

Suche nach Supersymmetrie mit leptonischer R-Paritätsverletzung mit dem ATLAS-Detektor

Max Goblirsch, betreut durch Michael Flowerdew

Max-Planck-Institut für Physik, München

DPG-Frühjahrstagung Wuppertal 2015



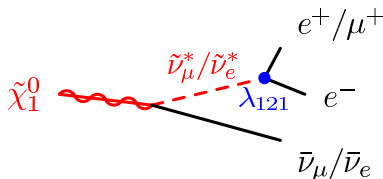
Erinnerung: R-Parität

- +1 für SM-Teilchen, -1 für Superpartner
- Erhaltung bewirkt:
 - Vermeidung des schnellen Protonenzerfalls
 - Stabilität des leichtesten supersymmetrischen Teilchens (LSP)
- grundsätzlich zulässige Superpotentialterme mit **Verletzung der R-Parität** :

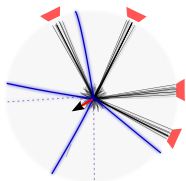
$$W_{RPV} = \underbrace{\lambda_{ijk} L_i L_j \bar{E}_k}_{\text{dieser Vortrag}} + \lambda'_{ijk} L_i Q_j \bar{D}_k + \lambda''_{ijk} \bar{U}_i \bar{D}_j \bar{D}_k + \kappa_i L_i H_2$$

- $\lambda_{ijk} \neq 0$: $\tilde{\ell}\ell'\nu/\tilde{\nu}\ell\ell'$ Vertex - LSP kann in Leptonen und Neutrinos zerfallen
- Beispiel (Neutralino-LSP): $\lambda_{121} > 0$: $\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow e^- \mu^+ \bar{\nu}_e$

Bedeutend für experimentelle Suche:
Lebensdauer der Zerfälle

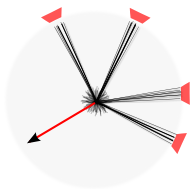
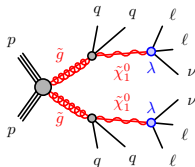


0
 ∞

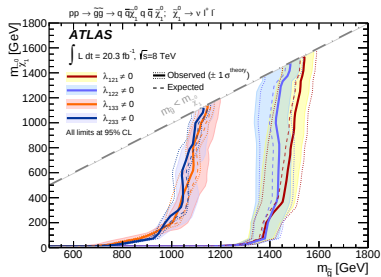


$c\tau(\tilde{\chi}_1^0)$

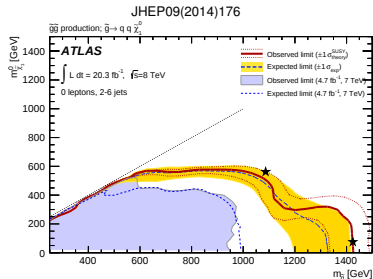
$0 \lesssim c\tau(\tilde{\chi}_1^0) \lesssim 1 \text{ mm}:$
4 Leptonen im Primärvertex
 → **4-Lepton-Analyse**
 (Talk J.Junggeburth, T 45.3)



$10^4 \text{ mm} \lesssim c\tau(\tilde{\chi}_1^0):$
 Zerfälle **ausserhalb des Detektors**: RPC-Signatur
 → **RPC-Suchen**



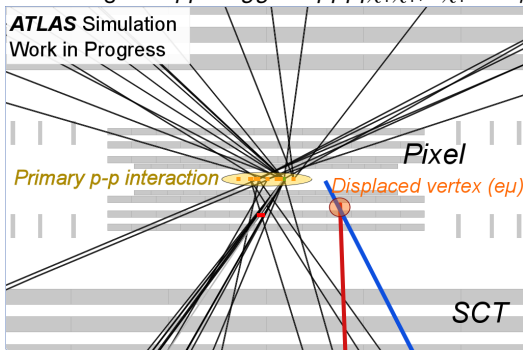
Phys. Rev. D. 90, 052001 (2014)



Noch nicht abgedeckt: $1 \text{ mm} \lesssim c\tau(\tilde{\chi}_1^0) \lesssim 10^4 \text{ mm}$

- Zerfälle im Detektor, aber **jenseits des Primärvertex**
 - 4-Lepton-Suche: eingeschränkte Empfindlichkeit (Schnitte auf d_0, z_0)
- **neuer Suchkanal:** Sekundärvertex mit Leptonenpaar

Beispiel eines Signals: $pp \rightarrow \tilde{g}\tilde{g} \rightarrow q\bar{q}q\bar{q}\tilde{\chi}_1^0\tilde{\chi}_1^0$; $\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow e\mu\nu/\mu\mu\nu$

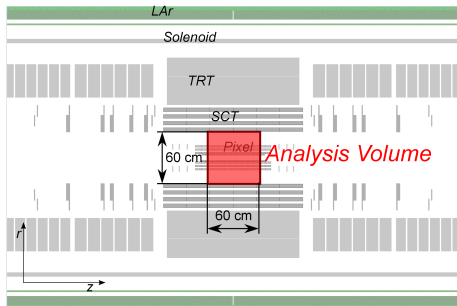


Strategie: **Rekonstruktion des Zerfallsvertex** im Innendetektor

Voraussetzung:

Rekonstruktion von Spuren mit hohem Stoßparameter

- Erfordert **erneute Rekonstruktion** der Ereignisse ('Retracking')
- **Vorselektion** erforderlich, noch **ohne** erweiterte Spurinformation



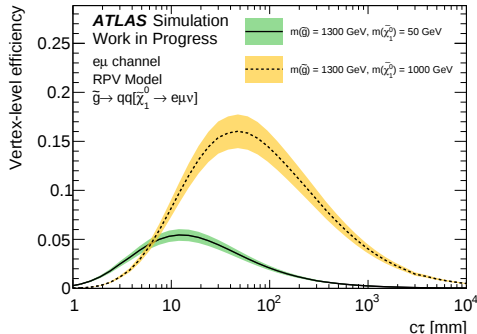
Ansatz: Trigger und Offlinevorselektion mit verfügbarer Detektorinformation:

- **Myonen:** Spuren im Myonspektrometer
- **Elektronen:** Cluster im Kalorimeter → Photonsignatur
- **Ergebnis:** Verwerfen von 98% der aufgezeichneten Daten bei akzeptabler Signaleffizienz (10 – 80%)

Signalselektion (vereinfachter Überblick)

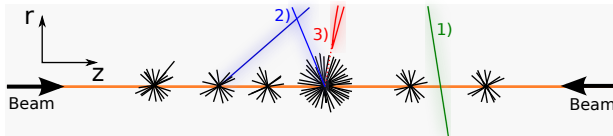


Vertex-Position Spuren in Vertex	$4 \text{ mm} < r < 300 \text{ mm}$ ≥ 2 mit $p_T > 10 \text{ GeV}$ und $ d_0 > 2 \text{ mm}$		
Materialveto	Vertex nicht in Region mit Detektormaterial		
Leptonen in Vertex Veto kosmischer Myonen	$\geq 2e$	$\geq 1e, \geq 1\mu$	$\geq 2\mu$ $\Delta R_{\text{cosmic}} > 0.04$
Trigger, Filter Masse Ladung	Leptonen erfüllen Trigger- und Vorselektionsfilter $m_{\text{Vertex}} > 10 \text{ GeV}$ Mindestens ein $\ell^\pm \ell'^\mp$ -Paar		



Ergebnis:

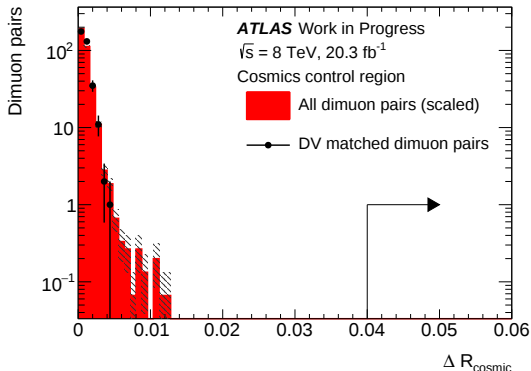
- Signaleffizienz 1 – 20% in breitem Lebensdauerbereich
- Stark von Boost des zerfallenden LSP abhängig

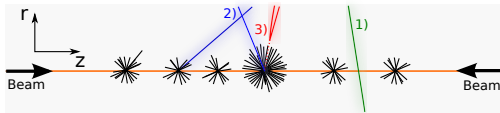


1) Instrumenteller Untergrund: kosmische Myonen

- Unterdrückung durch Signatur: gerade Spur im Detektor

- Variable: $\Delta R_{\text{Cosmics}} = \sqrt{(\Delta\phi - \pi)^2 + (\eta_1 + \eta_2)^2}$





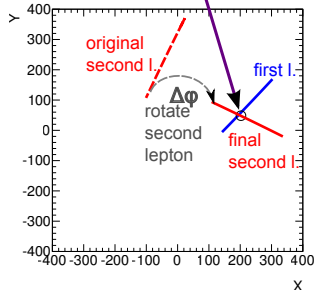
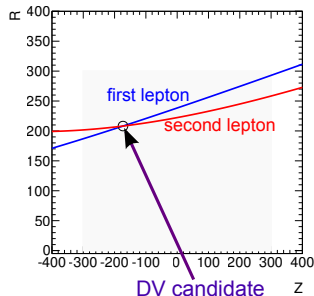
2) Kombinatorischer Untergrund: Zufällige Kreuzung von Spuren

- Zwei unkorrelierte Spuren treffen sich im Detektorvolumen

Abschätzung durch datenbasierte Methode:

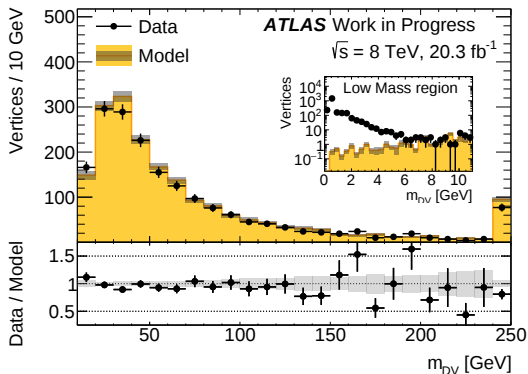
- Kombination von Leptonspuren aus unterschiedlichen Ereignissen
- Vertexfits mit zufälligen Paaren:
Wahrscheinlichkeit eines Treffens p_{vx}
- Zahl der Leptonenpaare in den Daten: $N_{\ell\ell}$

Erwarteter Untergrund: $N_{BG} = N_{\ell\ell} \times p_{vx}$

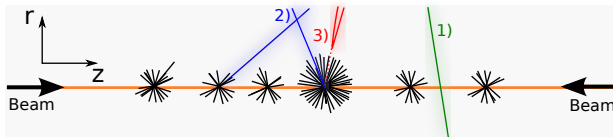


Test der Abschätzung in Validierungsregionen

- Korrekte Vorhersage des Auftretens von Vertices mit 0 / 1 Lepton(en)
- Richtige Beschreibung differentieller Verteilungen



Vorhersage als **dominante Untergrundquelle**
 10^{-3} erwartete Dilepton-Vertices!



Weitere untersuchte, denkbare Untergründe

3a) Zerfälle langlebiger Hadronen

- Meist niedrige Impulse
- Durch Massenschnitt unterdrückt

3b) Fehlrekonstruierte $Z/\gamma \rightarrow \ell\ell$ Ereignisse

- Stark unterdrückt durch Forderung nach hohem Stoßparameter
- Weitere Unterdrückung: Rekonstruktion eines Vertex mit $|r| > 4 \text{ mm}$

1b) Kreuzung mehrerer kosmischer Myonen im selben Schauer

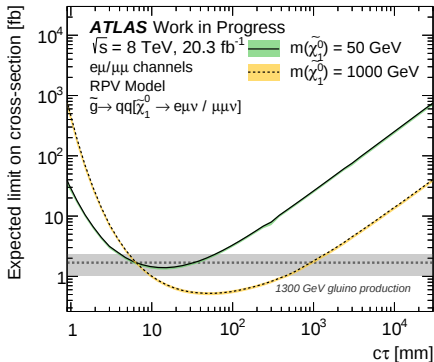
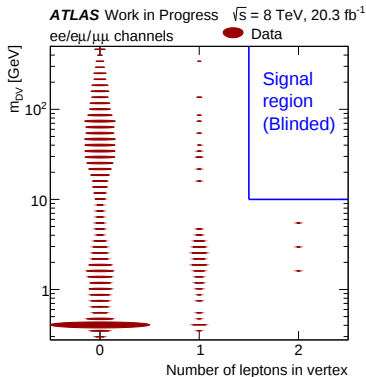
- Durch kombinatorische Untergrundabschätzung abgedeckt

Ergebnis: Alle weiteren Untergründe deutlich kleiner als kombinatorischer Beitrag

Untergrundfreie Analyse!

- Empfindlichkeit auf großen Lebensdauerbereich
- am stärksten für $10 \text{ mm} < c\tau < 100 \text{ mm}$

Endzustand	Erwartete Untergrundvertices
e^+e^-	$(1.0 \pm 0.2 \text{ (stat.) } {}^{+0.3}_{-0.6} \text{ (syst.)}) \times 10^{-3}$
$e^\pm \mu^\mp$	$(2.4 \pm 0.9 \text{ (stat.) } {}^{+0.8}_{-1.5} \text{ (syst.)}) \times 10^{-3}$
$\mu^+ \mu^-$	$(2.0 \pm 0.5 \text{ (stat.) } {}^{+0.3}_{-1.4} \text{ (syst.)}) \times 10^{-3}$



- **Neuer ATLAS-Suchkanal:** Dilepton-Zerfälle mittlerer Lebensdauern
 - Suche nach versetzten **Zerfallsvertices im Innendetektor**
- Aufwändig - erneute Spurrekonstruktion nötig
- Ungewöhnliche Untergründe - Entwicklung neuer Techniken
- Ergebnis der Abschätzung: Kein Untergrund erwartet
 - Sehr hohe Empfindlichkeit für breiten Lebensdauerbereich
- **Stand der Analyse:** Ergebnisse liegen intern vor - Veröffentlichung in Kürze erwartet
- Vorbereitungen für Analyse der 2015-Daten laufen bereits