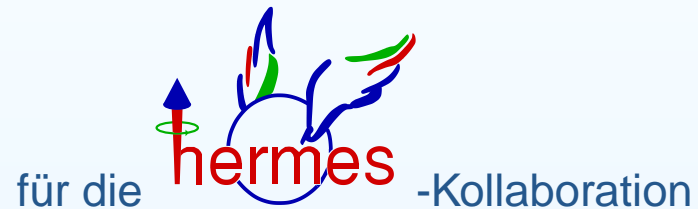


Die Messung transversaler Spinphänomene am HERMES-Experiment

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 :

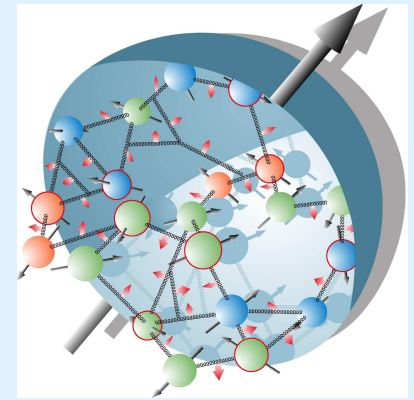
$$\frac{s_z^N}{\hbar} = \frac{1}{2} = J_q + J_g = \frac{1}{2} \Delta\Sigma + L_z^q + \Delta G + L_z^g$$

Transversale Spinphänomene

→ L_z^q

→ Messung der Transversity-Verteilung

Spin des Nukleons

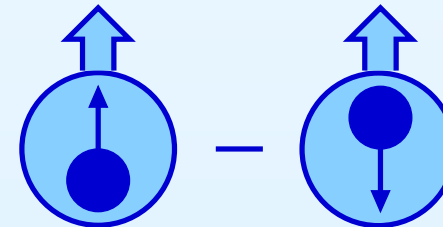


Transversity-Verteilung $\delta q(x)$:

Beschreibung von Impuls und Spin der Quarks im Nukleon

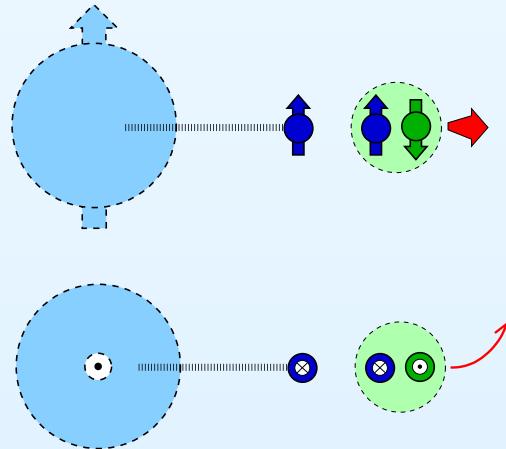
- experimentell unbestimmt
 - Helizitätsumkehr:
- Wahrscheinlichkeitsinterpretation:

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



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** $H_1^{\perp q}$

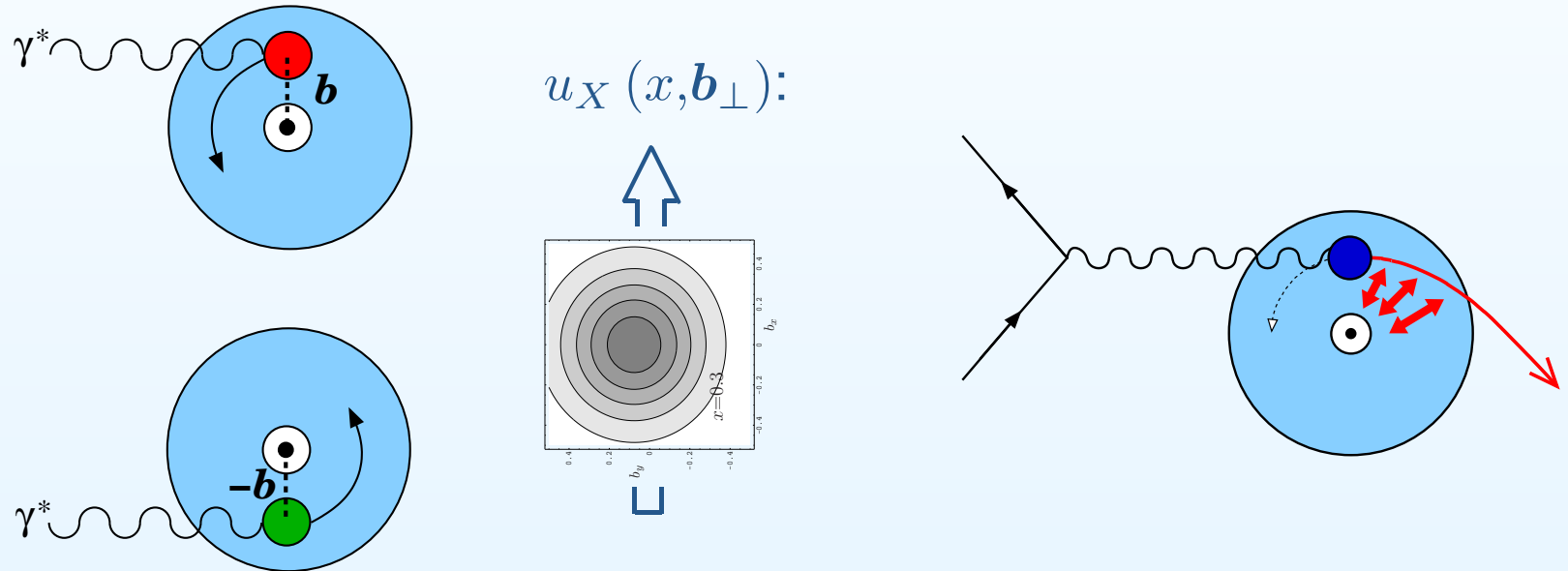


Korrelation zwischen der transversalen Polarisation des fragmentierenden Quarks

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:**



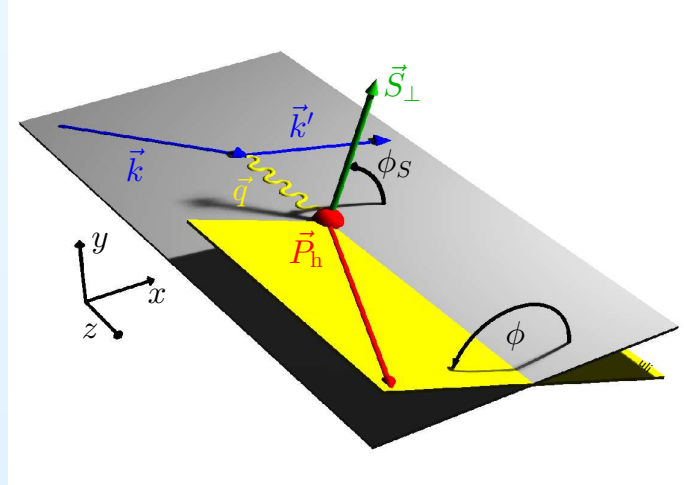
- **Wechselwirkung im Endzustand:**
 - Links-Rechts-Asymmetrie einer Verteilungsfunktion
 - ➔ Links-Rechts-Asymmetrie einer Impulsverteilung

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:**



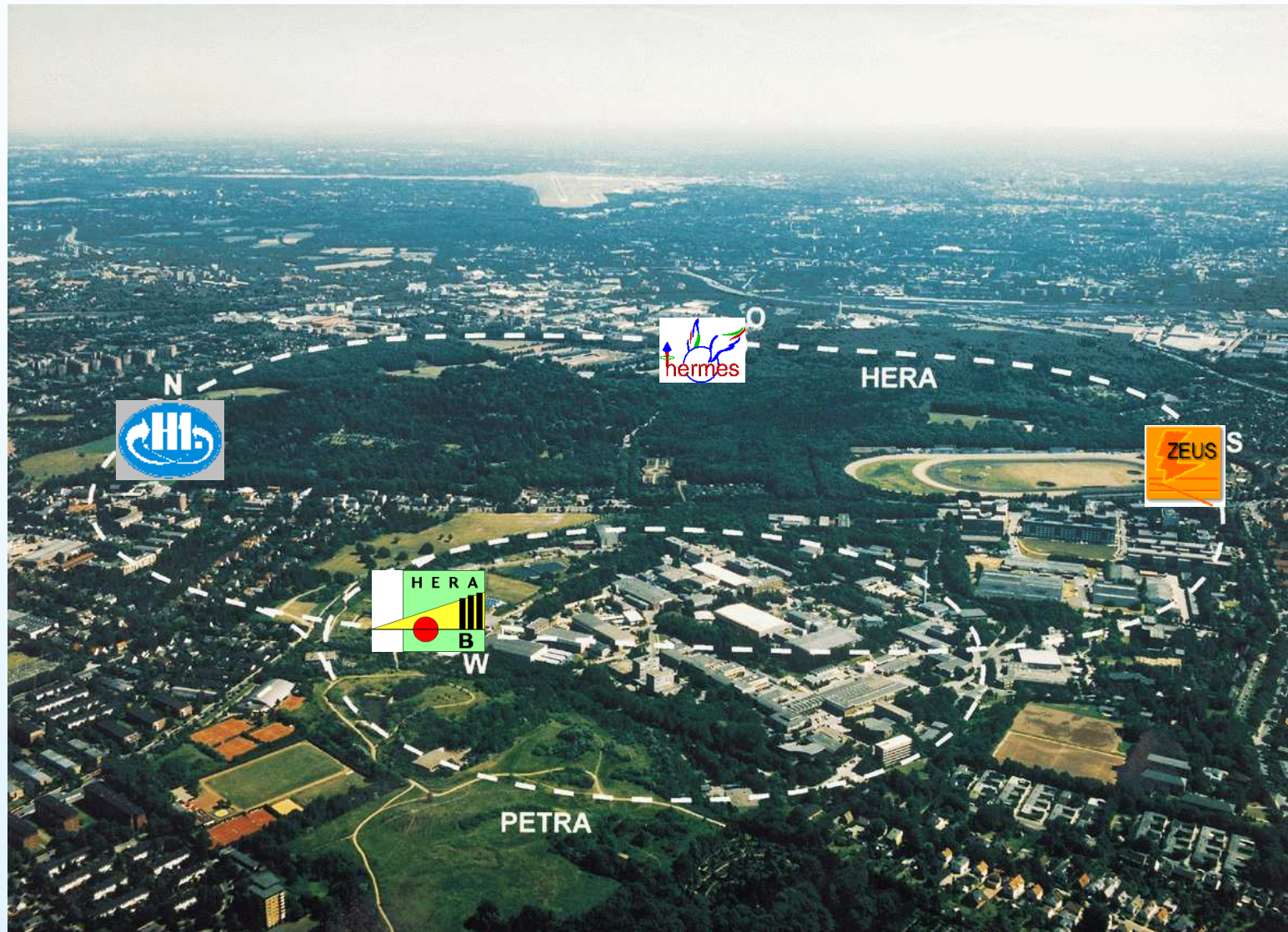
Die Collins- and Siversamplituden:

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

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

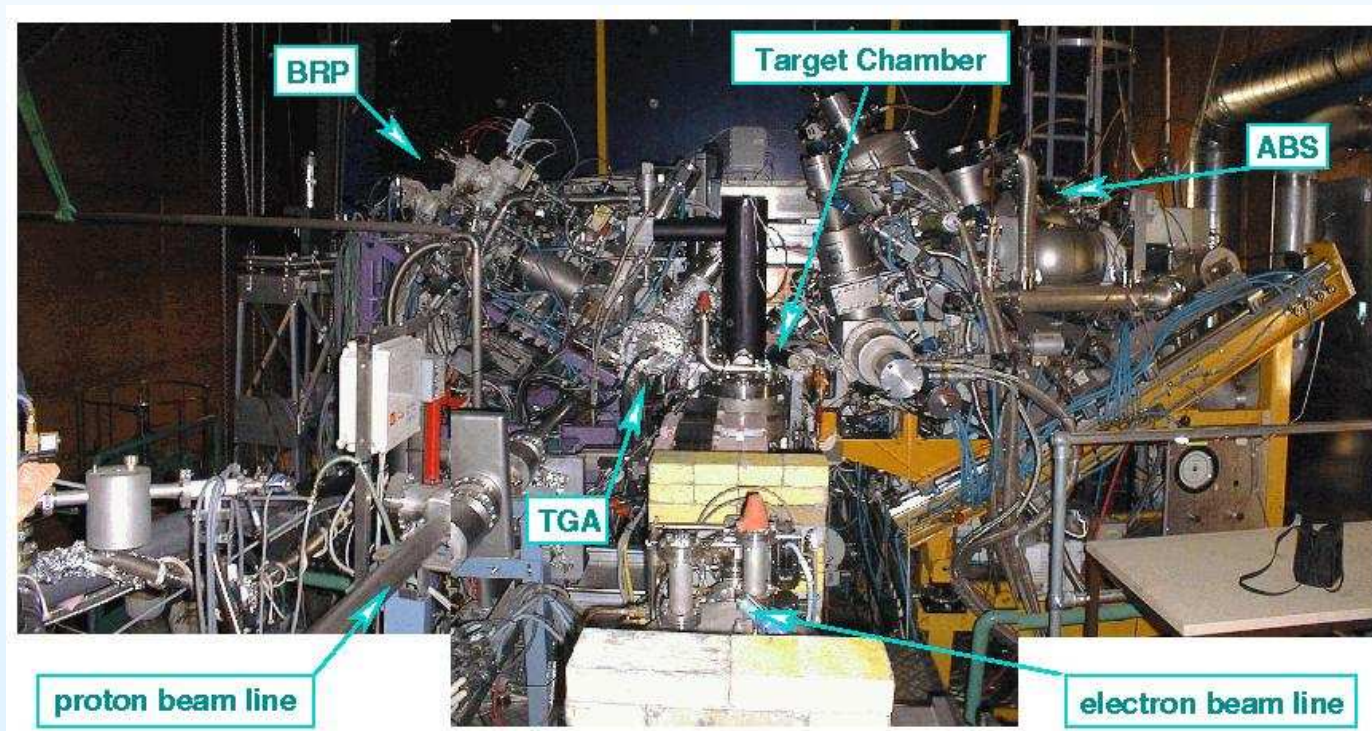
$$\begin{aligned}
 A_{UT}^h &= \frac{\sigma^{\uparrow\downarrow} - \sigma^{\uparrow\uparrow}}{\sigma^{\uparrow\downarrow} + \sigma^{\uparrow\uparrow}} \\
 &\approx 2 |S_{\perp}| \frac{\sin(\phi + \phi_S)}{\sum_q e_q^2 q(x) D_1^q(z)} \frac{\sum_q e_q^2 \delta q(x) H_1^{\perp q}(z)}{\sum_q e_q^2 q(x) D_1^q(z)}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

Die Messung der Collins- und Siversamplituden:

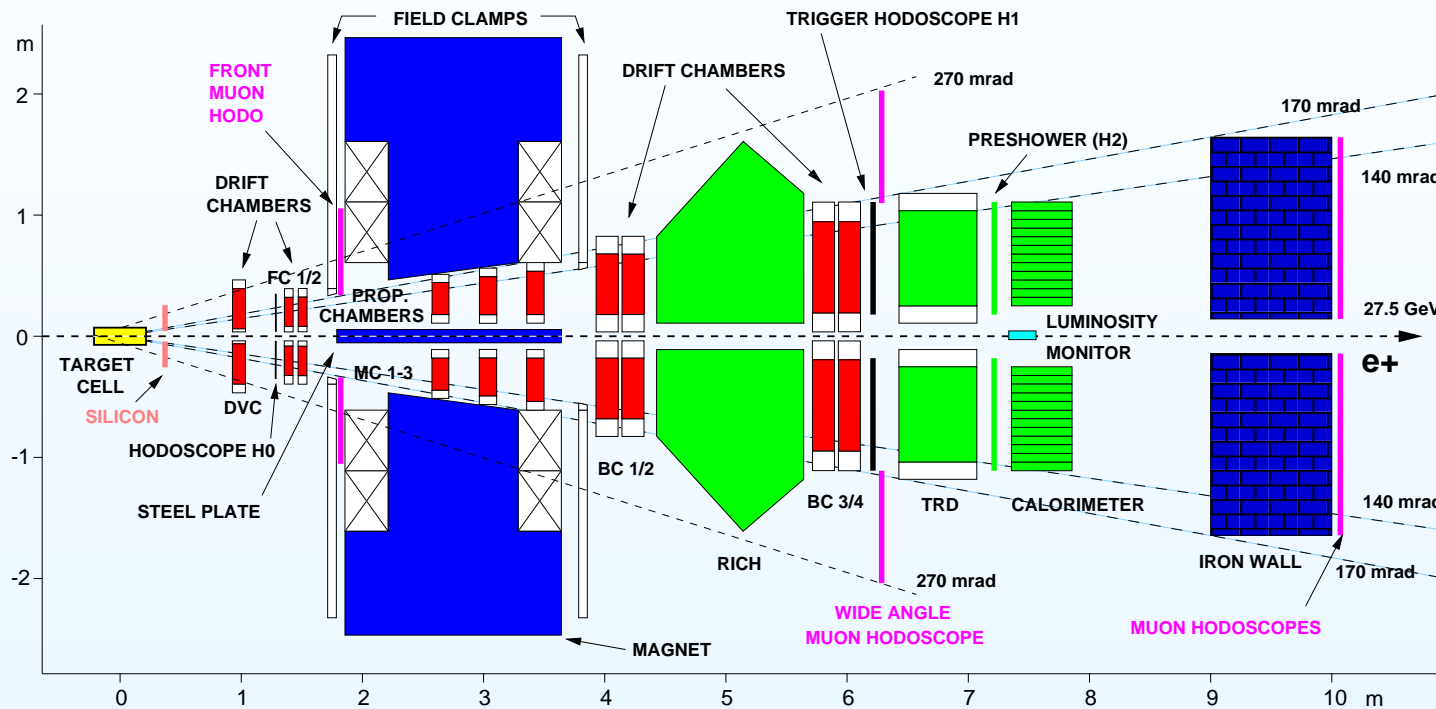


Das transversal polarisierte Target:

- 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:**

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

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

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

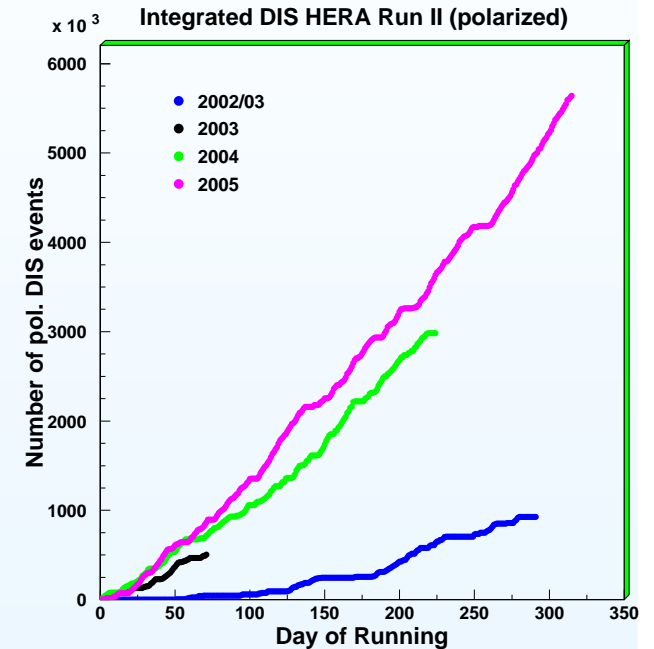
$$2 \langle \sin (3\phi - \phi_S) \rangle_{\text{UT}}^h \cdot \sin (3\phi - \phi_S) +$$

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

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

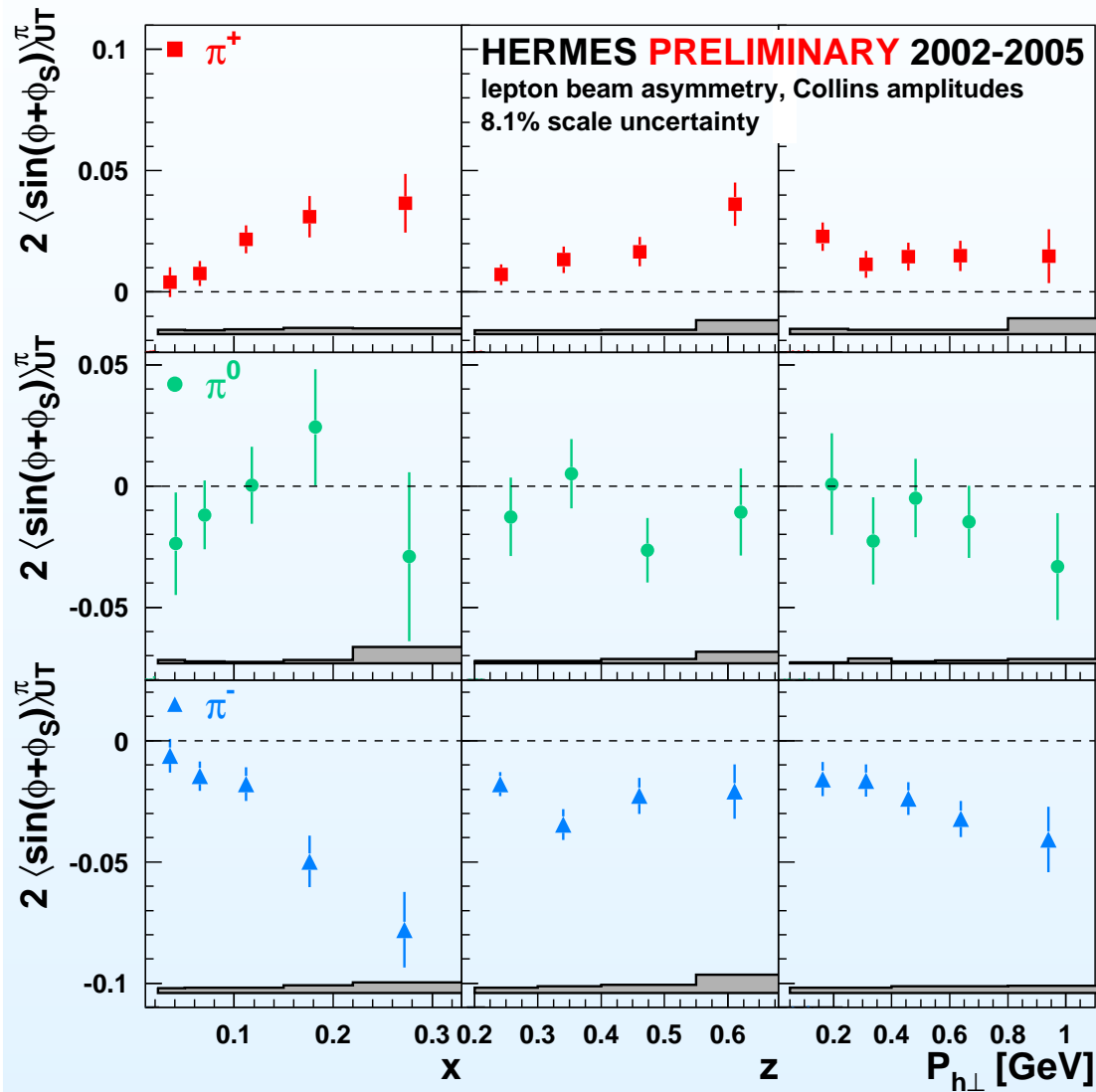
- **Maximierung** des Logarithmus der gewichteten Dichtefunktion $\mathcal{L} = \prod (F_i)^{w_i}$ bezüglich den SSA Amplituden

polarisiertes H-Target:



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

Die Collinsamplitude der Pionen:



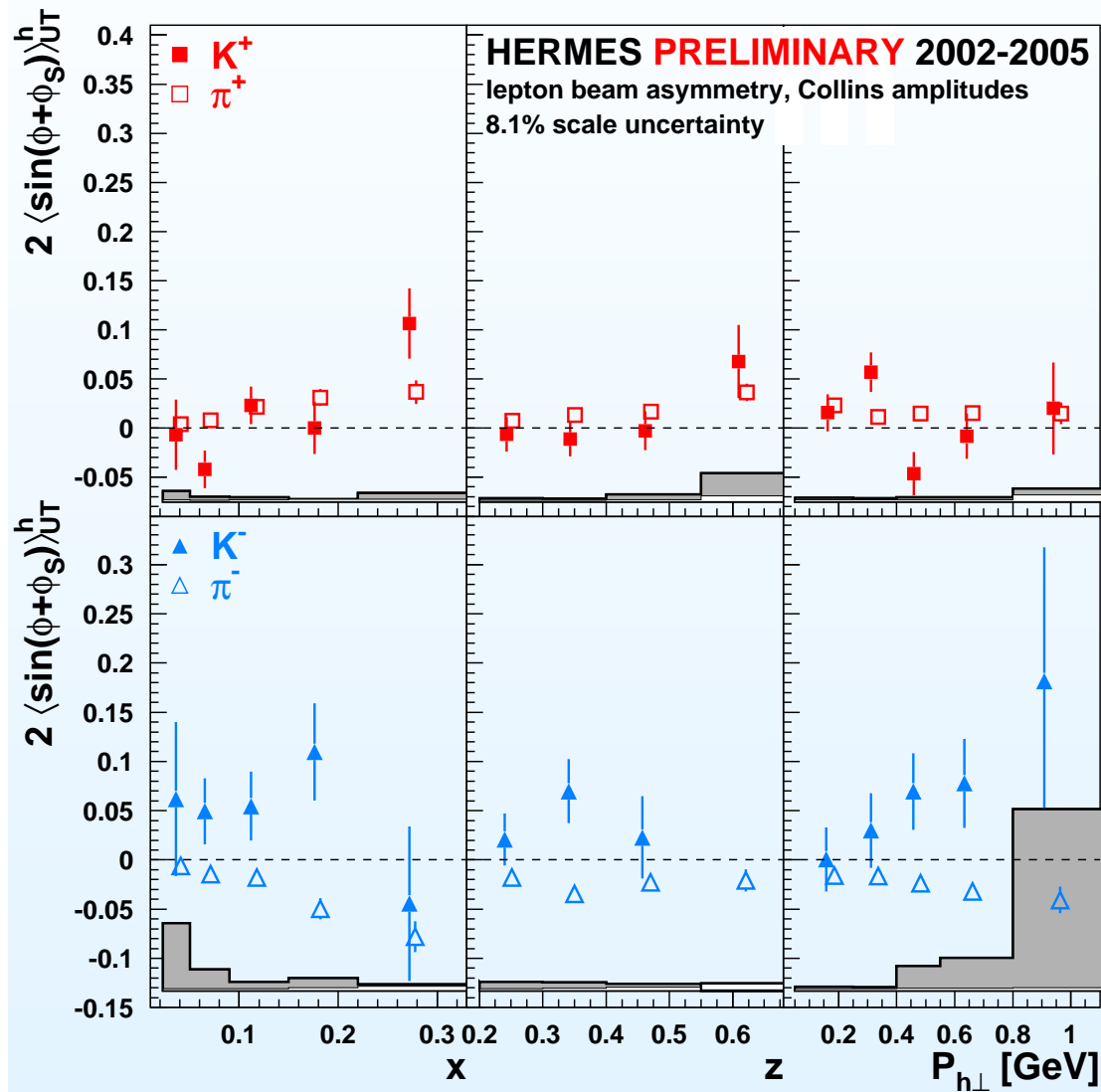
Resultate der Collinsamplitude:

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

aus den 2002–2005 Daten:

- positive Amplitude für π^+
- negative Amplitude für π^- (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:



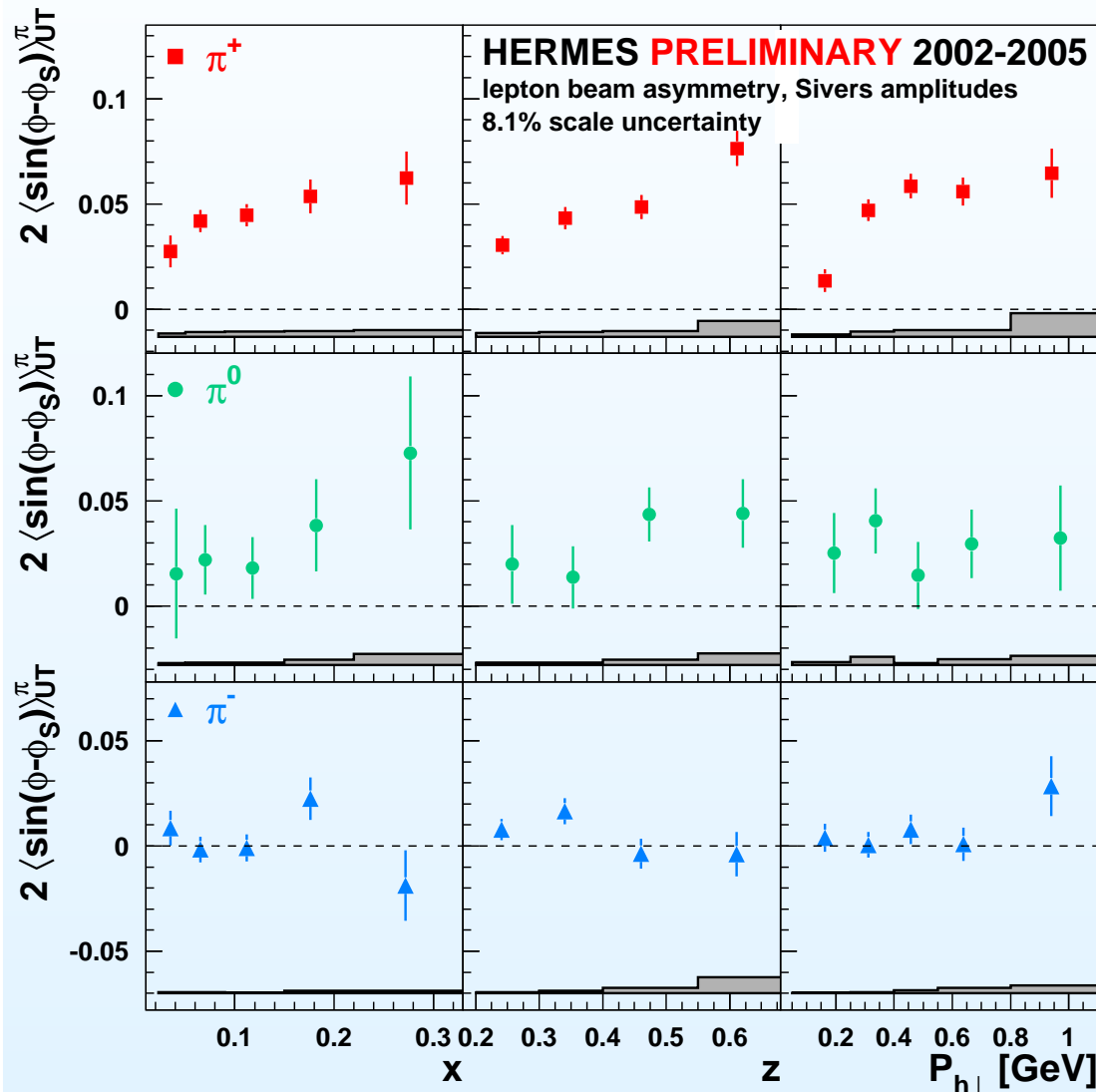
Resultate der Collinsamplitude:

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

aus 2002–2005 Daten:

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

Die Siversamplituden der Pionen:



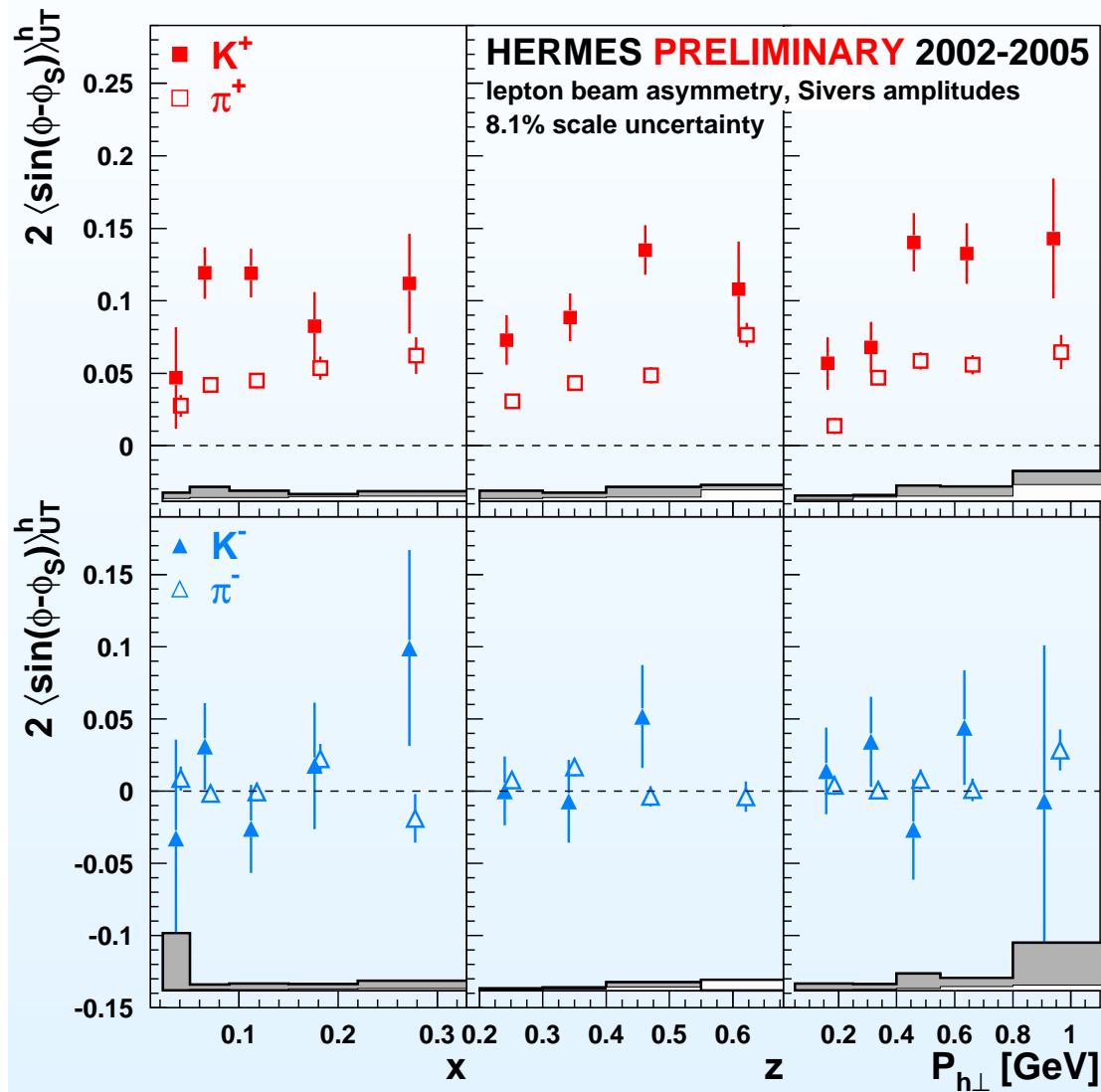
Resultate der Siversamplitude:

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

aus den 2002–2005 Daten:

- signifikant positive Siversamplitude für π^+
- impliziert nicht verschwindenden Bahndrehimpuls L_z^q
- Siversamplitude für π^- 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:

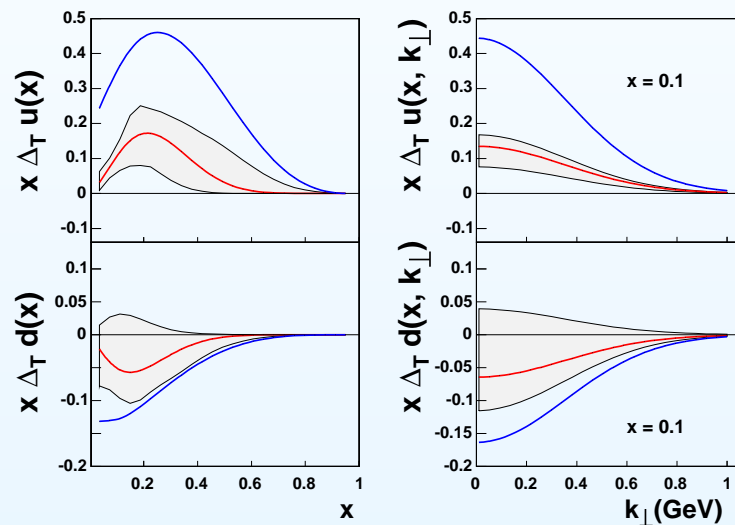
$$f_{1T}^{\perp q}(x) \otimes D_1^q(z)$$

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 π^+
 ➔ 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 π^+ und K^+
 - ↳ Nachweis einer *naive time reversal odd* Partonverteilung



Reserve:

Exklusive Vektormesonenerereignisse

Exklusive Ereignisse im semi-inklusiven Datensatz:

