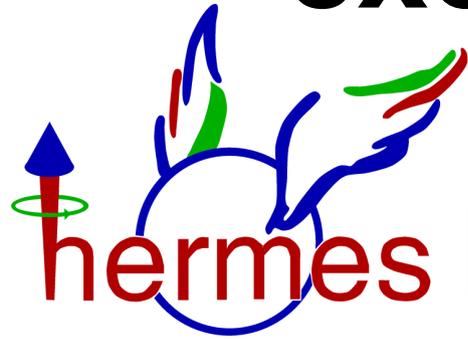


Detection of exclusive reactions in the



Recoil Fiber Tracker

Tibor Keri

JUSTUS-LIEBIG-



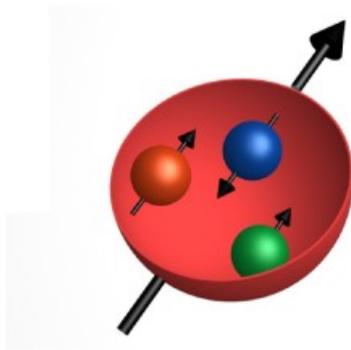
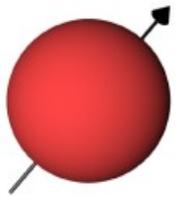
UNIVERSITÄT
GIESSEN

II. Physikalisches Institut
19. August 2008

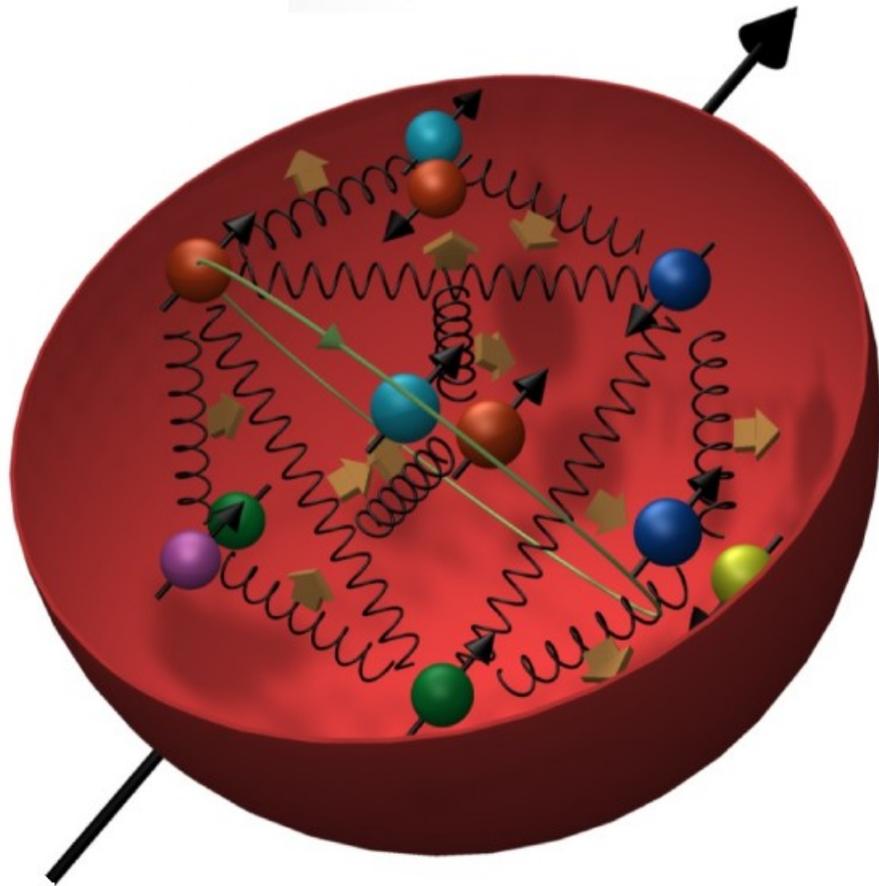
Inhalt

- Motivation
- Modelle und ausgewählte Resultate
- HERMES Detektor
 - Vorwärtsspektrometer
 - Rückstoßdetektor
 - Faserdetektor
- Messungen
 - Vorbereitungen
 - Ergebnisse
- Zusammenfassung

Nukleon Spin Budget



$$1/2 = J_q + J_g = \underbrace{1/2 \Delta \Sigma}_{\sim 1/3} + \underbrace{\Delta G}_{\sim O(0.1)} + \underbrace{L_q}_{?} + \underbrace{L_g}_{?}$$



Beiträge :

Gesamtdrehimpuls : J_q, J_g

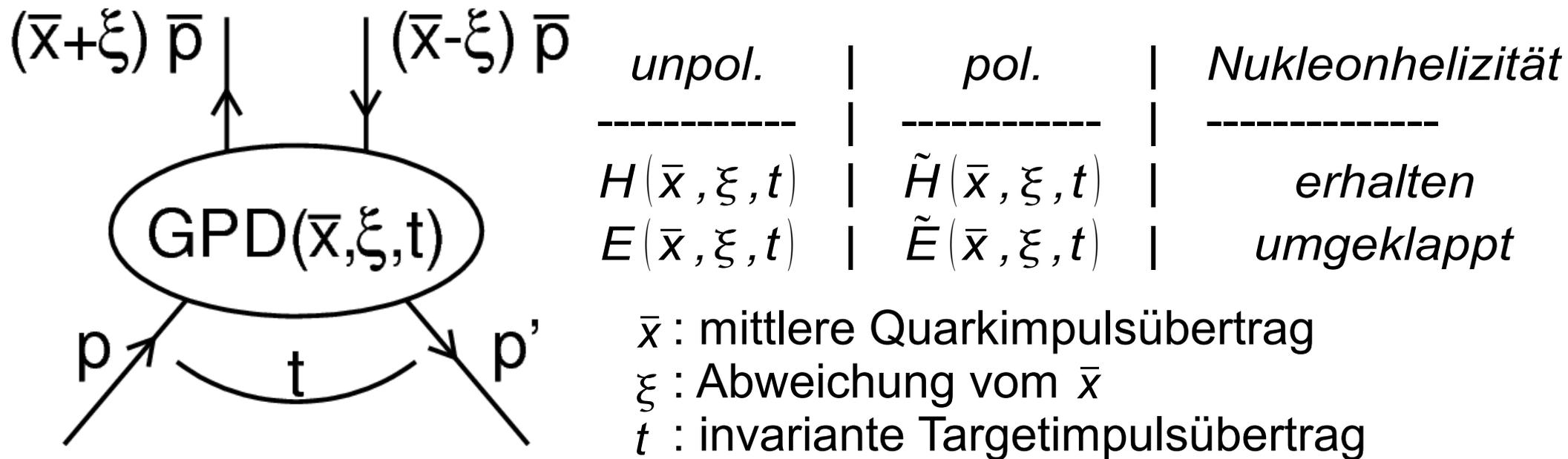
Bahndrehimpuls : L_q, L_g

Drehimpuls : $\Delta \Sigma, \Delta G$

Motivation für das

HERA measurements of spin
Experiment

Generalisierte Parton Verteilungen (GPDs)



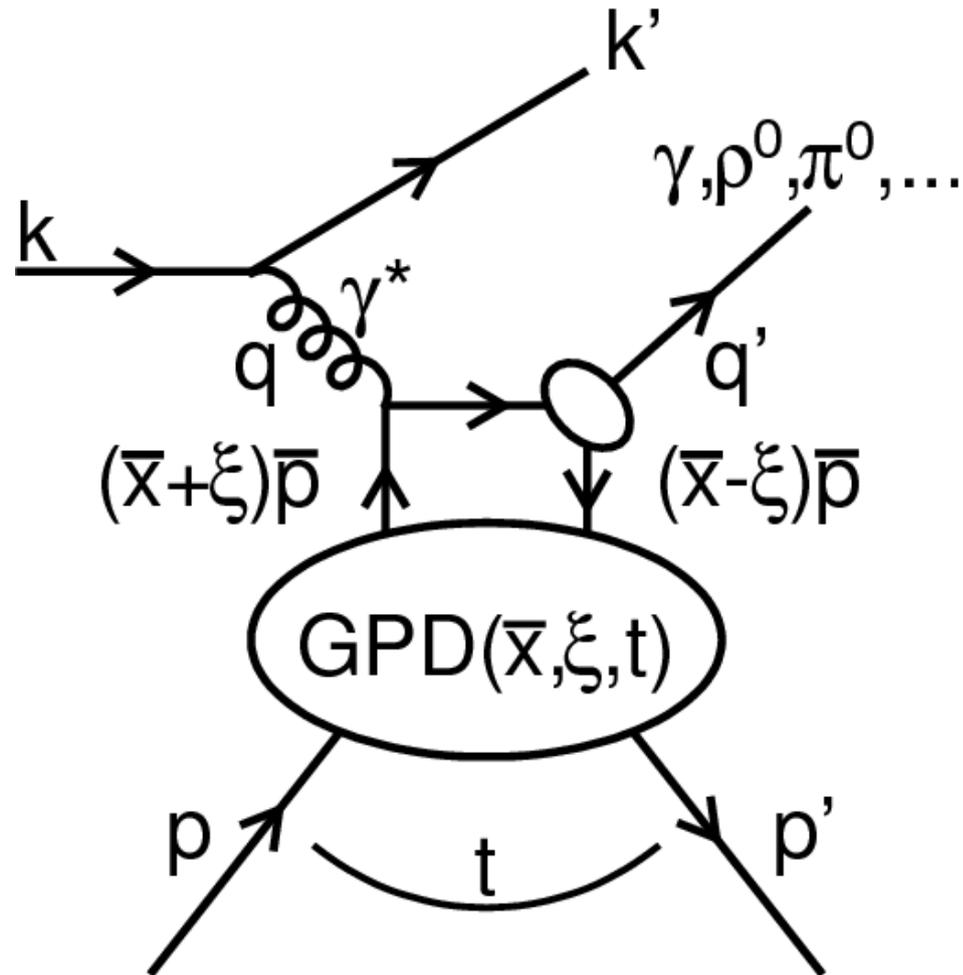
- **Form Faktoren** (F_1, F_2) der transversalen Ladungsverteilung
 - gemessen mit elastischer Streuung
 - enthalten als erstes Moment in \bar{x}
- **Strukturfunktionen** ($q, \Delta q$) der longitudinalen Impulsverteilung
 - gemessen mit tief inelastischer Streuung (DIS, deep inelastic Scattering)
 - enthalten im Limes $t \rightarrow 0$
- **Gesamtdrehimpulse** (J_q, J_g) der Quarks und Gluonen
 - Summenregel von Ji

$$J_{q,g} = \sum_f J_{q,g}^f = \sum_f \lim_{t \rightarrow 0} \int_{-1}^{+1} d\bar{x} \bar{x} \left(H_{q,g}^f(\bar{x}, \xi, t) + E_{q,g}^f(\bar{x}, \xi, t) \right)$$

Ji Sum Rule Ji, PRL 78(1997)610

Exklusive Reaktionen

Zugriff auf GPDs anhand Endzustand



Vektormesonen ($\rho, \omega, \Phi, \dots$)

- Zugriff auf Verteilungen von Quarks und Gluonen
 - gleicher Grössenordnung α_s
 - linearer Grössenordnung α_s
- Zugriff auf

H, E

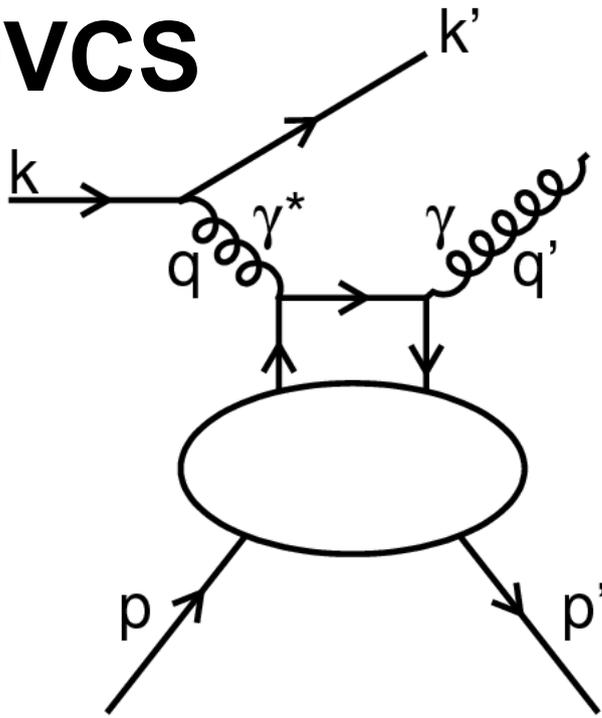
Tief virtuell Comptonstreuung (γ)

(DVCS; **D**eeply **V**irtual **C**ompton **S**cattering)

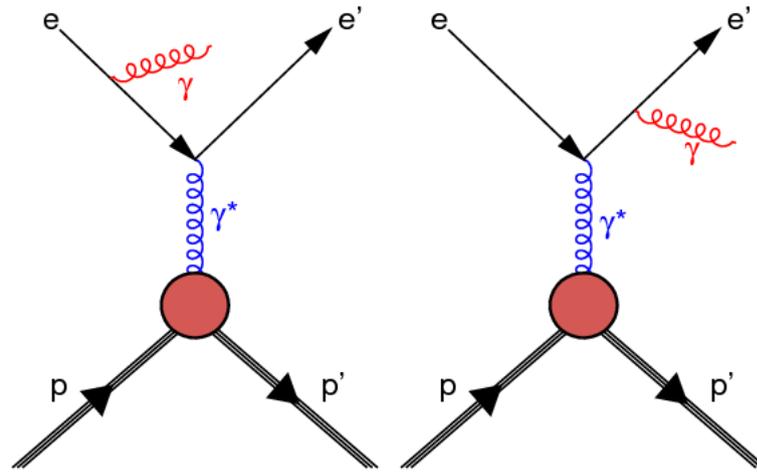
- theoretisch einfachster Zugriff
- Zugriff auf alle Verteilungen von Quarks

$H, E, \tilde{H}, \tilde{E}$

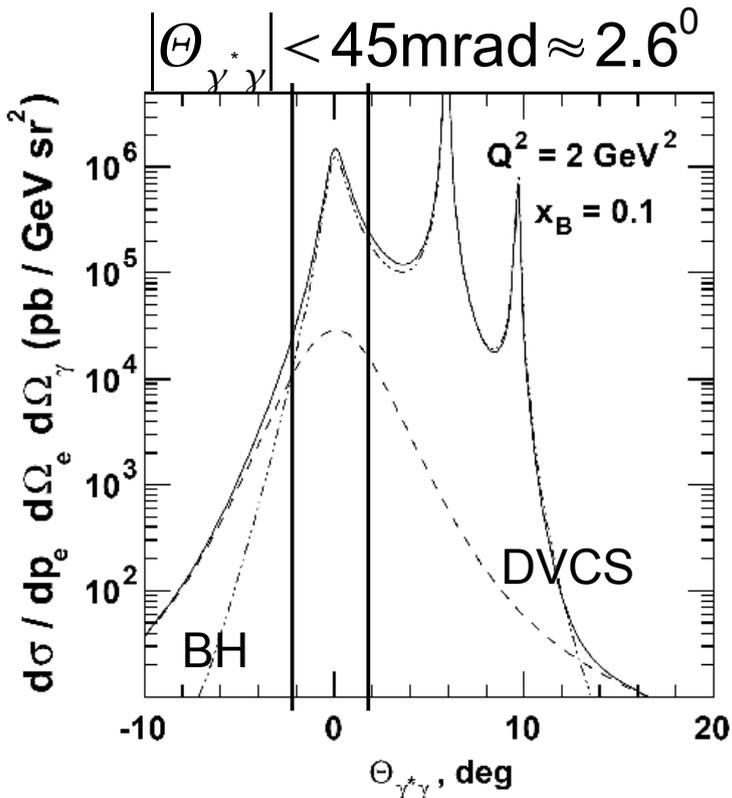
DVCS



Bethe-Heitler Prozess



Vollständige Berechnung in Rahmen der QED



Wirkungsquerschnitt

$$\frac{d\sigma}{dx dy d|t| d\phi} = \frac{\alpha_{em}^3 x y}{8\pi Q^2 e^6 \sqrt{1 + 4x^2 M^2 / Q^2}} |\tau|^2$$

mit Summe der linearen Amplituden

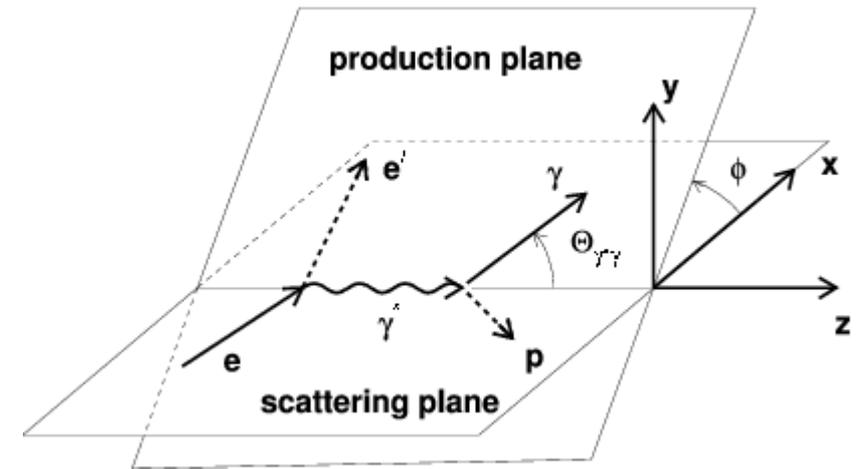
$$|\tau|^2 = |\tau_{BH} + \tau_{DVCS}|^2 = |\tau_{BH}|^2 + |\tau_{DVCS}|^2 + \mathfrak{I}$$

mit Interferenzterm

$$\mathfrak{I} = \tau_{BH}^* \tau_{DVCS} + \tau_{DVCS}^* \tau_{BH}$$

Azimutale Asymmetrien

Fourierentwicklung der Beiträge nach Φ



$$|\tau_{BH}|^2 = \frac{e^6}{x y^2 (1 + 4 x^2 M^2 / Q^2) P_1(\Phi) P_2(\Phi)} \left(\sum_{n=0}^2 (c_n^{BH} \cos(n \Phi)) \right)$$

$$|\tau_{DVCS}|^2 = \frac{e^6}{y^2 Q^2} \left(\sum_{n=0}^2 (c_n^{DVCS} \cos(n \Phi)) + \lambda s_1^{DVCS} \sin(\Phi) \right) \quad \begin{array}{l} P_1(\Phi), P_2(\Phi) \\ BH - \text{Propagatoren} \end{array}$$

C : Ladung der Strahlteilchen

λ : Helizität der Strahlteilchen

$$\mathfrak{T} = \frac{-C e^6}{x y^3 t P_1(\Phi) P_2(\Phi)} \left(\sum_{n=0}^2 (c_n^{\mathfrak{T}} \cos(n \Phi)) + \lambda \sum_{n=1}^2 (s_n^{\mathfrak{T}} \sin(n \Phi)) \right)$$

Kombination von variierten Messungen -> Koeffizienten

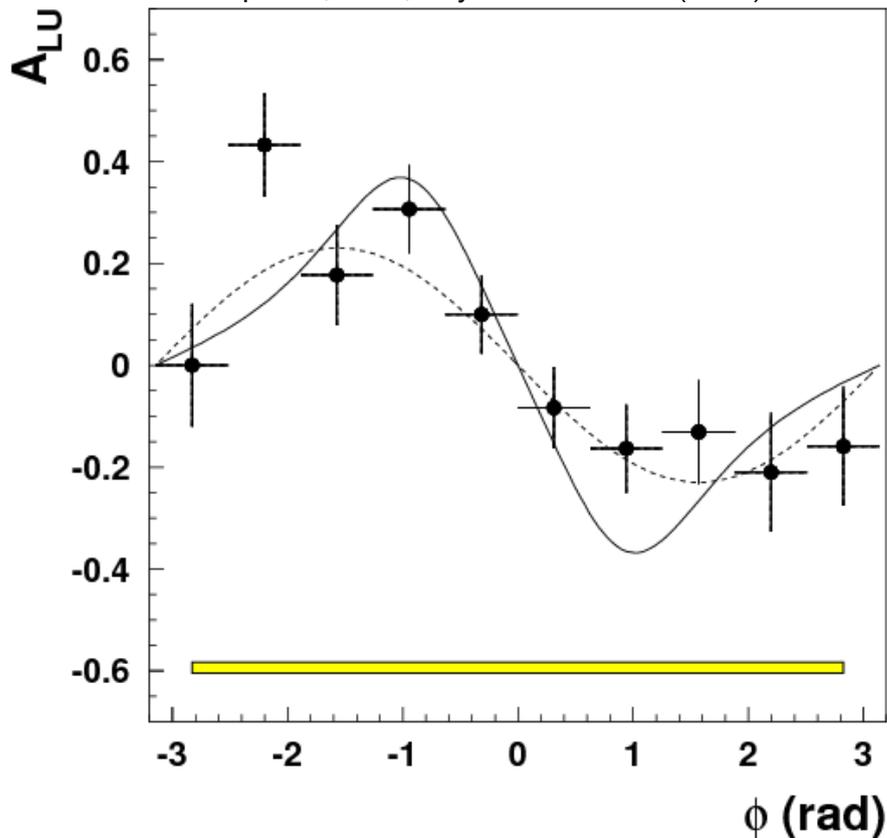
HERMES ausgewählte Resultate

BSA (Beam Spin Asymmetry)

$$A_{LU} = \frac{d\sigma^+ - d\sigma^-}{d\sigma^+ + d\sigma^-} = \frac{1}{\langle |P_B| \rangle} \frac{N^+ - N^-}{N^+ + N^-}$$

$$\propto C \frac{x}{y} \frac{s_1^{\tilde{s}}}{c_0^{BH}} \sin(\Phi) \approx 0.23 \sin(\Phi)$$

A. Airapetian, et al., Phys. Rev. Lett. 87 (2001) 182001



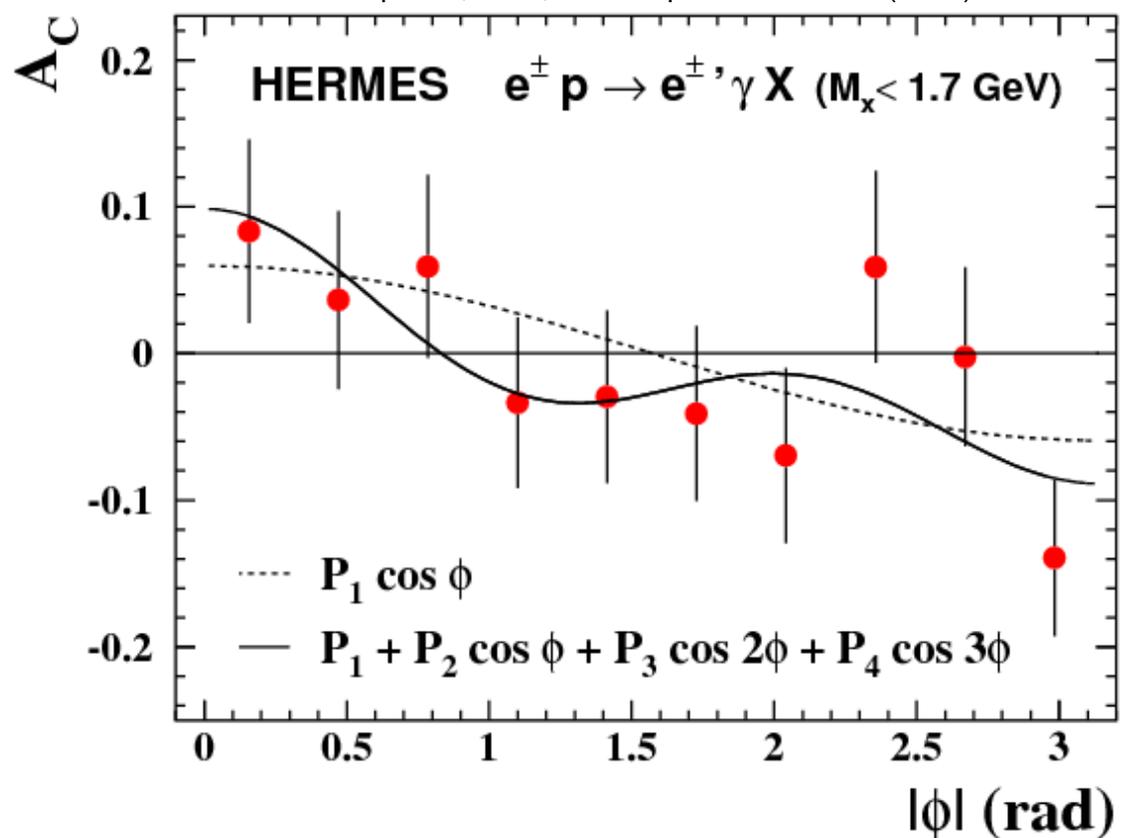
BCA (Beam Charge Asymmetry)

nur bei HERA wegen e^-/e^+ -Strahl

$$A_C = \frac{d\sigma^+ - d\sigma^-}{d\sigma^+ + d\sigma^-} = \frac{N^+ - N^-}{N^+ + N^-}$$

$$\propto -\frac{x}{y} \frac{c_1^{\tilde{s}}}{c_0^{BH}} \cos(\Phi) \approx 0.06 \cos(\Phi)$$

A. Airapetian, et al., arXiv:hep-ex/0605108v3 (2006)

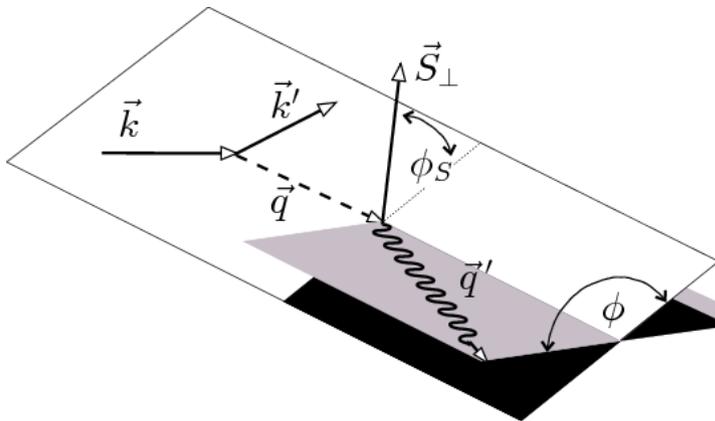


HERMES ausgewählte Resultate

Gesamtdrehimpulse J_u und J_d der u- und d-Quarks

A. Airapetian, et al., arXiv:hep-ex/0802.2499v2 (2008)

Target
transversal polarisiert



Komplementäre Messung

von

p-DVCS ist n-DVCS

da

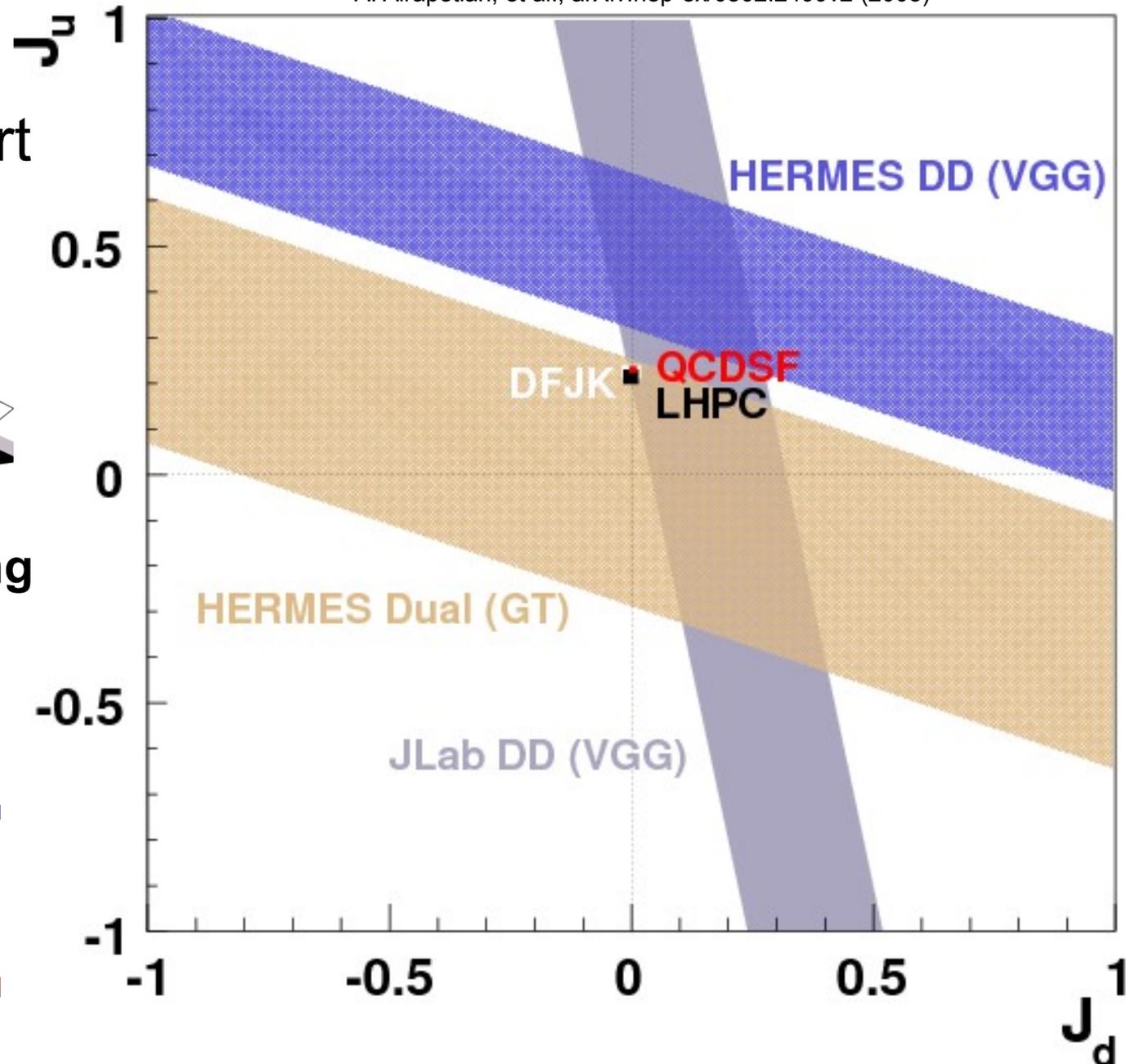
p-DVCS sensitive auf J_u

(wegen p=uud)

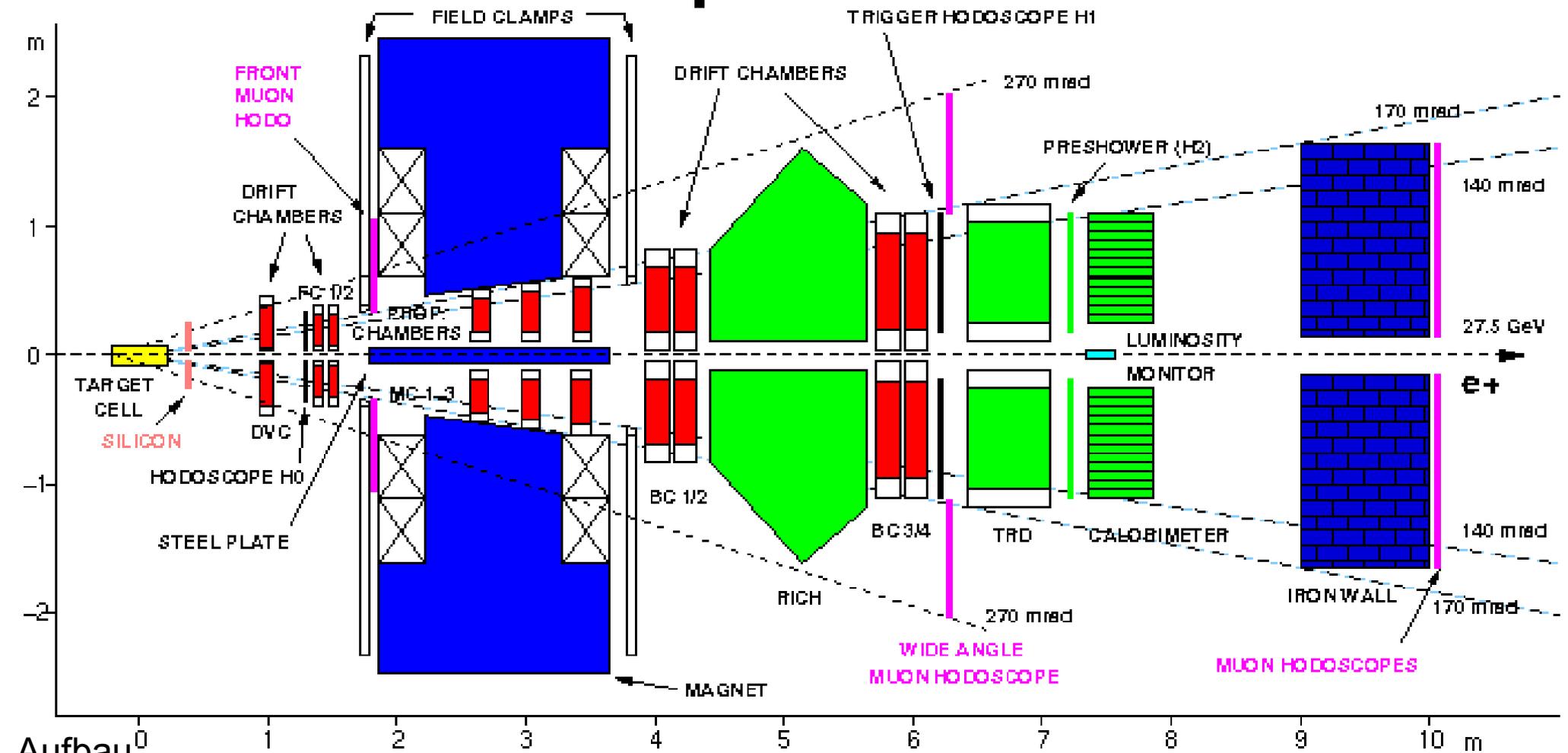
und

n-DVCS sensitive auf J_d

(wegen n=udd)



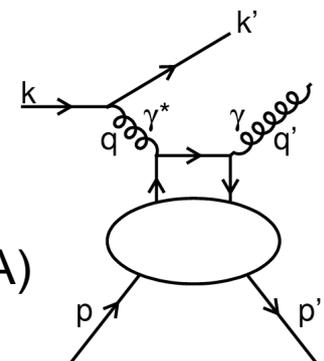
HERMES Vorwärtsspektrometer



- Targetzelle für Gase als quasi-fixed Target (gelb)
- Magnet zur Ablenkung geladener Teilchen (blau) (1.4Tm)
- Detektoren zur Spurrekonstruktion (rot) ($dp/p < 1.6\%$, $d\Theta < 1\text{mrad}$)
- Detektoren zur Teilchenidentifikation (grün) (Eff > 98%)

Kennzahlen

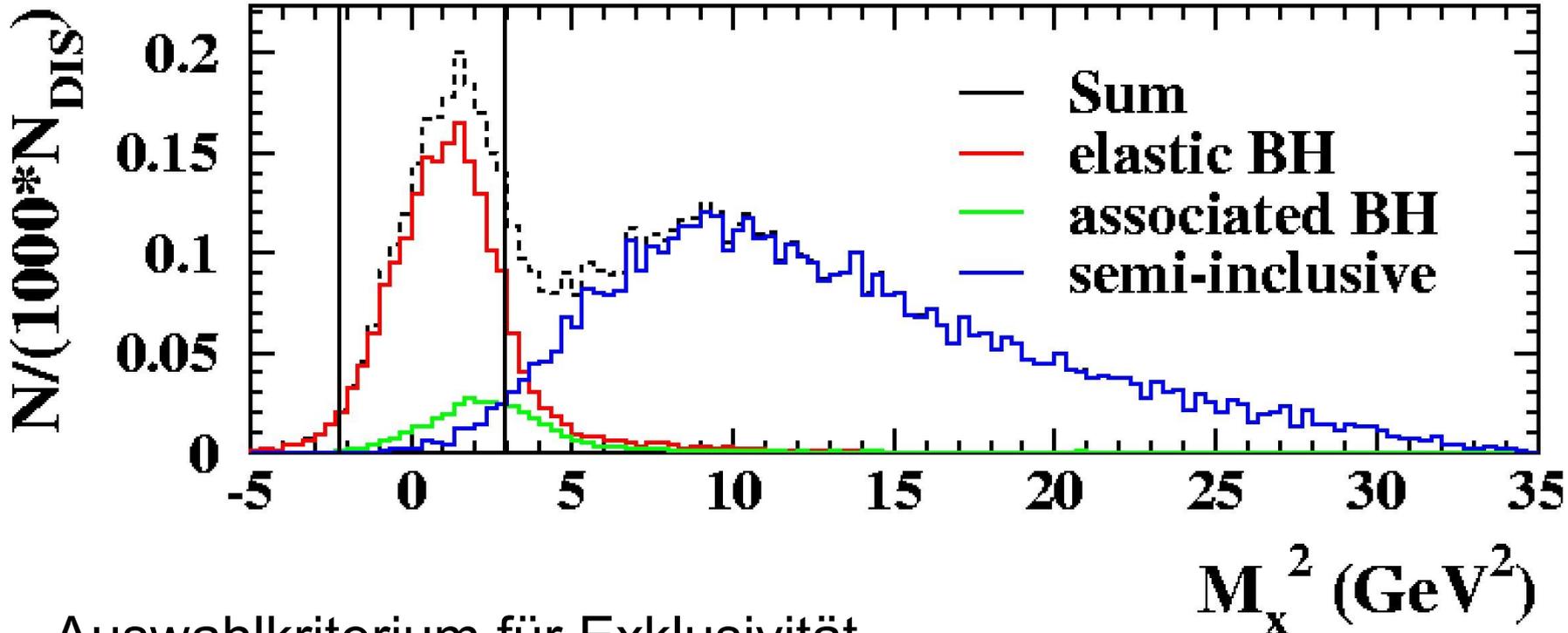
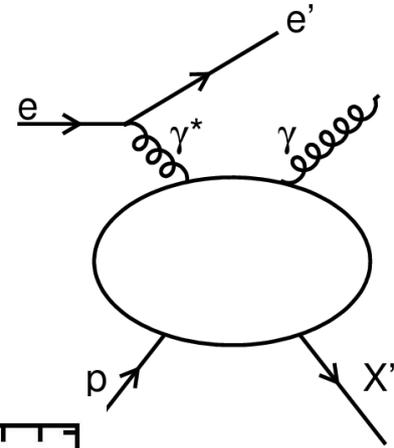
- Strahl : pol. e^-/e^+ mit 27.5GeV (Pol > 55%, anfangs $\sim 50\text{mA}$, nach 12h $\sim 10\text{mA}$)
- Target : pol. $^1\text{H}, ^2\text{H}, ^3\text{He}$ (tPol > 78%, lPol > 85%); unpol. $^1\text{H}_2, ^2\text{H}_2, ^4\text{He}, \text{N}_2, \text{Ne}, \text{Kr}, \text{Xe}$
- Vorwärtsspektrometer : $0.02 < x < 0.8$ bei $Q^2 = 1\text{GeV}^2$ und $W^2 = 4\text{GeV}^2$



Auswahl exklusiver Streuereignisse

Monte Carlo Studien der Reaktionen $ep \rightarrow e'\gamma X'$

Verteilung der fehlenden invariante Masse $M_X^2 = (p_e + p_p - p_{e'} - p_\gamma)^2$



Auswahlkriterium für Exklusivität

$$-1.5^2 = -2.25 < (M_X/\text{GeV})^2 < 2.89 = 1.7^2$$

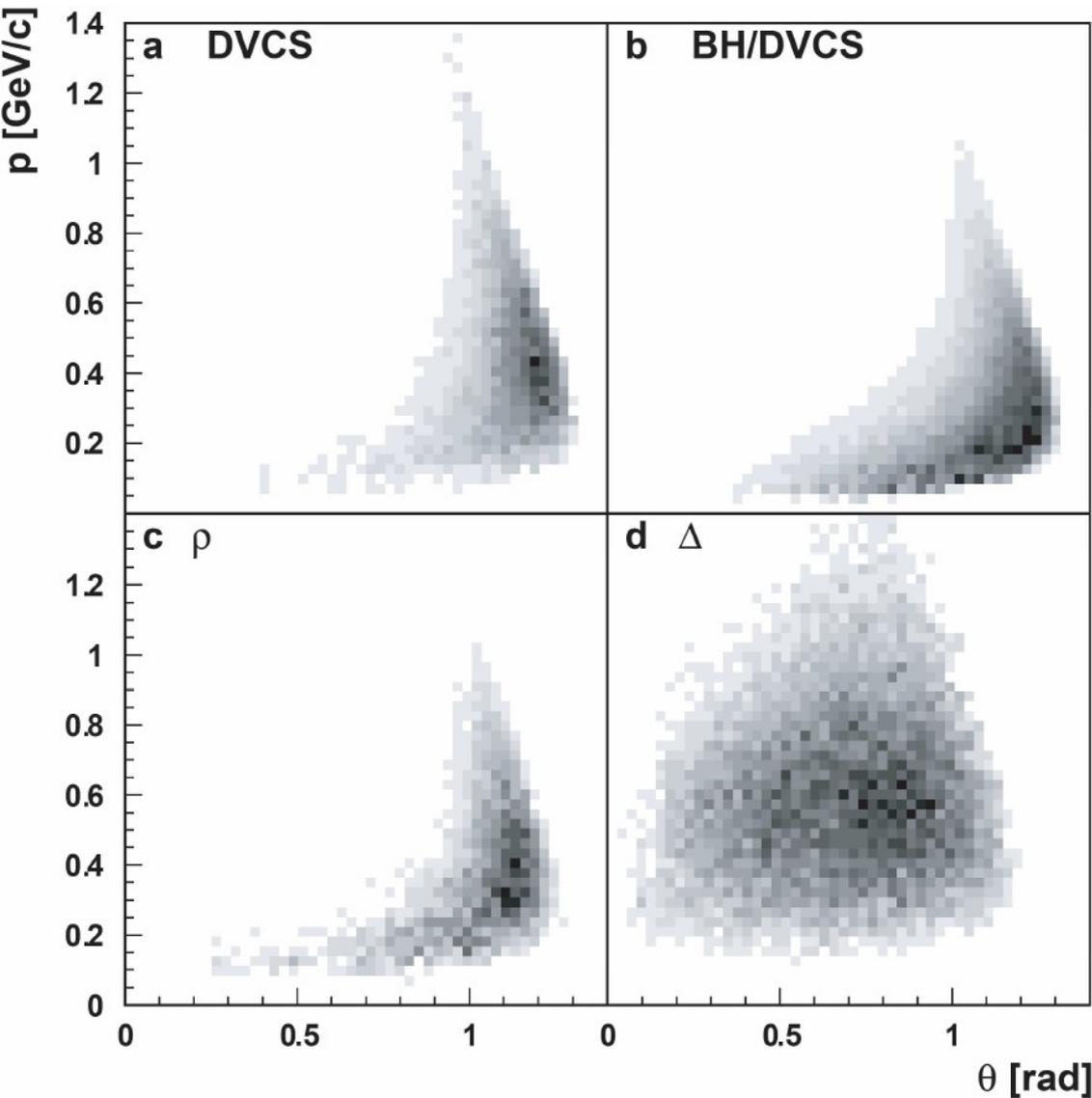
~ 16 % der exklusiven Ereignissen kontaminiert

- ~5% semi-inklusive Reaktionen
- ~11% assoziierter BH-Prozess

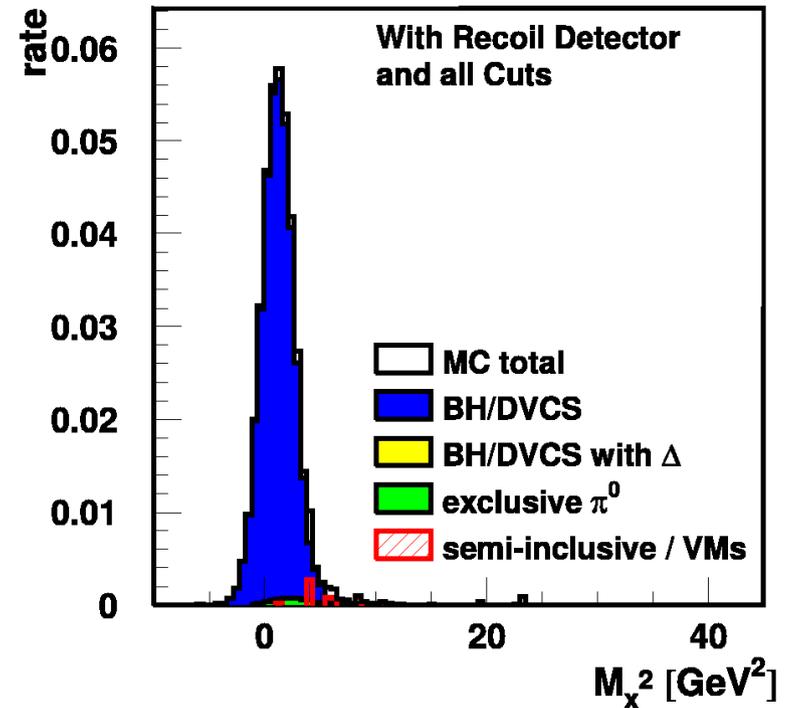
► Motivation für einen Rückstoßdetektor

Anforderungen an Rückstoßdetektor

Monte Carlo Studien zur Kinematik



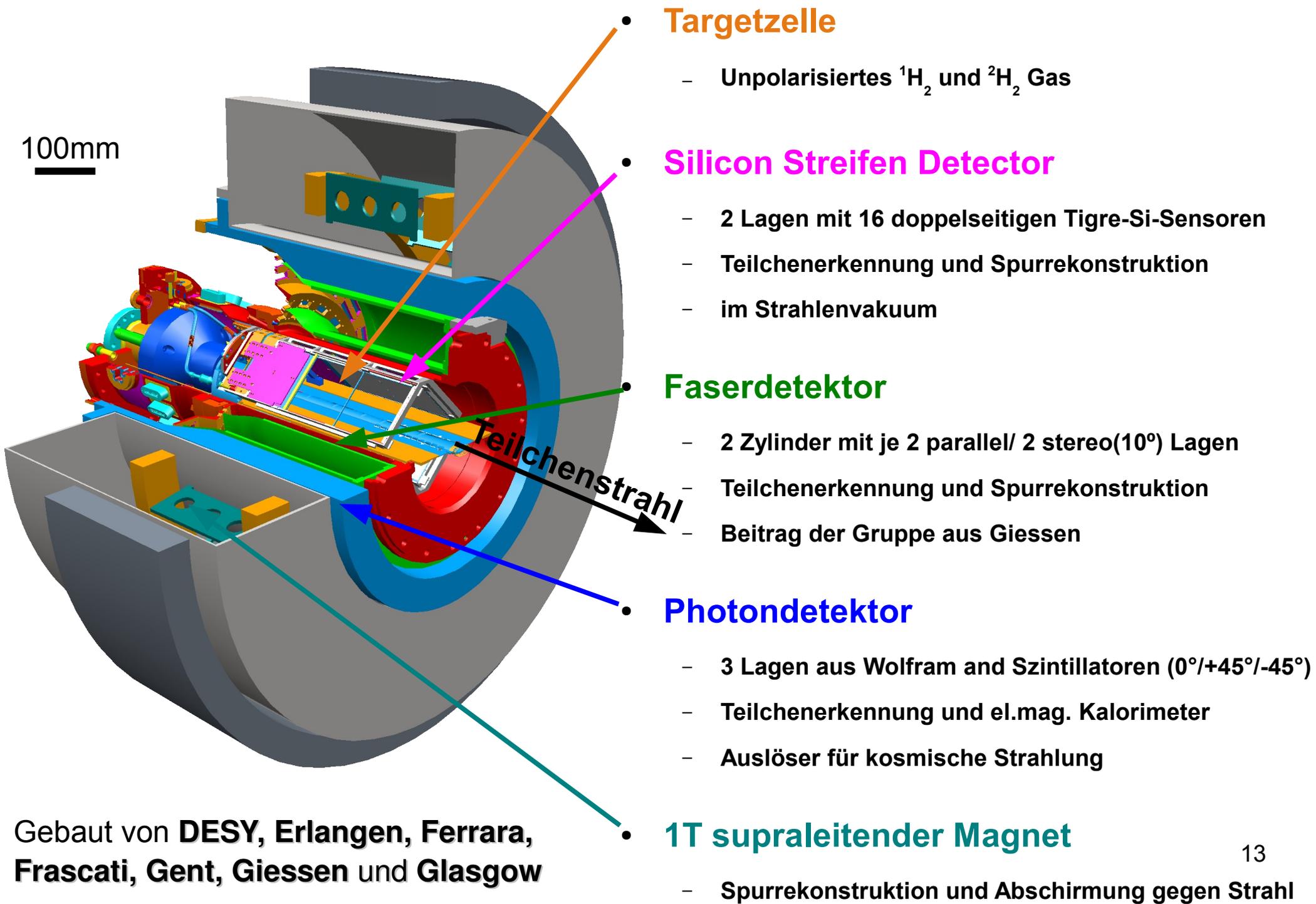
Ereignisse ohne Untergrund



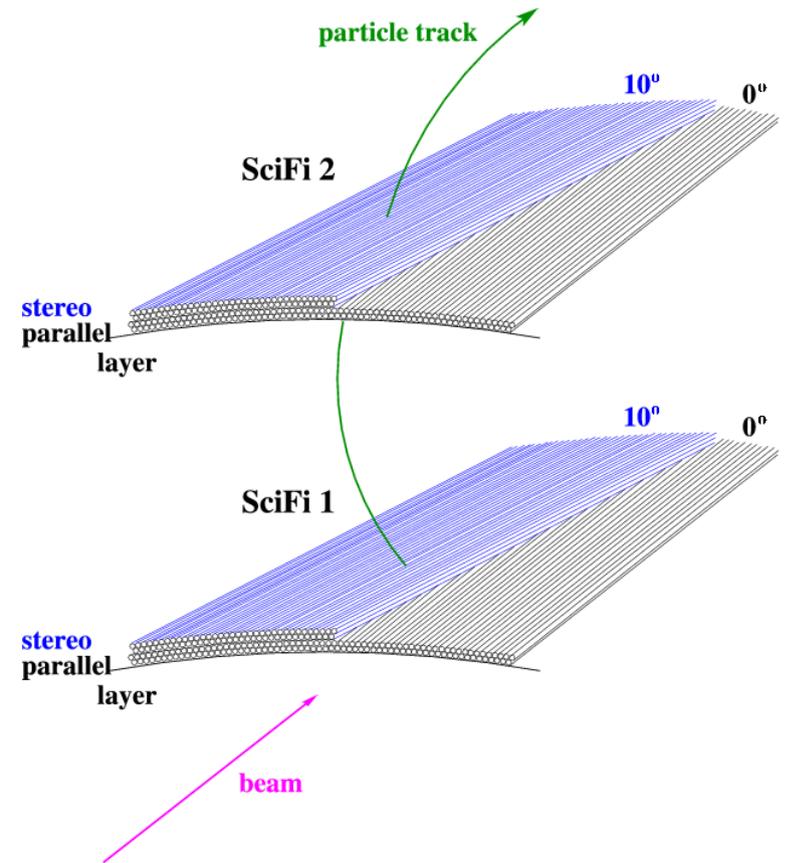
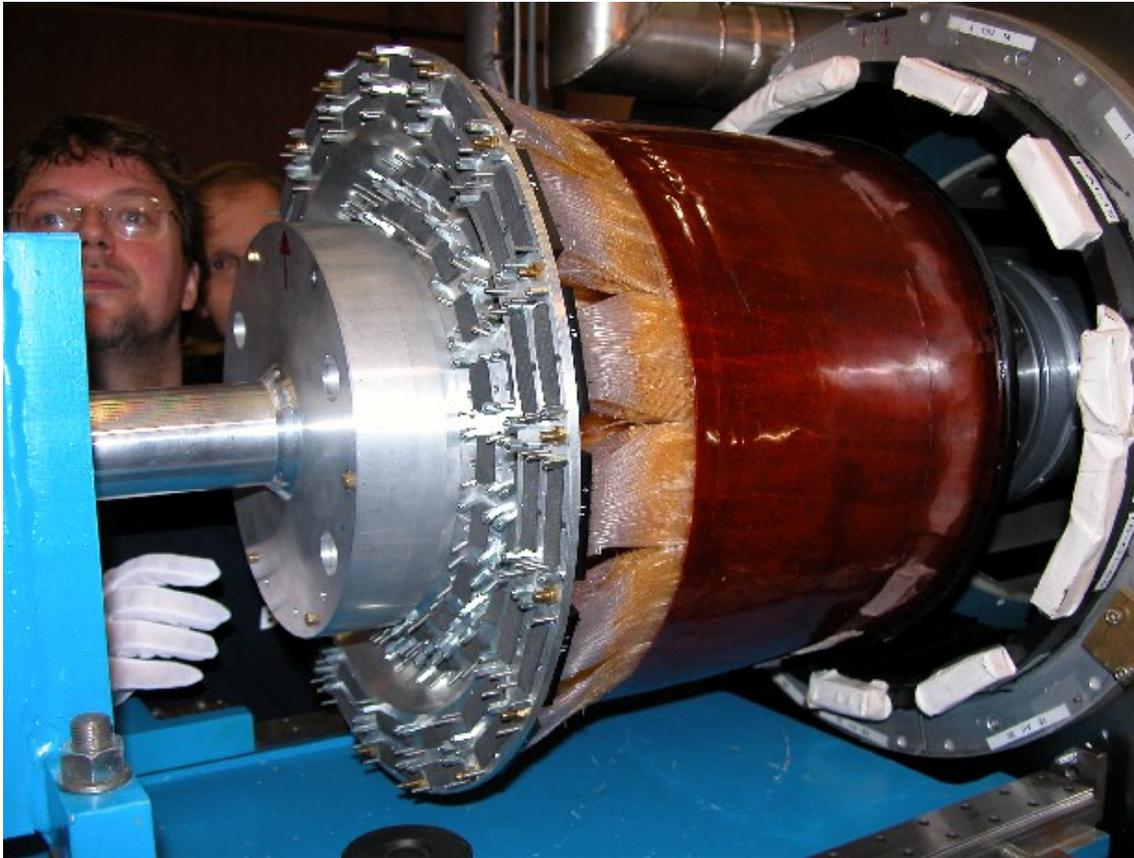
Erwartete Verbesserungen

- **~5% \blacktriangleright \ll 1% semi-inklusiv**
- **~11% \blacktriangleright \ll 1% assoziierter BH**
- **bessere Auflösung des invarianten Impulsübertrages t auf das Target durch direkte Messung**

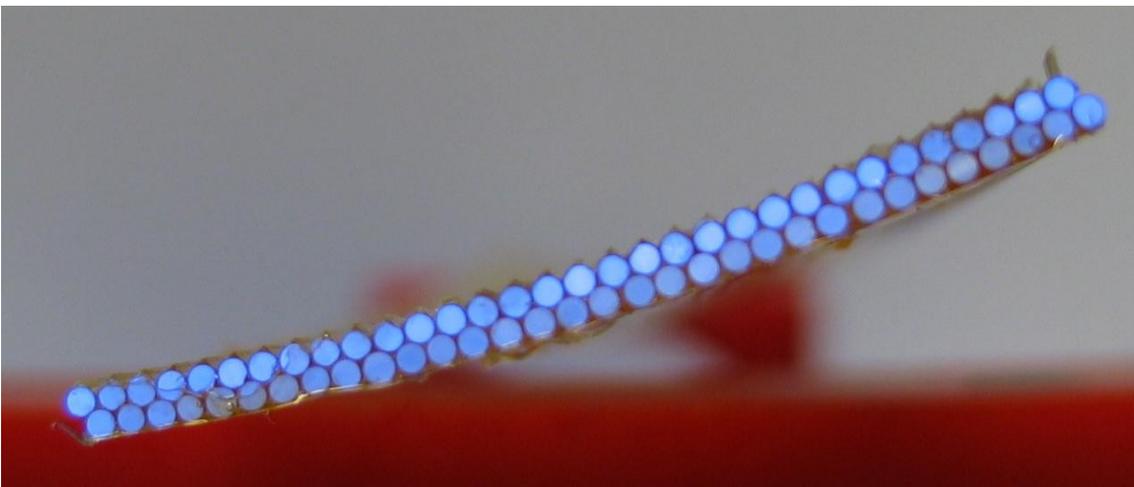
Realisation des Rückstoßdetektors



Faserdetektor (SFT)



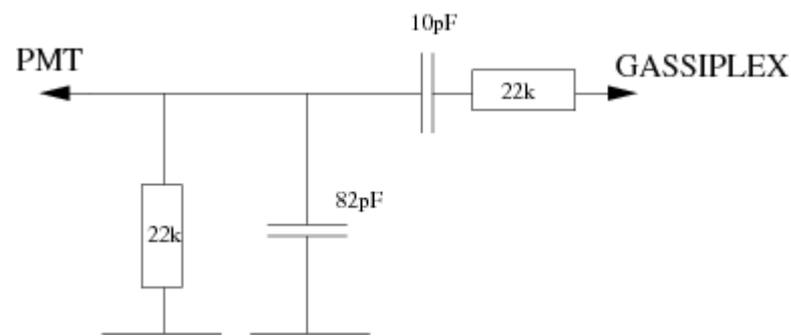
- modularer und selbsttragender Aufbau
- \varnothing 1mm Kuraray-Fasern für Detektor
- Poly-Hi-Tech für Lichtleiter zwischen Detektor und PMT
- >7000 Fasern mit doppeltem Mantel und verspiegelten Faserenden
- Azimutal 2π Akzeptanz mit 8mrad Winkelauflösungsvermögen
- Impulsbereich 250-1400MeV/c
- $\varnothing_{\text{innen}}$: $\sim 218\text{mm}$ und $\varnothing_{\text{ausen}}$: $\sim 375\text{mm}$
- Länge : $\sim 370\text{mm}$



SFT-Auslese

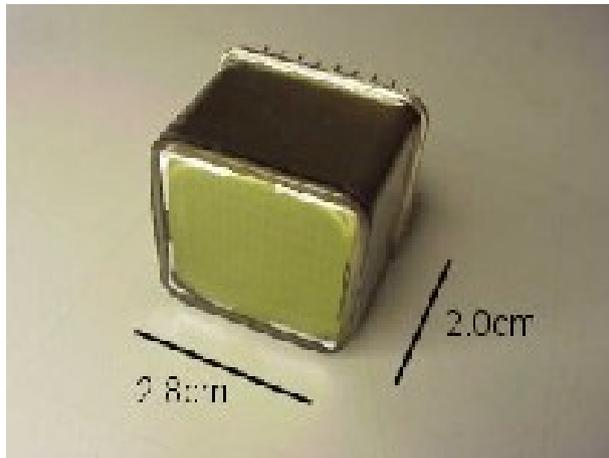
Hamamatsu H7546B

- **8x8** Multi-Anode-PMT
- **sehr schnelle** Antwort
- **geringes Übersprechen**
- 13 Verstärkerstufen
($>10^6$ bei 1000V)
- **Dynode 12** Signal für schnelle Signalverfolgung



Leistungsanpassung

mittels RC-Schaltung
auf separaten CDC-PCB



Xilinx FPGA

Gassiplex

Charge
Division
Circuits

HV

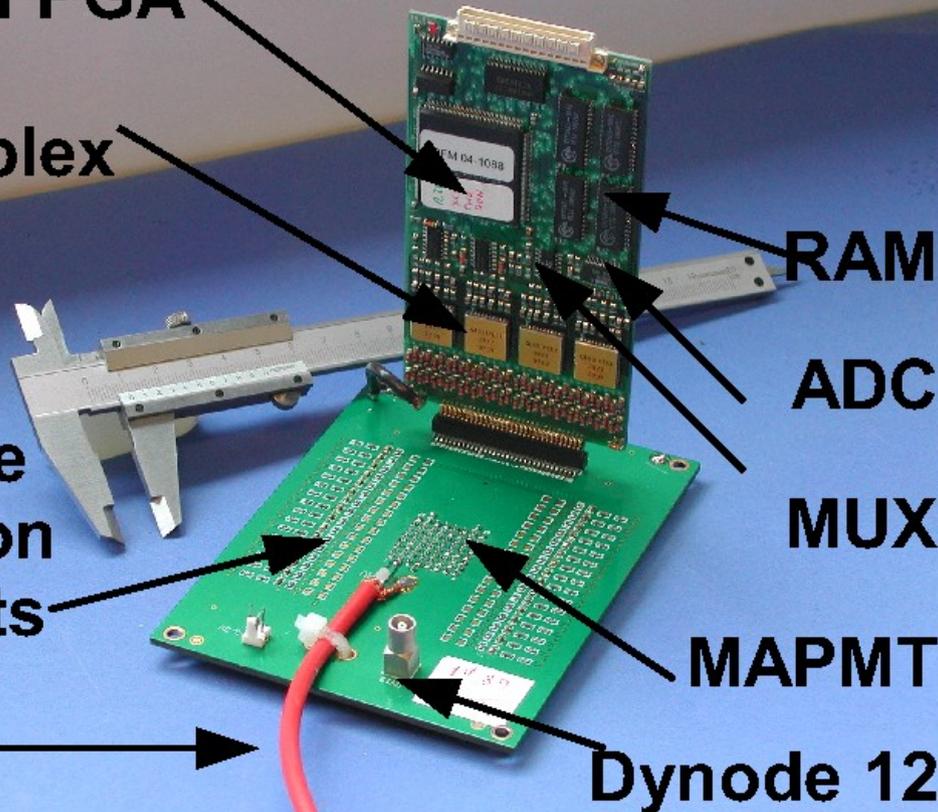
RAM

ADC

MUX

MAPMT

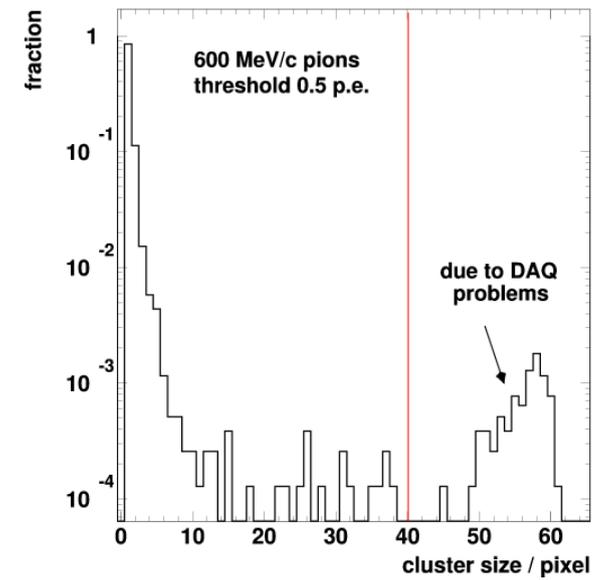
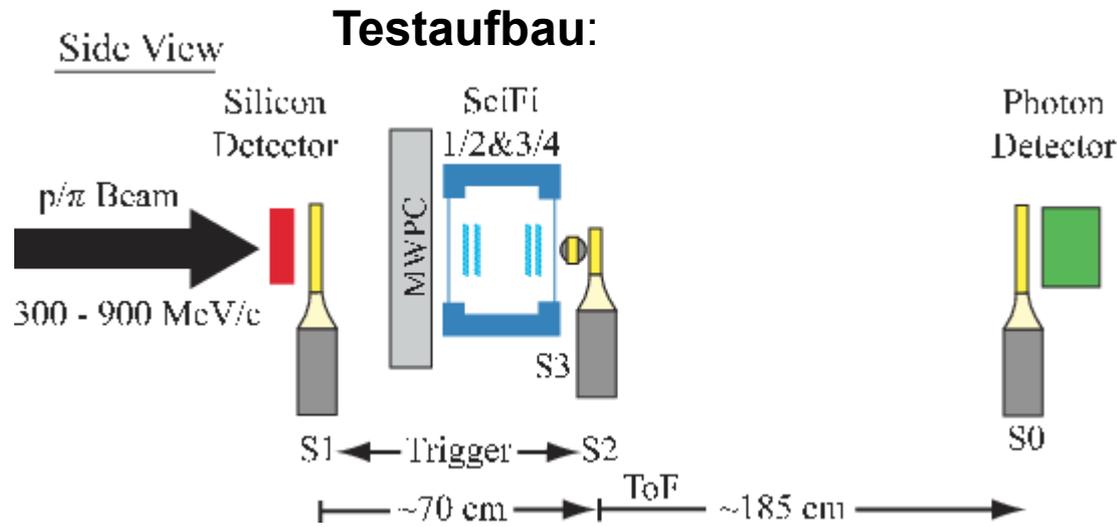
Dynode 12



ADC-Auslese

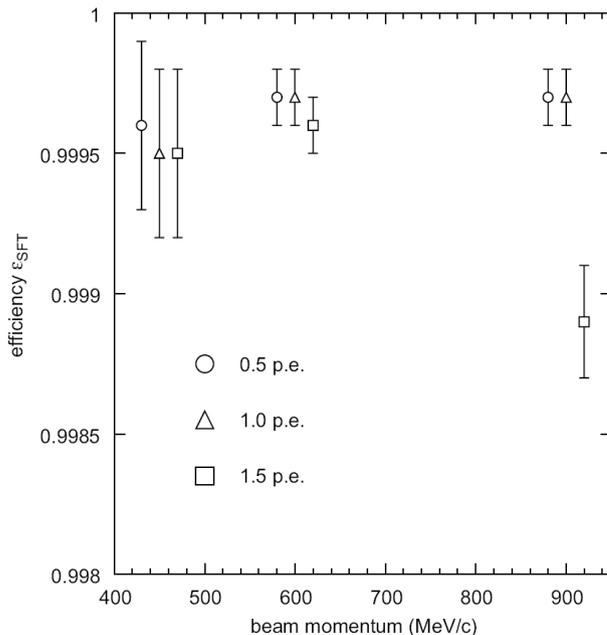
- Auslese basiert auf **PFM** von HADES Experiment bei GSI in Darmstadt
- **Gassiplex**-Chips zur Abtastung von 16 Kanäle
- Video-Multiplexer 4:1 Konzentrator
- **sehr schneller** 10 Bit ADC
- **FPGA**-gesteuert für flexible Anpassungen
- optional **Rauschunterdrückung**
- Etwa **5000 Auslesekanäle**
- VME-basierte Auslese

Messungen zur Verifikation



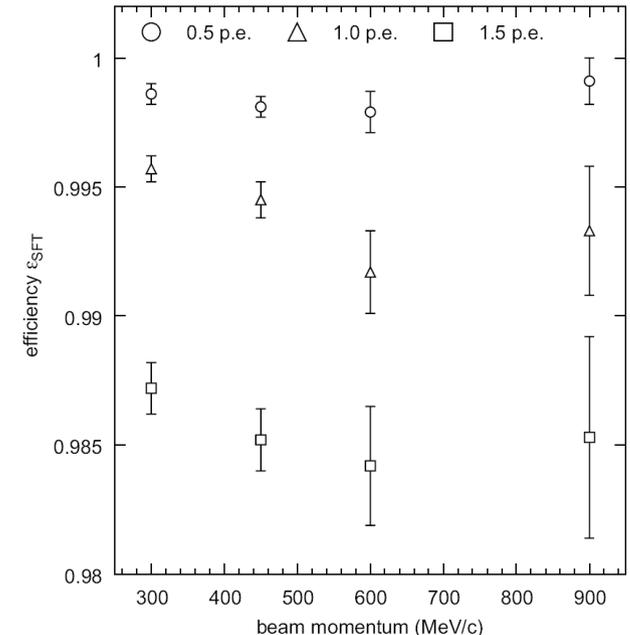
Auslese mit "stop"-mode: manuelle Erzeugung der Steuersignale wie Takt...
 -> Auslese mit "run mode" notwendig

$$\text{Detektoreffizienz} := \frac{\text{Treffer}_{\text{MWPC und SFT}}}{\text{Treffer}_{\text{MWPC}}} > 0.98$$



p

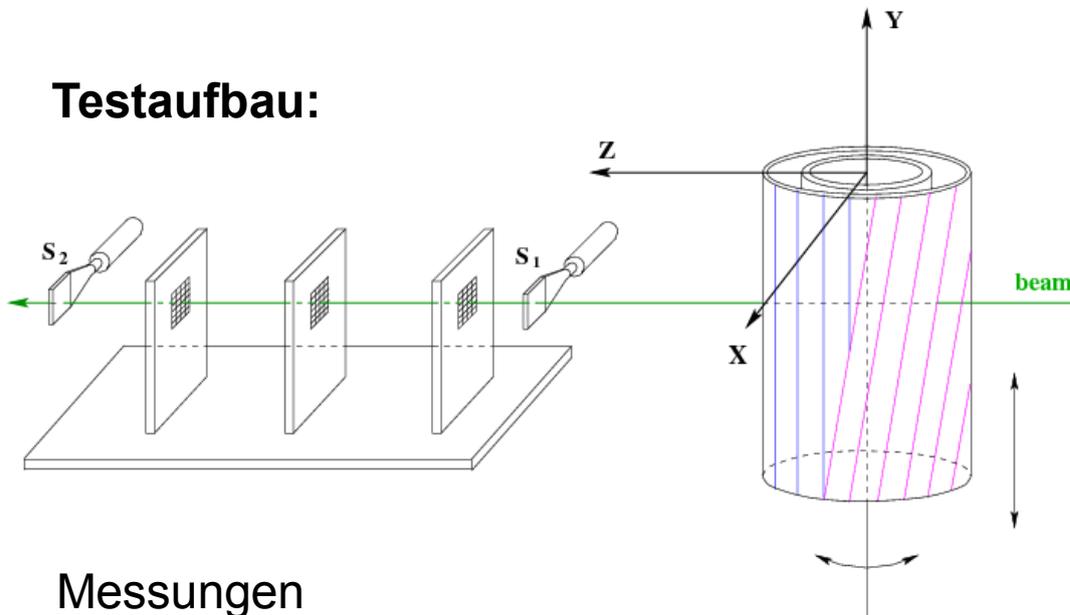
Detektoreffizienz für verschiedene Schwellwerte für Protonen (p) und Pionen (π)



π

Messungen der exakten Faserpositionen

Testaufbau:



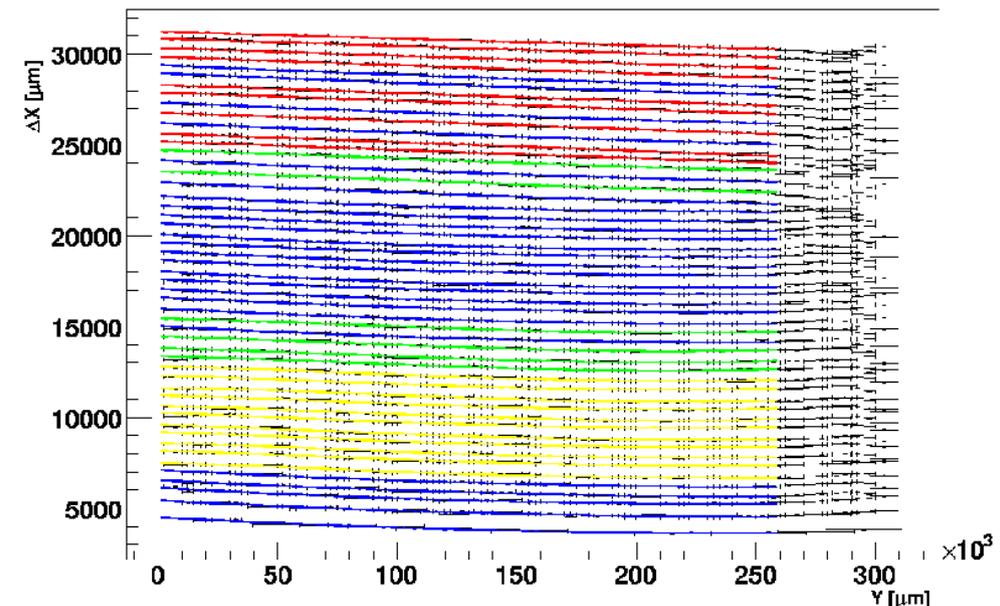
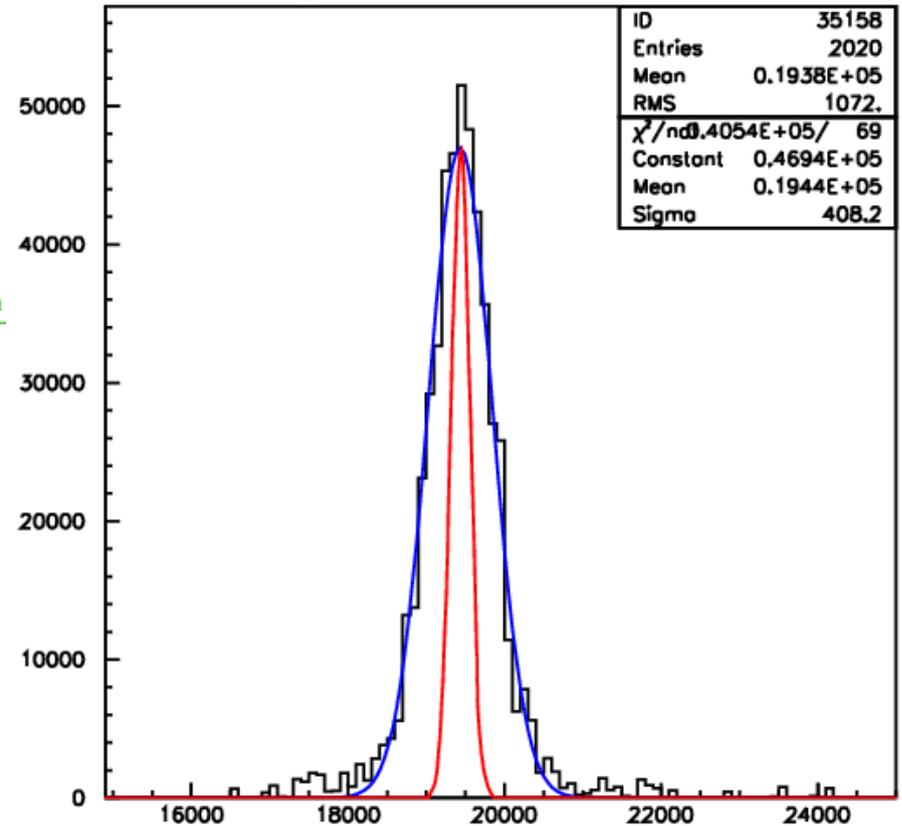
Messungen

- Teststrahl 22 bei DESY in Hamburg
- **e-/e+** Teilchenstrahl bei **5.5 GeV**
- Telesope interne Auflösung
 - 19 μm ohne SFT-Detektor
 - 20 μm mit SFT-Detektor
- ▶ **keine Störungen**
- **erwünschte x/y-Auflösung** von wenige 100 μm **erreicht**
- Faserverlauf parametrisiert mit **Polynom $O(4)$** ; Ordnung mit verschiedenen Farben gekennzeichnet

Auslese

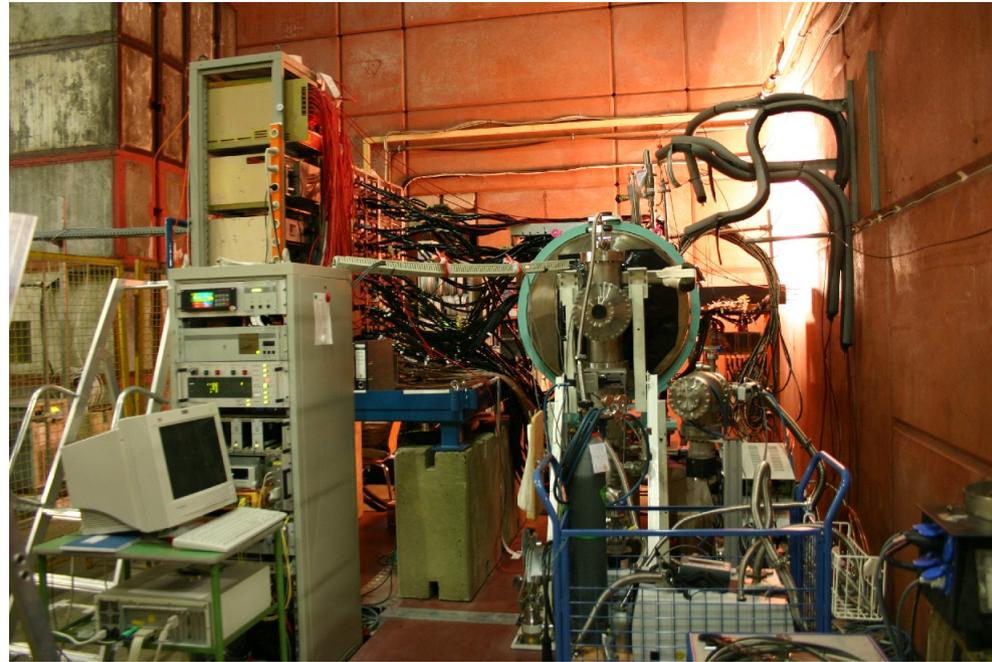
- "run"-mode **sehr stabil**
- HERMES Einbindung in **Assembler**

▶ **Auslese mit DTU notwendig**



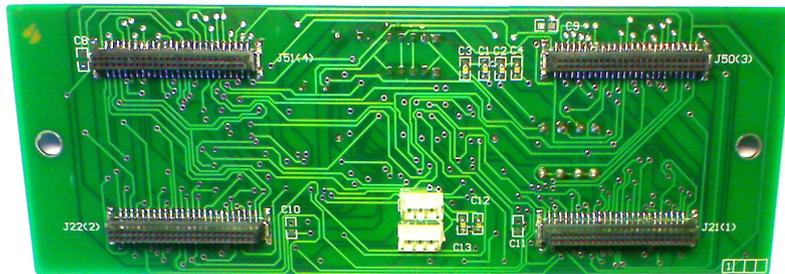
Messplatz fuer kosmische Strahlung

Testeinrichtung:

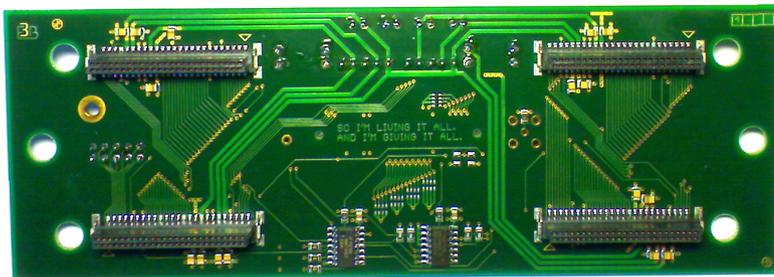


- **Vorbereitung der Installation** des vollständigen Rückstoßdetektors
- Software für **Spurrekonstruktion**
- **Ausrichtung** der Teildetektoren
- **Kalibration** der Teilchenidentifikation
- Studien der **Detektoreffizienz**

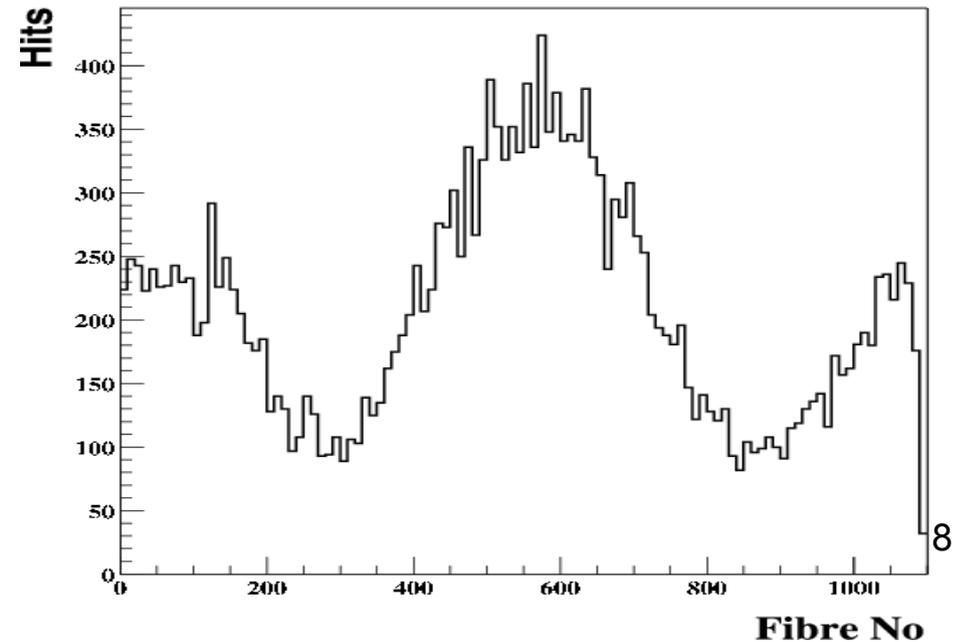
- **erfolgreiche** Einbindung in die **HERMES Auslese**



Neuproduktion der Leiterplatten



Azimutale Trefferverteilung kosmischer Teilchen mit Multiplizität=2



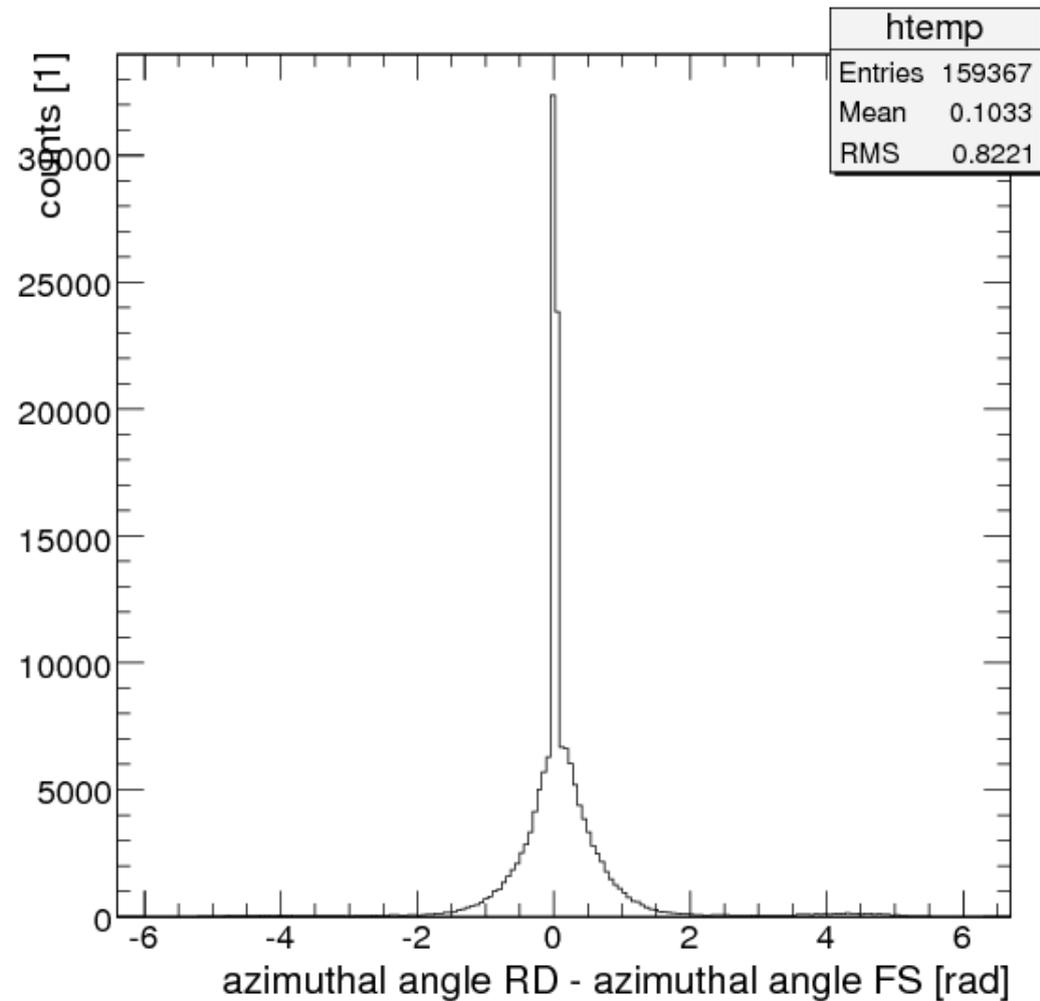
Installierter HERMES Rückstoßdetektor (Vorderansicht)



2006d/2006d0 Auswertungen (1/4)

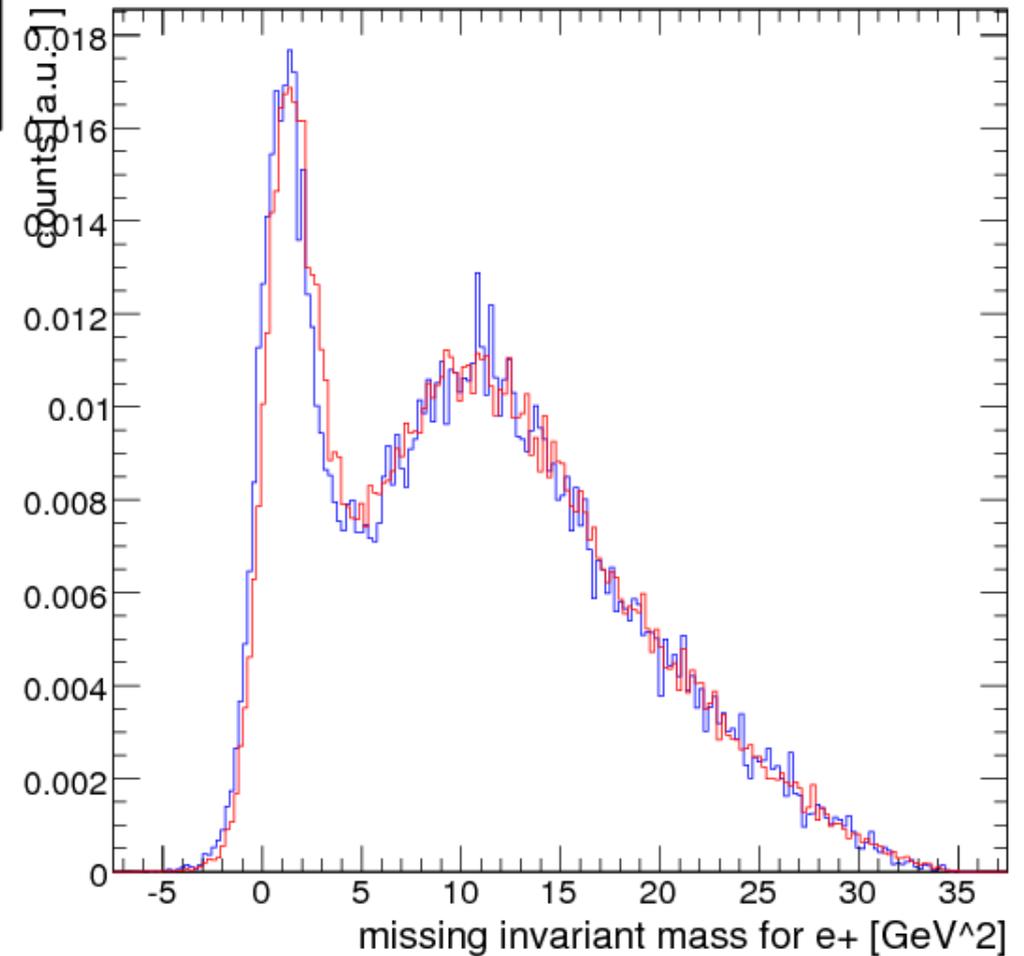
Vergleich der Detektoren für elastische
Streuung von Elektronen an Protonen

► sehr gute Übereinstimmung



Unterschiede von DVCS-Ereignisse für
Elektronen- und Positronenstrahl

► wird zur Zeit nachkalibriert

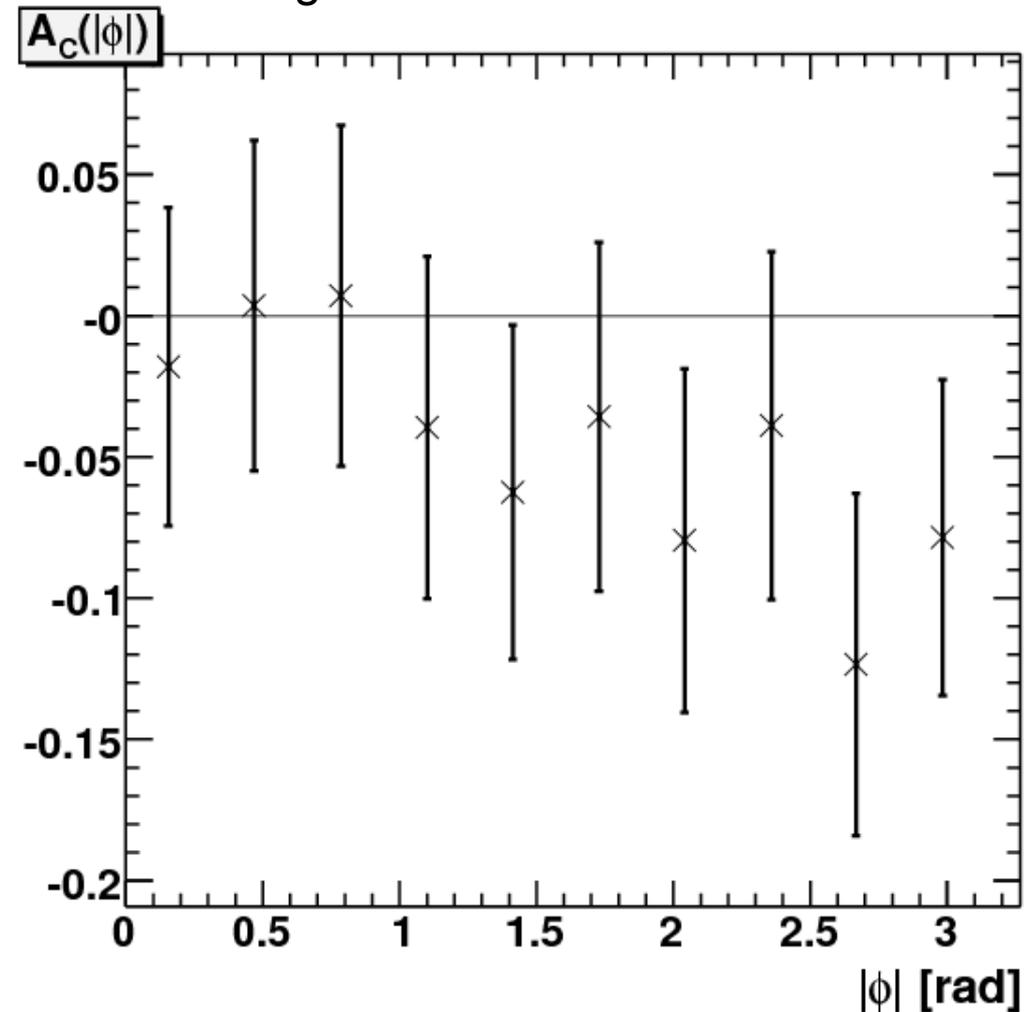
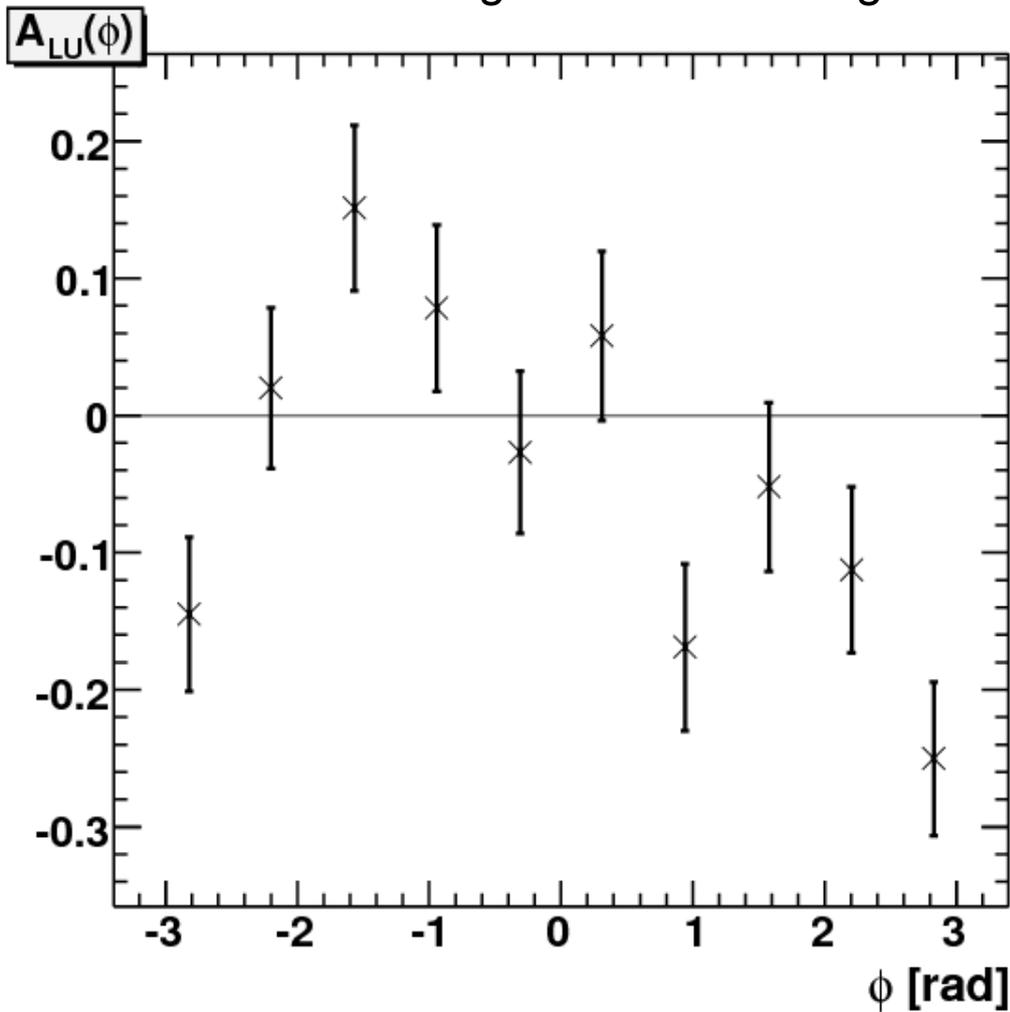


2006d/2006d0 Auswertungen (2/4)

Erste Auswertungen von DVCS-Ereignissen

- Beam Spin Asymmetry (links) $A_{LU}(\Phi) \propto C \frac{x}{y} \frac{s_1'}{c_0^{BH}} \sin(\Phi)$
- Beam Charge Asymmetry (rechts) $A_C(\Phi) \propto -\frac{x}{y} \frac{c_1'}{c_0^{BH}} \cos(\Phi)$

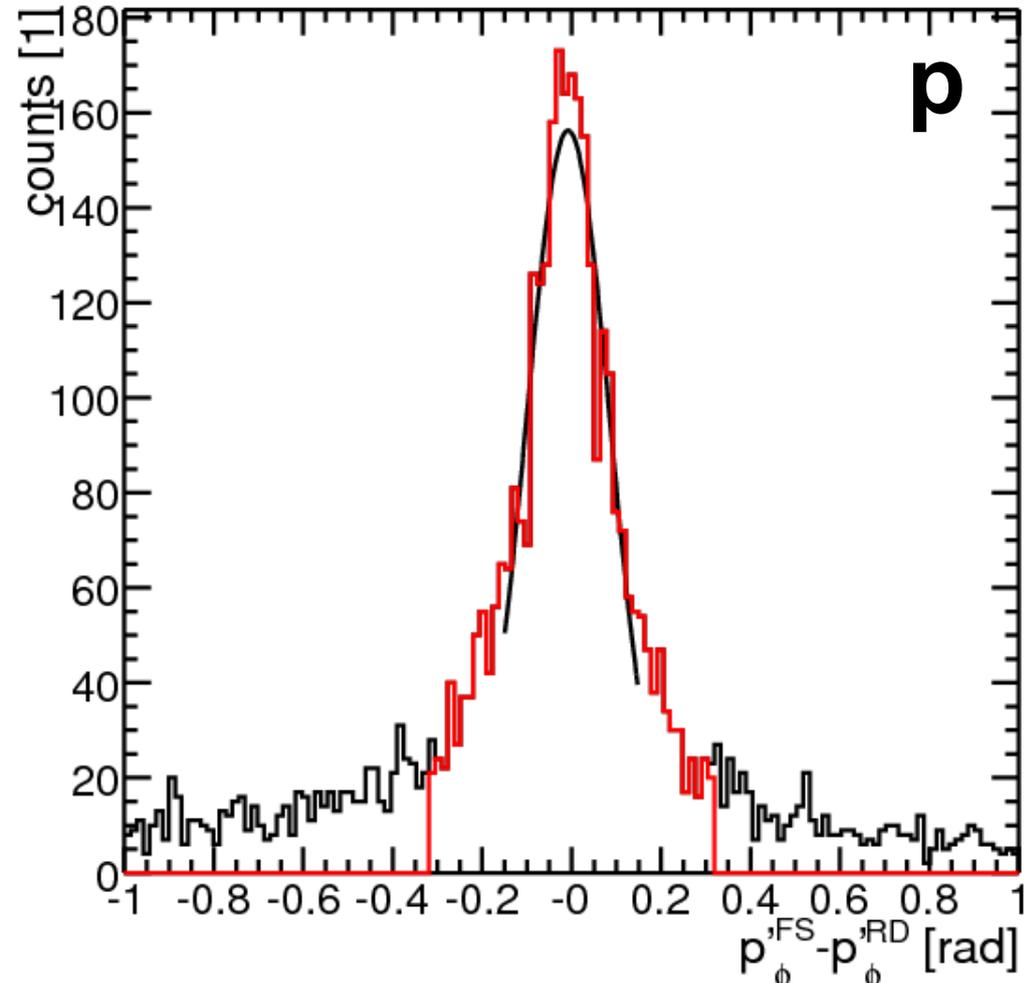
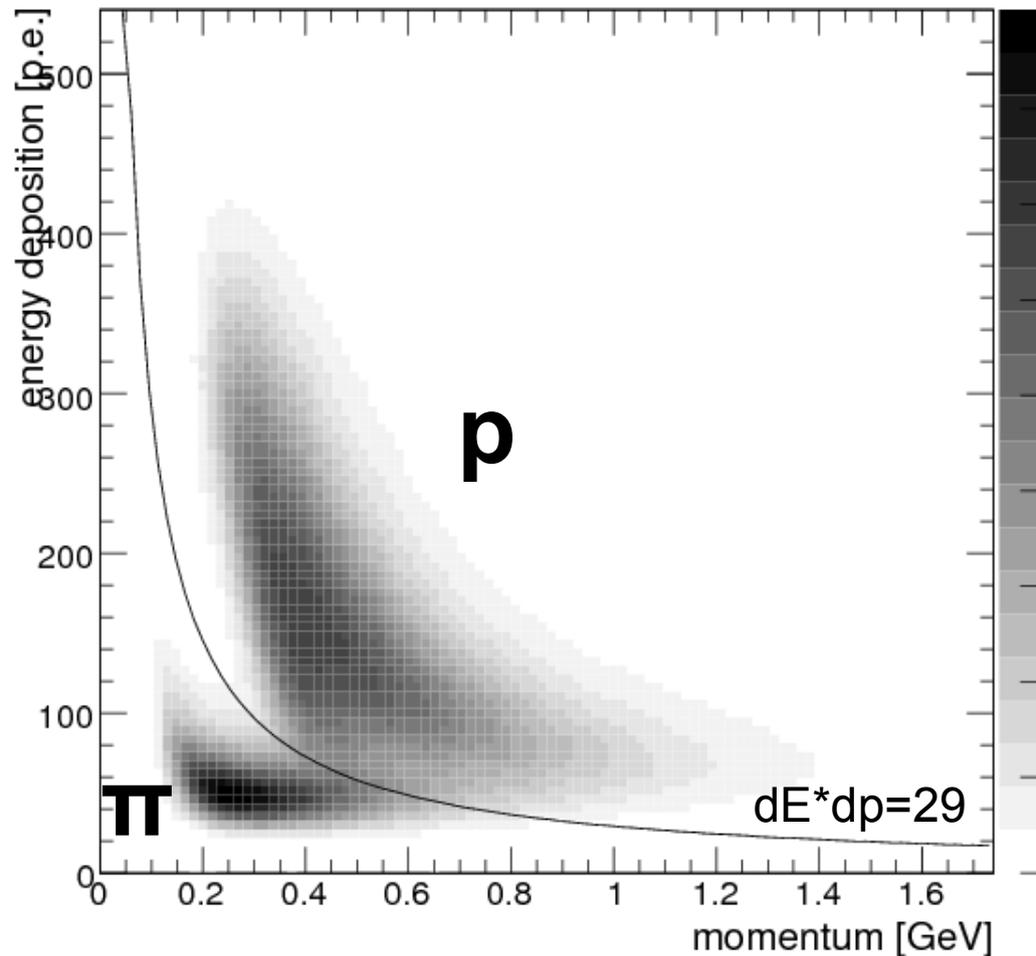
▶ mit vorläufiger Kalibrationen gute Übereinstimmungen



2006d/2006d0 Auswertungen 3/4

Teilchenidentifikation anhand Energieverluste dE für zugehörigen Impuls p im Rückstoßdetektor allein für rekonstruierte Spuren
▶ sehr vielversprechend

Verteilung der Differenzen der azimutalen Komponente der rekonstruierten Impulse von DVCS-Ereignissen mit im Rückstoßdetektor identifizierte Protonen
▶ Gauß-Anpassung an Spitze
▶ $\pm 3\sigma$ Auswahl der Ereignisse

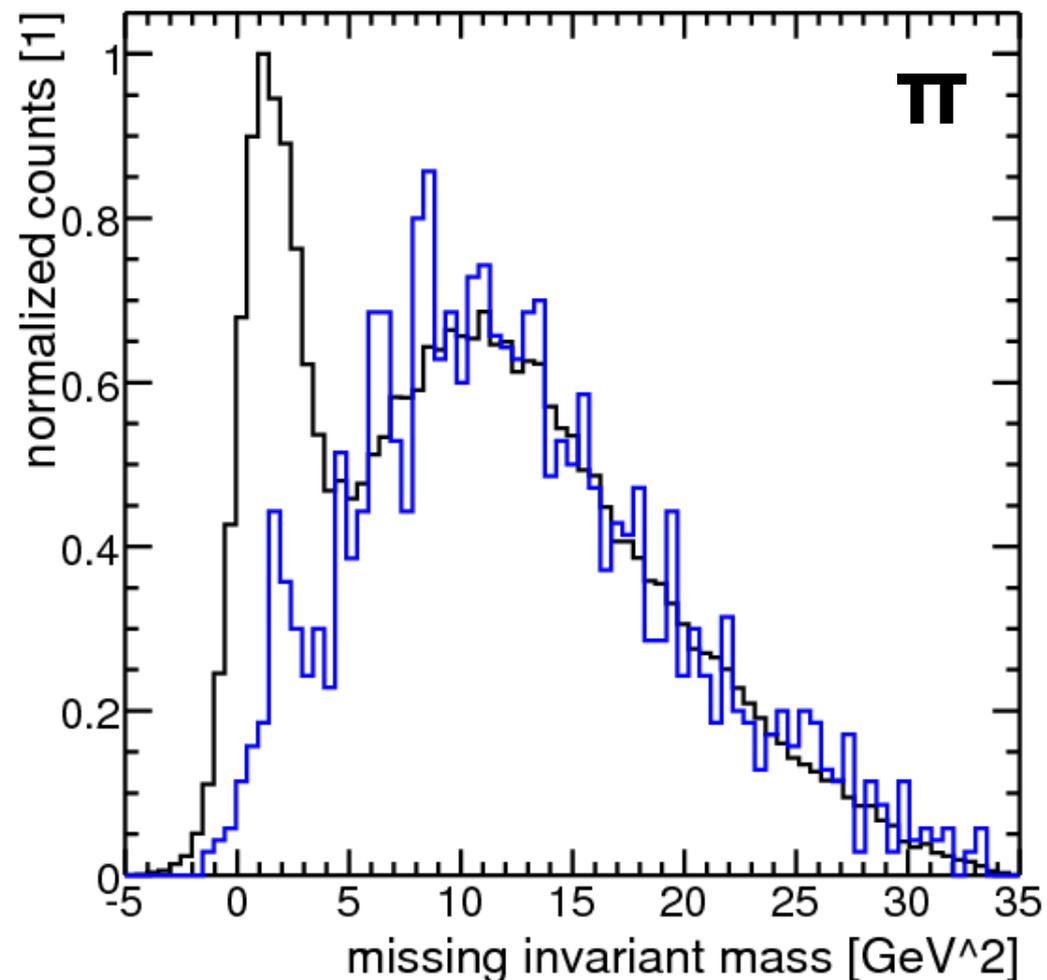
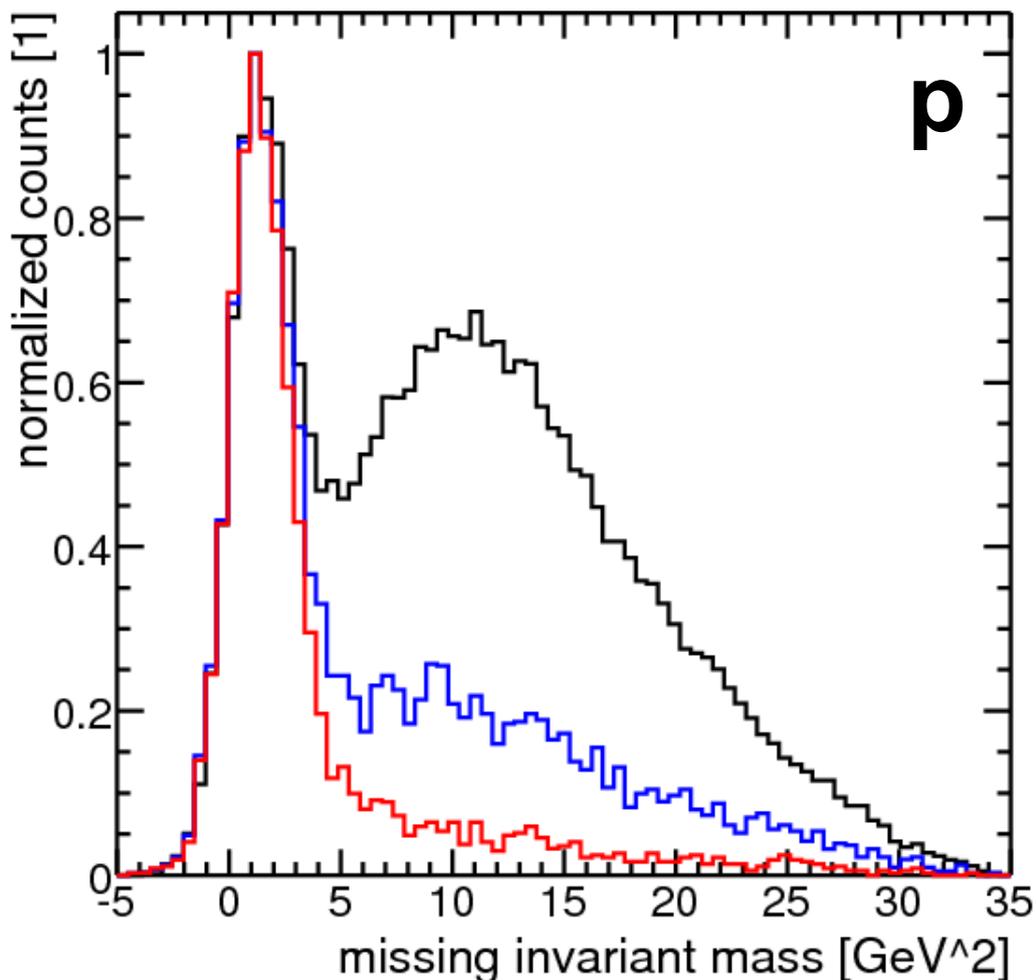


2006d/2006d0 Auswertungen 4/4

Verteilungen der fehlenden invarianten Masse für DVCS-Ereignisse

- nur mit HERMES Forwärtsspektrometer rekonstruiert
- genau eine Spur im Rückstoßdetektor gefunden
 - Proton (Bild links)
 - Pion (Bild rechts)
- $<3\sigma$ -Abweichung der azimuthalen Komponente der Impulse

► sehr vielversprechend



Zusammenfassung

- **Motivation** für den Bau des Rückstoßdetektor
- **erfolgreiche Installation**
- **umfangreiche Datennahme** in 2006/2007
 - bisher gefundene Anzahl DVCS-Ereignissen

Strahlteilchen	1H_2	2H_2	Rückstoßdetektor
-----	-----	-----	-----
e^-	13k	2k	nur SFT
e^+	60k	15k	komplett

- Erste **Analysen sehr vielversprechend**
 - Detektion der zurückgestreuten Teilchen
 - gute Übereinstimmungen der Detektoren
 - Unterdrückung von Untergrund

