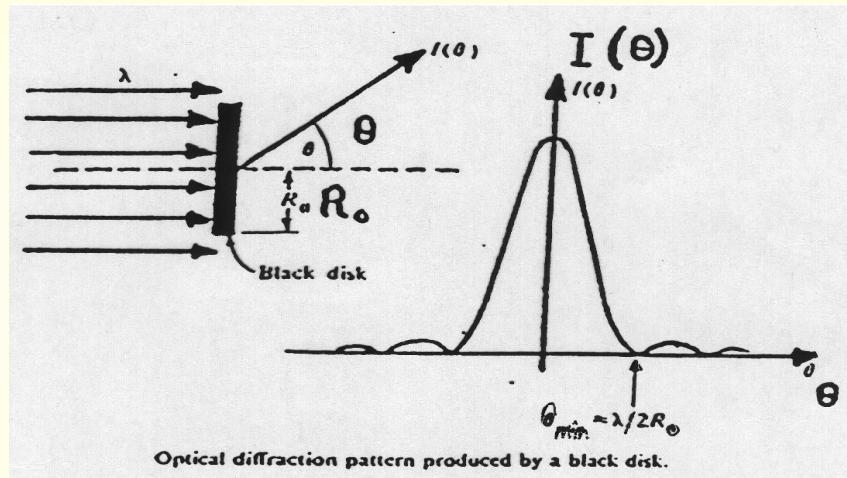


Ein- und Ausblicke in die harte Diffraction aus ep und $\bar{p}p$ Streuungen

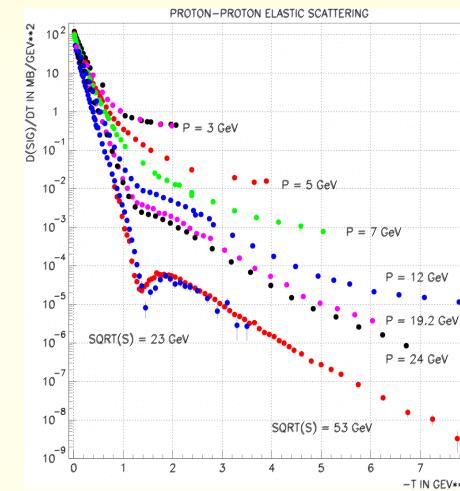
- **Das Phänomen Diffraction**
- **Regge und QCD**
- **QCD Faktorisierung**
- **Diffraction bei HERA**
**Strukturfunktion, Zwei-Jet- und
Vektormeson-Produktion**
- **Diffraction am Tevatron**
Strukturfunktion, DPE, Faktorisierung

Was ist Diffraction ?

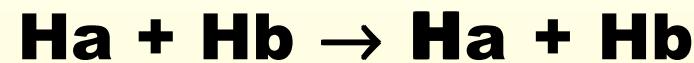
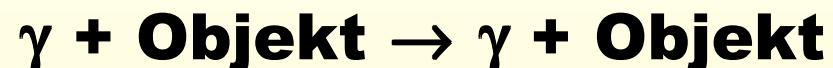
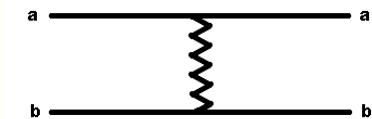
Historisch: Optik



Hadron-Streuung



elastisch:

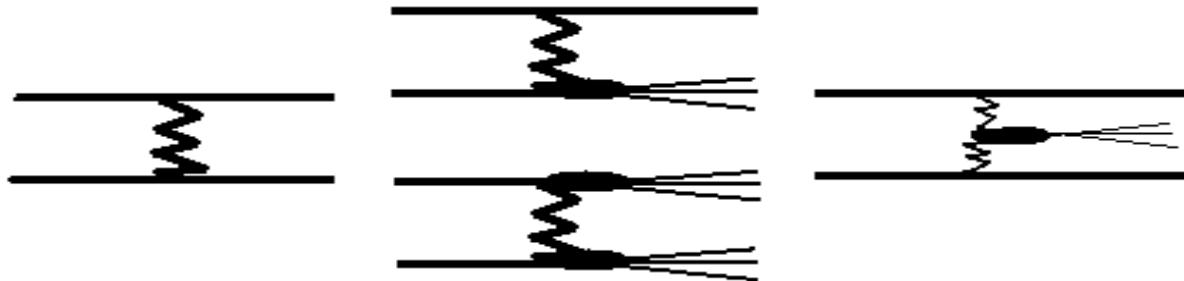


Heute : Wechselwirkungen durch Austausch
ohne Farbe und Quantenzahlen

→ Rapidity-Gap-Ereignisse.

Diffaktive Prozesse

Hadron-Hadron



Elastisch

Einfache diffr. Diss.

**Doppelter IP
Austausch(DPE)**

Doppelte diffr. Diss.

Nachweis: führendes Hadron (VPS) und/oder

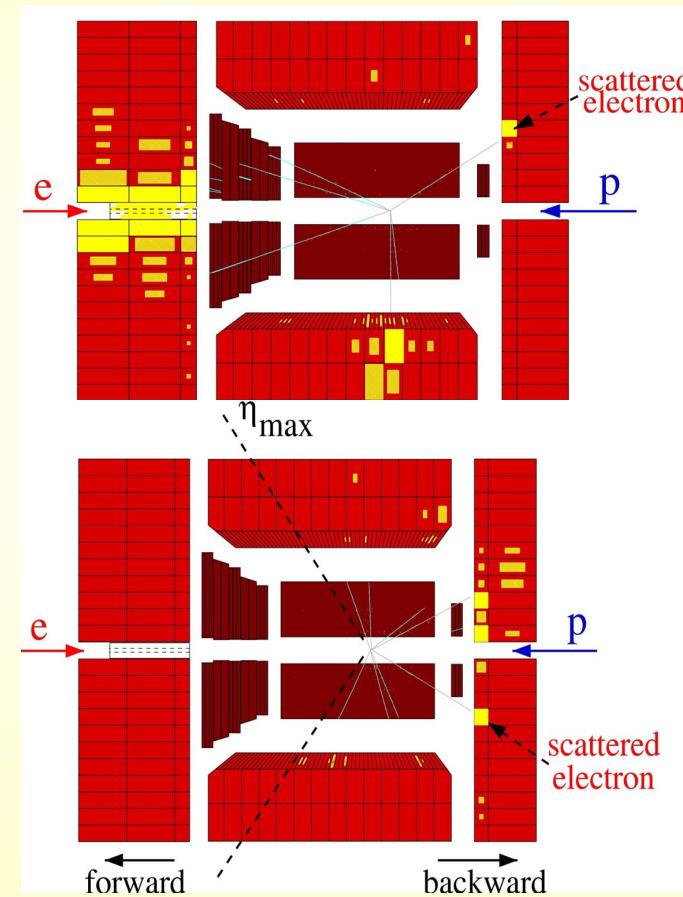
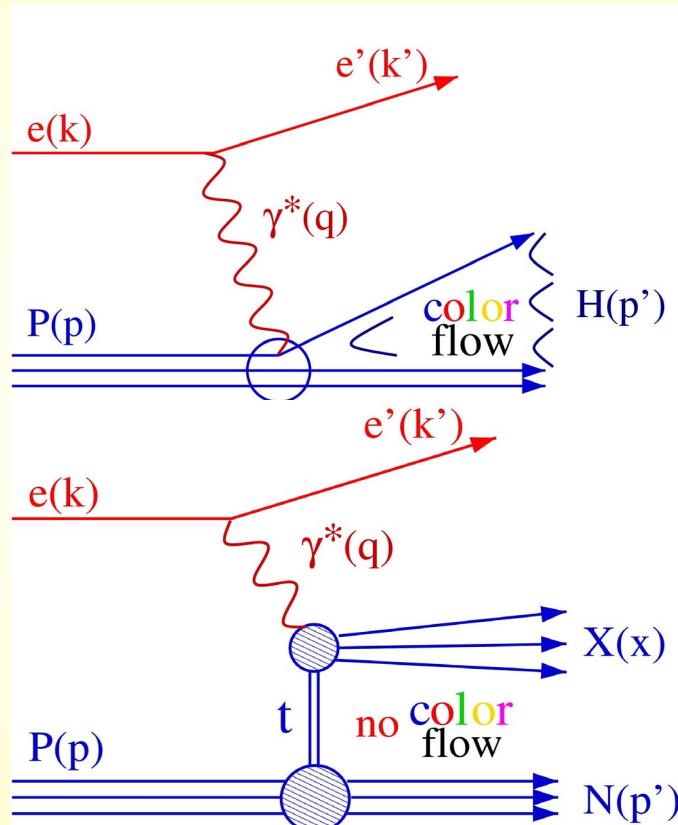
Rapidity-Gap (farbloser Austausch ohne QZ)

Überraschung:

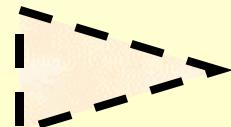
Rapidity-Gaps auch in DIS bei HERA !

Diffaktive DIS auch bei HERA

$$y = \frac{1}{2} \log \left(\frac{(E+p_z)}{(E-p_z)} \right) \approx \eta = -\log \tan(\theta/2)$$

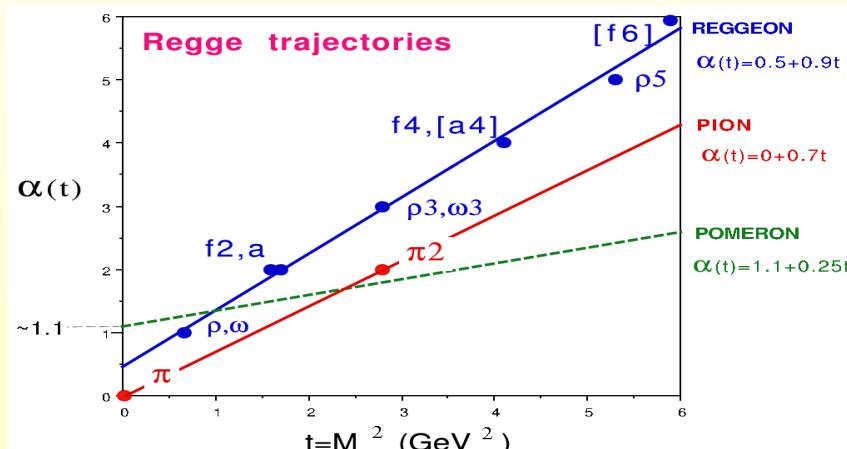
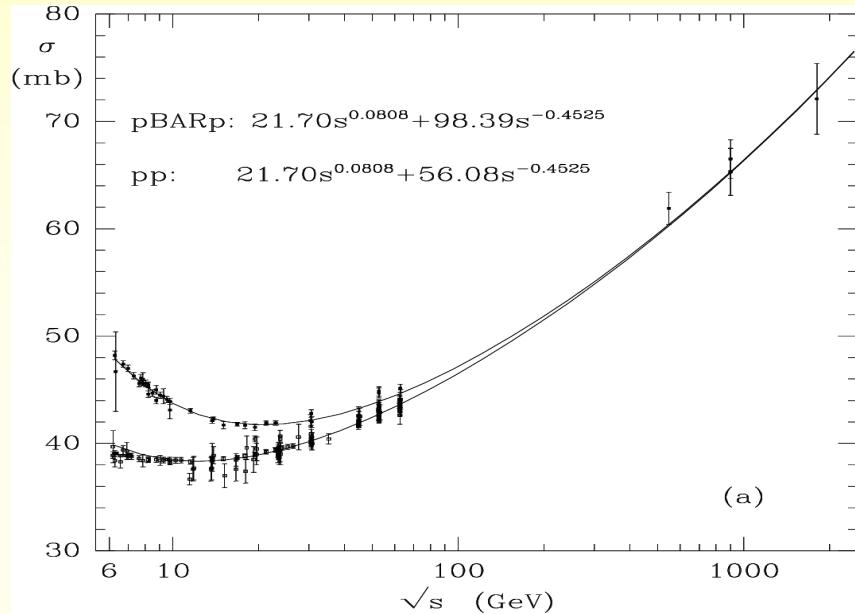


Rapidity-Gap:

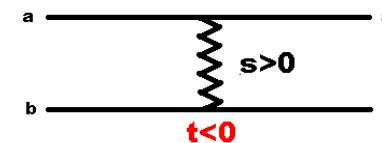


kein Teilchenfluß

Bekannt: Regge-Phänomenologie



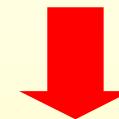
Totaler Wirkungsquerschnitt:
weiche Prozesse \rightarrow Regge elastisch:



Regge-Trajektorie:

$$\alpha(t) = \alpha_0 + \alpha' t$$

$\sigma_{\text{tot}} \sim s^{\alpha_0 - 1}$ wächst mit \sqrt{s}



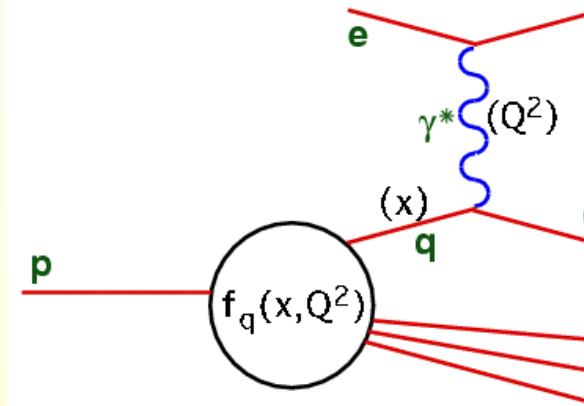
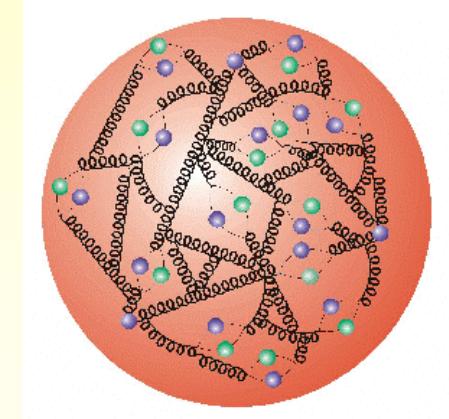
Pomeron (IP) mit $\alpha_0 > 1$

Heute: pQCD

Partonen als Grundbausteine:

Quarks & Gluonen

**Erfolgreiche Beschreibung der
starken Wechselwirkung auf dem
Parton-Niveau:**



**Störungstheoretische
Berechnungen brauchen
harte Skala:**

→ harte Prozesse

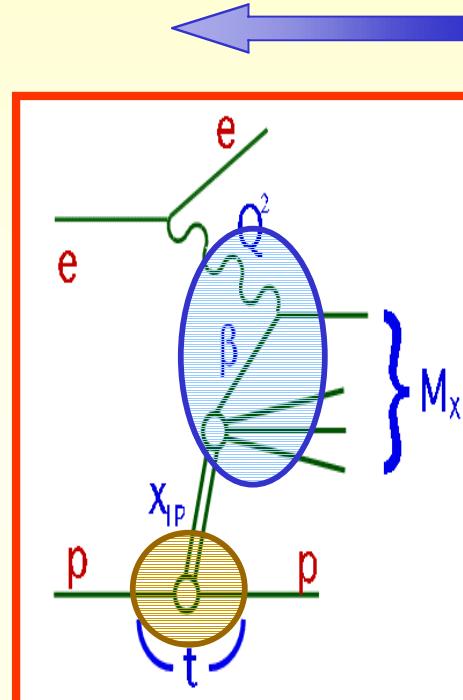
Weiche und harte Prozesse

Regge

Hadronen

weiche Prozesse

makroskopische σ



pQCD

Partonen

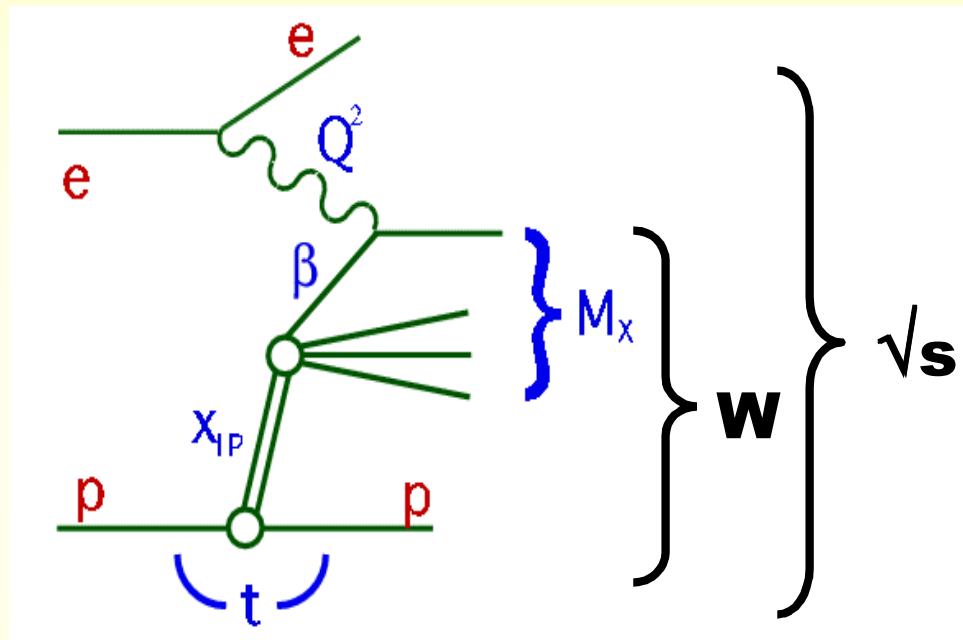
harte Prozesse

mikroskopische σ
auf Parton-Niveau

**Harte Diffraction: Prozesse mit weichem Anteil
und harter Skala durch hohes Q^2 , Jets oder
Vektormesonen,**

Messe inklusiv (F_2^D), teste exklusiv (Jets)

Kinematische Variablen



$$Q^2 = \gamma \text{ Virtualität}$$

$$x = x_q / p \text{ oder } x_g / p$$

$$x_{IP} = x_{IP} / p$$

$$\beta = x_q / IP \text{ oder } x_g / IP$$

$$t = (p - p')^2$$

QCD Faktorisierung in DIS

Inklusive DIS:

- **Theorie: QCD Faktorisierung gilt**
- $\sigma^{\text{DIS}}(x, Q^2) \sim F_2(x, Q^2) \sim f_q(x, Q^2) \times \sigma_{\text{pQCD}}$

Diffraktive DIS:

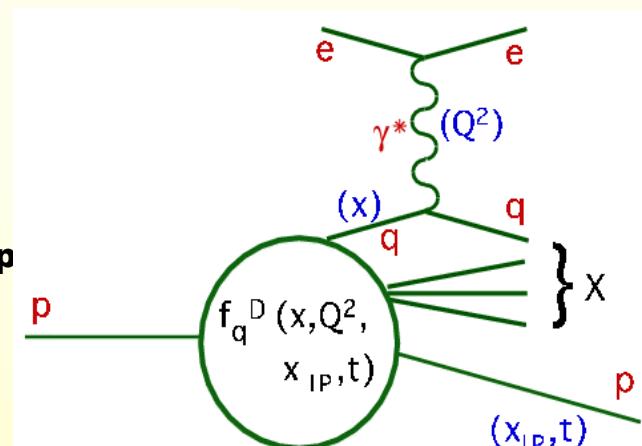
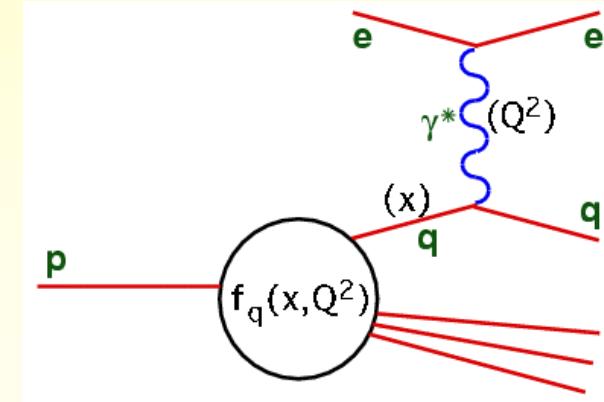
- **Theorie: QCD Faktorisierung gilt**
- $\sigma^{\text{DDIS}}(x_{\text{IP}}, t, \beta, Q^2) \sim F_2^D(x_{\text{IP}}, t, \beta, Q^2)$
 $\sim f_q^D(x_{\text{IP}}, t, \beta, Q^2) \times \sigma_p$

Partonverteilungen universell

gleiche QCD Entwicklung mit DGLAP

harte Streuung in DDIS = harte Streuung in DIS

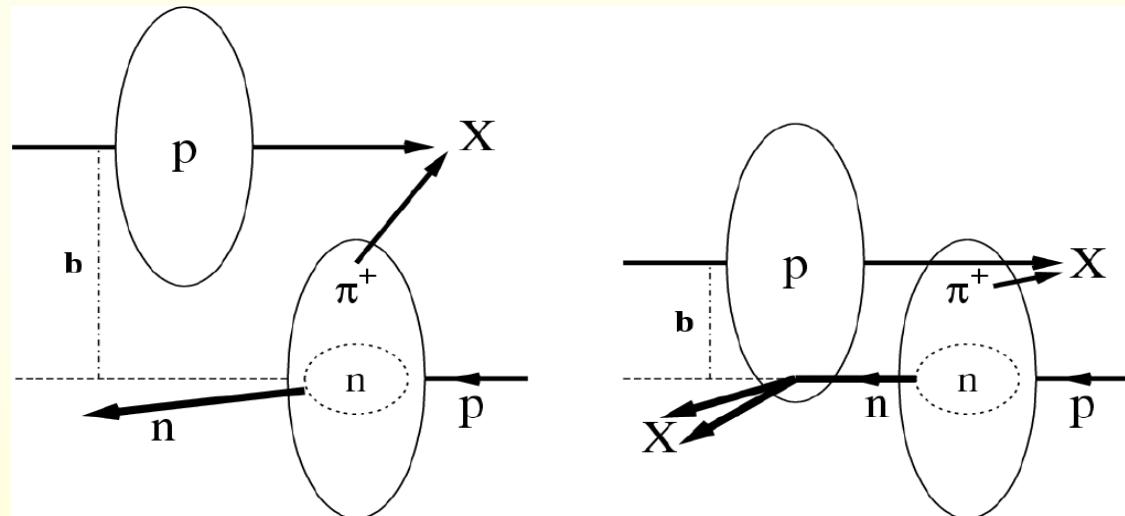
→ The Parton distributions for other processes at the same (x_{IP}, t) for experimental verification



QCD Faktorisierung in $\bar{p}p$ und γp ?

Theorie: QCD Faktorisierung nicht bewiesen

z.B.: Wechselwirkungen der Hadron-Remnants



Phänomenologische Ansätze zur „Gap-Survival-Probability“

Experimentelle und theoretische Herausforderung !

Diffraktive Strukturfunktion bei HERA

Messung von F_2^D wie F_2 :

$$F_2^D(4) \left[x_{IP}, t, \hat{a}, Q^2 \right] \propto \delta_{\gamma^* p \rightarrow Xp} \left[x_{IP}, t, \hat{a}, Q^2 \right]$$

keine t Messung $\rightarrow \int dt$:

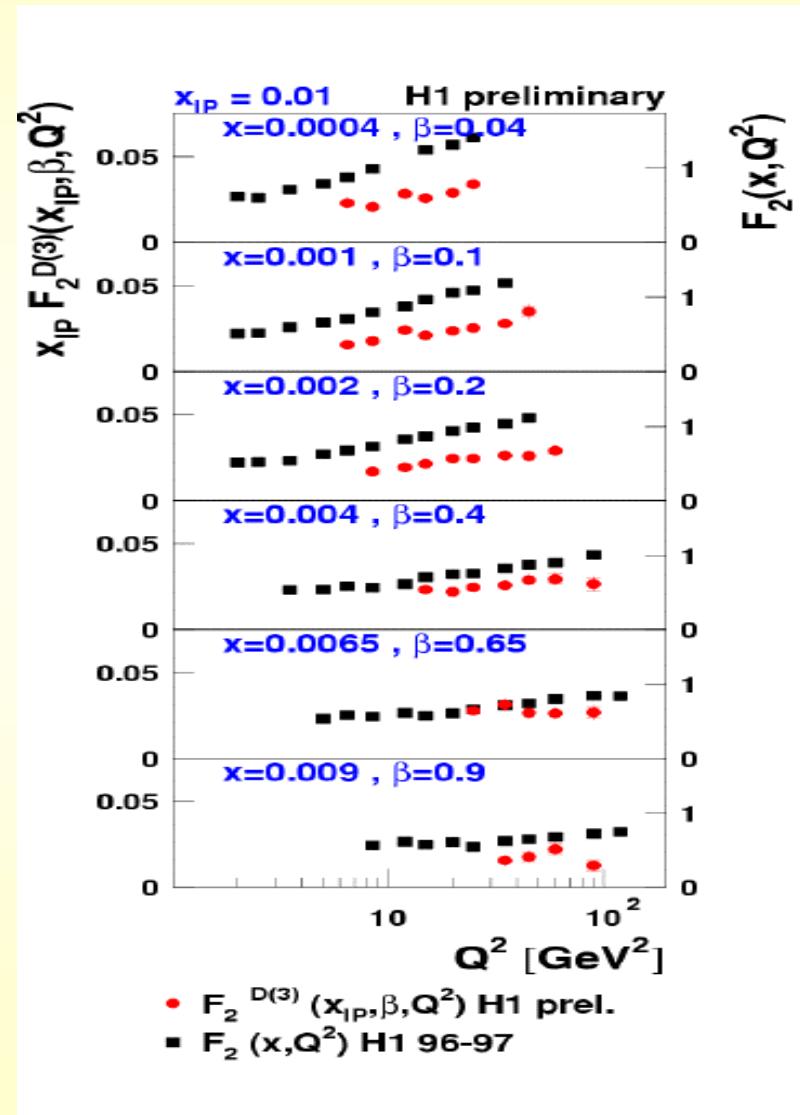
$$F_2^D(3) \left[x_{IP}, \hat{a}, Q^2 \right] \propto \int dt \delta_{\gamma^* p \rightarrow Xp} \left[x_{IP}, \hat{a}, Q^2 \right]$$

Regge: $1/x_{IP}$ – Verhalten

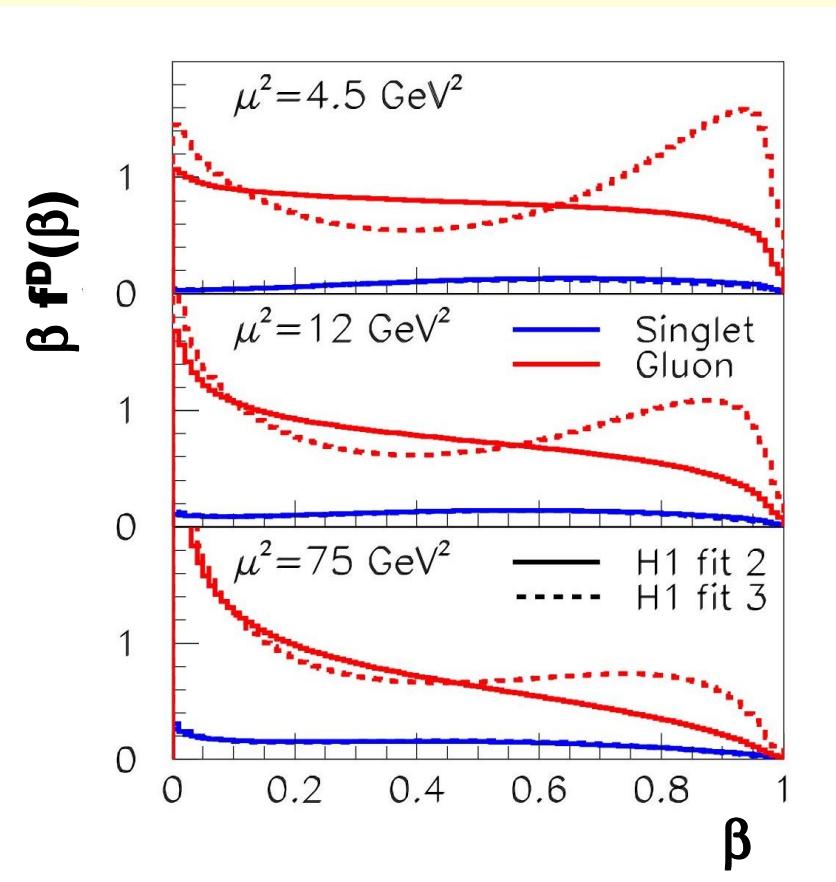
messe $x_{IP} F_2^D(3)$

$$F_2^D \sim q^D(x) + \bar{q}^D(x)$$

$$\partial F_2^D / \partial \ln Q^2 \sim g^D(x)$$



Diffraktive Partondichten



**Anwendung der DGLAP
Gleichungen in einer QCD-
Anpassung an F_2^D Daten**

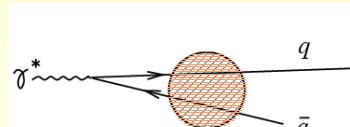
**Qualität der Anpassung
vergleichbar mit F_2**

**zwei Lösungen →
Unsicherheit bei hohen β**

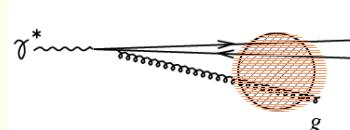
- **Gluon dominiert**

Farbdipol - Modelle

Proton-Ruhesystem

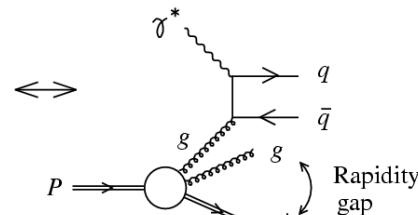
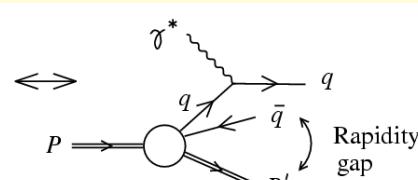


a)



b)

Laborsystem



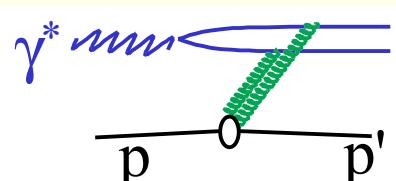
Golec-Biernat /

Wrist off.

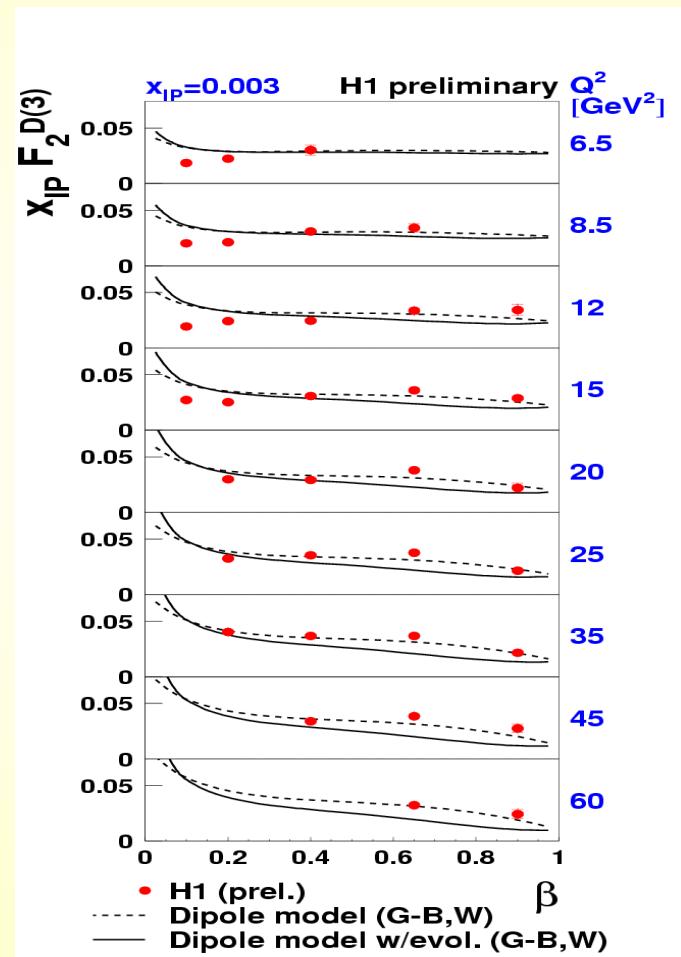
Anpassungen

an F_2 un

Vorhersage F_2^D !



G-BW

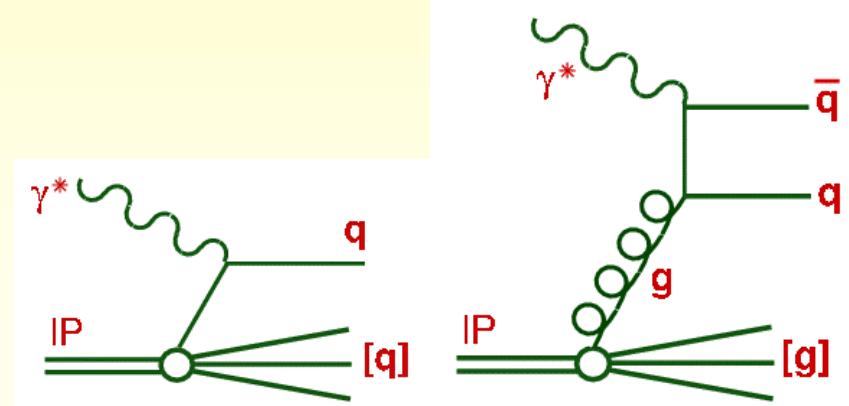


$F_2 \leftrightarrow F_2^D$ und $g(x)$ bei kleinen x

Hadronische Endzustände

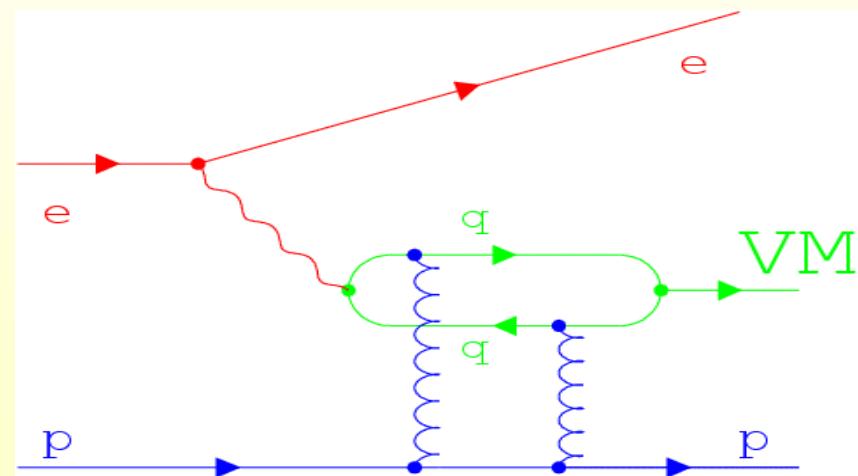
Motivation:

- **Test QCD-Faktorisierung**
- **Unterscheidung zwischen q/g dominierten IP**
- **qq / qqq Beiträge im Zwei-Gluon-Austausch**

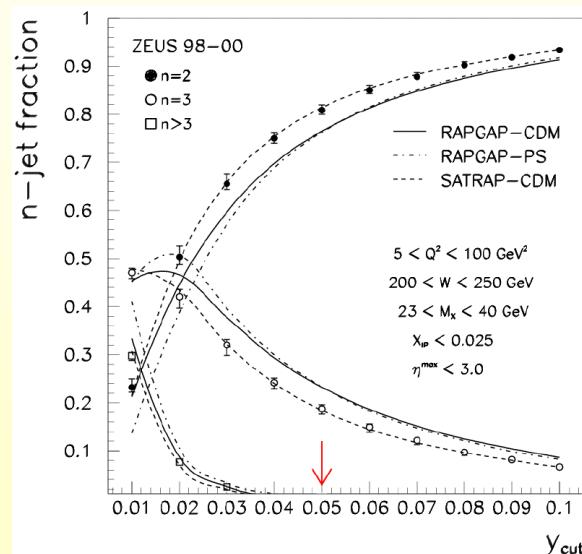
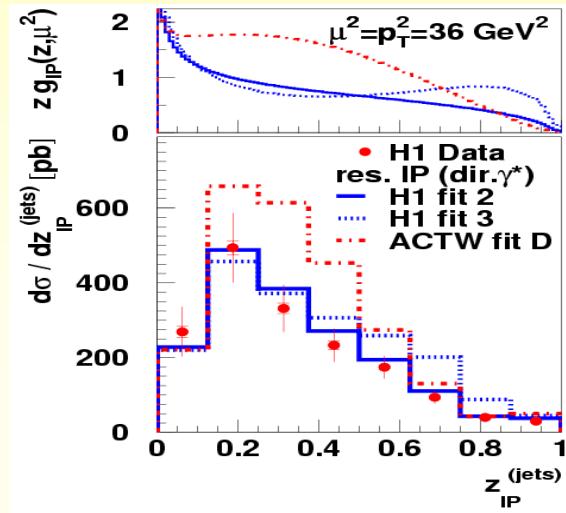


Meßgrößen:

- **Energiefluß**
- **Ereignistopologie**
- **Charm Produktion**
- **Jet-Erzeugung**
- **Vektormeson-Produktion**



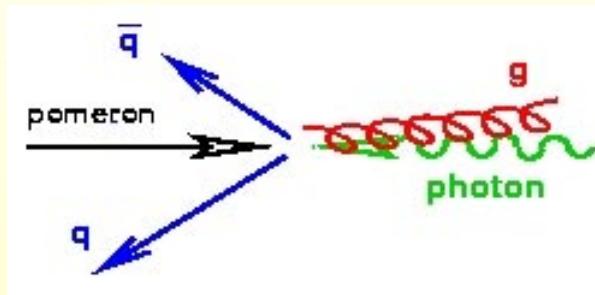
Diffraktive Jet-Ereignisse in DIS



Zwei-Jet-Ereignisse:

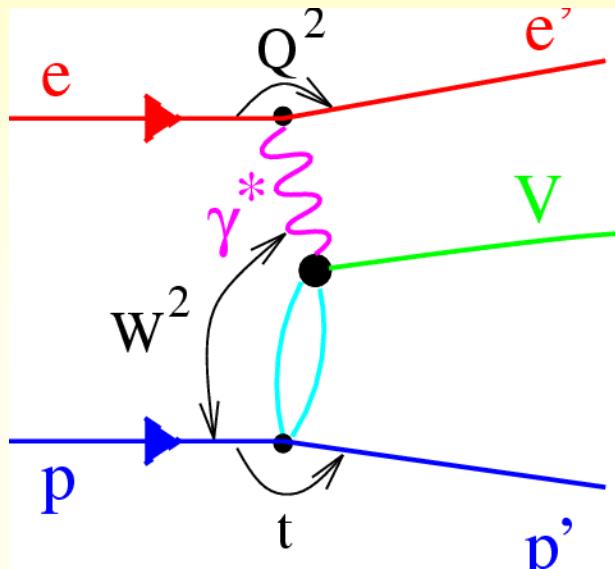
**QCD – Faktorisierung
erhalten !**

Drei-Jet-Ereignisse:



$$\bar{q}qg > \bar{q}q$$

Vektormeson-Produktion bei HERA



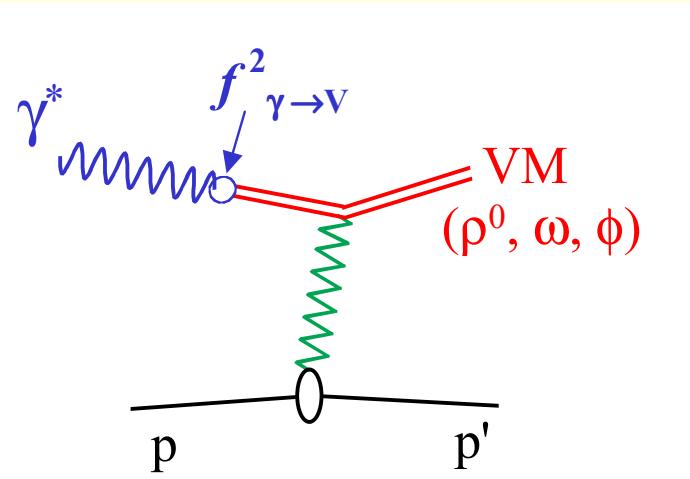
Q^2 $0 < Q^2 < 100 \text{ GeV}^2$
 $W_{\gamma p}$ $20 < W_{\gamma p} < 290 \text{ GeV}$
 t $0 < |t| < 20 \text{ GeV}^2$
VM $\rho^0, \omega, \phi, J/\psi, \psi', \Upsilon$

- **Wenige Teilchen im Endzustand: klare experimentelle Signatur**
- **Überprüfung von Modellen, hier VDM+Regge und pQCD-Modell**
- **Analyse des Überganges: weiche \rightarrow harte Prozesse**

mit unterschiedlichen Skalen

Modelle zur Vektormeson-Produktion

VDM + Regge



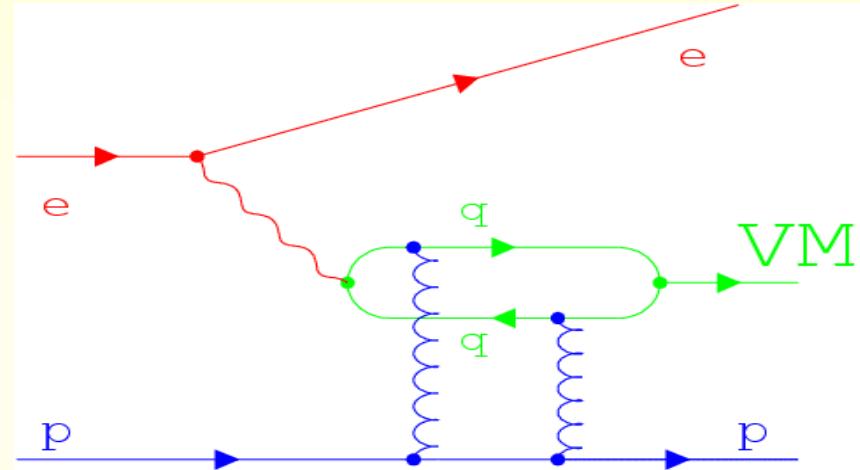
$$\sigma_{\gamma p \rightarrow Vp} = f^2_{\gamma \rightarrow V} \otimes \sigma_{Vp \rightarrow Vp}$$

Wirkungsquerschnitte:

$$d\sigma_{Vp \rightarrow Vp} / dt = e^{-b_0 t} \cdot W^{4(\alpha_{IP}(t) - 1)}$$

$$\sigma_{Vp \rightarrow Vp} \sim W^{4(\alpha_{IP}(0) - 1)} \sim W^{0.22}$$

pQCD Modelle



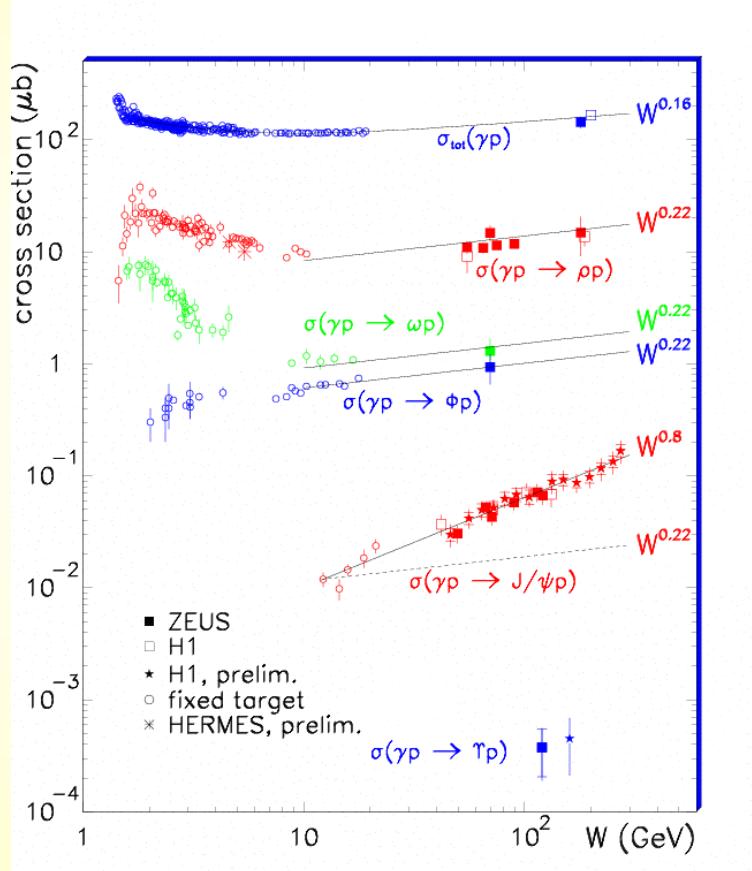
QCD-Rechnungen:

$$\sigma_{\gamma^* p \rightarrow Vp} \sim [x g(x, Q^2)]^2 \approx [x^{-0.2}]^2$$

$$\sim W^{0.8} \quad (x \sim 1/W^2)$$

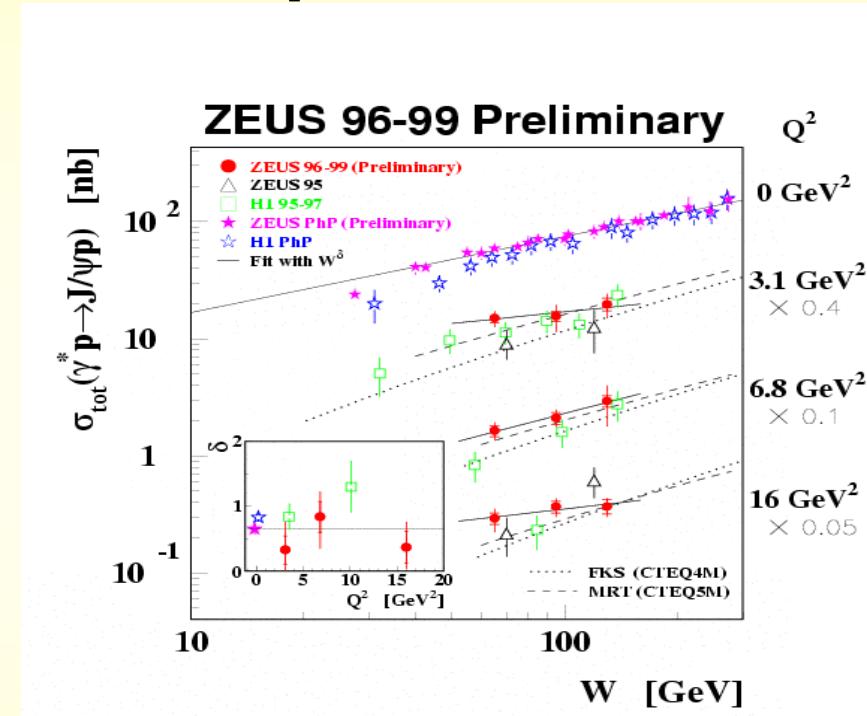
Wirkungsquerschnitte

Photoproduktion:



Masse ρ^0, ω, ϕ klein \rightarrow Regge
 Masse J/Ψ groß \rightarrow pQCD

J/Ψ und pQCD:



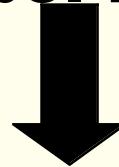
$\sigma_{\text{pQCD}} \sim [xg(x, Q^2)]^2$ zeigt nur
 schwache Q^2 Abhangigkeit

$$Q^2_{\text{eff}} = Q^2_{\text{eff}}(Q^2, M, |t|)$$

Zusammenfassung HERA

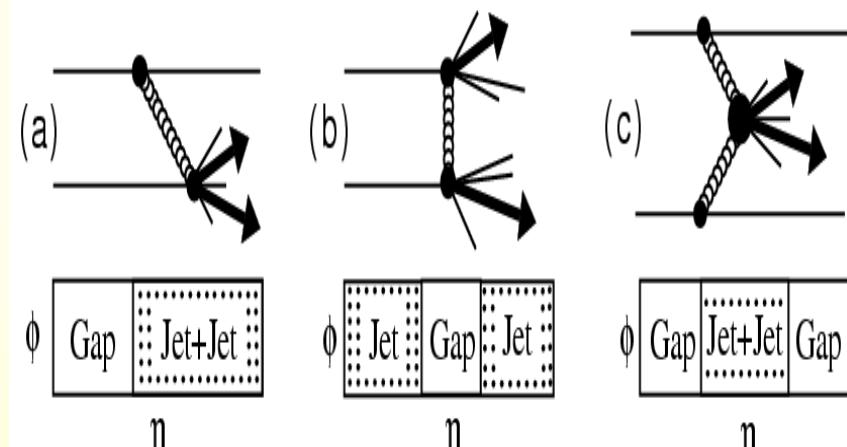
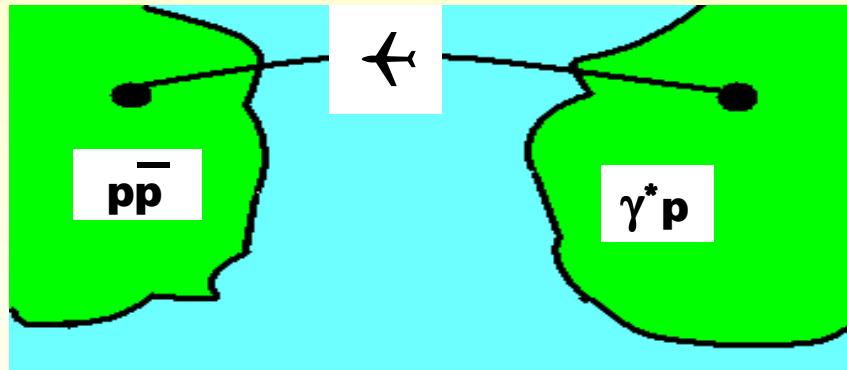
**Konzepte für diffraktive DIS:
QCD-Faktorisierung & Partondichten**

Farbdipol-Modelle

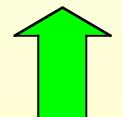


**Konsistente Beschreibung im Rahmen der QCD
für inklusive Messungen (F_2^D) und
exklusive Messungen (Jets, Vektormesonen)
innerhalb der bisherigen Meßgenauigkeit**

Quer über den Atlantik



Einf. Diffr. Diss.



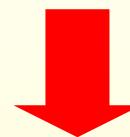
DPE

Tevatron-Experimente

D0 und CDF

Einfache diffraktive
Dissoziation:

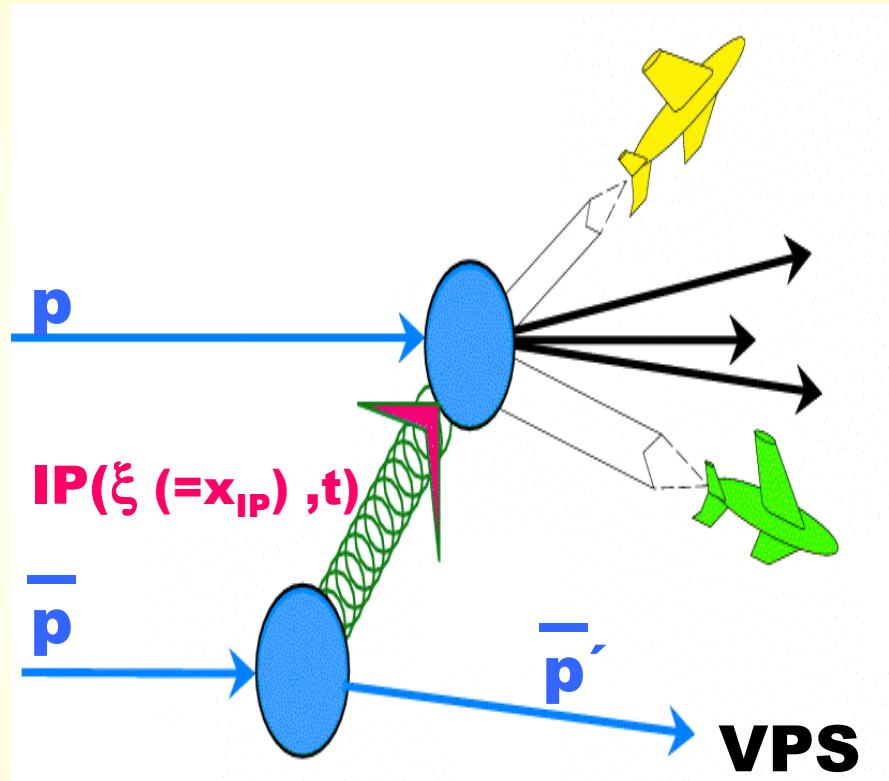
W- / Z-Bosonen, Beauty,
J/ Ψ , Jets



Tevatron: 1% Diffraction

HERA: 10% Diffraction

Strukturfunktion zur diffraktiven Zwei-Jet-Erzeugung



Messe:

$$x = 1/\sqrt{s} \cdot \sum_{i=1,2(3)} E_{T,i} e^{-\eta_i}$$

3. Jet nur, wenn $E_T > 5 \text{ GeV}$

ξ ($=x_{IP}$) mit VPS: $\beta = x/\xi$

Effektive Strukturfunktion für Zwei-Jet-Erzeugung:

$$F_{jj}(x) = x[g(x) + 4/9 \sum (q(x) + \bar{q}(x))]$$

Tevatron: Kombination g, q

HERA: q direkt, g indirekt

Faktorisierungstests

Tevatron \leftrightarrow HERA

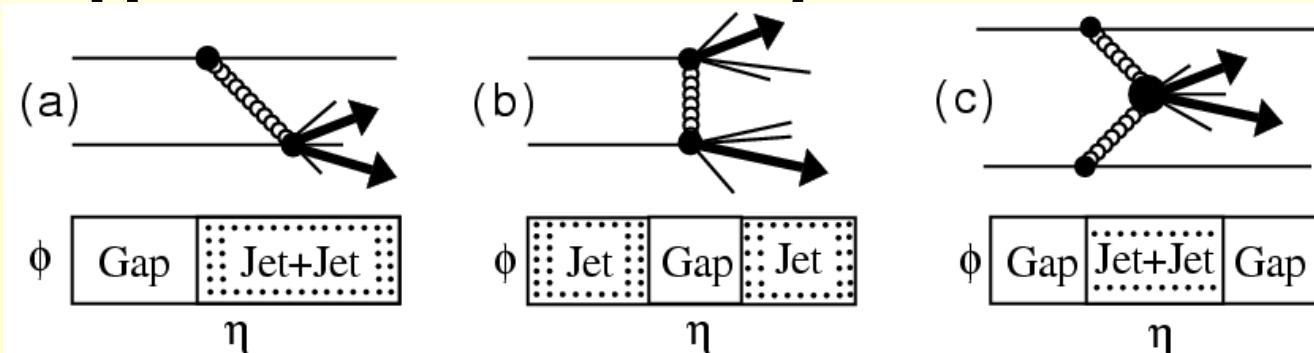
—
 $\bar{p}p$ @ $\sqrt{s}=1800\text{GeV} \leftrightarrow ep$ @ $\sqrt{s}=300\text{GeV}$

Tevatron: einf. Diffraction, \sqrt{s} -Variation

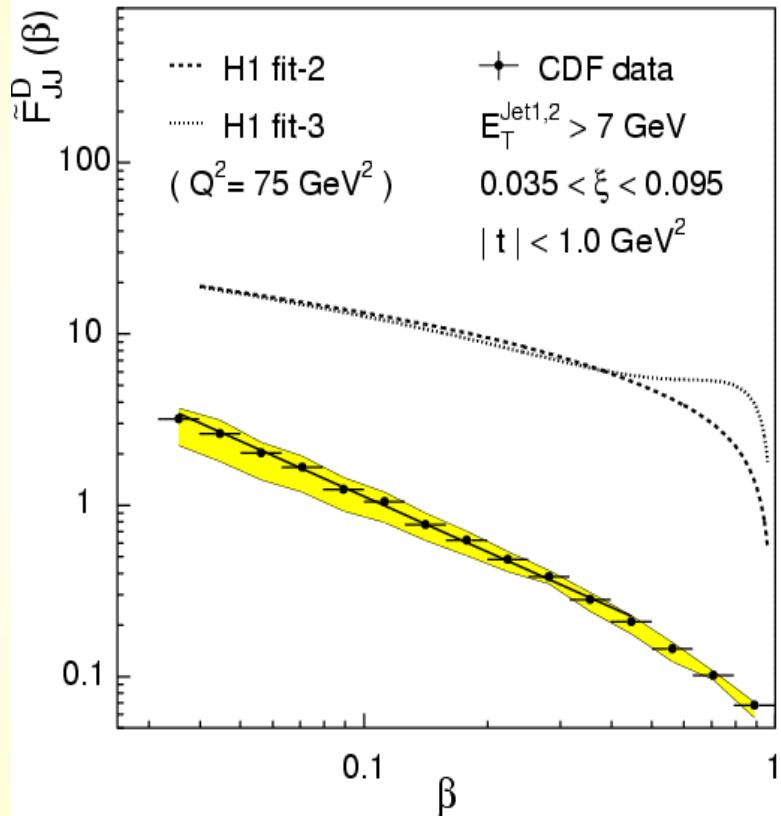
—
 $p\bar{p}$ @ $\sqrt{s}=1800\text{GeV} \leftrightarrow p\bar{p}$ @ $\sqrt{s}=630\text{GeV}$

Tevatron: einf. Diffraction \leftrightarrow DPE

$p\bar{p}$ @ $\sqrt{s}=1800\text{GeV} \leftrightarrow \bar{p}p$ @ $\sqrt{s}=450\text{GeV}$



Strukturfunktion zur diffraktiven Zwei-Jet-Erzeugung



$$F_{jj}^D(\beta, \xi) \sim 1/\beta^n$$

mit $n = 1.0 \pm 0.1$

Vergleich mit HERA:

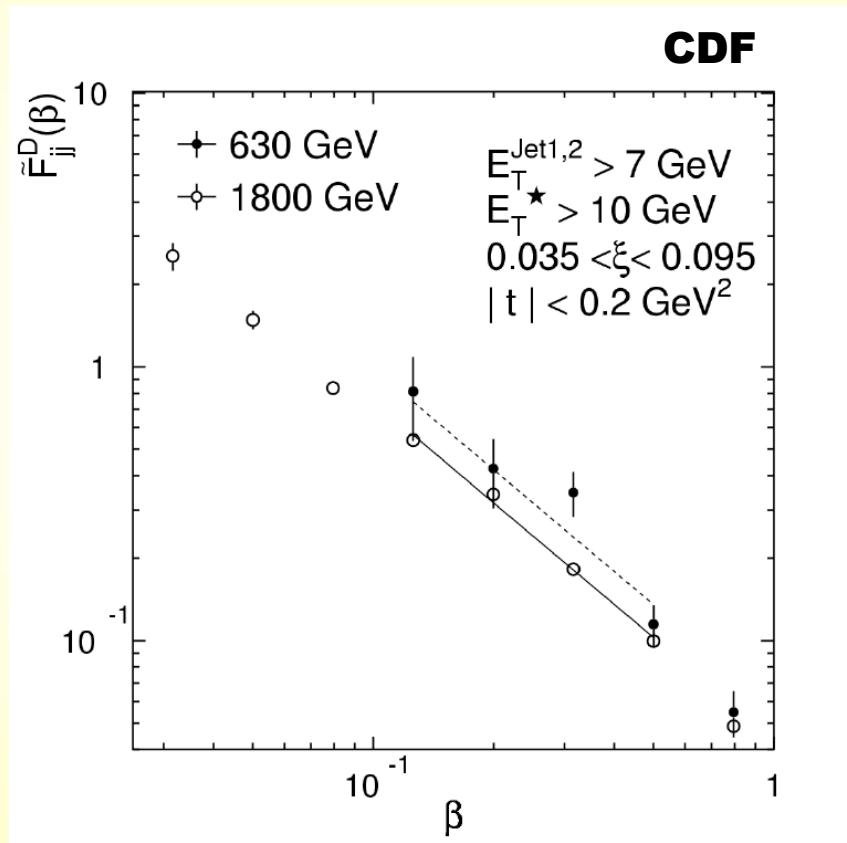
Normierung zu hoch

Form ?

Faktorisierungsbruchung !

Zwei-Jet-Struktur bei $\sqrt{s}=630\text{GeV}$

Tevatron: $\bar{p}p @ \sqrt{s}=1800\text{GeV} \leftrightarrow \bar{p}p @ \sqrt{s}=630\text{GeV}$



$$F_{jj}^D(\beta, \xi) \sim 1/\beta^n$$

unabhängig von \sqrt{s}

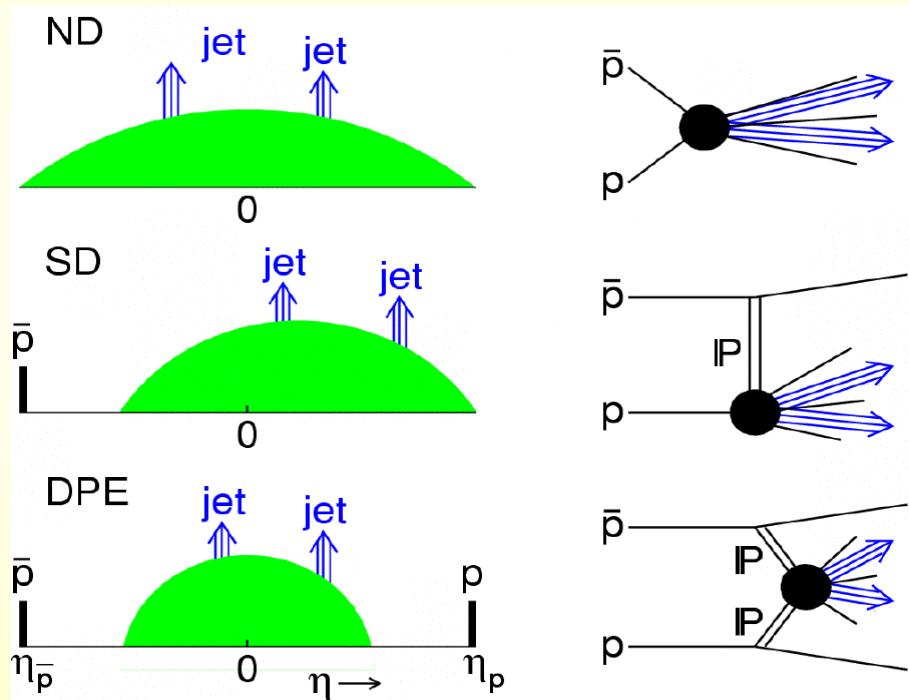
$$\frac{R_{\text{Diff.}}(630)}{\text{inkl.}} / \frac{R_{\text{Diff.}}(1800)}{\text{inkl.}} = 1.3 \pm 0.2(\text{stat})^{+0.4}_{-0.3}(\text{syst})$$

Faktorisierung ?

Faktorisierungstests mit Doppeltem Pomeron Austausch

Tevatron: einf. Diffraktion \leftrightarrow DPE

$\bar{p}p @ \sqrt{s}=1800\text{GeV} \leftrightarrow \bar{p}p @ \sqrt{s}=450\text{GeV}$

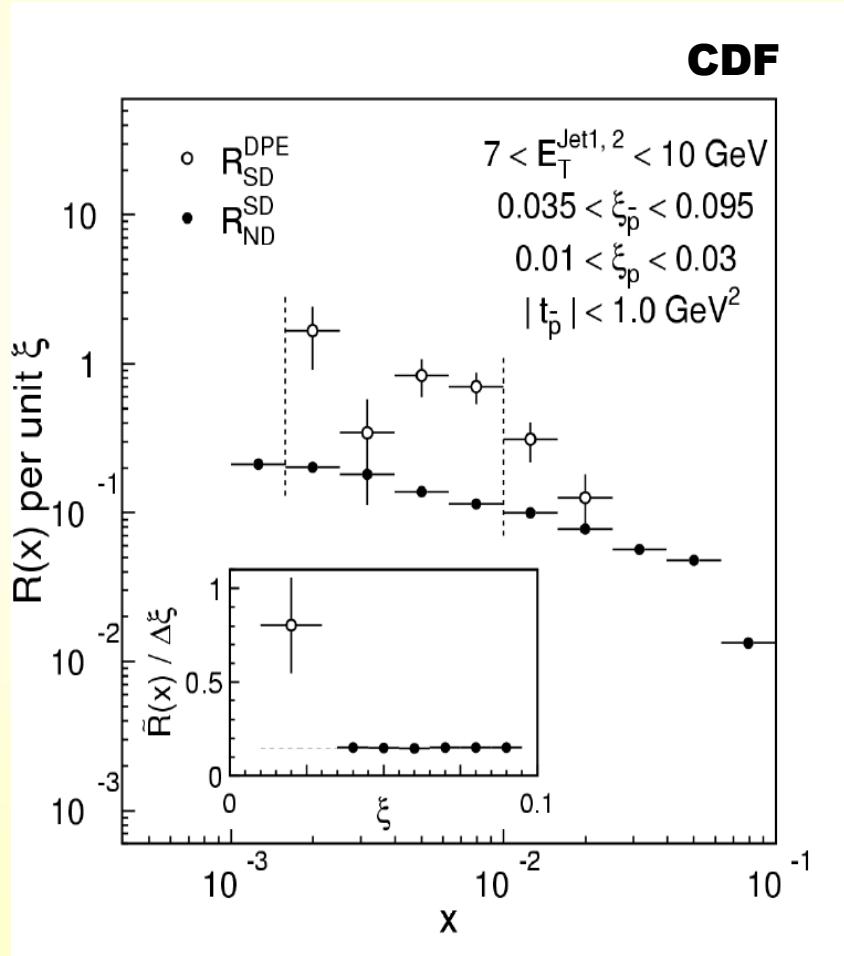


Änderung von \sqrt{s} durch Vorselektion

\sqrt{s} Variation ähnlich zu:
Tevatron \leftrightarrow HERA ($\sqrt{s}=300\text{GeV}$)

Faktorisierungstests mit Doppeltem Pomeron Austausch

Messe: $R_{ND}^{SD} \propto \frac{F_{jj}^D(p)}{F_{jj}}$ und $R_{SD}^{DPE} \propto \frac{F_{jj}^D(p)}{F_{jj}}$ **Faktorisierung:** $R_{SD}^{DPE} = R_{ND}^{SD}$



Form:

**innerhalb der Meßfehler
gleich**

Normierung:

≈ Faktor 5 zu hoch

**Faktorisierungsbrechung in
gleicher Größenordnung
wie im Vergleich zu HERA**

Zusammenfassung Tevatron

Theorie:

QCD-Faktorisierung nicht erwartet

Experiment:

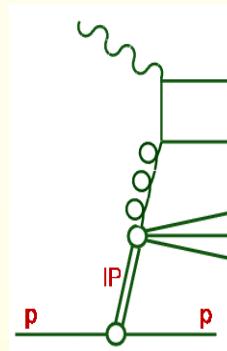
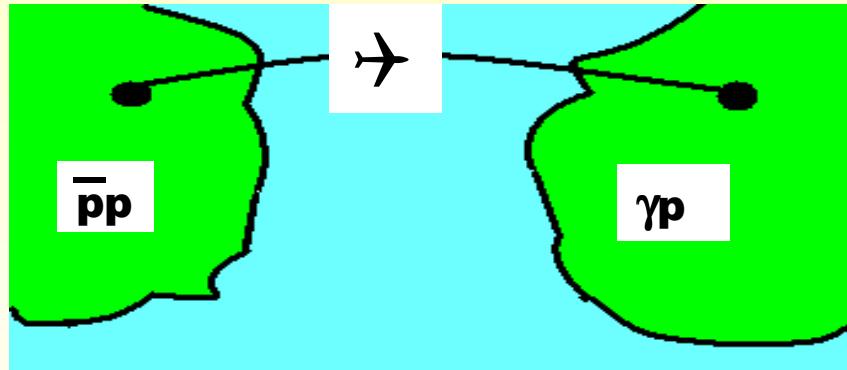
Diffraction am Tevatron $\sim 1\%$, bei HERA $\sim 10\%$

F_{jj}^D gemessen und mit HERA verglichen

F_{jj}^D bei verschiedenen \sqrt{s} gemessen

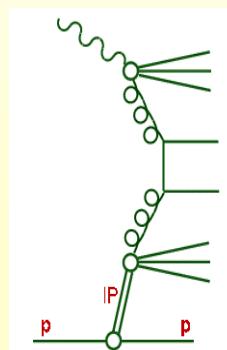
→ Faktorisierungsbrechung

Faktorisierung bei HERA: Zwei-Jets in Photoproduktion



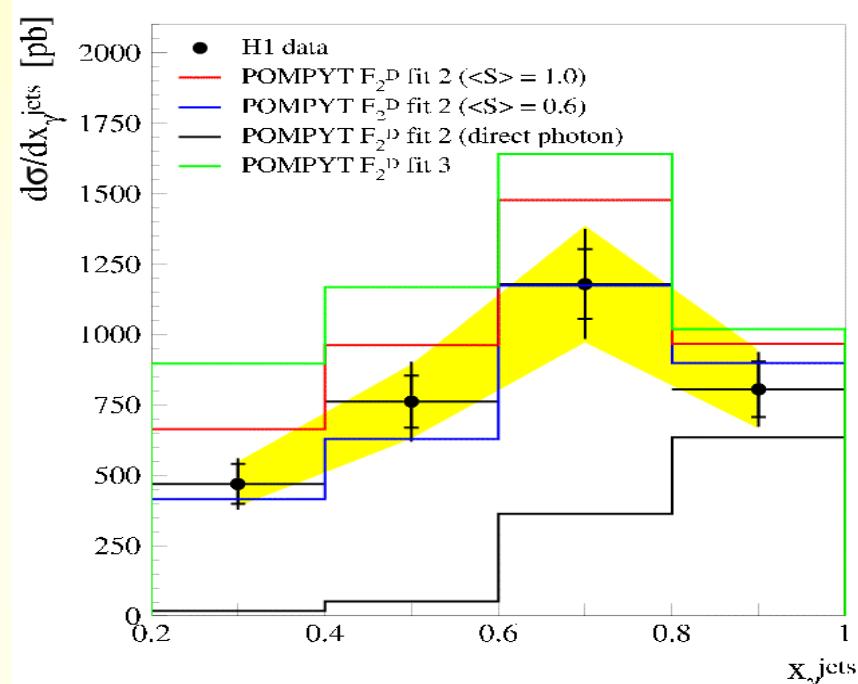
Punktförmiges γ
(wie DIS)

$$x_{\gamma}^{\text{jets}} \approx 1$$



Hadronisches γ

$$x_{\gamma}^{\text{jets}} < 1$$



**Reproduktion der Daten mit
„Gap-Survival-Probability“ = 0.6**

Faktorisierungsbrechung !

Zusammenfassung

Theorie:

QCD-Faktorisierung in DDIS genauso wie in anderen harten QCD-Prozessen

Mit Farbdipol-Modellen erstmalig Vorhersage von Diffraktion aus inklusiver DIS

Experiment:

Inklusive Daten präzise → diffraktive Partondichten bestimmt

Faktorisierung durch Anwendung auf exklusive Daten getestet



$\gamma^* p$: Faktorisierung bestätigt

γp und $\bar{p}p$: Faktorisierung gebrochen

innerhalb der Meßunsicherheit und in führender Ordnung.

Die Zukunft

Alle HERA und Tevatron Experimente werden bald neue Analysen mit HERA I oder Run I Daten veröffentlichen.

Alle Experimente haben ihren Detektor durch neue Komponenten und Umbauten gut auf die neuen Daten von HERA II und im Run II am Tevatron vorbereitet.



Nahziel:

Viele verschiedene, auch seltene, Prozesse messen

Akzeptanzbereich in x_{IP} und t erweitern

**Genaue Messungen mit hoher Statistik und kleinen
systematischen Unsicherheiten**



Fernziel:

Faktorisierung genauer testen

QCD weiter in den Bereich der weichen Prozesse bringen

Die Zukunft mit HERA II Daten

Diffraction

- **mit hoher Statistik**
- **mit gemessener t - Abhangigkeit**
- **bei hohen Q^2**
- **in CC Ereignissen**
- **mit Vektormeson-Produktion von schweren Mesonen oder ganz leichten (γ und DVCS)**
- **mit e^+p , e^-p , e_Lp , e_Rp**

Parallelsitzung Diffraktion heute nachmittag:

- **Pomeron- and Odderon Induced Photoproduction of Mesons Decaying to Pure Multiphon Final States at HERA**
- **Exclusive Elektroproduktion von J/Ψ im ZEUS Experiment bei sehr kleinen Q^2**
- **Exclusive Produktion von J/Ψ in tiefinelastischer Elektron-Proton-Streuung im ZEUS Experiment**
- **Diffractive ρ^0 production at HERMES**
- **Untersuchung der tief-virtuellen-Compton-Streuung mit dem HERMES-Experiment**
- **On the structure of the virtual Compton amplitude width additional final-state meson in the extended Bjorken region**
- **Analysis of prompt photon production at H1**