

Jet-Messungen bei HERA und ihr Nutzen für PDF-Fits in NLO QCD

Robert Klanner, Peter Schleper, Björn Opitz, Thomas Schörner-Sadenius

Universität Hamburg, Institut für Experimentalphysik

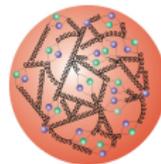
DPG-Frühjahrstagung, 7. März 2008

Überblick

- 1 Parton-Verteilungsfunktionen
 - Fits an F_2 -Messungen
- 2 PDF-Fits mit Jet-Daten: Prinzip
- 3 PDF-Fits mit Jet-Daten: Ergebnisse
- 4 Stand der Arbeit
- 5 Zusammenfassung & Ausblick

Motivation: Was ist ein Proton?

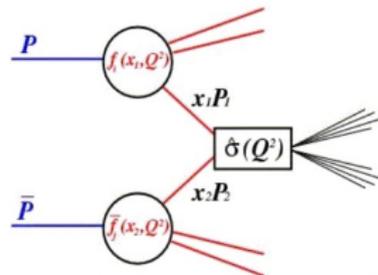
Die “brodelnde Suppe” aus Quarks und Gluonen wird von “**parton distribution functions**” (PDFs) beschrieben. Eigenschaften:



- $f_{a/p}(x, Q^2)$: beschreiben die Wahrscheinlichkeit, in einem Prozess mit “Auflösung” Q^2 ein Parton (= Quark oder Gluon) vom Typ a mit Protonimpulsbruchteil x zu finden.
- Proton \rightarrow nicht-perturbatives Regime: Bestimmung der PDF durch **Fits** notwendig! Input: Fixed-Target-Experimente, TeVatron, HERA.
- PDFs sind *universell*: Bestimmung in Prozess XY \rightarrow Anwendung in Prozess YZ möglich
- Basis für Berechnung von Wirkungsquerschnitten: “**Faktorisierung**” \rightarrow Aufteilung von σ_{process} in PDFs und harten partonischen Subprozess:

Z.B: Jet-Produktion in pp -Streuung

$$\sigma_{pp} \propto f_{a1/p1}(x_1, Q^2) \otimes f_{a2/p2}(x_2, Q^2) \otimes \hat{\sigma}_{a1,a2}(Q^2)$$

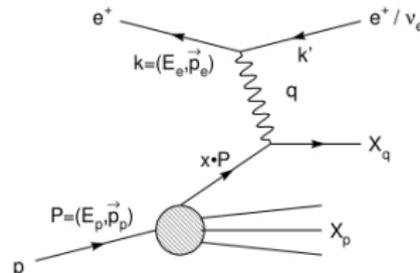


Motivation (II): PDF-Bestimmung mit HERA

Zur Erinnerung: HERA-Kinematik

$$Q^2 = -(k - k')^2 \quad \text{Impulstransferquadrat: Auflösung}$$

$$x_{Bj} = \frac{Q^2}{2pq} \quad \text{Parton-Anteil am Protonimpuls}$$



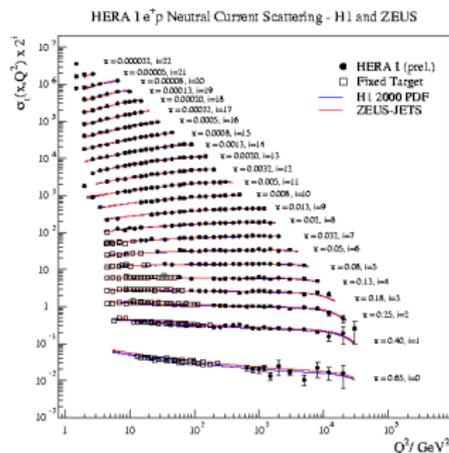
F_2 : Die elektromagnetische Strukturfunktion des Protons

$$F_2(x, Q^2) = x \sum_q e_q^2 \cdot f_q(x, Q^2)$$

“Reduzierter” Wirkungsquerschnitt:

$$\sigma_r = \frac{d^2 \sigma_{e\pm p}}{dx dQ^2} / \frac{2\pi\alpha^2}{xQ^4 Y} = F_2 \cdot (1 + \Delta)$$

(Kinematik herausfaktoriert)

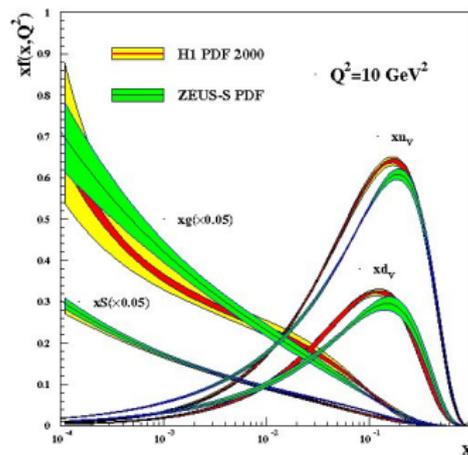


Wie funktioniert ein F_2 -Fit?

Grundlage: DGLAP-Evolution der Partondichten

$$\frac{dq_i(x, Q^2)}{d \ln Q^2} \propto \alpha_S \cdot \int_x^1 \frac{d\xi}{\xi} [g(x, Q^2) P_{qg}(x/\xi) + q_i(x, Q^2) P_{qq}(x/\xi)]$$

- Parametrisierung der PDFs in x bei Skala Q_0 :
 $q_i(x) = p_1 x^{p_2} (1-x)^{p_3} \dots$
- Berechnung der PDFs bei $Q > Q_0$ mit DGLAP-Gleichungen
- Berechnung von σ_r
- Wiederholung mit unterschiedl. Startparametern, χ^2 -Fit:
 $\mathcal{O}(10^3)$ Berechnungen.



Was ist eigentlich mit den Gluonen?

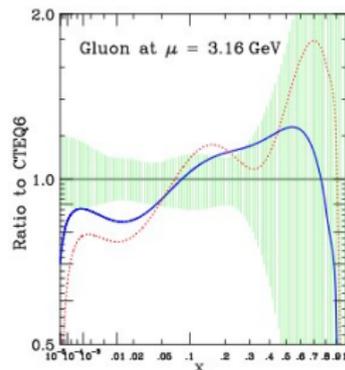
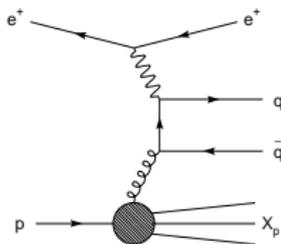
Problem: Gluonen sind elektrisch neutral.

F_2 hängt von der **Gluondichte** $g(x) \equiv f_g(x)$ nur über

scaling violations ab: $xg(x) \propto \frac{\partial F_2(\frac{x}{2}, Q^2)}{\partial \ln Q^2}$

→ **Große Unsicherheit**, vor allem bei hohen x .

Und: Starke PDF-Fitter-Gruppen-Abhängigkeit.



Grün: Gluon-Unsicherheit (CTEQ6), Linien: MRST

Besser: Direkte Gluon-Abhängigkeit!

Boson-Gluon-Fusions-Ereignisse:
Erkennbar an **zwei Jets**, oder Produktion schwerer Quarks (c,b).

Verbesserung: möglich?

Idee:

- Messung von Jet-Wirkungsquerschnitten:
 $\frac{d\sigma}{dQ^2}, \frac{d\sigma}{dE_T}, \frac{d\sigma}{dM_{jj}}, \frac{d\sigma}{d\eta}$, doppelt differenziell, für 1,2,3 Jets ...
- Vergleich mit theoretischen Vorhersagen — die von Gluondichte abhängen
- Nutzung der Jet-Daten in einem PDF-Fit.

ABER:

- Berechnung von Jet-Wirkungsquerschnitten: kompliziert, darum langsam
- Genügend Statistik (10^8 Events): → ein Tag Rechenzeit
- Fit mit 1000 Berechnungen → drei Jahre. Unpraktisch.

Lösung durch Beschleunigung

- Berechnung von Jet-Wirkungsquerschnitten:

$$\sigma = \sum_{n=1}^2 \alpha_S^n(\mu_R) \sum_a \int_x^1 dx' \cdot \hat{\sigma}_{a,n}\left(\frac{x_{Bj}}{x}, \mu_F, \mu_R\right) \cdot f_{a/p}(x, \mu_F)$$

(Partontypen a , Subprozess $\hat{\sigma}_a$)

- Schneller: Summation über Bins in x and Q^2 anstelle der Faltung
→ PDF außerhalb des Integrals!

$$\sum_a \int \hat{\sigma}_a \cdot f_{a/p}(x, Q^2) \longrightarrow \sum_a \sum_{i,j} \tilde{f}_{a/p}(x_i, Q_j^2) \cdot \int \hat{\sigma}_a$$

(Bedingung: PDFs f_a hinreichend konstant in (x_i, Q_j^2) -Bins.)

- Vor uns: M. Wobisch (2000) → “fastNLO”-Gruppe: genutzt von CTEQ
- Und: ZEUS-Kollaboration → “ZEUS-JETS fit”, DESY-05-050

So funktioniert's

- Berechnung der Jet-Observablen wie üblich: NLO-Programm
- Speichern von **Gewichten** $\int \hat{\sigma}_a$ für (x, Q^2) -Bins in Matrix-Form:

$$(ix, iQ^2, iE_T^2, n \otimes a, iobs)$$

- Nun: Berechnung der Jet-Observablen mit Gewichten aus diesem "Grid-File" (ASCII) möglich — mit verschiedenen PDF-Parametern für Fit!

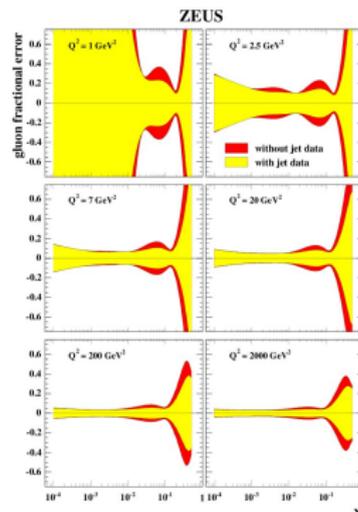
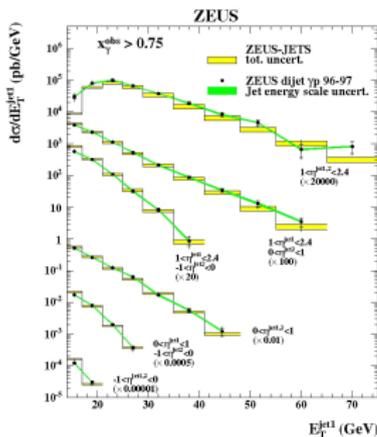
Ergebnis:

- Integration nur einmal notwendig, um Gewichte zu berechnen
→ Zeitdauer: ca. 1 Tag
- Berechnung der Jet-Observablen aus dem Grid-File:
→ nur noch **wenige Sekunden!**
- Wiedergabe der NLO-Ergebnisse: Ungenauigkeit von weniger als 1 ‰
— kleiner als PDF-Unsicherheit
— kleiner als Unsicherheit durch Renormierungsskala
(Abschätzung: Variation von μ_R um Faktor 2)

Auswirkungen auf PDFs

“ZEUS-JETS” Fit: Einbau von (nur!) zwei Jet-Analysen in PDF-Fit
(zusätzlich zu F_2 -Daten)

- Dijets in PHP, HERA-I 96/97, $\mathcal{L} = 38.6 \text{ pb}^{-1}$
- Inkl. jets in DIS, 96/97, $\mathcal{L} = 38.6 \text{ pb}^{-1}$



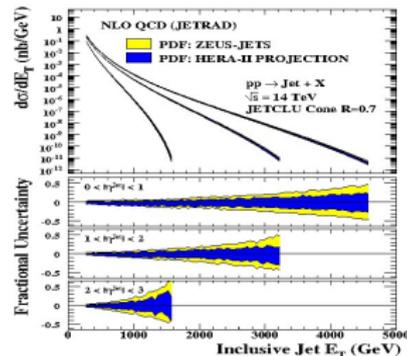
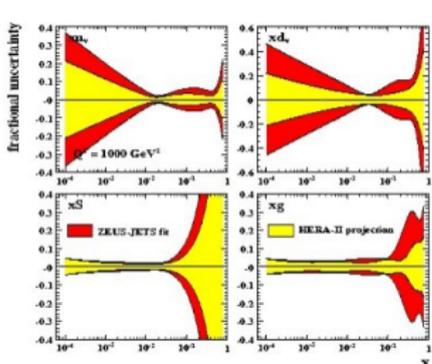
Resultat:

Deutliche Reduktion der xg -Unsicherheit, vor allem bei hohen x .

Weitere Verbesserung, Relevanz für den LHC

Studie von C. Gwenlan, M. Cooper-Sarkar (Oxford)

Projektion: PDF-Fit mit HERA-II-Statistik



Minimierung der xg -Unsicherheit

... ermöglicht präzisere Vorhersagen für den LHC

LHC: Genaue Kenntnis des QCD-Backgrounds

→ **besseres “discovery potential” für Physik jenseits des Standardmodells.**

Stand der Arbeit

Was getan wurde

- Aufbau und Berechnung der “Grids” für weitere Analysen
- Entwicklung eines Programmes zur Jet-Berechnung aus Grids:
 - **Input:** Analyse (ZEUS oder H1), Renormierungsskala, PDF
 - **Output:** Werte der Jet-Observablen → s. nächste Folie

Was noch zu tun ist

- Kleinere Studien (Gwenlan, Cooper-Sarkar) haben gezeigt:
 - Einfluss von mehr (HERA-I-) Statistik: eher gering
 - Einfluss von unterschiedlichen Observablen: eingeschränkt durch Fehlerkorrelation
- Darum gewünscht: Genaue Untersuchung des HERA-Phasenraums bezüglich Jet-Wirkungsquerschnitten mit:
 - hoher xg -Sensitivität,
 - geringer Korrelation,
 - niedriger Skalenunsicherheit
 - und genügend statistischer Signifikanz.

Stand der Arbeit (II): Output

```

Dec 11, 07 17:18          typicalassembleshelloutput.txt          Page 1/2

[zenhamburg5] ~/ass $ assemble.sh

Please choose the PDF group you would like to use :
-----
1) CTEQ6.1
2) MSRT2001E
1
You chose PDF group CTEQ6.1.

Please choose the PDF set(s) you would like to use :
-----
ID) (ID >= 0) set ID for the given series
-1) evaluation for all error sets
0
You chose set 0.

Please choose the analysis to be performed :
-----
1) DESY-06-128 dijets:      ZEUS dijets (high Q2)
2) DESY-06-128 incl. jets: ZEUS inclusive jets (high Q2)
3) DESY-07-073: H1 inclusive jets (high Q2)
4) H1 preliminary 07-035: H1 inclusive jets (low Q2)
4
You chose analysis H1 preliminary 07-035: H1 inclusive jets (low Q2).

Please choose the ren. scale to be used :
-----
1) Q2
2) 0.25*Q2
3) 4*Q2
4) Et**2
5) 0.25*Et**2
6) 4*Et**2
7) Q2+Et**2
8) 0.25*(Q2+Et**2)
9) 0.0625*(Q2+Et**2)
10) 4*(Q2+Et**2)
(Note that Et is either the single-jet Et (inclusive jets)
or the mean dijet Et (dijets)!)
8
You chose scale 8.

Resetting ...

Opening the grid file and reading in ...

Starting to assemble the cross-sections !

```

```

Dec 11, 07 17:18          typicalassembleshelloutput.txt          Page 2/2

*****
*          LHAPDF Version 5.3.0          *
*****

>>>>> PDF description: <<<<<<
CTEQ6.1
Reference:
J. Pumplin, D.R. Stump, J. Huston, H.L. Lai
W.K. Tung, S. Kuhlmann, J. Owens
hap-ph/0303013
This set has 41 member PDFs.
mem=0 --> central value (cteq61m)
mem=1-40 --> 20 sets of +/-ve error values
>>>>>> <<<<<<

1 : 5<Q2<7; 5<ET<10;          116.05190
2 : 5<Q2<7; 10<ET<15;         13.37806
3 : 5<Q2<7; 15<ET<20;         2.73074
4 : 5<Q2<7; 20<ET<80;         0.10264
5 : 7<Q2<10; 5<ET<10;         77.10566
6 : 7<Q2<10; 10<ET<15;        9.05050
7 : 7<Q2<10; 15<ET<20;        1.84386
8 : 7<Q2<10; 20<ET<80;        0.06876
9 : 10<Q2<15; 5<ET<10;        47.40215
10 : 10<Q2<15; 10<ET<15;       5.77366
11 : 10<Q2<15; 15<ET<20;       1.18330
12 : 10<Q2<15; 20<ET<80;       0.04428
13 : 15<Q2<20; 5<ET<10;       29.63108
14 : 15<Q2<20; 10<ET<15;      3.80812
15 : 15<Q2<20; 15<ET<20;      0.78884
16 : 15<Q2<20; 20<ET<80;      0.02975
17 : 20<Q2<30; 5<ET<10;       17.94634
18 : 20<Q2<30; 10<ET<15;      2.46438
19 : 20<Q2<30; 15<ET<20;      0.52251
20 : 20<Q2<30; 20<ET<80;      0.01976
21 : 30<Q2<40; 5<ET<10;       10.60209
22 : 30<Q2<40; 10<ET<15;      1.57914
23 : 30<Q2<40; 15<ET<20;      0.34449
24 : 30<Q2<40; 20<ET<80;      0.01315
25 : 40<Q2<100; 5<ET<10;       3.82971
26 : 40<Q2<100; 10<ET<15;     0.66495
27 : 40<Q2<100; 15<ET<20;     0.15455
28 : 40<Q2<100; 20<ET<80;     0.00619

Calculation time : 7s

```

Zusammenfassung & Ausblick

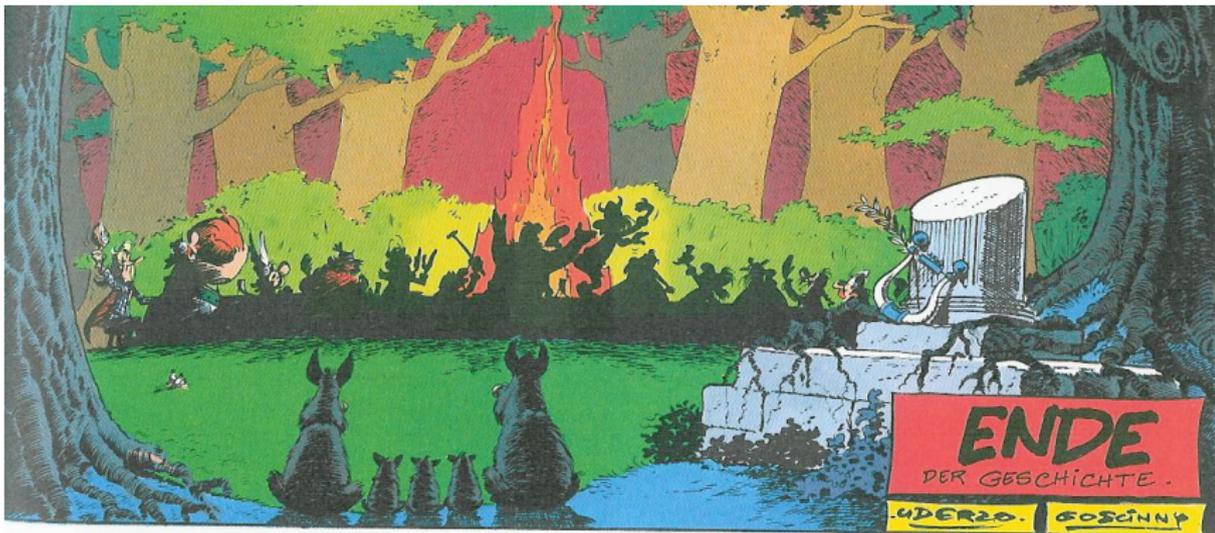
Zusammenfassung ...

- Jet-Messungen ermöglichen direkten Zugang zur Gluon-Verteilungsfunktion $g(x)$.
- Ihre Nutzbarkeit für PDF-Fits wurde ermöglicht und demonstriert.
- Dies reduziert die Unsicherheit der Gluondichte erheblich.

... Ausblick

- Der Einbau von präziseren und exklusiveren Jet-Messungen in PDF-Fits ist in Arbeit.
- Eine systematische Suche nach Phasenraumregionen und Jet-Observablen mit hoher Sensitivität auf die Gluondichte wurde begonnen.

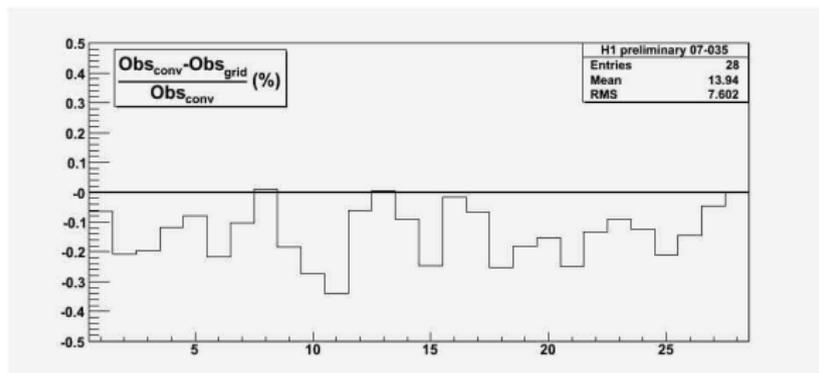
Fin.



Backup

Weiß jemand, wie ich vermeiden kann, dass bei den Backup-Folien die Seitenzahl angezeigt wird?

Genauigkeit der “Grid-Methode”



Mögliche Verfeinerungen

- Relativer Fehler ist systematisch negativ — Grund: Simple Binning. Verbesserung möglich.
- Noch kleinere Fehler durch bessere Interpolation in (x, Q^2) -Bins (Z.B. Splines) — prinzipiell möglich.

Analysen

Bisher: Nur DIS in verschiedenen Phasenraumregionen.

- DESY-01-127: Dijets ($10 \text{ GeV}^2 < Q^2 < 10000 \text{ GeV}^2$), 96/97, $\mathcal{L} = 38.4 \text{ pb}^{-1}$
- DESY-06-128: Incl. jets ($Q^2 > 125 \text{ GeV}^2$), 98-2000, $\mathcal{L} = 81.7 \text{ pb}^{-1}$
- DESY-06-128: Dijets ($125 \text{ GeV}^2 < Q^2 < 5000 \text{ GeV}^2$), 98-2000,
 $\mathcal{L} = 81.7 \text{ pb}^{-1}$
- DESY-07-073: Incl. jets ($150 \text{ GeV}^2 < Q^2 < 15000 \text{ GeV}^2$), 99/00,
 $\mathcal{L} = 65.4 \text{ pb}^{-1}$
- H1 preliminary 07-035: Incl. jets ($5 \text{ GeV}^2 < Q^2 < 100 \text{ GeV}^2$), 99/00,
 $\mathcal{L} = 43.6 \text{ pb}^{-1}$

Quellenverzeichnis

Quellen der Abbildungen:

- S.3 oben:
http://zms.desy.de/e548/e550/e6025/e76/index_ger.html
- S.4 oben: <http://www.desy.de/~gbrandt/feyn/>
- S.4 unten:
<http://www-zeus.desy.de/physics/phch/conf/eps07/index.html>
- S.5: <http://www-spires.dur.ac.uk/hepdata/zeus2002.html>
- S.6 oben: www.arxiv.org/abs/hep-ph/0507093
- S.6 unten: <http://www.desy.de/~gbrandt/feyn/>
- S.10: <http://www-spires.dur.ac.uk/hepdata/zeus2005.html>
- S. 11: <http://www.desy.de/~heralhc/proceedings/wg1-part2.pdf>
- S. 15: "Asterix und die Trabantenstadt", Ehapa Verlag
- Rest: privat