



Jet-Messungen bei HERA und ihr Einfluss auf PDF-Fits

Friederike Januschek, Robert Klanner,
Hanno Perrey, Thomas Schörner-Sadenius, Monica Turcato

Institut für Experimentalphysik,
Universität Hamburg

11. März, DPG München 2009

Gliederung

1 Einleitung

- HERA-Speicherring
- Physik bei HERA
- Abhängigkeit der PDFs vom Auflösungsvermögen
- Rezept für einen PDF-Fit

2 ZEUS-PDF-Fits

- ZEUS-S
- ZEUS-JETS

3 PDF-Fits mit neuen Daten

4 Ausblick

Gliederung

1 Einleitung

- HERA-Speicherring
- Physik bei HERA
- Abhängigkeit der PDFs vom Auflösungsvermögen
- Rezept für einen PDF-Fit

2 ZEUS-PDF-Fits

- ZEUS-S
- ZEUS-JETS

3 PDF-Fits mit neuen Daten

4 Ausblick

HERA-Speicherring

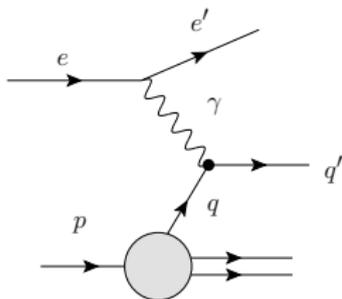


HERA-Speicherring

- $e^{\pm}p$ -Kollisionen mit
 $p_e = 27,5 \text{ GeV}$ und
 $p_p = 920 \text{ GeV}$
- $E_{CMS} \approx 320 \text{ GeV}$
- Zwei $e^{\pm}p$ -Experimente:
 - ▶ H1
 - ▶ ZEUS
- Zwei Datennahmeperioden:
 - ▶ HERA-I: 94–00
 - ▶ HERA-II: 03–07

ep -Kollisionen machen HERA zu *dem* Instrument für Studien der Proton-Struktur!

Physik bei HERA

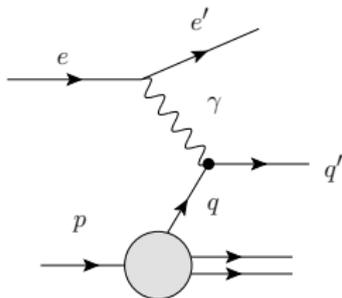


Inklusive Messung

$$\frac{d^2\sigma}{dx dQ^2} \sim \frac{\alpha^2}{xQ^4} (Y_+ F_2^{ep} \mp Y_- xF_3^{ep} - y^2 F_L^{ep})$$

$$F_2^{ep} = \sum_f e_f^2 (xq_f + x\bar{q}_f)$$

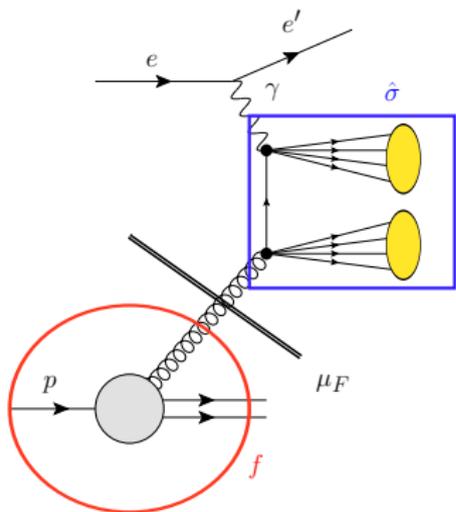
Physik bei HERA



Inklusive Messung

$$\frac{d^2\sigma}{dx dQ^2} \sim \frac{\alpha^2}{xQ^4} (Y_+ F_2^{ep} \mp Y_- xF_3^{ep} - y^2 F_L^{ep})$$

$$F_2^{ep} = \sum_f e_f^2 (xq_f + x\bar{q}_f)$$



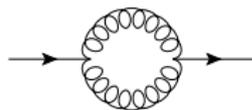
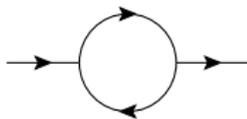
Exklusive Endzustände

$$\sigma = \sum_{\text{Parton } i} \underbrace{f_i(x, \mu_F^2)}_{\text{PDF}} \otimes \underbrace{\hat{\sigma}_i(x, \mu_R^2, \mu_F^2)}_{\text{harte Streuung}}$$

- Faktorisierung: Wirkungsquerschnitt zerfällt in **pertubativen** und **nicht-pertubativen (PDF)** Anteil
- Energieskala der Aufteilung: Faktorisierungsskala μ_F

Entwicklung der PDFs mit Q^2 (DGLAP)

Quarkdichte q_i hängt vom **Auflösungsvermögen Q^2** ab:



$$\underbrace{\frac{dq_i}{d \ln Q^2}}_{\text{Kopplung}} \sim \underbrace{\alpha(Q^2)}_{\text{Kopplung}} \int_x^1 \frac{dy}{y} \left[\underbrace{\sum_j \underbrace{q_j(y, Q^2)}_{\text{Quarkdichte } j} \underbrace{P_{q_i q_j} \left(\frac{x}{y} \right)}_{\text{Splitting-Funktion } j \rightarrow i}}_{\text{Quarkdichte } j} + \underbrace{g(y, Q^2)}_{\text{Gluondichte}} \underbrace{P_{q_i g} \left(\frac{x}{y} \right)}_{\text{Splitting-Funktion } g \rightarrow i} \right]$$

Entwicklung der PDFs mit Q^2 (DGLAP)

Quarkdichte q_i hängt vom **Auflösungsvermögen Q^2** ab:

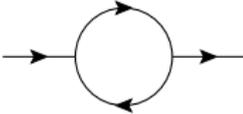


$$\frac{dq_i}{d \ln Q^2} \sim \underbrace{\alpha(Q^2)}_{\text{Kopplung}} \int_x^1 \frac{dy}{y} \left[\underbrace{\sum_j \underbrace{q_j(y, Q^2)}_{\text{Quarkdichte } j}}_{\text{Splitting-Funktion } j \rightarrow i} P_{q_i q_j} \left(\frac{x}{y} \right) + \underbrace{g(y, Q^2)}_{\text{Gluondichte}} \underbrace{P_{q_i g} \left(\frac{x}{y} \right)}_{\text{Splitting-Funktion } g \rightarrow i} \right]$$

Entwicklung der PDFs mit Q^2 (DGLAP)

Quarkdichte q_i hängt vom **Auflösungsvermögen Q^2** ab:

$$\frac{dq_i}{d \ln Q^2} \sim \underbrace{\alpha(Q^2)}_{\text{Kopplung}} \int_x^1 \frac{dy}{y} \left[\underbrace{\sum_j \underbrace{q_j(y, Q^2)}_{\text{Quarkdichte } j}}_{\text{Splitting-Funktion } j \rightarrow i} P_{q_i q_j} \left(\frac{x}{y} \right) + \underbrace{g(y, Q^2)}_{\text{Gluondichte}} \underbrace{P_{q_i g} \left(\frac{x}{y} \right)}_{\text{Splitting-Funktion } g \rightarrow i} \right]$$





Rezept für einen PDF-Fit

- Parameterisierung der PDFs in x bei kleinem Q_0^2 , z.B.

$$xu_v = A_u x^{\lambda_u} (1 - x)^{\mu_u} P(x, u)$$

- Entwicklung mit DGLAP zu höheren Q^2
- Auswahl der zu fittenden Daten nach Bedingungen:
 - ▶ gute Beschreibung durch Theorie
 - ▶ sensitiv auf PDFs

- Startwerte Parameter (beliebig) festlegen

- Starte Fit:

Variation von Parametern und χ^2 -Minimierung durch MINUIT

Gliederung

- 1 Einleitung
 - HERA-Speicherring
 - Physik bei HERA
 - Abhängigkeit der PDFs vom Auflösungsvermögen
 - Rezept für einen PDF-Fit
- 2 **ZEUS-PDF-Fits**
 - ZEUS-S
 - ZEUS-JETS
- 3 PDF-Fits mit neuen Daten
- 4 Ausblick

ZEUS-Standard-Fit (ZEUS-S)

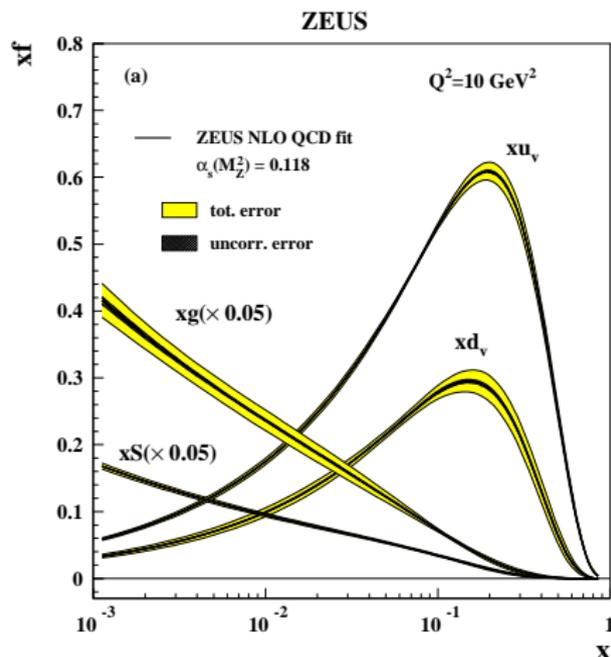


Abbildung: ZEUS-S Verteilungen für das Gluon, See-Quarks, und den u und d Valenz-Quarks bei $Q^2 = 10 \text{ GeV}^2$

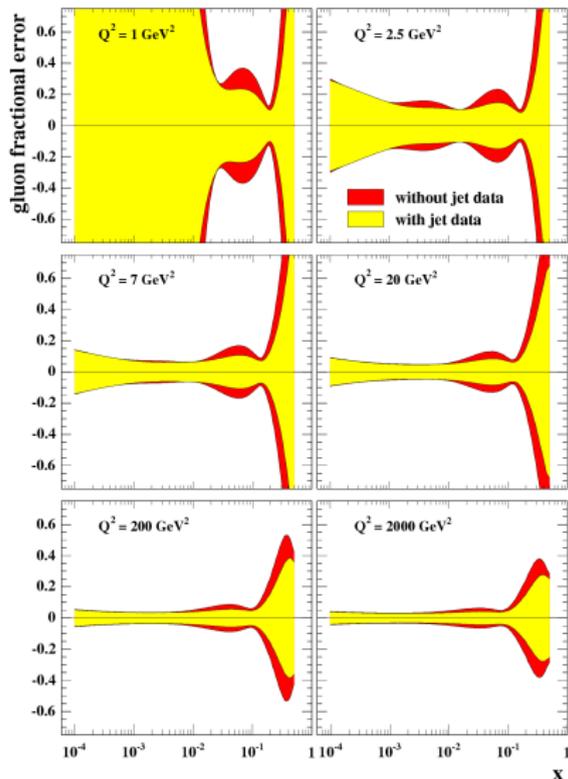
Fit basiert auf **inklusive Messungen** mit ZEUS 96–97 Daten sowie Daten aus *fixed-target* Experimenten

In Arbeit:

- Messungen in HERA-II-Daten
⇒ weniger statistische Fehler
- Kombination mit H1
⇒ *cross-calibration*: weniger systematische Fehler

ZEUS-S + Jets Fit (ZEUS-JETS)

ZEUS



Motivation

- Berücksichtige Jet-Daten:
direkt sensitiv auf Gluon
- ⇒ Gluon-PDFs bei hohem x besser eingeschränkt!
- Beschränkung auf ZEUS-Daten vermeidet hohe korrelierte Fehler

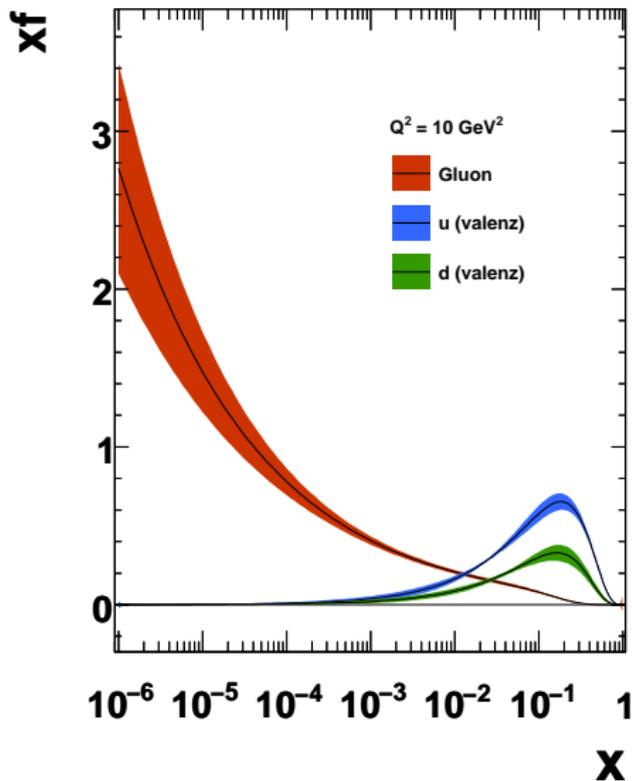
ZEUS-JETS verbessert Genauigkeit der Gluon-PDFs deutlich!

Gliederung

- 1 Einleitung
 - HERA-Speicherring
 - Physik bei HERA
 - Abhängigkeit der PDFs vom Auflösungsvermögen
 - Rezept für einen PDF-Fit
- 2 ZEUS-PDF-Fits
 - ZEUS-S
 - ZEUS-JETS
- 3 PDF-Fits mit neuen Daten
- 4 Ausblick

PDF-Fits mit neuen Daten (I)

PDF-Fit (neue Daten)

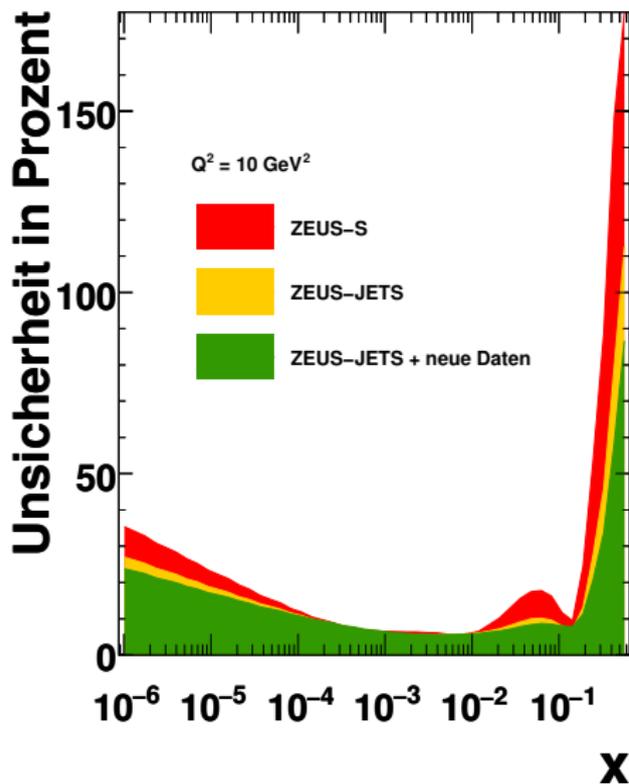


Erweiterung der PDF-Fits mit neuen Daten

- Gezeigt sind Verteilungen für **Gluon, u - und d -Quarks** (Linien) mit experimentellen Unsicherheiten (Farbbänder)
- 632 Datenpunkte statt 577 (ZEUS-JETS)
- **Veränderung zentraler Wert:** bis zu 15% für kleine x - und Q^2 -Werte
- Fit-Ergebnis überzeugt: $\chi^2/\text{n.d.f.} \approx 1.3$

PDF-Fits mit neuen Daten (II)

Unsicherheit Gluon-Fit



Vergleich mit bestehenden ZEUS-Fits

- Abbildung zeigt Fehler des Fits auf die Gluon-Verteilung
- Neue Daten reduzieren Fehler insbesondere bei mittleren x -Werten

Durch Einbeziehen neuer Daten können die PDF-Fits weiter verbessert werden

Gliederung

- 1 Einleitung
 - HERA-Speicherring
 - Physik bei HERA
 - Abhängigkeit der PDFs vom Auflösungsvermögen
 - Rezept für einen PDF-Fit
- 2 ZEUS-PDF-Fits
 - ZEUS-S
 - ZEUS-JETS
- 3 PDF-Fits mit neuen Daten
- 4 **Ausblick**

Ausblick: Neue Analysen und die PDF-Fits

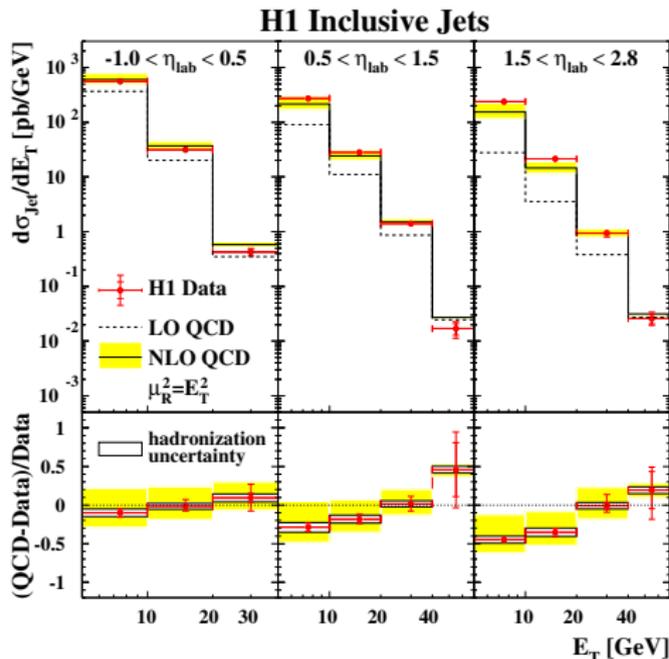


Abbildung: H1 inklusive Jet-WQS als Funktion der transversalen Jet-Energie (bei $5 < Q^2 < 100 \text{ GeV}^2$ und $0.2 < y < 0.6$)

Ziel

Multi-differenzielle
1-/2-/3-Jet-Messung bei
niedrigem Q^2

- Prüfe pQCD
- Prüfe Faktorisierung
- Prüfe Parton-Evolution (DGLAP)

Einsatzmöglichkeit in PDF-Fits
unklar \Rightarrow Hoffnung auf
Theorie-Fortschritte (NNLO)

Zusammenfassung

- Aufnahme von Jet-Daten in PDF-Fits erhöht die Genauigkeit der Gluon-PDFs
- Berücksichtigung zusätzlicher Jet-Daten verbessert Gluon-PDF signifikant
- Weitere Verbesserung durch neue Analysen erhofft

5 Anhang

- Beispiel für PDF-Parameterisierung
- Vergleich ZEUS-S mit MRST und CTEQ
- Faktorisierungstheorem

Beispiel für PDF-Parameterisierung

$$\begin{aligned}xu_v &= A_u x^{\lambda_u} (1-x)^{\mu_u} P(x, u) \\xd_v &= A_d x^{\lambda_d} (1-x)^{\mu_d} P(x, d) \\xS &= A_S x^{\lambda_S} (1-x)^{\mu_S} P(x, S) \\xg &= A_g x^{\lambda_g} (1-x)^{\mu_g} P(x, g)\end{aligned}$$

$P(x, p_i)$: Polynom z.B. in \sqrt{x}

Vergleich ZEUS-S mit MRST und CTEQ

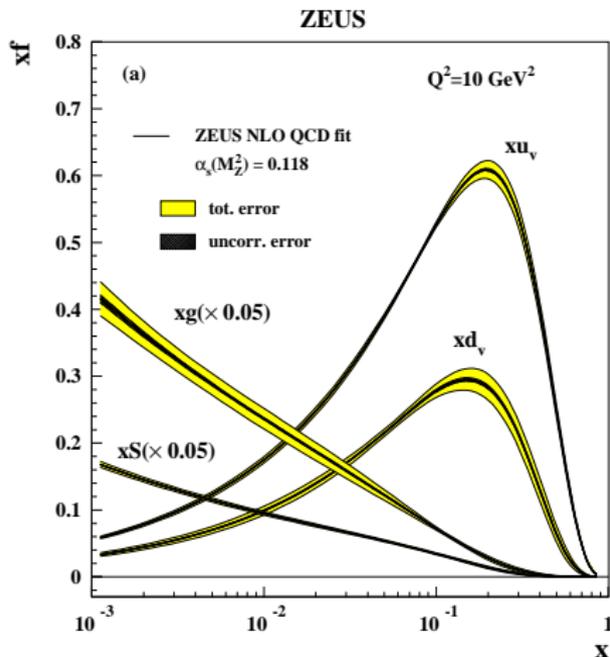


Abbildung: ZEUS-S Verteilungen für das Gluon, See-Quarks, und den u und d Valenz-Quarks

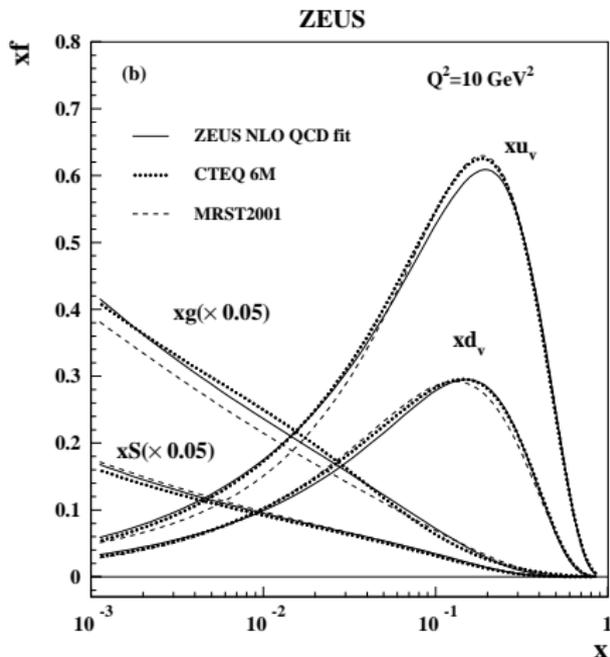
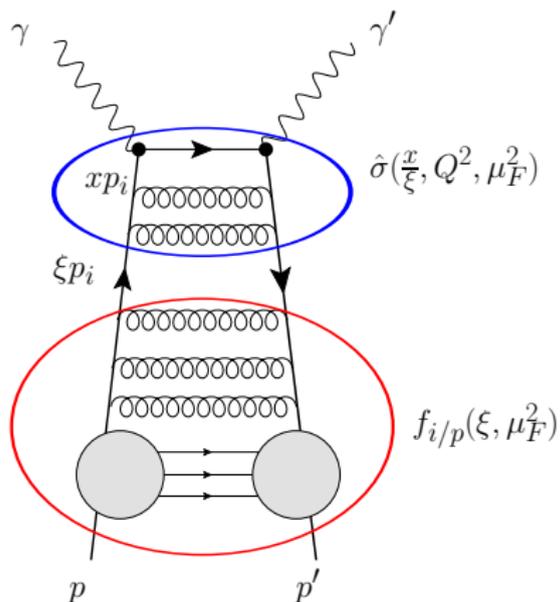


Abbildung: Vergleich ZEUS-S mit MRST2001 und CTEQ6

Faktorisierungstheorem



Faktorisierungstheorem

$$\sigma = \sum_{\text{Parton } i} \underbrace{f_{i/p}(x, \mu_F^2)}_{\text{PDF}} \otimes \underbrace{\hat{\sigma}_{i\gamma}(x, \alpha_s(\mu_R^2), \mu_F^2)}_{\text{harte Streuung}}$$

- Wirkungsquerschnitt zerfällt in **pertubativen** und **nicht-pertubativen (PDF)** Teil
- Energieskala der Aufteilung: Faktorisierungsskala μ_F
- PDFs absorbieren Gluon-Emissionen mit $\mu < \mu_F$
 \Rightarrow PDFs Q^2 -abhängig!