Das Spaghetti-Kalorimeter ('Spacal') am H1 - Experiment — Kalibration und Betrieb —

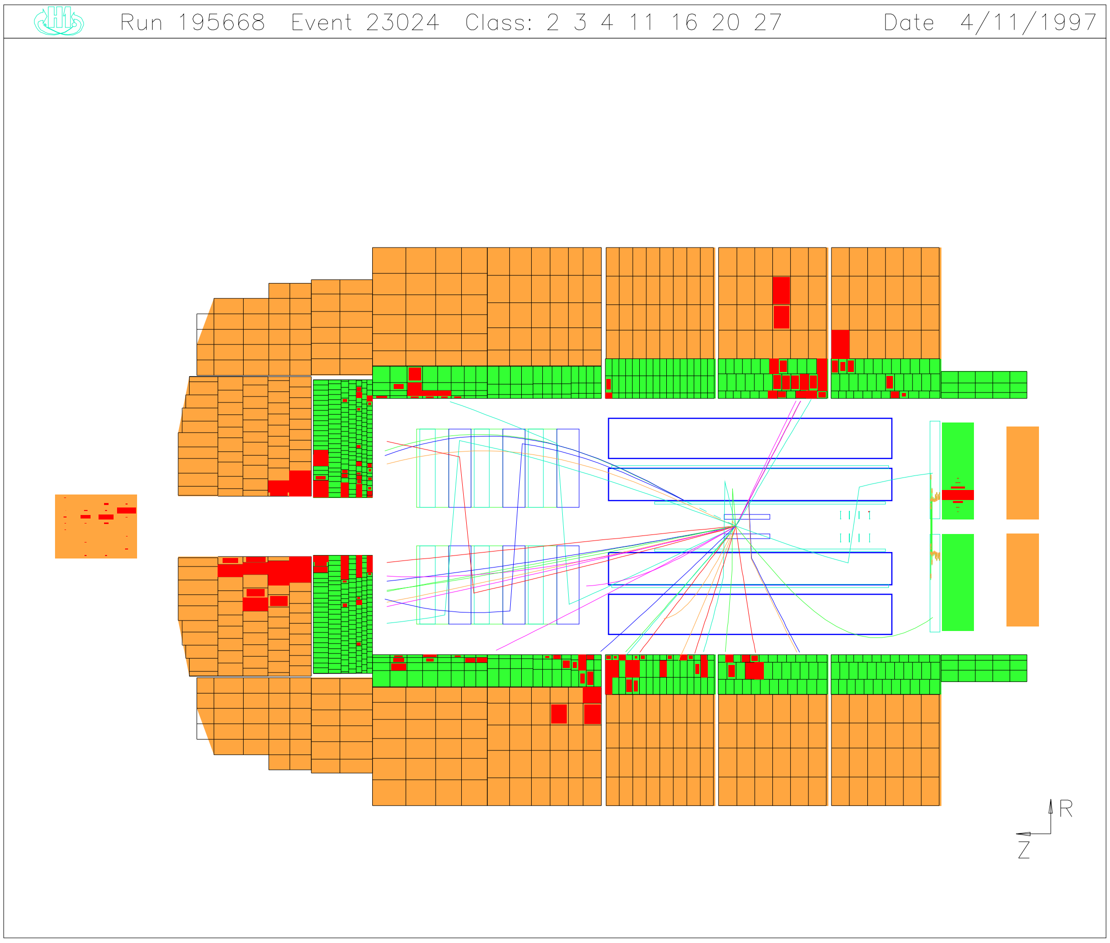
Andreas Meyer, DESY

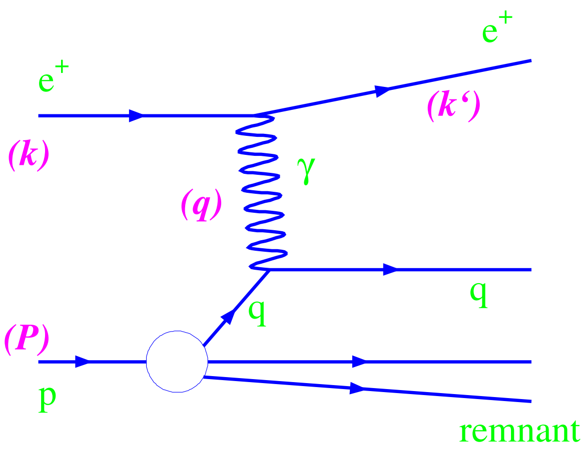
- Einführung
- Zeitmessung, Elektrontrigger
- Energiemessung und Kalibration
- Zusammenfassung

DPG Frühjahrstagung
Freiburg, 23.– 26. März 1998

$\boldsymbol{ep}$ Streuung mit dem H1 - Detektor bei HERA

27.5 GeV $e^{\pm}$ $\longrightarrow$ $\sqrt{s} = 300\mathrm{GeV}$ $\longleftarrow$ p 820 GeV





HERA: BX Frequenz: 10 MHz $\sim$ 96 ns

Anforderungen

Optimale Rekonstruktion von x and Q^2

$(x \gtrsim 10^{-6},\ Q^2 \gtrsim 0.35\ \mathrm{GeV}^2)$

- Energiemessung (Auflösung: $\leq 2\%$ bei 30 GeV)
- Ortsmessung (Auflösung: ≤ 2 mm)

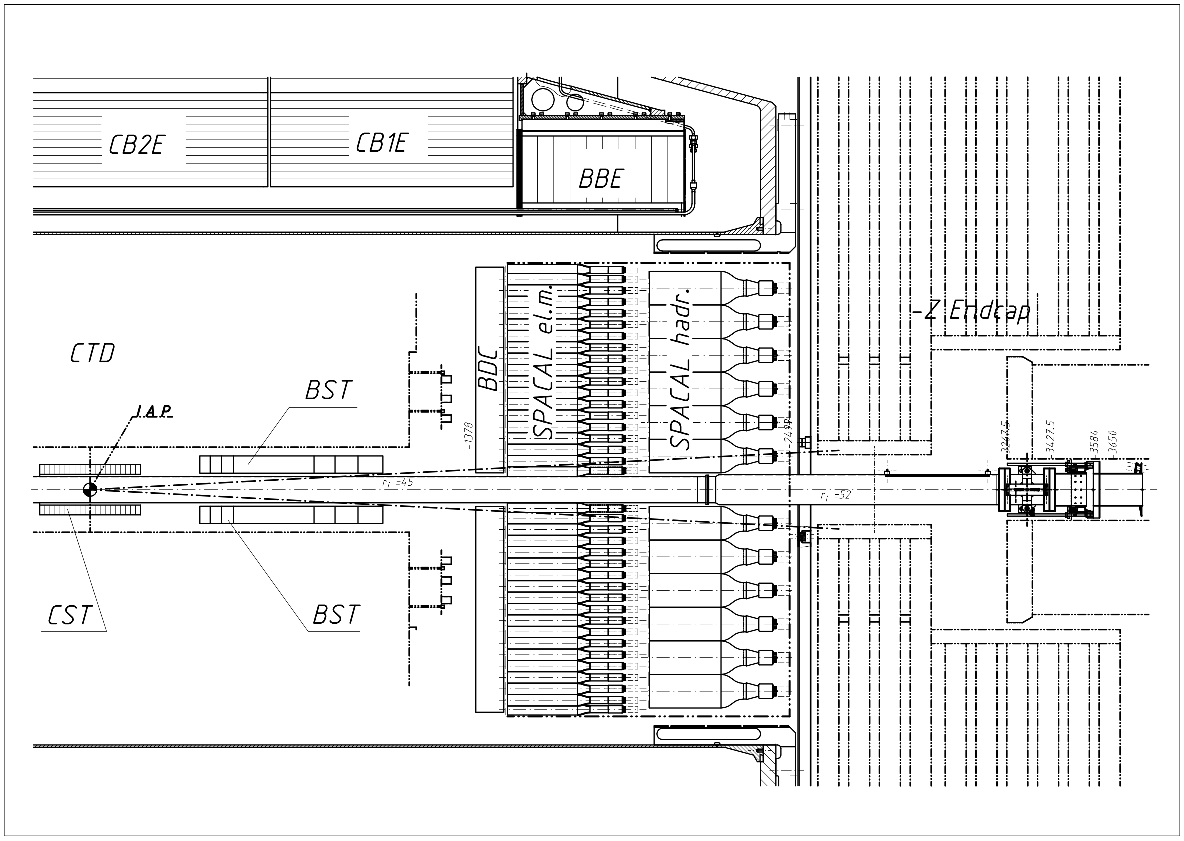
Identifikation des gestreuten Elektrons und Untergrundunterdrückung

- Gute e/π Trennung
- Nachweis und Messung von niederenergetischen Hadronen (γp)
- Teilchenlokalisierung auf niedrigstem Triggerniveau
- Untergrundunterdrückung (p-Strahl)
  $\rightarrow$ Zeitauflösung ($\leq$ 1ns)
- Geringes Rauschen

Erweiterung des kinem. Bereichs in Q^2 ($1 - 100\ \mathrm{GeV}^2$)

- Große Winkelakzeptanz ($\theta \leq 177.5°$)
- Großer dynamischer Meßbereich

H1 (seit 1995): Spacal und BDC



Spacal: Blei/Szintillationsfaser-Kalorimeter

Winkelakzeptanz ($\leq 177.5^\circ$) $\rightarrow$ kleine Q^2 ($Q^2 \geq 0.35$ GeV^2)

Kleine Zellen (4×4 cm^2)

Homogenität ($< 2\%$) $\rightarrow$ Orts- und Energieauflösung

Hadronischer Abschnitt (2λ) e/π Trennung

Zeitauflösung (< 1 ns) $\rightarrow$ Untergrundunterdrückung

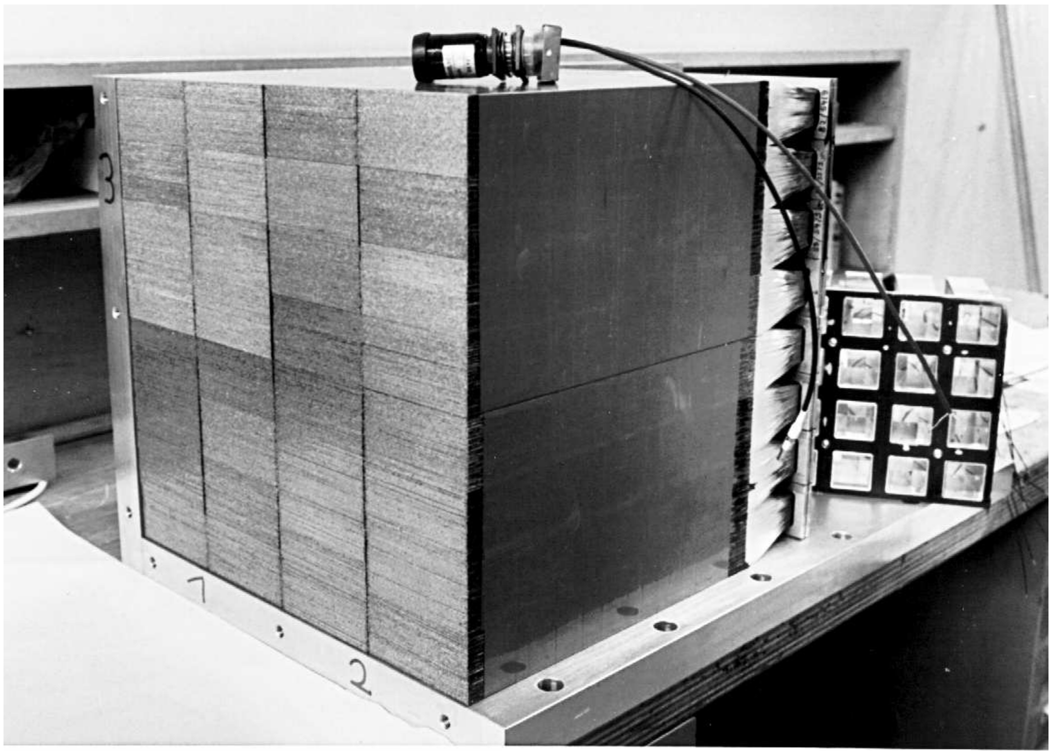
Rauschpegel (< 3 MeV) $\rightarrow$ Triggerschwellen

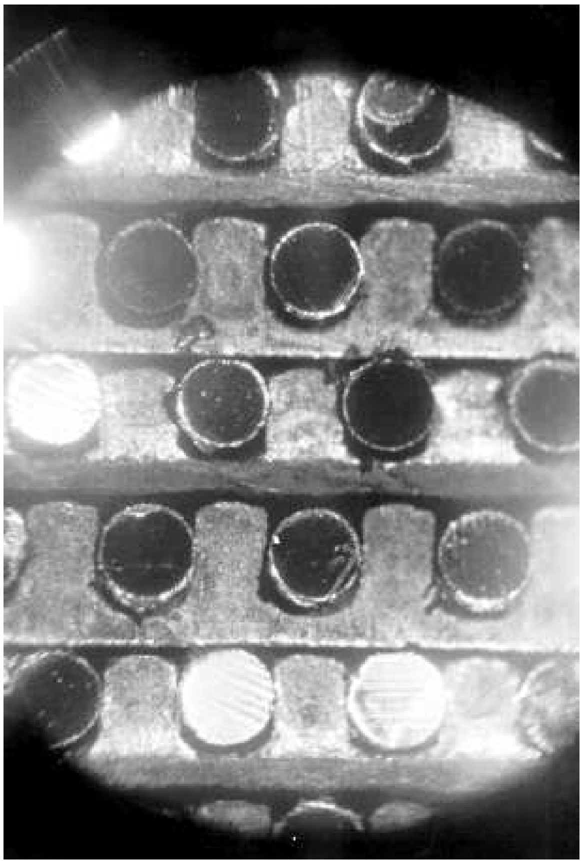
BDC: Driftkammer, 8 Lagen

Auflösung: $\sigma_R = 0.5$ mm

Position: $\Delta\theta = 0.5$ mrad

Spacal - Bauweise





Technische Parameter

Spacal - Kalorimeter:

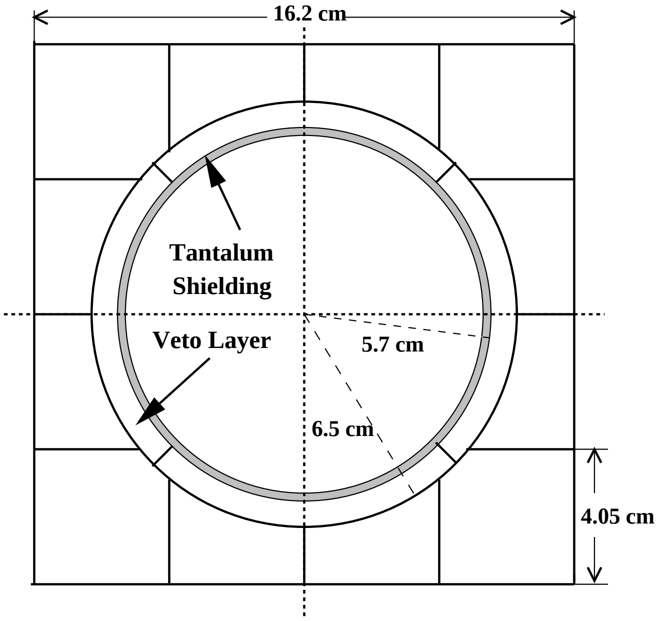
	elektromagnetisch	hadronisch
Blei/Faser Verhältnis	2.27:1	3.4:1
Faser Typ	BICRON BCF-12	BCF-12
Faserdurchmesser	0.5 mm	1.0 mm
Aktive Länge	25 cm	25 cm
Zellgröße	4.05×4.05 cm^2	12.0×12.0 cm^2
Anzahl der Zellen	1192	136
Strahlungslänge	0.90 cm	0.85 cm
Molière - Radius	2.55 cm	2.45 cm
Nukl. WW Länge	25 cm	25 cm
PMT (fine m type)	Hamamatsu R5505	R2490-06
Verstärkung bei $\sim$ 1T	$\sim 10^4$	$\sim 2 \times 10^4$

- Akzeptanz: $153° \leq \theta_e \leq 177.5°$
- PMT: Betrieb in Magnetfeld $\sim$ 1 T.

Das Spacal - Insert

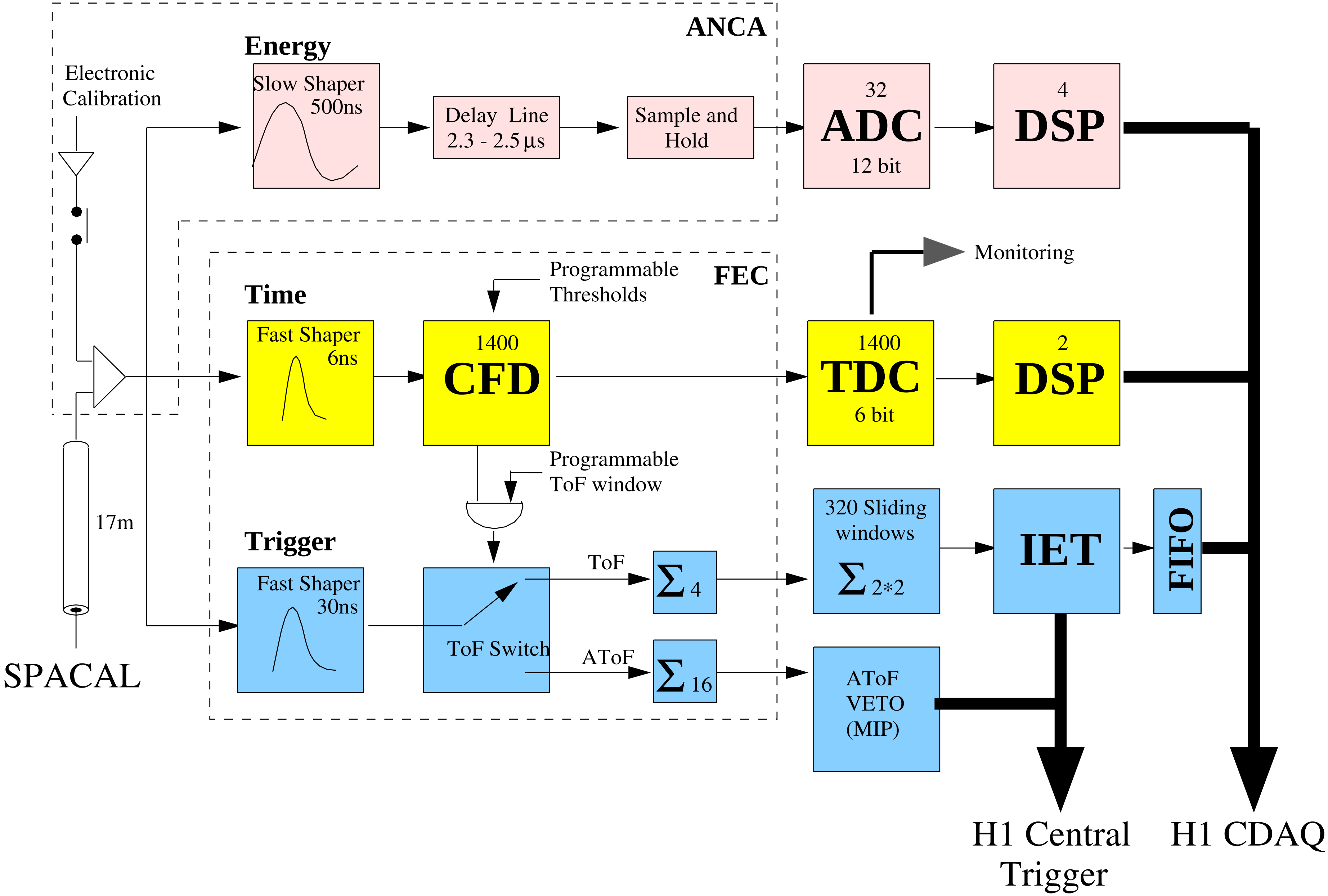
Spezialmodul (16 Zellen um Strahlrohr):

$r - \phi$ Ansicht:



Tantal-Lage (2 mm):
Schutz gegen Synchrotronstrahlung

4 innere Zellen (8 mm):
Nachweis von Energieverlusten ins Strahlrohr

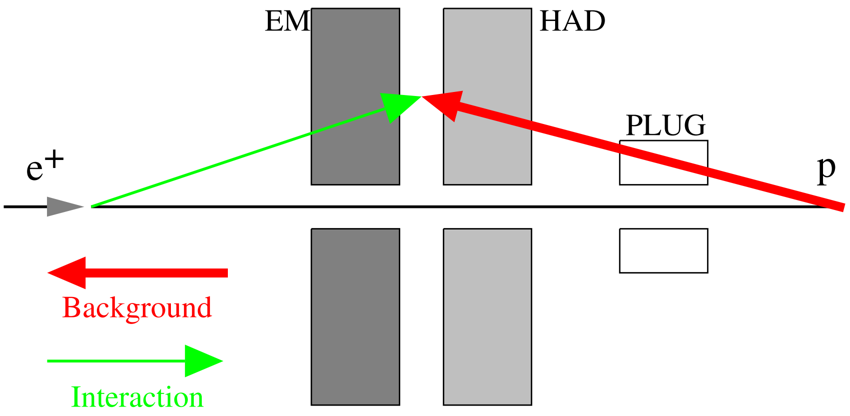

ANCA
Energy
Electronic Calibration
Slow Shaper 500ns
Delay Line 2.3 - 2.5 µs
Sample and Hold
32 ADC 12 bit
4 DSP
Monitoring
Programmable Thresholds
FEC
Time
Fast Shaper 6ns
1400 CFD
1400 TDC 6 bit
2 DSP
Programmable ToF window
17m
Trigger
Fast Shaper 30ns
ToF Switch
ToF
AToF
Σ 4
Σ 16
320 Sliding windows Σ 2*2
IET
FIFO
AToF VETO (MIP)
SPACAL
H1 Central Trigger
H1 CDAQ

Flugzeitmessung

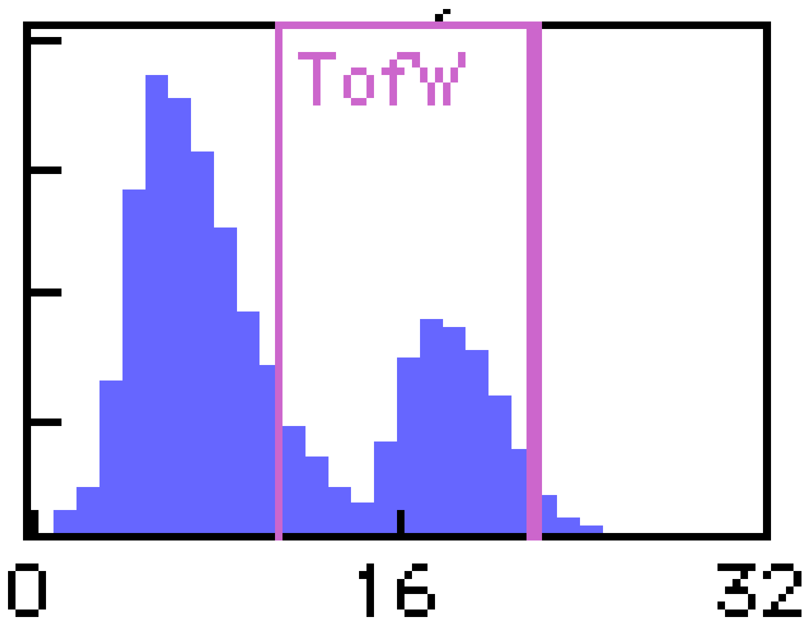
Weglängenunterschied

ep Physikereignisse — Protonstrahluntergrund

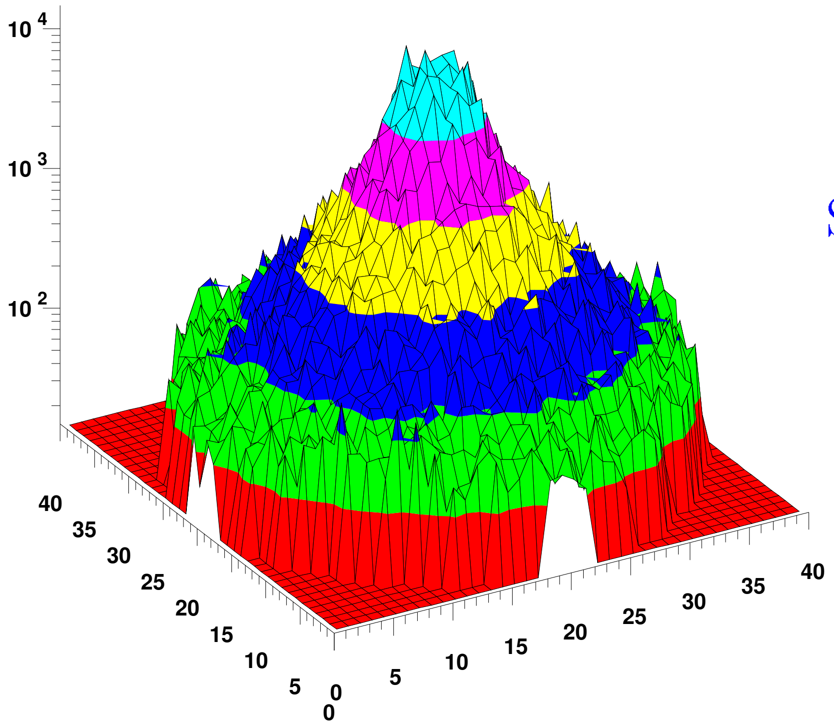
$\sim 3\text{m} \leftrightarrow \Delta t \sim 10 \text{ ns}$



Gemessene Zeitverteilung (On-line):



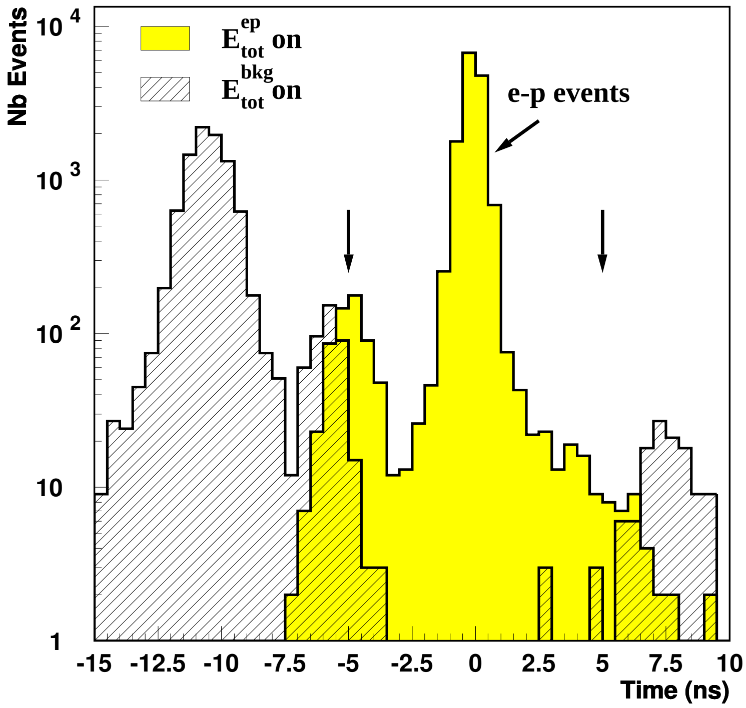
Zeitmessung



Signalraten (vor L1)

Zeitverteilung
auf niedrigstem
Triggernveau (L1)

σ_{ep}: 0.4 ns



Spacal - Trigger

24 Triggerelemente (L1) $\rightarrow$ detaillierte Information

in-time	out-of-time
IET	AToF Cluster
Totale Energie	Totale Energie

Flugzeitsensitivität: In-time $\leftrightarrow$ out-of-time

- In-time: Fenster ('ToF-Window') $\Delta t \sim 10$ ns um ep
- Separate Summation der Zellenergien ('ToF/AToF')

ELM Spacal: "Inklusiver Elektron Trigger" (IET):

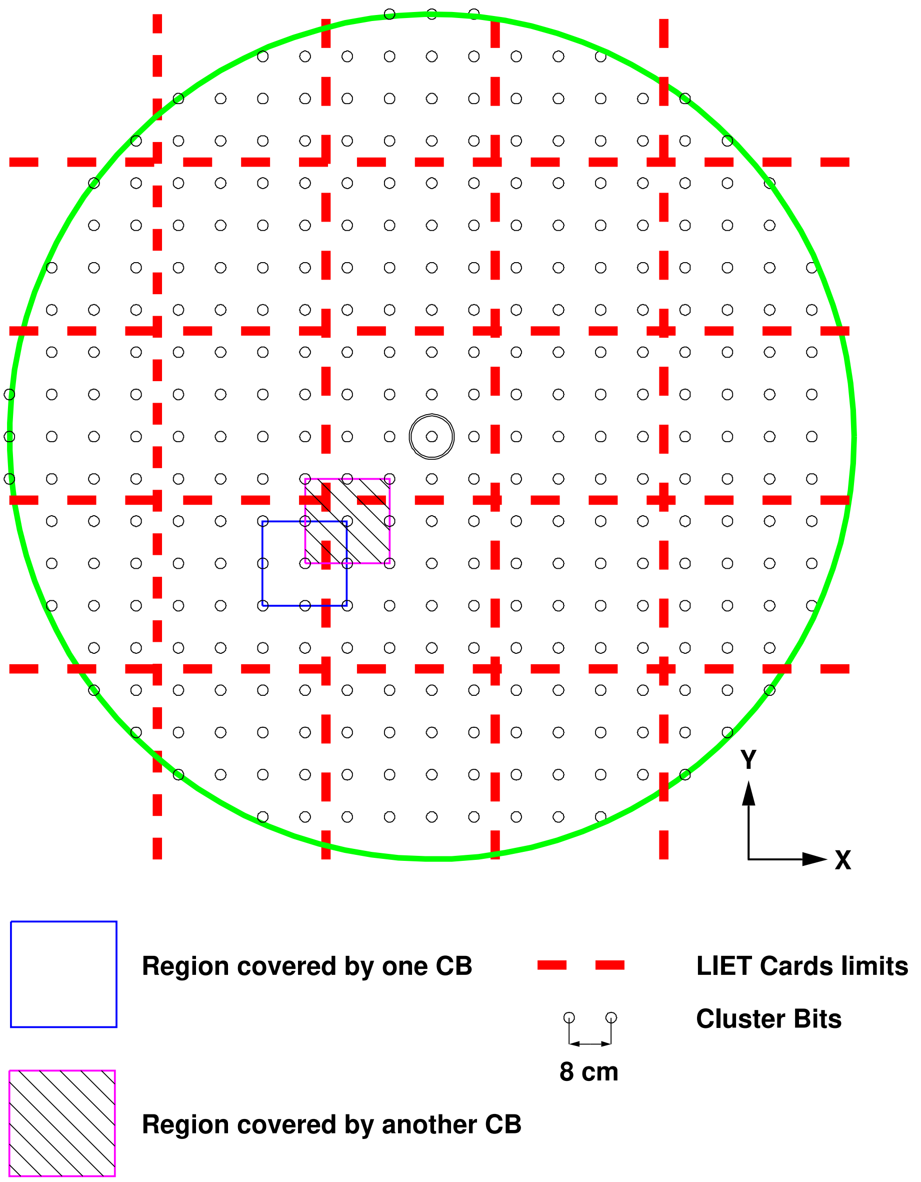
- 320 überlappende Triggersummen (je 4×4 Zellen)
- summiert nur Signale im 'ToF-Window'
- 3 verschiedene Energieschwellen individuell einstellbar im Bereich ~ 100 MeV — ~ 20 GeV (*ep* 1997: 500 MeV, 2 GeV und 5 GeV)

- robust gegen Protonstrahluntergrund
- Geringes (kohärentes) Rauschen
- Ortsauflösung auf niedrigstem Triggerniveau (L1) $\rightarrow$ Topologie- und Multiplizitätskriterien.

Elektrontrigger (IET)

ELM Spacal: 320 IET Triggersummen

überlappende ‘sliding windows’ (je 4×4 Zellen)

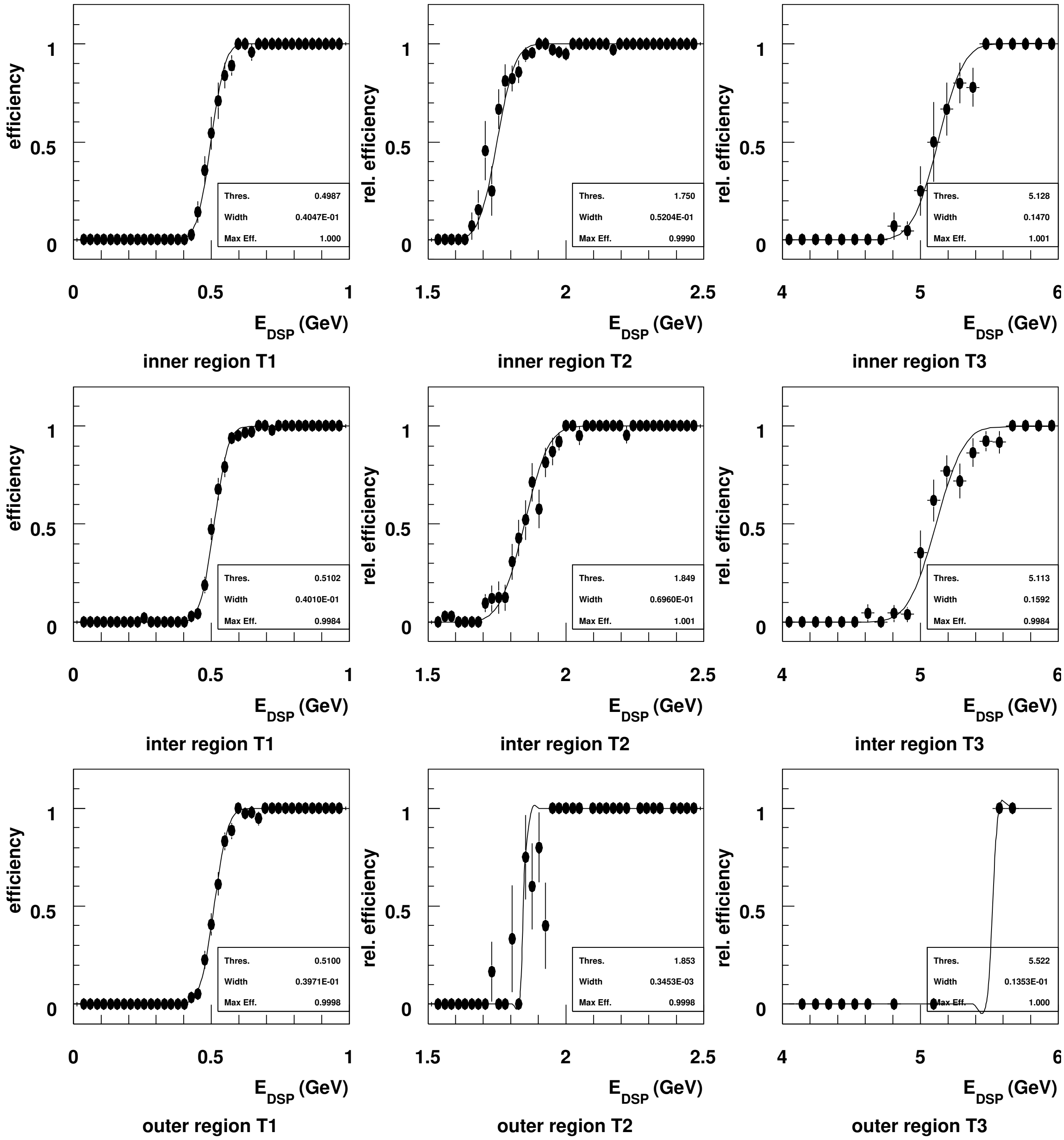


Elektrontrigger (IET)

Nachweiswahrscheinlichkeit für 3 Schwellen

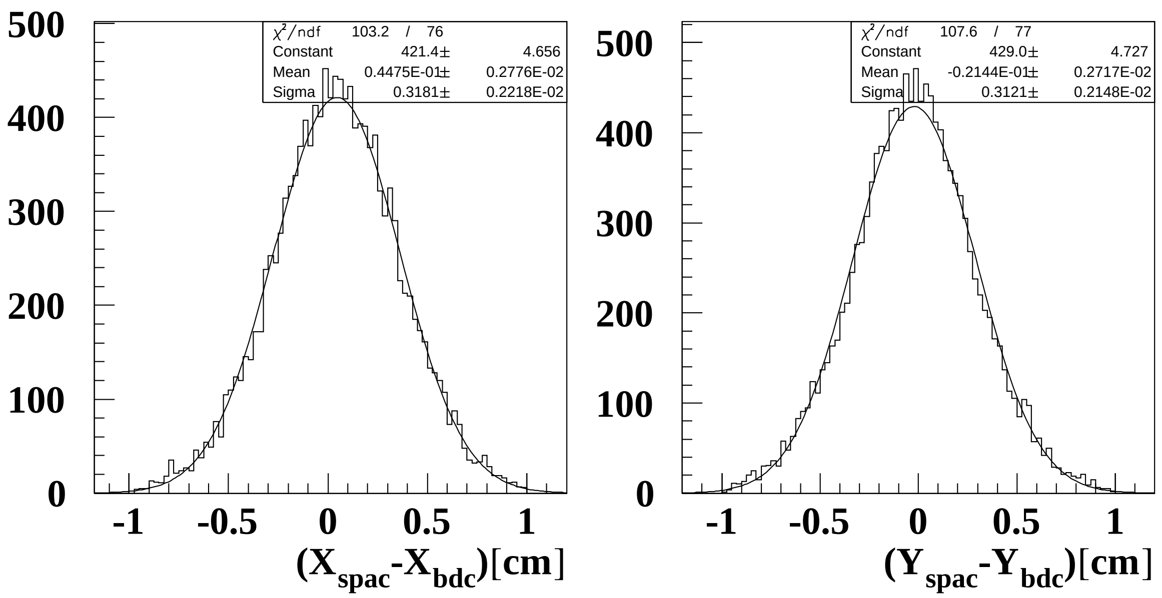
(innere, mittlere und äußere Region)

500 MeV | 2.0 GeV | 5.5 GeV



Spacal - Ortsauflösung

Track-Cluster Matching mit rückw. Driftkammer (BDC)



$$\sigma_{\mathrm{x,y}} = 3.2 \pm 0.2 \text{ mm}$$

Bestimmung der Energieskala

Kalibrationsmethoden:

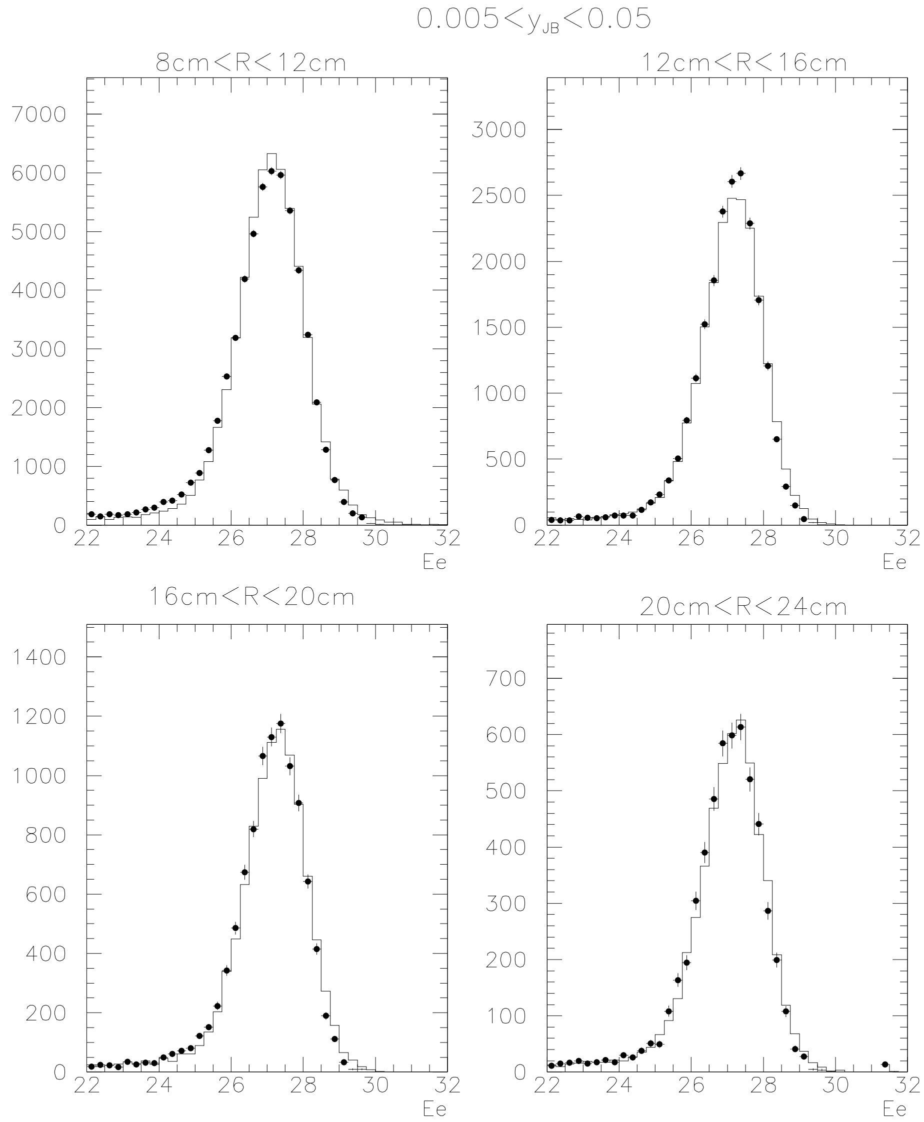
- ‘Kinematisches Maximum’ der gestreuten Elektronen
- Kosmische Myonen
- Rekonstruktion der π^0, η, J/Ψ Masse

Weitere Methoden:

- QED-Compton-Ereignisse,
- Doppel-Winkel-Methode,
- Protonstrahl-Halomyonen
-

Kalibration am 'Kinematischen Peak'

- $Q^2 \lesssim 100\ \mathrm{GeV}^2$: Scharfes Maximum bei Strahlenergie (27.5 GeV)
- Kinematisch → Referenz für Energiekalibration.
- Kinematik und Detektoreffekte: MC Simulation
- Zellweise Abgleich des Ansprechverhaltens

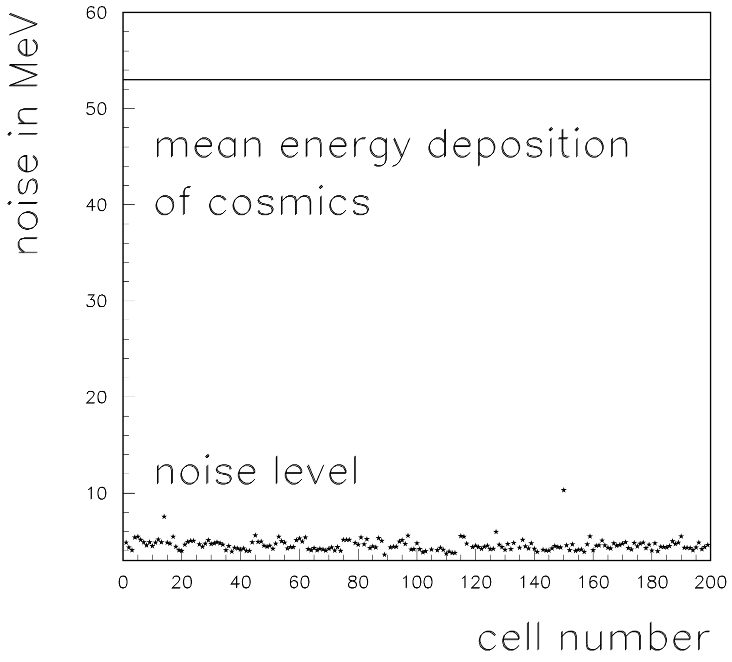


Energieskala: $\boxed{0.7\%\ \text{bei}\ 27.5\ \mathrm{GeV}}$

E'_e Auföšung:

$$\boxed{\sigma/E = 7.5\%/\sqrt{E(GeV)} \bigoplus 1\%}$$

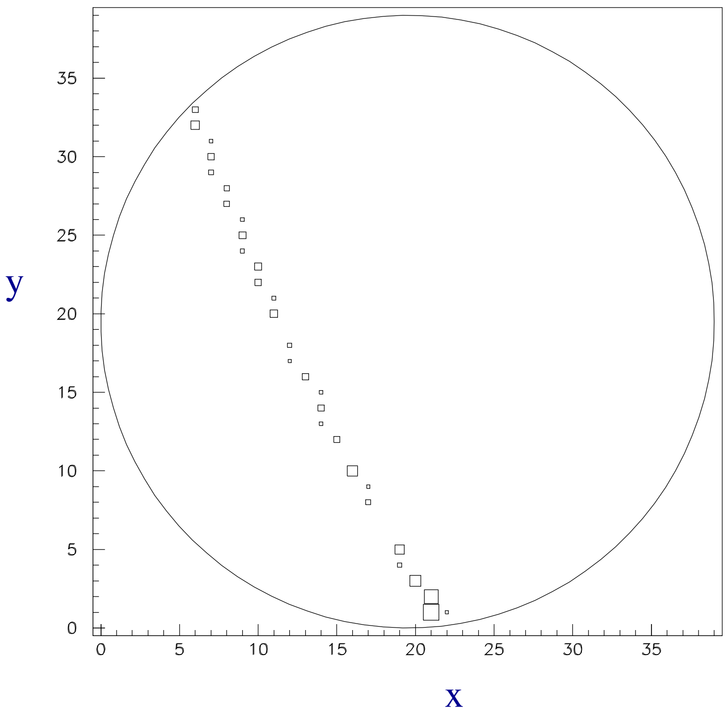
Kosmische μ



Rauschpegel < 3 MeV

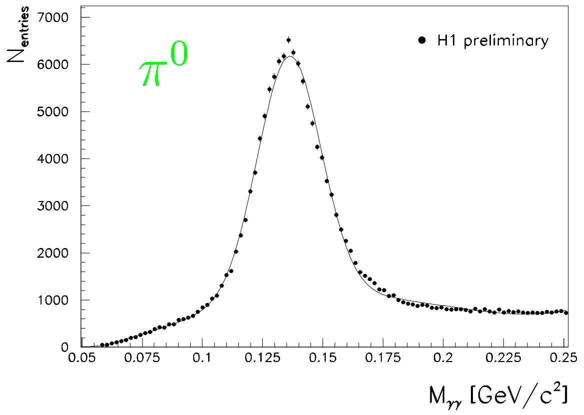
μ-Spur im ELM Spacal:

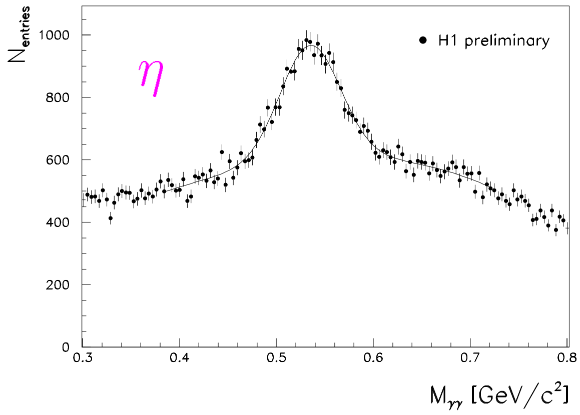
$\Delta E/\text{Zelle} \sim 50$ MeV



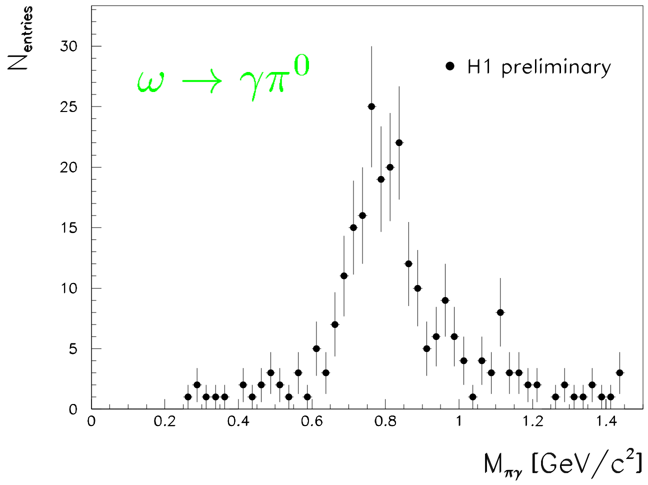
Rekonstruktion von π^0 und η

"Tagged" Photoproduktion:
$Q^2 < 0.01$ GeV^2, $0.3 < y < 0.7$

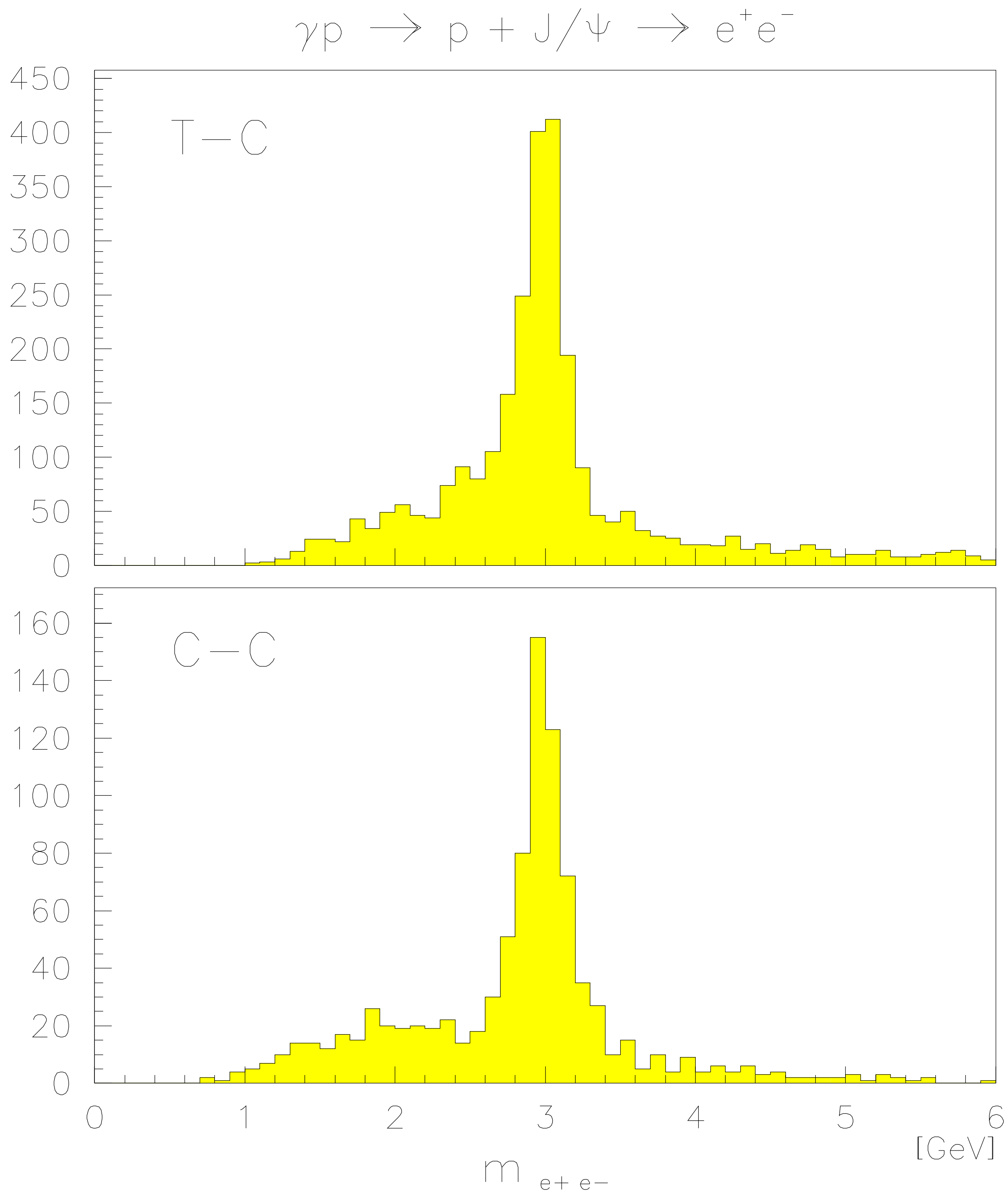




Spacal	π^0	η
E_{γ_i}	> 1 GeV	> 1.5 GeV
$\mu(M_{\gamma\gamma})$	136 MeV / c^2	535 MeV / c^2
$\sigma(M_{\gamma\gamma})$	13 MeV / c^2	31 MeV / c^2



J/Ψ Ereignisse in γp



Zusammenfassung

- Spacal: Blei-Faser-Kalorimeter
  - Hohe Granularität
  - Kombination von Energie- und Flugzeitmessung
- Installation und erfolgreicher Betrieb seit 1995.
- Trigger: Ereignisselektion bei hohem Untergrund (γp and p Strahl)
  - Feine Segmentierung (4×4 Zellen)
  - Geringes Rauschen (< 3 MeV)
  - Teilchenlokalisierung auf Triggerniveau
  - Niedrige Triggerschwellen (0.5, 2, 6 GeV)
- Präzisionsmessung von Energie und Winkel des gestreuten Elektrons
  - Zeitauflösung: $\lesssim 0.4$ ns
  - Ortsauflösung: ~ 3 mm
    $\rightarrow$ Winkelmessung: (Spacal $\bigoplus$ BDC) $\lesssim 0.5$ mrad
  - Energieskala: $\lesssim 0.7\%$ bei 27.5 GeV
  - Energieauflösung: $\sigma/E = 7.5\%/\sqrt{E(GeV)} \bigoplus 1\%$

$\boxed{\rightarrow \text{Präzisions QCD Tests}}$

F_2-Messungen mit dem Spacal