

Studien zur Messung von *Double-Parton-Scattering* mit dem CMS-Detektor

Florian Bechtel, Peter Schleper, Hartmut Stadie
DPG Frühjahrstagung, Freiburg, März 2008

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Universität Hamburg

BMBF-Forschungsschwerpunkt
"Elementarteilchenphysik mit dem CMS-Experiment"

Physik an der TeV-Skala mit dem Large Hadron Collider

**Compact
Muon
Solenoid**

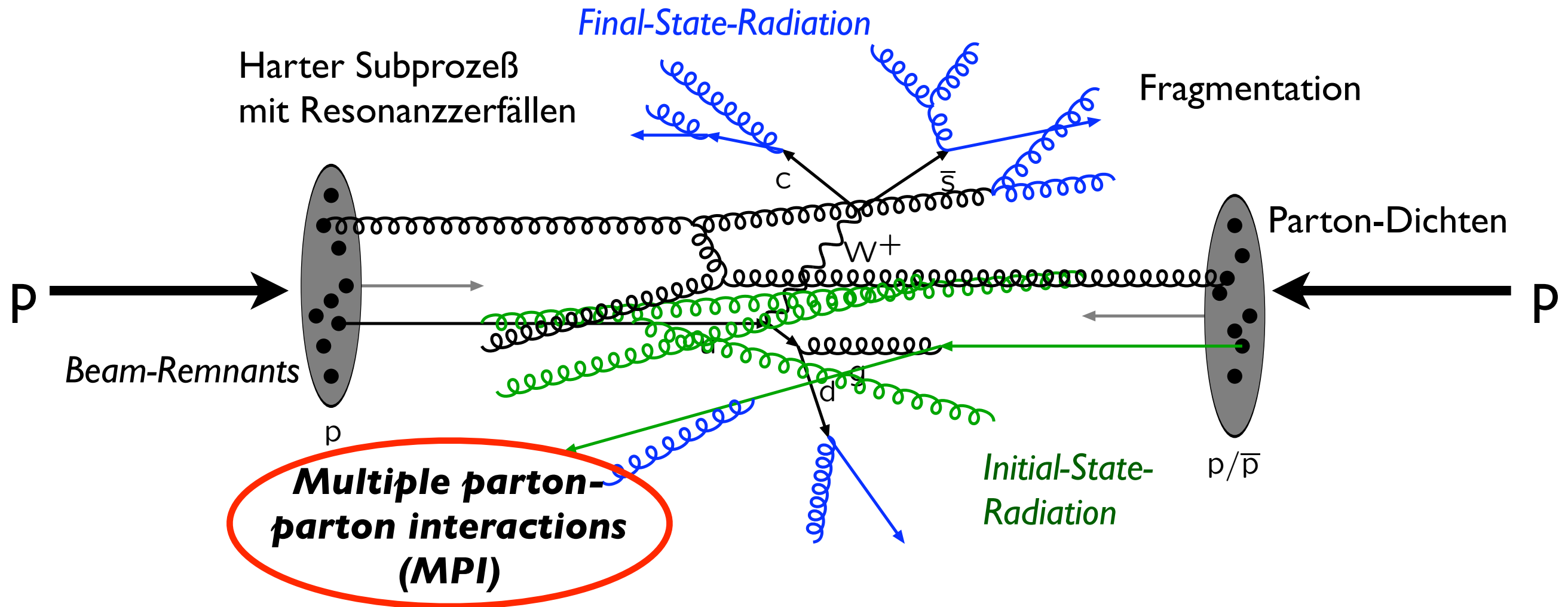


FSP102

Studien zur Messung von **Double-Parton-Scattering** mit dem CMS-Detektor

Florian Bechtel, Peter Schleper, Hartmut Stadie
DPG Frühjahrstagung, Freiburg, März 2008

- ▶ *Multiple parton-parton interactions*
- ▶ *Double-Parton-Scattering: $\gamma+3$ -Jet-Endzustände*
 - Generatorstudien
- ▶ *Photon-Nachweis mit dem CMS-Detektor*
 - Effizienz
 - Identifikation



- ▶ **CDF: Mehr als eine harte Parton-Parton-Streuung pro $p\bar{p}$ -Ereignis**
 - Anpassung verschiedener Modelle (z.B. Pythia Tunes A, DW, DWT, ...)
 - Extrapolation zu LHC-Energien völlig unklar
- ▶ **Besseres Verständnis von *MPI* nur durch Messung am LHC!**

► **Double-Parton-Scattering (DPS):**

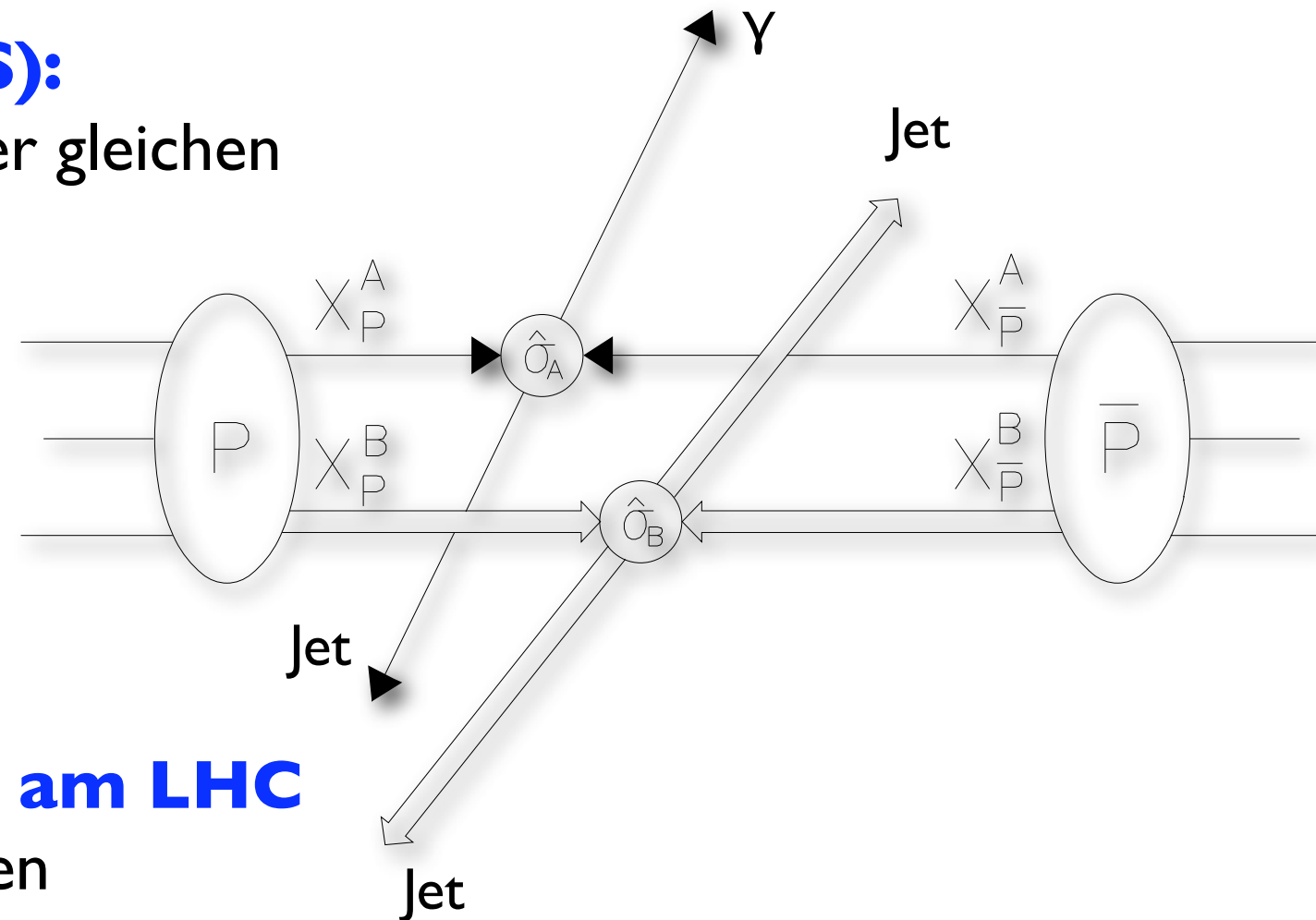
- Zwei harte Wechselwirkungen in der gleichen Proton-Proton-Streuung

► **Liefert Information über...**

- räumliche Verteilung von Partonen im Proton
- Parton-Parton-Korrelationen

► **DPS: Irreduzibler Untergrund am LHC**

- Produktion von zwei b-Quark-Paaren
- Beitrag zur Produktion von zwei W-Bosonen gleicher Ladung (→ Bedeutung für SUSY-Suchen)



► **Ziel: Messung von Double-Parton-Scattering in “ $\gamma + 3 \text{ Jet}$ ”-Endzuständen**

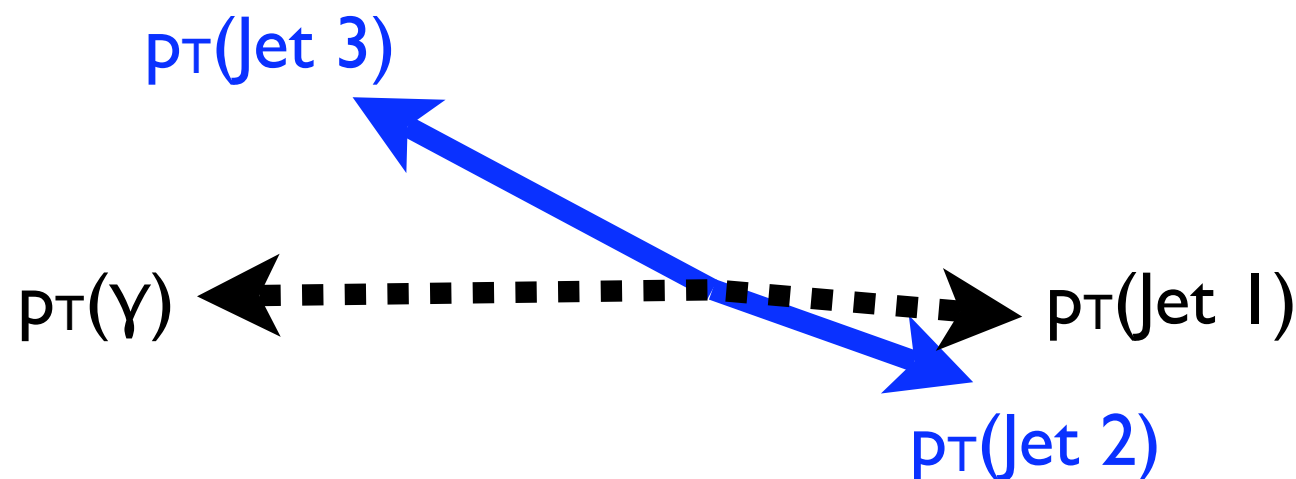
- Prozess A erzeugt Photon-Jet-Paar, Prozess B erzeugt Zweijet-Paar

► Analyse auf Generator-Niveau

- Kombiniere γ (aus Generator-Information) mit 3 Jets (Midpoint-Cone, $R=0.7$) wobei $\Delta R_{ij} > 0.8$
- Wähle γj - und $j j$ -Paar $\rightarrow$ Minimiere Balance-Variable B_0 ($[B_0] = \text{GeV}^{1/2}$):

$$B_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{p_{T\gamma} p_{Ti} \cos \phi_{\gamma i}}{p_{T\gamma} + p_{Ti}} + \frac{p_{Tj} p_{Tk} \cos \phi_{jk}}{p_{Tj} + p_{Tk}}}$$

► Beispiel:



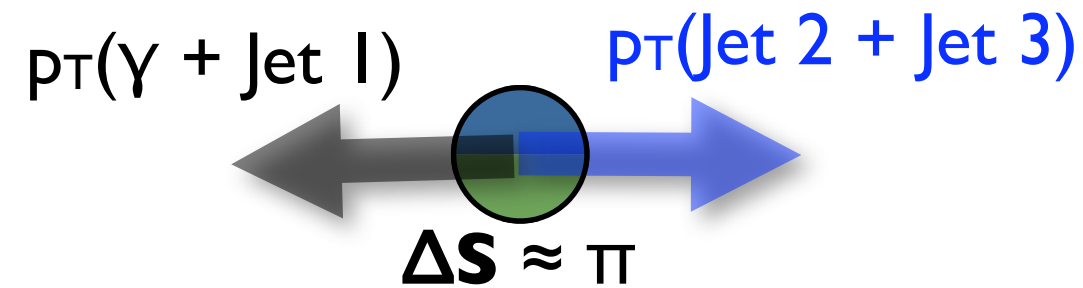
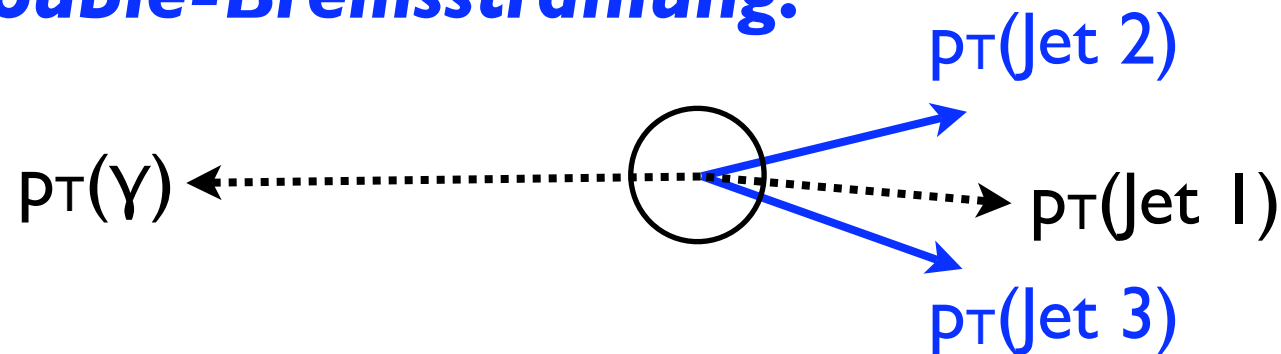
► B_0 minimal für die Kombinationen ($\gamma + \text{Jet 1}$) und ($\text{Jet 2} + \text{Jet 3}$)

$DPS \neq \gamma j + \text{QCD-Rad.}$

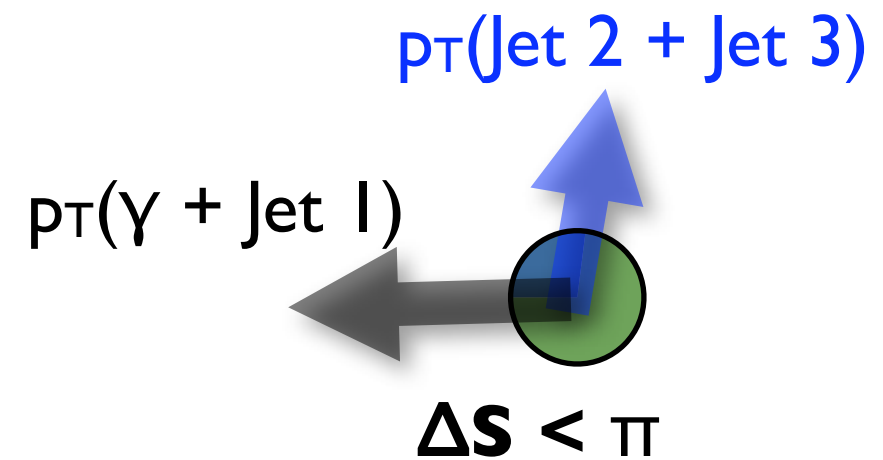
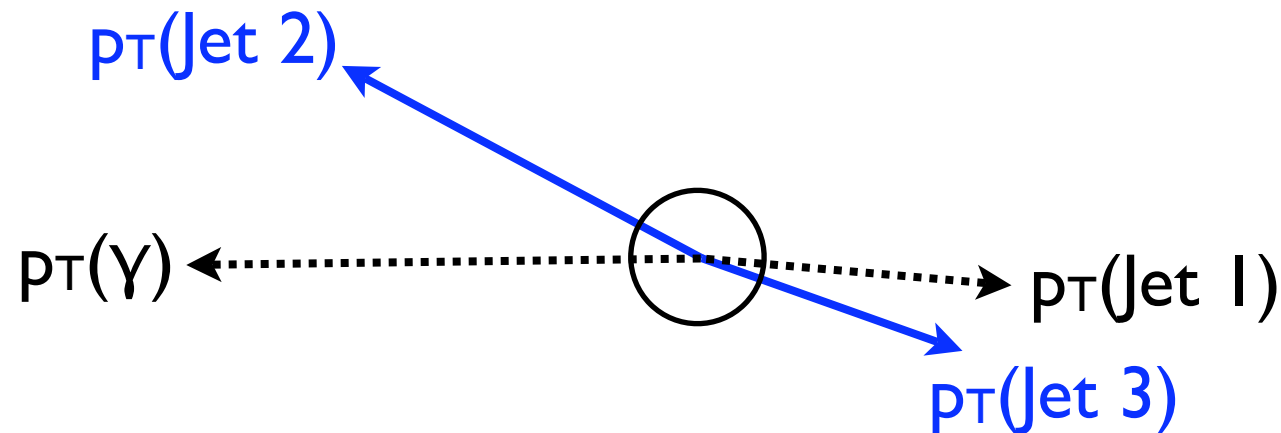
► Unterscheidung von *DPS* und *Double-Bremsstrahlung*:

- ΔS - Azimuth zwischen γj - und $j j$ -Paar ($[\Delta S] = \text{rad}$)

► *Double-Bremsstrahlung*:



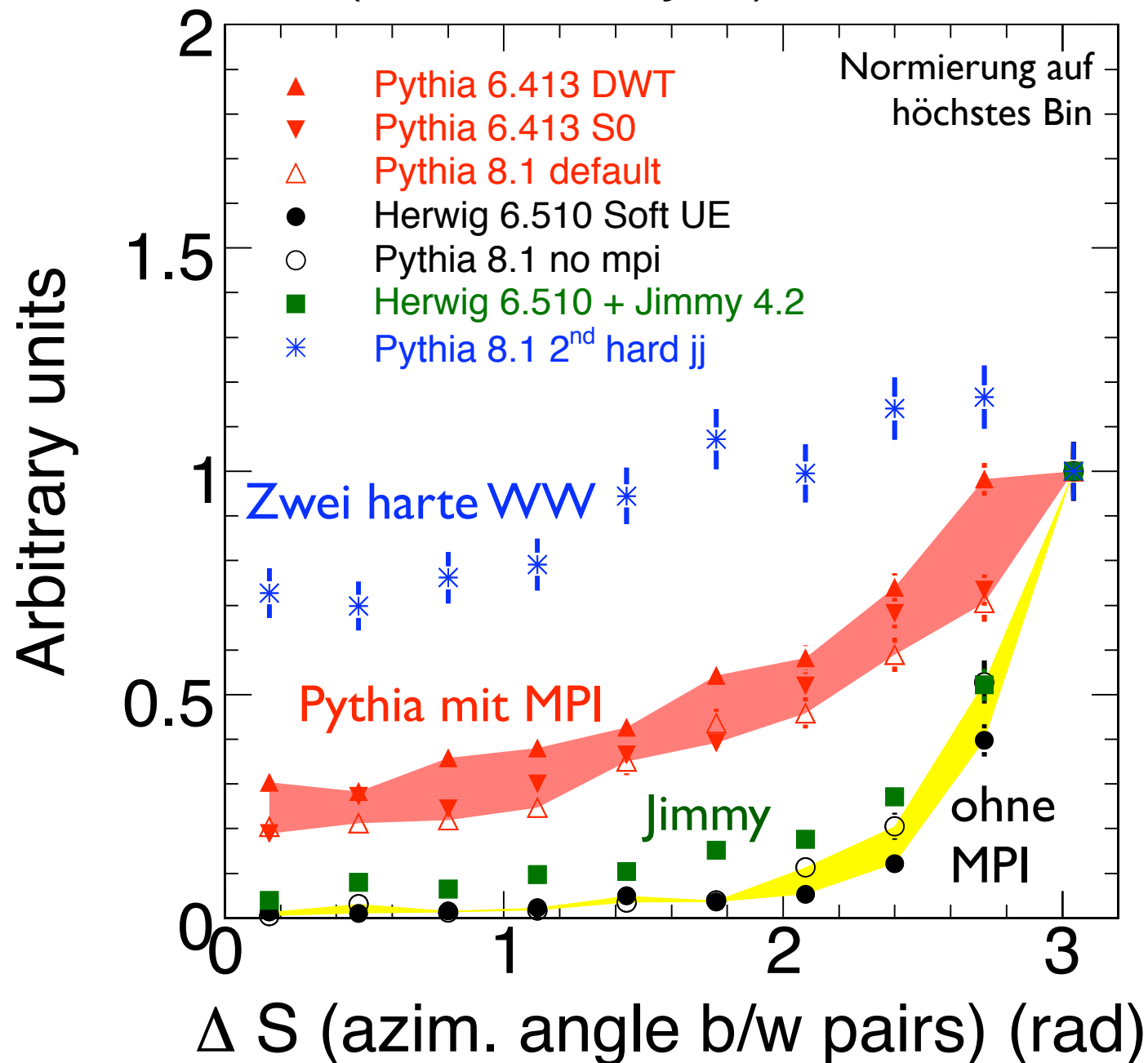
► *Double-Parton-Scattering*:



► **Selektiere Ereignisse mit kleinem ΔS !**

E_T (Photon und Jets) > 30 GeV/c

$$pp \rightarrow \gamma j + X$$



► Pythia 6.413 $\hat{p}_T > 20$ GeV/c

- DWT (CMS Default)
- S0 ($\rightarrow$ Colour reconnection)

► Pythia 8.1 $\hat{p}_T > 20$ GeV/c

- Default (Physik $\sim$ Pythia 6.4 S0)
- Multiple parton-parton interactions ausgeschaltet
- + Simulation von zwei harten Jets (zusätzlich zu γj)

► Herwig 6.510 $\hat{p}_T > 20$ GeV/c

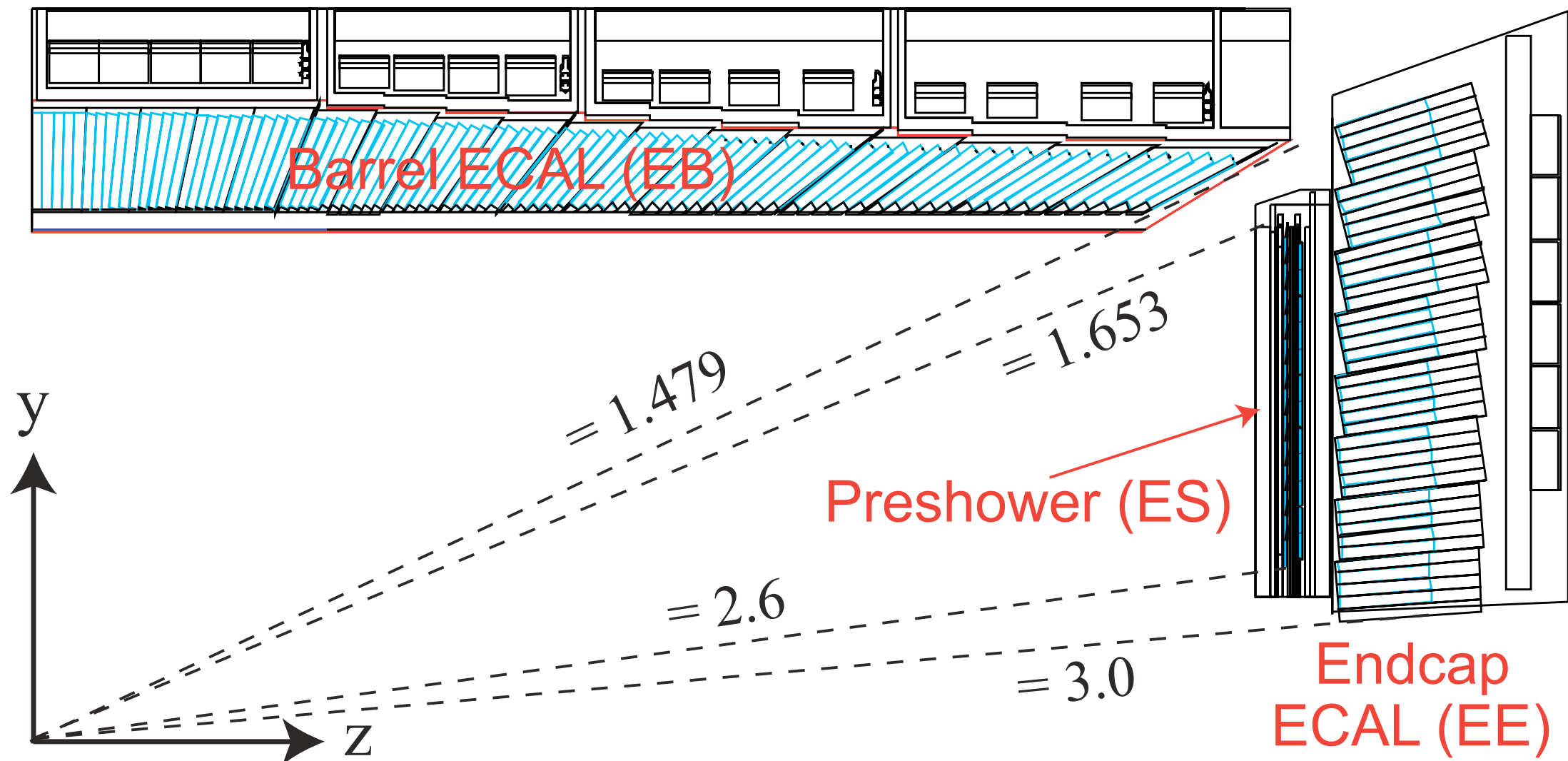
- Soft underlying event
- Jimmy 4.2

$\rightarrow$ große Unterschiede Pythia $\leftrightarrow$ Herwig in Trennvariable ΔS

► Primär-Datensätze und *Skims*:

- Simulierte Ereignisse aufgeteilt nach HLT-Information in 6+1 Primär-Datensätze:
→ Elektronen, Myonen, Jets/fehlendes E_T , b-Jets, τ , γ , Alle Ereignisse
- HLT-Selektion auf PD (*skim*), z.B. *zToEE* auf “PD Electron”, *photonjets* auf “PD AllEvents”

Trigger	Prescale	Level I	Schwelle	Rate
single relaxed γ	/	LI_SingleEG15	40 GeV	2.8 ± 0.2 Hz
single isolated γ	/	LI_SingleIsoEG12	30 GeV	8.4 ± 0.7 Hz
	100	LI_SingleIsoEG10	12 GeV	n/a
single jet	/	LI_SingleJet150	200 GeV	9.3 ± 0.1 Hz
	10	LI_SingleJet100	150 GeV	3.5 ± 0.0 Hz
	100	LI_SingleJet70	110 GeV	1.5 ± 0.0 Hz
	10^4	LI_SingleJet30	60 GeV	0.8 ± 0.4 Hz
	10^5	LI_SingleJet15	30 GeV	n/a



► CMS ECAL: Szintillator-Kristall-Kalorimeter

- 80000 **Blei-Wolframat**-Kristalle (PbWO_4), **Molière-Radius 22 mm**
- Kristallfläche: $22 \times 22 \text{ mm}^2$ (Barrel) ... $30 \times 30 \text{ mm}^2$ (Endkappen)
- Kristalllänge $\sim 26 X_0$: 23 cm (Barrel) ... 22 cm (Endkappen)
- *Preshower*-Detektor (Endkappen, $1.65 < |\eta| < 2.6$) $\rightarrow \gamma/\pi^0$ -Separation

► “tag & probe”: Bestimmung aus den Daten

- Zwei-Elektron-Skim (*zToEE*)
- Beispiel: *Clustering*-Effizienz

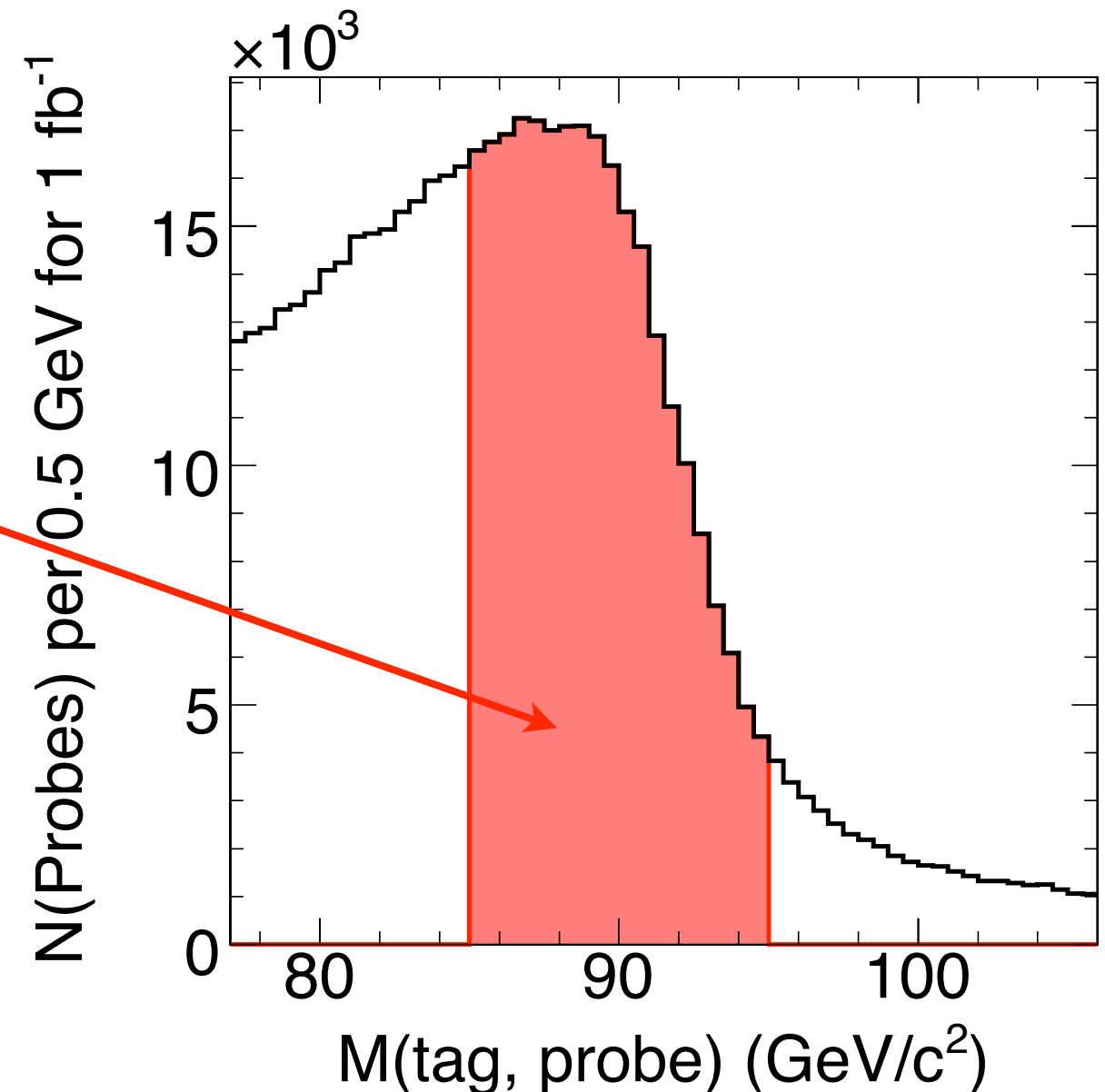
► Kombiniere Elektron (*tag*) und Spur (*probe*), so dass

$$M(e, \text{Spur}) \sim M_Z$$

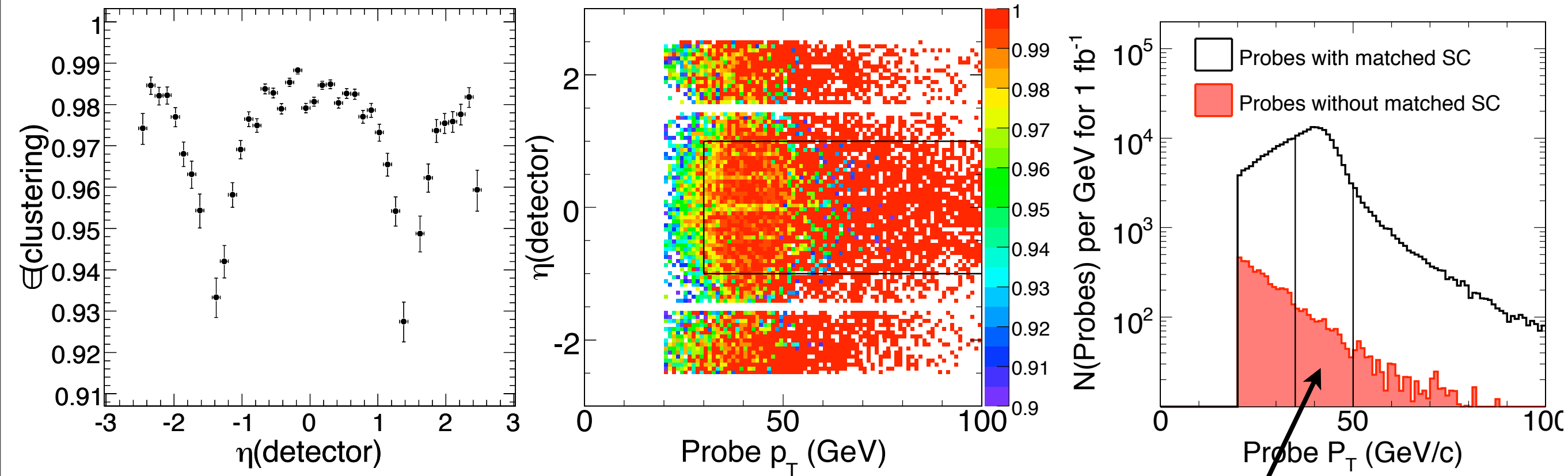
- Elektron: $E_T > 15$ GeV, isoliert gegen weitere Spuren, “golden” Elektron
- Spur: $P_T > 20$ GeV/c, isoliert gegen weitere Spuren

► Matching (→ zur Spur passender ECAL Super-Cluster?):

- Suche Super-Cluster mit $E_T > 5$ GeV und $\Delta\eta(\text{Spur}) < 0.03$, $\Delta R(\text{Spur}) < 0.1$



► Effizienzbestimmung aus $z\text{To}EE$ -Skim:

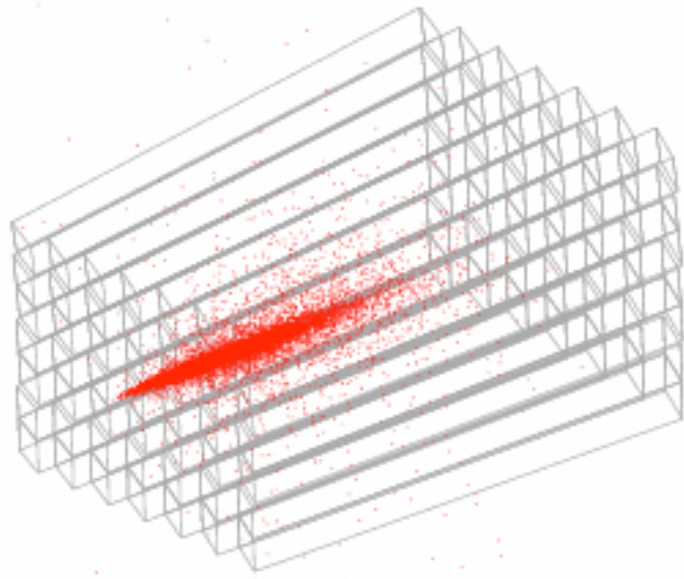


► **Zwischenergebnis → Untergrund noch zu subtrahieren!**

► **Wähle für weitere Studien Elektronen aus Jacobi-Kante**

→ Probe $P_T = M_Z / 2$ → $35 \text{ GeV}/c < P_T < 50 \text{ GeV}/c$

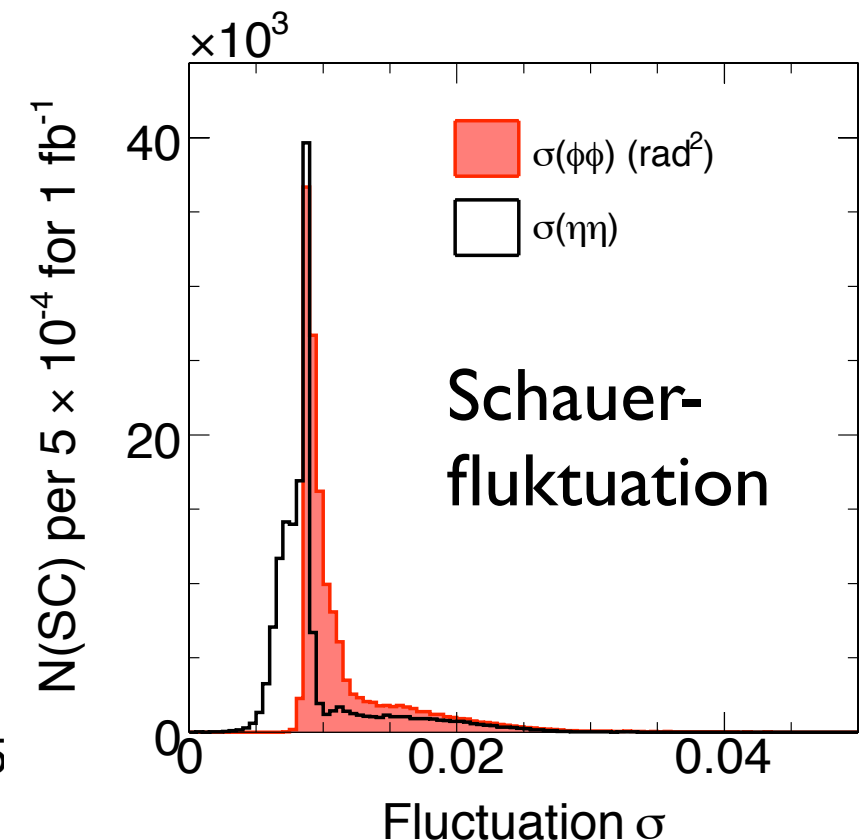
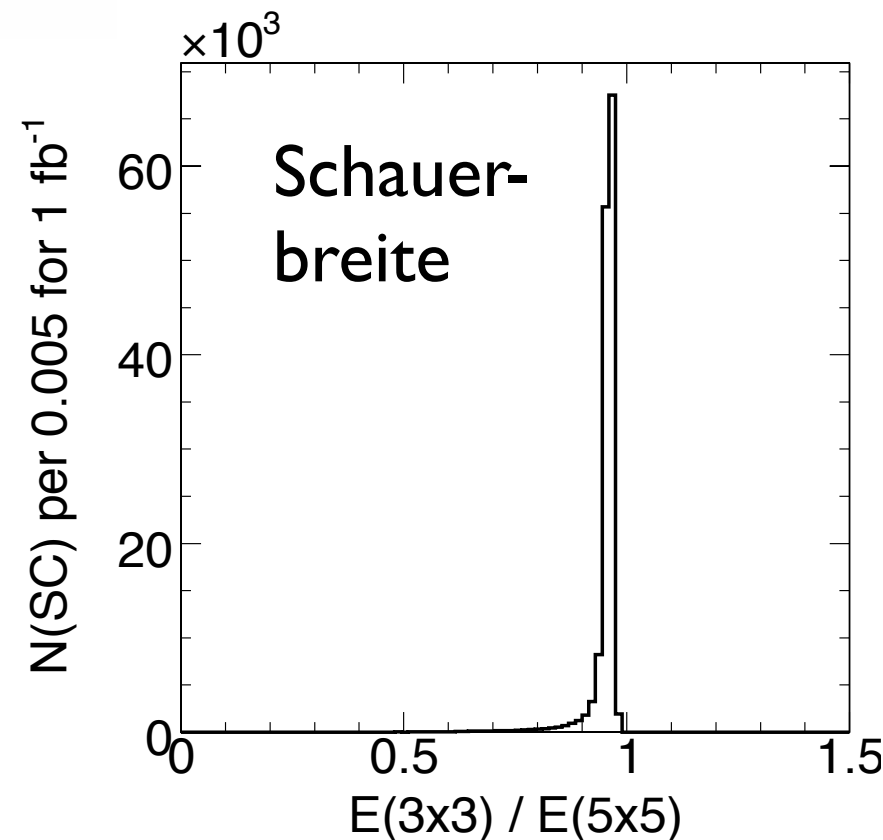
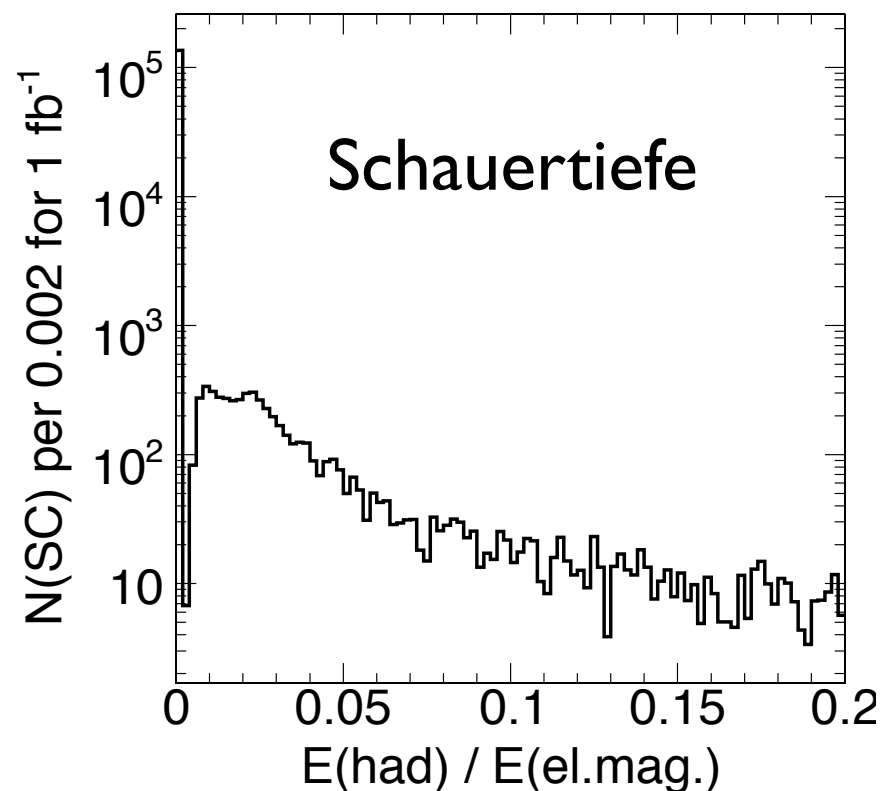
► Simulation eines el.-magnet. Schauer in PbWO₄-Kristallen:



► Identifikation mit Hilfe von Schauer-Entwicklung

- Schauertiefe: $E(\text{had}) / E(\text{el.mag.}) \approx 0$
- Schauerbreite: $E(3 \times 3) / E(5 \times 5) \approx 1$
- Schauerfluktuation:

$$\sigma_{\eta\eta}, \sigma_{\varphi\varphi} (\text{rad}^2) \approx \text{Kristalldimension} \\ (\Delta\eta * \Delta\varphi = 0.0174 * 0.0174 \text{ rad})$$



► **Underlying-Event**

- Alle Modelle: mehr als eine harte Wechselwirkung pro Proton-Proton-Streuung

► **Double-Parton-Scattering (= zwei harte Wechselwirkungen)**

- Mess-Strategie im Endzustand $\gamma + 3$ Jets vorgestellt
- Trennvariable ΔS (= Azimuth zwischen Paaren)
- Vergleich verschiedener Ereignisgeneratoren:
 - große Unterschiede zwischen Pythia und Herwig/Jimmy

► **Photon-Nachweis mit dem CMS-Detektor**

- Effizienz: *tag & probe*
- Identifikation: *Cluster-Shapes*

► **Erwarten starke Verbesserung von *Underlying-Event*-Modellen mit 2008/09-Daten**