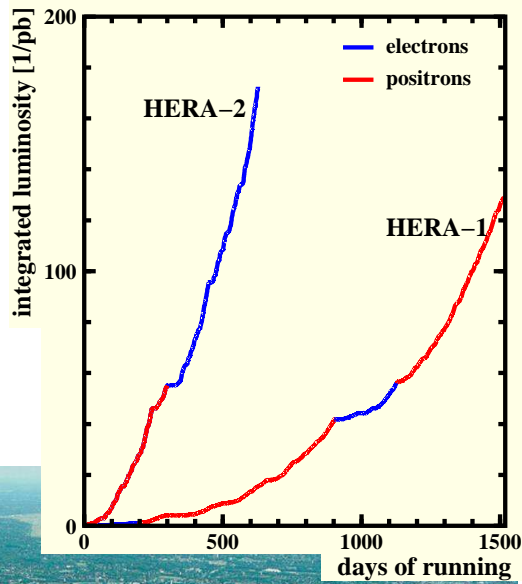
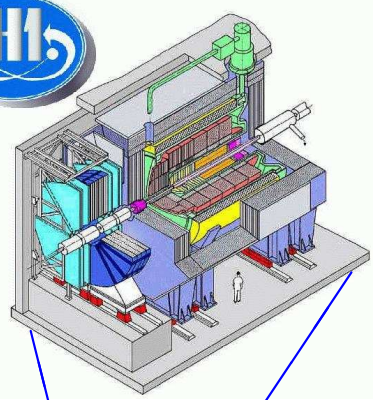
Mehr Resultate von HERA:

- Multileptonen, H^{++}
- Angeregte Fermionen
- ...

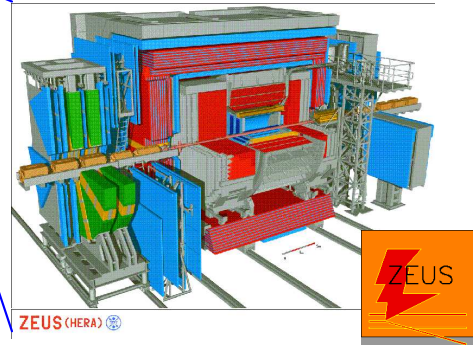
<http://www-h1.desy.de>

<http://www-zeus.desy.de>

Der HERA ep Collider



- $E_e = 27.6 \text{ GeV}$, $E_p = 920 \text{ GeV}$
Schwerpunktenergie $\sqrt{s} = 320 \text{ GeV}$
- Collider Experimente: **H1** und **ZEUS**
- HERA I: 1994-2000
100 pb^{-1} in e^+p pro Experiment
15 pb^{-1} in e^-p pro Experiment
- HERA II: 2003-2007. Bis jetzt:
60 pb^{-1} in e^+p pro Experiment
100 pb^{-1} in e^-p pro Experiment
- Neu bei HERA II: longitudinale Lepton Polarisation für H1/ZEUS



Tests des Standard-Modells

HERA und das Standard Modell

Standard Modell

Leptonen

e	μ	τ
ν_e	ν_μ	ν_τ

Elektroschwache Wechselwirkung

γ	Z	W
----------	---	---

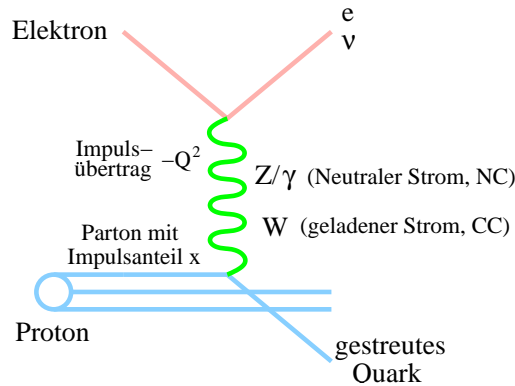
Quarks

u	c	t
d	s	b

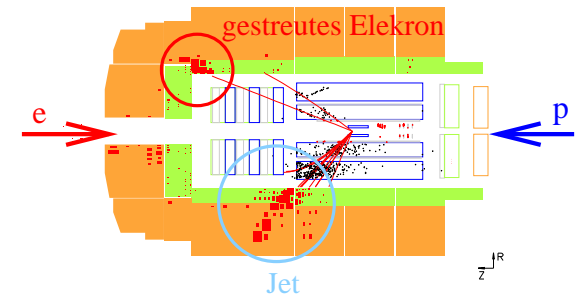
Starke Wechselwirkung

g_s

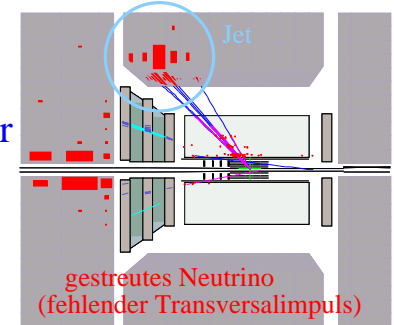
HERA



Ereignis mit neutralem Strom in H1 detektor

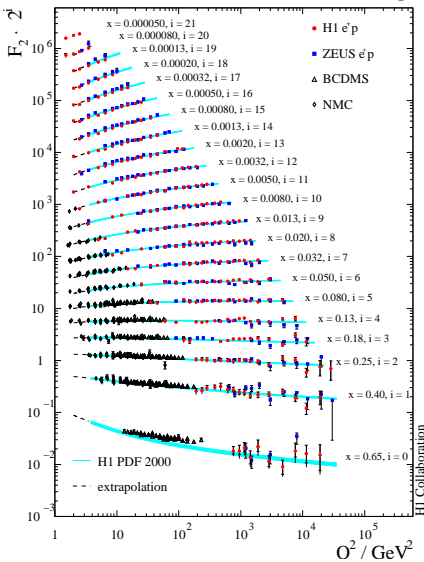


Ereignis mit geladenem Strom im ZEUS detektor

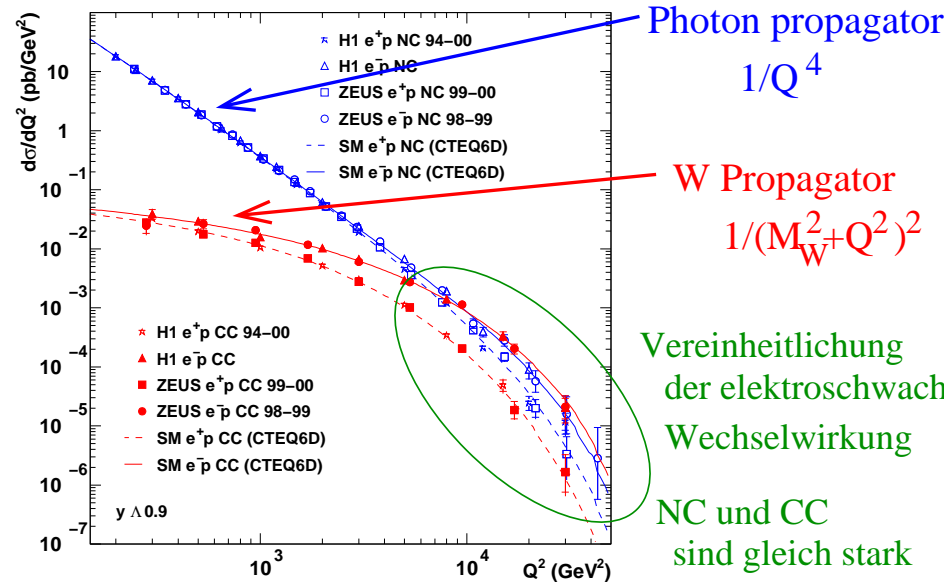


Strukturfunktion F_2 als Funktion von x, Q^2

starke WW \rightarrow Skalenverletzung



Differenzieller Wirkungsquerschnitt als Funktion von Q^2

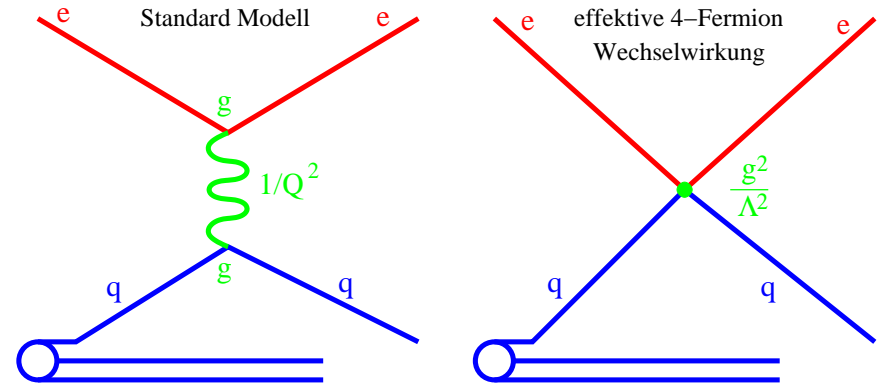


Kontaktwechselwirkung

Annahme: neue Physik lässt sich durch 4-Fermion Wechselwirkung beschreiben:

$$\frac{d\sigma}{dQ^2} \text{ ist sensitiv auf } \pm \frac{g^2}{\Lambda^2}$$

Vergleich von $\frac{\sigma(DATA)}{\sigma(SM)}$ mit $\frac{\sigma(SM+CI)}{\sigma(SM)}$

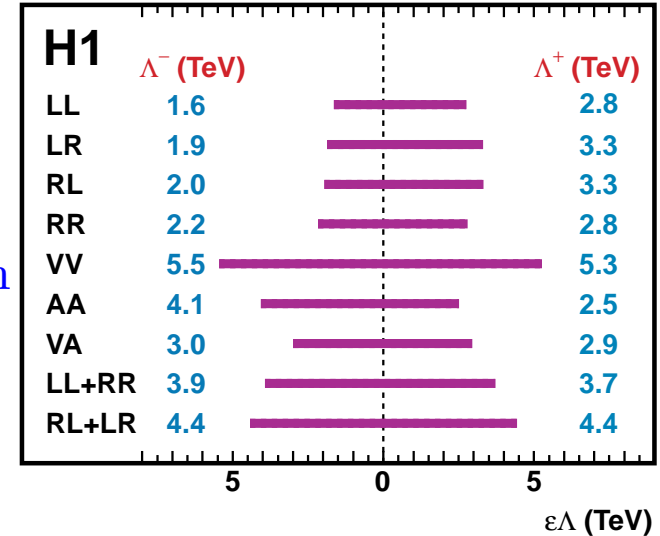
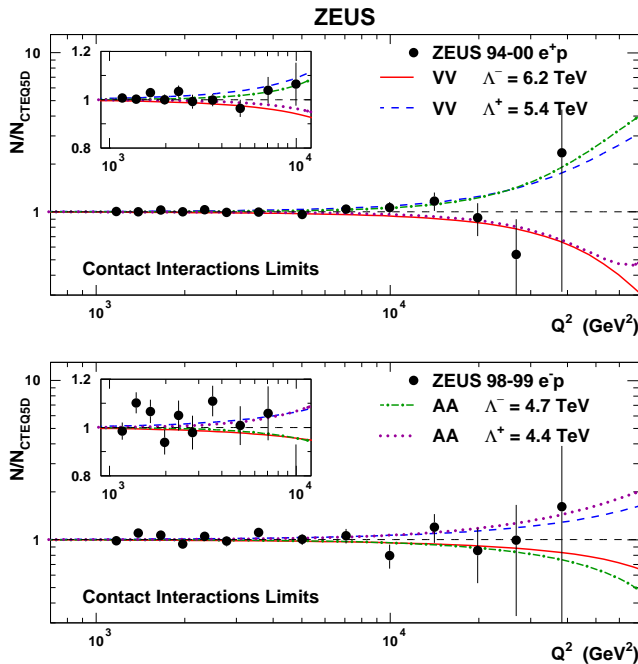


Resultate: Limits auf $\epsilon\Lambda$ ($g = 1, \epsilon = \pm 1$)

Sensitivität
auf TeV Skala

Quark Radius:
 $R < 0.85 \times 10^{-3} \text{ fm}$

Extra Dimensionen:
 $M_S < 0.83 \text{ TeV}$

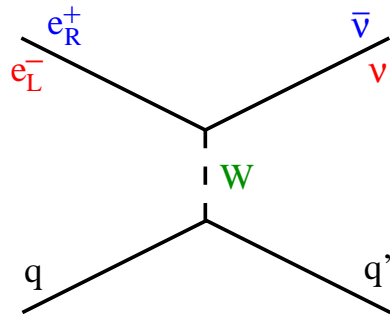


Lepton Polarisation und geladener Strom

Polarisation $P = \frac{N_R - N_L}{N_R + N_L}$

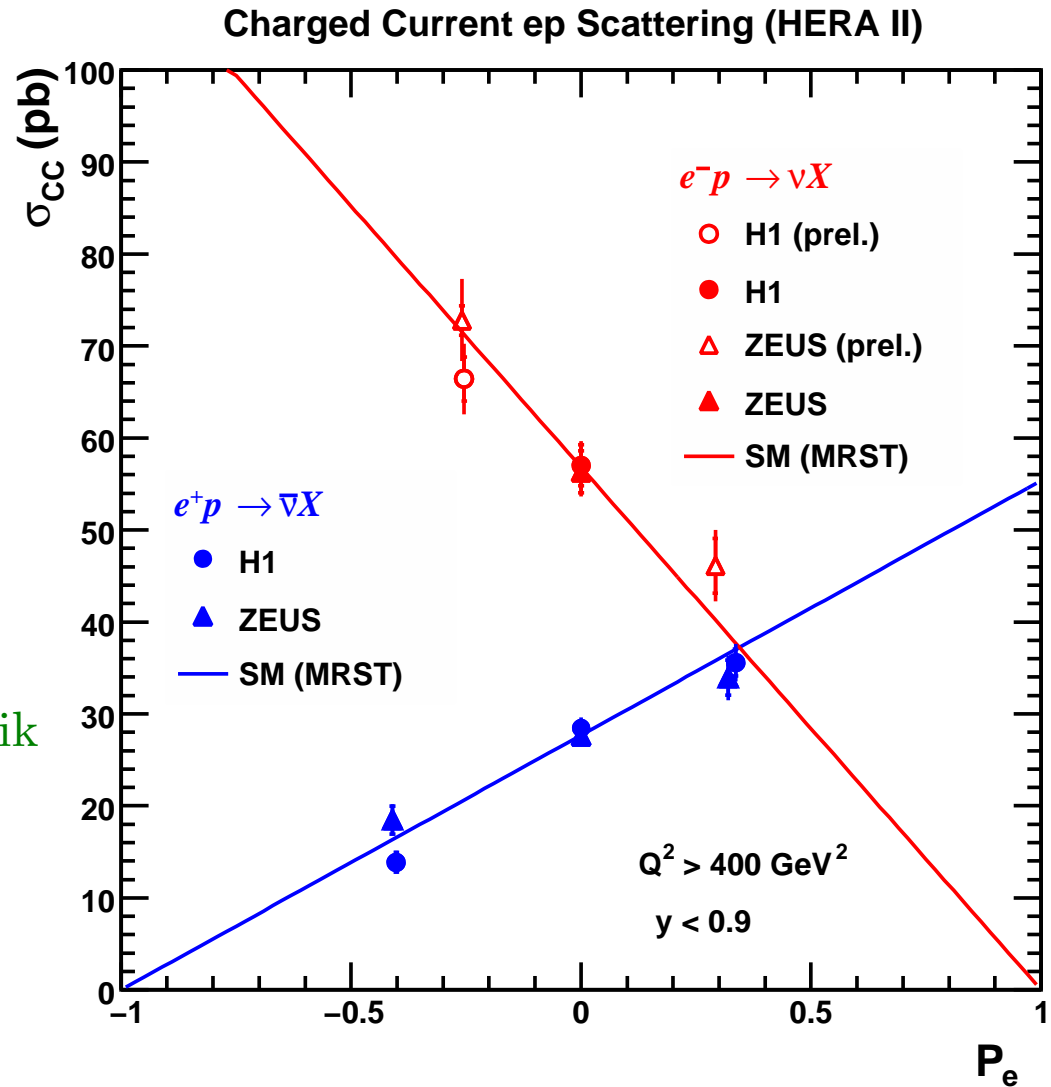
Geladener Strom:

W koppelt nur an e_L^- bzw e_R^+



$\sigma^{CC}(e^\mp p, P = \pm 1) \neq 0$
wäre ein Hinweis auf neue Physik

Messungen verträglich mit SM.

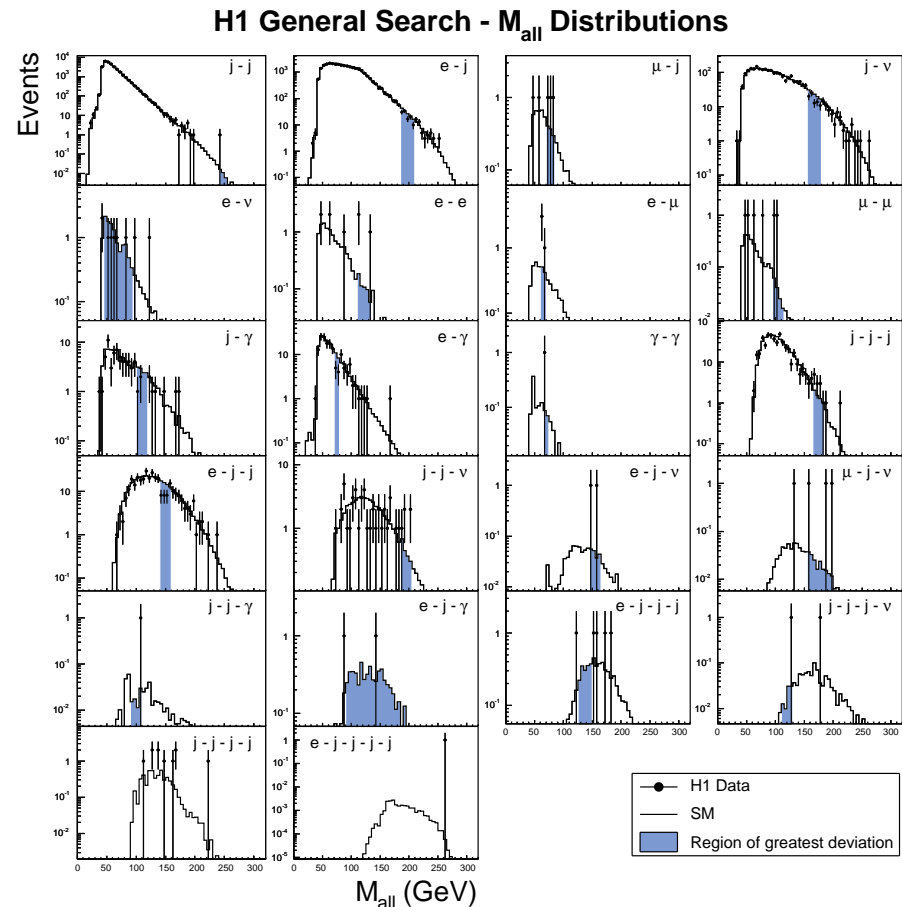
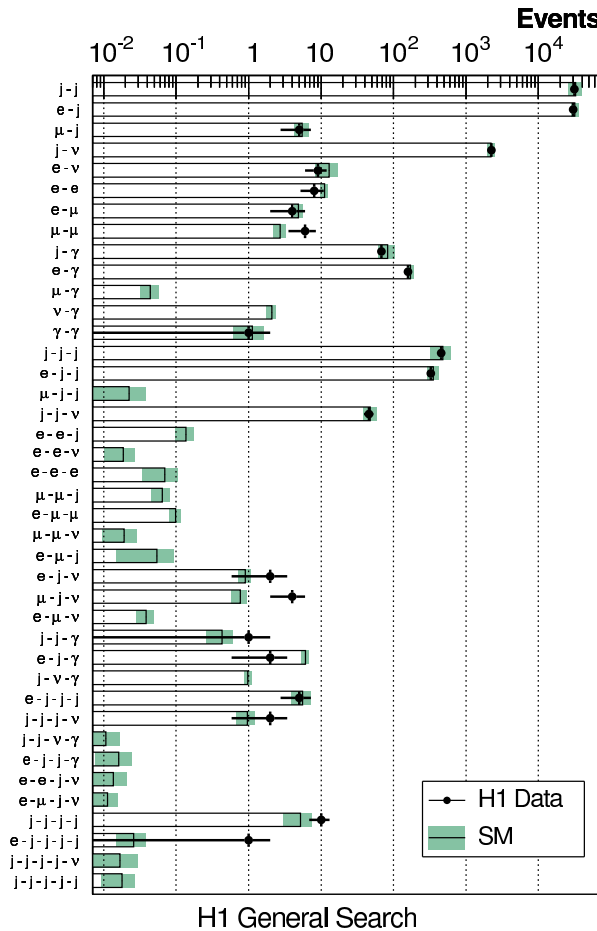


Modell-unabhängige Suche nach neuer Physik bei H1

Kombiniere Objekte (μ , e , ν , γ , jet) in exklusiven Kanälen.

Gute Übereinstimmung mit SM in variablen Massen- bzw p_t -Fenstern.

Interessantester Kanal: $\mu + \nu + \text{jet}$ ($155 < M < 200$: 3 events, 0.2 erwartet)



Suche nach Leptoquarks und Leptonzahlverletzung

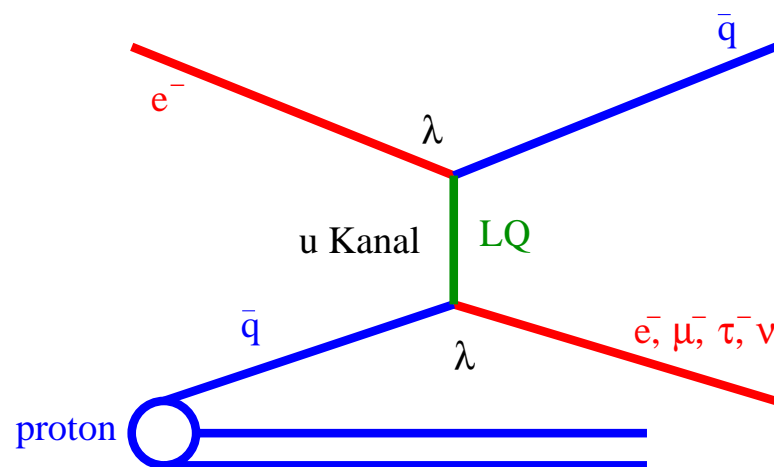
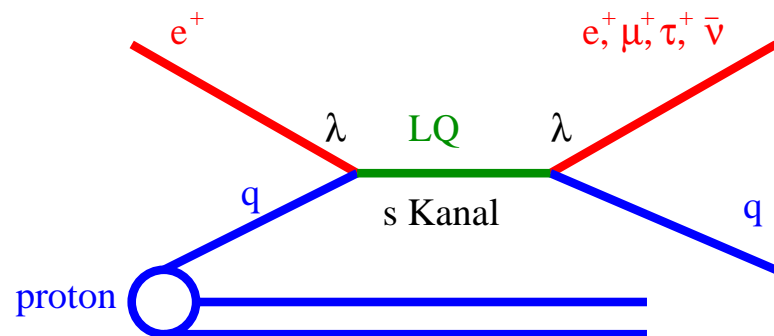
Suche nach Leptoquarks (LQ)

- Boson mit **leptonischen** und **baryonischen** Quantenzahlen
- Verbindet Lepton, Quark Sektor des SM
→ LQ tauchen in diversen Erweiterungen des SM auf
- Koppelt an Lepton-Quark Paar, Stärke λ
- Neue Quantenzahl $F = 3B + L$:
 $F = 0$ koppelt an $e^+ q$ und $e^- \bar{q}$
 $F = 2$ koppelt an $e^- q$ und $e^+ \bar{q}$
- **HERA: resonante Erzeugung von einzelnen LQs** (14 verschiedene Typen, Modell von Buchmüller, Rückl, Wyler)
 $e^+ e^-$: Paarproduktion oder t Kanal
 pp : Paarproduktion

LQ Produktion bei HERA

Signatur: $e+\text{jet}$ oder $\nu+\text{jet}$

Wie NC/CC DIS!



NC/CC DIS: Austausch von Z/γ oder W im t Kanal

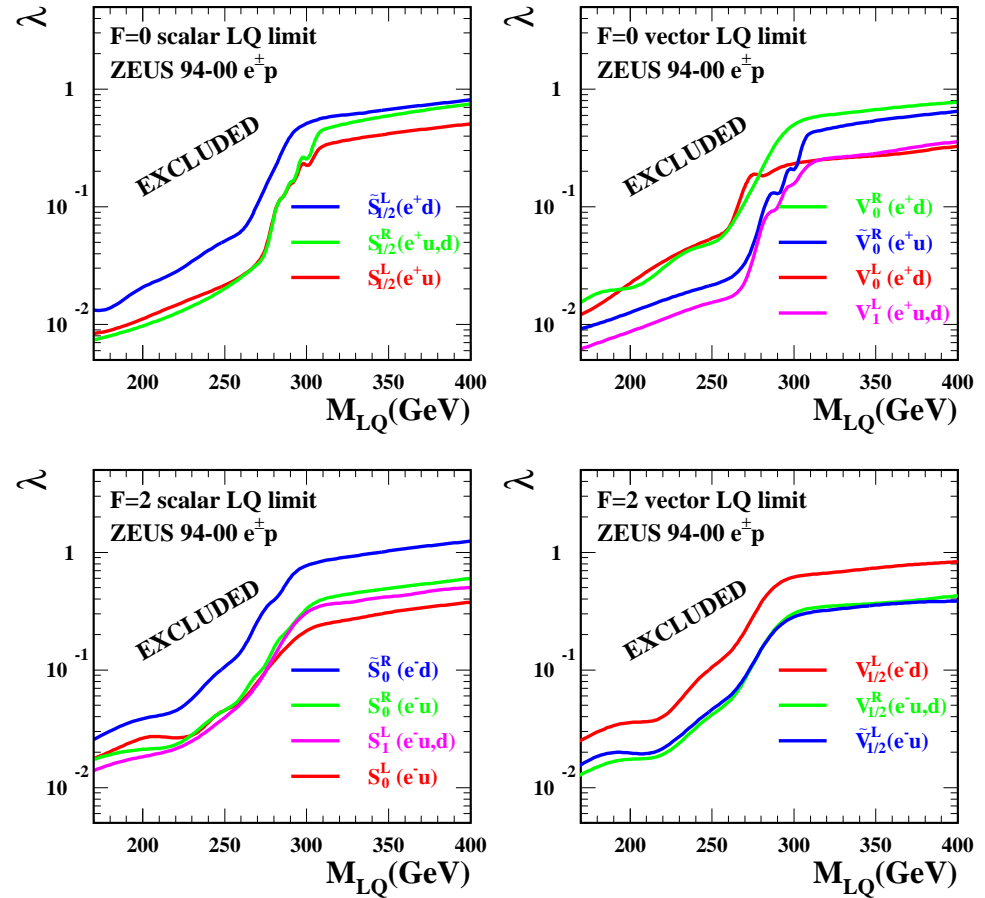
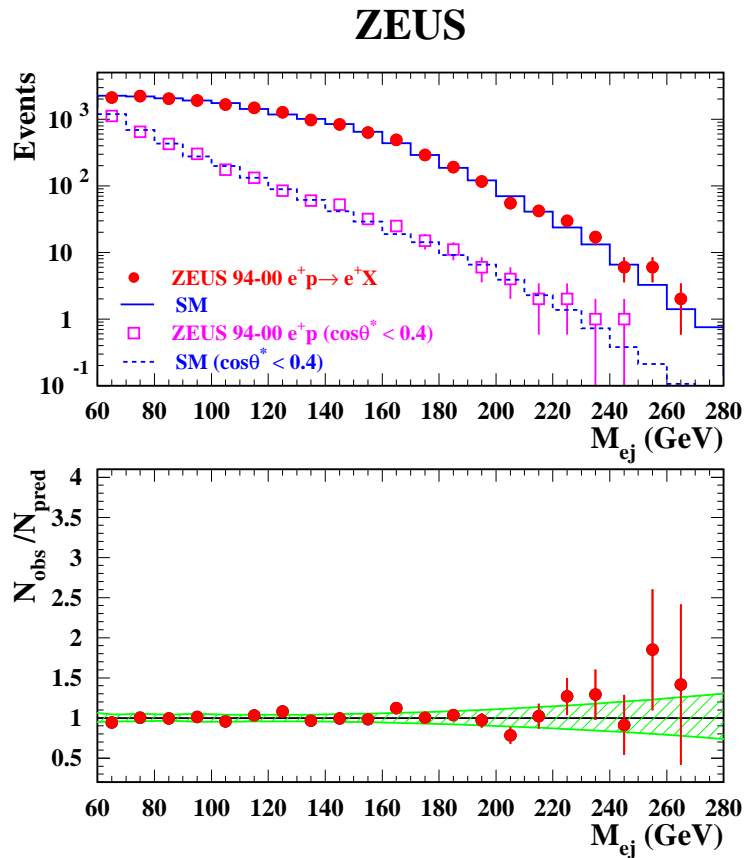
Suche nach leptonflavour-erhaltenden Leptoquarks

Vergleich Massenspektrum mit SM

Keine Abweichung \rightarrow Limits

Limits auf 14 Typen von Leptoquarks

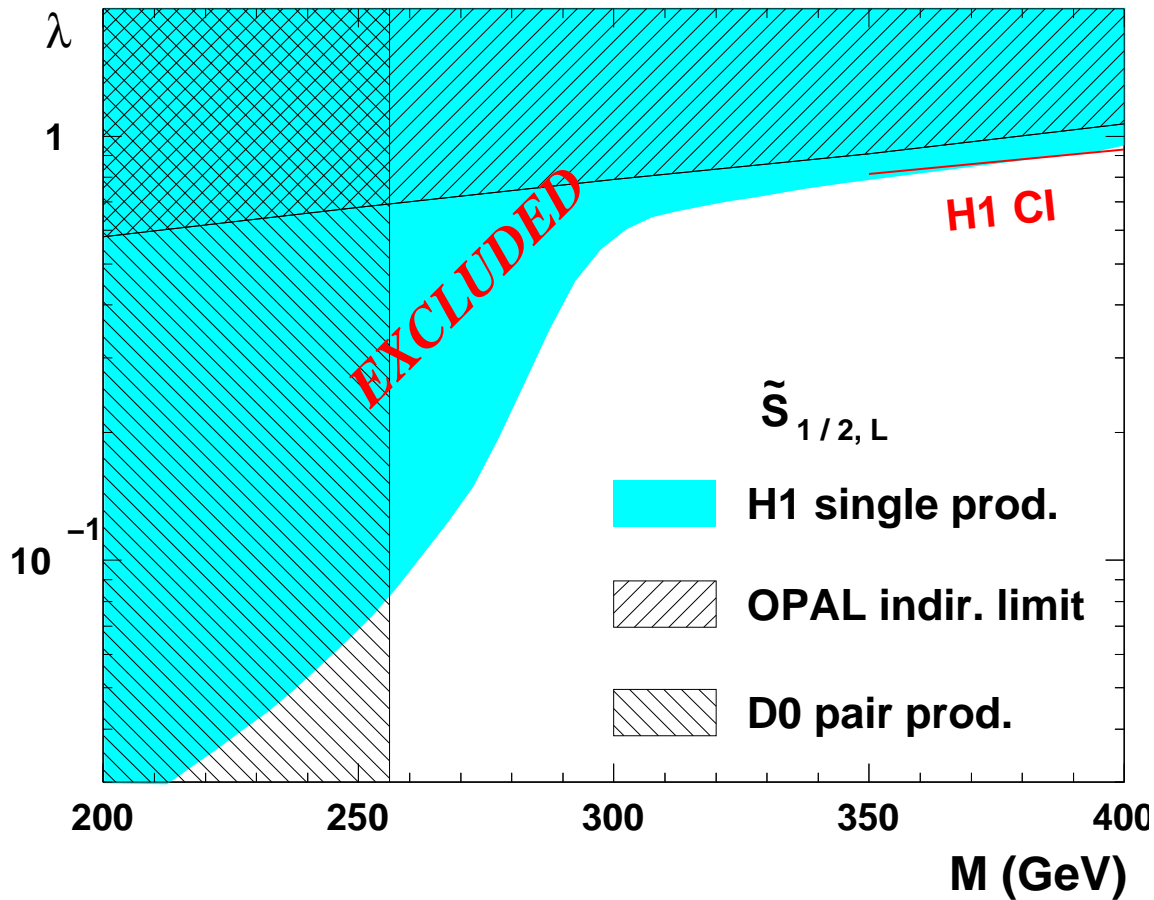
ZEUS



Leptoquark Limits im Vergleich

HERA LQ Suche: sensitiv auf die Kopplung
Komplementär zu Tevatron und LEP

SCALAR LEPTOQUARKS WITH F=0



Für $M < 320$ GeV:
resonante Produktion

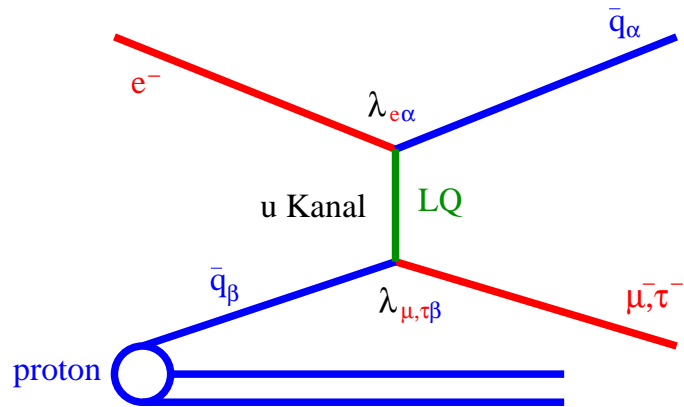
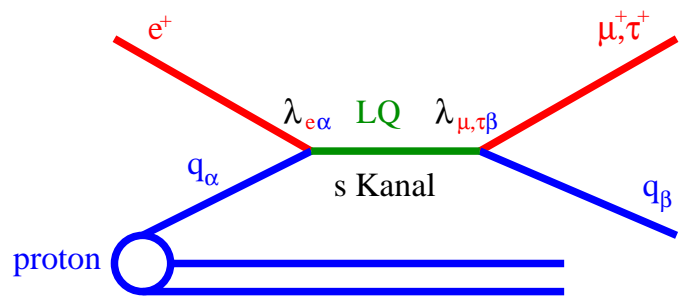
Für $M \gg 320$ GeV:
Kontaktwechselwirkung

NB: LQ limits gelten auch für
 R_p verletzende SUSY:
 $\tilde{S}_{1/2,L} \rightarrow \tilde{u}_L^j$ mit $\lambda = \lambda'_{1j1}$
 $S_{0,L} \rightarrow \tilde{d}_L^{k*}$ mit $\lambda = \lambda'_{11k}$
(falls der direkte R_p verlet-
zende Zerfall dominiert)

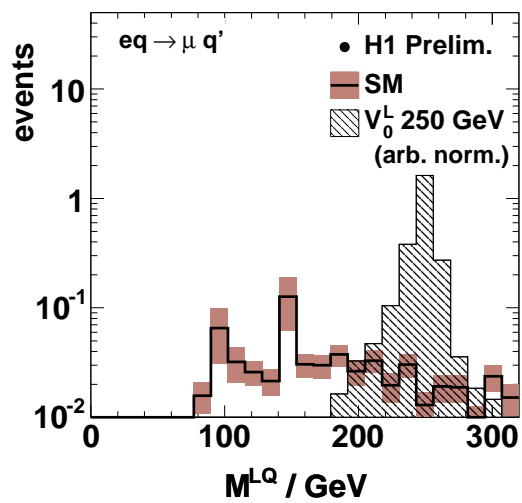
Suche nach leptonflavour verletzenden Leptoquarks

Betrachte leptonflavour
verletzenden Zerfall des
LQs nach

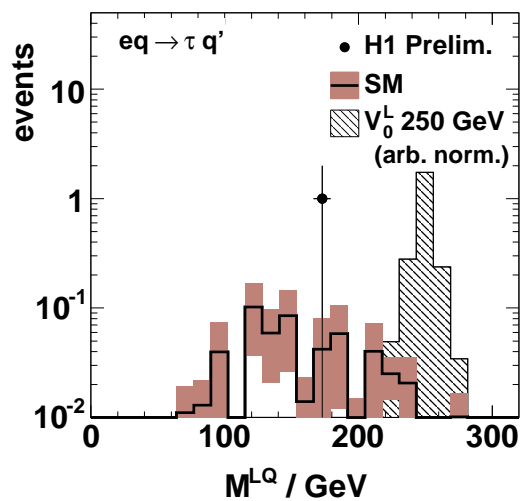
μ, τ und q_β



Massenspektrum $\mu + \text{jet}$



Massenspektrum $\tau + \text{jet}$



Kein Signal zu sehen

Setze Limits auf

$$M_{LQ}, \lambda_{eq_\alpha}, \lambda_{\mu, \tau q_\beta}$$

Einfachster Fall:

$$M \gg 320 \text{ GeV}$$

Kontaktwechselwirkung,

$$\text{Limit auf } \frac{\lambda_{eq_\alpha} \lambda_{\mu, \tau q_\beta}}{M^2}$$

Limits auf leptonflavour verletzende Leptoquarks

$e \rightarrow \tau$		ZEUS $e^\pm p$ 94-00				$F = 0$	
$\alpha\beta$	$S_{1/2}^L$ $e^-\bar{u}$ e^+u	$S_{1/2}^R$ $e^-(\bar{u}+\bar{d})$ $e^+(u+d)$	$\tilde{S}_{1/2}^L$ $e^-\bar{d}$ e^+d	V_0^L $e^-\bar{d}$ e^+d	V_0^R $e^-\bar{d}$ e^+d	\tilde{V}_0^R $e^-\bar{u}$ e^+u	V_1^L $e^-(\sqrt{2}\bar{u}+\bar{d})$ $e^+(\sqrt{2}u+d)$
1 1	$\tau \rightarrow \pi e$ 0.4 1.8	$\tau \rightarrow \pi e$ 0.2 1.5	$\tau \rightarrow \pi e$ 0.4 2.7	$\tau \rightarrow \pi e$ 0.2 1.7	$\tau \rightarrow \pi e$ 0.2 1.7	$\tau \rightarrow \pi e$ 0.2 1.3	$\tau \rightarrow \pi e$ 0.06 0.6
1 2	$\tau \rightarrow Ke$ 1.9	$\tau \rightarrow Ke$ 6.3 1.6	$K \rightarrow \pi\nu\bar{\nu}$ 5.8×10^{-4} 2.9	$\tau \rightarrow Ke$ 3.2 2.1	$\tau \rightarrow Ke$ 3.2 2.1	$\tau \rightarrow Ke$ 1.6	$K \rightarrow \pi\nu\bar{\nu}$ 1.5×10^{-4} 0.8
1 3	*	$B \rightarrow \tau\bar{e}$ 0.3 3.2	$B \rightarrow \tau\bar{e}$ 0.3 3.3	$B \rightarrow \tau\bar{e}$ 0.13 2.6	$B \rightarrow \tau\bar{e}$ 0.13 2.6	*	$B \rightarrow \tau\bar{e}$ 0.13 2.6
2 1	$\tau \rightarrow Ke$ 6.0	$\tau \rightarrow Ke$ 6.3 4.1	$K \rightarrow \pi\nu\bar{\nu}$ 5.8×10^{-4} 5.2	$\tau \rightarrow Ke$ 3.2 2.3	$\tau \rightarrow Ke$ 3.2 2.3	$\tau \rightarrow Ke$ 2.1	$K \rightarrow \pi\nu\bar{\nu}$ 1.5×10^{-4} 0.9
2 2	$\tau \rightarrow 3e$ 5 10	$\tau \rightarrow 3e$ 8 5.6	$\tau \rightarrow 3e$ 17 6.5	$\tau \rightarrow 3e$ 9 3.4	$\tau \rightarrow 3e$ 9 3.4	$\tau \rightarrow 3e$ 3 5.5	$\tau \rightarrow 3e$ 1.6 2.1
2 3	*	$B \rightarrow \tau\bar{e}X$ 14 8.1	$B \rightarrow \tau\bar{e}X$ 14 7.8	$B \rightarrow \tau\bar{e}X$ 7.2 5.5	$B \rightarrow \tau\bar{e}X$ 7.2 5.5	*	$B \rightarrow \tau\bar{e}X$ 7.2 5.5
3 1	*	$B \rightarrow \tau\bar{e}$ 0.3 7.8	$B \rightarrow \tau\bar{e}$ 0.3 7.2	V_{ub} 0.12 2.5	$B \rightarrow \tau\bar{e}$ 0.13 2.5	*	V_{ub} 0.12 2.5
3 2	*	$B \rightarrow \tau\bar{e}X$ 14 11	$B \rightarrow \tau\bar{e}X$ 14 10	$B \rightarrow \tau\bar{e}X$ 7.2 4.2	$B \rightarrow \tau\bar{e}X$ 7.2 4.2	*	$B \rightarrow \tau\bar{e}X$ 7.2 4.2
3 3	*	$\tau \rightarrow 3e$ 8 15	$\tau \rightarrow 3e$ 17 14	$\tau \rightarrow 3e$ 9 8.1	$\tau \rightarrow 3e$ 9 8.1	*	$\tau \rightarrow 3e$ 1.6 8.1

Abbildung: Limits von ZEUS auf

$$\frac{\lambda_{e q \alpha} \lambda_{\mu, \tau q \beta}}{M^2} \text{ in } [\text{TeV}^{-2}]$$

im Prozess $e^\pm p \rightarrow \tau^\pm X$

(für $M \gg 320 \text{ GeV}$)

In vielen Fällen sind die HERA limits

besser als bisherige Limits

(indirekte Limit aus seltenen Zerfällen

usw)

Limits für $M < 320 \text{ GeV}$: siehe

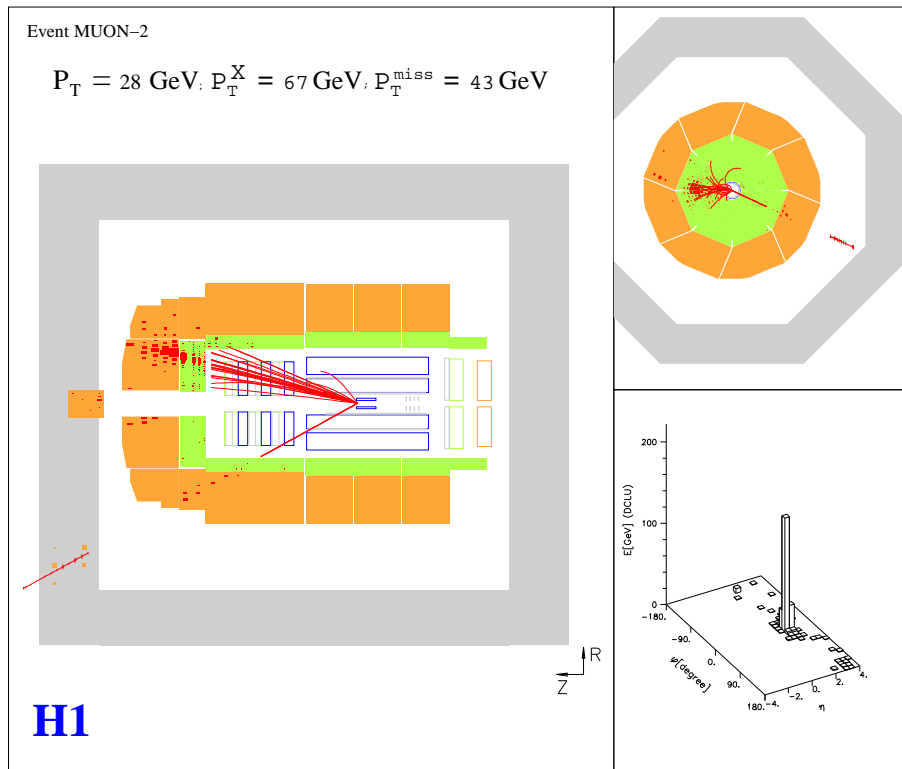
H1/ZEUS Veröffentlichungen

Ereignisse mit
hochenergetischen Leptonen
und fehlendem Transversalimpuls

Ereignisse mit hochenergetischem Lepton und p_t^{miss}

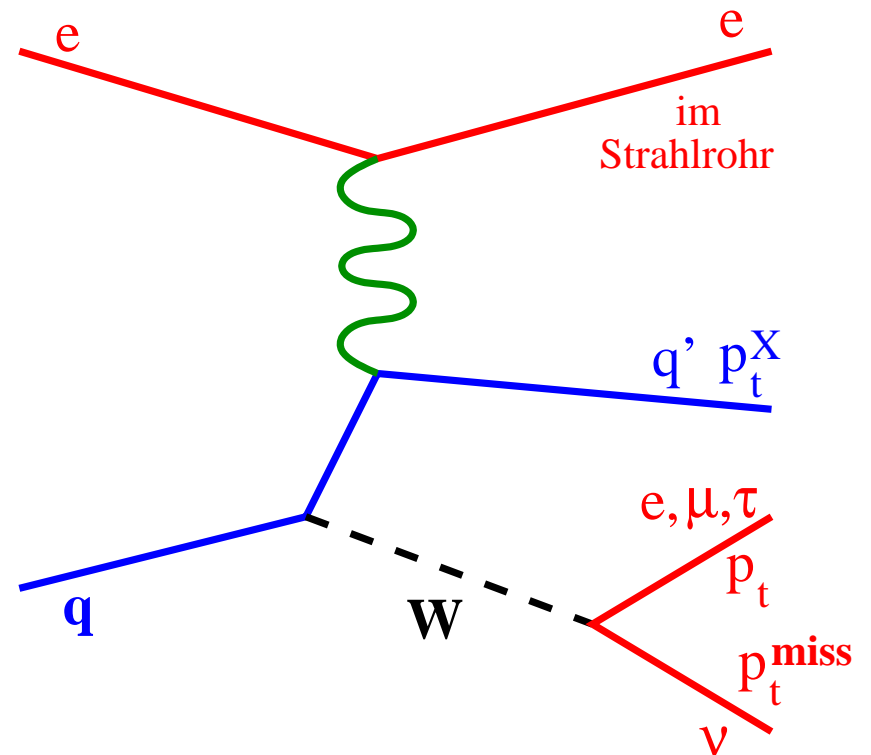
Transversalimpulse:

- Geladenes Lepton (e, μ): p_t
- Neutrino: p_t^{miss}
- Hadronen: p_t^X

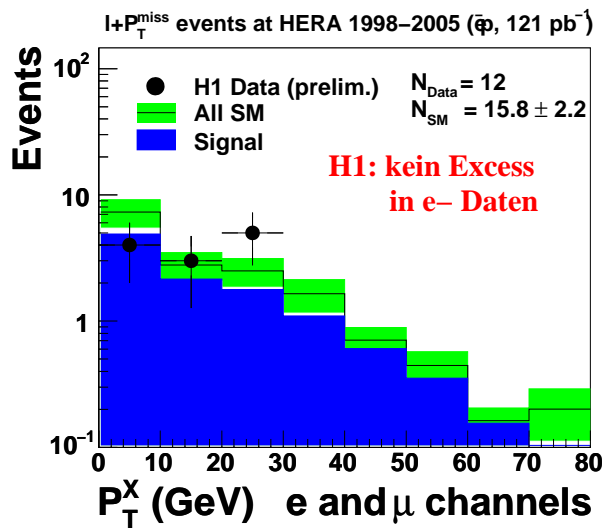
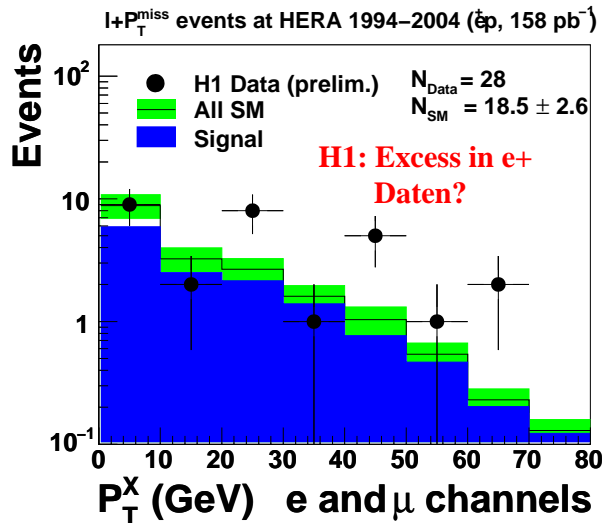


Vermutung: Zerfall eines W Bosons

W -produktion bei HERA



Ereignisse mit Lepton und p_t^{miss} bei H1 und ZEUS



Beobachtete Ereignisse für ($p_t^X > 25 \text{ GeV}$)

HERA I & II	e	μ	τ
H1 e^+p 158 pb^{-1} H1prelim-05-164	9/2.3	6/2.3	
H1 e^-p 121 pb^{-1}	2/2.4	0/2	
ZEUS e^+p 106 pb^{-1} ZEUS-prel-05-018	1/1.5		
HERA I	e	μ	τ
H1 $e^\pm p$ 118/108 pb^{-1} DESY-02-224, H1prelim-04-061	4/1.49	6/1.44	0/0.5
ZEUS $e^\pm p$ 130 pb^{-1} DESY-03-182	2/2.9	5/2.8	2/0.2

Überschuß in e^+p bei H1 (e, μ) (15/4.6)

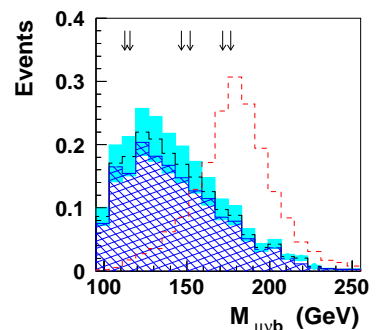
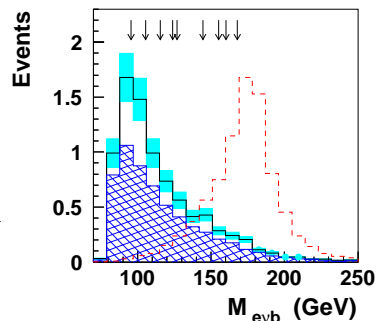
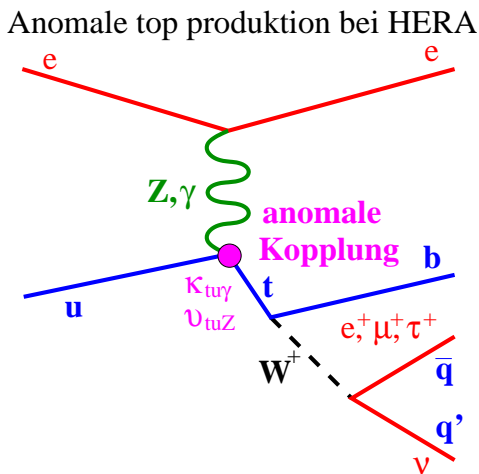
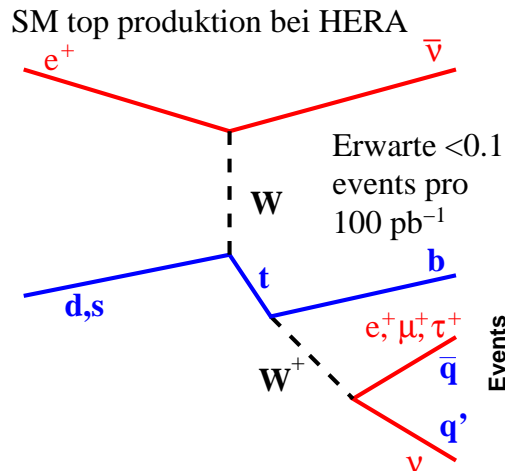
Kein signifikanter Überschuß bei ZEUS oder in e^-p

→ warte auf mehr e^+p Daten in 2006/2007

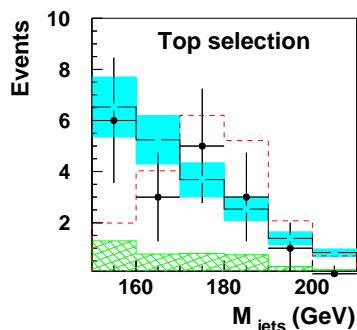
Suche nach anomaler top Produktion

H1 und ZEUS Events nach top Selektion

	leptonisch	hadronisch
H1 (HERA I)	5/1.3	18/20.2
ZEUS (HERA I)	0/2.9	14/17.6



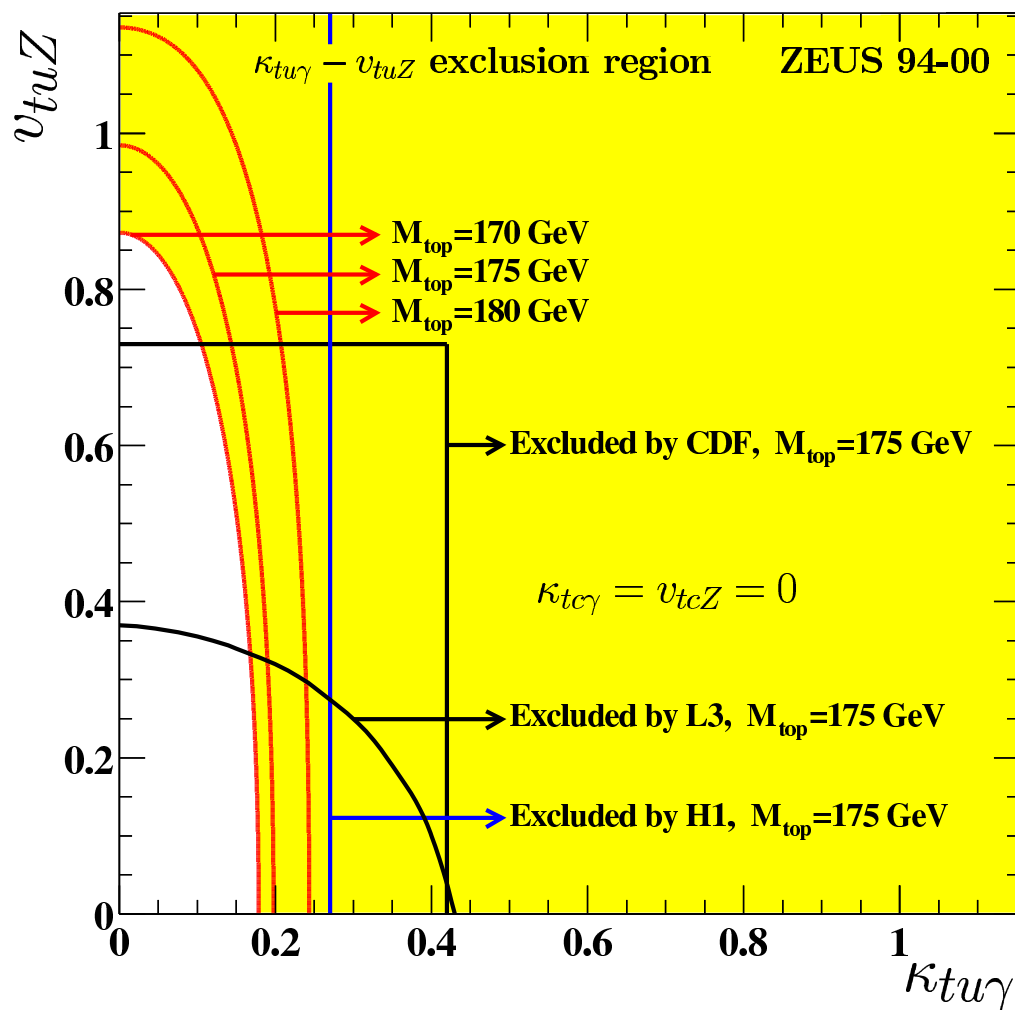
H1 top Suche (HERA I)



H1 Überschuß im leptonischen Kanal ca 2σ
Insgesamt kein signifikantes Signal

→ limits auf anomale top Produktion

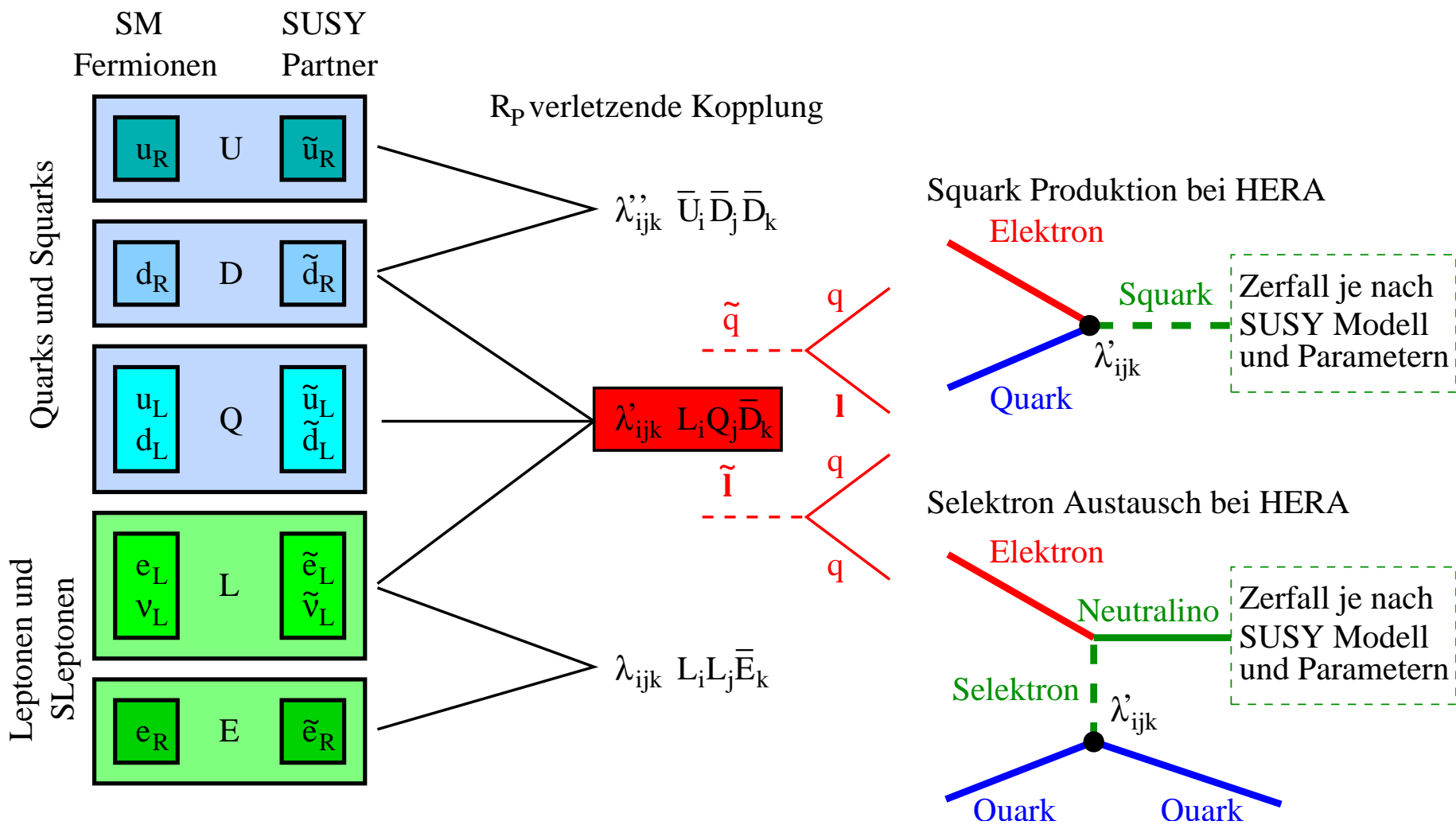
Limits auf anomale top Produktion



- Limit $\kappa_{tu\gamma} < 0.2$
- Komplementär zu LEP Limits (Sensitivität auf γ bzw Z^0)
- H1 Analyse: vernachlässige Z^0 Austausch

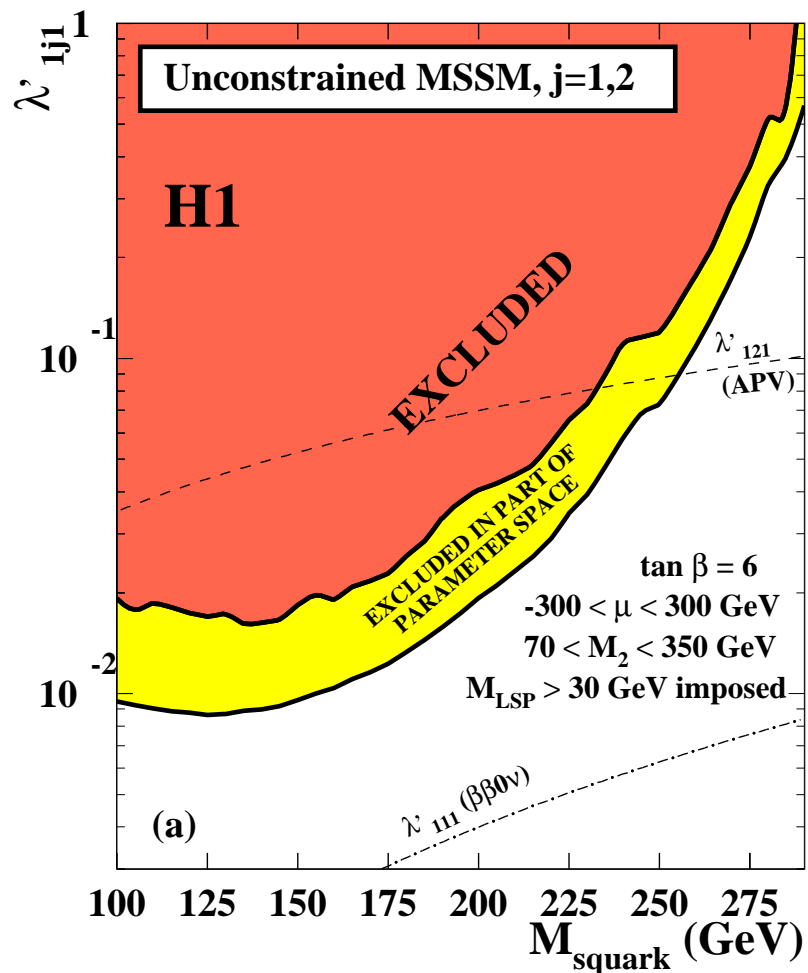
Suche nach
 R_p verletzender
Supersymmetrie

R_p verletzende Supersymmetrie bei HERA



Suche nach Squarks

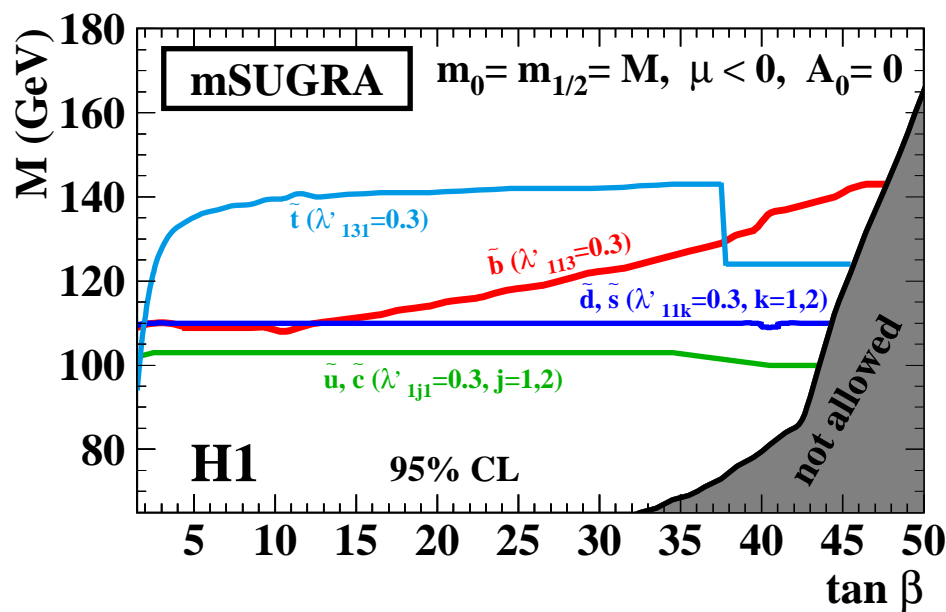
Beispiel: Squark mit λ_{1j1} Kopplung



Interpretation im mSUGRA Modell:

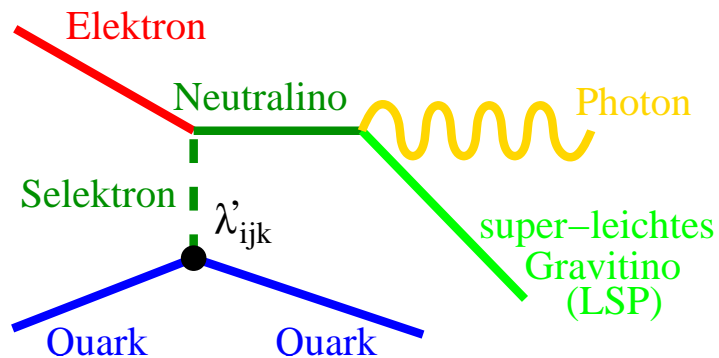
$M = m_{1/2} = m_0$: Masse der skalaren Teilchen/Gauginos bei GUT Skala.

Beste Sensitivität auf stop, bis zu 140 GeV ($\lambda'_{131} = 0.3$).

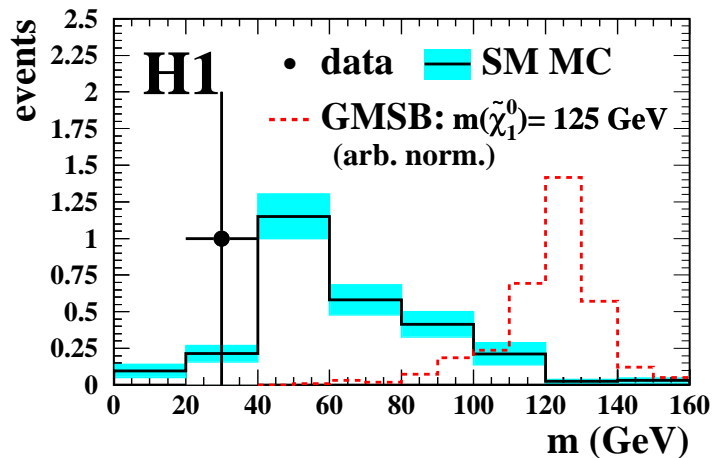


Slepton-Austausch im t-Kanal

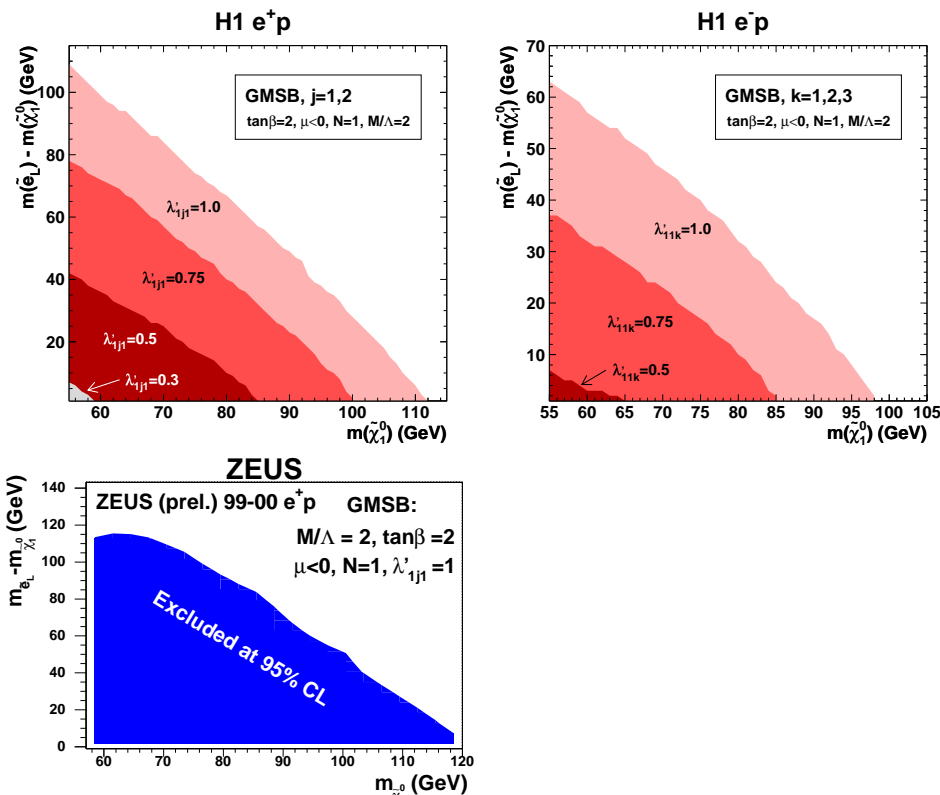
Neutralino-Zerfall in Gravitino:



Rekonstruierte Neutralino-Masse



Kein Signal: Limits auf GMSB Modelle



Limits unabhängig von Squark-Massen.

Mit R_p verletzender Kopplung $\lambda' = 1$:
Massen bis zu 115 GeV ausgeschlossen

Zusammenfassung/Ausblick

- Bestätigung des Standard Modells mit hoher Präzision
Erste Ergebnisse mit polarisierten Leptonen bei höchsten Q^2
- Leptoquark Suche mit/ohne Leptonzahl-Verletzung:
verbesserte Limits, HERA II Daten werden derzeit analysiert.
- Suche nach isol. Leptonen, W , top produktion:
H1 Excess in e^+p , warten auf mehr Statistik von HERA II
- R_p verletzende SUSY: Suche nach Squarks in mSUGRA und Neutralinos in GMSB Modellen.
- viele weitere Resultate konnten hier nicht gezeigt werden

Suche nach neuer Physik bei HERA bleibt weiter spannend:

- Erwarte Verdoppelung der bisher gesammelten Luminosität bis Mitte 2007
- Daten noch nicht vollständig analysiert