

# Suche nach R-paritätsverletzender Supersymmetrie mit dem ZEUS-Detektor bei HERA

Christian Blohm, Robert Klanner, Peter Schleper,  
Jolanta Sztuk-Dambietz



DESY / Universität Hamburg

GEFÖRDEBT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



bmb+f - Förderschwerpunkt

Elementarteilchenphysik

Großgeräte der physikalischen  
Grundlagenforschung

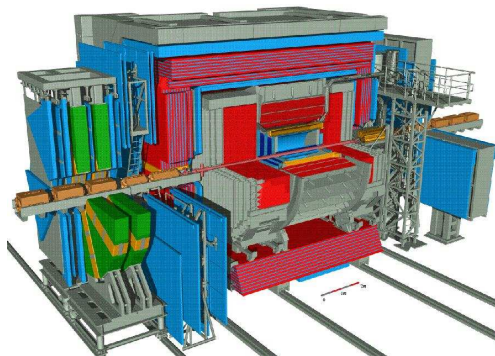
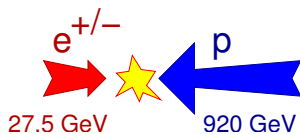


DPG-Frühjahrstagung, Sitzung T 47  
Freiburg, 6. März 2008

# Gliederung

- 1 Einführung
  - Der ZEUS-Detektor bei HERA
  - $ep$ -Physik
  - Supersymmetrie und GMSB
  - Signal-Prozess: Neutralino-Produktion durch Selektion-Austausch
- 2 Ereignis-Rekonstruktion
- 3 Ereignis-Auswahl
- 4 Diskriminanten-Analyse
  - Variablen zur Trennung von Signal und Untergrund
  - Diskriminanten-Verteilung
- 5 Zusammenfassung

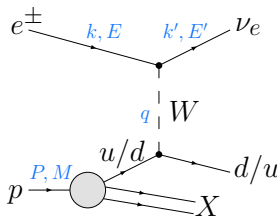
# Der ZEUS-Detektor bei HERA



- $\sqrt{s} = 318 \text{ GeV}$
- 1992–2007:  $\mathcal{L} \approx 0,5 \text{ fb}^{-1}$   
in dieser Analyse bisher:
  - $133 \text{ pb}^{-1} e^- p$  (2004/05)
  - $128 \text{ pb}^{-1} e^+ p$  (2006/07)
- Uran-Szintillator-Kalorimeter  
 $2,5^\circ < \theta < 178,4^\circ$   
(hadronische Auflösung:  
 $\Delta E/E = 0,35/\sqrt{E[\text{GeV}]}$ ,  
elektromagnetische Auflösung:  
 $\Delta E/E = 0,18/\sqrt{E[\text{GeV}]}$ )
- Entdeckungspotential für  
exotische Prozesse bis zu  
 $\sigma \approx 1 \text{ pb}$  (abhängig vom  
Prozess)

# ep-Physik: Tiefunelastische Streuung

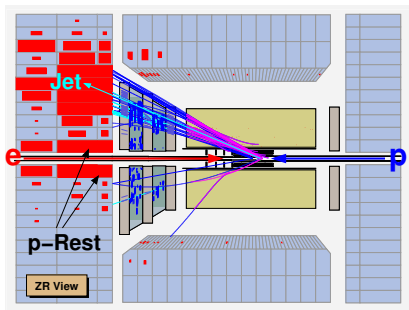
Beispiel: Geladener-Strom-Wechselwirkung (charged current, CC)



Boson-Virtualität  $Q^2 = -q^2$

Elektron-Energieverlust  $y = \frac{q \cdot P}{k \cdot P}$

wechselwirkender  $P$ -Bruchteil  $x = \frac{Q^2}{2yME}$



$Q^2 = 16400 \text{ GeV}^2$

Bereich hoher  $Q^2$  ist sehr sensitiv auf neue Physik

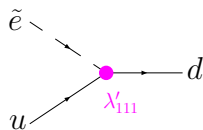
# Supersymmetrie und GMSB

## Supersymmetrie (SUSY) und Gauge Mediated SUSY Breaking (GMSB)

- Partnerboson („Bosino“) zu jedem Fermion und umgekehrt
- Beobachtung: keine Massenentartung  $\rightarrow$  Symmetriebrechung
- **GMSB**: SUSY-Brechung durch zusätzliche Botenfelder  
 $\rightarrow$  leichtestes SUSY-Teilchen (LSP): Gravitino, NLSP: meist Neutralino

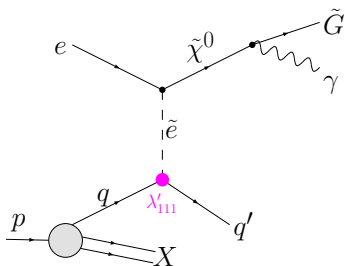
## R-Parität $R_P = (-1)^{3(B-L)+2S}$

- $R_P = 1$  für alle SM-Teilchen,  
 $R_P = -1$  für SUSY-Partner
- Nicht zwingend erhalten,  **$R_P$ -Verletzung**:
  - Produktion einzelner Superpartner durch neue Vertices
  - Verletzung der Leptonzahl (oder Baryonzahl)



$R_P$  verletzender  
Vertex

# Neutralino-Produktion durch Selektion-Austausch



- **Neutralino** zerfällt bevorzugt in Gravitino  $\tilde{G}$  und Photon
- **Gravitino** entkommt undetektiert (ähnlich Neutrino)

## Signatur

- Fehlender Transversalimpuls
- hoch-energetisches Photon
- hoch-energetischer Jet

→ Selektion ähnlich zu CC, mit zusätzlichem Photon

# Rekonstruktion der Ereignis-Variablen

## Standard-Modell-Variablen

$x$ ,  $y$  und  $Q^2$  berechnet aus  $\not{p}_T$  und  $\delta_H$

$$\delta_H = \sum_{i \in H} E_i (1 - \cos \theta_i), \quad H : \text{Hadronen im Endzustand}$$

## SUSY-Variablen

Gravitino-Viererimpuls:  $p_{\tilde{G}}$

Annahme: keine weiteren undetektierten Teilchen

- $p_{T, \tilde{G}} = \not{p}_T$
- $p_{\tilde{G}, z}$  mit  $m_{\tilde{G}} \approx 0$  ermittelt aus
 
$$(E - p_z)_{\text{global}} + (E_{\tilde{G}} - p_{z, \tilde{G}}) = 2E_e^{\text{in}}$$

Neutralino-Viererimpuls:  $p_{\tilde{\chi}^0} = p_\gamma + p_{\tilde{G}}$

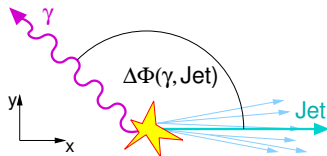
( $p_\gamma$ : Viererimpuls des Photons im Endzustand)

Selektron-Viererimpulsübertrag:  $Q_{\tilde{e}} = |p_e^{\text{in}} - p_{\tilde{\chi}^0}|$

# Ereignis-Auswahl

## Schnitte

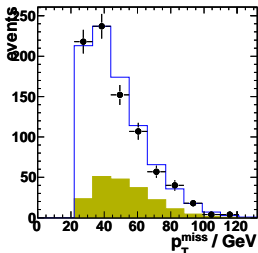
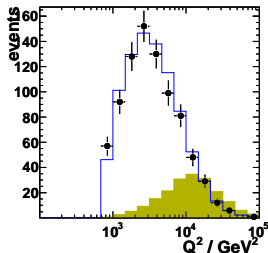
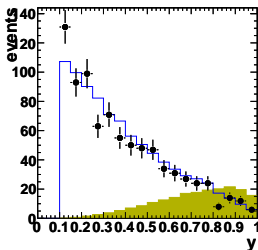
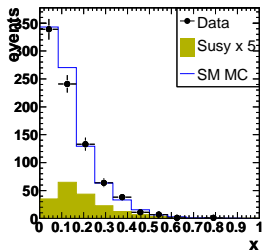
- $Q^2 > 700 \text{ GeV}^2$   
→ Untergrund-Reduzierung, Kinematik
- $\cancel{p}_T > 22 \text{ GeV}$   
→ Gravitino
- $\geq 1$  Jet mit  $p_T > 20 \text{ GeV}$  und  
1 Photon mit  $E_\gamma > 4 \text{ GeV}$   
→ SUSY-Signatur
- $\Delta\Phi(\gamma, \text{Jet}) < 3.0 \text{ rad}$   
→ Gegen Ereignisse mit neutralem Strom  
und als  $\gamma$  misidentifiziertem  $e$
- **Schnitte gegen Nicht- $e\bar{p}$ -Untergrund**  
(Strahlgas, kosmische Myonen,  
Halo-Myonen)



Winkel-Separation in  
transverser Ebene



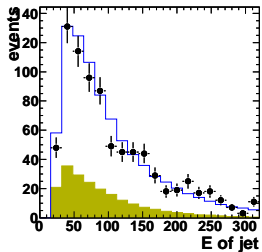
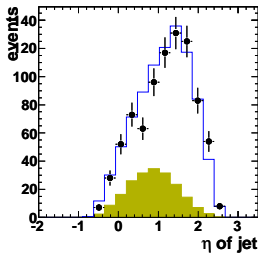
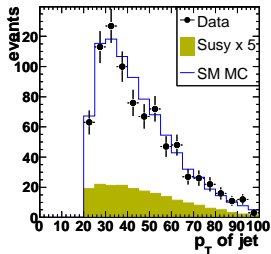
# Kinematik



- Alle Histogramme normiert auf Luminosität
- SUSY um Faktor 5 hochskaliert (bzgl.  $\lambda'_{111} = 1$ )

Gute Übereinstimmung mit Erwartung aus Standardmodell (CC)

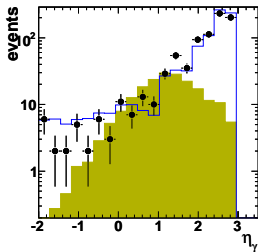
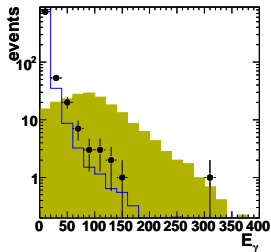
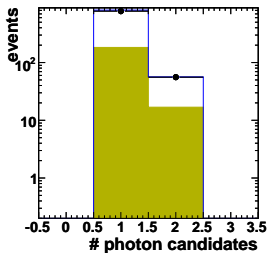
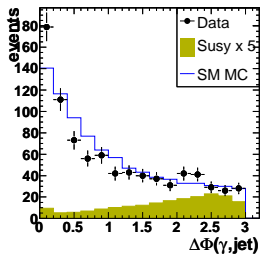
# Jets



Jets vom  $k_T$  Algorithmus basierend auf Gruppen von Kalorimeter-Zellen

Gute Übereinstimmung mit Erwartung aus Standardmodell (CC)

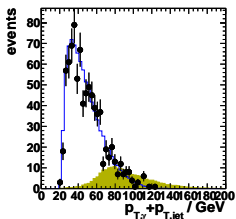
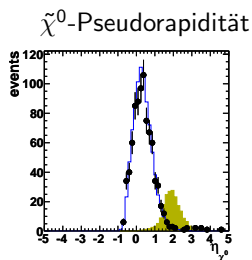
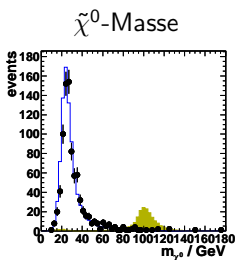
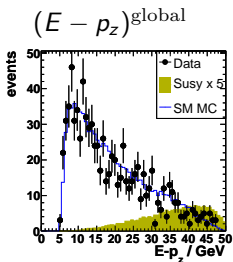
# Photon



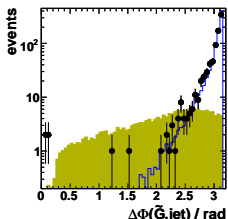
Photon detektiert im e.-m. Kalorimeter, isoliert von Spuren

noch hoher SM Untergrund  
 → multivariante Diskriminanten-Analyse

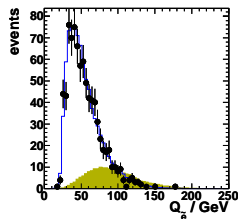
# Variablen für Diskriminanten-Analyse



$p_T$ -Summe von  
Jet und  $\gamma$



$\phi$ -Winkeldifferenz  
zwischen Jet und  $\gamma$



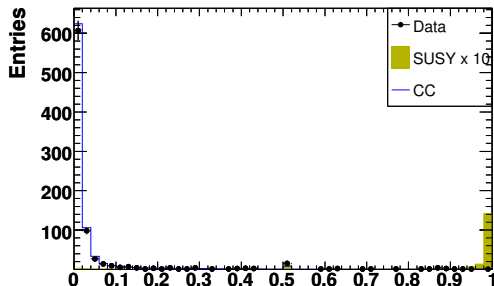
Selektion-  
Impulsübertrag

# Diskriminanten-Verteilung

Probability Density Estimator with Range Search des ROOT-TMVA-Pakets

- Aufteilung des Ereignisraums in Kästen mit Volumen  $V$
- Berechne Diskriminante  $D$  für jedes Ereignis  $E$  im Volumen  $V$ :

$$D(E, V) = \frac{1}{1 + r(E, V)} \quad \text{mit} \quad r(E, V) = \frac{n_{\text{Untergrund}}(E, V)}{n_{\text{Signal}}(E, V)} \cdot \frac{n_{\text{Signal}}^{\text{total}}}{n_{\text{Untergrund}}^{\text{total}}}$$



- Gute Separation von Signal und Untergrund in Diskriminantenverteilung
- Kein signifikanter Hinweis auf SUSY

# Zusammenfassung und Ausblick

## Zusammenfassung

- Gutes Verständnis von  $250 \text{ pb}^{-1}$  der ZEUS-Daten ist erreicht  
→ Ziel: Gesamter HERA-Datensatz  
→ Höhere Massen und kleinere Kopplungen als vorherige Analysen (bis zu  $m_{\tilde{\chi}^0} = 190 \text{ GeV}$  in manchen Parameter-Regionen)
- Gute Signal-Untergrund-Trennung durch multivariable Diskriminanten-Analyse

## Ausblick

- Verfeinern der Vorauswahl (Untergrund-Eliminierung)
- Optimierung der Diskriminanten-Analyse
- Ausweitung auf restliche HERA-Daten
- Berechnung von Ausschlussgrenzen für unterschiedliche Neutralino/Selektron-Massen



## Zusatzmaterial

# Daten-Periode und Monte Carlo

## Daten

- 2004/05  $e^-p$  ( $\mathcal{L} = 132.7 \text{ pb}^{-1}$ )
- 2006/07  $e^+p$  ( $\mathcal{L} = 127.9 \text{ pb}^{-1}$ )

## Monte Carlo

- Djangoh/Ariadne CC, 250k Ereignisse, verschiedene  $Q^2$ -Bereiche
- modifiziertes SUSYGEN 3.0, 20k Ereignisse,  
 $m_{\tilde{\chi}_0} = 96 \text{ GeV}$ ,  $m_{\tilde{e}} = 140 \text{ GeV}$   
( $\tan \beta = 2$ ,  $\mu = -1$ ,  $M_{\text{mess}} = 140 \text{ TeV}$ ,  $\Lambda = 70 \text{ TeV}$ ,  $N = 1$ ,  $m_{\tilde{e}} = 140 \text{ GeV}$ )