Kinematische Fits zur Massenbestimmung supersymmetrischer Teilchen

Christian Autermann, Sergei Bobrovskyi, Ulla Gebbert, Gordon Kaußen, Robert Klanner, Benedikt Mura, Friederike Nowak, Niklas Pietsch, Christian Sander, Hannes Schettler, Peter Schleper, Torben Schum, Matthias Stein, Jan Thomsen

Institut für Experimentalphysik, Universität Hamburg

12. März 2009

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Einleitung

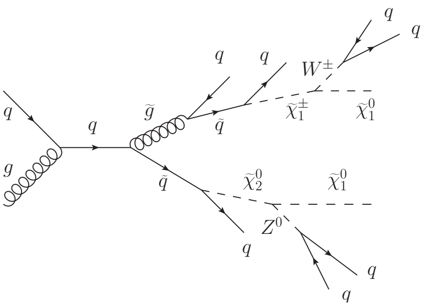
Studien zeigen Möglichkeiten der Entdeckung von Supersymmetrie am LHC.

- Anschliessende Bestimmung der Modellparametern notwendig
  - z.B. mit Hilfe von Massenmessungen
- Lange Zerfallskaskaden in R-Parität erhaltenden Modellen dazu geeignet
  - Massen a priori unbekannt
  - Selektiere Ereignissen mit gleicher Topologie
  - Kinematischen Rekonstruktion der Ereignisse, inkl. aller Massen aus gemessenem Endzustand
- Mögliche Herangehensweise:
  Simultaner kinematischer Fit vieler gleichartiger Ereignisse (Globaler Fit)

Gewählte Ereignistopologie

Ereignisparameter

- Gemessen:
  7 Jets x 3 Parameter (E_T, η, ϕ)= 21
- Ungemessen:
  2 $\times$ 3 Parameter der Neutralinos = 6
- Global (identisch für alle Ereignisse):
  4 Massen ($\widetilde{g}$, $\widetilde{q}$, $\widetilde{\chi}_1^{\pm}$, $\widetilde{\chi}_1^0$)



Kinematische Zwangsbedingungen

Transversaler Impuls:

- p_x Balance
- p_y Balance

Invariante Massen:

- $2\times\ \mathbf{p}(q, q, \tilde{\chi}_1^0)^2 = M^2_{\tilde{\chi}_1^{\pm}}$
- $2\times\ \mathbf{p}(q, q, q, \tilde{\chi}_1^0)^2 = M^2_{\tilde{q}}$
- $1\times\ \mathbf{p}(q, q, q, q, \tilde{\chi}_1^0)^2 = M^2_{\tilde{g}}$
- $2\times\ \mathbf{p}(q, q)^2 = M^2_{W^{\pm}}$

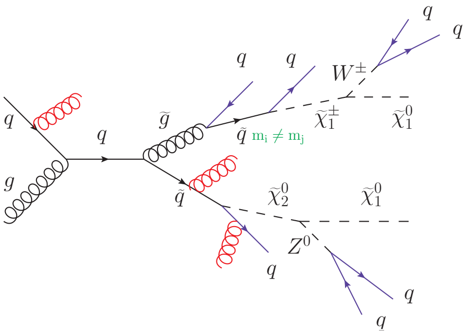
System ist überbestimmt für Ereignisse mit $\geq$ 7 SUSY-Teilchen

z.B. 100 Ereignisse:

7×100	Zwangsbedingungen
-6×100	Ungemessene Parameter
-4	Global Unbekannte
96	Zwangsbedingungen "übrig"

Schwierigkeiten im realistischen Fall

- Unterdrückung von Standard Modell und SUSY Untergrund (Selektion der richtigen Kaskade)
- Kombinatorischer Untergrund: Anordnung der 7 Jets im Endzustand



- Breite der (virtuellen) Teilchen und verschiedene Generationen
- Zusätzliche Abstrahlungen im Anfangszustand → zerstören p_T-Balance
- Zusätzliche Abstrahlungen im Endzustand

Methode der kleinsten Quadrate mit Nebenbedingungen

- Allgemein: minimiere Summe der Residuen der gemessenen Parameter y des Ereignisses

$$S = \sum_i \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{\sigma_{y_i}^2}$$

- Fit mit Nebenbedingungen $f_j(y, a, g) = 0$:
  (y=gemessene, a=ungemessene lokale Parameter, g=globale Parameter)
  Methode der Lagrangeschen Multiplikatoren: Suche Extremum von

$$L = S + 2\sum_j \lambda_j \cdot f_j(y, a, g)$$

- Simultaner Fit von N Ereignissen (Globaler Fit)

$$L = \sum_{n=1}^{N} \left(S_n + 2\sum_j \lambda_{j,n} \cdot f_j(y_n, a_n, g) \right)$$

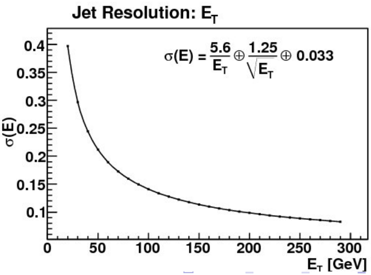
- Ableiten von L nach allen Parametern liefert Gleichungssystem zur Bestimmung des Extremums.
- Nichtlineare Zwangsbedingungen erfordern iterative Lösung

Minimierung und Konvergenz

- "Normierung" der Nebenbedingungen zur Berücksichtigung von Massenbreiten bzw. nahezu degenerierten Massen: $f_j(y,a,g) \rightarrow \frac{f_j}{\Delta f_j}$, mit $\Delta f_j = \frac{\partial f_j}{\partial m} \cdot \Delta m$
- Korrektur zweiter Ordnung zum berechneten Lösungsschritt: Gehe einmalig . . .
- Skalierung von Beiträgen zu S (d.h. χ^2) der Ereignisse zur Unterdrückung von Ausreissern: $f(S) = c^2 \cdot \ln(1 + \frac{S}{c^2})$ (Cauchy-Funktion, c=2.3849)
- Verlange in jeder Iteration $\Delta M = M - M^* < 0$ mit $M = S + \mu \cdot \sum_j |f_j(y,a,g)|$, wobei $\mu = \max \lambda_j$.
- Konvergenzkriterien:
  - $\Delta S = S - S^* < \Delta S_{min} = 0.01$
  - $\sum_i |f_i| < F_{min} = 9$

Einfache Fallstudie

- mSUGRA Szenario, Ereignisse generiert mit Pythia
  ($m_0 = 210\,\mathrm{GeV}$, $m_{1/2} = 285\,\mathrm{GeV}$, $A_0 = 0$, $\tan\beta = 10$, $\mathrm{sign}\mu = +$)
- 3 Globale Parameter:
  - $M_{\tilde{g}}$, $M_{\tilde{q}}$, $M_{\tilde{\chi}^{\pm}}$
  - $M_{\tilde{\chi}_1^0} = M_{\tilde{\chi}^{\pm}} - \Delta(M_{\tilde{\chi}_1^{\pm}}, M_{\tilde{\chi}_1^0})_{wahr}$
- Selektion der gewünschten Kaskade aus Generatorinformation
- Jet Monte Carlo:
  - Benutze Partonkinematik aus Generatorinformation
  - Verschmiere E_T, η, ϕ gaussisch mit der erwarteten Auflösung für Jets im CMS Detektor [CERN-LHCC-2006-021]
- Korrektur von p_T auf Abstrahlungen im Anfangszustand
- Startwerte:
  - Globale Parameter: invariante Massen von Jetkombinationen
  - Neutralinos: W/Z-Impulse
- Keine Kombinatorik: Richtige Anordnung im Endzustand



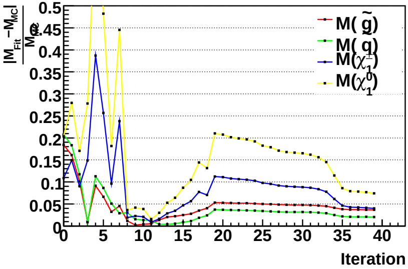
Einfache Fallstudie

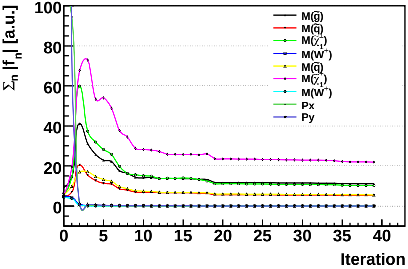
Ergebnisse

- Gute Übereinstimmung von wahren und gefitteten Massen

	wahr	gefittet	rel. Abw.
$M_{\tilde{g}}$	685 GeV	710 GeV	3,5%
$M_{\tilde{q}}$	660 GeV	673 GeV	1,9%
$M_{\tilde{\chi}^{\pm}}$	210 GeV	218 GeV	3,7%

- Zwangsbedingungen werden unterschiedlich gut erfüllt
- Massen am Ende der Kaskade weniger gut eingeschränkt

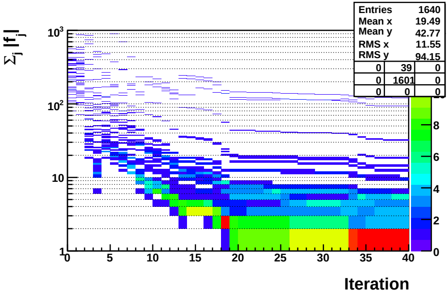


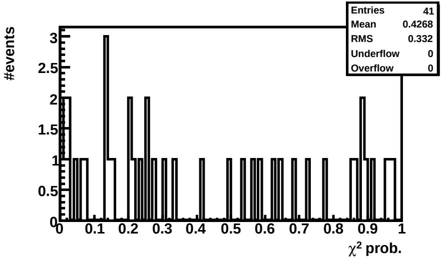


Einfache Fallstudie

Konvergenz

- Ereignissen erfüllen Zwangsbedingungen unterschiedlich gut
- Mehrheit konvergiert zu kleinen Werten, aber große Streuung
- Wahrscheinlichkeitsverteilung für S $(= \chi^2)$ ist flach
- Fit funktioniert in diesem idealisierten Beispiel





Zusammenfassung und Ausblick

- Globaler kinematischer Fit als Mittel zur Massenbestimmung supersymmetrischer Teilchen wurde vorgestellt
  - Simultaner Fit von Ereignissen mit identischer, langer Zerfallskaskade
  - Bestimmung der unbekannten Massen als globale Parameter
- Funktion für idealisierten Fall demonstriert
- Einfluß zusätzlicher Faktoren in realistischem Szenario wird studiert
  - Selektion der Zerfallskaskade
  - Kombinatorischer Untergrund
  - Näherungsweise Erfüllung der Zwangsbedingungen, insbes. auf den Transversalimpuls
  - Volle Simulation des Detektors