Untersuchung der tief-virtuellen Compton-Streuung mit dem HERMES-Experiment

Frank Ellinghaus

Desy Zeuthen

für die HERMES-Kollaboration

Leipzig, März 2002

- Motivation
- HERMES
- GPDs und DVCS
- Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

Die Spin-Struktur des Nukleons

longitudinally polarized nucleon

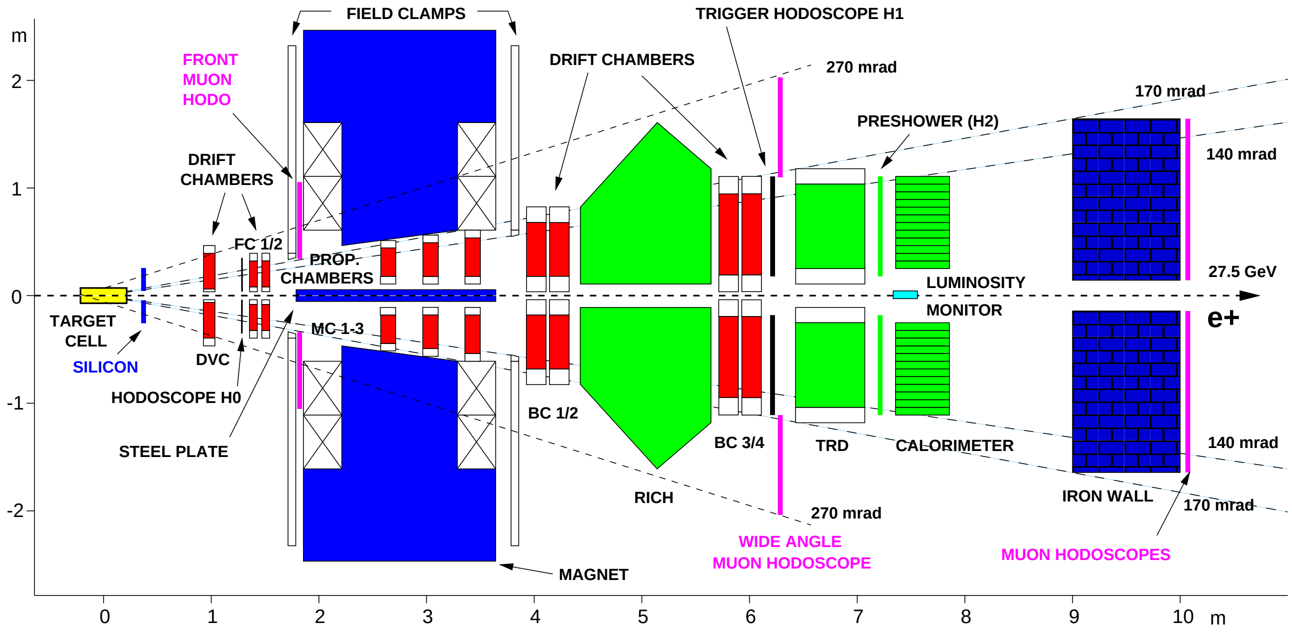
$$\frac{1}{2} = \underbrace{\frac{1}{2}\Delta\Sigma + L_q}_{J_q} + \underbrace{\Delta G + L_g}_{J_g}$$

Status:

- Beitrag der Valenz- und Seequarks ($\Delta\Sigma$) beträgt nur ungefähr 30 %
- Beitrag der Gluonen (ΔG) scheint positiv zu sein ($\rightarrow$ HERMES)
- Bahndrehimpuls der Quarks (L_q) und Gluonen (L_g) ist unbekannt
  Ideen zur Bestimmung des Bahndrehimpuls-anteils (theoretisch und experimentell) fehlten ...

X.Ji, 1997: Das zweite Moment der unpolarisierten GPD's steht in Zusammenhang mit dem Gesamtdrehimpuls der Quarks J_q.

Das HERMES-Spektrometer



- Raumwinkelakzeptanz: $|\theta_x| < 170$ mrad, $40 < \theta_y < 140$ mrad

- Impulsauflösung geladener Teilchen $\approx 1.5\%$

- Hadron Kontamination im Lepton-Sample $\leq 1\%$

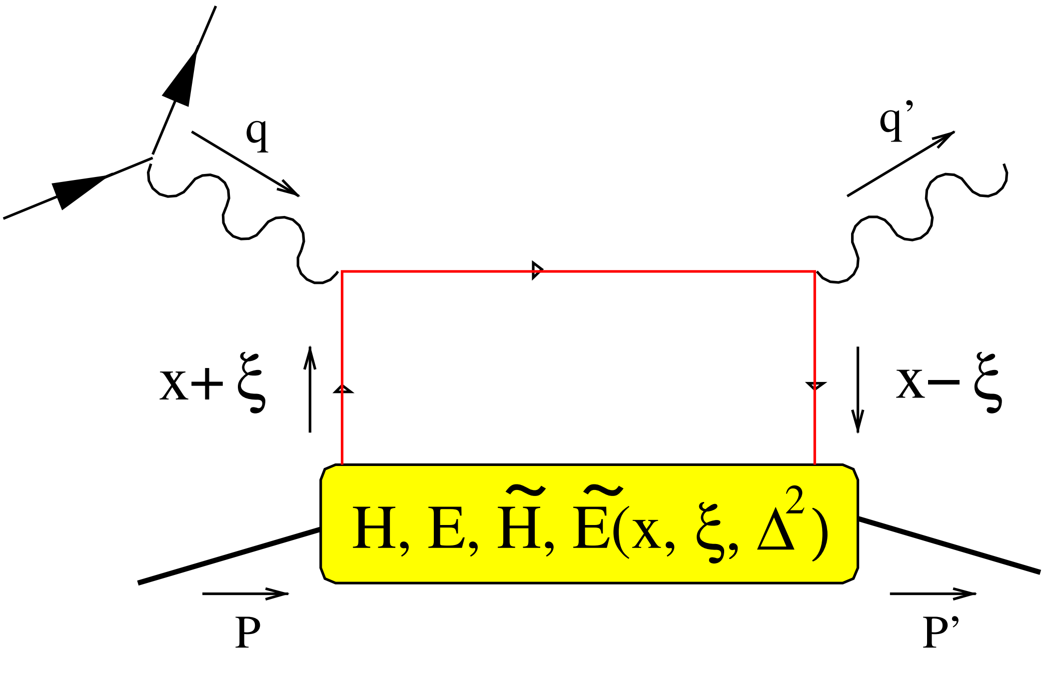
- Energieauflösung des Kalorimeters beträgt etwa 5%

GPDs und DVCS

GPDs: Vereinheitlichte theoretische Beschreibung inklusiver und (harter) exklusiver Prozesse.

Einfachster harter exklusiver Prozess: Tief-virtuelle Elektroproduktion von reellen Photonen

→ Tief-virtuelle Compton Streuung (DVCS).



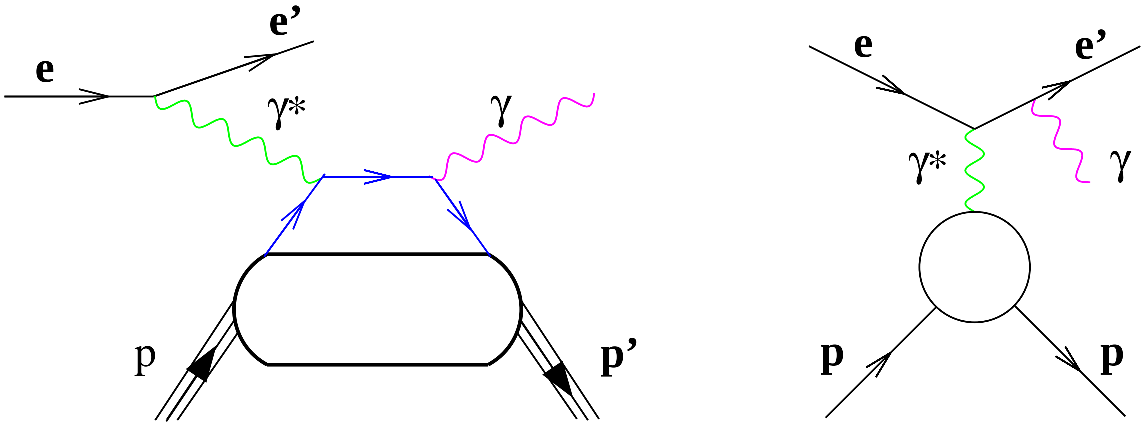
Variablen:

- Impulsanteile auf dem Lichtkegel x und ξ
- $\gamma^* \to \gamma$ Impulstransfer $\Delta^2 = (p^*_\gamma - p_\gamma)^2 = -t$

GPDs sind Verallgemeinerungen der üblichen Partonverteilungen $\Rightarrow H(x, 0, 0) = q(x)$

DVCS-BH Interferenz

Endzustand der DVCS-Reaktion
$e + p \rightarrow e' + p' + \gamma$
ununterscheidbar vom Bethe-Heitler Prozess



$\rightarrow$ Amplituden addieren sich kohärent

Bethe-Heitler Anteil unter Verwendung der bekannten Proton-Formfaktoren in der QED vollständig berechenbar

Wirkungsquerschnitt der Photon-Produktion:

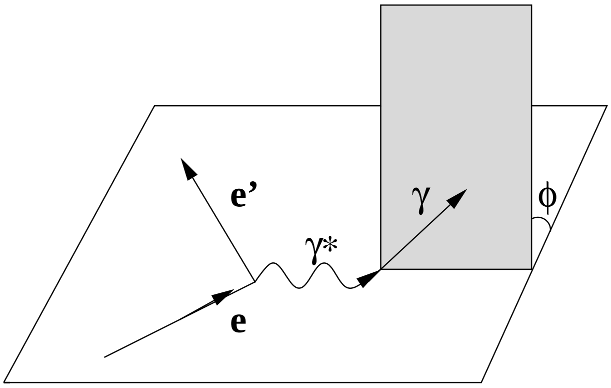
$$d\sigma \propto |\tau_{\mathrm{DVCS}} + \tau_{\mathrm{BH}}|^2$$

$$= |\tau_{\mathrm{DVCS}}|^2 + |\tau_{\mathrm{BH}}|^2 + (\tau^*_{\mathrm{DVCS}}\tau_{\mathrm{BH}} + \tau^*_{\mathrm{BH}}\tau_{\mathrm{DVCS}})$$

Die Real- und Imaginärteile der DVCS-Amplituden können durch die GPDs
H, $\tilde{\mathrm{H}}$, E, $\tilde{\mathrm{E}}$ ausgedrückt werden.

Ladungs- und Helizitätsasymmetrien

$$I \propto \pm(c_0^I + \sum_n [c_n^I \cos(n\phi) + \lambda s_n^I \sin(n\phi)])$$



Messung der Ladungsasymmetrie mit unpolarisiertem Strahl und unpolarisiertem Target führt zum Realteil des Interferenz-Terms:

$$\frac{d\sigma(e^+p) - d\sigma(e^-p)}{d\sigma(e^+p) + d\sigma(e^-p)} \sim \cos(\phi_\gamma) \times \mathrm{Re}\,(\tau_{\mathrm{DVCS}}\tau_{\mathrm{BH}})$$

Messung der Helizitätsasymmetrie mit longitudinal polarisiertem Strahl und unpolarisiertem Target führt zum Imaginärteil des Interferenz-Terms:

$$\frac{d\sigma(\overrightarrow{e^+}p) - d\sigma(\overleftarrow{e^+}p)}{d\sigma(\overrightarrow{e^+}p) + d\sigma(\overleftarrow{e^+}p)} \sim \sin(\phi_\gamma) \times \mathrm{Im}\,(\tau_{\mathrm{DVCS}}\tau_{\mathrm{BH}})$$

HERMES DVCS Daten

- longitudinal polarisierte Positronen (27.5 GeV, Strahlpolarisation $\approx 50\%$) mit positiver und negativer Helizität (1996/97 & 2000)

  $\Rightarrow$ Helizitätsasymmetrie

- Elektronen und Positronen (1998 & 2000)

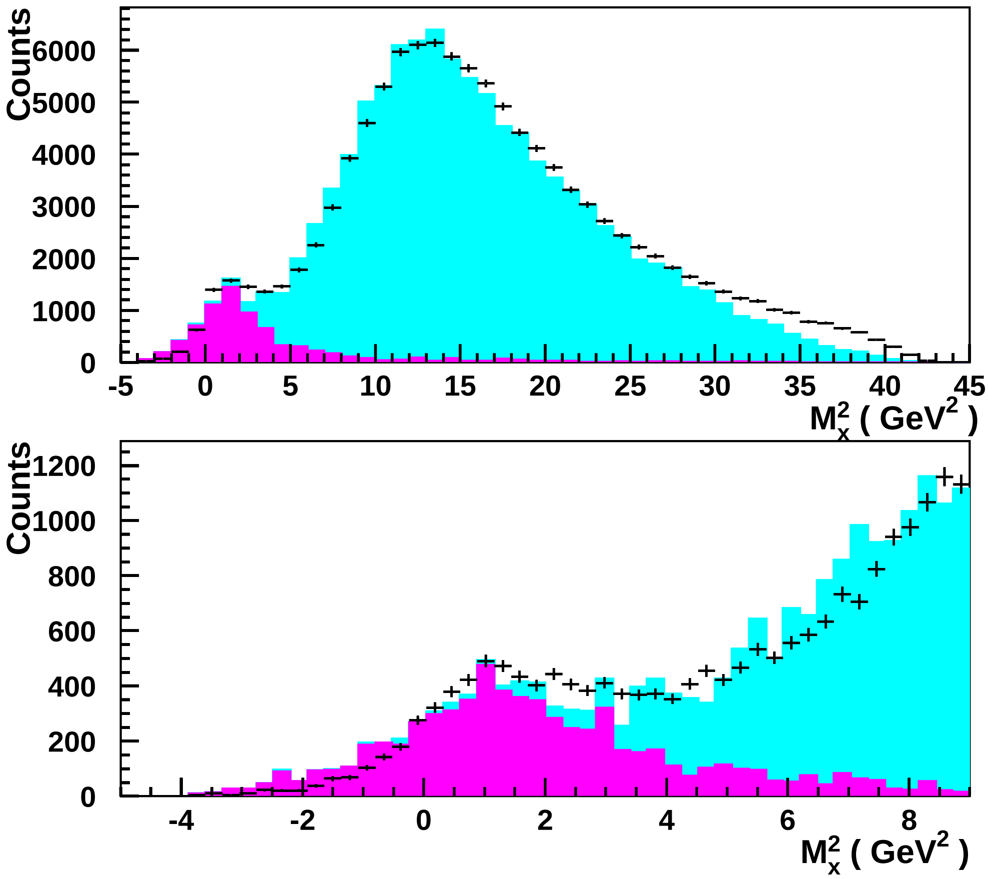
  $\Rightarrow$ Ladungsasymmetrie

- Messungen an polarisiertem und unpolarisiertem Wasserstoff-Target

- Kinematische Anforderungen:

  * $Q^2 > 1$ GeV^2
  * $W^2 > 4$ GeV^2
  * $15 < \theta_{\gamma^*\gamma} < 70$ mrad

Exklusivität der Reaktion



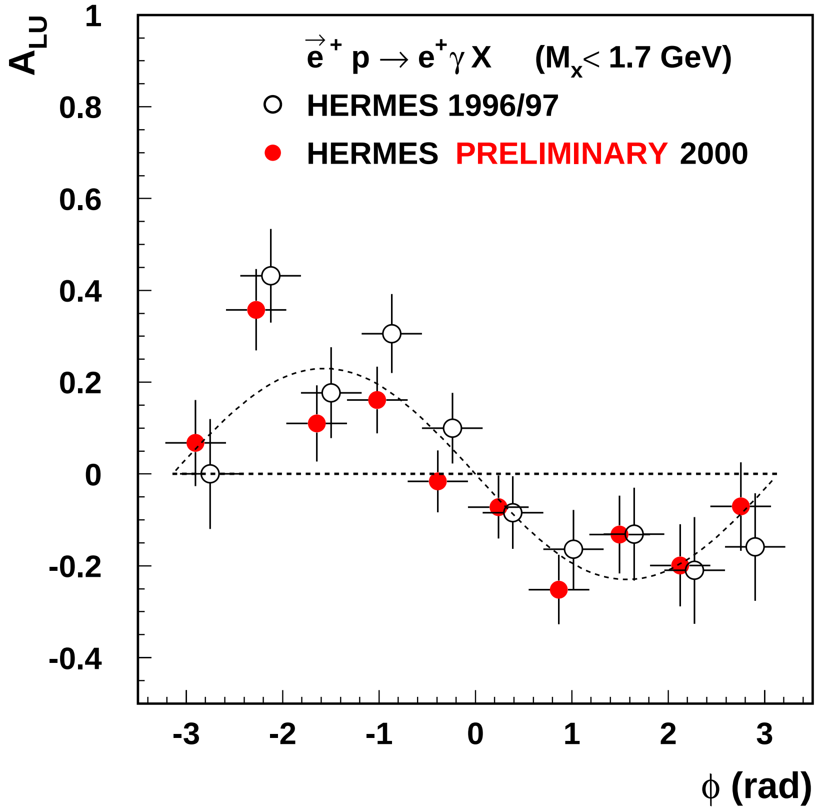
Bei exklusiver Reaktion wäre:

$$M_x^2 = (q + p - p_\gamma)^2 = M_p^2$$

M_x Auflösung zwischen 0.7 und 1 GeV (Kalorimeter)

$\Rightarrow$ keine Trennung zwischen exklusiver und assoziierter DVCS möglich
($\rightarrow$ Isobarenerzeugung)

Helizitätsasymmetrie



Single Spin Asymmetrie (SSA) $A_{\mathrm{LU}}(\phi)$:
Strahl pol. (L), Target unpol. (U)

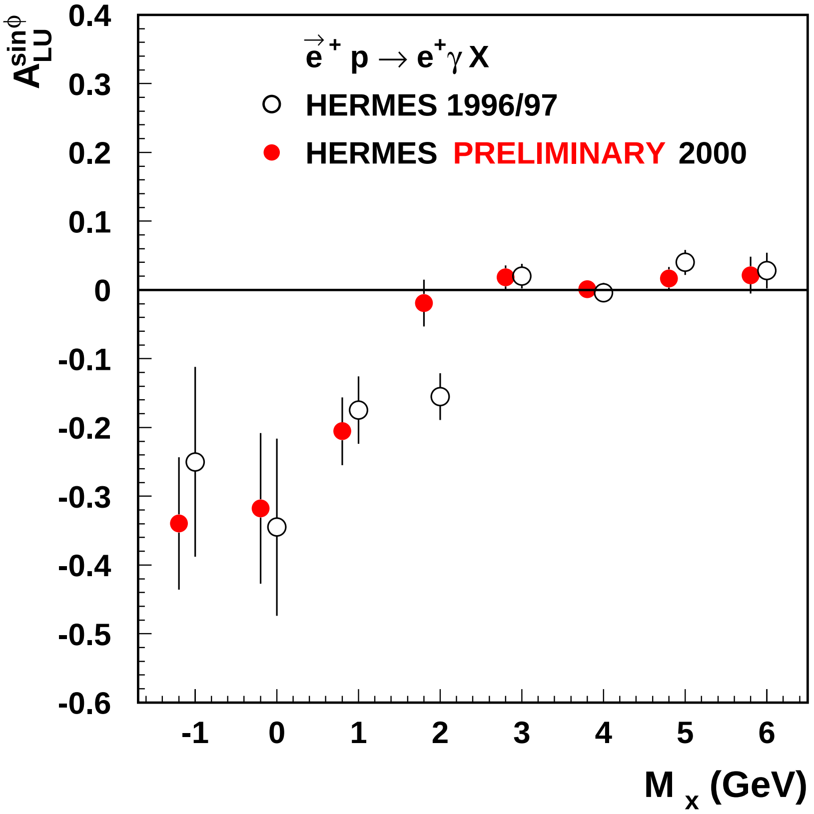
$$A_{\mathrm{LU}}(\phi) = \frac{1}{<|P_b|>} \frac{N^+(\phi) - N^-(\phi)}{N^+(\phi) + N^-(\phi)}$$

Im "exklusiven" Bin (-1.5 < M_x < 1.7 GeV) zeigt A_{LU} das erwartete sin(ϕ)-Verhalten.

In höheren M_x-Bins wird dieses Verhalten nicht beobachtet $\Rightarrow$ sin(ϕ) – Moment

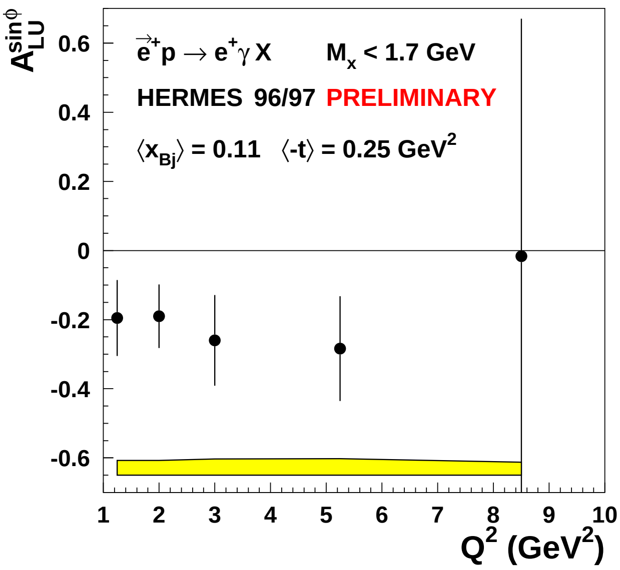
SSA – $\sin(\phi)$ Moment

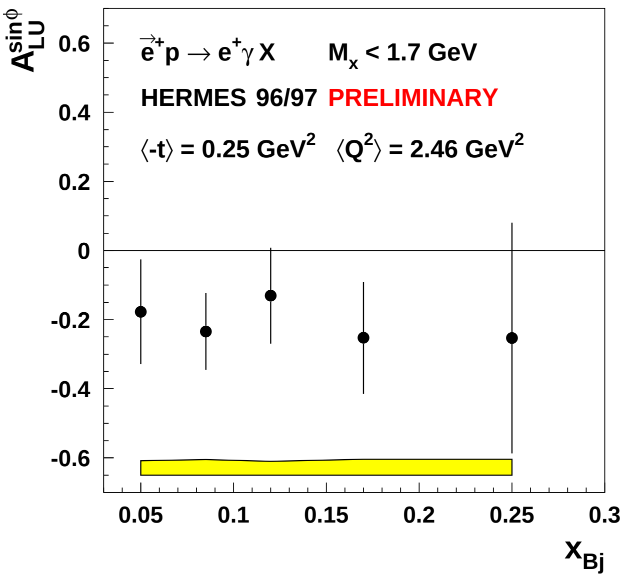
$$A_{\mathrm{LU}}^{\sin\phi} = \frac{2}{N^+ + N^-} \sum_{i=1}^{N^+ + N^-} \frac{\sin(\phi_i)}{(P_l)_i}$$

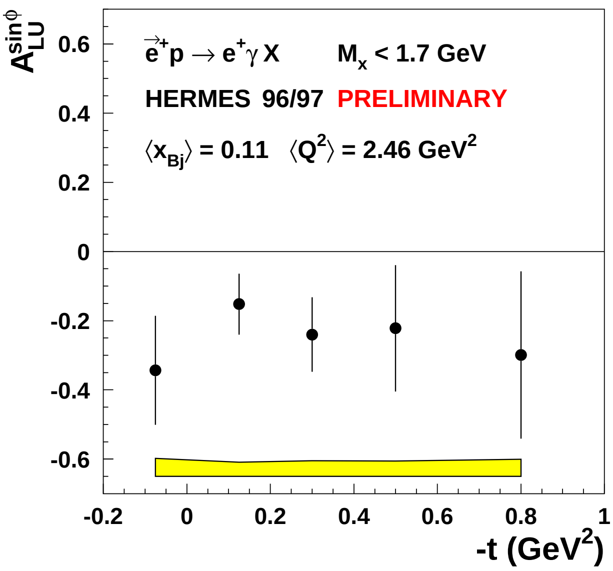


$$< Q^2 >= 2.6 \text{ GeV}^2$$
$$< x >= 0.11$$
$$< -t >= 0.25 \text{ GeV}^2$$

Erste Ergebnisse über die Abhängigkeit der SSA von den kinematischen Variablen liegen vor.

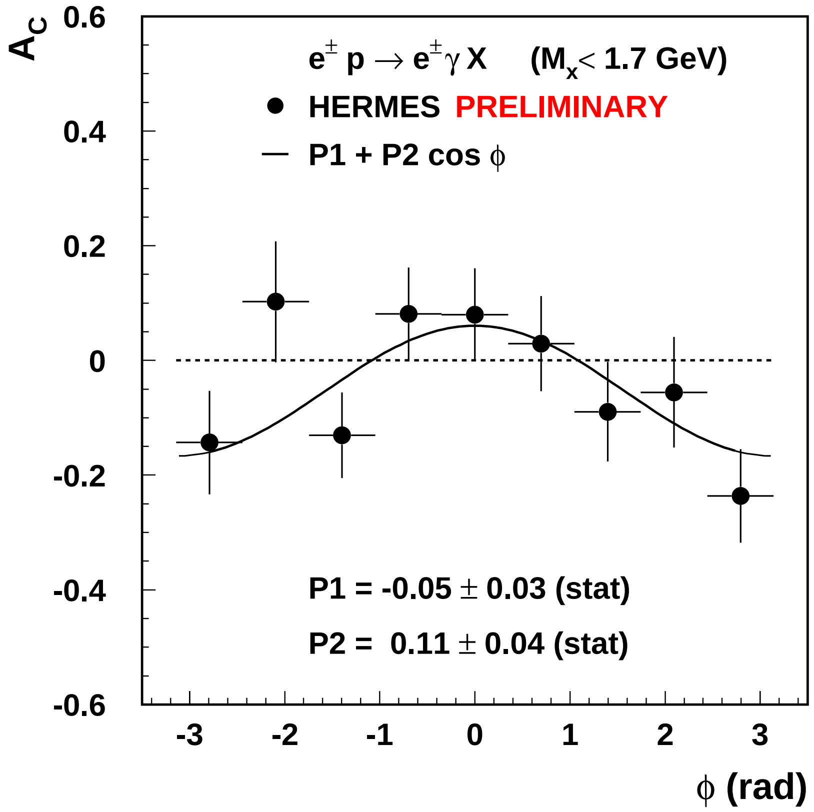






$\Rightarrow$ keine Hinweise auf starke Abhängigkeit der SSA von den kinematischen Variablen Q^2, x, t

Ladungsasymmetrie



Ladungsasymmetrie $A_{\mathrm{C}}(\phi)$:

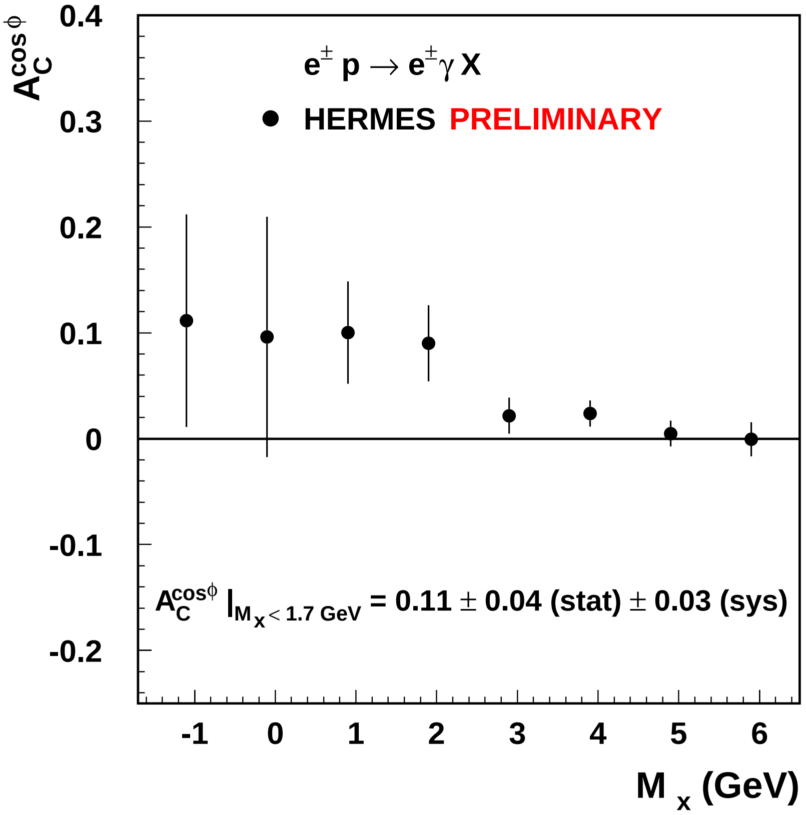
$$A_{\mathrm{C}}(\phi) = \frac{N^{+}(\phi) - N^{-}(\phi)}{N^{+}(\phi) + N^{-}(\phi)}$$

Im "exklusiven" Bin (-1.5 < M_x < 1.7 GeV) zeigt A_{C} das erwartete $\cos(\phi)$-Verhalten.

In höheren M_x-Bins wird dieses Verhalten nicht beobachtet $\Rightarrow$ $\cos(\phi)$ – Moment

$\cos(\phi)$ Moment

$$A_{\mathrm{C}}^{\cos\phi} = \frac{1}{N^{e^+}} \sum_{i=1}^{N^{e^+}} \cos(\phi_i) - \frac{1}{N^{e^-}} \sum_{i=1}^{N^{e^-}} \cos(\phi_i)$$



$$< Q^2 >= 2.6\ \mathrm{GeV}^2$$
$$< x >= 0.11$$
$$< -t >= 0.25\ \mathrm{GeV}^2$$

Zusammenfassung und Ausblick

- Zugriff auf Real- und Imaginärteil der DVCS-Amplituden durch Messung der DVCS-BH Interferenz

- Erste Messung der Helizitätsasymmetrie bei HERMES (→ Phys. Rev. Lett. **87**, 182001 (2001)) bestätigt durch neue Daten, erste vorläufige Ergebnisse zu kinematischen Abhängigkeiten

- Erstmalige Messung der Ladungsasymmetrie, im exklusiven Bin beträgt der vorläufige Wert $0.11 \pm 0.04(\mathrm{stat}) \pm 0.03(\mathrm{sys})$

- aktuelle DVCS HERMES-Analysen:
  - Kinematische Abhängigkeit der Ladungsasymmetrie und Target-Spin Aymmetrie am Wasserstoff
  - Helizitäts- und Ladungsasymmetrien am Deuteron

- Zukunft:
  - *Recoil*-Detektor geplant um die Exklusivität eines Ereignisses zu garantieren.