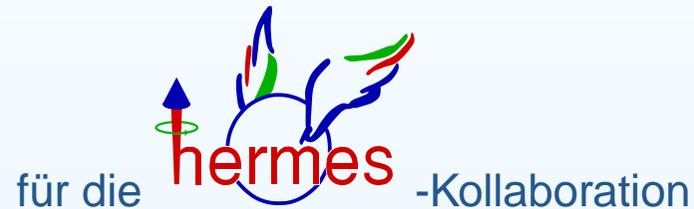


# *Die Messung transversaler Spinphänomene am HERMES-Experiment*

Markus Diefenthaler



Physikalisches Institut II, FAU Erlangen-Nürnberg

Gefördert durch das BMBF

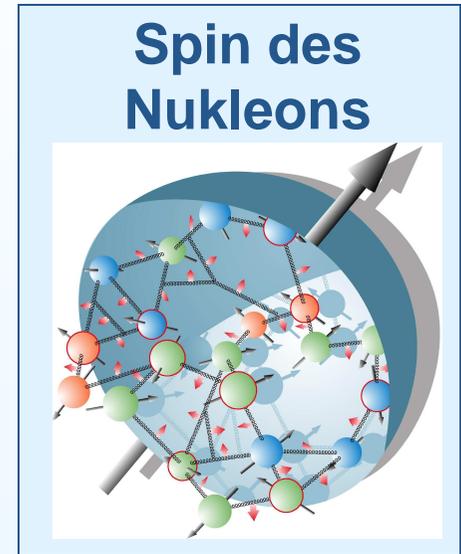


Projekt Nr. 06 ER 143

# Die Spinstruktur des Nukleons:

## Zusammensetzung des Nukleonenspin $s_z^N$ :

$$\frac{s_z^N}{\hbar} = \frac{1}{2} = J_q + J_g = \frac{1}{2} \Delta\Sigma + L_z^q + \Delta G + L_z^g$$



## Transversale Spinphänomene

→  $L_z^q$

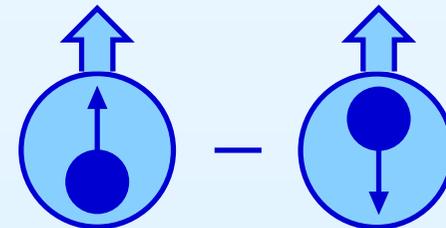
→ Messung der Transversity-Verteilung

## Transversity-Verteilung $\delta q(x)$ :

Beschreibung von Impuls und Spin der Quarks im Nukleon

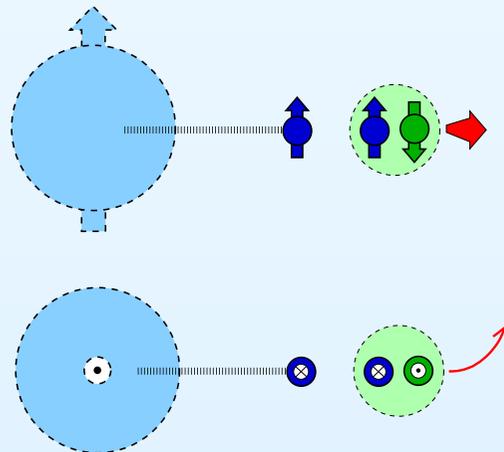
- experimentell unbestimmt
- Helizitätsumkehr: Wahrscheinlichkeitsinterpretation:

$$N^{\uparrow} q^{\downarrow} \rightarrow N^{\downarrow} q^{\uparrow}$$



# Messung der Transversity-Verteilung:

- **Chiralitätseigenschaften:**
  - chiral-ungerade Transversity-Verteilung
  - meßbar in Verbindung mit chiral-ungeraden Partner
- **Messungen bei HERMES:** semi-inklusive tiefinelastische Streuung an einem transversal polarisierten Wasserstoff-Target
  - $ep^{\uparrow} \rightarrow e'hX$        $\rightarrow$  Collins-Mechanismus
  - $ep^{\uparrow} \rightarrow e'h_1h_2X$   $\rightarrow$  Vortrag von Dr. Stinzing (HK 16.5)
- **Collins Mechanismus**
  - chiral-ungerade **Collins-Fragmentationsfunktion**  $H_1^{\perp q}$

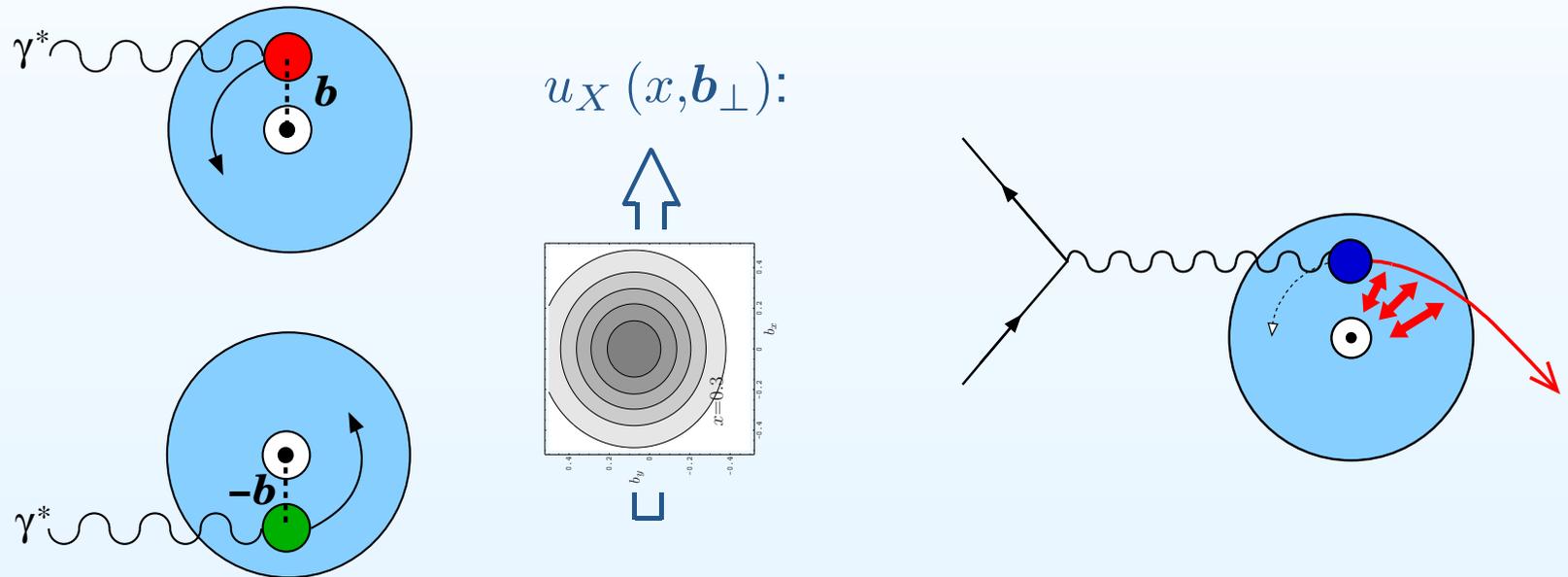


Korrelation zwischen der transversalen Polarisation des fragmentierenden Quarks

und des transversalen Impuls  $P_{h\perp}$  des entstandenen Hadrons

# Der Sivers-Mechanismus:

- nicht-verschwindende **Siversverteilung**  $f_{1T}^\perp$  involviert eine nicht-verschwindende Streuamplitude der Form  $N^{\uparrow}q^\uparrow \rightarrow N^{\downarrow}q^\uparrow$
- **Bahndrehimpuls der Quarks:**



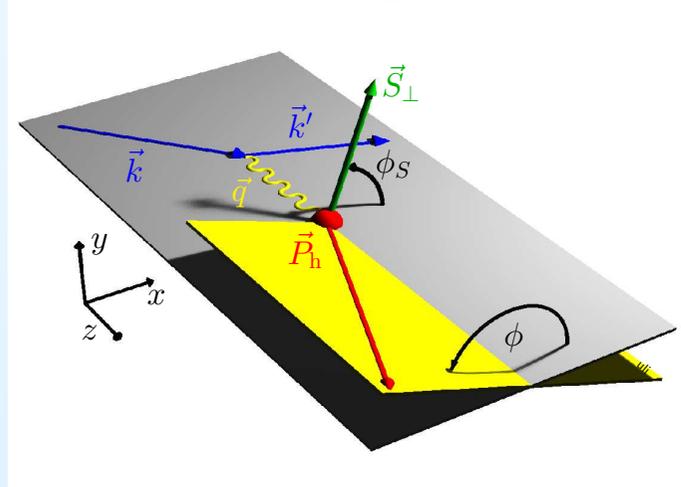
- **Wechselwirkung im Endzustand:**
  - Links-Rechts-Asymmetrie einer Verteilungsfunktion
  - ➔ Links-Rechts-Asymmetrie einer Impulsverteilung

# Transversale Einzel-Spin-Asymmetrien:

- **transversale Einzel-Spin-Asymmetrie (SSA):**
  - transversale Asymmetrie in der Impulsverteilung der erzeugten Hadronen in transversaler Richtung zum Nukleonspin
  - nicht verschwindender transversaler Hadronimpuls  $P_{h\perp}$  bedingt durch intrinsische transversale Impulse  $p_{\perp}$  und  $k_{\perp}$

⇔ **Collins- und Siversmechanismus**

- Wechselwirkung im Endzustand  $\leftrightarrow$  *naive time reversal odd*
- **Kinematik an einem transversal polarisierten Target:**



# Die Collins- and Siversamplituden:

Transversale Einzel-Spin-Asymmetrie  $A_{UT}^h$  für den Hadrontyp  $h$ ,

- unpolarisierten Leptonenstrahl (U) und
- transversal polarisiertes Target (T):

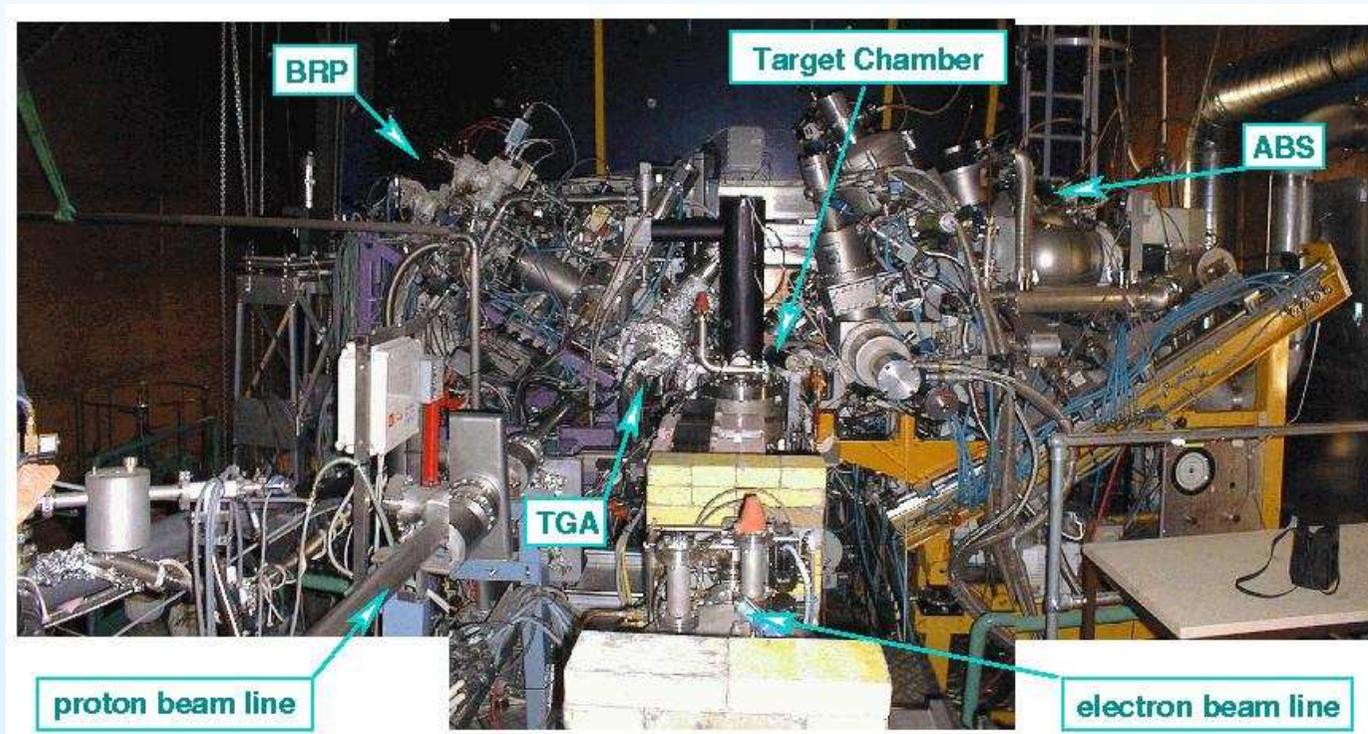
$$\begin{aligned}
 A_{UT}^h &= \frac{\sigma^{\uparrow\downarrow} - \sigma^{\uparrow\uparrow}}{\sigma^{\uparrow\downarrow} + \sigma^{\uparrow\uparrow}} \\
 &\approx 2 |S_{\perp}| \frac{\sin(\phi + \phi_S)}{\sum_q e_q^2 q(x) D_1^q(z)} \frac{\sum_q e_q^2 \delta q(x) H_1^{\perp q}(z)}{\sum_q e_q^2 q(x) D_1^q(z)} \\
 &\quad \text{unterscheidbare} \\
 &\quad \text{Collinsamplitude} \\
 &- 2 |S_{\perp}| \frac{\sin(\phi - \phi_S)}{\sum_q e_q^2 q(x) D_1^q(z)} \frac{\sum_q e_q^2 f_{1T}^{\perp q}(x) D_1^q(z)}{\sum_q e_q^2 q(x) D_1^q(z)} \\
 &\quad \text{Signatur} \\
 &\quad \text{Siversamplitude}
 \end{aligned}$$

# Die Messung der Collins- und Siversamplituden:

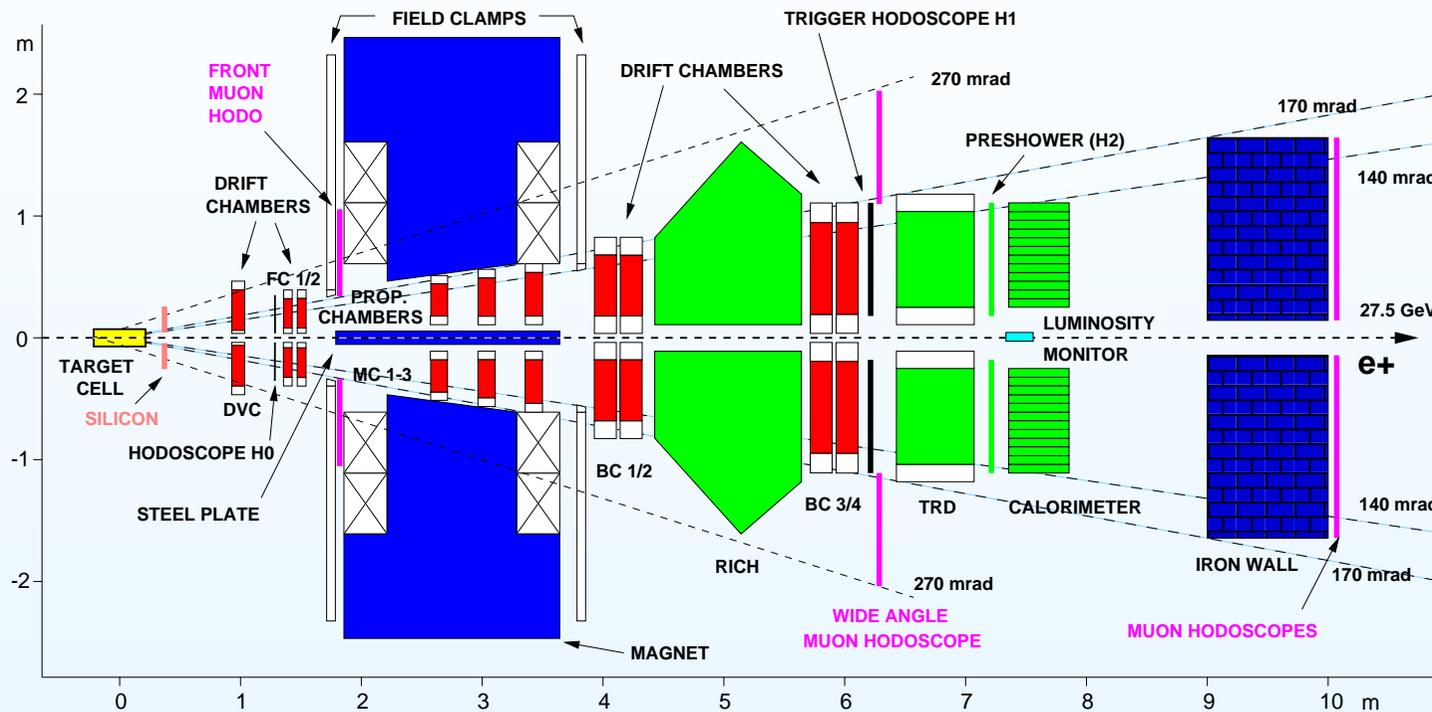


## Das transversal polarisierte Target:

- Polarisiertes **Gas-Target** im Inneren des Speicherrings,
- Mehrfachstreuung und Verdünnung der Polarisation durch unpolarisiertes Trägermaterial unterbunden
- Speicherzelle
- hoher Polarisationsgrad



# Das Vorwärtsspektrometer:



- große Impuls- und Winkelakzeptanz:  $\theta_{\text{hor.}} \leq 175 \text{ mrad}$ ,  
 $40 \text{ mrad} \leq \theta_{\text{vert.}} \leq 140 \text{ mrad}$
- präzise Impulsbestimmung:  $\Delta p/p = 0,7 - 1,3\%$
- und Winkelauflösung:  $\Delta\theta \leq 0,6 \text{ mrad}$
- zuverlässige Unterscheidung von Leptonen und Hadronen

# Die Extraktion der Collins- und Siversamplituden:

- **Maximum-Likelihood Methode:**

$$F \left( 2 \langle \sin (\phi \pm \phi_S) \rangle_{\text{UT}}^h, \dots, \phi, \phi_S \right) =$$

$$\frac{1}{2} \left( 1 + S_{\perp} \left( 2 \langle \sin (\phi + \phi_S) \rangle_{\text{UT}}^h \cdot \sin (\phi + \phi_S) + \right.$$

$$2 \langle \sin (\phi - \phi_S) \rangle_{\text{UT}}^h \cdot \sin (\phi - \phi_S) +$$

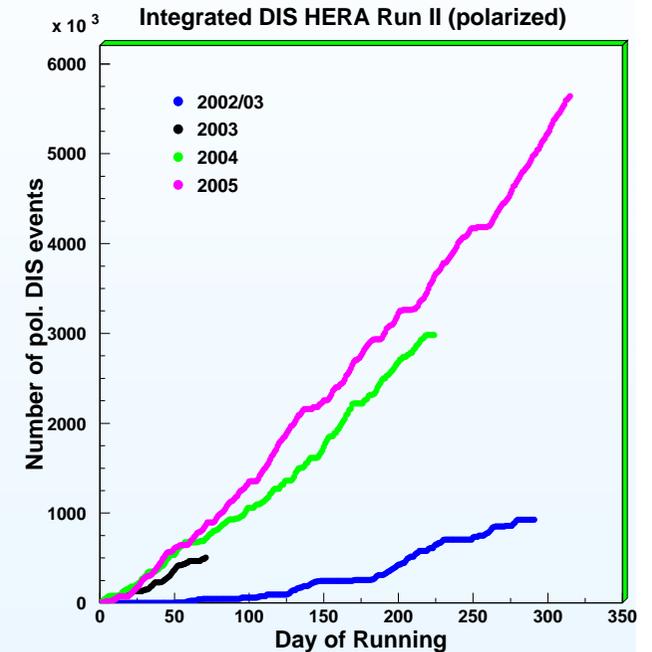
$$2 \langle \sin (3\phi - \phi_S) \rangle_{\text{UT}}^h \cdot \sin (3\phi - \phi_S) +$$

$$2 \langle \sin (2\phi - \phi_S) \rangle_{\text{UT}}^h \cdot \sin (2\phi - \phi_S) +$$

$$\left. 2 \langle \sin \phi_S \rangle_{\text{UT}}^h \cdot \sin \phi_S \right)$$

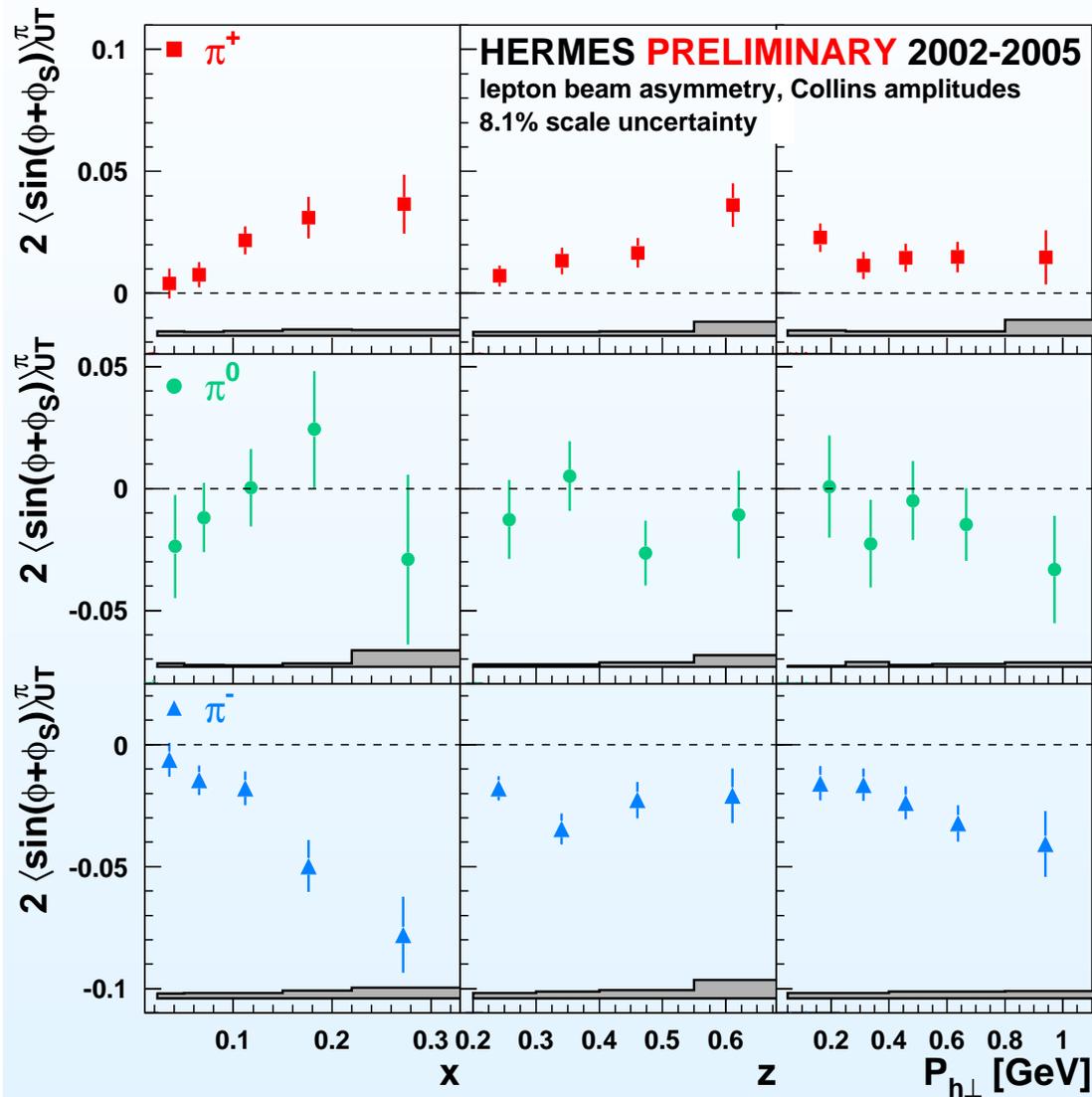
- **Maximierung** des Logarithmus der gewichteten Dichtefunktion  $\mathcal{L} = \prod (F_i)^{w_i}$  bezüglich den SSA Amplituden

## polarisiertes H-Target:



$e^{\pm}$	$8.4 \cdot 10^6$
$\pi^+$	$7.4 \cdot 10^5$
$\pi^0$	$2.1 \cdot 10^5$
$\pi^-$	$5.1 \cdot 10^5$
$K^+$	$1.2 \cdot 10^5$
$K^-$	$2.2 \cdot 10^4$

# Die Collinsamplitude der Pionen:



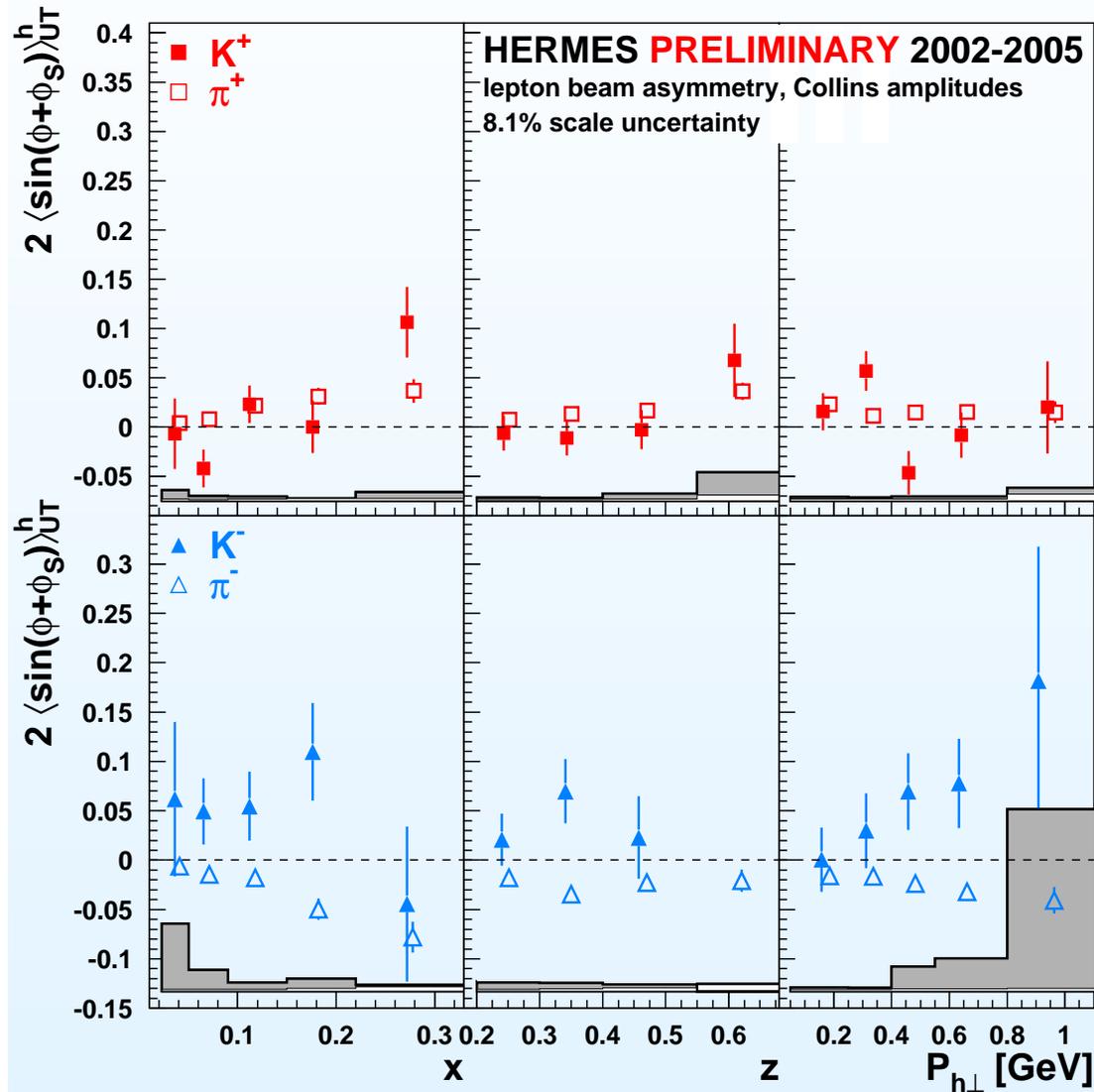
## Resultate der Collinsamplitude:

$$\delta q(x) \otimes H_1^{\perp q}(z)$$

aus den 2002–2005 Daten:

- positive Amplitude für  $\pi^+$
- negative Amplitude für  $\pi^-$  (unerwartet groß)
- $H_1^{\perp, \text{unfav}}(z) \approx -H_1^{\perp, \text{fav}}(z)$
- Collinsamplituden erfüllen Isospinsymmetrie
- **Extraktion der Transversity-Verteilung** durch unabhängige Messung der Collins Fragmentationsfunktion (BELLE)

# Die Collinsamplitude der geladenen Kaonen:



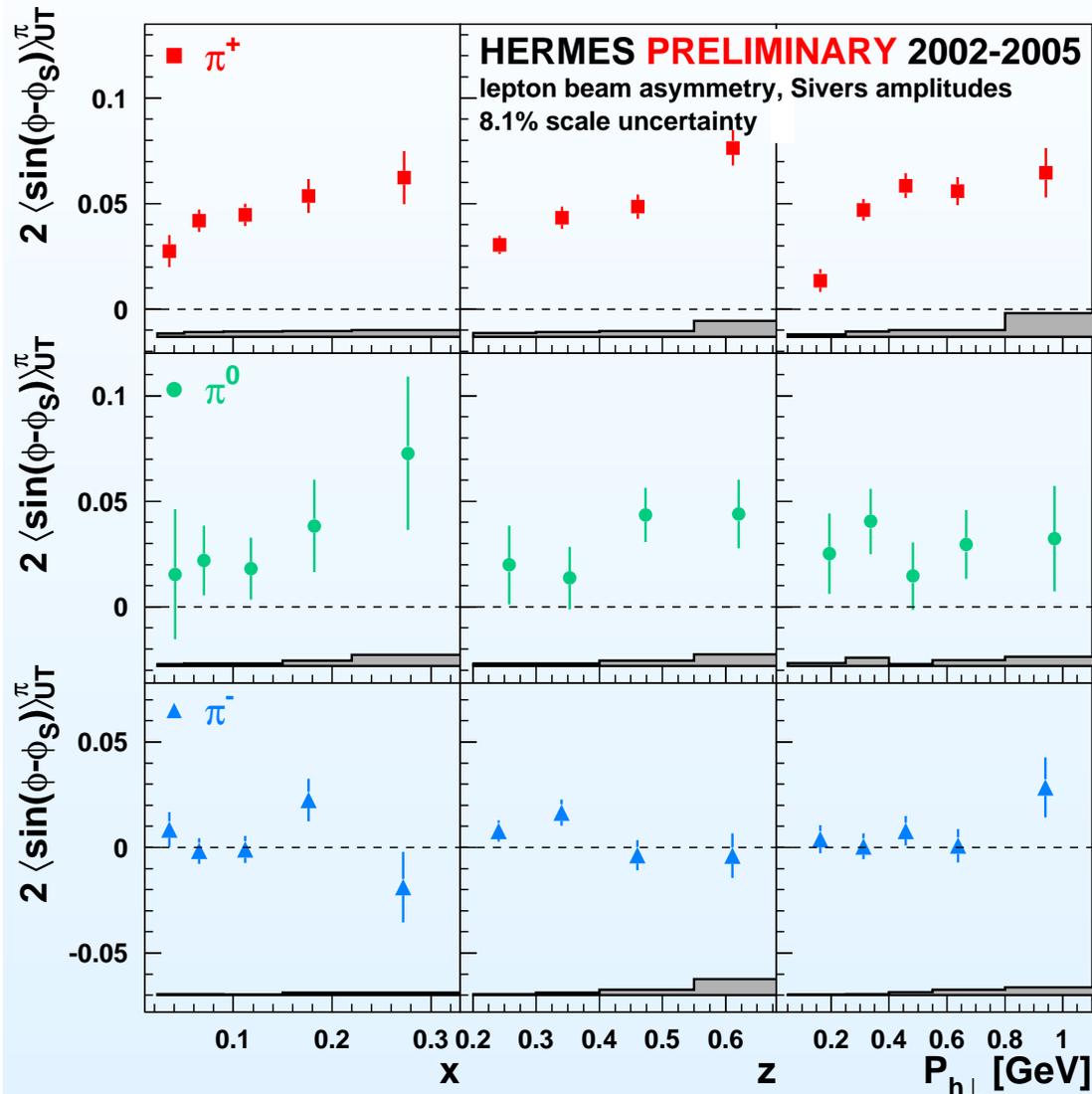
## Resultate der Collinsamplitude:

$$\delta q(x) \otimes H_1^{\perp q}(z)$$

### aus 2002–2005 Daten:

- keine signifikanten (von Null verschiedenen) Collinsamplituden für geladene Kaonen
- $K^+$ -Collinsamplitude innerhalb der Fehler konsistent mit der für  $\pi^+$

# Die Siversamplituden der Pionen:



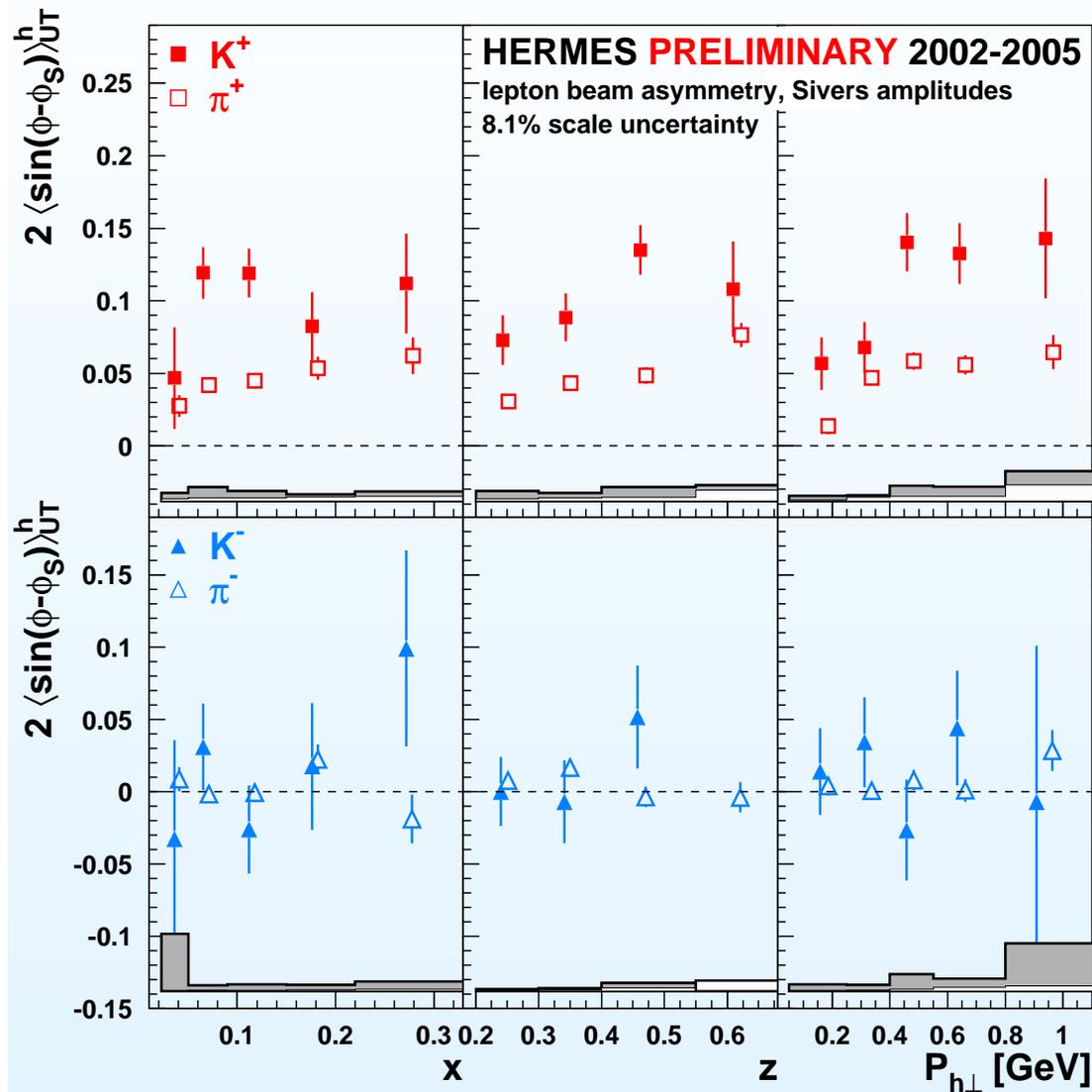
## Resultate der Siversamplitude:

$$f_{1T}^{\perp q}(x) \otimes D_1^q(z)$$

aus den 2002–2005 Daten:

- signifikant positive Siversamplitude für  $\pi^+$
- impliziert nicht verschwindenden Bahndrehimpuls  $L_z^q$
- Siversamplitude für  $\pi^-$  konsistent mit Null
- Siversamplituden erfüllen Isospinsymmetrie
- **Extraktion der Siversfunktion** aus Kenntnis der spinunabhängigen Fragmentationsfunktion  $D_1^q(z)$

# Die Siversamplitude der geladenen Kaonen:



## Resultate der Siversamplitude:

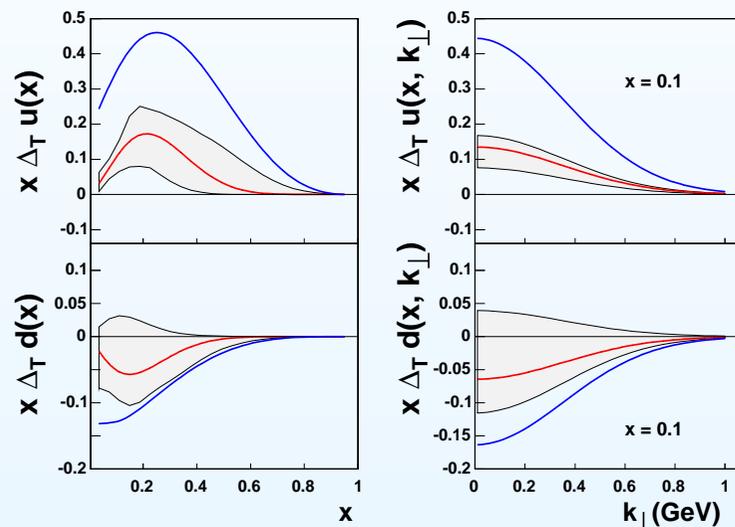
$$f_{1T}^{\perp q}(x) \otimes D_1^q(z)$$

aus 2002–2005 Daten:

- signifikant positive Siversamplitude für  $K^+$
- impliziert nicht verschwindenden Bahndrehimpuls  $L_z^q$
- Siversamplitude für  $K^-$  konsistent mit Null.
- Siversamplitude für  $K^+$  größer als diejenige der  $\pi^+$   
 ➔ Beitrag der Seequarks zum Siversmechanismus könnte bedeutend sein

## In aller Kürze:

- genaueste Messung am transversal polarisierten Wasserstoff-Target
- signifikante Collinsamplituden für Pionen
  - ↳ Extraktion der Transversity-Verteilung (Anselmino u.a.)



- signifikante Siversamplituden für  $\pi^+$  und  $K^+$ 
  - ↳ Nachweis einer *naive time reversal odd* Partonverteilung



Reserve:

# Exklusive Vektormesonenerereignisse

# Exklusive Ereignisse im semi-inklusiven Datensatz:

