

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

Florian Bechtel, Peter Schleper, Hartmut Stadie (Univ. Hamburg)
DPG Frühjahrstagung, Freiburg, März 2008

- ▶ **Underlying Event**
- ▶ **Double-Parton-Scattering: $\gamma+3$ -Jet-Endzustände**
- ▶ **Photon-Nachweis mit dem CMS-Detektor**

BMBF-Forschungsschwerpunkt
"Elementarteilchenphysik mit dem CMS-Experiment"

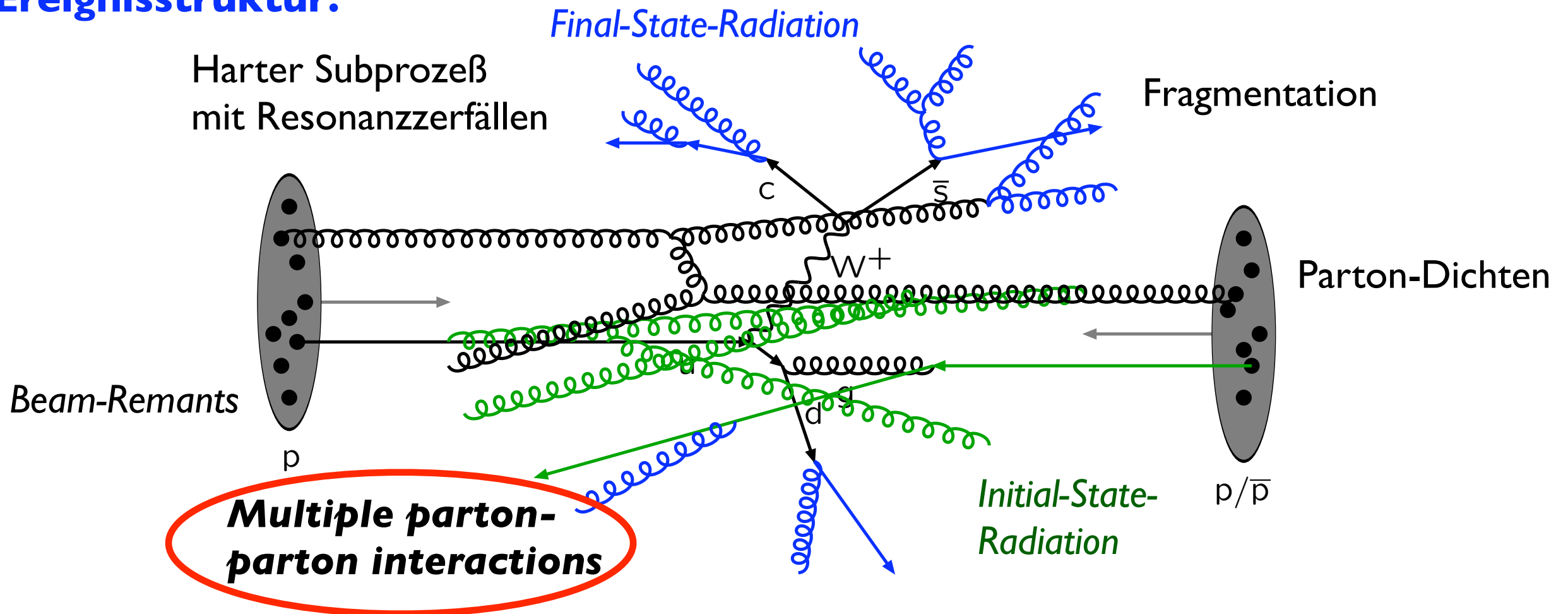
Physik an der TeV-Skala mit dem Large Hadron Collider

Compact
Muon
Solenoid



FSP102

► Ereignisstruktur:



► Underlying-Event

- Def. (theor.): “Alle Bestandteile einer $pp/p\bar{p}$ -Streuung bis auf den harten Prozeß.” $\leftrightarrow$ Def. (exp.)?
- Beschreibung: nicht-perturbative (Herwig *Soft-UE*) und perturbative Modelle (Pythia, Jimmy)

► Bsp.: Multiple parton-parton interactions in Pythia

- Störungsrechnung bis $\hat{p}_T \rightarrow 0$ (für weitere QCD $2 \rightarrow 2$ Prozesse) + *Colour-Screening*
- *Pedestal-Effekt*: kleiner Stoßparameter $\rightarrow$ höhere Wahrscheinlichkeit für MPI

► 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

► Irreduzibler Untergrund am LHC:

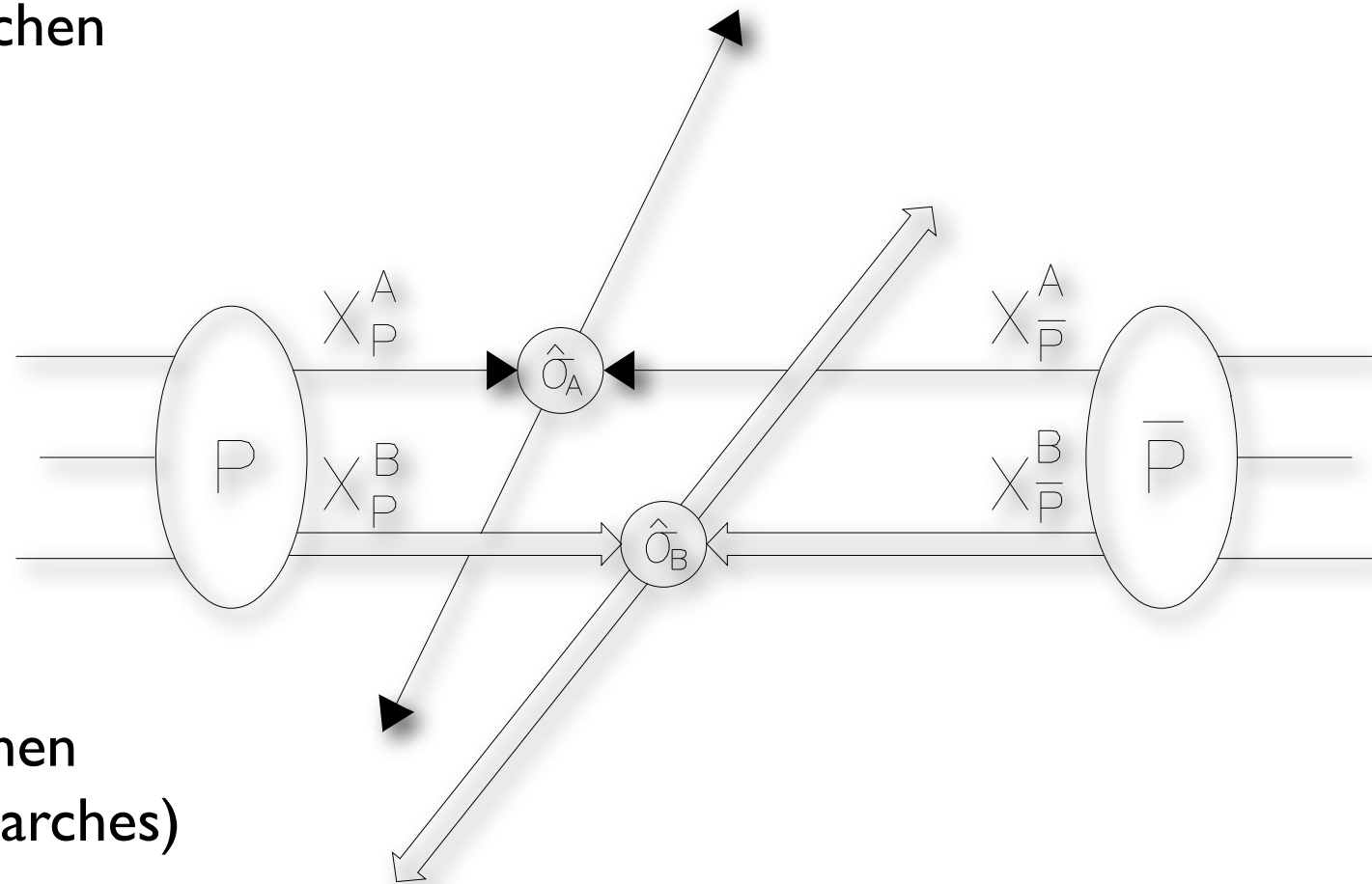
- Produktion von zwei b-Quark-Paaren
- Beitrag zur Produktion von zwei W-Bosonen gleicher Ladung (→ Bedeutung für SUSY-Searches)

► Experimenteller Nachweis in ...

1. (jj)+(jj) i.e. "Mini-Jets" (Akzeptanz des Jet-Triggers ausreichend?)
2. (jj)+(bb) (b-tagging genügend verstanden?)

3. (γj)+(jj) d.h. γ + 3 Jets

- größere Jet-Akzeptanz (vgl. 1. → Single-Photon-Trigger)
- Photon-Kinematik präzise messbar



► Analyse auf Generator-Niveau

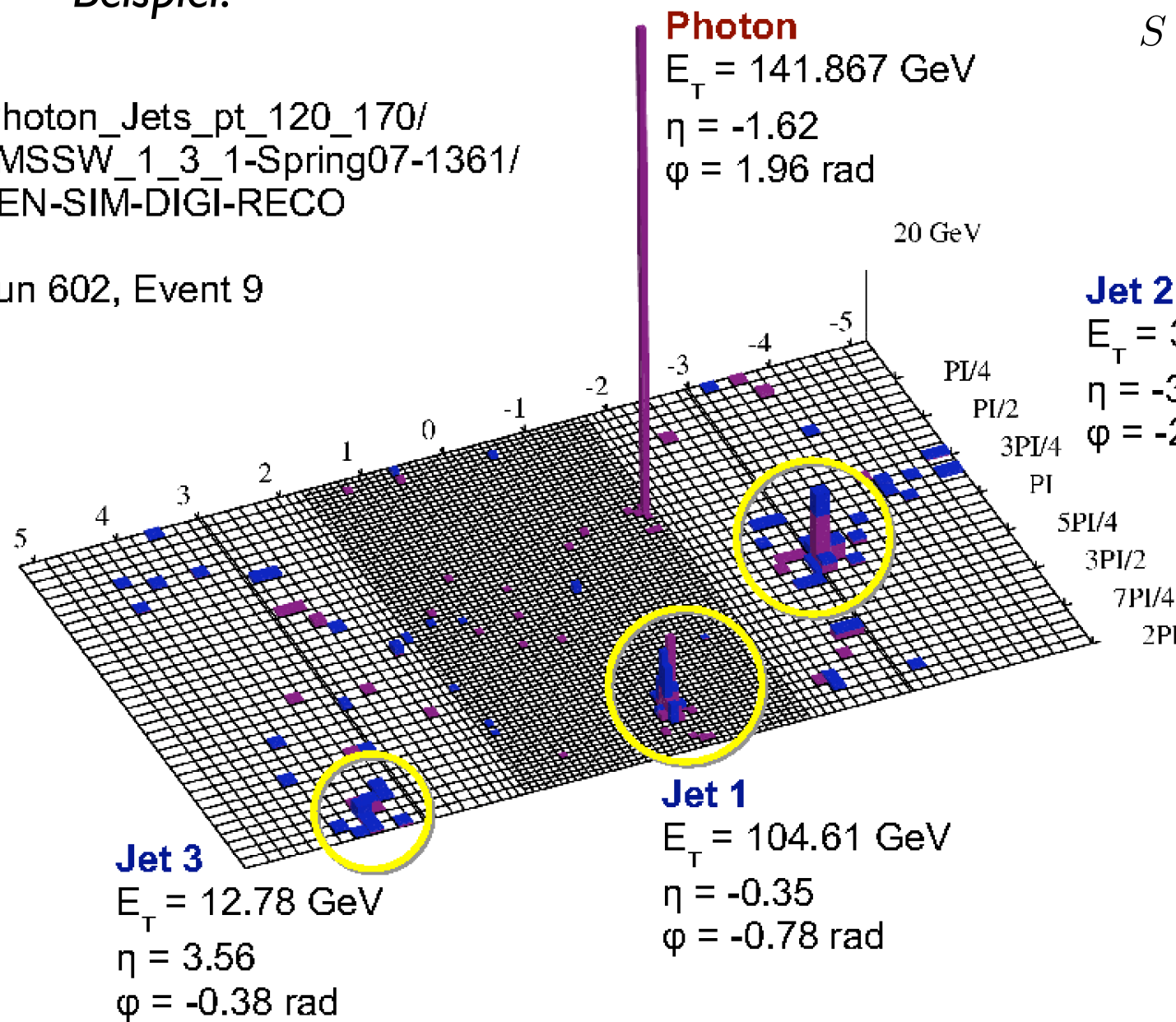
- Kombiniere γ (MC Truth) mit 3 Jets (Midpoint-Cone, $R=0.7$) wobei $\Delta R_{ij} > 0.8$
- Wähle γj - und jj -Paar $\rightarrow$ Minimiere S :
- *Beispiel:*

$$S = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\left(\frac{\vec{p}_T(\gamma, i)}{\delta p_T(\gamma, i)}\right)^2 + \left(\frac{\vec{p}_T(j, k)}{\delta p_T(j, k)}\right)^2}$$

$$\delta p_T(i, j) = \sqrt{p_{Ti} + p_{Tj}}$$

/Photon_Jets_pt_120_170/
CMSSW_1_3_1-Spring07-1361/
GEN-SIM-DIGI-RECO

Run 602, Event 9



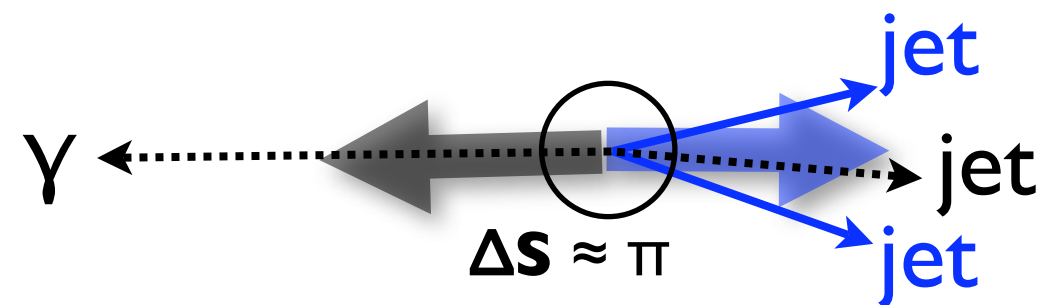
betrachte
Kombinationen:

	S ($\text{GeV}^{1/2}$)
$(\gamma + \text{Jet 1})(\text{Jet 2} + \text{Jet 3})$	4.1
$(\gamma + \text{Jet 2})(\text{Jet 1} + \text{Jet 3})$	10.8
$(\gamma + \text{Jet 3})(\text{Jet 1} + \text{Jet 2})$	9.5

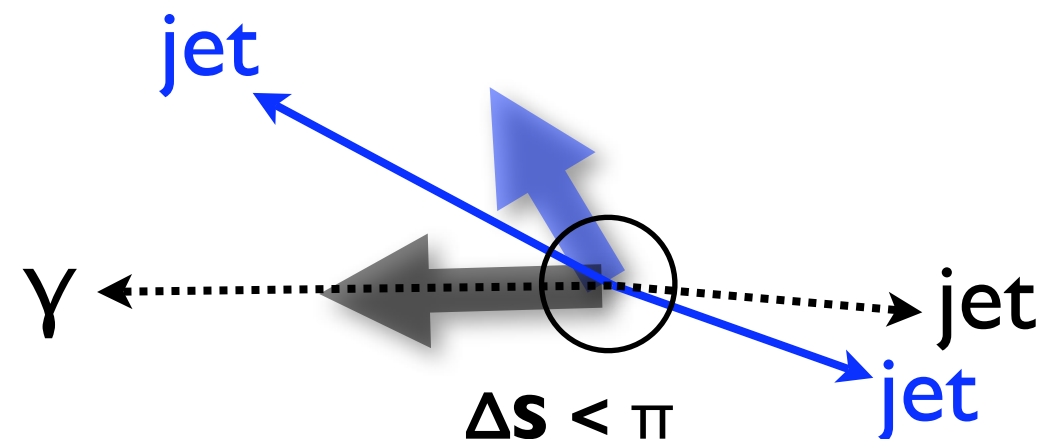
► Unterscheidung von *DPS* und *Single-Parton-Scattering (SPS)*:

- ΔS - Azimuth zwischen γj - und jj -Paar

► *Double-Bremsstrahlung*:



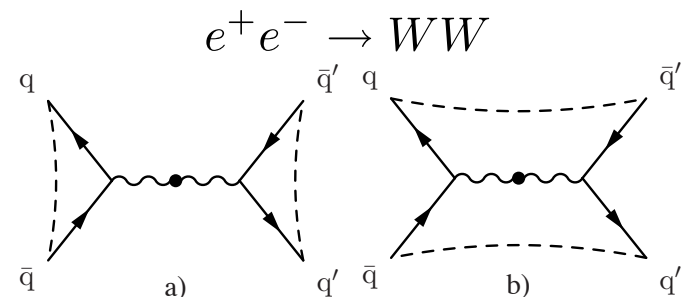
► *Double-Parton-Scattering*:



► **Selektiere Ereignisse mit kleinem ΔS !**

► Pythia 6.413 $\hat{p}_T > 20 \text{ GeV}/c$

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



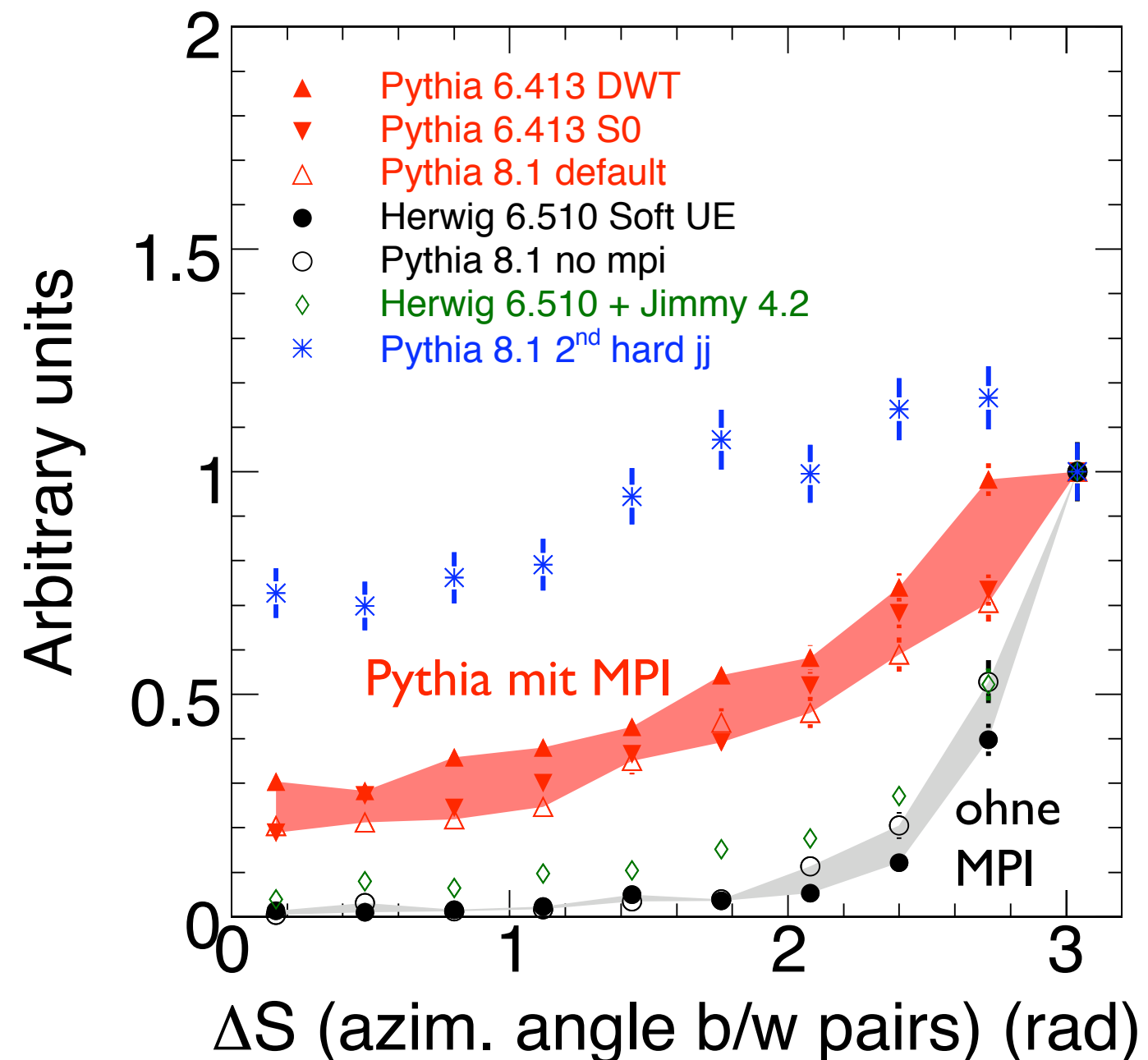
► Pythia 8.1 $\hat{p}_T > 20 \text{ GeV}/c$

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

► Herwig 6.510 $\hat{p}_T > 20 \text{ GeV}/c$

- Soft underlying event
- Jimmy 4.2

E_T (Photon und Jets) $> 30 \text{ GeV}/c$

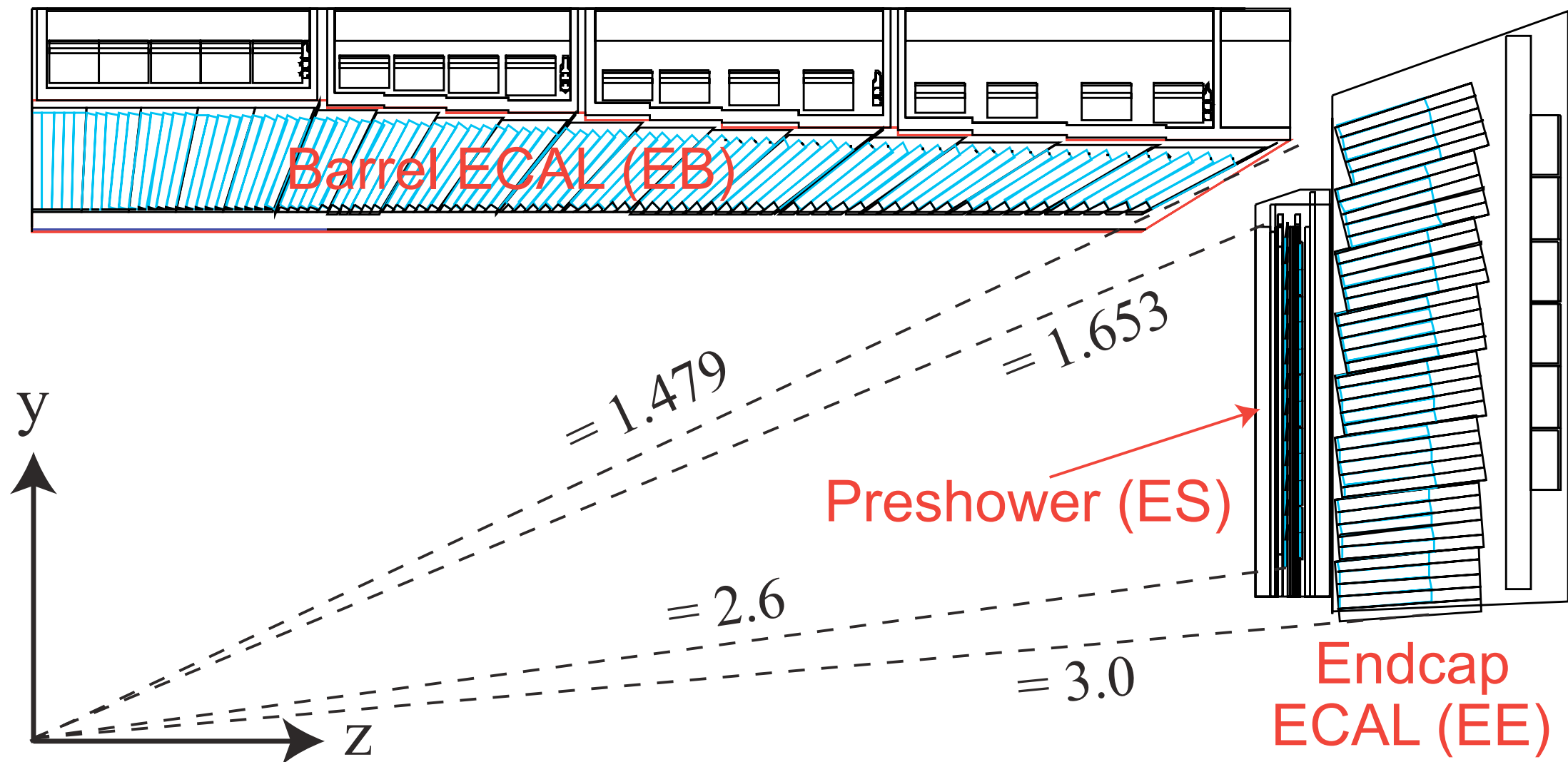


→ große Unterschiede Pythia $\leftrightarrow$ Herwig in Trennvariable ΔS

► Computing Software Analysis (CSA) Challenge 2007:

- Alle MC-Samples aufgeteilt auf 6+ Primary Datasets (basierend auf HLT-Information):
→ Electrons, Muons, Jets/Missing E_T , b-Jets, τ , γ , All Events
- *Physics skimming* zur weiteren Reduktion der Datenmengen, z.B. ***photonjets-Skim***

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

► Bestimmung aus den Daten:

- Di-Elektron-Skim (*zToEE*)

► Clustering-Effizienz:

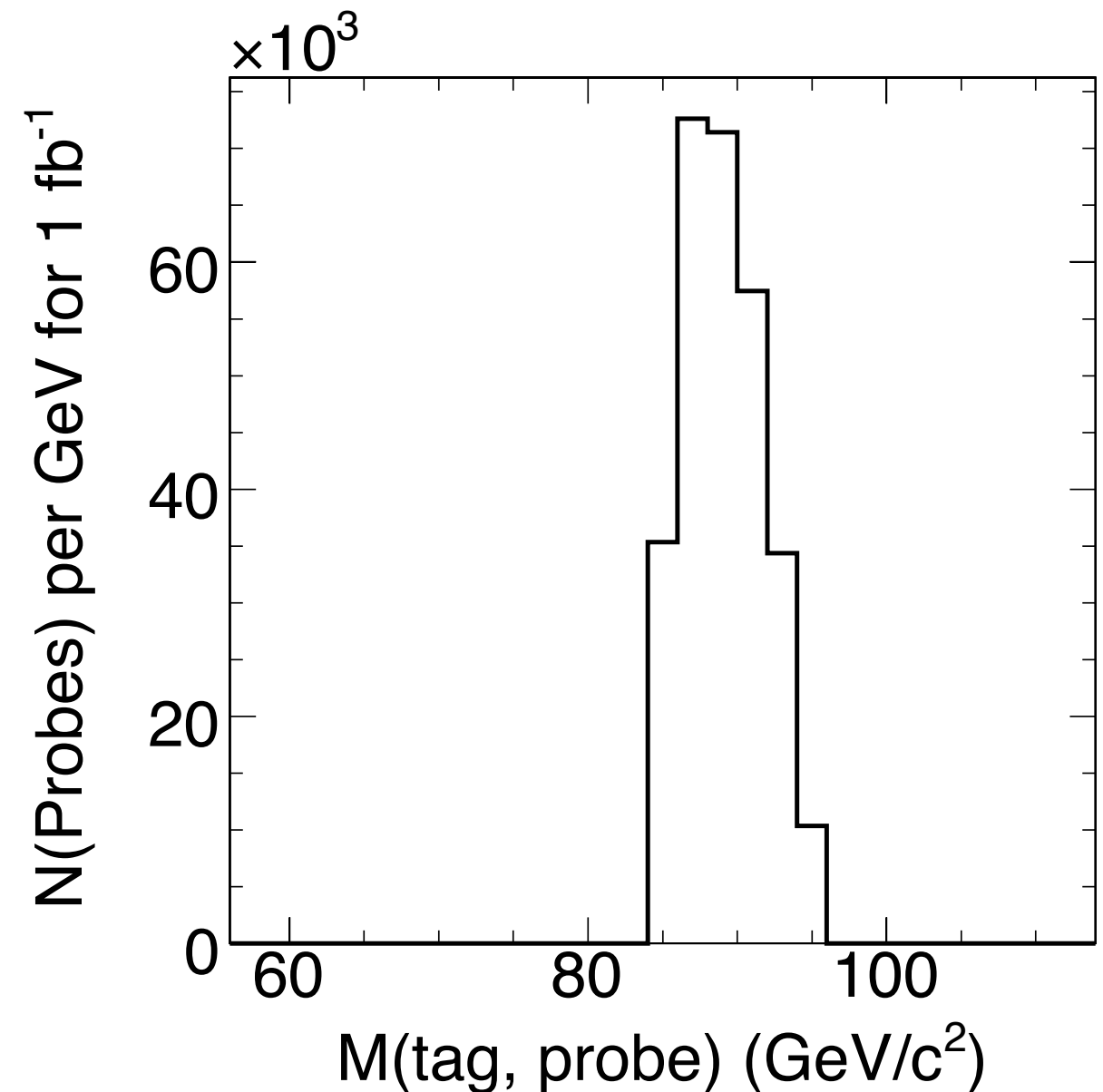
- Kombiniere Elektron (*tag*) und Spur (*probe*), so dass $M(e, \text{Spur}) \sim M_Z$
- → passender ECAL *Super-Cluster* zur Spur?

► Selektion:

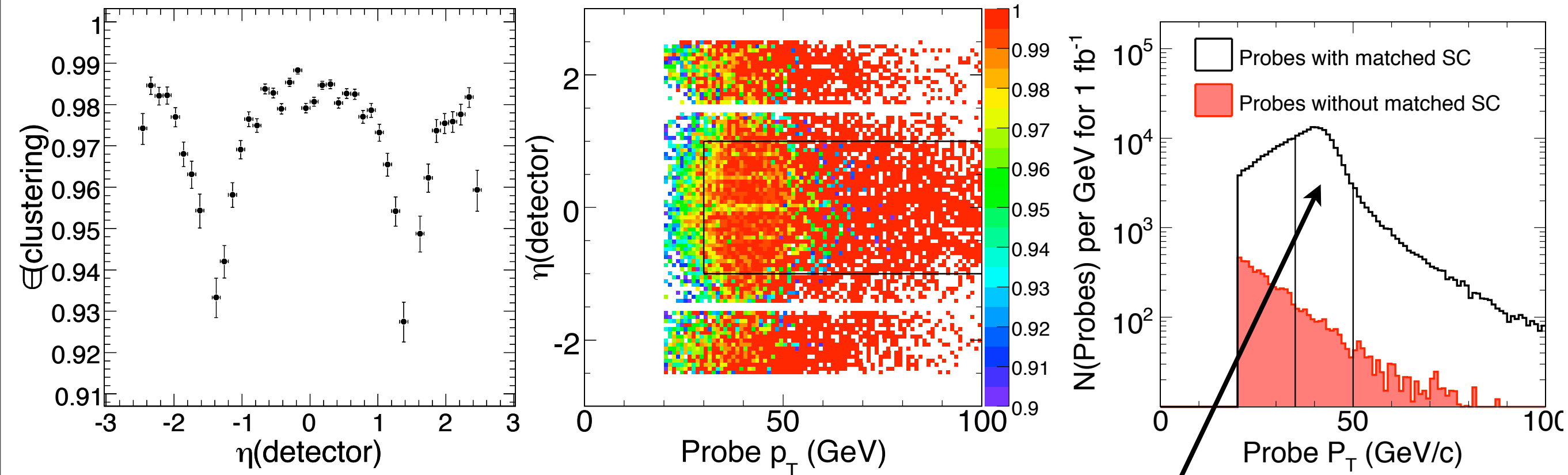
- Elektron: $E_T > 15 \text{ GeV}$, isoliert gegen weitere Spuren, “golden” Elektron
- Spur: $P_T > 20 \text{ GeV}/c$, isoliert gegen weitere Spuren

► Matching:

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



► Effizienzbestimmung aus $zToEE$ -Skim:

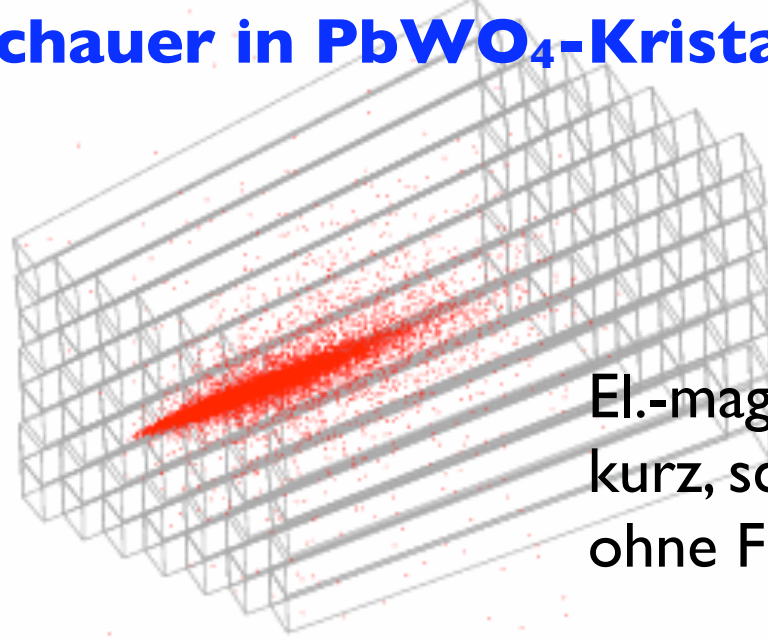


► **Zwischenergebnis → Untergrund noch zu subtrahieren!**

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

- $35 \text{ GeV/c} < P_T < 50 \text{ GeV/c}$

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



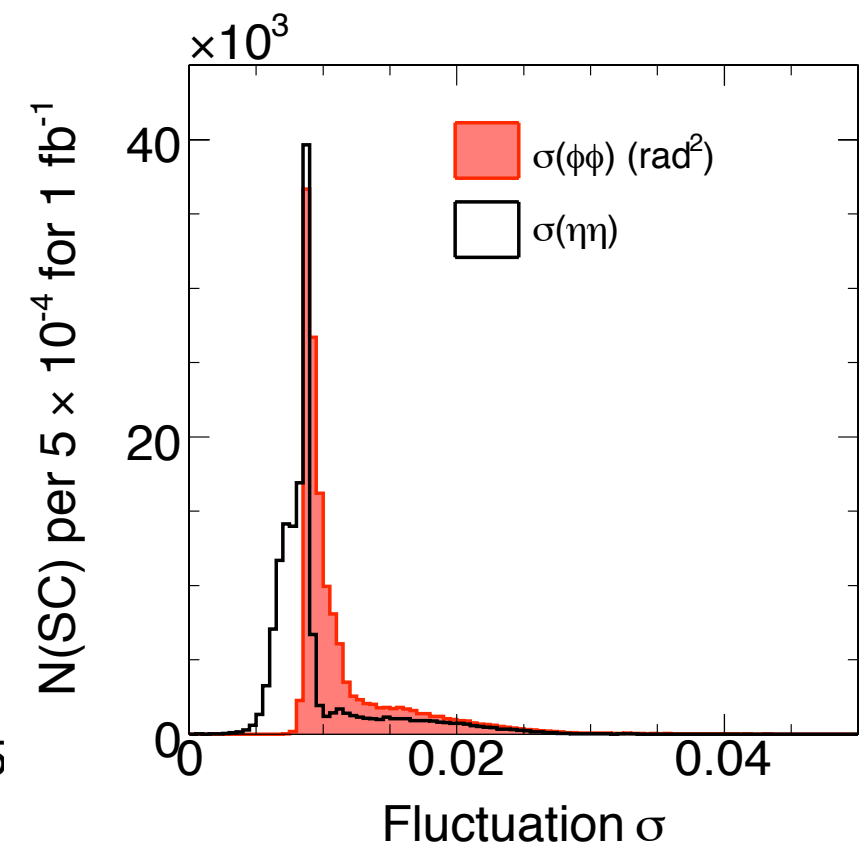
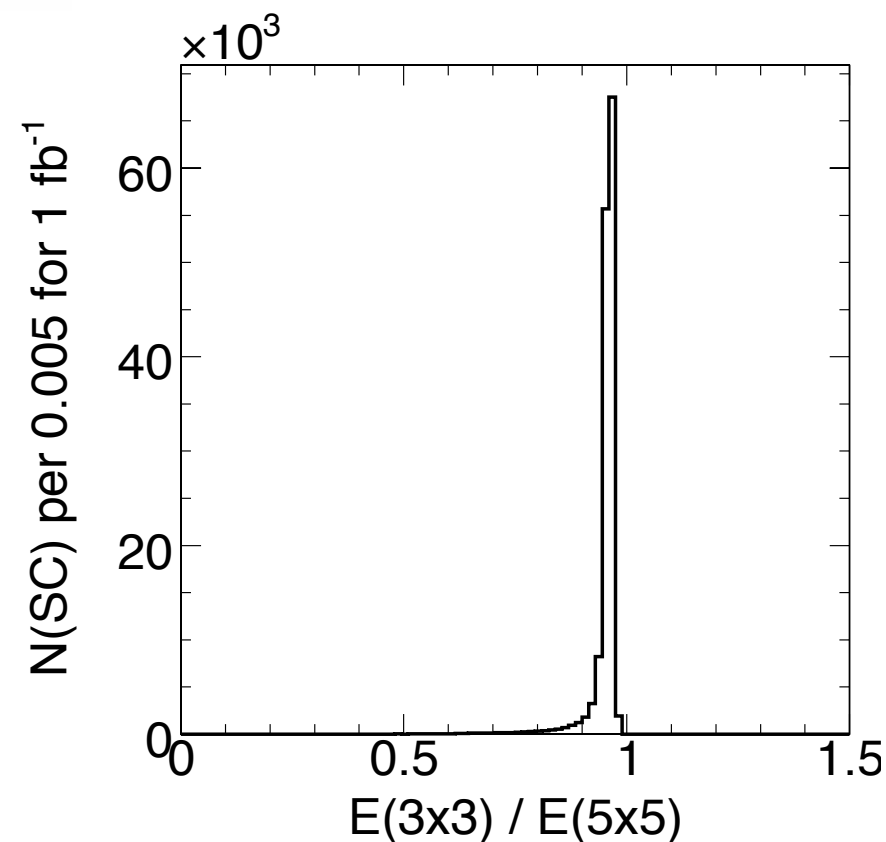
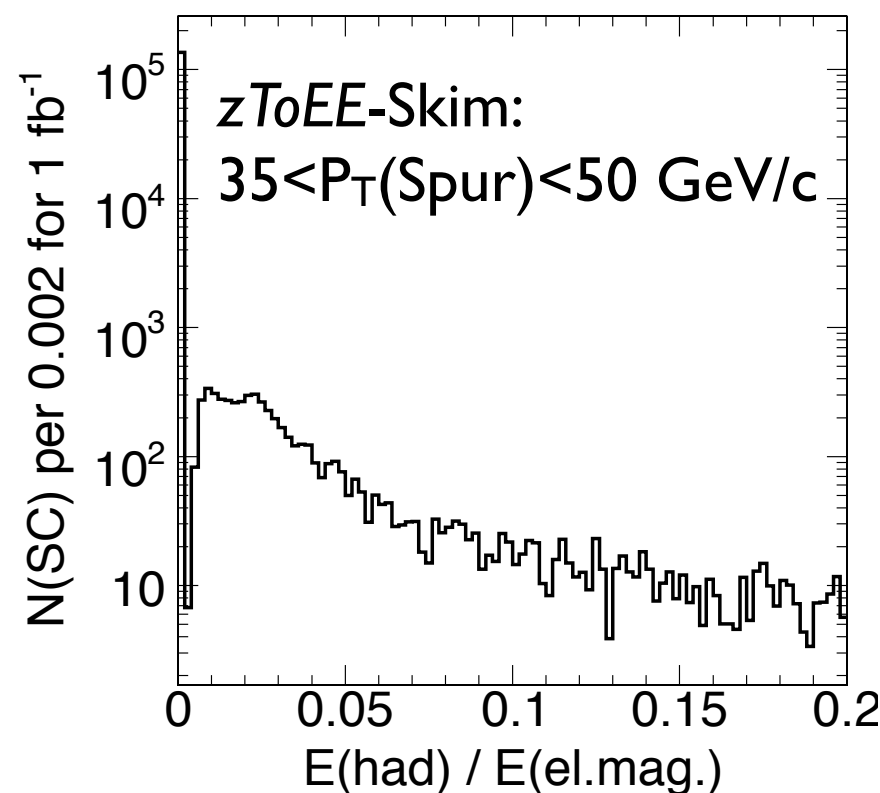
El.-mag. Schauer
kurz, schmal,
ohne Fluktuationen

► Identifikation mit Hilfe von Schauer-Entwicklung

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

$$\sigma_{\eta\eta} = \sum_{i \in \text{crystals}} (\eta_i - \eta_{\text{seed}})^2 \frac{E_i}{E_{\text{seed}}}$$

$$\sigma_{\phi\phi} = \sum_{i \in \text{crystals}} (\phi_i - \phi_{\text{seed}})^2 \frac{E_i}{E_{\text{seed}}}$$



► **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**

a. u.

