

# ***QCD-TESTS AN BESCHLEUNIGERN***

Thomas Schörner-Sadenius  
Universität Hamburg



DPG-Tagung Dortmund  
29. März 2006



Mit herzlichem Dank an:

K. Borras, A. Geiser, G. Grindhammer, H. Jung, R. Klanner, I. Melzer,  
J. Schieck, P. Schleper, S. Tapprogge, P.Uwer u.v.a.

# ÜBERSICHT

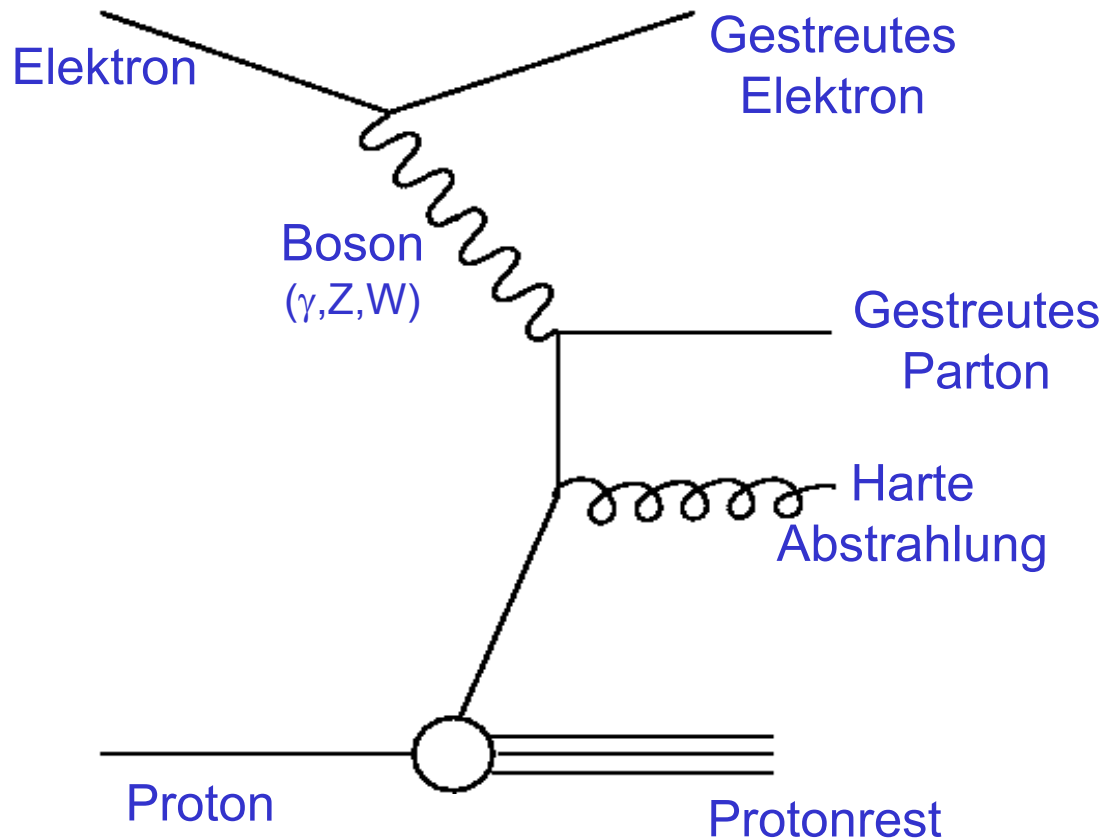
- ¶ EINLEITUNG UND MOTIVATION
- ¶ DAS PROTON ALS QCD-LABOR
- ¶ JETS UND DIE BESTIMMUNG VON  $\alpha_S$
- ¶ “UNDERLYING EVENTS”, “MULTIPLE INTERACTIONS”
- ¶ PRODUKTION VON EICHBOSONEN
- ¶ “EVENT SHAPES”

... und das (u.v.a.) kommt leider nicht vor:

- ¶ Physik schwerer Quarks
- ¶ Diffraktion
- ¶ Hadronische Struktur des Photons
- ¶ Spinstruktur des Protons
- ¶ Phänomenologie (Resummation, ME+PS etc.)

# ***FREUD UND LEID DER QCD***

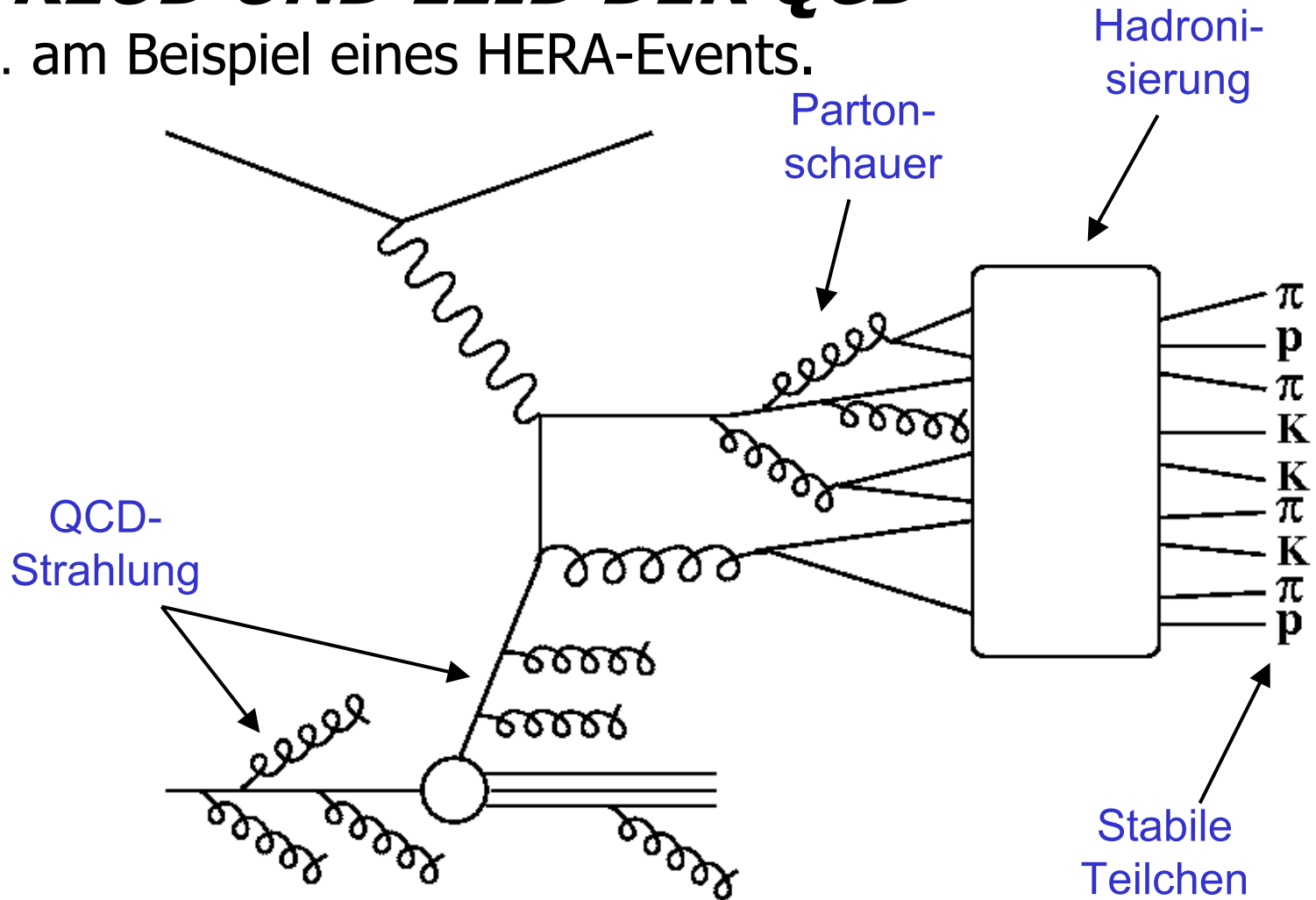
... am Beispiel eines HERA-Events.



Ein wunderschönes und einfaches Bild!

# FREUD UND LEID DER QCD

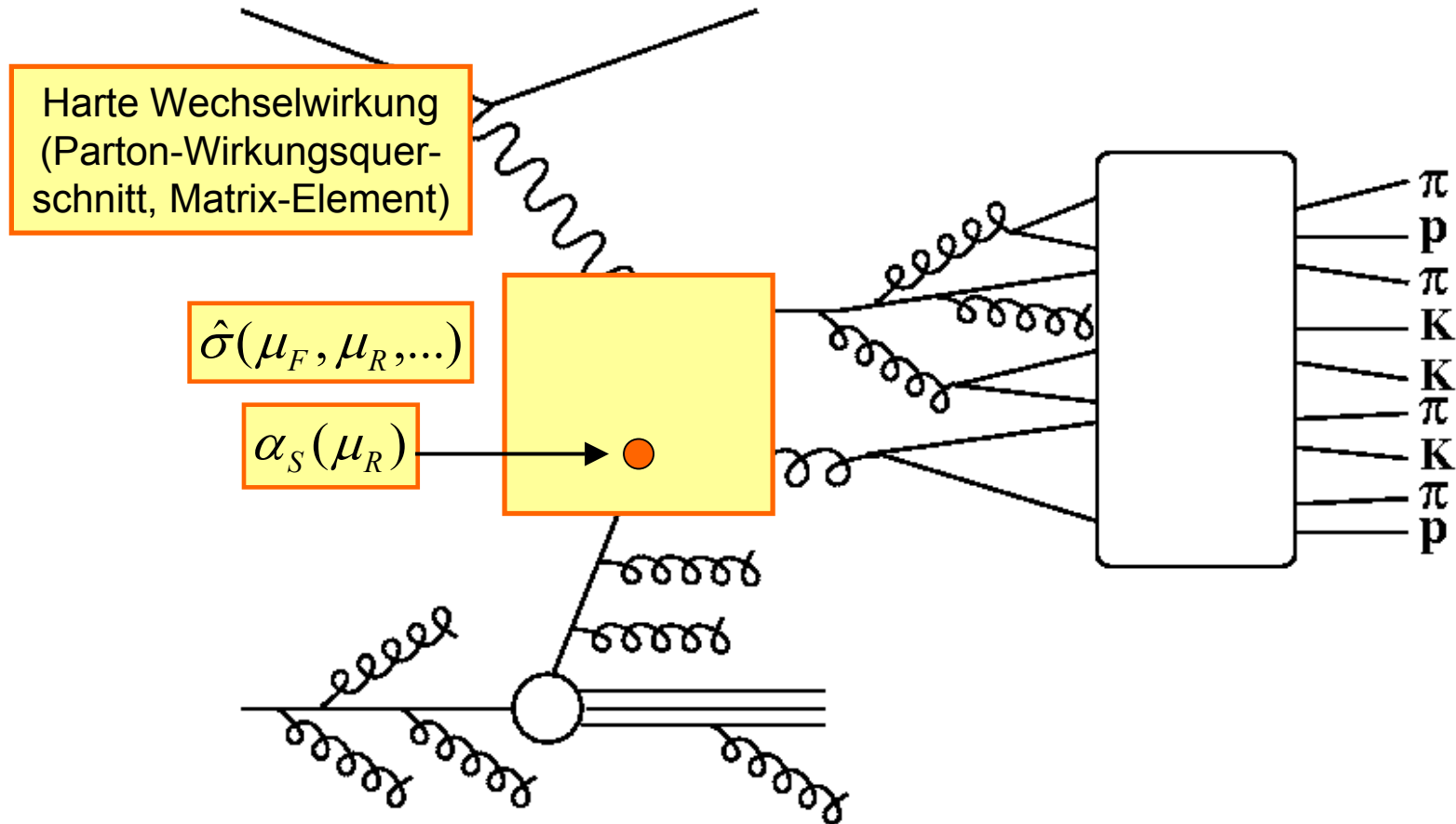
... am Beispiel eines HERA-Events.



Zahlreiche Effekte zerstören das einfache Bild!

# FREUD UND LEID DER QCD

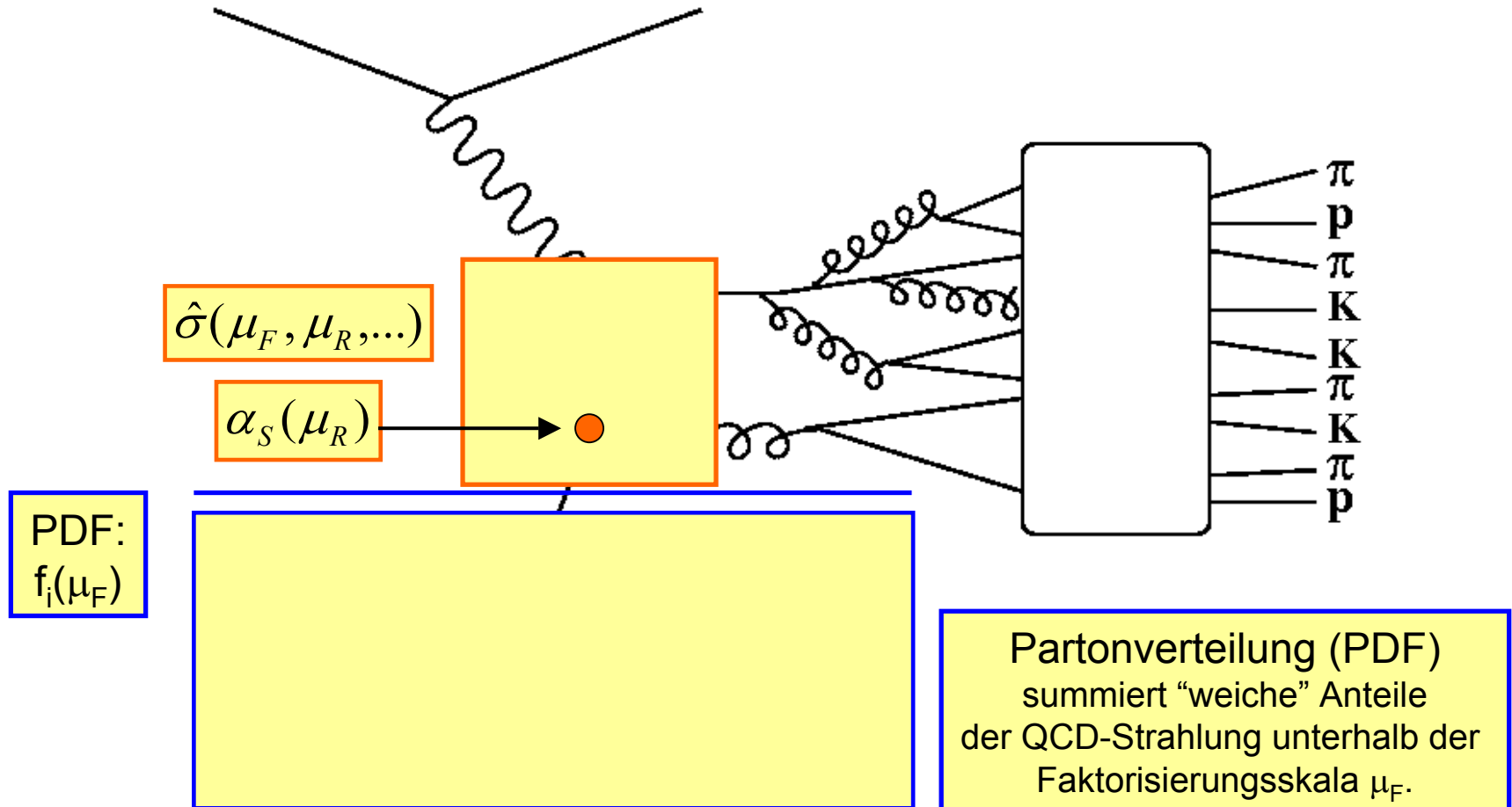
... am Beispiel eines HERA-Events.



Der Wirkungsquerschnitt der harten Wechselwirkung ist in perturbativer QCD berechenbar.

# FREUD UND LEID DER QCD

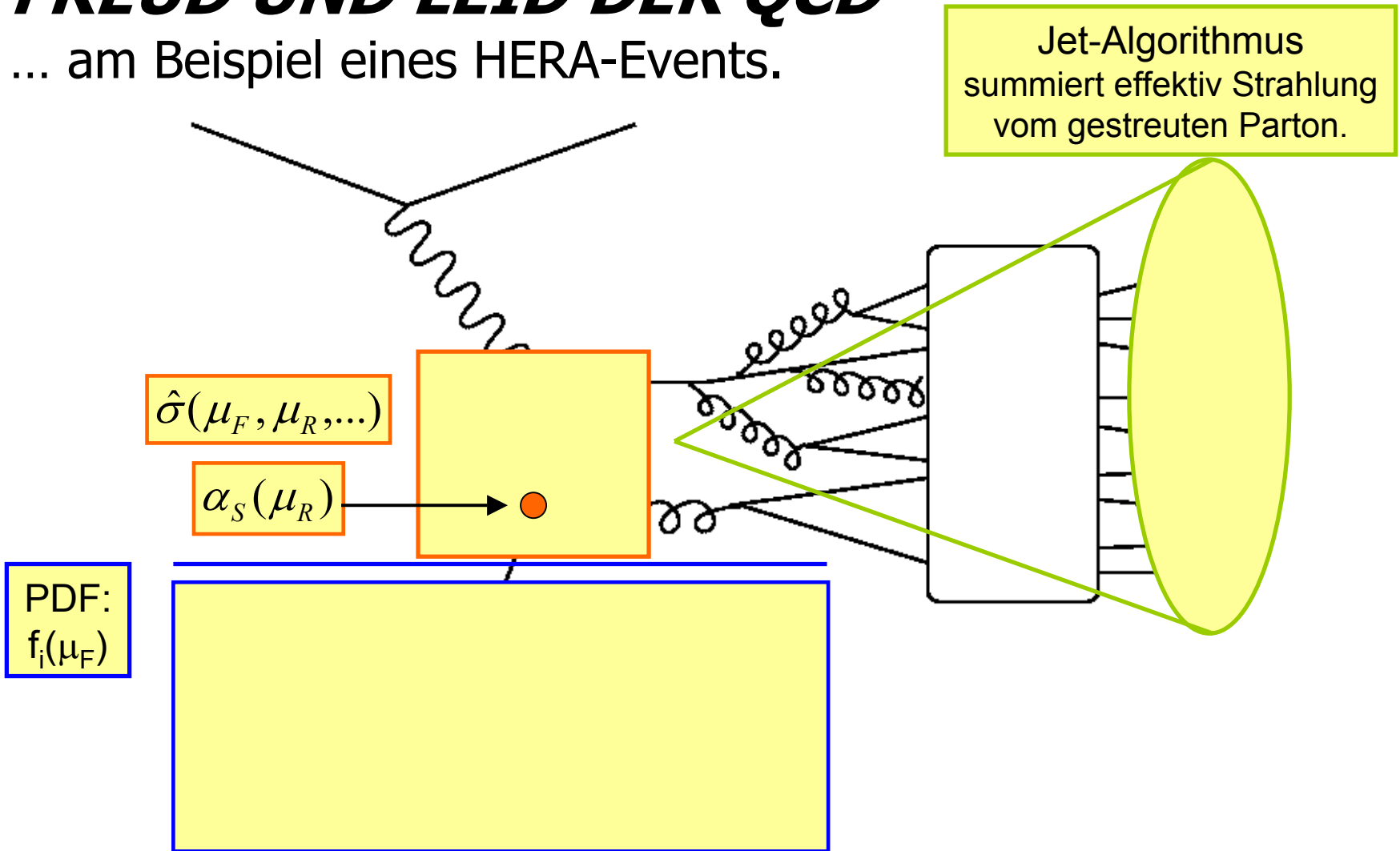
... am Beispiel eines HERA-Events.



Partonverteilungen sind in pQCD nicht a priori berechenbar; Messungen bei niedrigen Skalen  $\mu_F$  werden z.B. mit dem DGLAP-Formalismus zu höheren Skalen evolviert.

# FREUD UND LEID DER QCD

... am Beispiel eines HERA-Events.



Jet-Algorithmus summiert effektiv Strahlung vom gestreuten Parton.

PDF:  
 $f_i(\mu_F)$

$$\hat{\sigma}(\mu_F, \mu_R, \dots)$$

$$\alpha_S(\mu_R)$$

Berechnung von Wirkungsquerschnitten: Faltung der Partonverteilungen mit hartem Wirkungsquerschnitt: Faktorisierung!

$$\sigma = \sum_{i=q, \bar{q}, g} f_i \otimes \hat{\sigma}$$

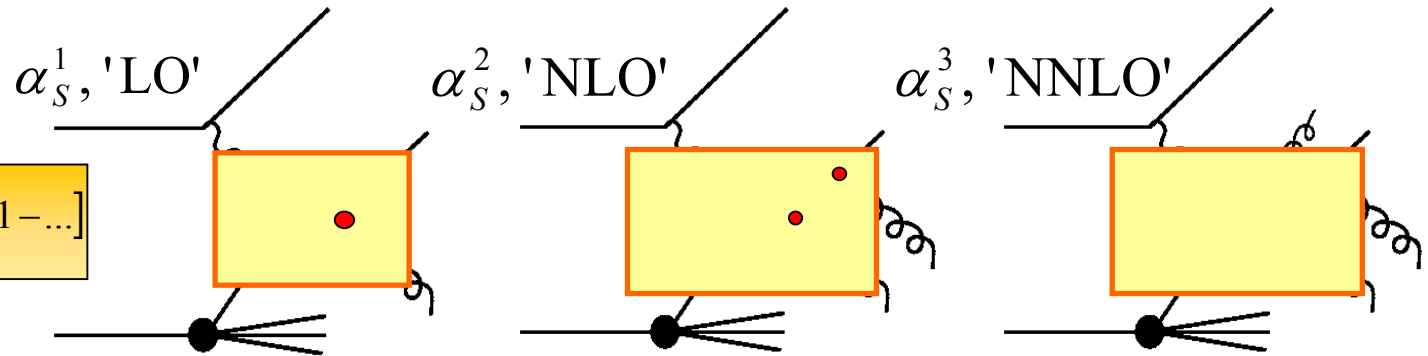
# SCHWERPUNKT: PERTURBATIVE QCD

## und Reihenentwicklung der harten Wechselwirkung

Störungsreihe in  $\alpha_S$

“Harte” Abstrahlungen und virtuelle Korrekturen führen zu höheren Ordnungen  $n$  proportional zu  $\alpha_S^n$ .

$$\alpha_S(\mu) = \frac{4\pi}{\beta_0 \ln(\mu^2 / \Lambda^2)} [1 - \dots]$$



Der Wirkungsquerschnitt ergibt sich aus der Summe der Ordnungen:

$$\sigma = \sum_{n=0}^{\infty} \alpha_S^n \cdot C_n = \sum_{n=0}^{\infty} \alpha_S^n \cdot \sum_{i=q, \bar{q}, g} f_i \otimes \hat{\sigma}$$

Probleme

- $\alpha_S$  ist groß  $\sim 0.1 - 0.2 \rightarrow$  Beiträge höhere Ordnungen (NLO, NNLO) sind wichtig.
- Berechnung der Koeffizienten  $C_n$  ist schwierig. In den meisten Fällen bis zur NLO bekannt; selten NNLO.

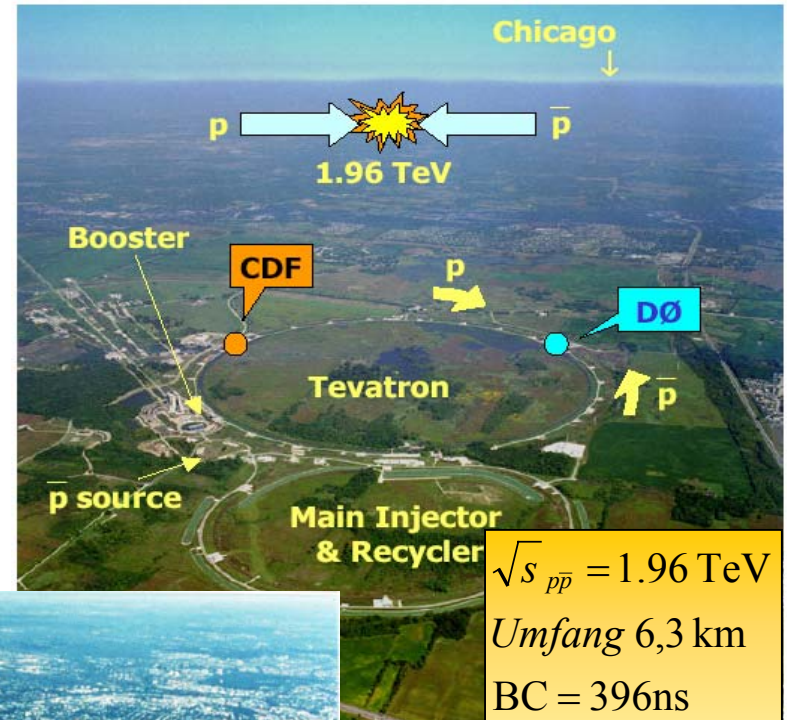


# LEP, HERA, TEVATRON, LHC

## Die Werkzeuge



$\sqrt{s_{ee}} \approx 91 - 209 \text{ GeV}$   
 Umfang 27,5 km  
 BC = 22  $\mu\text{s}$



$\sqrt{s_{p\bar{p}}} = 1.96 \text{ TeV}$   
 Umfang 6,3 km  
 BC = 396 ns

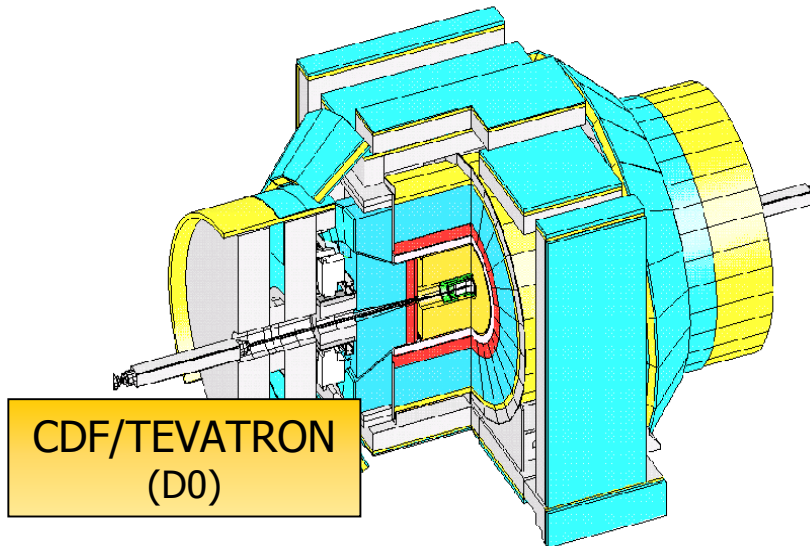
$\sqrt{s_{pp}} \approx 14000 \text{ GeV}$   
 Umfang 27,5 km  
 BC = 25 ns



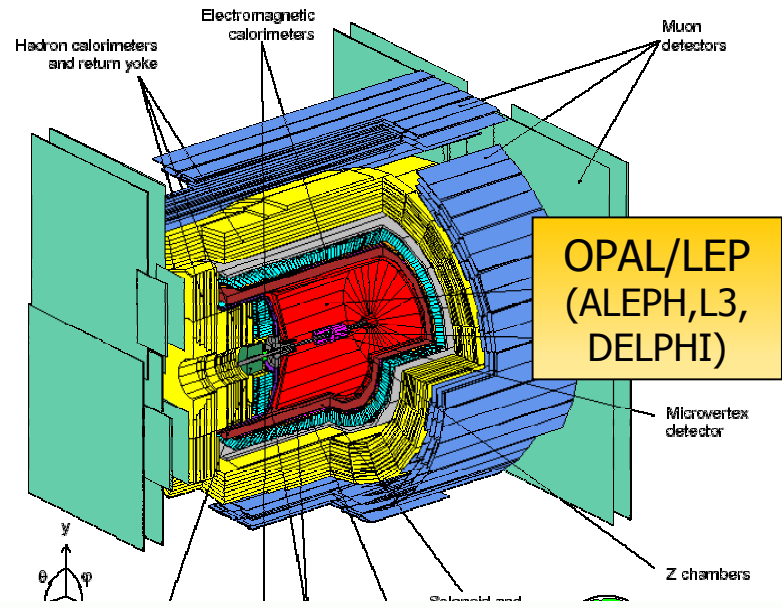
$\sqrt{s_{ep}} \approx 318 \text{ GeV}$   
 Umfang 6,3 km  
 BC = 96 ns



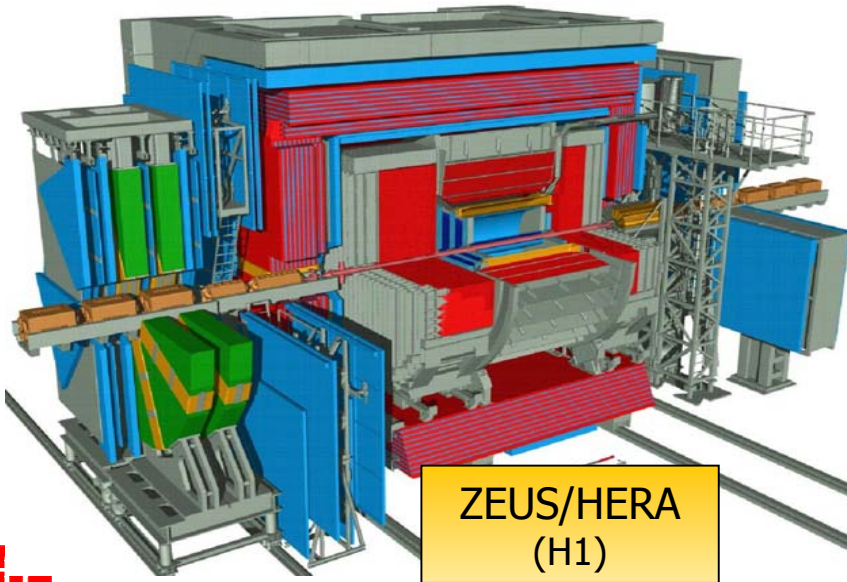
# EXPERIMENTE



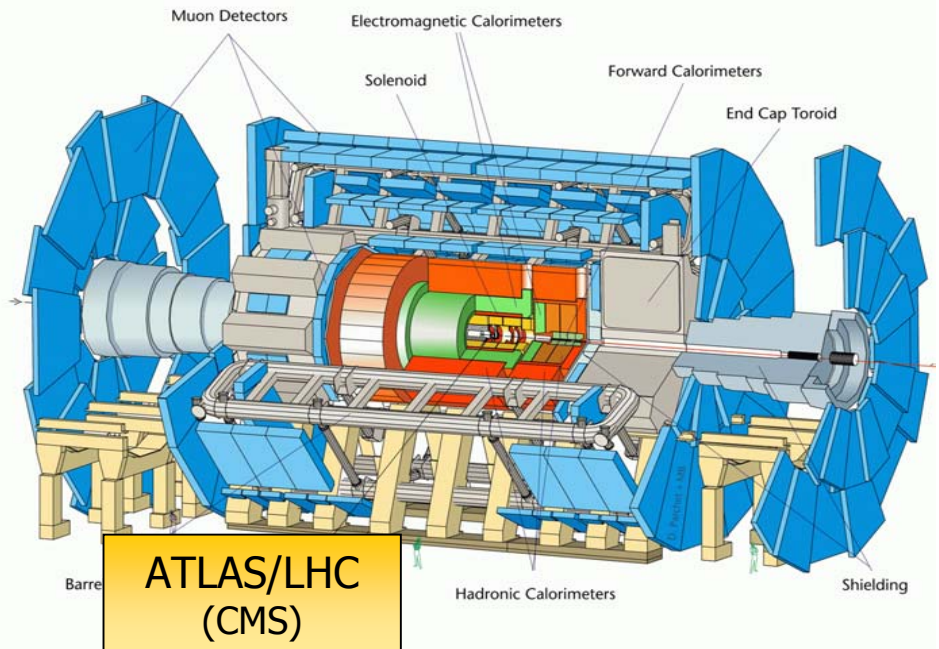
CDF/TEVATRON  
(D0)



OPAL/LEP  
(ALEPH, L3,  
DELPHI)



ZEUS/HERA  
(H1)



ATLAS/LHC  
(CMS)

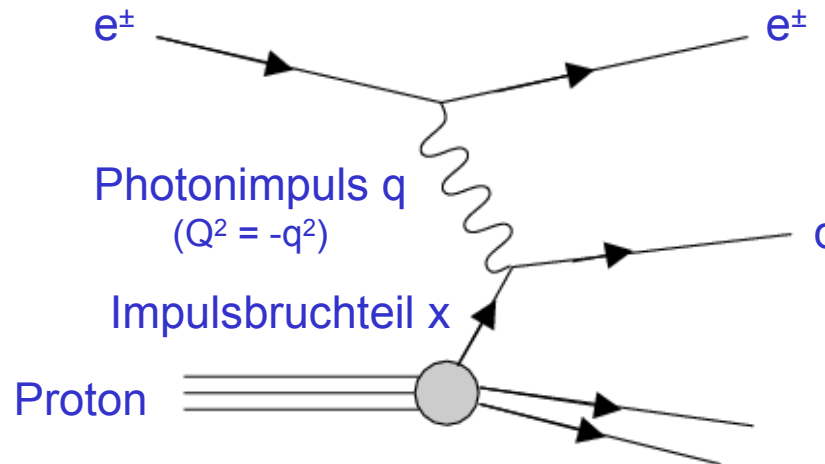


# DAS PROTON ALS QCD-LABOR

## Erforschung der Protonstruktur in Streuexperimenten

Tiefunelastische  
Streuung (DIS)

“Inklusive Messung” von Winkel und Energie des gestreuten Elektrons liefert  $x$  und  $Q^2 \rightarrow$  Bestimmung der Kinematik.



ep-Wirkungs-  
querschnitt

Proportional zur Strukturfunktion  $F_2$  des Protons (elektromagnetischer Gehalt des Protons).

$$\sigma_{ep} \propto F_2(x, Q^2) \approx x \sum_{i=q, \bar{q}} f_i(x, Q^2) \cdot Q_q^2$$

(Partonverteilungen  $f_i$ )

Auflösung

Das Auflösungsvermögen der Photon-“Sonde” kann mithilfe von  $Q^2$  eingestellt werden:

$$\text{Auflösung } \tilde{\lambda} = \hbar c / Q$$

(HERA: 0.001-1fm)

# DIE STRUKTURFUNKTION $F_2$

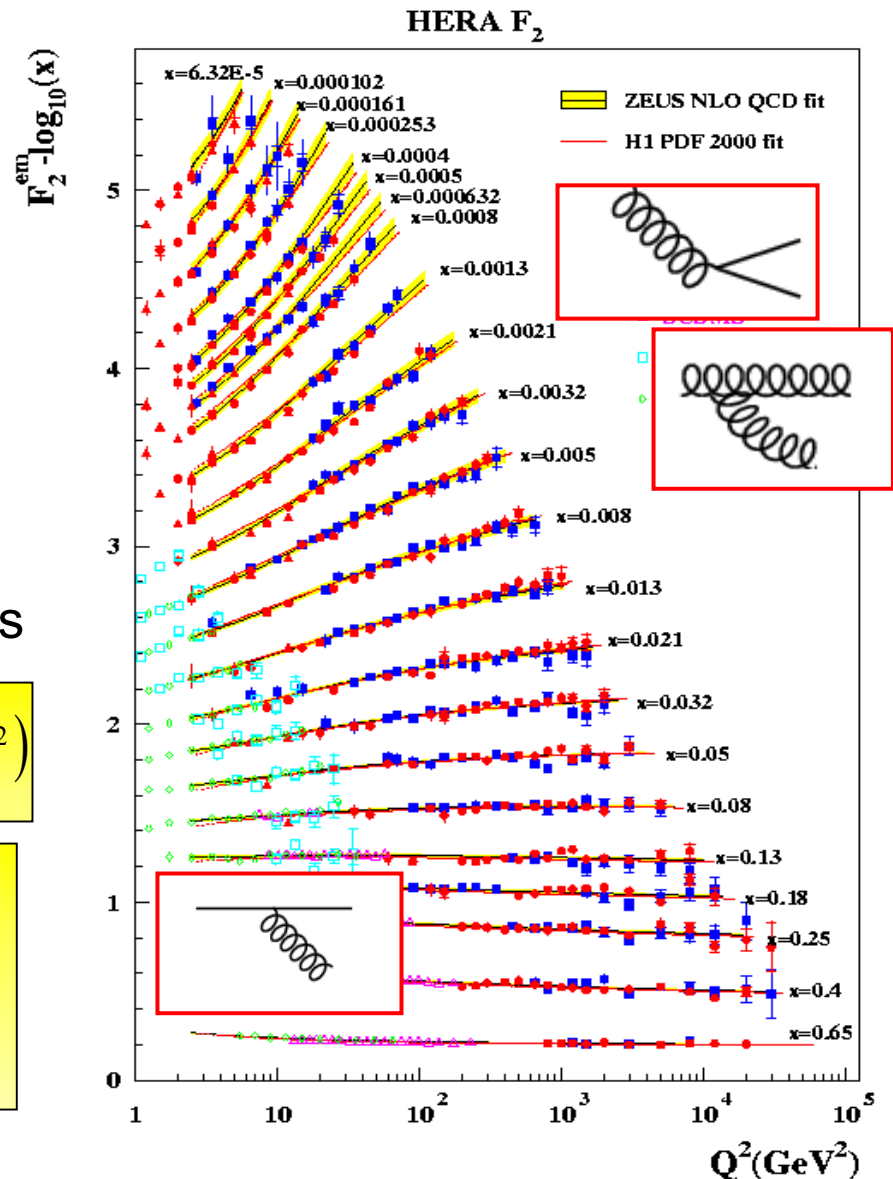
## und der HERA-Beitrag

- ¶ Experimentelle Genauigkeit: 2%!
- ¶ Bei steigender Auflösung  $Q^2$ :
  - ¶ Mehr Gluonabstrahlungen von den Valenzquarks sichtbar  
→ bei hohen  $x$  sinkt  $F_2$ .
  - ¶ Gluonen zerfallen ( $g \rightarrow gg, g \rightarrow qq$ )  
→ bei niedrigen  $x$  steigt  $F_2$  an.
- ¶ Beschreibung: DGLAP-Formalismus

$$\frac{dF_2(x, Q^2)}{d \ln Q^2} \propto -\alpha_S \cdot P_{qg} \cdot F_2(x, Q^2) + \alpha_S \cdot P_{gq} \cdot g(x, Q^2)$$

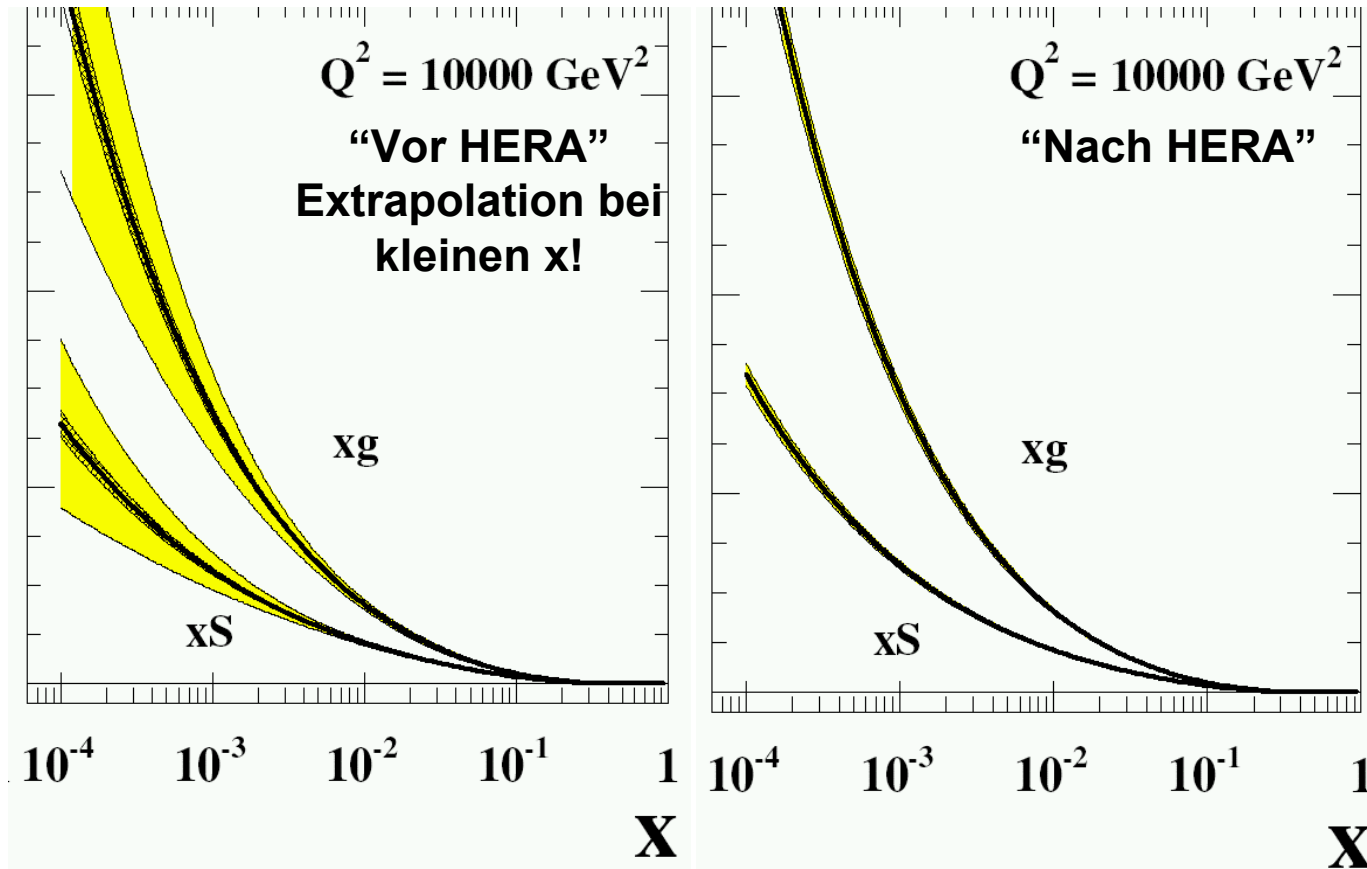
HERA-Daten ergaben massive Erweiterung der Kenntnis des Protons !

Die gute Beschreibung der Daten durch die Theorie ist ein großer Erfolg der QCD



# ***DIE PARTONVERTEILUNGEN (PDFs)***

und der HERA-Beitrag

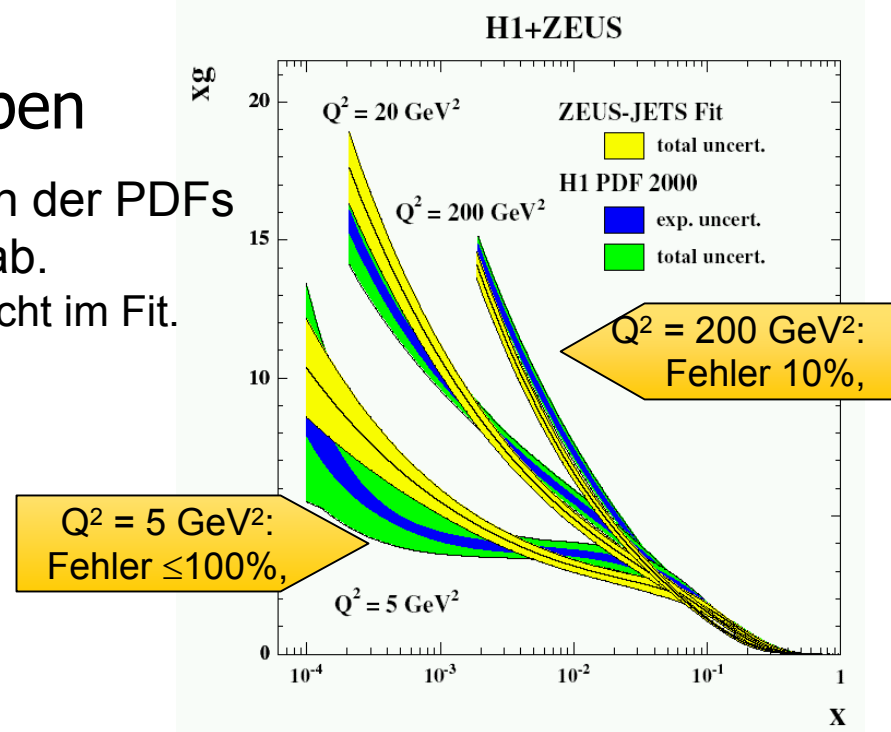
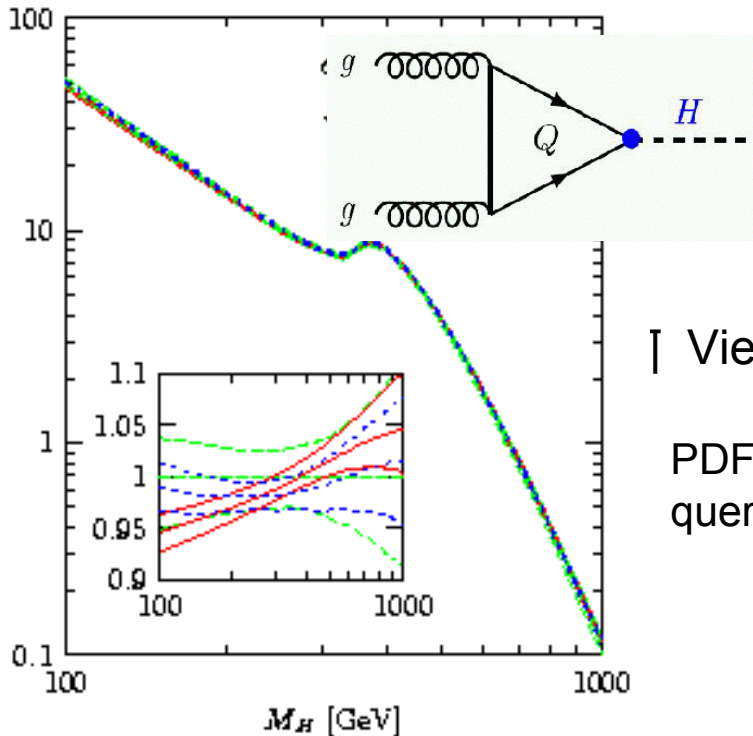


HERA-Daten führten zu präziser Kenntnis der PDFs über großen Bereich in  $x$ !

# DIE PDFs

## Ergebnisse verschiedener Gruppen

- ¶ Die verschiedenen Bestimmungen der PDFs weichen signifikant voneinander ab. Unterschiede schon in den Daten – nicht im Fit.



¶ Viele wichtige Kanäle bei LHC betroffen ( $gg \rightarrow H$ ).

PDF-induzierte Unsicherheit auf Higgs-Wirkungsquerschnitt derzeit je 10% durch Quarks und Gluonen.

Reicht das, um Charakter des Higgs zu etablieren ( $\sigma_{\text{Higgs}} \sim m_t^2$ )?

Genaue Kenntnis der PDFs wichtig für Entdeckungen bei LHC!

# VERBESSERUNGEN ?

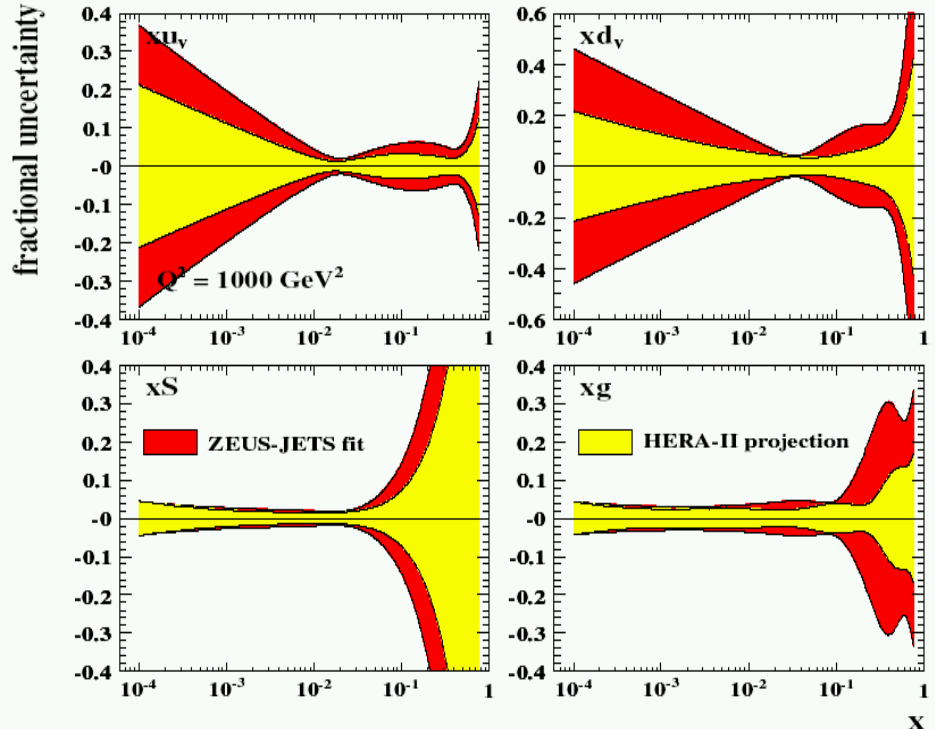
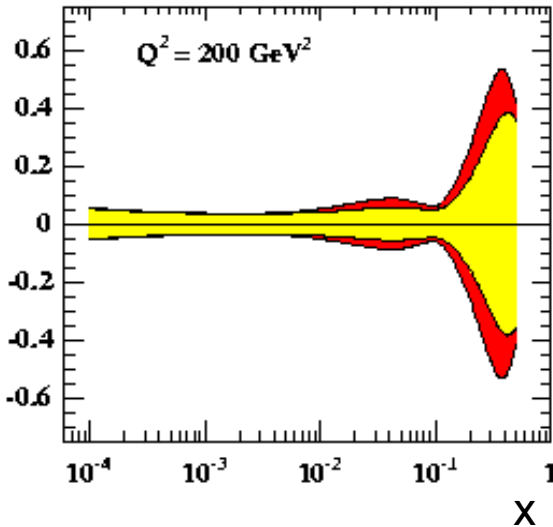
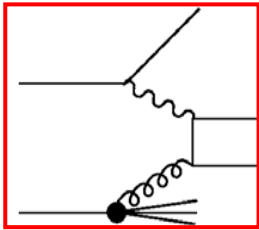
Kombinierte Analysen, mehr Daten (Jets)!

Andere Observablen

ZEUS-Jet-Daten (zusätzlich zu  $F_2$ ) schränken Gluon ein. Grund: Boson-Gluon-Fusion bei hohen  $x$ !

“H1+ ZEUS”

Kombination der H1- und ZEUS-Daten reduziert Unsicherheiten (Vortrag A. Glazov, Freitag)



Weitere Ideen

- ¶ PDF-Fits in NNLO werden Unsicherheiten reduzieren.
- ¶  $F_L$ -Daten von HERA → Gluon bei kleinen  $x$ ,  $Q^2$ .
- ¶ Berücksichtigung intrinsischer  $k_T$ -Effekte.

HERA-Ziel:  
Halbierung der Fehler!



# QCD-TESTS MIT JETS

Wie bestimmt man  $\alpha_S$  mit Jets? (am Beispiel HERA)

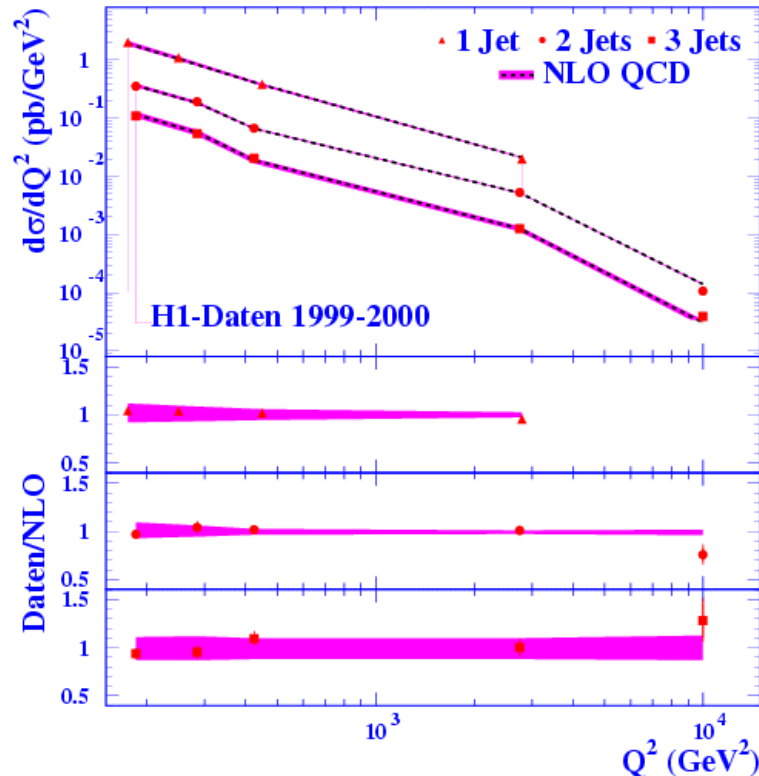
Wirkungs-  
querschnitt

$$\sigma = \sum_{n=0}^{??} \alpha_S^n \cdot \sum_{i=q,\bar{q},g} f_i \otimes \hat{\sigma}$$

Im Vergleich Daten – Theorie kann man:

- PDFs extrahieren; ihre Universalität testen,
- $\alpha_S$  extrahieren (siehe später),
- Faktorisierung und Störungstheorie testen.

Beispiel:  
H1



Unsicherheiten: 10%.  
Abschätzung höherer  
Ordnungen sind größter  
Beitrag.

Bestätigung der PDF-  
Universalität und der  
Faktorisierung auf 5-10%!



# JETS IN NLO: UNSICHERHEITEN

Syst. Unsicherheiten in pp dominiert durch Energieskala!

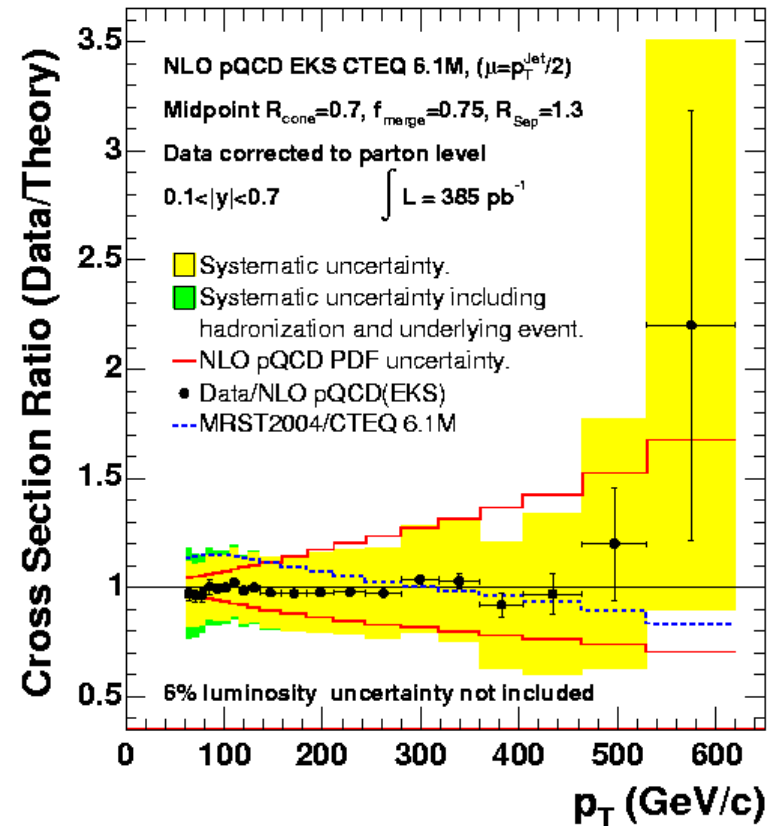
Jet-Wirkungsquerschnitt von CDF:

¶ 20% experimentelle Unsicherheit durch die Jet-Energieskala.

¶ Bei hohen Energien 50% Unsicherheit durch ungenaue PDF-Kennntnis.

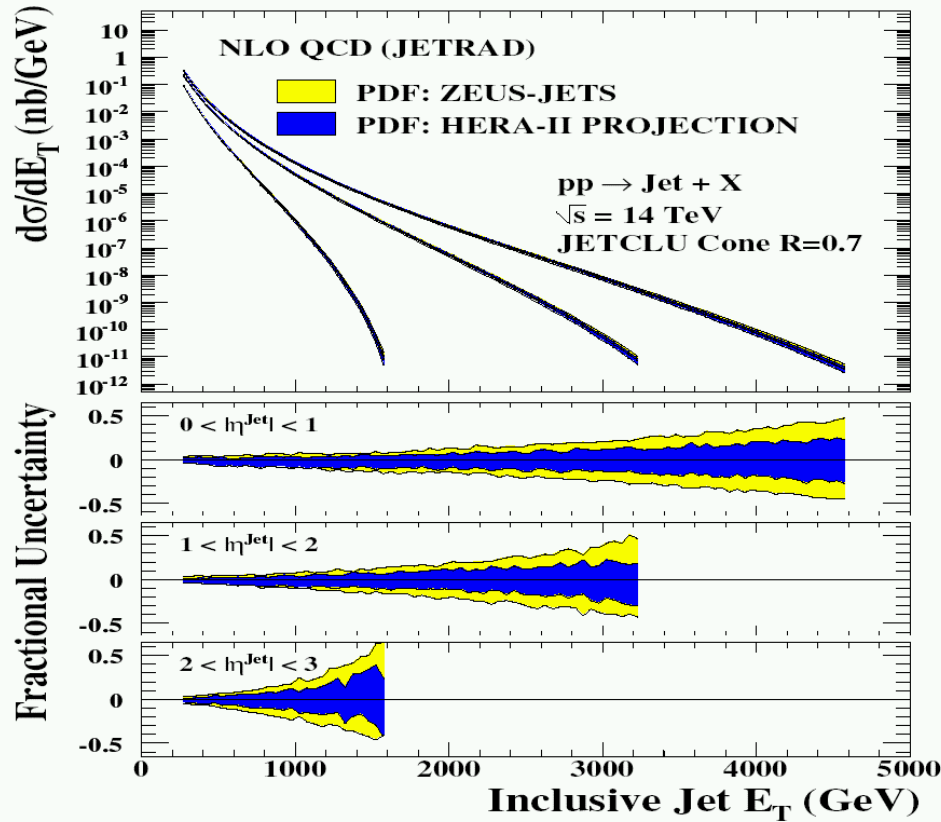
Bei LHC wird ein 30%-Effekt durch die ungenaue Kenntnis der Jet-Energieskala erwartet!

CDF Run II Preliminary

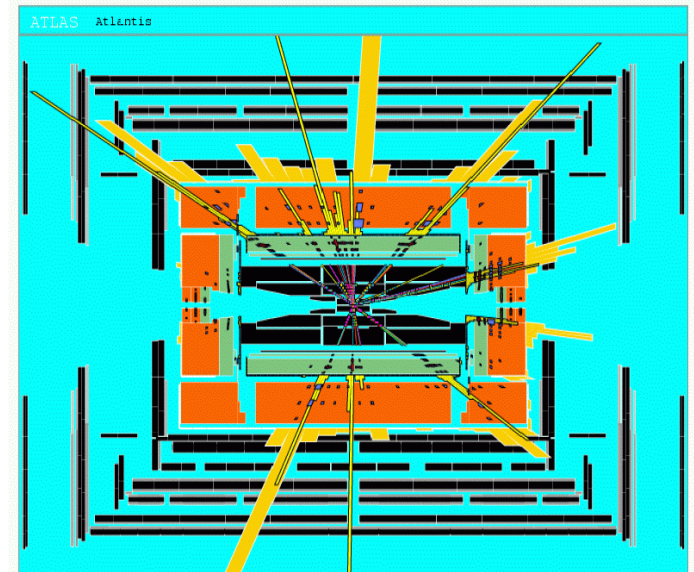


# JETS BEI LHC – BIS 5 TeV!

Was können wir noch erwarten?



Die gesteigerte Genauigkeit der PDFs wird theoretische Unsicherheiten der Jet-Wirkungsquerschnitte bei LHC halbieren.



Kenntnis der PDFs wichtig, um z.B. Multijet/"Multiple Interaction"-Ereignisse von "mini black holes" zu unterscheiden oder SUSY-Signaturen zu erkennen!

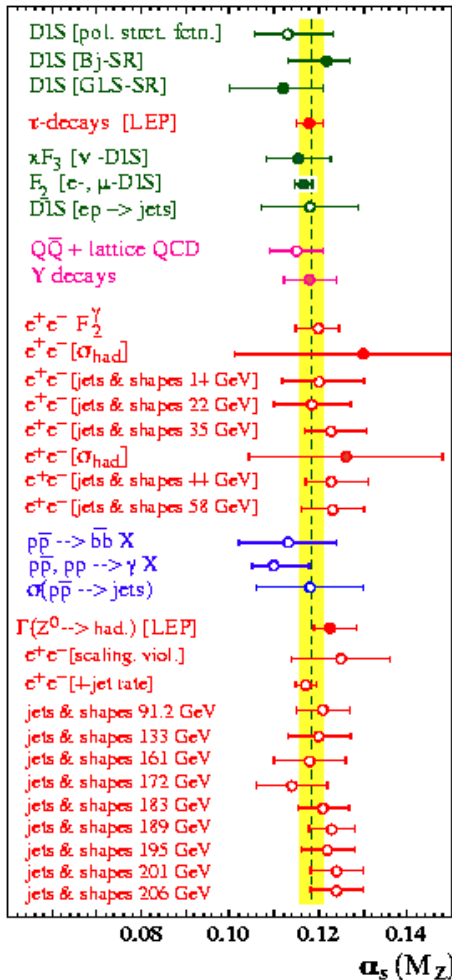
# $\alpha_s$ : HEUTIGER STAND

Weltmittel  
(NNLO)

$\alpha_s(M_Z)=0.1187(20)$  [PDG]  
 $\alpha_s(M_Z)=0.1182(27)$  [Bethke]

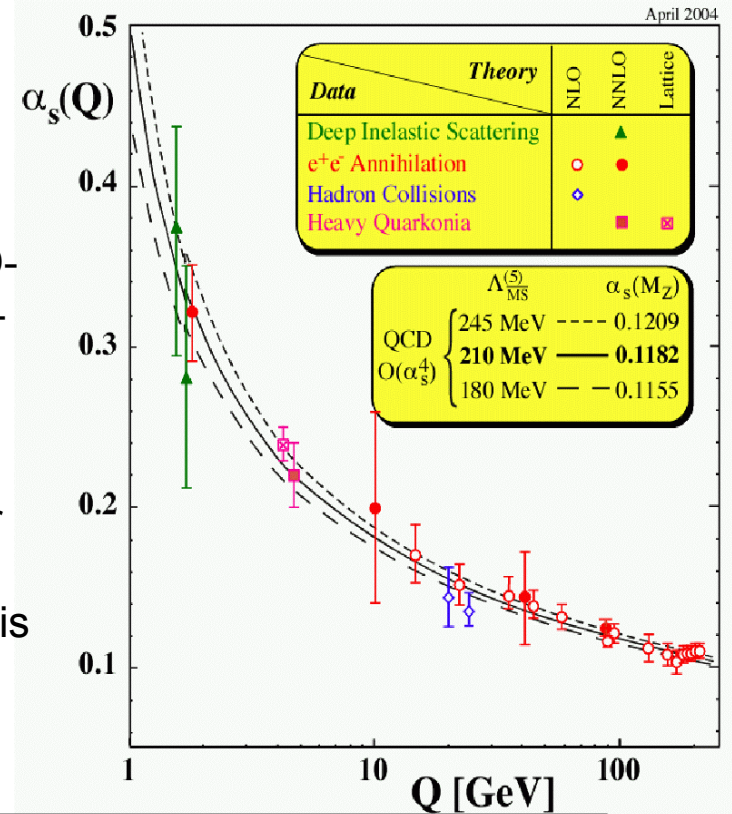
HERA-Mittel  
(NLO)

$\alpha_s(M_Z)=0.1186\pm 0.0050$



¶ Viele Einzelmessungen in verschiedensten QCD-Prozessen ergeben konsistentes Bild!

¶ Die Vielzahl der präziser Messungen belegt ausgezeichnetes Verständnis der QCD.



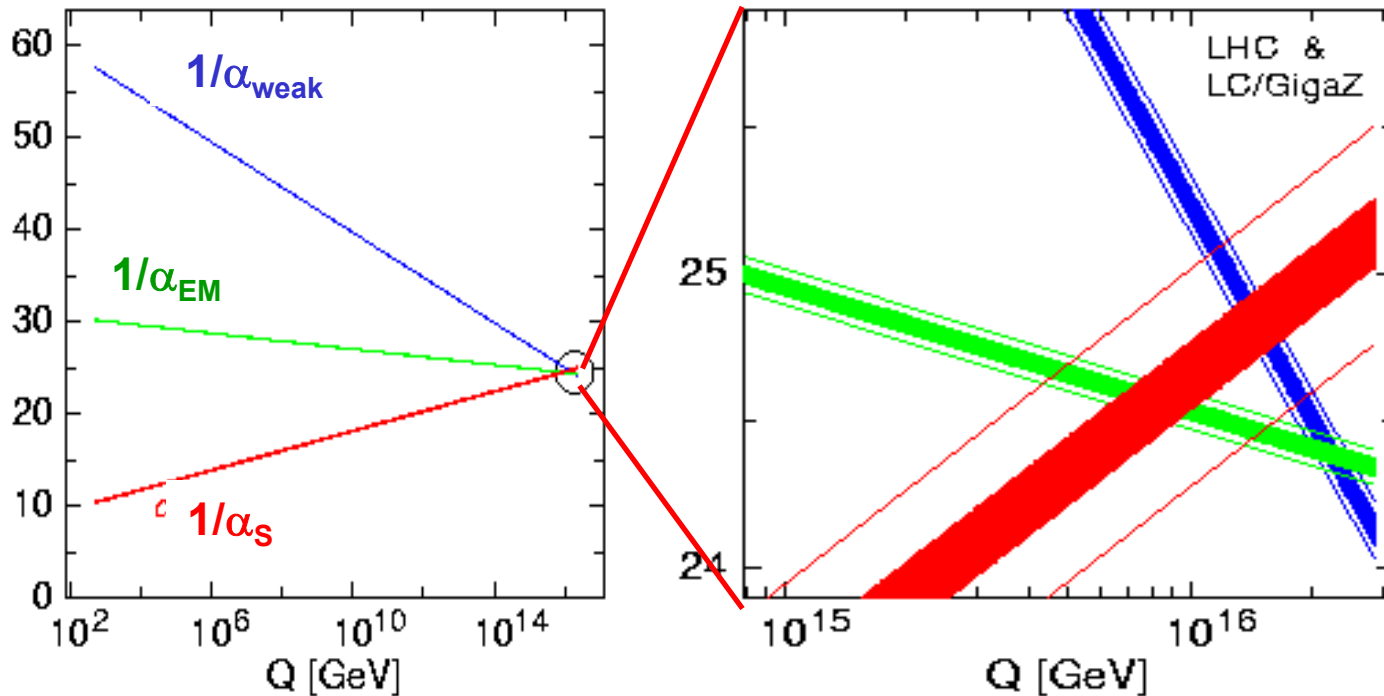
Sehr gute Übereinstimmung ganz verschiedener Prozesse!

Unsicherheiten bei ca. 2% (in NNLO). Bedeutung für SUSY, Vereinheitlichung ...

# **BEDEUTUNG VON $\alpha_s$** für die Große Vereinheitlichung

Nur unter der Annahme von Supersymmetrie (Erweiterung des Teilchenspektrums!) vereinigen sich die drei Kopplungen des Standardmodells bei ca.  $10^{16}$  GeV!

Verhalten bei hohen Skalen nur durch Renormierung und (Start)Werte bei heute zugänglichen Skalen bestimmt.

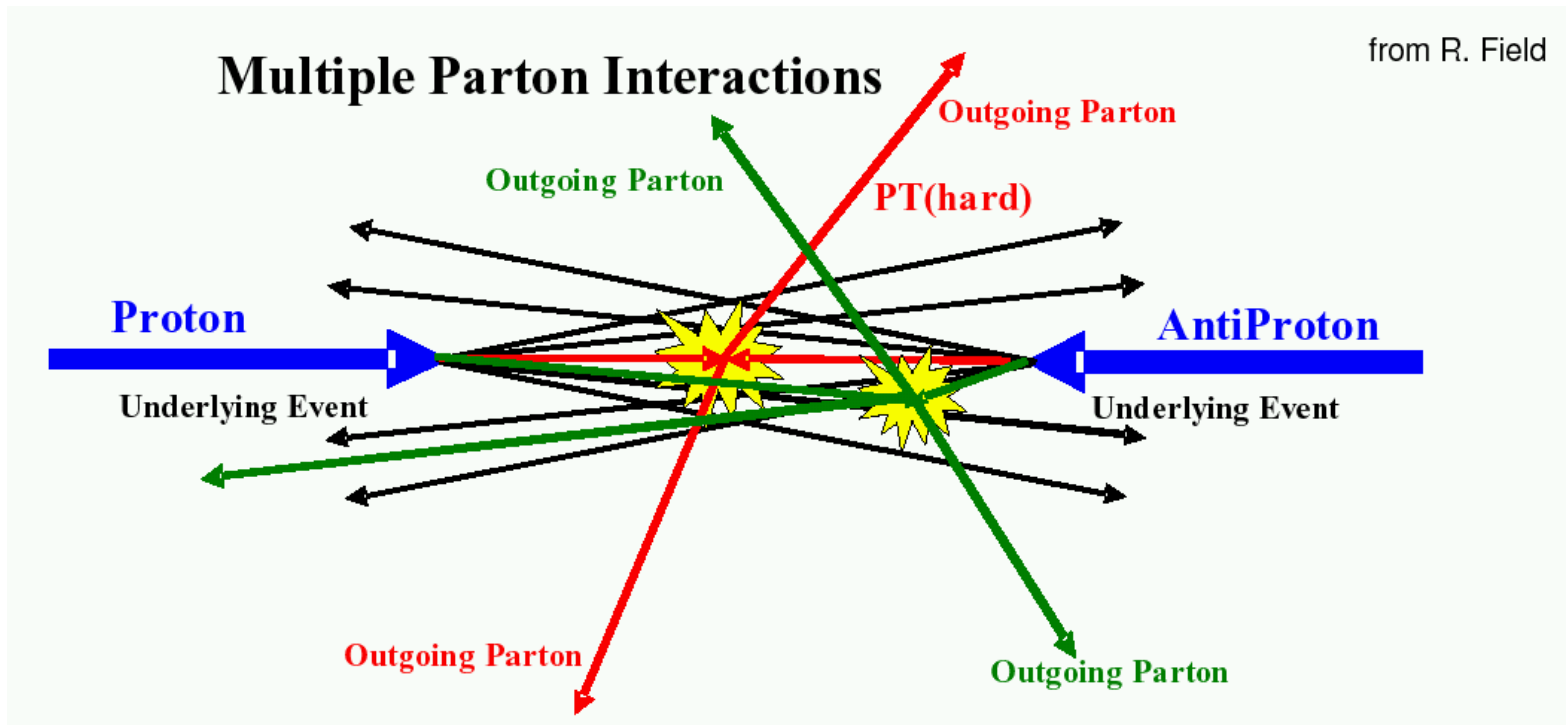


Zur Überprüfung ist möglichst genaue Kenntnis von  $\alpha_s$  nötig!

# "UNDERLYING EVENTS" (UE)

+mehrfache Wechselwirkungen ("Multiple Interactions")

Versuch, den weichen Energiefluss jenseits der einen (?) harten Wechselwirkung zu beschreiben: Partonschauer, weitere Partonstreuungen, Strahlremnants ...



Anpassung der Monte-Carlo-Modelle an TEVATRON-, HERA-Daten ...

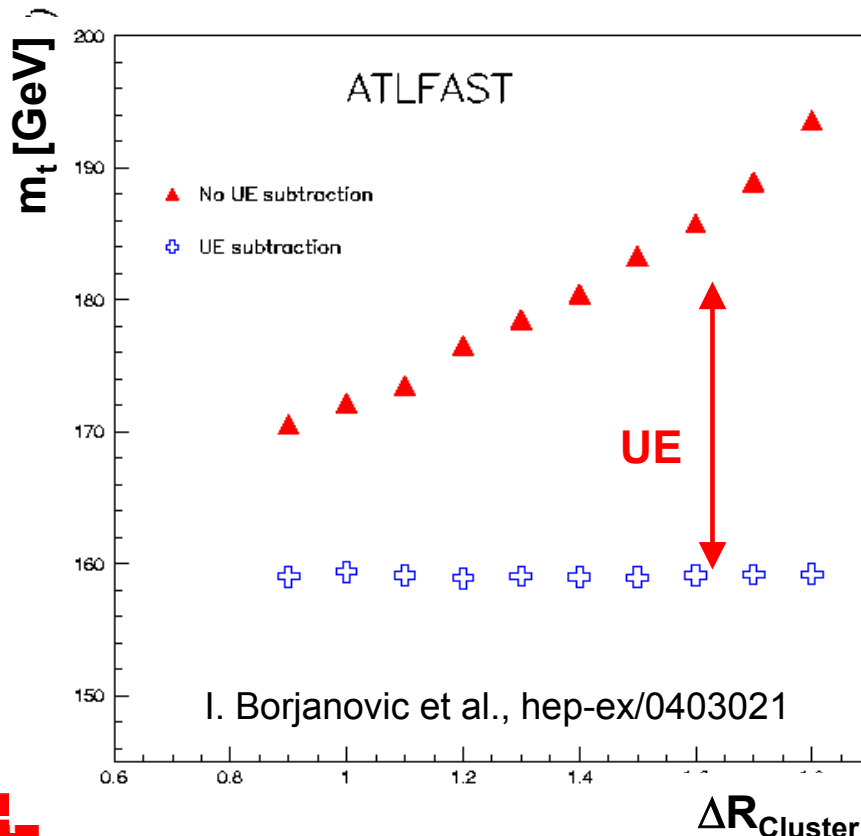
# RELEVANZ BEI LHC

z.B. Bestimmung der Top-Masse in  $t \rightarrow Wb \rightarrow qq'b \rightarrow 3\text{Jets}$

Idee

Bestimmung der Top-Masse in high- $p_T$ -Ereignissen durch direkte Summe der Kalorimeter-Energien aller drei Quark(-Jets).

- Keine Unsicherheit durch ungenaue Jet-Energieskala!
- Aber genaue Kenntnis des Energieflusses (UE) wichtig!



Schon 10%-Variation der “underlying energy” führt zu signifikanter Abhängigkeit der Top-Masse von  $\Delta R$ .

→ Genauer Kenntnis des UE wichtig für Top-Messung!

Kenntnis und Verständnis des “UE”

- interessant an sich,
- wichtig für top-Messungen,
- wichtig für alle QCD-Messungen.

# MODELL-ANPASSUNG AM TEVATRON

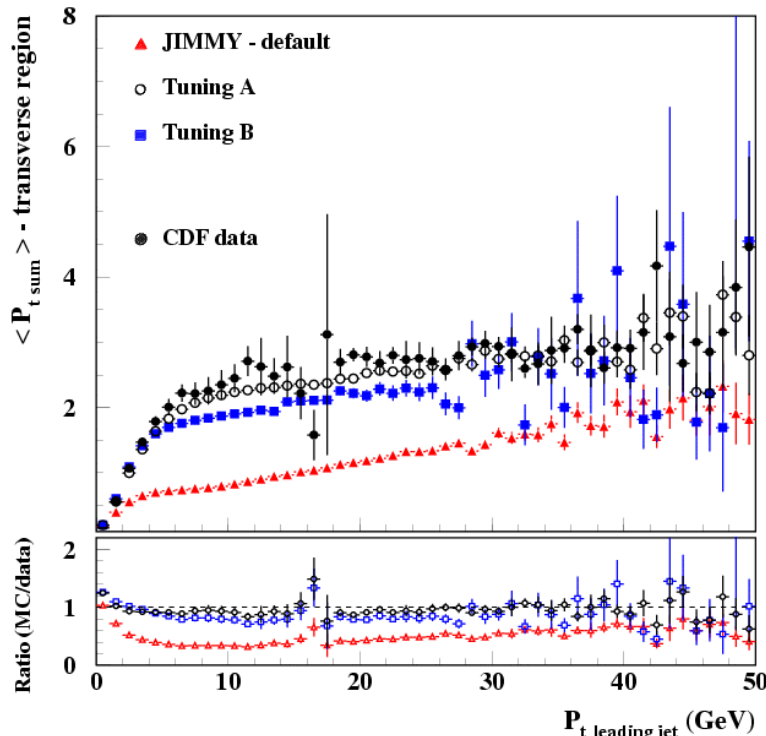
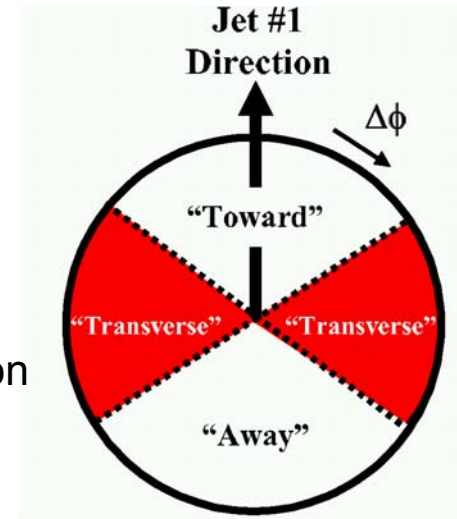
Anpassung z.B. an  $p_T$ -Summen

Idee

Betrachte Ereignis "weit weg" von der harten Physik – von harten Jets; Definiere die "transversale" Richtung:  $90^\circ$  in  $\phi$  relativ zum Jet versetzt  $\rightarrow$  von "UE" dominiert?

Messung

Betrachte als Funktion der Je-Energie  
 –  $p_T$ -Summe in der transversalen Region  
 – Multiplizität geladener Teilchen in transversaler Region



Modelle können (mehr oder weniger gut) an Daten angepasst werden.

Finale Anpassung am LHC nötig, aber schwierig. Tieferes Verständnis des Phänomens wünschenswert.



# EXTRAPOLATION ZUM LHC

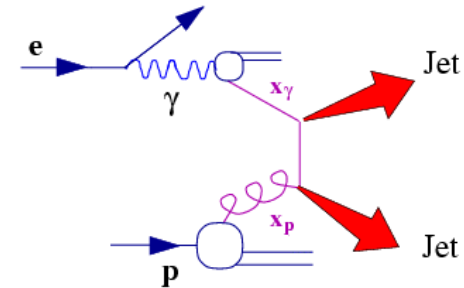
... und Lernen bei HERA

LHC

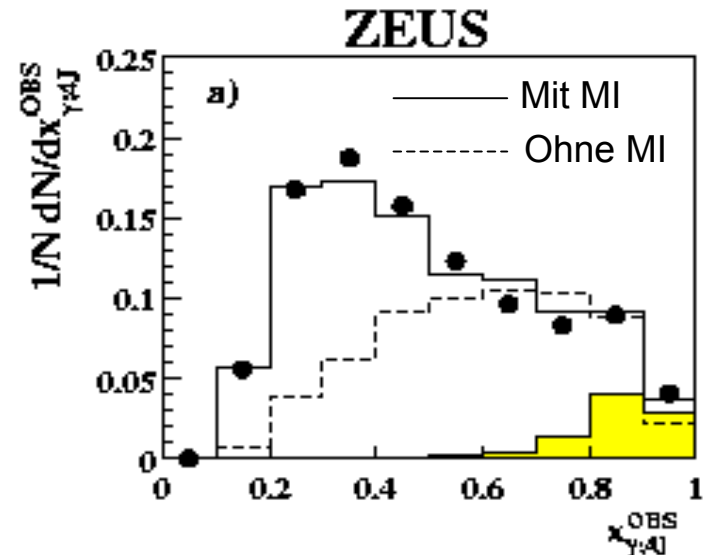
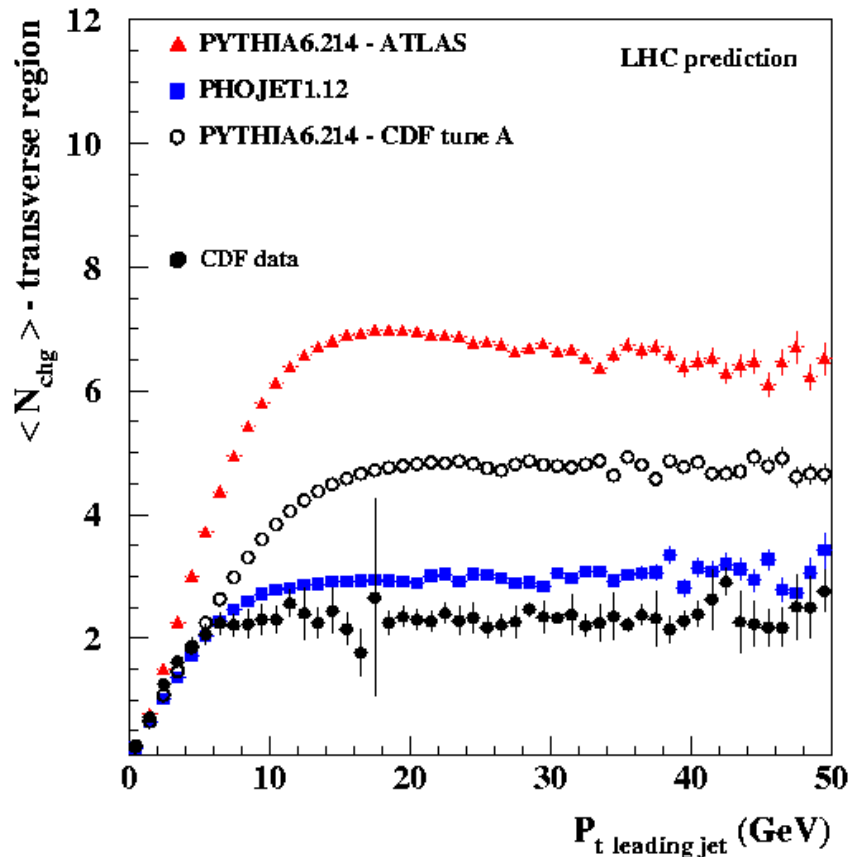
Tevatron-Anpassungen liefern vollkommen verschiedene Ergebnisse bei LHC!

HERA  $\gamma p$

Photoproduktion bei HERA ist effektiv Hadron-Hadron-Streuung:



Hadronischer Charakter des Photons ist "einstellbar" ( $Q^2$ )  $\rightarrow$  HERA idealer Ort für systematisches Verständnis!



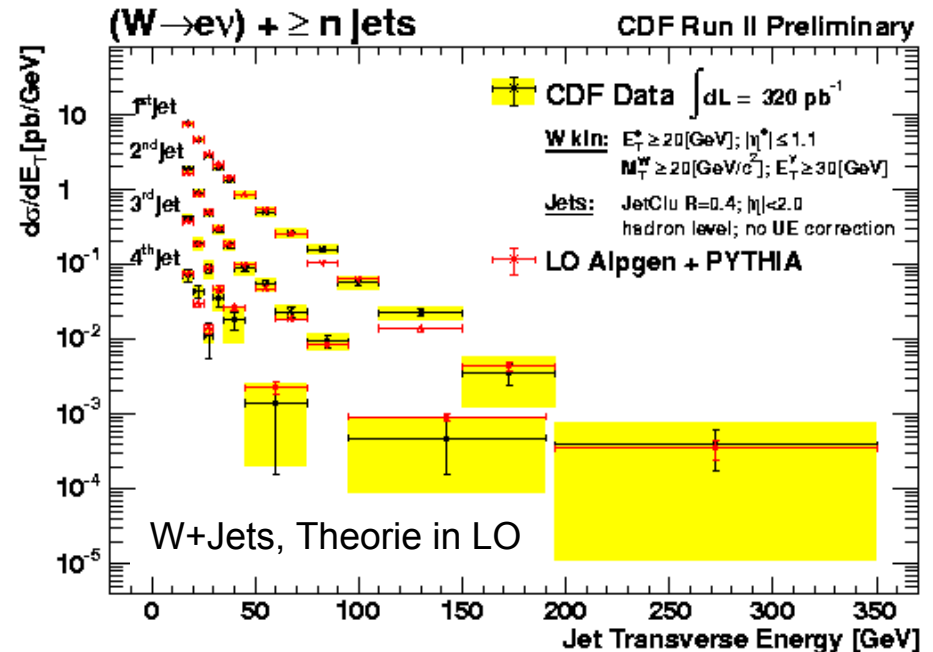
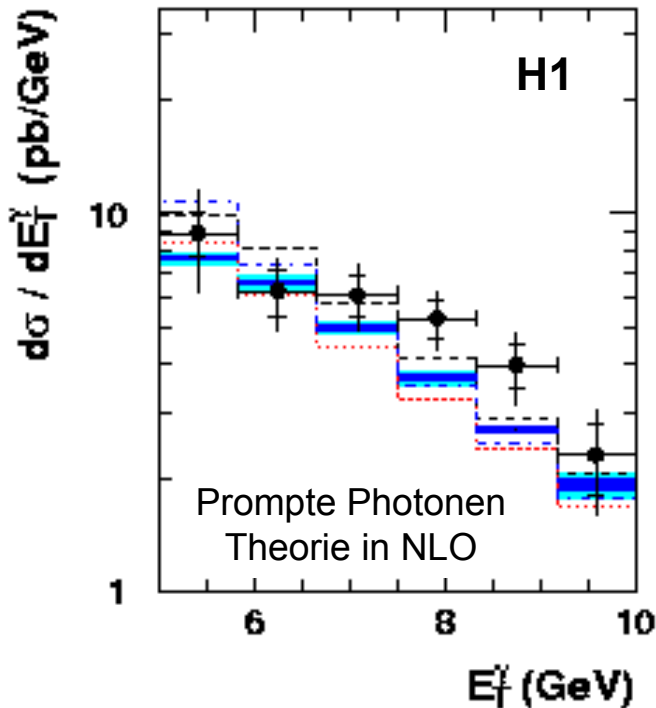


# PRODUKTION VON EICHBOSONEN

als weiterer QCD-Test

Idee

- Zugang zur partonischen Wechselwirkung ohne Hadronisierungskorrekturen (wie bei Quarks, Gluonen):  $\gamma, Z \rightarrow \ell\ell, W \rightarrow \ell\nu$
- Wichtiger Zugang zur Detektorkalibration:  $Z \rightarrow \ell\ell, qq, W \rightarrow qq', \dots$
- Wichtig zur Luminositätsbestimmung bei LHC.

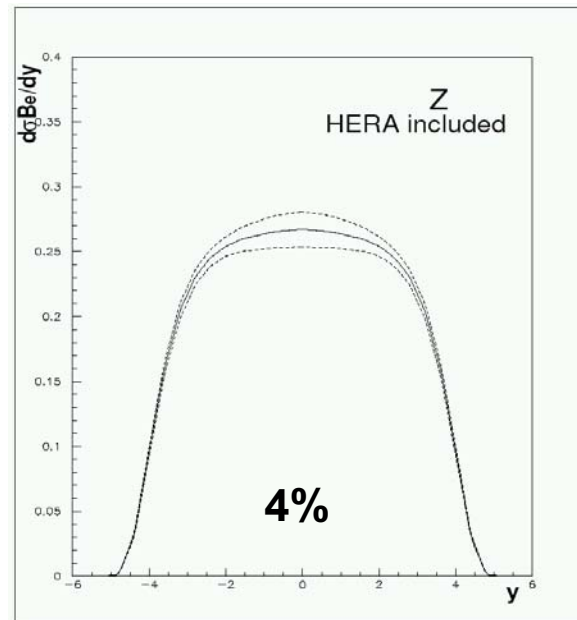
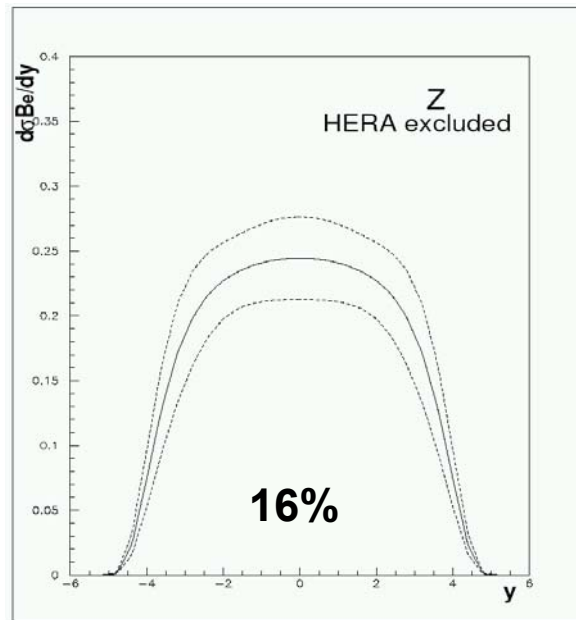


QCD funktioniert sehr gut.

# ***BEDEUTUNG DER PDFs***

für Boson-Produktion bei LHC

Unsicherheit der Z-Produktion hängt massiv von Kenntnis der PDFs ab



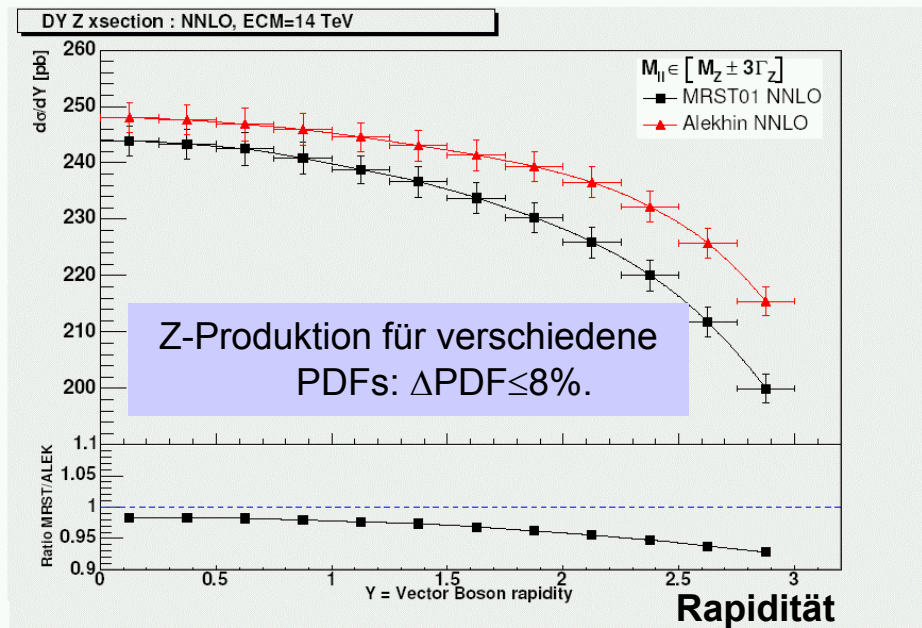
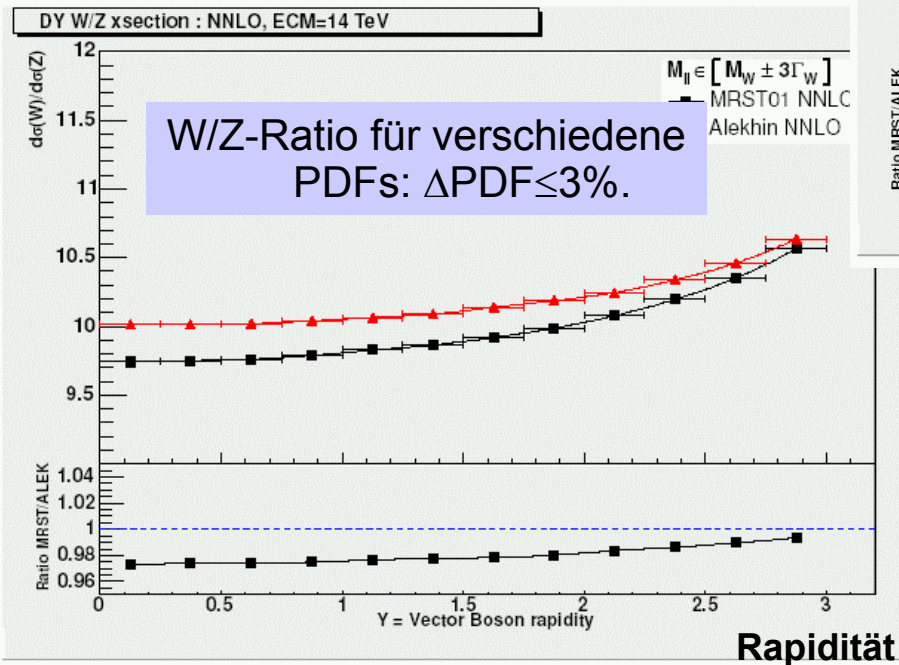
Um Eichboson-Produktion bei LHC für Kalibration oder Lumi-Überwachung zu verwenden, ist genaue Kenntnis der PDFs wichtig.

Gleiches gilt für den gesamten Bereich der elektroschwachen Physik!

# EICHBOSONEN BEI LHC

## Rechnungen in NNLO, Zugang zu PDFs?

- Bisherige Rechnungen zur Produktion von Eichbosonen in LO/NLO.
- LHC-Vorhersagen für manche Kanäle in NNLO vorhanden (W,Z).



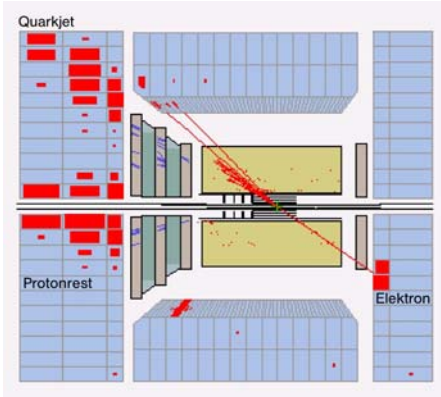
Verhältnisse von Wirkungsquerschnitten reduzieren Unsicherheiten

- Luminosität, Energieskalen, Akzeptanz
- QCD-Skalen, PDFs.

Allerdings nur geringer Einfluss auf die PDF-Bestimmung

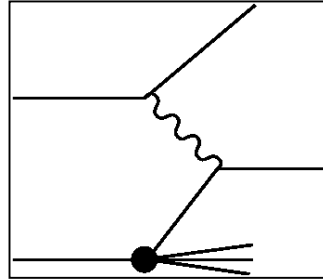
# NICHTPERTURBATIVE EFFEKTE

Abschätzung mit Monte Carlo / "Power Corrections"?



Experiment:  
Teilchen

Theorie:  
Partonen



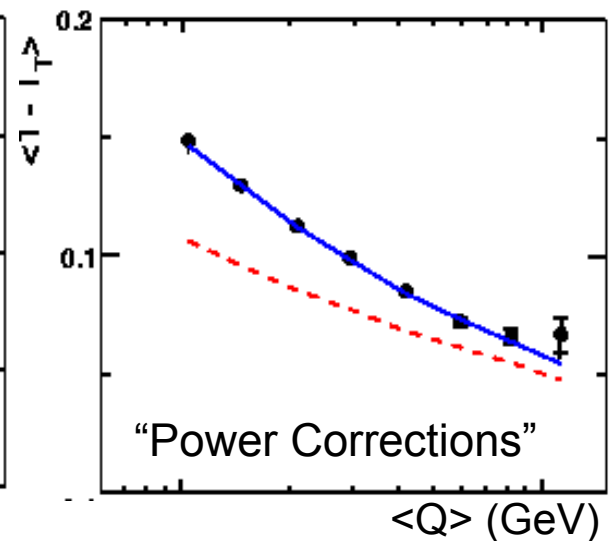
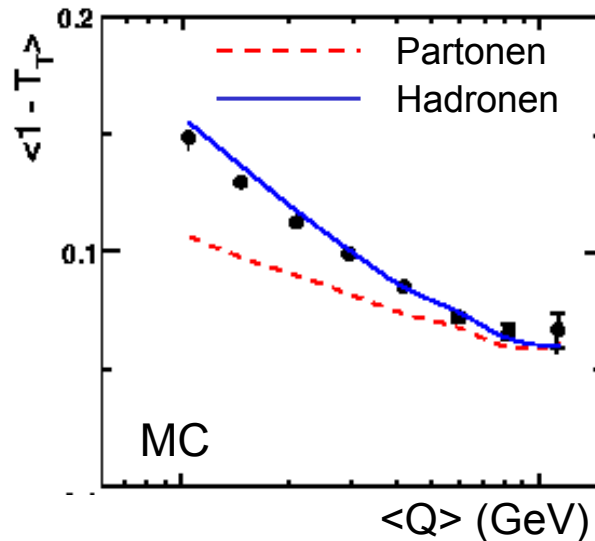
Abschätzung der Hadronisierung  
mit Monte-Carlo-Generatoren:

$$\sigma_{Hadronen}^{Theorie} = \sigma_{Partonen}^{Theorie} \cdot C, \quad C = \frac{\sigma_{Hadronen}^{MC}}{\sigma_{Partonen}^{MC}}$$

"Power Corrections" und  
universeller Parameter  $\alpha_0$ :

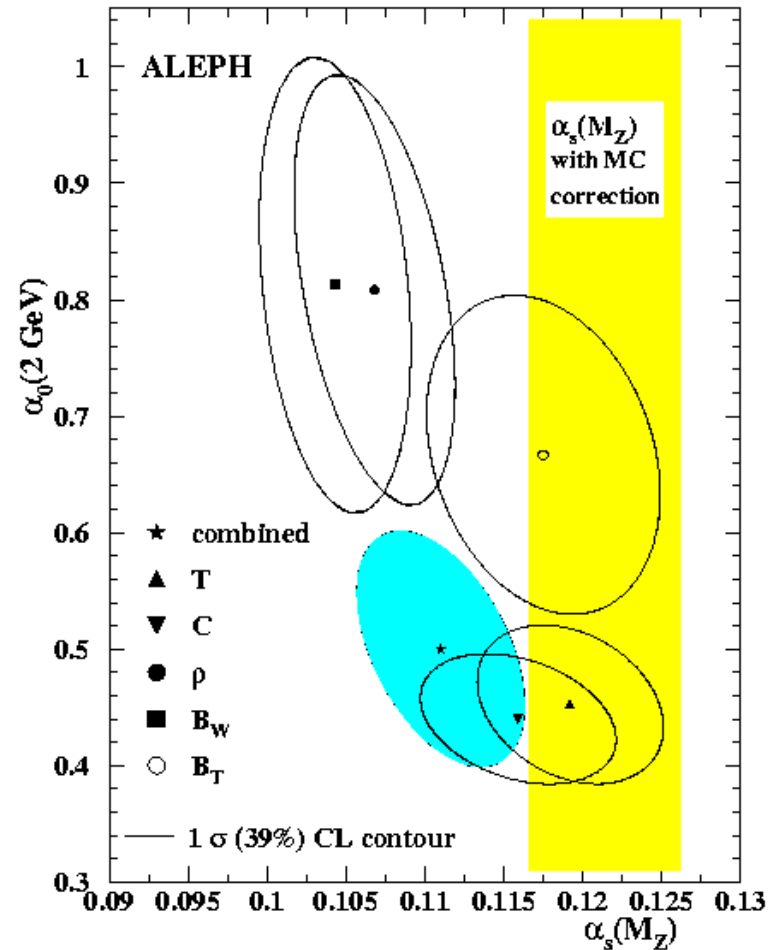
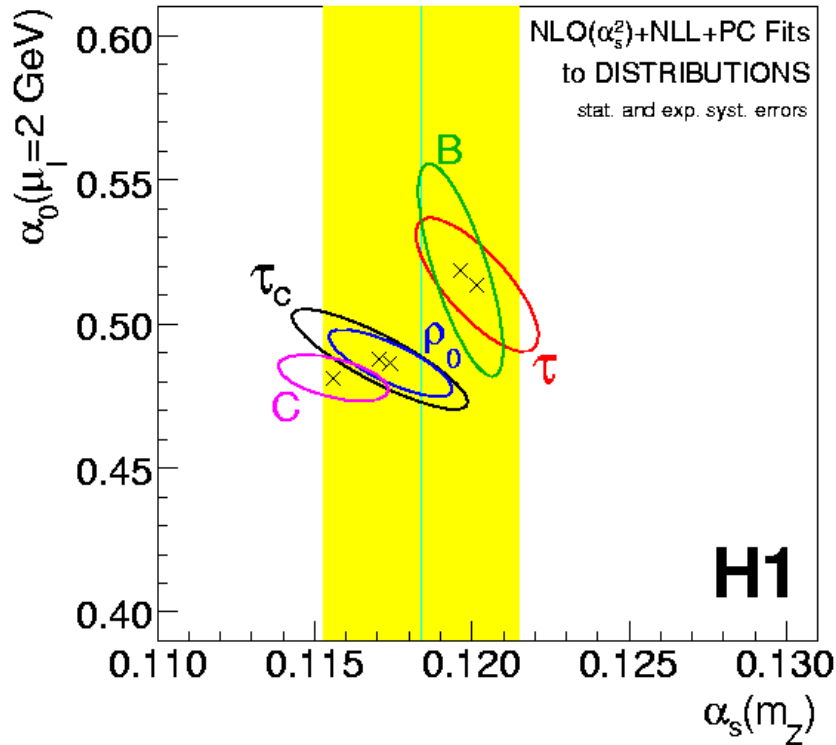
$$\langle V \rangle = \langle V \rangle_{pQCD} + \langle V \rangle_{PC}; \quad \langle V \rangle_{PC} = C \cdot \frac{A_p(\alpha_S, \bar{\alpha}_0)}{Q^p}$$

Beide Ansätze  
funktionieren gut.



# EVENT SHAPES

Extraktionen von  $\alpha_s$  und  $\alpha_0$ .



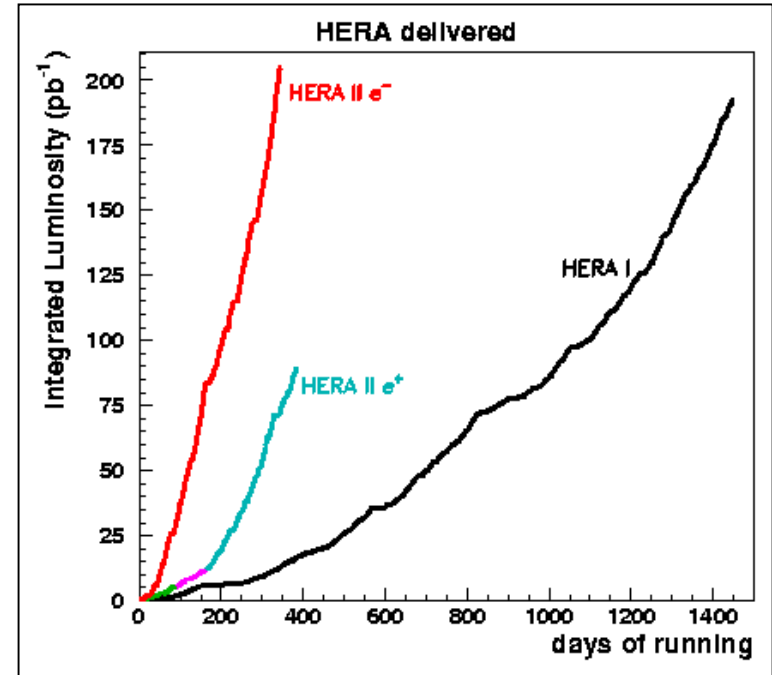
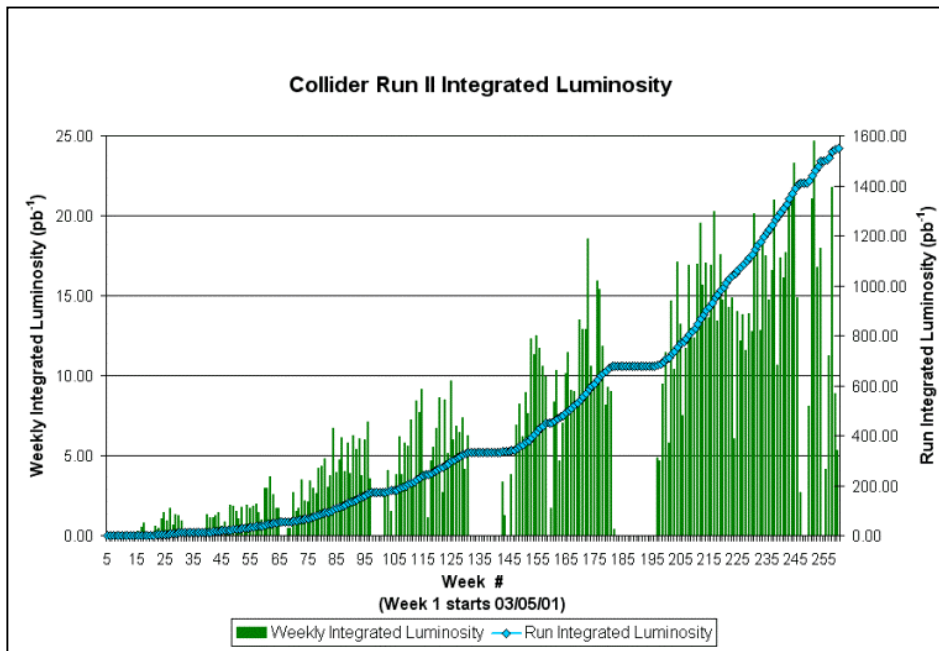
- ¶ Sind die Ergebnisse wirklich konsistent?
- ¶ Ist der Parameter  $\alpha_0$  wirklich universell?
- ¶ Eine möglicher Ausweg: NLO + Hadronisierung ("NLO+PS")

# AUSBLICK

## Noch viele Daten von HERA und Tevatron

Lumi

- ¶ HERA-Ziel:  $750\text{pb}^{-1}$ .
- ¶ Tevatron strebt  $4.4\text{fb}^{-1}$  an!
- ¶ Beide Maschine laufen gut:  
Tevatron bis zu  $20\text{pb}^{-1}/\text{Woche}$   
HERA bis  $7\text{pb}^{-1}/\text{Woche}$

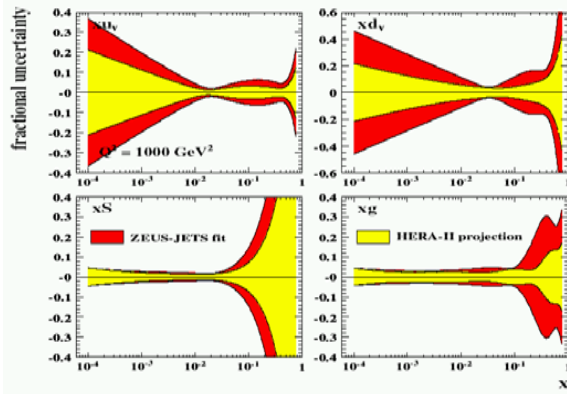


Fortschritt

- ¶ Statistik (wie wichtig?)
- ¶ Theorie (NNLO, Resummierung, ME+PS, ...)
- ¶ Neue Analyseideen?

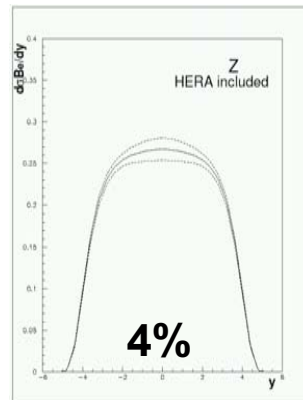
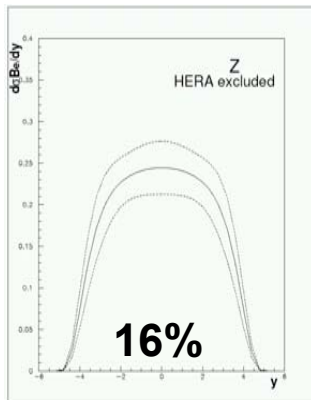
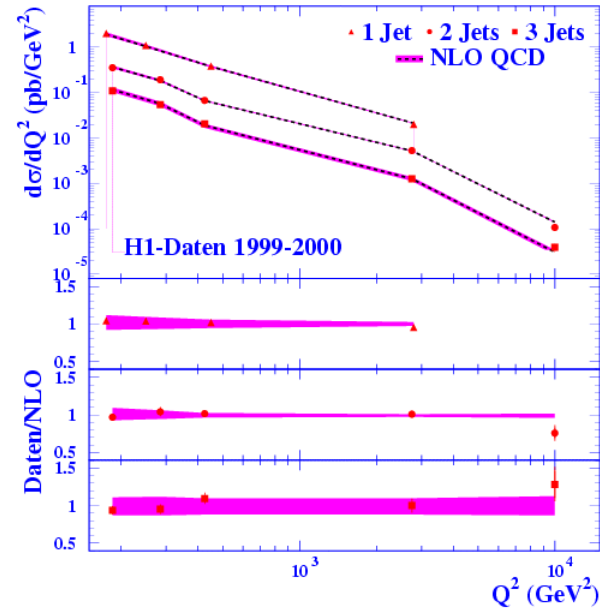


# ZUSAMMENFASSUNG



- ¶ HERA hat massiv zum Verständnis des Protons und der QCD beigetragen.
- ¶ Status wichtiger QCD-Messungen: Fehler von  $F_2$  2%; Fehler von  $\alpha_S=2\%$ .
- ¶ Noch große Fehler auf PDFs (Gluon!).

- ¶ Ergebnisse z.B. der Jet-Physik bestätigen Faktorisierung und Störungstheorie auf 5-10%.
- ¶ Messungen bei LHC leiden unter großen Unsicherheiten (PDFs, Jet-Skala).



- ¶ Nicht nur QCD, sondern auch elektroschwache Physik und Suchen nach neuer Physik brauchen präzisen QCD-Input.

# HERA-LHC- UND LHC-D-WORKSHOPS

## Reiche Auswahl an QCD-Ergebnissen



**HERA AND THE LHC**  
A workshop on the implications of HERA for LHC physics

March 2004 - January 2005

Parton density functions  
Multijet final states and energy flow  
Heavy quarks  
Diffraction  
Monte Carlo tools

**Startup Meeting**  
March 26-27 2004  
**Midterm Meeting**  
11-13 October 2004  
CERN, Geneva

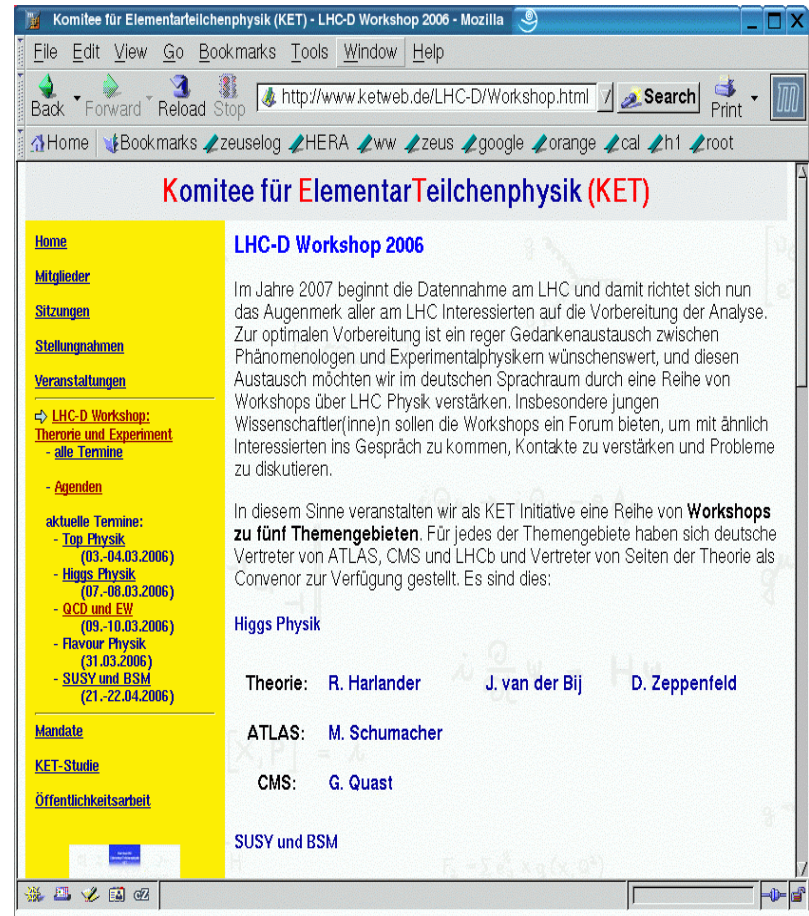
**Final Meeting**  
January 2005  
DESY, Hamburg

**Organizing Committee:**  
G. Soffers (DESY), J. Stenlund (DESY),  
M. Dittus (DESY), J. Huston (DESY),  
A. Donnay (DESY), M. H. Reno (DESY),  
H. Jung (DESY), M. Mangano (DESY),  
A. Martin (DESY), R. S. Steinwarth (DESY),  
D. Ross (DESY), G. Soffers (DESY),  
D. Stump (DESY)

**Advisory Committee:**  
D. Bartal (DESY), M. H. Reno (DESY),  
J. Stenlund (DESY), J. Huston (DESY),  
M. H. Reno (DESY),  
D. Ross (DESY),  
D. Stump (DESY),  
D. Stump (DESY),  
D. Stump (DESY),  
D. Stump (DESY)

workshop@cern.ch

Proceedings des Workshops:  
hep-ph/0601012, 0601013



Komitee für Elementarteilchenphysik (KET) - LHC-D Workshop 2006 - Mozilla

File Edit View Go Bookmarks Tools Window Help

Back Forward Reload Stop http://www.ketweb.de/LHC-D/Workshop.html Search Print

Home Bookmarks zeuselog HERA ww zeus google orange cal h1 root

### Komitee für Elementarteilchenphysik (KET)

**LHC-D Workshop 2006**

Im Jahre 2007 beginnt die Datennahme am LHC und damit richtet sich nun das Augenmerk aller am LHC Interessierten auf die Vorbereitung der Analyse. Zur optimalen Vorbereitung ist ein reger Gedankenaustausch zwischen Phänomenologen und Experimentalphysikern wünschenswert, und diesen Austausch möchten wir im deutschen Sprachraum durch eine Reihe von Workshops über LHC Physik verstärken. Insbesondere jungen Wissenschaftler(Inne)n sollen die Workshops ein Forum bieten, um mit ähnlich Interessierten ins Gespräch zu kommen, Kontakte zu verstärken und Probleme zu diskutieren.

In diesem Sinne veranstalten wir als KET Initiative eine Reihe von **Workshops zu fünf Themengebieten**. Für jedes der Themengebiete haben sich deutsche Vertreter von ATLAS, CMS und LHCb und Vertreter von Seiten der Theorie als Convenor zur Verfügung gestellt. Es sind dies:

**Higgs Physik**

Theorie: R. Harlander J. van der Bij D. Zeppenfeld

ATLAS: M. Schumacher

CMS: G. Quast

SUSY und BSM

**aktuelle Termine:**

- Top Physik (03.-04.03.2006)
- Higgs Physik (07.-08.03.2006)
- QCD und EW (09.-10.03.2006)
- Flavour Physik (31.03.2006)
- SUSY und BSM (21.-22.04.2006)

**Mandate**

**KET-Studie**

**Öffentlichkeitsarbeit**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!





***BACKUP***

# $\alpha_S$ AUS JETS AM LHC

Ist eine genaue Bestimmung denkbar?

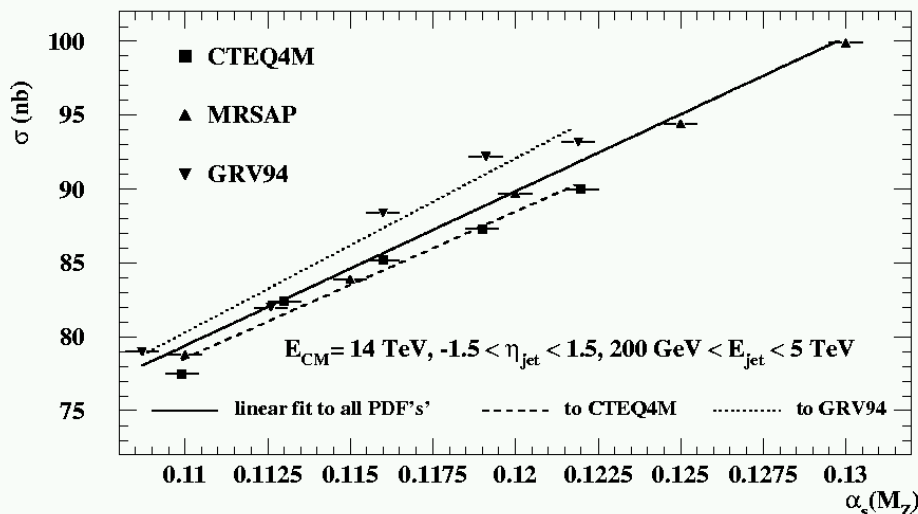
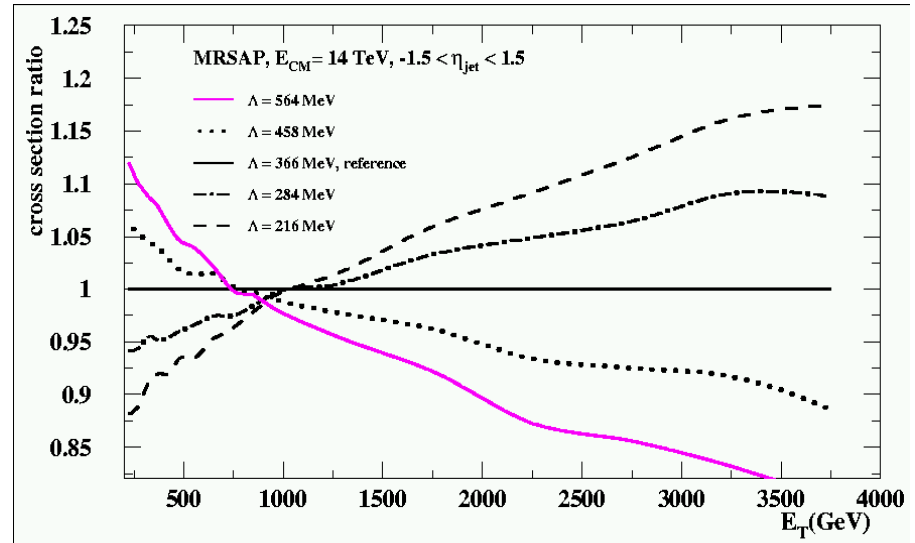
“Daten”

MC-simulierte Daten im Vergleich zu NLO-QCD-Rechnung: Jet- $E_T$ .

Die Theorie zeigt deutliche Abhängigkeit von  $\alpha_S$ .

aber

Auch die PDF-Abhängigkeit ist sehr gross (einige Prozent).



Theoretischer Fehler auf  $\alpha_S$  bei LHC von unter 10% sollte möglich sein.

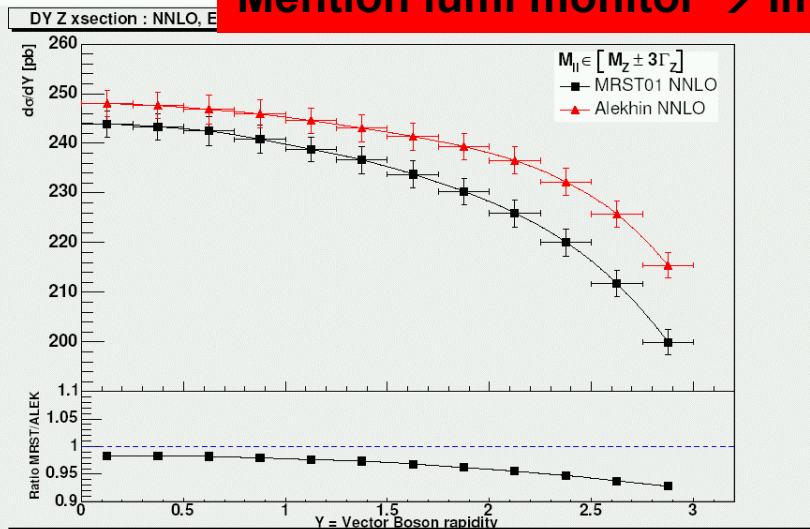
Wie werden die experimentellen Unsicherheiten aussehen ?

# EICHBOSONEN BEI LHC

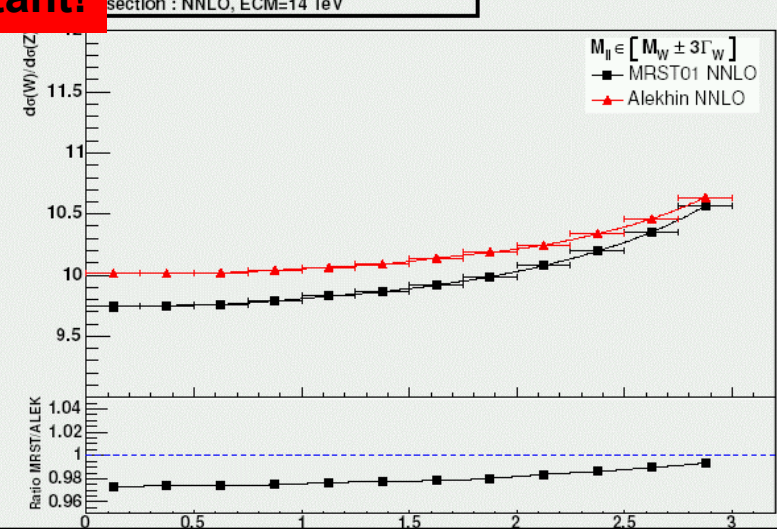
## Rechnungen in NNLO, Zugang zu PDFs?

- Ratios von Wirkungsquerschnitten reduzieren Unsicherheiten
  - experimentell (Luminosität, Energieskalen, Akzeptanz)
  - theoretisch (Skalen, PDFs).
- Untersuchung Ratios von W/Z-Wirkungsquerschnitten
  - Aufschluss über PDFs?
  - Attraktiv, da Theorie in NNLO vorhanden (reduzierte Unsicherheiten).
- Kleiner Effekt dieser Daten in PDF-Fits (Parameter  $\lambda_g$ : Fehler halbiert)

**Mention lumi monitor → Important!**



Z-Produktion als Funktion der Rapidität für verschiedene PDFs:  $\Delta\text{PDF} \leq 8\%$ .



W/Z-Ratio als Funktion der Rapidität für verschiedene PDFs:  $\Delta\text{PDF} \leq 8\%$ .

# PROMPTE PHOTONEN

bei LEP, HERA, TEVATRON

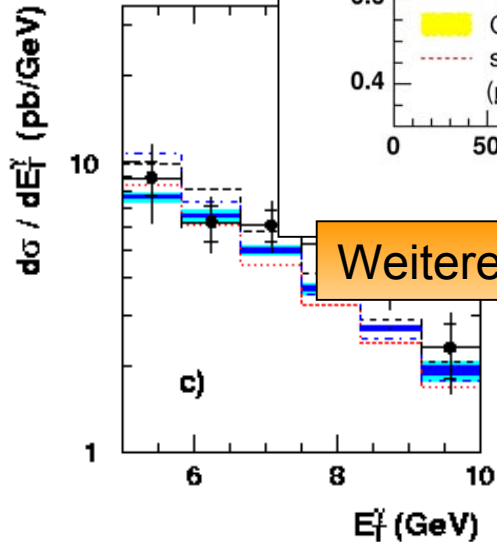
Idee

Zugang zur partonischen Wechselwirkung ohne Hadronisierungs-

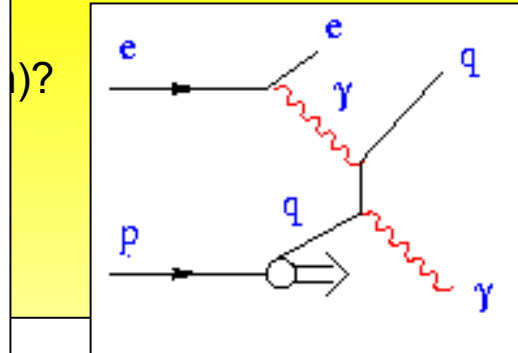
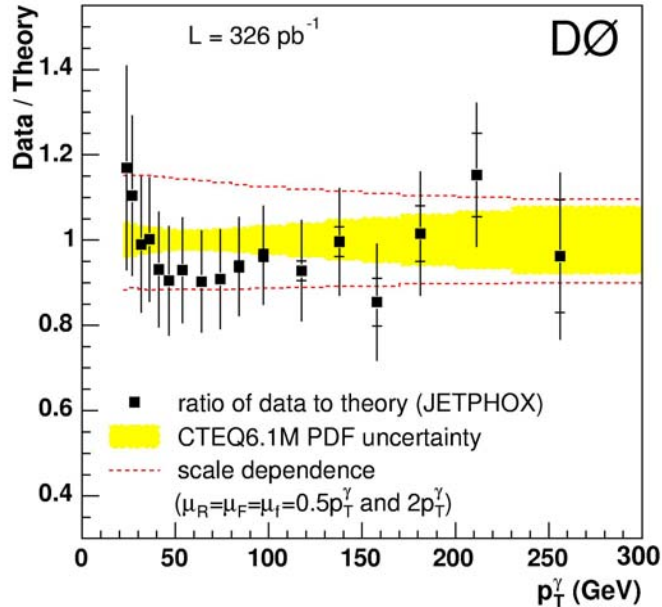
- Trennung
- EM-Scha
- hadronis
- Abweichi
- in pp,  $\gamma p$

Daten

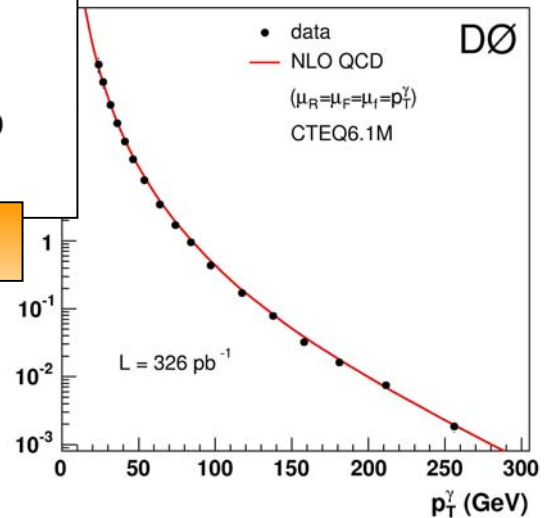
Von LEP,



Weitere Erfolg der QCD!



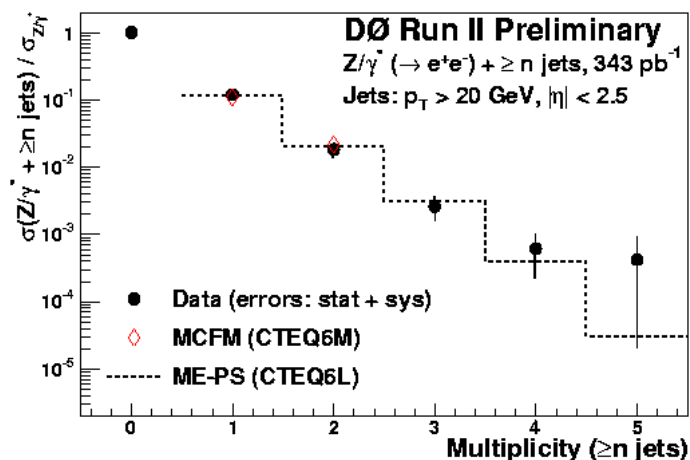
NLO.



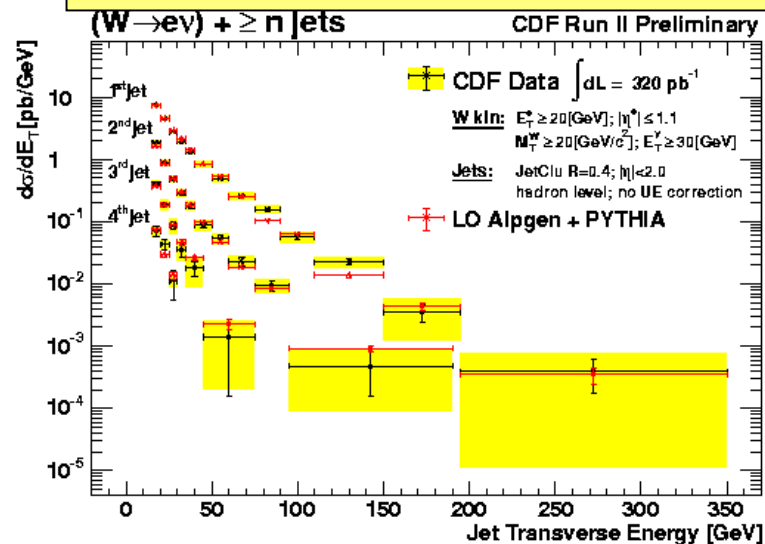
# PRODUKTION SCHWERER EICHBOSONEN

am TEVATRON in LO, NLO, NNLO

“Leading order” funktioniert ganz gut ...



... aber große Unsicherheiten!



NNLO?

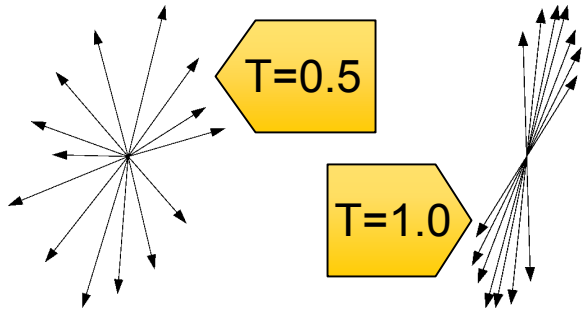


# EVENT SHAPES + POWER CORRECTIONS ...

und der Resummierung

z.B. Thrust

Ist ein Ereignis (in  $e^+e^-$ ) eher "rund" oder "bleistiftartig"?

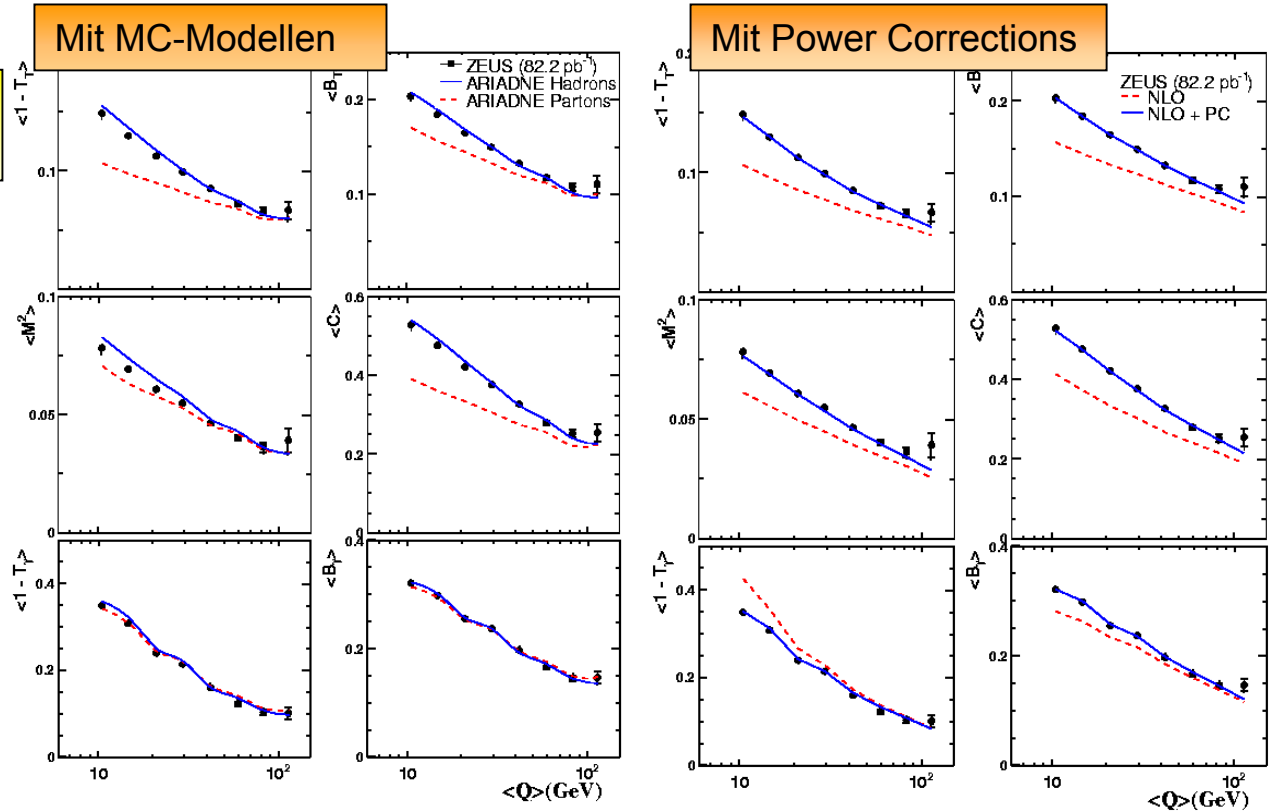


Andere Variablen: Broadening, Jet-Massen, C-Param.

Hadronisierung

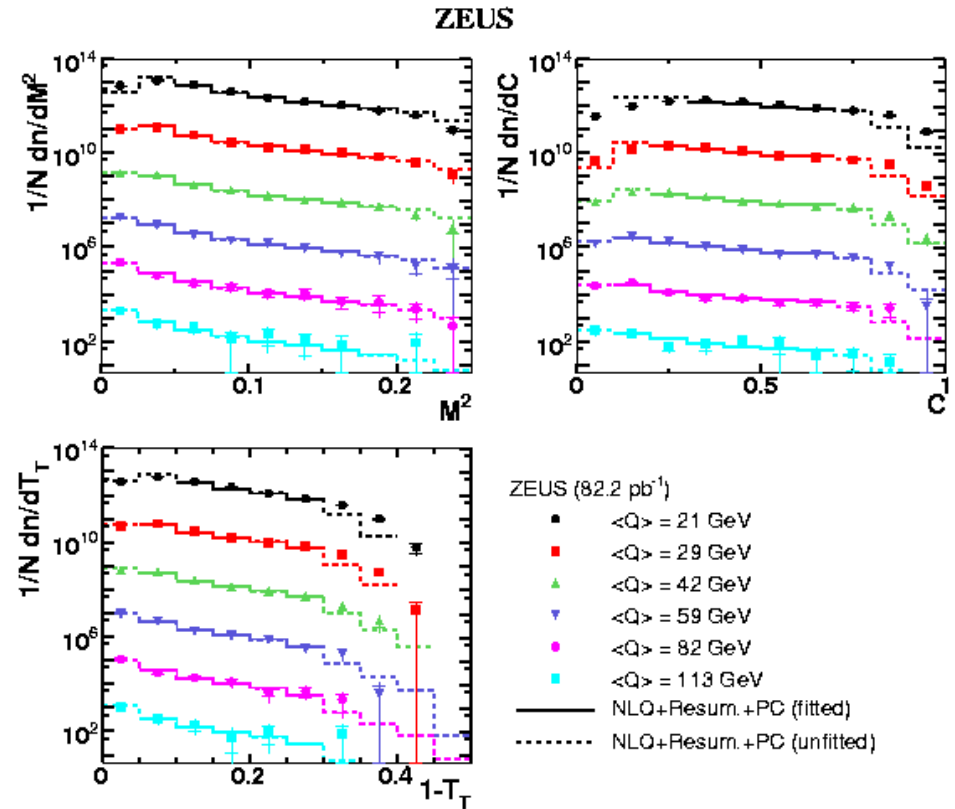
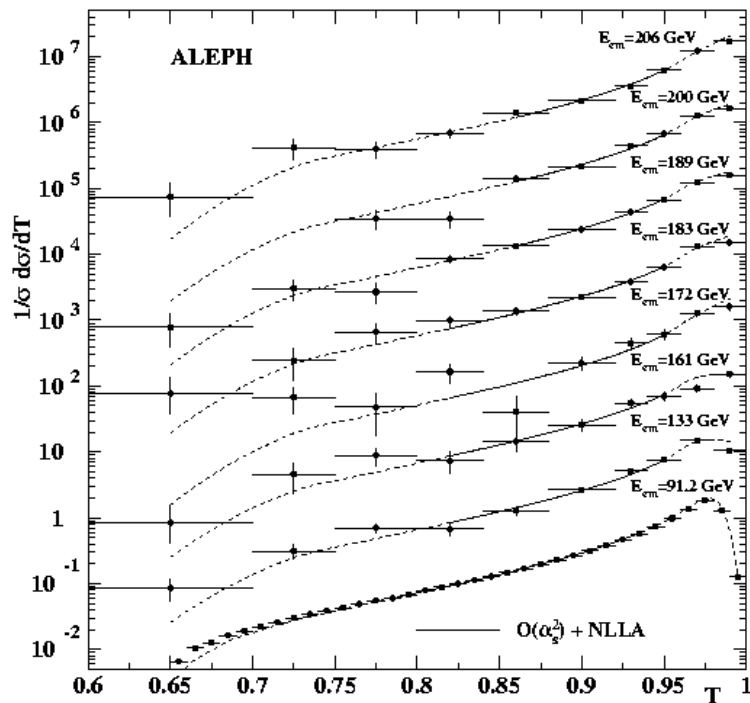
Mittelwerte der Event Shapes.

Beide Ansätze scheinen vergleichbar gut zu funktionieren.



# EVENT SHAPES BEI LEP UND HERA

## Anwendung der Power Corrections und der Resummierung



$$\frac{d\sigma}{dV}(V) = \frac{d\sigma}{dV}\bigg|_{pQCD} (V - \langle V \rangle_{PC})$$

# $\alpha_S$ : HEUTIGER STAND

Ergebnisse in verschiedenen Ordnungen

Weltmittel  
(NNLO)

$$\alpha_S(M_Z)=0.1187(20) \quad [\text{PDG}]$$

$$\alpha_S(M_Z)=0.118X(YX) \quad [\text{Bethke}]$$

Zum Vergleich:

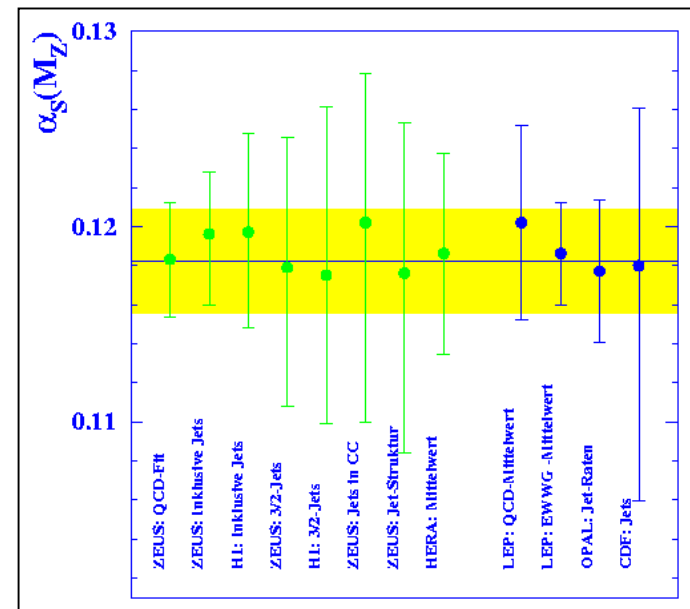
- $\alpha_{EM}$  auf 12 Stellen bekannt,
- $G_F$  auf 6 Stellen!

HERA-Mittel  
(NLO)

Ergebnisse in NLO (Jets,  $F_2$ )  $\rightarrow$  theo. Fehler größer:

$$\alpha_S(M_Z)=0.1186\pm 0.0050$$

Bethke-Plot



Sehr gute Übereinstimmung  
ganz verschiedener Prozesse!

Unsicherheiten bei ca. 2% (in NNLO). Bedeutung für SUSY, Vereinheitlichung ...