# Techniken zur Squarkmassenbestimmung an einem zukünftigen e<sup>+</sup>e<sup>-</sup> Linearbeschleuniger

#### D. Dannheim<sup>1</sup>, A. Lucaci-Timoce<sup>1</sup>, P. Schade<sup>1,2</sup>, F. Simon<sup>3</sup>, <u>L. Weuste<sup>3</sup></u> <sup>1</sup>CERN, Genf <sup>2</sup>DESY, Hamburg <sup>3</sup>MPI für Physik & Excellence Cluster "Universe", München





# Gliederung

Motivation

- Der Compact Linear Collider
- Squarkproduktion bei CLIC
- Untergrund
- Massenmesstechniken
- Einfluss des Jet-Algorithmus



#### Squarks: Die Domäne von Multi-TeV Beschleunigern

Supersymmetrie ist eine mögliche Erweiterung des Standardmodells

− postuliert Superpartner zu jedem SM - Teilchen: u.a.: Quark → Squark<sub>l,r</sub>

Typisch für Squarks in mSugra SUSY Modellen:

- Squarks schwer → Für Paarproduktion mehr als ITeV nötig
- u/d/c/s Squarks: rechts- und linkshändige Squarks mixen nicht zu neuem Masseneigenzuständen



- typ. keine Unterscheidung 1. / 2. Generation:
  - up / charm Squarks haben gleiche Masse
  - down / strange Squarks haben gleiche Masse
- aber leichte Massendifferenz up / down
- Massendifferenz links- / rechtshändige Squarks

Präzise Squark-Massenmessungen sind wichtiger Bestandteil der SUSY Spektroskopie!

## Der "Compact Linear Collider"

- e<sup>+</sup>e<sup>-</sup> Beschleuniger
- Wenig Untergrund
- Definierter Anfangszustand
- Gut geeignet f
  ür Pr
  äzisionsmessungen





# Der "Compact Linear Collider"



- e<sup>+</sup>e<sup>-</sup> Beschleuniger
- Wenig Untergrund
- Definierter Anfangszustand
- Gut geeignet f
  ür Pr
  äzisionsmessungen







Squarkmassenbestimmung als CLIC CDR Benchmark

- optimiertes SUSY Modell: Neutralino ist LSP
- rechtshändige Squarks: "mostly bino"
  - $\blacktriangleright$  nur schwacher Zerfall:  $\tilde{q}_R \xrightarrow{99.7\%} q + \chi_1^0$

$m_0$	=	$303 {\rm GeV}$		
$A_0$	=	$-750 \mathrm{GeV}$	particle	mass [GeV]
$\mu$	>	0	$\chi_1^0$	328.3
aneta	=	24	$ ilde{u}_R,  ilde{c}_R$	1125.7
$M_1$	=	$780 \mathrm{GeV}$	$\tilde{d}_{B}, \tilde{s}_{B}$	1116.1
$M_2$	=	$940 \mathrm{GeV}$	$\tilde{a}_{P}$	1239.7
$M_3$	=	$540 \mathrm{GeV}$	ЭN	















# Untergrund: $\gamma\gamma \rightarrow$ Hadron

Zusätzlich: Untergrund pro Bunchcrossing BX

- verursacht durch γγ→Hadron "pile-up"
- kein "pile-up" von "echten" Events
- kein "underlying event"
- dominiert in Vorwärtsbereich
- bei 60BX: zusätzlich 1.4TeV
- Reduktion durch komplizierte Cuts auf 200GeV



Beamstrahlung







#### 60BX vor Reduktion I.4 TeV

nach Reduktion 0.2 TeV



Lars Weuste (weuste@mpp.mpg.de) - MPP

### Massenmesstechnik: Box-Verteilung



#### Massenmesstechnik: Mc

$$M_C^2 = (E_1 + E_2)^2 - (\vec{p_1} - \vec{p_2})^2$$
  
=  $2(E_1 E_2 + \vec{p_1}^2 \vec{p_2}^2)$ 

Basiert auf Modifikation der invarianten Masse

LHC benutzt transversale Variante

Berechnung

- ohne Kollisionsenergie
  - Geringe Abhängigkeit vom beam-energy Spektrum
- Benötigt Neutralinomasse
- Maximum an oberer Kante
- Geeignet f
  ür Messungen mit geringer Statistik

Lars Weuste (weuste@mpp.mpg.de)

- MPP

- Simple Dreiecks Form
- Vermutlich einfach zu fitten



$$M_{C,\max} = \frac{m_{\tilde{q}}^2 - m_{\chi}^2}{m_{\tilde{q}}}$$

#### Massenmesstechnik: minimale Squarkmasse

Berechnung der kinematisch minimal möglichen Squarkmasse pro Event, mittels

- der gemessenen Jet 3er Impulse (Quarks massenlos)
- der Neutralino Masse (Annahme: bekannte durch andere Messungen)





# Einfluss von $\gamma\gamma \rightarrow$ Hadron auf Box/Mc



- Generatorlevelstudie
- Nur Signal
- Überlagerung von  $\gamma\gamma \rightarrow$  Hadron
- Jet-Finding
- Simulation des Detektors via "4-Vector-Smearing" der Jets
- Verschiebung der Verteilung

 $M_C/Box$  nicht stabil ggü.  $\gamma\gamma \rightarrow$  Hadron !



# Einfluss von $\gamma\gamma \rightarrow$ Hadron auf min m<sub>squark</sub>



- Generatorlevelstudie
- Nur Signal
- Überlagerung von  $\gamma\gamma \rightarrow$  Hadron
- Jet-Finding
- Simulation des Detektors via "4-Vector-Smearing" der Jets
- Berechnung hat Kollisionsenergie als Eingabe
- $\gamma\gamma \rightarrow$  Hadron Überlagerung verletzt Annahme der Energieerhaltung
  - Berechnung schlägt in manchen Fällen fehl
  - ➡ obere Kante bleibt jedoch erhalten



#### Jet Algorithmen

- Jet Algorithmen: Rekombination der Sekundärteilchen
- Ziel: Messung des Ursprungsteilchens (Quark)
- Beispiel: kt Algorithmus (exklusiv)
- Berechne paarweise Distanz aller Teilchen
- Vereinige Teilchen mit kleinster Distanz
  - Ausnahme: Lösche Teilchen nahe der Beamachse
- Wiederhole, bis nur noch N "Teilchen" = Jets übrig





#### Jet Algorithmen

Jet Algorithmen: Rekombination der Sekundärteilchen

- Ziel: Messung des Ursprungsteilchens (Quark)
- Beispiel: k<sub>t</sub> Algorithmus (exklusiv)
- Berechne paarweise Distanz aller Teilchen
- Vereinige Teilchen mit kleinster Distanz
  - Ausnahme: Lösche Teilchen nahe der Beamachse
- Wiederhole, bis nur noch N "Teilchen" = Jets übrig

Name	Distanz $\propto$	Anmerkung	
ee kt	$\min(E_i^2, E_j^2)(1 - \cos \theta_{ij})$	$\theta_{ij}$ : Zwischenwinkel	
hadron kt	$\min(k_{t,i}^2, k_{t,i}^2) (\phi_i - \phi_j) (\eta_i - \eta_j)$	$\eta: Pseudorapidität$	
	<b>, , , , , , , , , ,</b>	,	n=0

Pseudorapidität  $\eta \rightarrow \infty$  für  $|\cos\theta| \rightarrow I$   $\Rightarrow$  Raum im Vorwärtsbereich wird künstlich "auseinandergezogen"  $\Rightarrow$  Wichtig für Hadronbeschleuniger (Boost entlang Beamachse)





 $\theta = 90^{\circ}$ 

 $\theta = 45$ 

n=0.88

### Jet Algorithmus Vergleich: Etot

- Vergleich: ee-kt und Hadron-kt Algorithmus
- Generatorlevelstudie
- Überlagerung Signal (Squarks) mit γγ→Hadron
- Jet Clustering
- Verschmierung der Jet 4er-Vektoren (Detektoreffekte)

ee-k<sub>t</sub> - Algorithmus

hadron-k<sub>t</sub> Algorithmus



### Jet Algorithmus Vergleich: Etot

- Vergleich: ee-kt und Hadron-kt Algorithmus
- Generatorlevelstudie
- Überlagerung Signal (Squarks) mit γγ→Hadron
- Jet Clustering
- Verschmierung der Jet 4er-Vektoren (Detektoreffekte)





#### Jet Algorithmus Vergleich: Etot

- Vergleich: ee-kt und Hadron-kt Algorithmus
- Generatorlevelstudie
- Überlagerung Signal (Squarks) mit γγ→Hadron
- Jet Clustering
- Verschmierung der Jet 4er-Vektoren (Detektoreffekte)





## Jet Algorithmus Vergleich: cos $\Theta_{Jet1}$



Überlagerung von  $\gamma\gamma \rightarrow$  Hadron auf Generator Ebene



## Jet Algorithmus Vergleich: Mc



Überlagerung von  $\gamma\gamma \rightarrow$  Hadron auf Generator Ebene



# Jet Algorithmus Vergleich: min msquark



Der hadron-kt Algorithmus nimmt weniger  $\gamma\gamma \rightarrow$  Hadron Untergrund auf

Überlagerung von  $\gamma\gamma \rightarrow$  Hadron auf Generator Ebene



## Zusammenfassung

CLIC CDR Benchmark: Squarkmassenbestimmung

- Hier: Zerfall der rechtshändigen Squarks fast ausschliesslich in Quark und Neutralino
- Sehr generische Signatur
- Massenbestimmung am CLIC mit verschiedenen Observablen:
- Box Verteilung
- minimale Squarkmasse
- modifizierte invariante Masse M<sub>C</sub>
  - Empfindlich ggü. γγ→Hadron Untergrund
- Wahl des Jet-Algorithmus beeinflusst Aufnahme von  $\gamma\gamma \rightarrow$  Hadron Teilchen
- Hadron k<sub>t</sub> Algorithmus

