

Stau im LHC

Entdeckungspotential für R -Paritätsverletzende
supersymmetrische Modelle

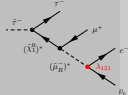


Sebastian Fleischmann

Arbeit in Kollaboration mit Klaus Desch, Herbi Dreiner,
Sebastian Grab und Peter Wienemann

Physikalisches Institut, Universität Bonn

42. Herbstschule für Hochenergiephysik Maria Laach
09. September 2010



Übersicht

Stau im LHC

Sebastian
Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV
Szenarien

Ereignis-
Selektion

Entdeckungs-
potential

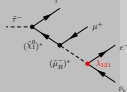
Abschätzung
der
Stau-Masse

Zusammenfassung

Backup

- 1 Einführung in R -Paritätsverletzende Supersymmetrie
- 2 RPV Beispiel-Szenarien
- 3 Ereignis-Selektion
- 4 Entdeckungspotential
- 5 Abschätzung der Stau-Masse
- 6 Zusammenfassung

Einleitung Supersymmetrie



Stau im LHC

Sebastian
Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV
Szenarien

Ereignis-
Selektion

Entdeckungs-
potential

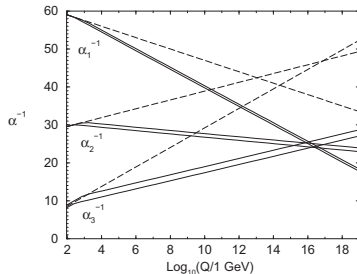
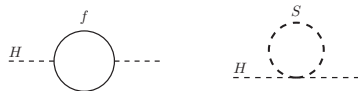
Abschätzung
der
Stau-Masse

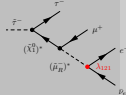
Zusammenfassung

Backup

Supersymmetry (SUSY): Fundamentale Symmetrie zwischen Fermionen und Bosonen

- ▶ Löst Hierarchieproblem der Higgs-Masse durch gegenseitige Aufhebung von Boson- und Fermion-Beiträgen
- ▶ Liefert Vereinheitlichung der drei Standard-Modell (SM)-Kopplungen bei $M_X \approx 10^{16}$ GeV: Einbettung in Vereinheitlichte Theorie





SUSY-Teilchen im MSSM

Stau im LHC

Sebastian
Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV
Szenarien

Ereignis-
Selektion

Entdeckungs-
potential

Abschätzung
der
Stau-Masse

Zusammenfassung

Backup

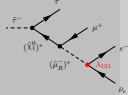
Minimale supersymmetrische Version des SM (MSSM)
erfordert Verdopplung der Freiheitsgrade

Names		spin 0	spin 1/2
squarks, quarks ($\times 3$ families)	Q	$(\tilde{u}_L \tilde{d}_L)$	$(u_L d_L)$
	\bar{u}	\tilde{u}_R^*	u_R^\dagger
	\bar{d}	\tilde{d}_R^*	d_R^\dagger
sleptons, leptons ($\times 3$ families)	L	$(\tilde{\nu} \tilde{e}_L)$	(νe_L)
	\bar{e}	\tilde{e}_R^*	e_R^\dagger
Higgs, higgsinos	H_u	$(H_u^+ H_u^0)$	$(\tilde{H}_u^+ \tilde{H}_u^0)$
	H_d	$(H_d^0 H_d^-)$	$(\tilde{H}_d^0 \tilde{H}_d^-)$

Names	spin 1/2	spin 1
gluino, gluon	\tilde{g}	g
winos, W bosons	$\tilde{W}^\pm \tilde{W}^0$	$W^\pm W^0$
bino, B boson	\tilde{B}^0	B^0

- ▶ SUSY muss gebrochen sein, da Superpartner ansonsten gleiche Masse wie SM-Teilchen hätten
- ▶ Verschiedene Modelle existieren für Brechungsmechanismus

Protonzerfall, R -Parität und ihre Folgen



Stau im LHC

Sebastian
Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV
Szenarien

Ereignis-
Selektion

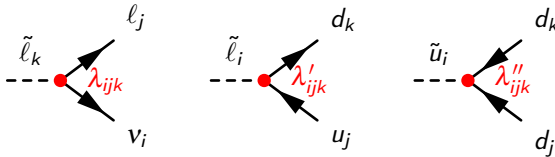
Entdeckung-
potential

Abschätzung
der
Stau-Masse

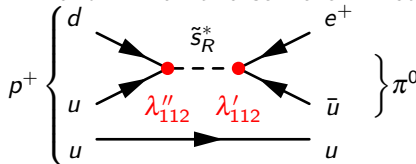
Zusammenfassung

Backup

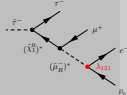
Allgemeinste Wechselwirkungsterme ergeben auch Baryon- (B) und Leptonzahl (L) verletzende Kopplungen



► ΔB und ΔL führt zu schnellem Protonzerfall, z.B.



► Übliche Lösung: R -Parität ($R = (-1)^{3(B-L)+2s}$)



R-Paritätsverletzende SUSY

Stau im LHC

Sebastian
Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV
Szenarien

Ereignis-
Selektion

Entdeckungs-
potential

Abschätzung
der
Stau-Masse

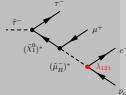
Zusammenfassung

Backup

Vermeidung von $\Delta L \neq 0$ und $\Delta B \neq 0$ zur gleichen Zeit
ausreichend, um Proton stabil zu halten \Rightarrow

R-Paritätsverletzung

- ▶ Leichtestes supersymmetrisches Teilchen (LSP) nicht mehr stabil
 - ▶ LSP kann geladen sein
- ▶ Je nach RPV-Kopplung stark verschiedene Signaturen in Beschleunigerexperimenten
 - ▶ Langlebige, massive Teilchen
 - ▶ Exotische gebundene Zustände (R-Hadronen)
 - ▶ Prompte Zerfälle



Beispiel-Szenarien in \mathbb{R}_p mSUGRA

Stau im LHC

Sebastian
Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV
Szenarien

Ereignis-
Selektion

Entdeckungs-
potential

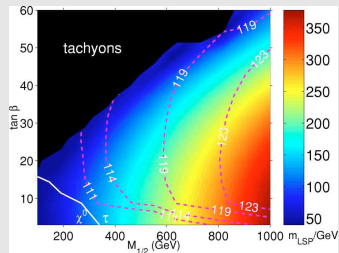
Abschätzung
der
Stau-Masse

Zusammenfassung

Backup

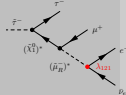
- mSUGRA (minimal Supergravity): SUSY-Brechungsmodell (reduziert Anzahl freier Parameter im MSSM von über 100 zu 5)

LSP in no-scale mSUGRA



Allanach, Dedes, Dreiner, Phys. Rev. D69 115002

Masse und Typ des LSP in
"no-scale mSUGRA"



Beispiel-Szenarien in \mathbb{R}_p mSUGRA

Stau im LHC

Sebastian Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV Szenarien

Ereignis-Selektion

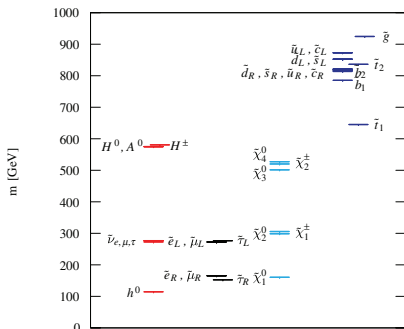
Entdeckungspotential

Abschätzung der Stau-Masse

Zusammenfassung

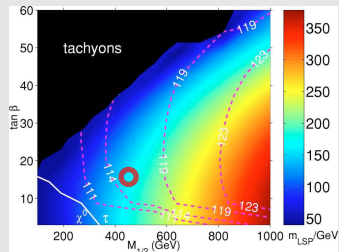
Backup

- mSUGRA (minimal Supergravity): SUSY-Brechungsmodell (reduziert Anzahl freier Parameter im MSSM von über 100 zu 5)



Allanach et al., Phys. Rev. D75 (2007) 035002

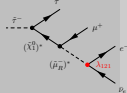
LSP in no-scale mSUGRA



Allanach, Dedes, Dreiner, Phys. Rev. D69 115002

Masse und Typ des LSP in "no-scale mSUGRA"

Beispiel-Szenarien in R_p mSUGRA



Stau im LHC

Sebastian Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV Szenarien

Ereignis-Selektion

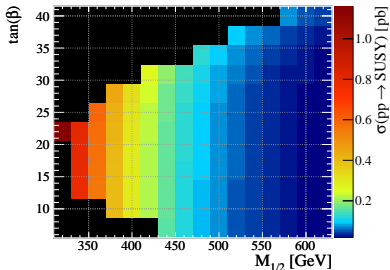
Entdeckungspotential

Abschätzung der Stau-Masse

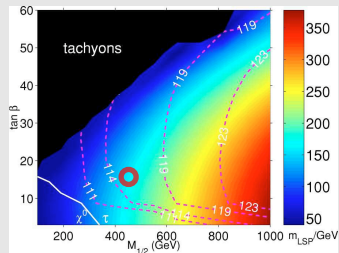
Zusammenfassung

Backup

- ▶ $\tilde{\tau}$ (Superpartner des τ -Leptons) ist LSP in grossen Bereichen des mSUGRA Parameterraums
 - ▶ Bei R -Paritätserhaltung: Ausgeschlossen wg. Ladung
- ▶ Wirkungsquerschnitt am LHC @ $\sqrt{s} = 7\text{TeV}$: $\sigma = 0.28\text{pb}$ (Zum Vergleich: $\sigma_{t\bar{t}} = 160\text{pb}$)



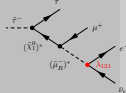
LSP in no-scale mSUGRA



Allanach, Dedes, Dreiner, Phys. Rev. D69 115002

Masse und Typ des LSP in "no-scale mSUGRA"

RPV mSUGRA Szenario BC 1



Stau im LHC

Sebastian Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV Szenarien

Ereignis-Selektion

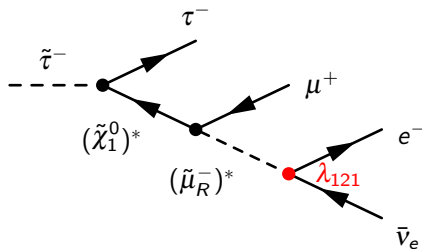
Entdeckungspotential

Abschätzung der Stau-Masse

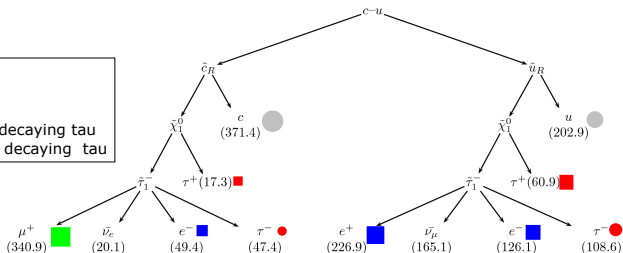
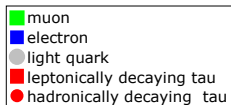
Zusammenfassung

Backup

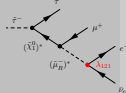
- ▶ $\lambda_{121}(M_{GUT}) = 0.032$
($L_1 L_2 \bar{E}_1$ Kopplung)
- ▶ Ergibt 4-Körperzerfall des $\tilde{\tau}$ -LSP:
 $\tilde{\tau}_1^\pm \rightarrow \tau^\pm \ell^\mp \ell'^\pm \nu$



- ▶ Beispiel-Ereignis:



RPV mSUGRA Szenario BC 1



Stau im LHC

Sebastian Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV Szenarien

Ereignis-Selektion

Entdeckungspotential

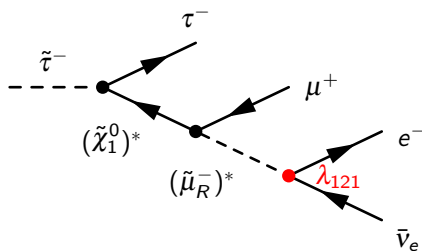
Abschätzung der Stau-Masse

Zusammenfassung

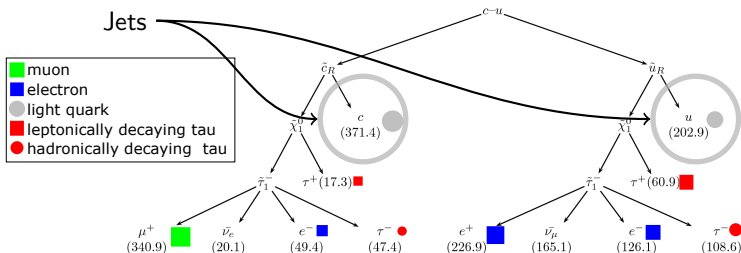
Backup

- ▶ $\lambda_{121}(M_{GUT}) = 0.032$
($L_1 L_2 \bar{E}_1$ Kopplung)

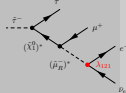
- ▶ Ergibt 4-Körperzerfall des $\tilde{\tau}$ -LSP:
 $\tilde{\tau}_1^\pm \rightarrow \tau^\pm \ell^\mp \ell'^\pm \nu$



- ▶ Beispiel-Ereignis:



RPV mSUGRA Szenario BC 1



Stau im LHC

Sebastian
Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV
Szenarien

Ereignis-
Selektion

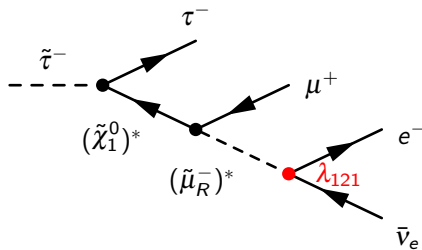
Entdeckungs-
potential

Abschätzung
der
Stau-Masse

Zusammenfassung

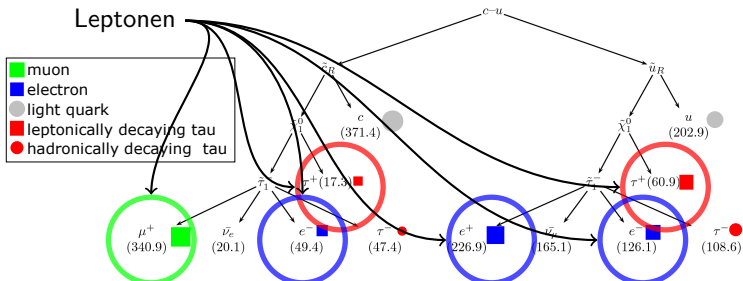
Backup

- ▶ $\lambda_{121}(M_{GUT}) = 0.032$
($L_1 L_2 \bar{E}_1$ Kopplung)
- ▶ Ergibt 4-Körperzerfall
des $\tilde{\tau}$ -LSP:
 $\tilde{\tau}_1^\pm \rightarrow \tau^\pm \ell^\mp \ell'^\pm \nu$

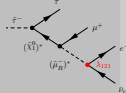


- ▶ Beispiel-Ereignis:

Leptonen



RPV mSUGRA Szenario BC 1



Stau im LHC

Sebastian Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV Szenarien

Ereignis-Selektion

Entdeckungspotential

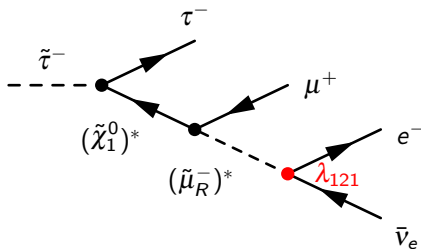
Abschätzung der Stau-Masse

Zusammenfassung

Backup

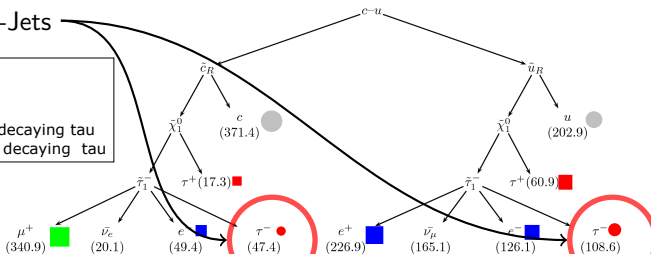
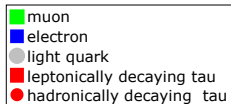
- ▶ $\lambda_{121}(M_{GUT}) = 0.032$
($L_1 L_2 \bar{E}_1$ Kopplung)

- ▶ Ergibt 4-Körperzerfall des $\tilde{\tau}$ -LSP:
 $\tilde{\tau}_1^\pm \rightarrow \tau^\pm \ell^\mp \ell'^\pm \nu$

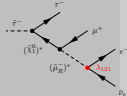


- ▶ Beispiel-Ereignis:

Tau-Jets



RPV mSUGRA Szenario BC 1



Stau im LHC

Sebastian Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV Szenarien

Ereignis-Selektion

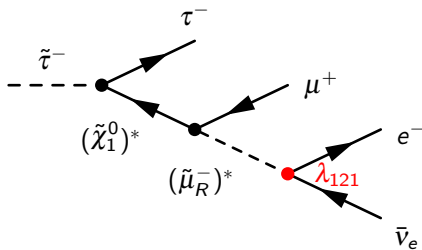
Entdeckungspotential

Abschätzung der Stau-Masse

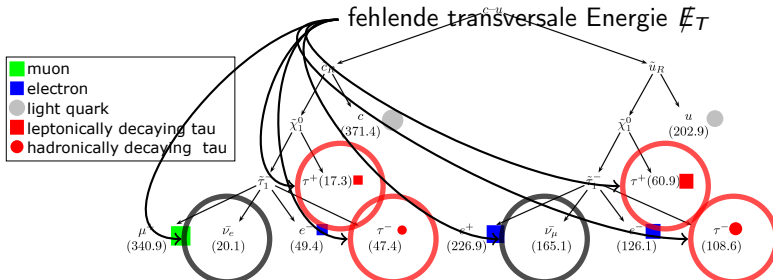
Zusammenfassung

Backup

- ▶ $\lambda_{121}(M_{GUT}) = 0.032$
($L_1 L_2 \bar{E}_1$ Kopplung)
- ▶ Ergibt 4-Körperzerfall des $\tilde{\tau}$ -LSP:
 $\tilde{\tau}_1^\pm \rightarrow \tau^\pm \ell^\mp \ell'^\pm \nu$

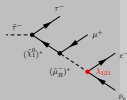


- ▶ Beispiel-Ereignis:



BC 1: Anzahl rekonstruierter Objekte pro Ereignis

nach Standard-ATLAS-Objektselektion und Überlappentfernung;
Delphes-Detektorsimulation, $\sqrt{s} = 7\text{TeV}$



Stau im LHC

Sebastian
Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV

Szenarien

Ereignis-
Selektion

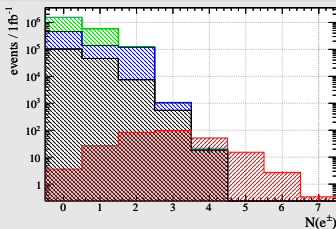
Entdeckungs-
potential

Abschätzung
der
Stau-Masse

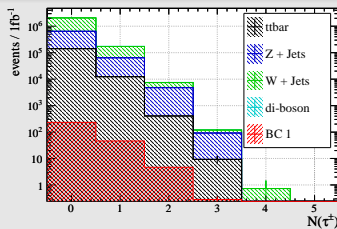
Zusammenfassung

Backup

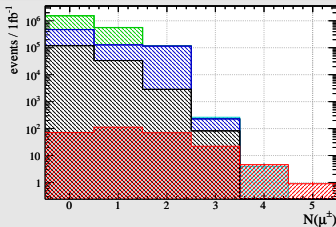
Elektronen



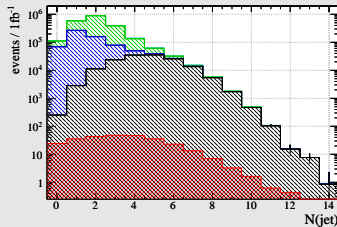
hadronische Tau-Lepton-Zerfälle



Myonen

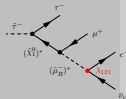


Jets



BC 1: Jet- und Lepton-Impulse

skaliert auf $\int L dt = 1 \text{fb}^{-1}$, $\sqrt{s} = 7 \text{TeV}$
Delphes Simulation



Stau im LHC

Sebastian
Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV

Szenarien

Ereignis-
Selektion

Entdeckungs-
potential

Abschätzung der
Stau-Masse

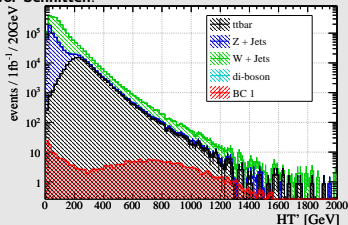
Zusammenfassung

Backup

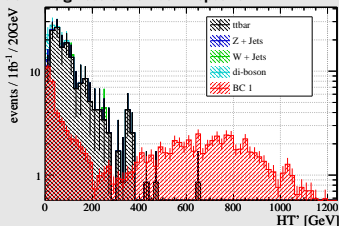
Skalare Summe der Jet-Impulse

$$HT' = \sum_{\text{jet}1-4} p_T$$

vor Schnitten:

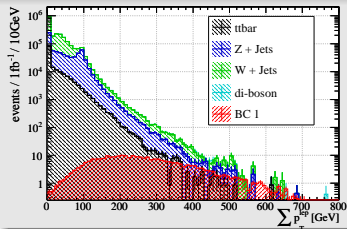


nach Ereignisselektion auf Leptonen:

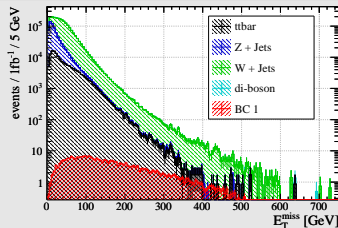


Skalare Summe Lepton-Impulse

$$\sum p_T^\ell = \sum p_T^{\mu^\pm} + \sum p_T^{e^\pm}$$



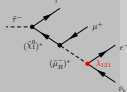
Fehlende transversale Energie E_T^{miss}



BC 1: Ereignisselektion

skaliert auf $\int L dt = 1 \text{ fb}^{-1}$, $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$

Delphes Simulation



Stau im LHC

Sebastian
Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV
Szenarien

Ereignis-
Selektion

Entdeckungs-
potential

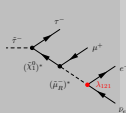
Abschätzung
der
Stau-Masse

Zusammenfassung

Backup

cut	Standard Modell	BC 1	S/\sqrt{B}
vor Schnitten	2 260 000	283	0.2
$p_T(1st \mu^\pm) > 40 \text{ GeV}$	320 000	142	0.3
$p_T(1st e^\pm) > 32 \text{ GeV}$	1 800	126	2.9
$p_T(2nd e^\pm) > 7 \text{ GeV}$	185	114	8.4
$\sum p_T^\ell > 230 \text{ GeV}$	15.1	86	22.0
$HT' > 200 \text{ GeV}$	6.1	60	24.3
$HT' > 300 \text{ GeV}$	3.4	57	30.7
$HT' > 400 \text{ GeV}$	$\lesssim 1$	53	

- ▶ Bei $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ ist es möglich (nahezu) untergrundfreie Signalstichproben bei hoher Signaleffizienz zu selektieren
- ▶ QCD-Beitrag vernachlässigbar
- ▶ Wichtigster Untergrund: $t\bar{t}$



Parameterscan um BC 1

Delphes Simulation, $\sqrt{s} = 7\text{TeV}$, $\int L dt = 1\text{fb}^{-1}$

Stau im LHC

Sebastian
Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV
Szenarien

Ereignis-
Selektion

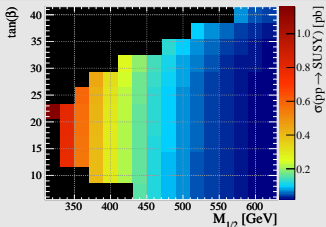
Entdeckungs-
potential

Abschätzung
der
Stau-Masse

Zusammenfassung

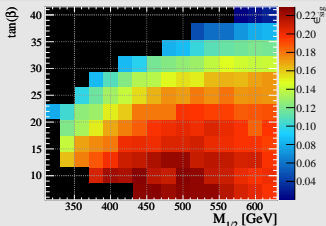
Backup

Wirkungsquerschnitt

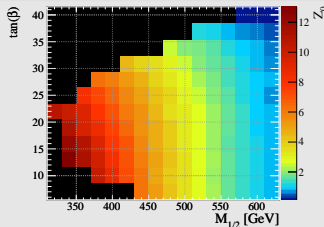


- ▶ hohe Signaleffizienz in weitem Parameterbereich
- ▶ Abnahme bei grossen $\tan(\beta)$ wg. geringer Massendifferenz zwischen $\tilde{\chi}_1^0$ und $\tilde{\tau}$

Selektionseffizienz

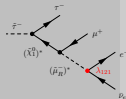


Signifikanz Z_0 , 50% Untergrund-Unsicherheit



Entdeckungspotential am LHC

Benötigte int. Luminosität für 5σ Entdeckung
Delphes Simulation, $\sqrt{s} = 7\text{TeV}$



Stau im LHC

Sebastian
Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV

Szenarien

Ereignis-
Selektion

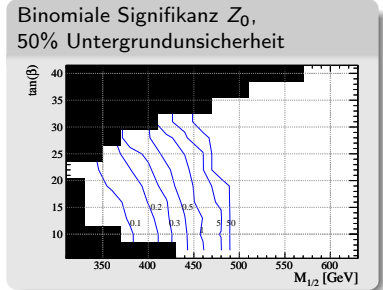
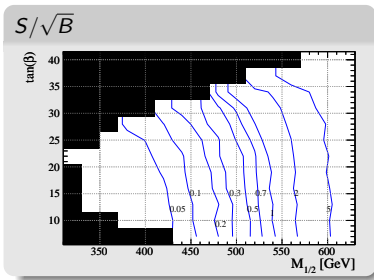
Entdeckungs-
potential

Abschätzung
der
Stau-Masse

Zusammenfassung

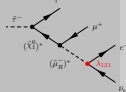
Backup

- ▶ Geschätzte benötigte int. Luminosität hängt stark von der Unsicherheit der Untergrundabschätzung ab



- ▶ Abschätzung systematischer Unsicherheiten erfolgt mit voller Detektorsimulation und Daten-gestützte Methoden
- ▶ Entdeckung bis Ende 2011 am LHC möglich ($\sim 1\text{fb}^{-1}$, bis jetzt mehrere pb^{-1})!

Untersuche Möglichkeit der Massenbestimmung Stau-Masse auf Generatorniveau in BC 1



Stau im LHC

Sebastian
Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV

Szenarien

Ereignis-
Selektion

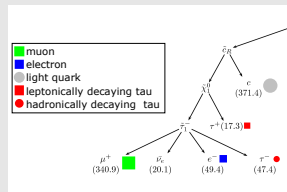
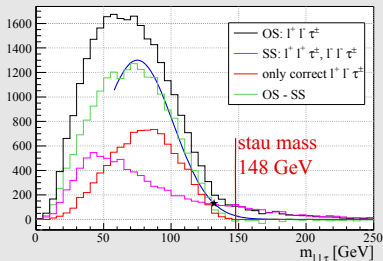
Entdeckung-
potential

Abschätzung
der
Stau-Masse

Zusammenfassung

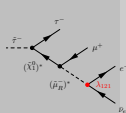
Backup

Wie nach einer Entdeckung weitermachen?



Keine Massenspitze erwartet,
aber Endpunkt bei simulierter
 $\tilde{\tau}_1$ Masse (148 GeV), wg. ν

- ▶ Kombinatorischer Untergrund, da zwei Stau-Zerfälle pro Ereignis: Welche Leptonen gehören zu welchem Zerfall?
 - ▶ (Statistische) Reduktion durch "opposite sign – same sign"-Subtraktion



Abschätzung der Stau-Masse

Kalibration und erwartete Auflösung

Stau im LHC

Sebastian
Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV
Szenarien

Ereignis-
Selektion

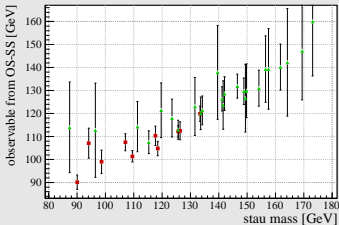
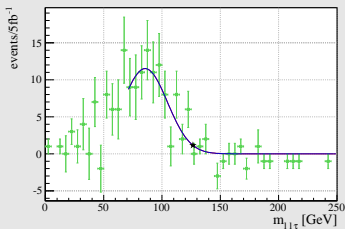
Entdeckungs-
potential

Abschätzung
der
Stau-Masse

Zusammenfassung

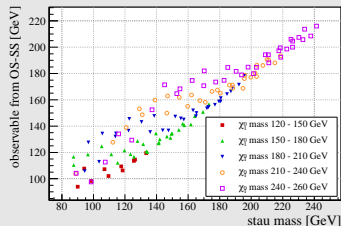
Backup

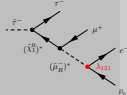
Erwartung für 5 fb^{-1} , inklusive
Ergebnisselektion



- ▶ Benutze Punkte des Parameterscans
- ▶ Kalibrationskurve um $\tilde{\tau}$ Masse aus Observablen zu bestimmen (10%-Wert eines Gauss-Fits)

Kalibrationskurve (volle Statistik)





Zusammenfassung

Stau im LHC

Sebastian
Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV
Szenarien

Ereignis-
Selektion

Entdeckung-
potential

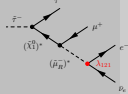
Abschätzung
der
Stau-Masse

Zusammenfassung

Backup

- ▶ R -Paritätsverletzung erlaubt weitere leichteste supersymmetrische Teilchen als übliches $\tilde{\chi}_1^0$
- ▶ Verschiedene \mathcal{R}_p Kopplungen ergeben unterschiedliche Phänomenologie
- ▶ BC 1 ($\tilde{\tau}_1^\pm \rightarrow \tau^\pm \ell^\mp \ell'^\pm \nu$) and BC 2 ($\tilde{\tau}_1^\pm \rightarrow qq$) Szenarien sind "Extremfälle" von RPV-Modellen mit $\tilde{\tau}$ -LSP
- ▶ BC 1-Szenario einfach zu entdecken; saubere Signalselektion
 - ▶ Parameterscan um Benchmark-Punkt zeigt gute Signaleffizienz
 - ▶ Rekonstruktion des $\tilde{\tau}_1$ -Masse schwierig in BC 1, aber Massenabschätzung möglich mit LHC-Daten der ersten Jahre
 - ▶ Tau-Identifikation experimentell schwierig in RPV-SUSY (niederenergetische Taus und Überlappungen zwischen Tau-Jets und anderen Teilchen)

Backup



Stau im LHC

Sebastian
Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV

Szenarien

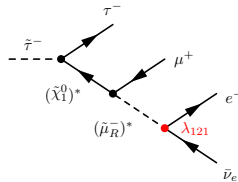
Ereignis-
Selektion

Entdeckung-
potential

Abschätzung
der
Stau-Masse

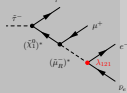
Zusammenfassung

Backup



Decay spectrum of BC 1

Mass spectrum not to scale!



Stau im LHC

Sebastian Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV

Szenarien

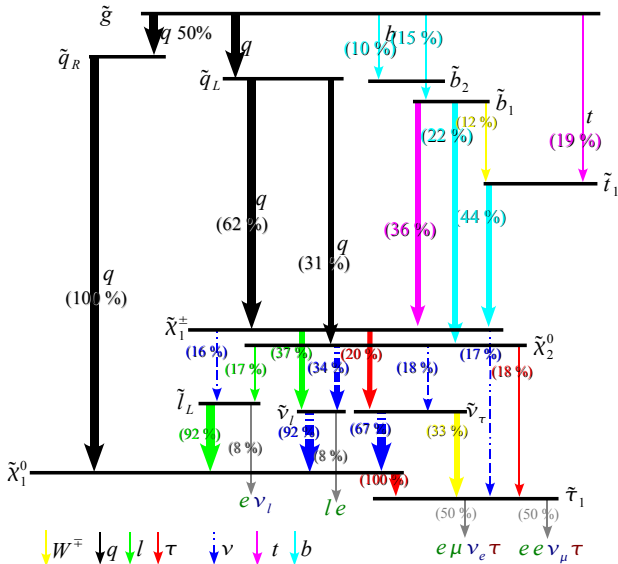
Ereignis-
Selektion

Entdeckungs-
potential

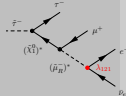
Abschätzung der
Stau-Masse

Zusammenfassung

Backup



Mass spectrum of BC 1



- Stau im LHC
- Sebastian Fleischmann
- Übersicht
- RPV SUSY
- RPV Szenarien
- Ereignis-Selektion
- Entdeckungspotential
- Abschätzung der Stau-Masse
- Zusammenfassung
- Backup

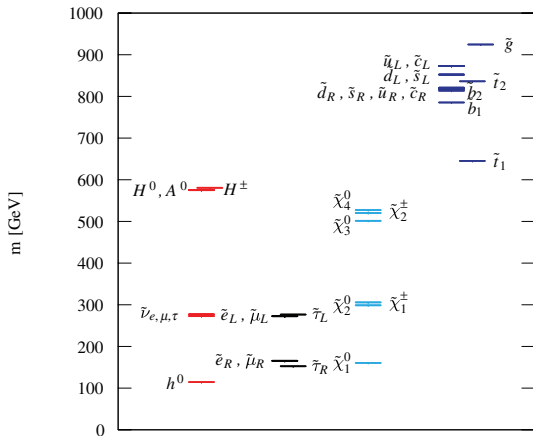
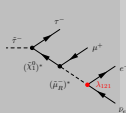


FIG. 9 (color online). Sparticle spectrum for no-scale mSUGRA parameter set: $M_{1/2} = 400$ GeV, $\tan\beta = 13$, $\text{sgn}(\mu) = +1$, and $\Lambda = 0$.



Branching ratios in BC 1

Stau im LHC

Sebastian
Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV Szenarien

Ereignis- Selektion

Entdeckungs- potential

Abschätzung der Stau-Masse

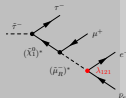
Zusammenfassung

Backup

	mass [GeV]	channel	BR	channel	BR
$\tilde{\tau}_1^-$	148	$\mu^+ e^- \tau^- \bar{\nu}_e$	32.2%	$e^+ e^- \tau^- \bar{\nu}_\mu$	32.1%
		$\mu^- e^+ \tau^- \nu_e$	17.9%	$e^- e^+ \tau^- \nu_e$	17.8%
\tilde{e}_R^-	161	$e^- \nu_e$	50%	$\mu^- \nu_e$	50%
$\tilde{\mu}_R^-$	161	$\tilde{\tau}_1^+ \mu^- \tau^-$	51.2%	$\tilde{\tau}_1^- \mu^- \tau^+$	48.7%
$\tilde{\chi}_1^0$	162	$\tilde{\tau}_1^+ \tau^-$	49.8%	$\tilde{\tau}_1^- \tau^+$	49.8%
$\tilde{\nu}_\tau$	261	$\tilde{\chi}_1^0 \nu_\tau$	67.2%	$W^+ \tilde{\tau}_1^-$	32.8%
$\tilde{\nu}_e (\tilde{\nu}_\mu)$	262	$\tilde{\chi}_1^0 \nu_e (\nu_\mu)$	92.4%	$e^- \mu^+ (e^+)$	7.5%
		$\tilde{\chi}_1^0 e^- (\mu^-)$	91.9%	$e^- \nu_e (\bar{\nu}_\mu)$	8.1%
$\tilde{\tau}_2^-$	278	$\tilde{\chi}_1^0 \tau^-$	63.0%	$\tilde{\tau}_1^- Z$	17.6%
		$h^0 \tilde{\tau}_1^-$	19.4%		
$\tilde{\chi}_2^0$	303	$\tilde{\nu}_\tau \bar{\nu}_\tau$	9.1%	$\tilde{\nu}_\tau^+ \nu_\tau$	9.1%
		$\tilde{\tau}_1^- \tau^+$	9.1%	$\tilde{\tau}_1^+ \tau^-$	9.1%
		$\tilde{\nu}_e \bar{\nu}_e$	8.5%	$\tilde{\nu}_e^+ \nu_e$	8.5%
		$\tilde{\nu}_\mu \bar{\nu}_\mu$	8.5%	$\tilde{\nu}_\mu^+ \nu_\mu$	8.5%
		$\tilde{e}_L^- e^+$	4.5%	$\tilde{e}_L^+ e^-$	4.5%
		$\tilde{\mu}_L^- \mu^+$	4.5%	$\tilde{\mu}_L^+ \mu^-$	4.5%
		$\tilde{\tau}_2^- \tau^+$	3.1%	$\tilde{\tau}_2^+ \tau^-$	3.1%
		$\tilde{\chi}_1^0 h$	3.5%		
$\tilde{\chi}_1^-$	303	$\tilde{\nu}_\tau \tau^-$	20.2%	$\tilde{\nu}_\mu \mu^-$	18.6%
		$\tilde{\nu}_e e^-$	18.6%	$\tilde{\tau}_1^- \bar{\nu}_\tau$	16.7%
		$\tilde{e}_L^- \bar{\nu}_e$	8.1%	$\tilde{\mu}_L^- \bar{\nu}_\mu$	8.1%
		$\tilde{\tau}_2^- \bar{\nu}_\tau$	5.5%	$\tilde{\chi}_1^0 W^-$	4.0%
$\tilde{\chi}_3^0$	514	$\tilde{\chi}_1^- W^+$	28.9%	$\tilde{\chi}_1^+ W^-$	28.9%
		$\tilde{\chi}_2^0 Z$	24.1%	$\tilde{\chi}_1^0 Z$	10.2%
		$\tilde{\chi}_1^0 h$	1.8%	$\tilde{\tau}_1^- \tau^+$	1.0%
		$\tilde{\tau}_1^+ \tau^-$	1.0%		
$\tilde{\chi}_4^0$	529	$\tilde{\chi}_1^- W^+$	26.5%	$\tilde{\chi}_1^+ W^-$	26.5%
		$\tilde{\chi}_2^0 h$	17.5%	$\tilde{\chi}_1^0 h$	7.1%
		$\tilde{\nu}_\tau \bar{\nu}_\tau$	1.8%	$\tilde{\nu}_\tau^+ \nu_\tau$	1.8%
		$\tilde{\nu}_e \bar{\nu}_e$	1.8%	$\tilde{\nu}_e^+ \nu_e$	1.8%
		$\tilde{\nu}_\mu \bar{\nu}_\mu$	1.8%	$\tilde{\nu}_\mu^+ \nu_\mu$	1.8%
		$\tilde{\tau}_2^- \tau^+$	1.7%	$\tilde{\tau}_2^+ \tau^-$	1.7%

	mass [GeV]	channel	BR	channel	BR
$\tilde{\chi}_2^-$	532	$\tilde{\chi}_2^0 W^-$	28.3%	$\tilde{\chi}_1^- Z$	25.3%
		$\tilde{\chi}_1^0 h$	19.8%	$\tilde{\chi}_1^0 W^-$	8.1%
		$\tilde{\tau}_2^- \bar{\nu}_\tau$	4.4%	$\tilde{e}_L^- \bar{\nu}_e$	3.7%
		$\tilde{\mu}_L^- \bar{\nu}_\mu$	3.7%	$\tilde{\nu}_\tau^+ \tau^-$	2.8%
$\tilde{\nu}_\tau$	647	$\tilde{\chi}_1^+ t$	44.0%	$\tilde{\chi}_1^0 t$	23.7%
		$\tilde{\chi}_2^+ b$	17.0%	$\tilde{\chi}_2^0 t$	15.4%
\tilde{b}_1	780	$\tilde{\chi}_1^- t$	36.0%	$\tilde{\chi}_2^- t$	25.2%
		$\tilde{\chi}_2^0 b$	22.0%	$W^- \tilde{\tau}_1^-$	12.0%
		$\tilde{\chi}_3^0 b$	2.4%	$\tilde{\chi}_3^0 b$	1.2%
\tilde{b}_2	816	$\tilde{\chi}_2^- t$	40.8%	$\tilde{t}_1 W^-$	15.2%
		$\tilde{\chi}_1^0 b$	12.7%	$\tilde{\chi}_1^- t$	10.0%
		$\tilde{\chi}_2^0 b$	8.6%	$\tilde{\chi}_3^0 b$	6.7%
		$\tilde{\chi}_3^0 b$	6.0%		
\tilde{t}_2	835	$\tilde{\chi}_1^0 t$	23.5%	$\tilde{\chi}_1^+ b$	23.0%
		$\tilde{\chi}_2^+ b$	15.0%	$\tilde{t}_1 Z$	12.3%
		$\tilde{\chi}_3^0 t$	9.6%	$\tilde{\chi}_2^0 t$	9.6%
		$h t$	5.7%	$\tilde{\chi}_1^0 t$	2.3%
$\tilde{d}_R (\tilde{s}_R)$	855	$\tilde{\chi}_1^0$	99.4%		
$\tilde{u}_R (\tilde{c}_R)$	822	$\tilde{\chi}_1^0 u(c)$	99.4%		
$\tilde{u}_L (\tilde{c}_L)$	852	$\tilde{\chi}_1^+ d(s)$	64.6%	$\tilde{\chi}_2^0 u(c)$	31.8%
		$\tilde{\chi}_2^+ d(s)$	1.5%	$\tilde{\chi}_4^0 u(c)$	1.1%
		$\tilde{\chi}_3^0 u(c)$	1.0%		
$\tilde{d}_L (\tilde{s}_L)$	855	$\tilde{\chi}_1^- u(c)$	61.6%	$\tilde{\chi}_2^0 d(s)$	31.8%
		$\tilde{\chi}_2^- u(c)$	3.8%	$\tilde{\chi}_1^0 d(s)$	1.8%
		$\tilde{\chi}_3^0 d(s)$	1.4%		
\tilde{g}	932	$\tilde{q} \bar{q}$	25.0%	$\tilde{q}^+ q$	25.0%
		$\tilde{t}_1 \bar{t}$	9.5%	$\tilde{t}_1^+ t$	9.5%
		$\tilde{b}_1 \bar{b}$	7.7%	$\tilde{b}_1^+ b$	7.7%
		$\tilde{b}_2 \bar{b}$	5.2%	$\tilde{b}_2^+ b$	5.2%

TABLE VII: SUSY mass spectrum and branching ratios (BRs) of the benchmark scenario BC1 [18]. Only only decays with a BR of at least 1% are shown. R-parity violating decays are bold face.



Event selection cuts and significances

Stau im LHC

Sebastian
Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV

Szenarien

Ereignis-
Selektion

Entdeckungs-
potential

Abschätzung
der
Stau-Masse

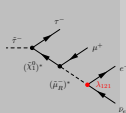
Zusammenfassung

Backup

cut	all SM	BC 1	S/\sqrt{B}	Z_0
before cuts	2 258 230 \pm 1 393	282.8 \pm 2.8	0.2	—
$p_T(1st \mu^\pm) > 40$ GeV	319 975 \pm 510	141.6 \pm 2.0	0.3	—
$p_T(1st e^\pm) > 32$ GeV	1 838 \pm 44	125.9 \pm 1.9	2.9	—
$p_T(2nd e^\pm) > 7$ GeV	184.9 \pm 14.8	113.7 \pm 1.8	8.4	0.7
$\sum p_T^\ell > 230$ GeV	15.1 \pm 4.3	85.7 \pm 1.6	22.0	4.9
$HT' > 200$ GeV	6.1 \pm 2.3	60.3 \pm 1.3	24.3	6.4
$HT' > 300$ GeV	3.4 \pm 1.7	56.6 \pm 1.3	30.7	8.1
$HT' > 400$ GeV	$\lesssim 1$	52.6 \pm 1.2		

► Z_0 with 50% background uncertainty

cut	S/\sqrt{B}	Z_0	Z_{PLH}	Z_P	Z_W	Z_{Bi}
before cuts	0.2	—	0.1	0.2	0.2	0.1
$p_T(1st \mu^\pm) > 40$ GeV	0.3	—	0.2	0.2	0.3	0.2
$p_T(1st e^\pm) > 32$ GeV	2.9	—	2.1	2.9	2.9	2.1
$p_T(2nd e^\pm) > 7$ GeV	8.4	0.7	5.5	7.6	7.7	5.5
$\sum p_T^\ell > 230$ GeV	22.0	4.9	8.8	14.5	14.5	8.8
$HT' > 200$ GeV	24.3	6.4	7.8	13.9	14.0	7.8
$HT' > 300$ GeV	30.7	8.1	7.9	15.2	15.2	8.1



BC 1: Cut Flow

scaled to $\int L dt = 1 \text{ fb}^{-1}$, $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$
Delphes simulation

Stau im LHC

Sebastian Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV

Szenarien

Ereignis-
Selektion

Entdeckung-
potential

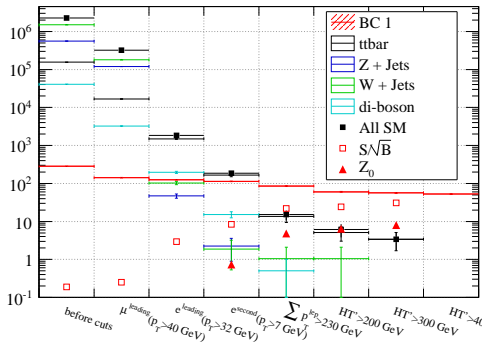
Abschätzung
der
Stau-Masse

Zusammenfassung

Backup

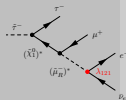
cut	$t\bar{t}$	all SM	BC 1	S/\sqrt{B}	Z_0
before cuts	155 500	2 260 000	283	0.2	—
$p_T(1st \mu^\pm) > 40 \text{ GeV}$	16 700	320 000	142	0.3	—
$p_T(1st e^\pm) > 32 \text{ GeV}$	1 500	1 800	126	2.9	—
$p_T(2nd e^\pm) > 7 \text{ GeV}$	166	185	114	8.4	0.7
$\sum p_T^\ell > 230 \text{ GeV}$	13.6	15.1	86	22.0	4.9
$HT' > 200 \text{ GeV}$	5.1	6.1	60	24.3	6.4
$HT' > 300 \text{ GeV}$	3.4	3.4	57	30.7	8.1
$HT' > 400 \text{ GeV}$	$\lesssim 1$	$\lesssim 1$	53		

- ▶ Even at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ it is possible to select (nearly) background free samples at high signal efficiency
- ▶ QCD contribution assumed to be negligible



BC 1: Number of objects per event

after ATLAS standard object selection and overlap removal;
Delphes detector simulation, $\sqrt{s} = 7\text{TeV}$



Stau im LHC

Sebastian
Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV
Szenarien

Ereignis-
Selektion

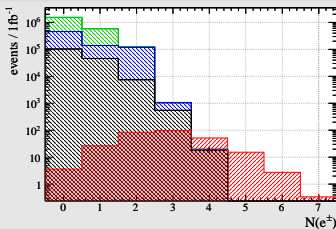
Entdeckungs-
potential

Abschätzung
der
Stau-Masse

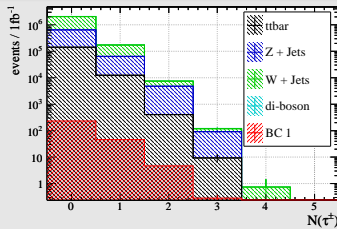
Zusammenfassung

Backup

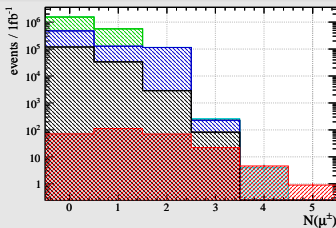
Electrons



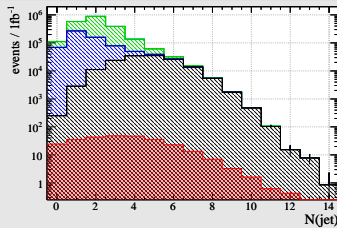
Taus

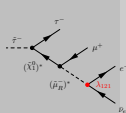


Muons



Jets





BC 2: Number of objects per event

after ATLAS standard object selection and overlap removal;
Delphes detector simulation, $\sqrt{s} = 7\text{TeV}$

Stau im LHC

Sebastian
Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV

Szenarien

Ereignis-
Selektion

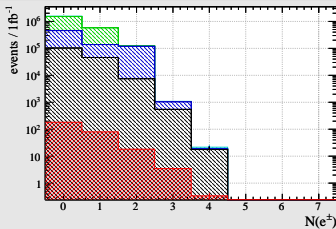
Entdeckungs-
potential

Abschätzung der
Stau-Masse

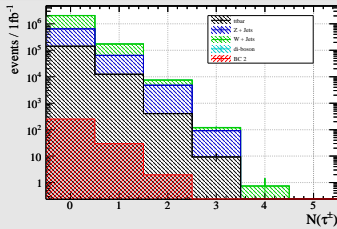
Zusammenfassung

Backup

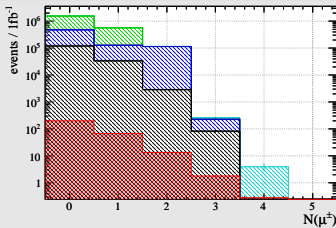
Electrons



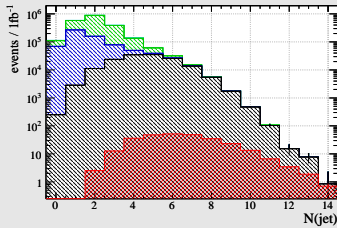
Taus

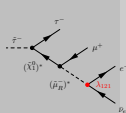


Muons



Jets





Tau-Rekonstruktion in BC 1

Stau im LHC

Sebastian
Fleischmann

Übersicht

RPV SUSY

RPV
Szenarien

Ereignis-
Selektion

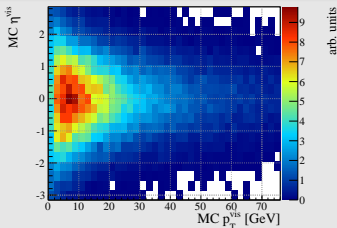
Entdeckungs-
potential

Abschätzung
der
Stau-Masse

Zusammenfassung

Backup

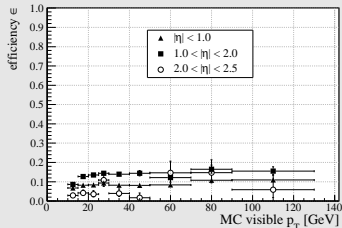
η - p_T Verteilung der Taus
(MC, sichtbarer Impuls)



- ▶ sehr niederenergetische Taus
- ▶ Überlapp zwischen Taus und anderen Objekten aus der SUSY-Zerfallskaskade
- ▶ Tau-ID-Effizienz stark reduziert zu "einfachen" Ereignistopologien

Tau-ID-Effizienz (Delphes)

BC1:



$Z \rightarrow \tau\tau$:

