Messung polarisierter Quarkverteilungen

mit dem hermes–Experiment

Marc Beckmann
für die HERMES Kollaboration

DESY, Hamburg

bmb+f - Förderschwerpunkt
HERMES
Großgeräte der physikalischen Grundlagenforschung

DESY

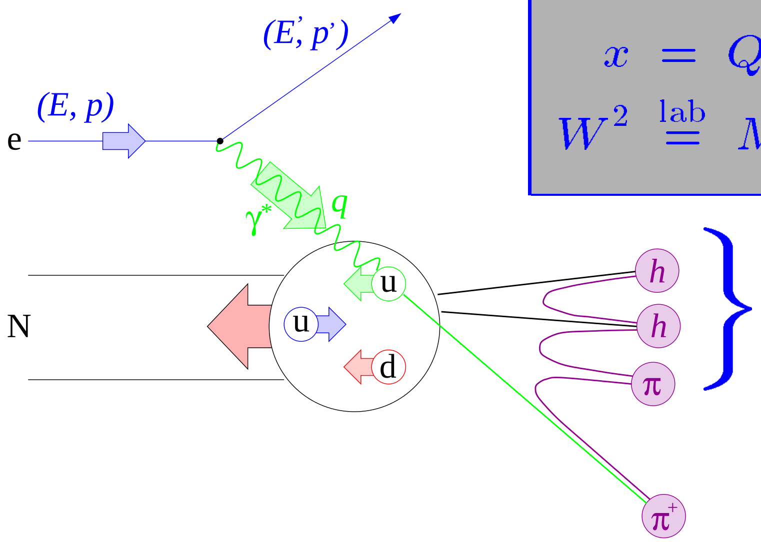
Arbeitstreffen "Hadronen und Kerne", Pommersfelden,
27. September 2001

Inhalt:

- Polarisierte semi–inklusive DIS
- Das HERMES–Experiment bei HERA
- Gemessene semi–inklusive Asymmetrien
- Der *Purity* Formalismus
- Ergebnisse
  - Die Polarisation der Quarksorten
  - Polarisierte Valenz– und Seequarkverteilungen
- Ausblick: Neue Daten und erwartete Genauigkeiten
- Zusammenfassung

Polarisierte semi–inklusive DIS

$$Q^2 \stackrel{\text{lab}}{=} 4EE' \sin^2(\theta/2)$$
$$\nu \stackrel{\text{lab}}{=} E - E'$$
$$x = Q^2/2M\nu$$
$$W^2 \stackrel{\text{lab}}{=} M^2 + 2M\nu - Q^2$$



Target–Fragmente

Strom–Fragmente

- ▷ Hadronen aus der Stromfragmentation:
  $z = E_h/\nu > 0.2$
  $x_F \simeq 2p_{\|}/W > 0.1$
- ▷ Korrelation zwischen Sorte q des getroffenen Quarks und Hadrontyp h durch Fragmentationsfunktionen $D_q^h(z, Q^2)$

Differentieller Wirkungsquerschnitt für semi–inklusive tiefinelastische Streuung:

$$\frac{d^3\sigma^h}{dx\, dQ^2\, dz} = \frac{\sum_q e_q^2\, q(x, Q^2)\, D_q^h(z, Q^2)}{\sum_q e_q^2\, q(x, Q^2)} \cdot \frac{d^2\sigma^{\text{inkl}}}{dx\, dQ^2}$$

Wirkungsquerschnittsasymmetrien

▷ Gemessene Wirkungsquerschnittsasymmetrien

$$A_{\|}^{h} = \frac{1}{\langle P_B\, P_T \rangle} \cdot \frac{(N^h/L)^{\uparrow\Downarrow} - (N^h/L)^{\uparrow\Uparrow}}{(N^h/L)^{\uparrow\Downarrow} + (N^h/L)^{\uparrow\Uparrow}} \,,$$

N^h : Anzahl DIS Ereignisse (vom Typ h)
L : totzeitkorrigierte Luminosität
P_B, P_T : Strahl– und Targetpolarisation

▷ Asymmetrie A_1 im virtuellen Photon–Nukleon–System:

$$\frac{A_{\|}^{h}(x,Q^2)}{D(x,Q^2)[1+\eta\gamma]} = A_1^h(x,Q^2) \overset{g_2=0}{\simeq} \frac{g_1^h(x,Q^2)}{F_1^h(x,Q^2)}$$

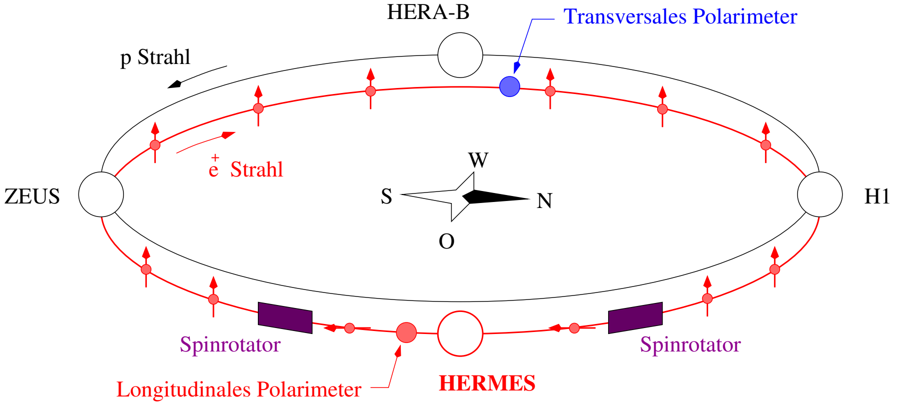
$$\boxed{2x\,F_1 = F_2 \cdot \frac{1+\gamma^2}{1+R}}$$

▷ In LO QCD:

$$A_1^h(x,Q^2) \overset{g_2=0}{\simeq} \frac{\sum_q e_q^2\, \Delta q(x,Q^2)\, \int_{z_{\min}}^{1} \mathrm{d}z\, D_q^h(z,Q^2)}{\sum_q e_q^2\, q(x,Q^2)\, \int_{z_{\min}}^{1} \mathrm{d}z\, D_q^h(z,Q^2)} \times \underbrace{\frac{1+R(x,Q^2)}{1+\gamma^2}}_{=:\,\mathcal{C}}$$

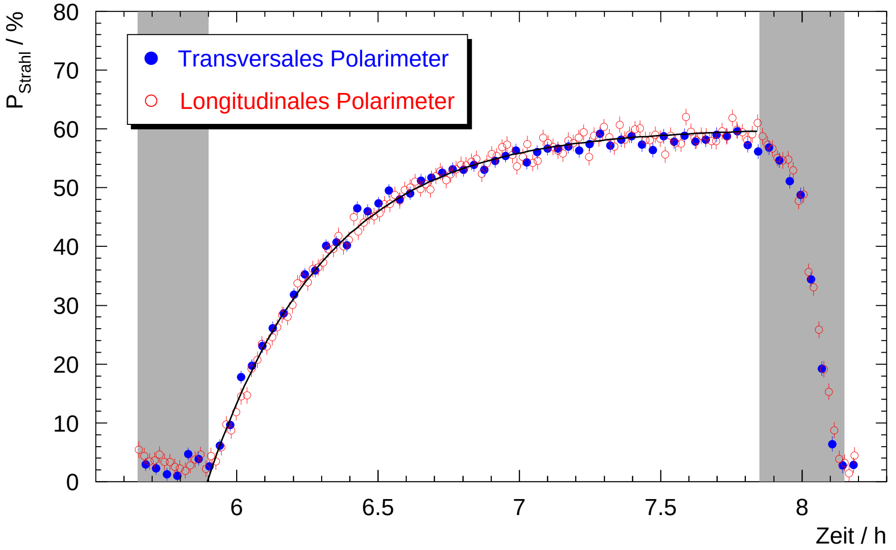
Das HERMES–Experiment bei HERA

- ▷ HERA–$e^{\pm}$: 27.6 GeV/c, $I = 40 \ldots 10$ mA
- ▷ Der polarisierte $e^{\pm}$–Strahl bei HERA:



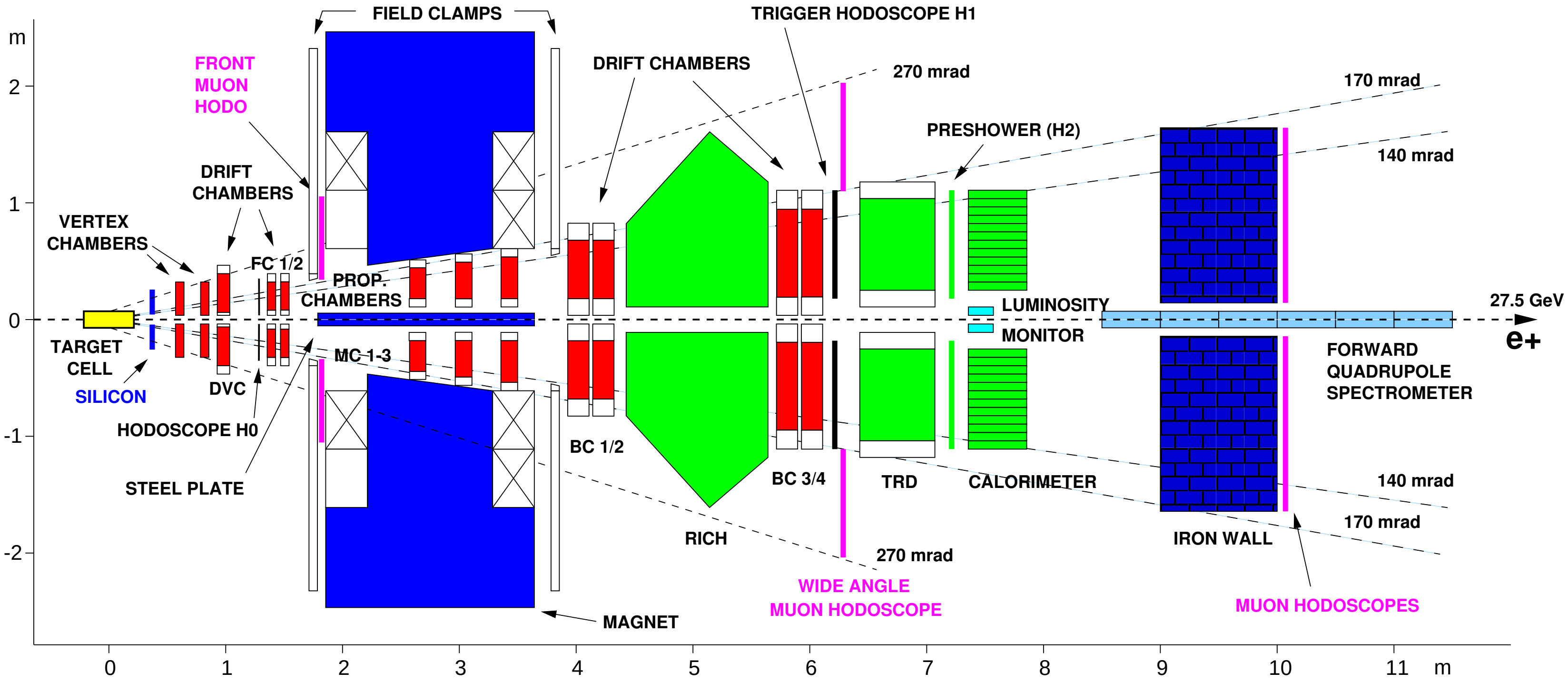
- ▷ Asympotischer Aufbau von transversaler Positronenpolarisation in HERA durch Emission von Synchrotronstrahlung ("Sokolov–Ternov Mechanismus")
- ▷ Longitudinale Positronenspinpolarisation bei HERMES

- ▷ Messung der Strahlpolarisation in Echtzeit mittels zweier Comptonrückstreupolarimeter:



- ▷ Polarisiertes, fensterloses Gastarget (Atomstrahlquelle) im HERA–Vakuum

Das HERMES–Spektrometer



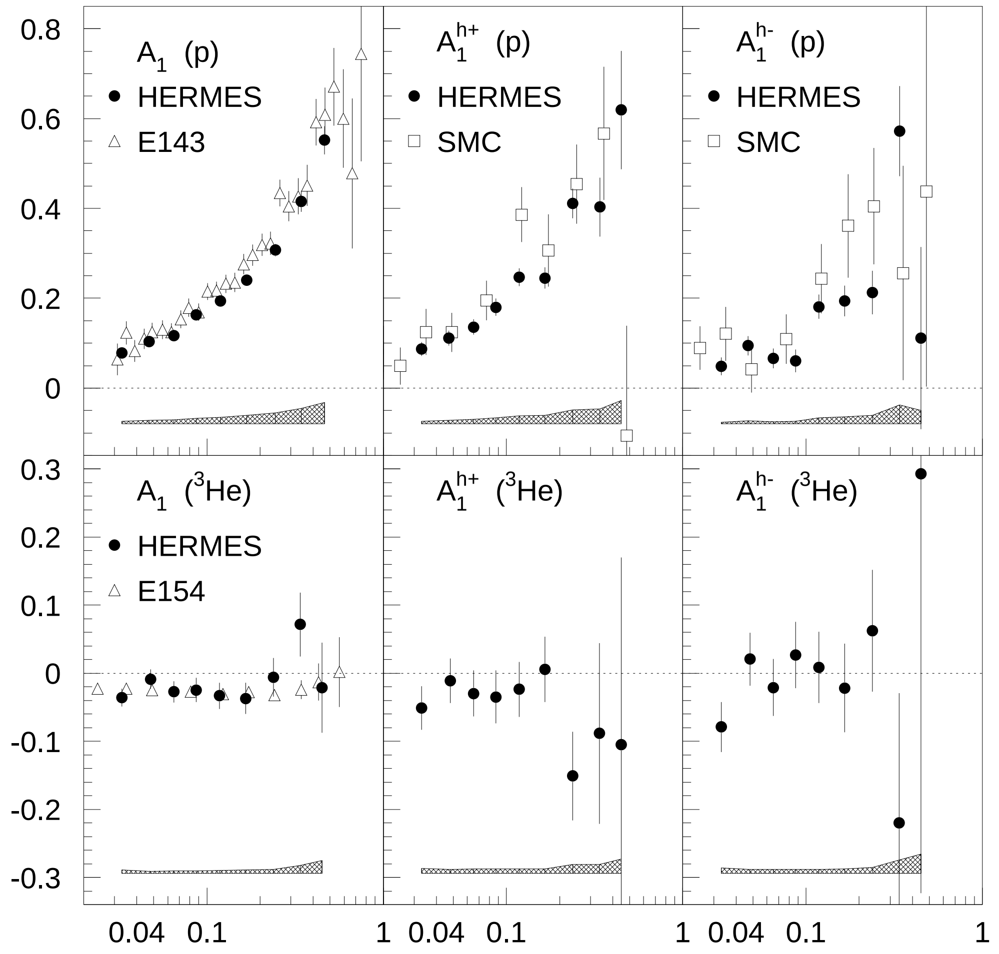
- ▷ Winkelauflösung $\Delta\theta < 0.6$ mrad, Impulsauflösung $\Delta p/p = 0.7\ldots1.3\%$
- ▷ Gute Leptonidentifikation (Effizienz $\sim$ 98%) bei geringer Hadronkontamination ($\leq$ 1%)
- ▷ Schwellen–Čerenkovzähler 1998 durch einen RICH–Detektor ersetzt

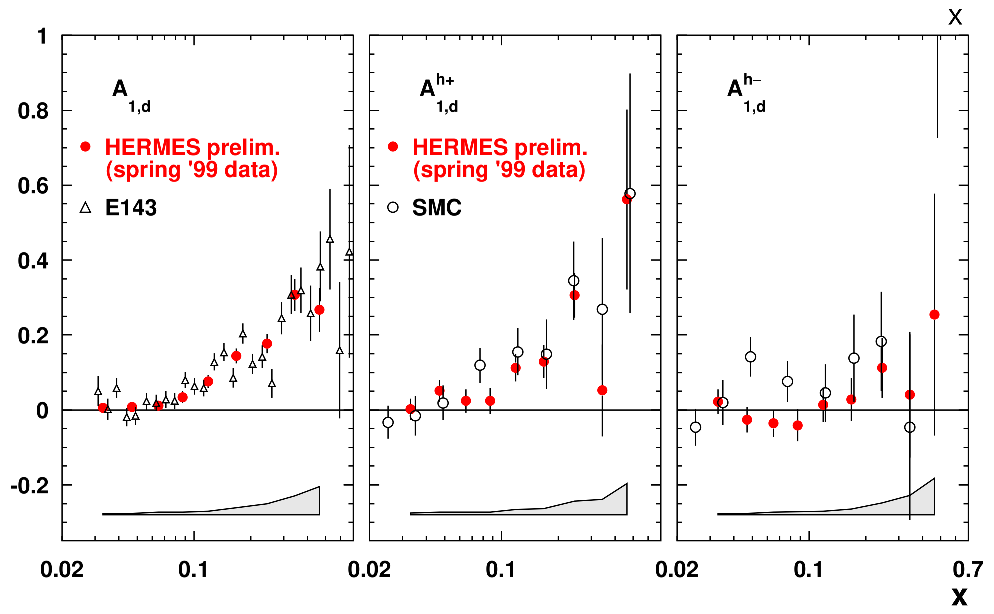
▷ Das HERMES Datennahmeprogramm an polarisierten Targets bis 2000:

Jahr	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Target	$^3\overrightarrow{\mathrm{He}}$	$\overrightarrow{\mathrm{H}}$		$\overrightarrow{\mathrm{D}}$		
DIS Ereignisse ($\times 10^6$)	2.2	0.7	1.5	1.0	1.2	6.1
$\langle P_\mathrm{B} P_\mathrm{T} \rangle$	0.25	0.42	0.48	0.43	0.43	0.45

(Alle Zahlen nach Datenqualitätsschnitten)

Gemessene semi–inklusive Asymmetrien





Der *Purity* Formalismus

▷ Schreibe virtuelle Photon–Nukleon Asymmetrie als

$$A_1^h(x) \;=\; \mathcal{C} \cdot \sum_q \underbrace{\left(\frac{e_q^2 \, q(x) \, \int_{z_{\min}}^1 D_q^h(z) \mathrm{d}z}{\sum_{q'} e_{q'}^2 \, q'(x) \, \int_{z_{\min}}^1 D_{q'}^h(z) \mathrm{d}z} \right)}_{\equiv P_q^h(x)} \cdot \frac{\Delta q(x)}{q(x)}$$

▷ *Purity* $P_q^h(x)$: Wahrscheinlichkeit, dass ein Hadron h aus Streuung an Quark $q(x)$ hervorging

▷ Lineares Gleichungssystem für einen Satz von Asymmetrien $\vec{A}$

$$\vec{A}(x) \;=\; \mathcal{C} \cdot \mathbf{P}(x) \cdot \vec{Q}(x)$$

mit Vektor der Quarkpolarisationen

$$\vec{Q} = \left(\frac{\Delta u + \Delta \bar{u}}{u + \bar{u}}, \frac{\Delta d + \Delta \bar{d}}{d + \bar{d}}, \frac{\Delta q_\mathrm{s}}{q_\mathrm{s}} \right) \text{ oder } \vec{Q} = \left(\frac{\Delta u_\mathrm{v}}{u_\mathrm{v}}, \frac{\Delta d_\mathrm{v}}{d_\mathrm{v}}, \frac{\Delta q_\mathrm{s}}{q_\mathrm{s}} \right) .$$

▷ Gezeigte Asymmetrien sind stark korreliert ⇒ Symmetrieannahmen für Seequarks notwendig:

$$\frac{\Delta q_{\mathrm{s}}}{q_{\mathrm{s}}} \equiv \frac{\Delta u_{\mathrm{s}}}{u_{\mathrm{s}}} = \frac{\Delta \bar{u}}{\bar{u}} = \frac{\Delta d_{\mathrm{s}}}{d_{\mathrm{s}}} = \frac{\Delta \bar{d}}{\bar{d}} = \frac{\Delta s}{s} = \frac{\Delta \bar{s}}{\bar{s}}$$

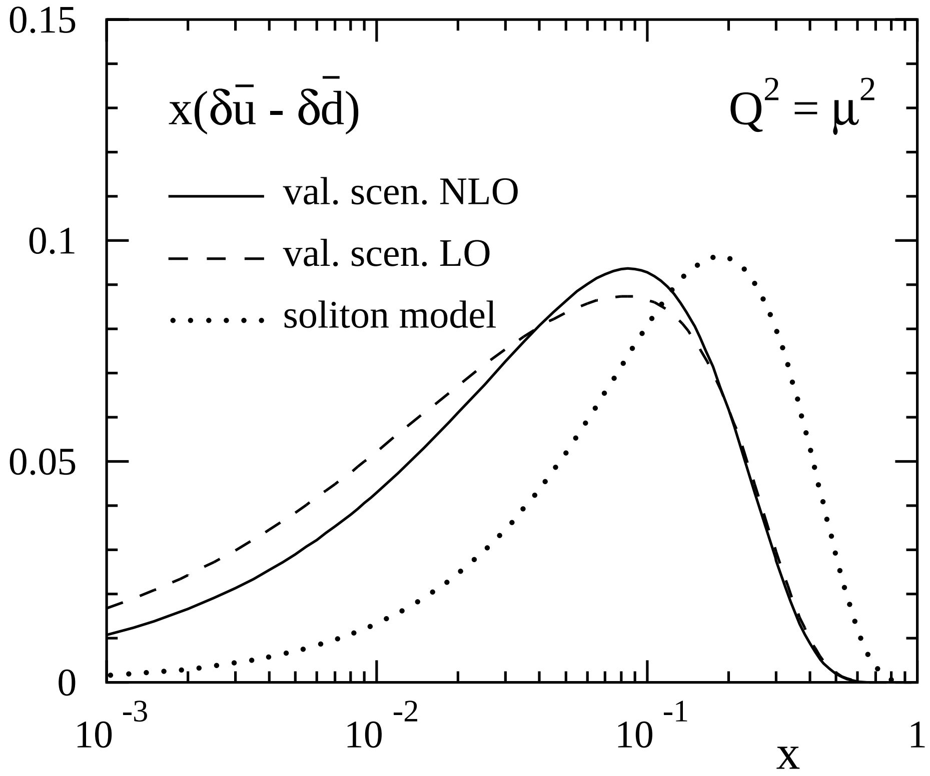
$$\Delta q_{\mathrm{s}} \equiv \Delta u_{\mathrm{s}} = \Delta \bar{u} = \Delta d_{\mathrm{s}} = \Delta \bar{d} = \Delta s = \Delta \bar{s}$$

▷ Löse überbestimmtes Gleichungssystem durch eine χ^2–Minimierung

Modelle der polarisierten Seequarkverteilungen

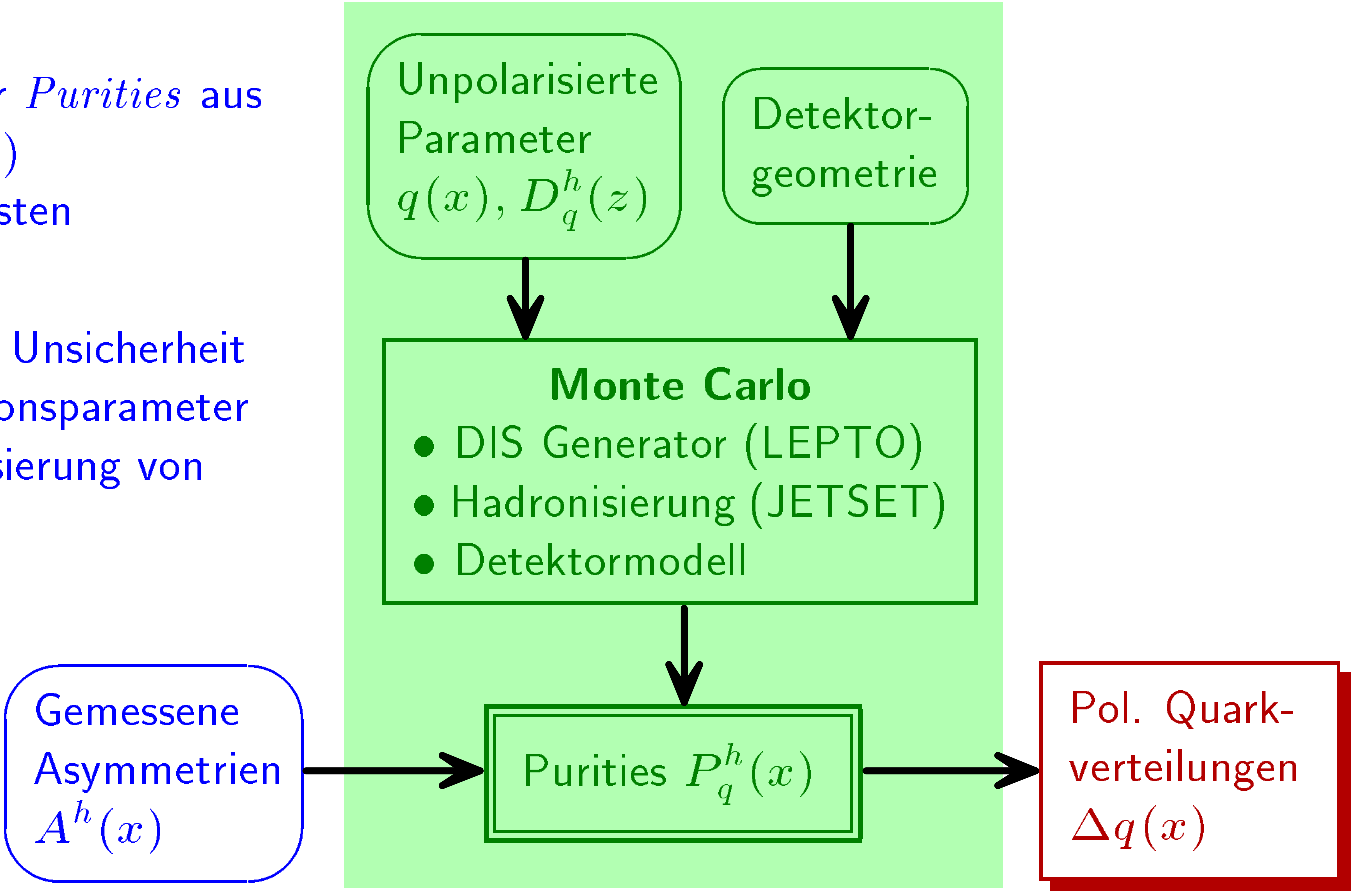
Verschiedene Modelle über polarisierte Seequarkverteilungen mit gebrochener $SU(3)_f$–Symmetrie
$\Delta\bar{u}(x) \neq \Delta\bar{d}(x) \neq \Delta s(x)$

- ▷ Chirales Quark–Soliton–Modell (χQSM)
  [Dressler et al., EPJ C14 (2000) 147]
- ▷ Pauli–Blocking Ansatz
  [Glück et al., PRD 63 (2001) 094005]



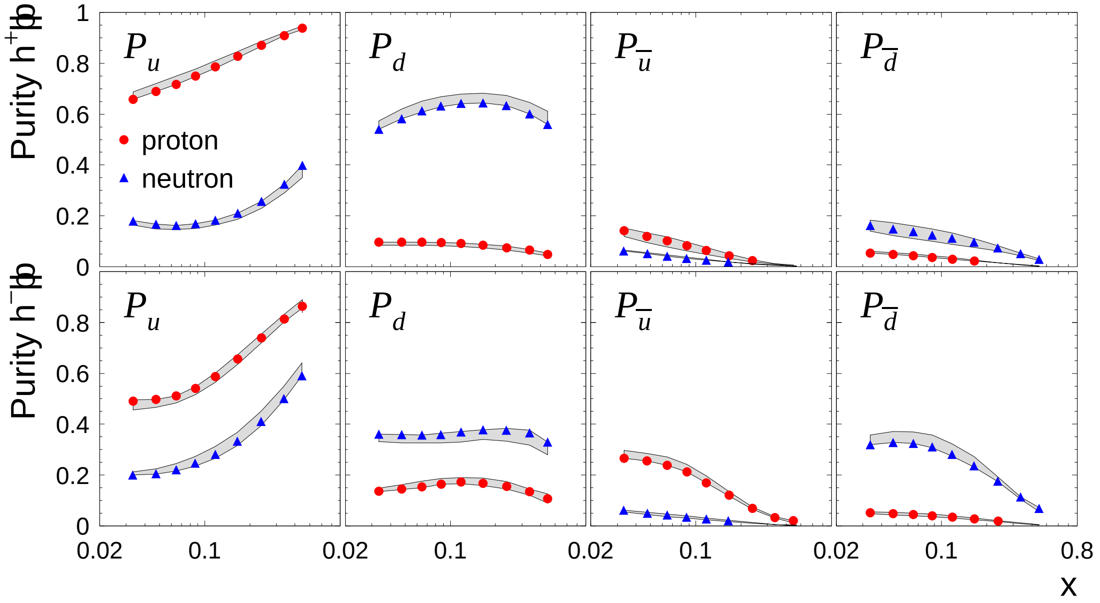
Wie erhalten wir die *Purities*?

- ▷ Monte Carlo zur Generierung der *Purities* aus Parametrisierungen von $q(x, Q^2)$ (CTEQ4LQ) und einem angepassten Fragmentationsmodell (LUND).
- ▷ Abschätzung der systematischen Unsicherheit durch Variation der Fragmentationsparameter und durch alternative Parametrisierung von PDFs (GRV98 LO).



Purities für geladene Hadronen

▷ Purities $P^{h^{\pm}}_{u,\bar{u},d,\bar{d}}$ für ein Proton– und ein Neutrontarget:



Schattierte Bänder geben die systematische Unsicherheit an.

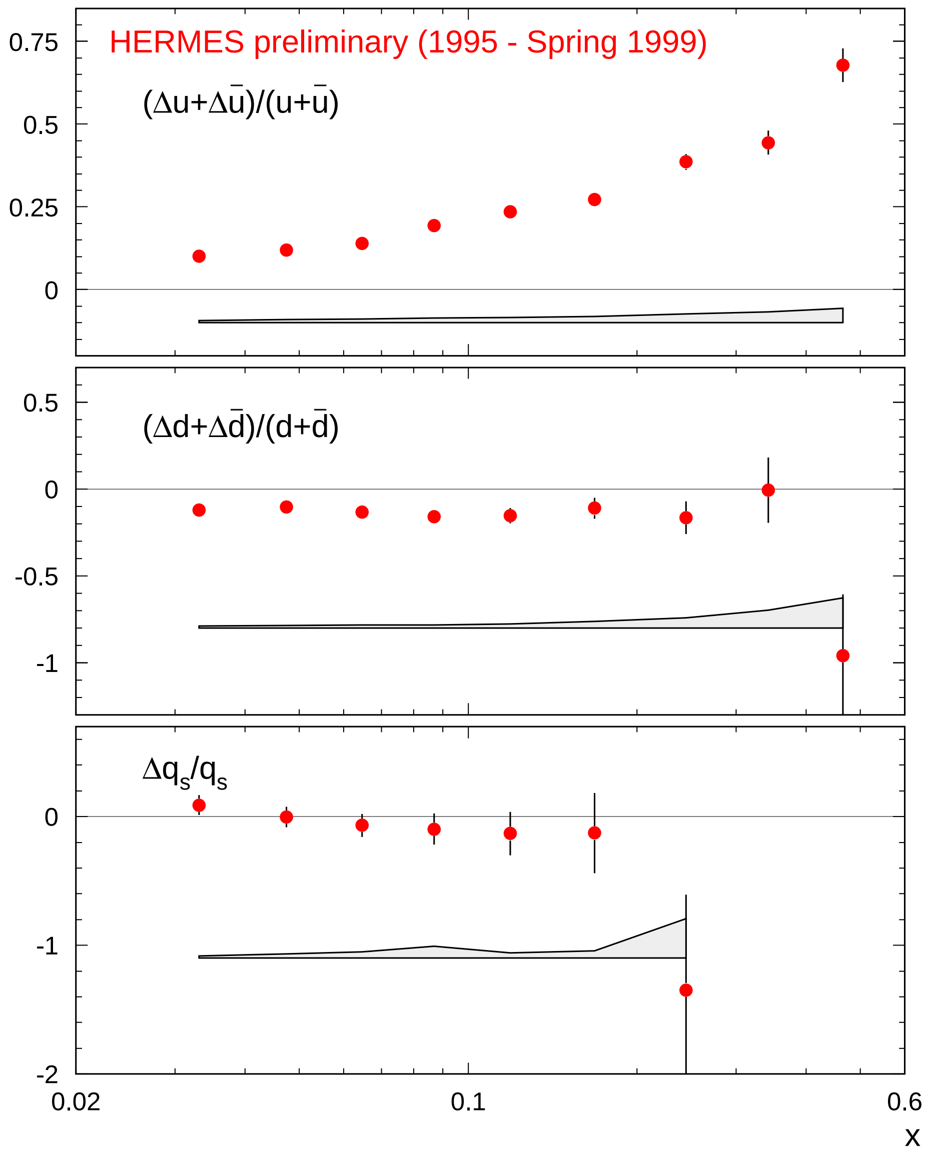
▷ Semi–inklusive Hadronasymmetrien $h^{\pm}$ am Proton durch $\Delta u(x)$ dominiert.

▷ Semi–inklusive Hadronasymmetrien $h^{\pm}$ am Neutron sensitiv auf $\Delta d(x)$.

▷ Sensitivität auf $\Delta \bar{u}(x)$ und $\Delta \bar{d}(x) \gtrsim 10\%$ für $x \leq 0.2$.

⇒ Daten an Proton– und "Neutrontargets" (Deuterium, ^{3}He) müssen kombiniert werden, um andere Seequarksorten als $\Delta \bar{u}(x)$ extrahieren zu können.

Extrahierte Quarkpolarisationen

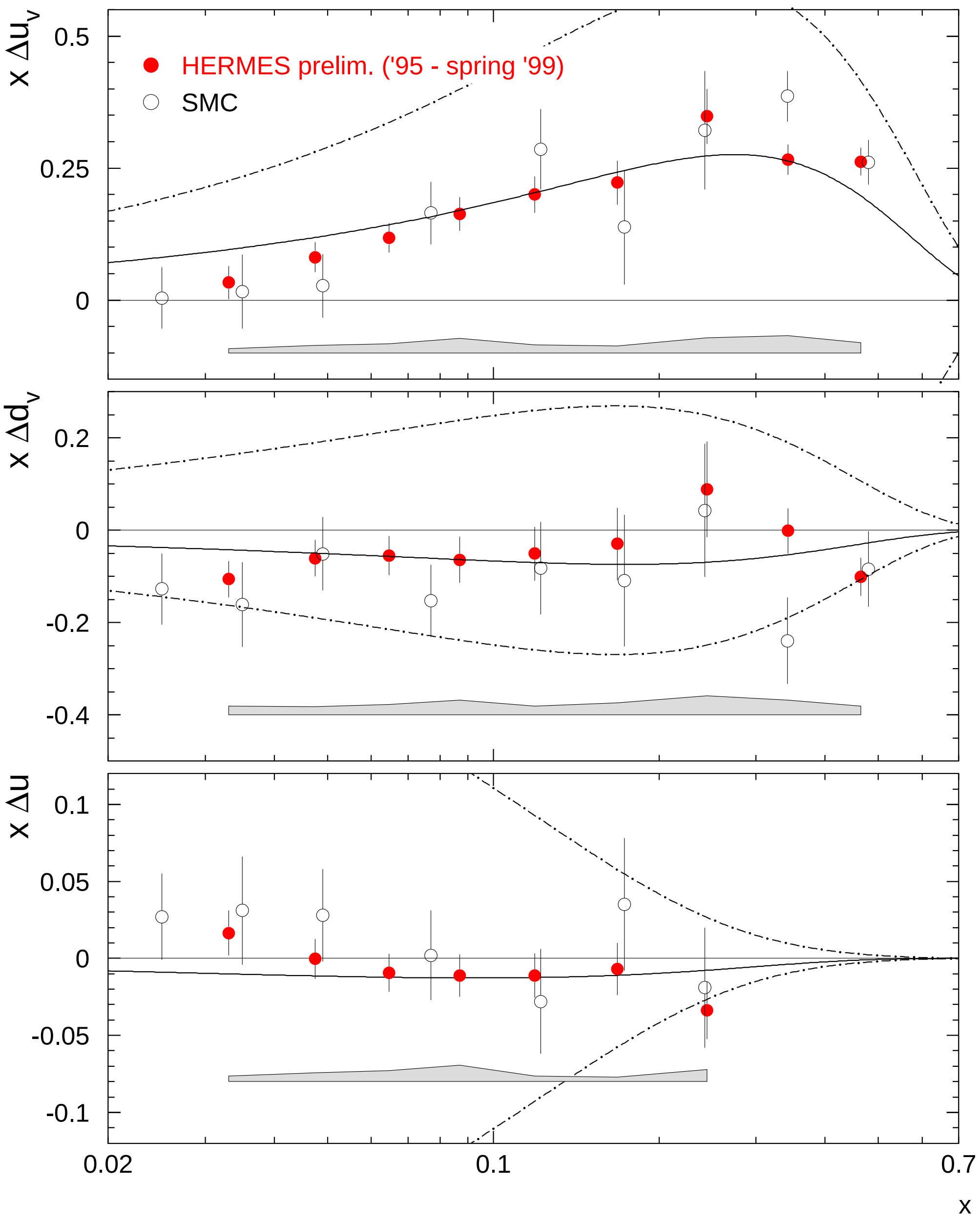


▷ Ergebnisse insensitiv auf Symmetrieannahmen über die Seequarksorten:

$$\frac{\Delta q_s}{q_s} \equiv \frac{\Delta u_s}{u_s} = \frac{\Delta \bar{u}}{\bar{u}} = \frac{\Delta d_s}{d_s} = \frac{\Delta \bar{d}}{\bar{d}} = \frac{\Delta s}{s} = \frac{\Delta \bar{s}}{\bar{s}}$$

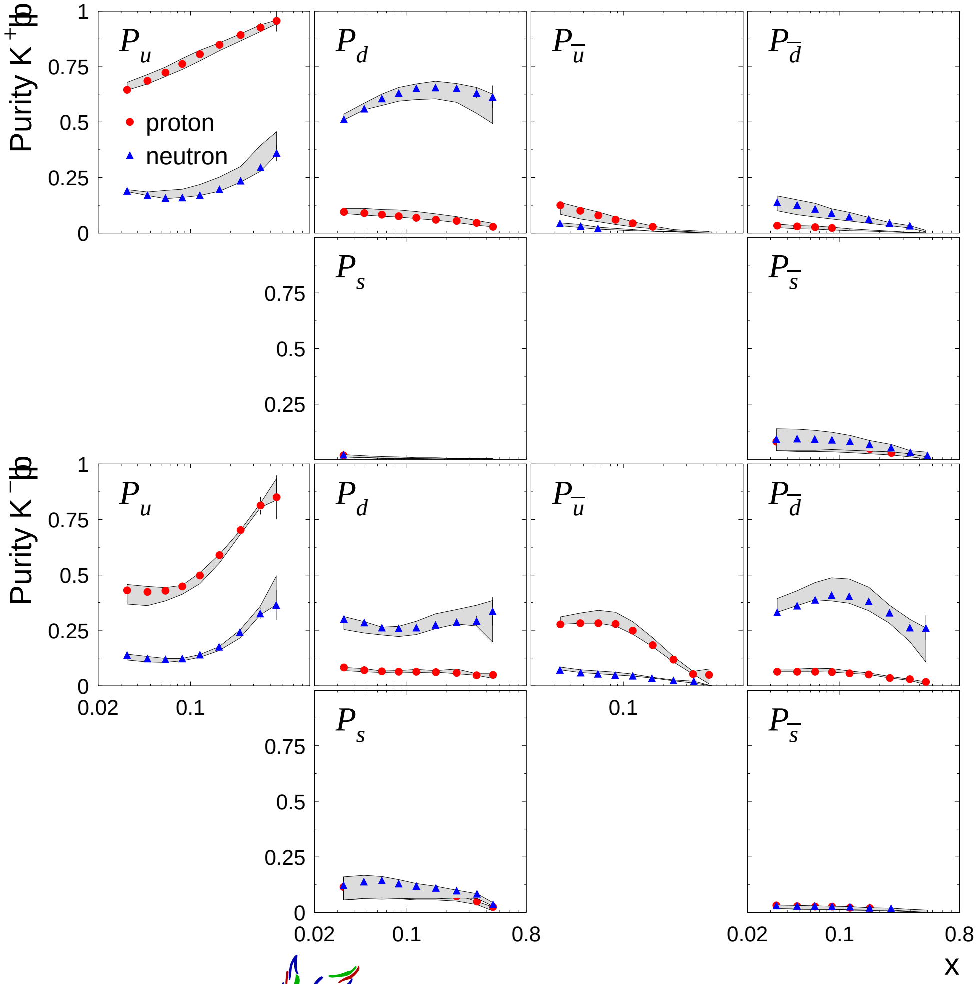
$$\Delta q_s \equiv \Delta u_s = \Delta \bar{u} = \Delta d_s = \Delta \bar{d} = \Delta s = \Delta \bar{s}$$

Polarisierte Valenz– und Seequark–verteilungen



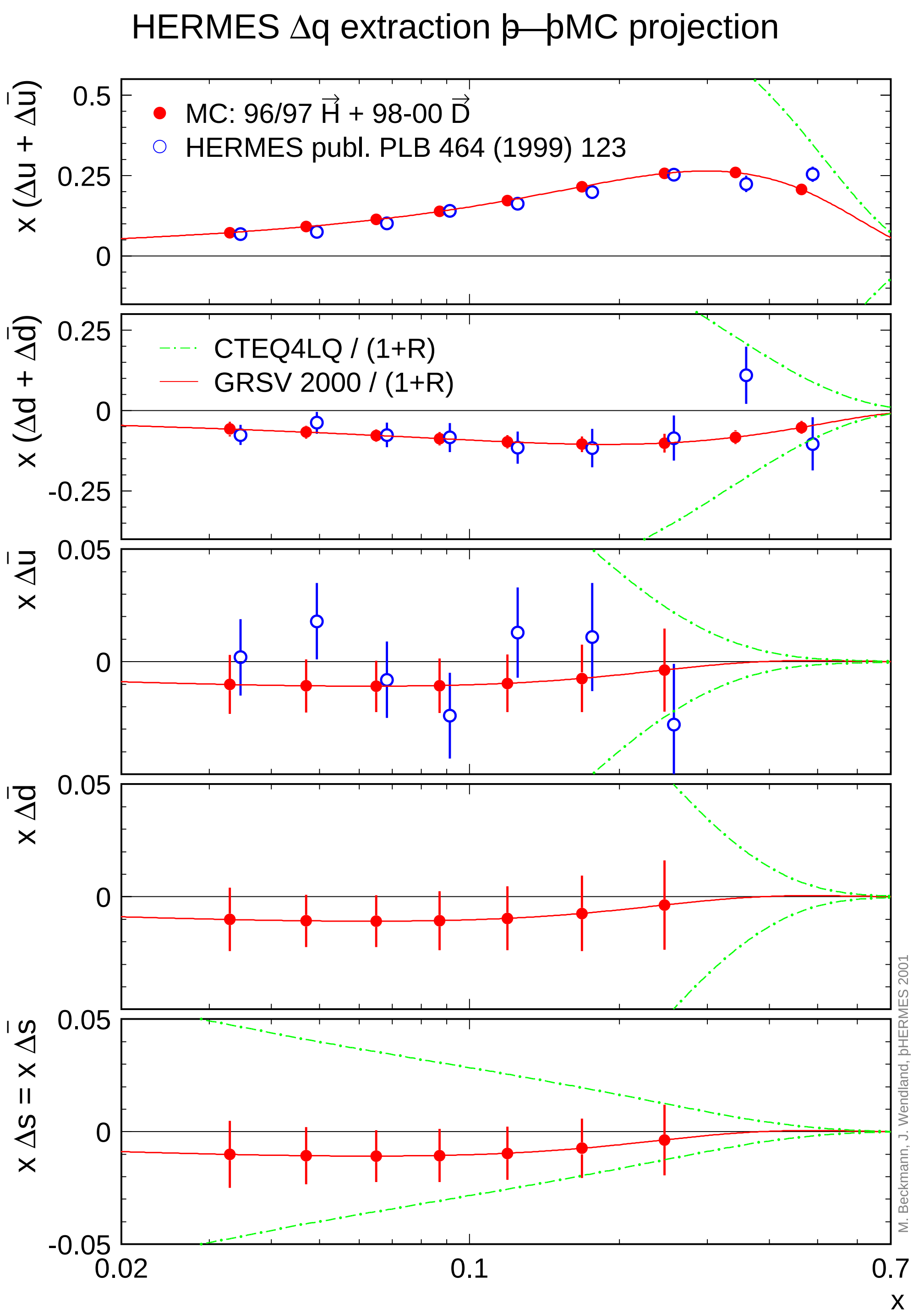
- ▷ SMC Datenpunkte zu $Q^2 = 2.5\ (\mathrm{GeV}/c)^2$ entwickelt.
- ▷ Durchgezogene Linien: Parametrisierung GRSV 96 (LO std.) [Glück et al., PRD 53 (1996) 4775.]
- ▷ Gestrichelte Linien: Positivitätslimits $|\Delta q(x)| \leq q(x)$

Warum ist die Kaonidentifikation essentiell?



- ▷ $K^{\pm}$–Identifikation mittels RICH–Detektor über einen weiten Impulsbereich möglich.
- ▷ Erhöhte Sensitivität auf $\Delta s(x)/\Delta\bar{s}(x)$ durch $K^{\pm}$–Asymmetrien für $x \lesssim 0.2$.

Erwartete statistische Präzision . . .



Projektion basiert auf 7.5×10^6 DIS Ereignissen an einem polarisierten Deuteriumtarget mit semi–inklusiven $h^{\pm}, \pi^{\pm}, K^{\pm}$–Asymmetrien, $\langle P_T \cdot P_B \rangle = 0.45$

Zusammenfassung & Ausblick

- $\oplus$ Polarisierte Quarkverteilungen aus einer LO QCD Analyse von 2.2×10^6 (2.2×10^6) $[1.0 \times 10^6]$ DIS Ereignissen an polarisierten $^3\overrightarrow{\mathrm{He}}$, $(\overrightarrow{\mathrm{H}})$, $[\overrightarrow{\mathrm{D}}]$ Targets.
- $\oplus$ Gute Übereinstimmung mit früherer SMC Messung bei verbesserter stat. Präzision,
- $\oplus$ Gute Präzision der extrahierten polarisierten Quarkdichteverteilungen $\Delta u(x)$ und $\Delta d(x)$
- $\ominus$ Ergebnisse bislang nicht sensitiv auf Symmetrieannahmen über die pol. Seequarkverteilungen

- $\triangleright$ Semi–inklusive Asymmetrien für Pionen und Kaonen
- $\triangleright$ Grosses Ensemble von 8.2×10^6 DIS Ereignissen an einem $\overrightarrow{\mathrm{D}}$–Target

$\Rightarrow$ Erheblich verbesserte statistische Präzision der Polarisation von *up*– und *down*–Quarks.

$\Rightarrow$ Separate Bestimmung aller polarisierten Seequarkverteilungen ohne Symmetrieannahmen möglich.

$\Rightarrow$ Tests der $SU(3)_f$–Symmetrie und des χQSM Modells möglich . . .