

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

- **Das Phänomen Diffraktion**
- **Regge und QCD**
- **QCD Faktorisierung**
- **Diffraktion bei HERA**

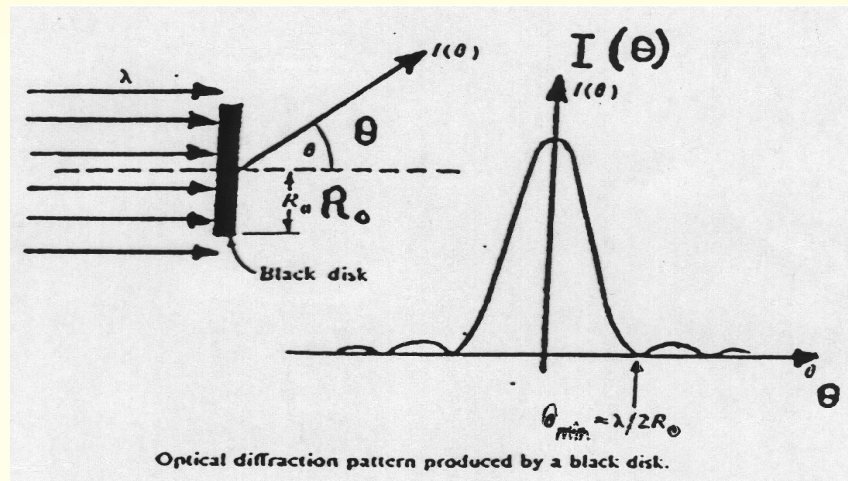
**Strukturfunktion, Zwei-Jet- und
Vektormeson-Produktion**

- **Diffraktion am Tevatron**

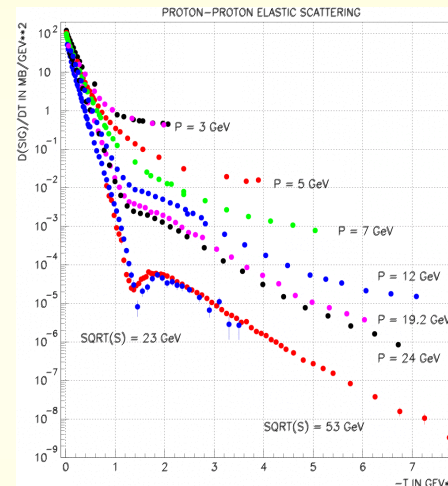
Strukturfunktion, DPE, Faktorisierung

Was ist Diffraktion ?

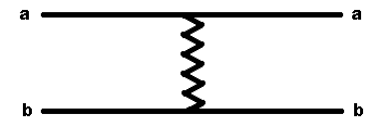
Historisch: Optik



Hadron-Streuung



elastisch:



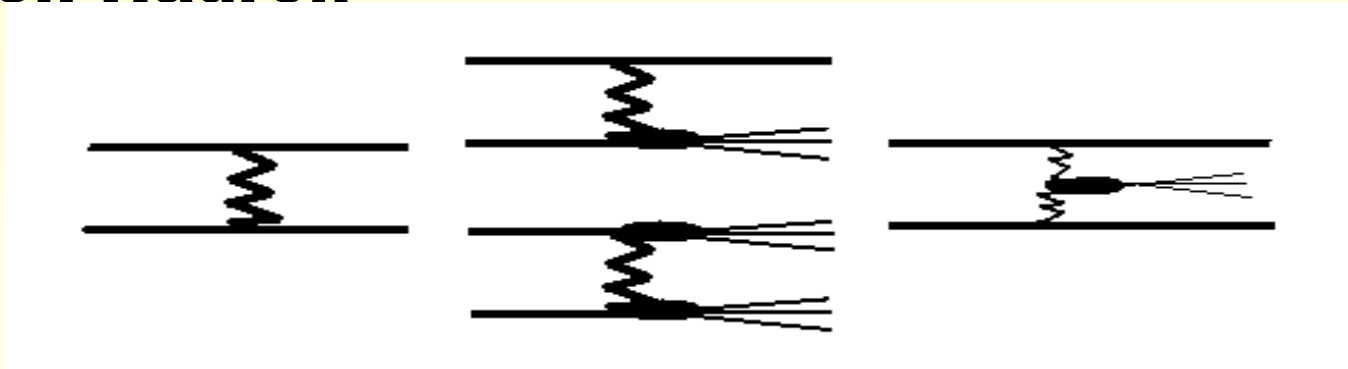
$\gamma + \text{Objekt} \rightarrow \gamma + \text{Objekt}$ $H_a + H_b \rightarrow H_a + H_b$

Heute : Wechselwirkungen durch Austausch
ohne Farbe und Quantenzahlen

→ Rapidity-Gap-Ereignisse.

Diffraktive Prozesse

Hadron-Hadron



Elastisch

Einfache diffr. Diss.

Doppelte diffr. Diss.

Doppelter IP

Austausch(DPE)

Nachweis: führendes Hadron (VPS) und/oder

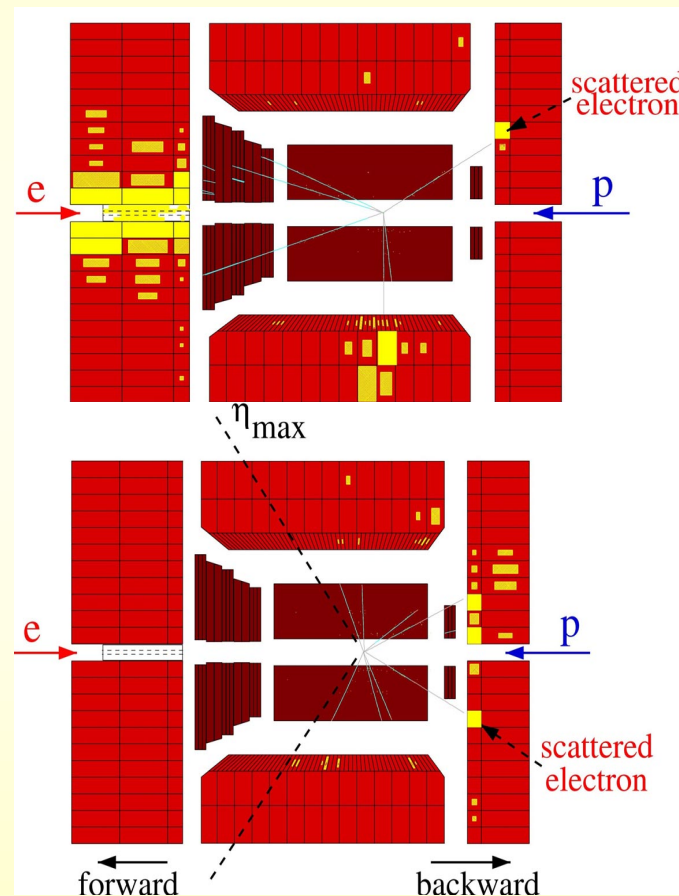
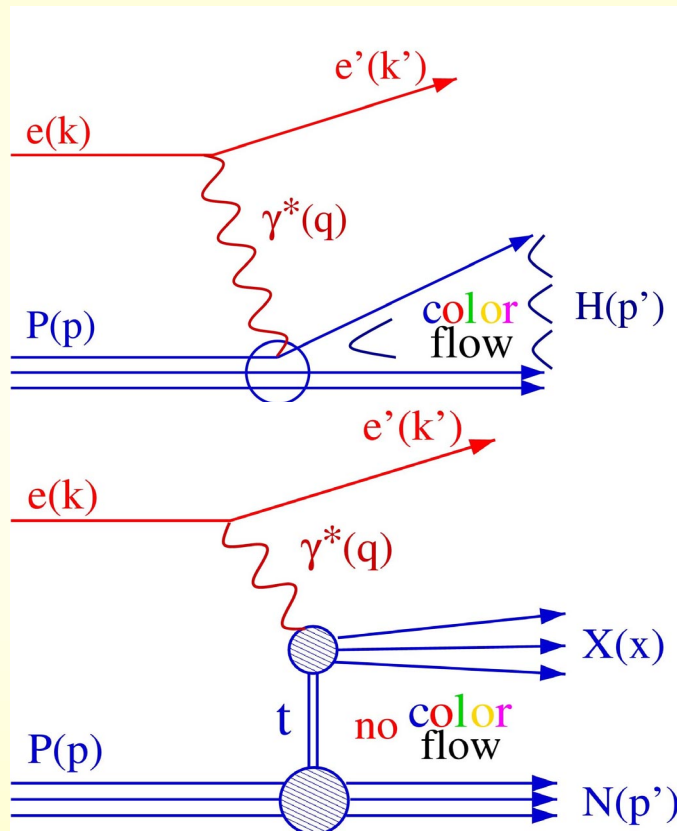
Rapidity-Gap (farbloser Austausch ohne QZ)

Überraschung:

Rapidity-Gaps auch in DIS bei HERA !

Diffraktive DIS auch bei HERA

$$y = 1/2 \log ((E+p_z)/(E-p_z)) \approx \eta = -\log \tan (\theta/2)$$

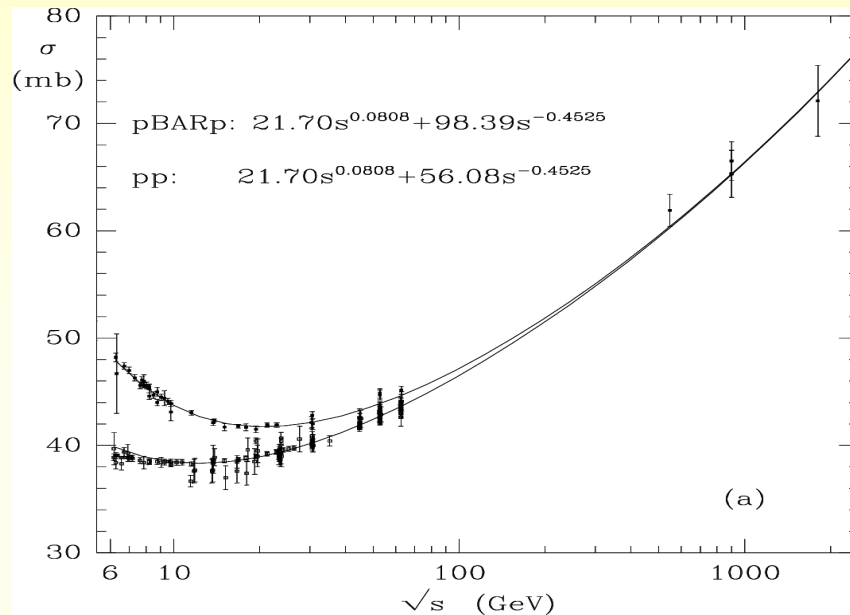


Rapidity-Gap:



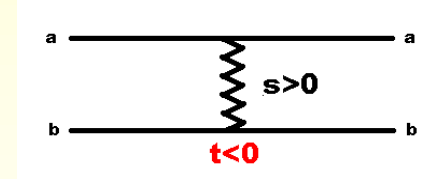
kein Teilchenfluß

Bekannt: Regge-Phänomenologie



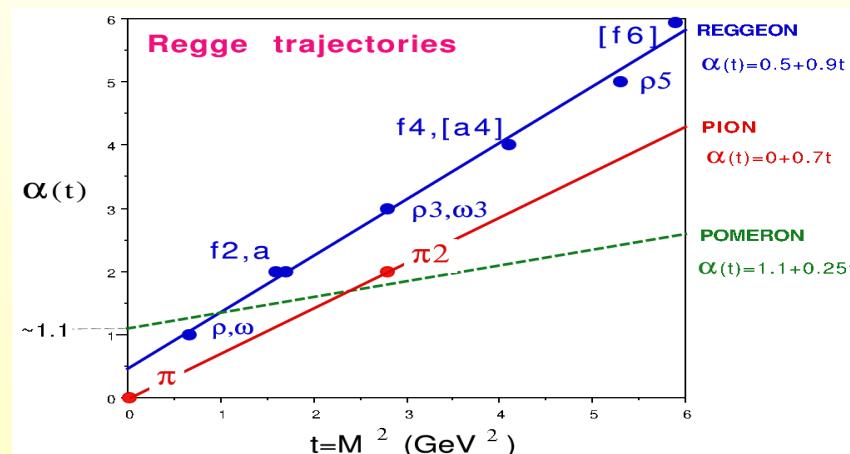
Totaler Wirkungsquerschnitt:

weiche Prozesse z.B. elastisch:



Regge-Trajektorie:

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



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



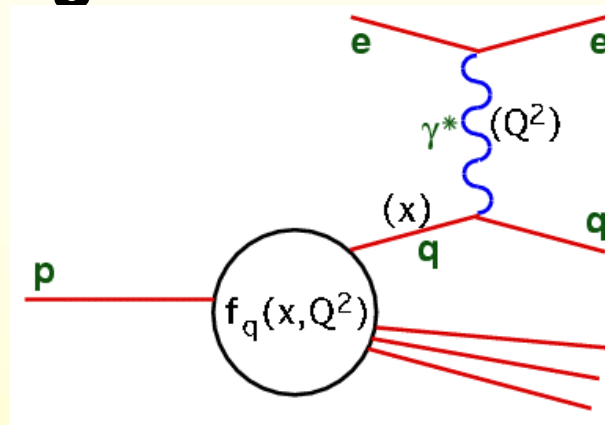
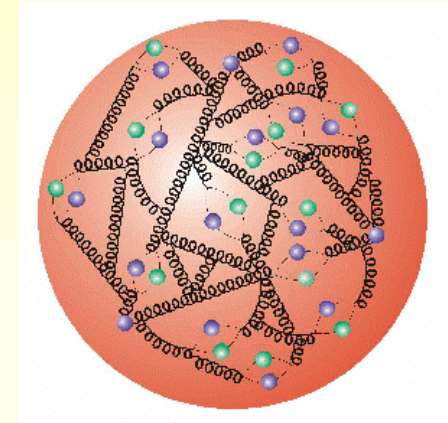
Pomeron (IP) mit $\alpha_0 > 1$

Heute: pQCD

Partonen als Grundbausteine:

Quarks & Gluonen

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



**Störungstheoretische
Berechnungen brauchen
harte Skala:**

→ harte Prozesse

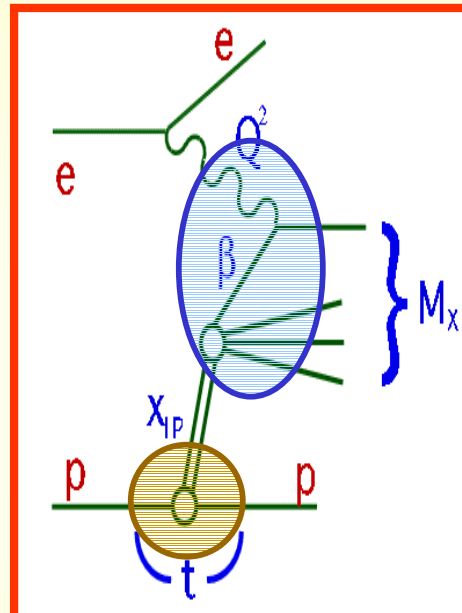
Weiche und harte Prozesse

Regge

Hadronen

weiche Prozesse

makroskopische σ



pQCD

Partonen

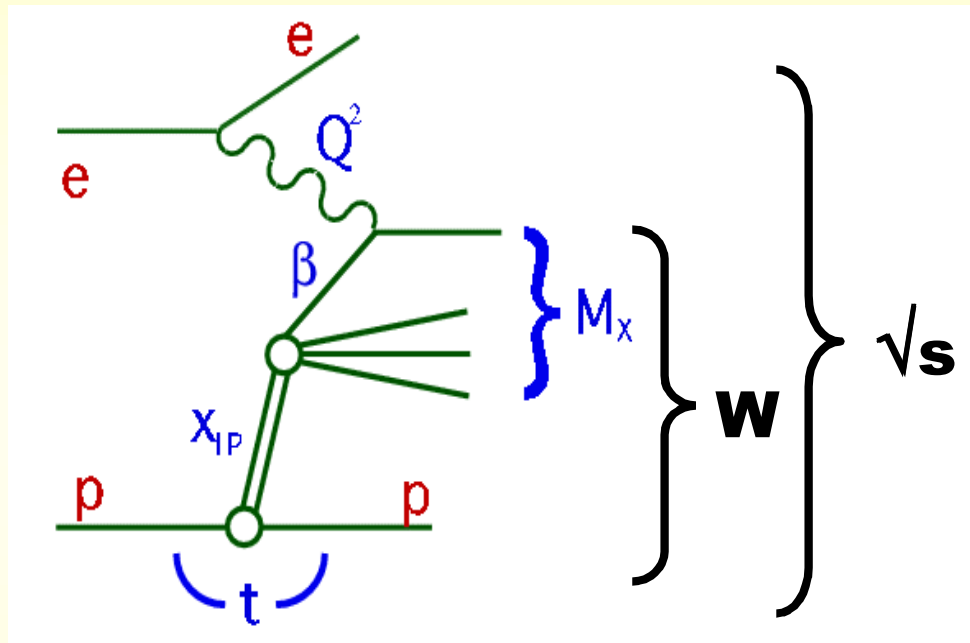
harte Prozesse

**mikroskopische σ
auf Parton-Niveau**

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

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

Kinematische Variablen



$$Q^2 = \gamma \text{ Virtualität}$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}_q / p \text{ oder } \mathbf{x}_g / p$$

$$\mathbf{x}_{IP} = \mathbf{x}_{IP} / p$$

$$\beta = \mathbf{x}_q / IP \text{ oder } \mathbf{x}_g / IP$$

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

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:

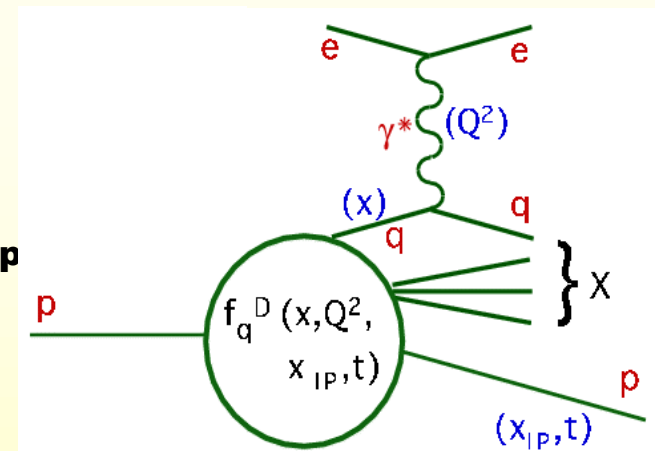
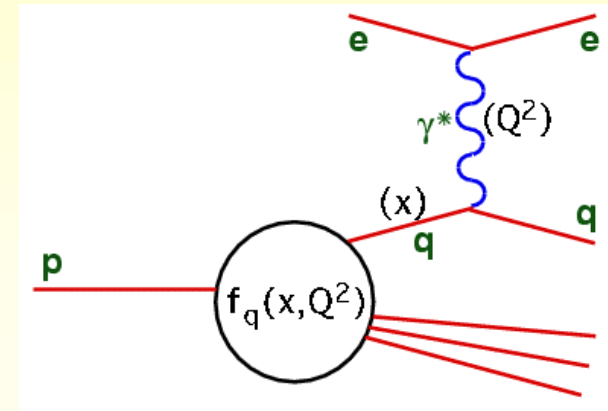
- Theorie: QCD Faktorisierung gilt
- $\sigma^{\text{DDIS}}(x_{\text{IP}}, t, \beta, Q^2) \sim F_2^{\text{D}}(x_{\text{IP}}, t, \beta, Q^2)$
 $\sim f_q^{\text{D}}(x_{\text{IP}}, t, \beta, Q^2) \times \sigma_{\text{p}}$

Partonverteilungen universell

gleiche QCD Entwicklung mit DGLAP

harte Streuung in DDIS = harte Streuung in DIS

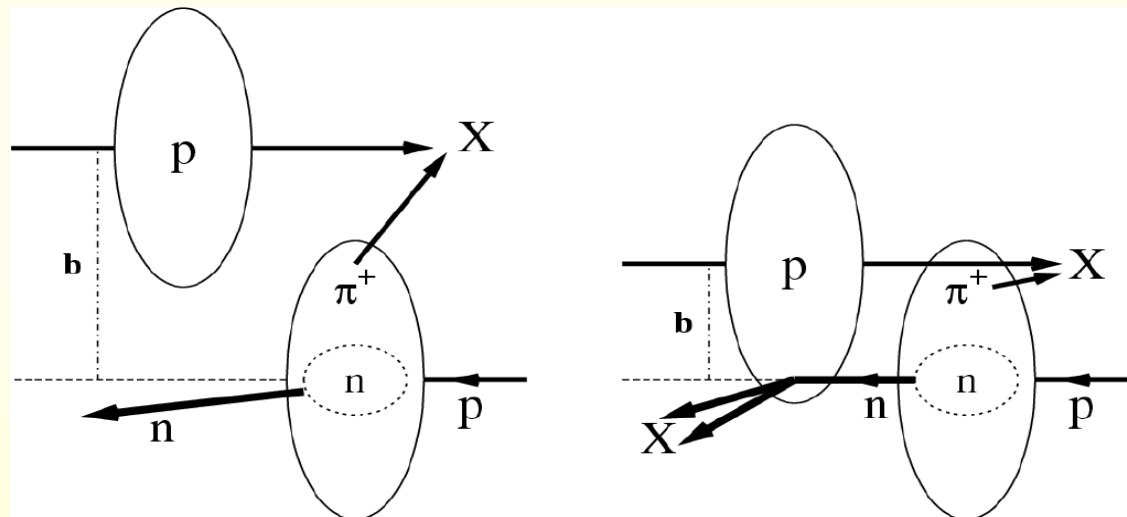
➡ Die Partonverteilungen für andere Prozesse bei gleichen (x_{IP}, t)
Experimentelle Überprüfung



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 :

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

keine t Messung $\rightarrow \int dt$:

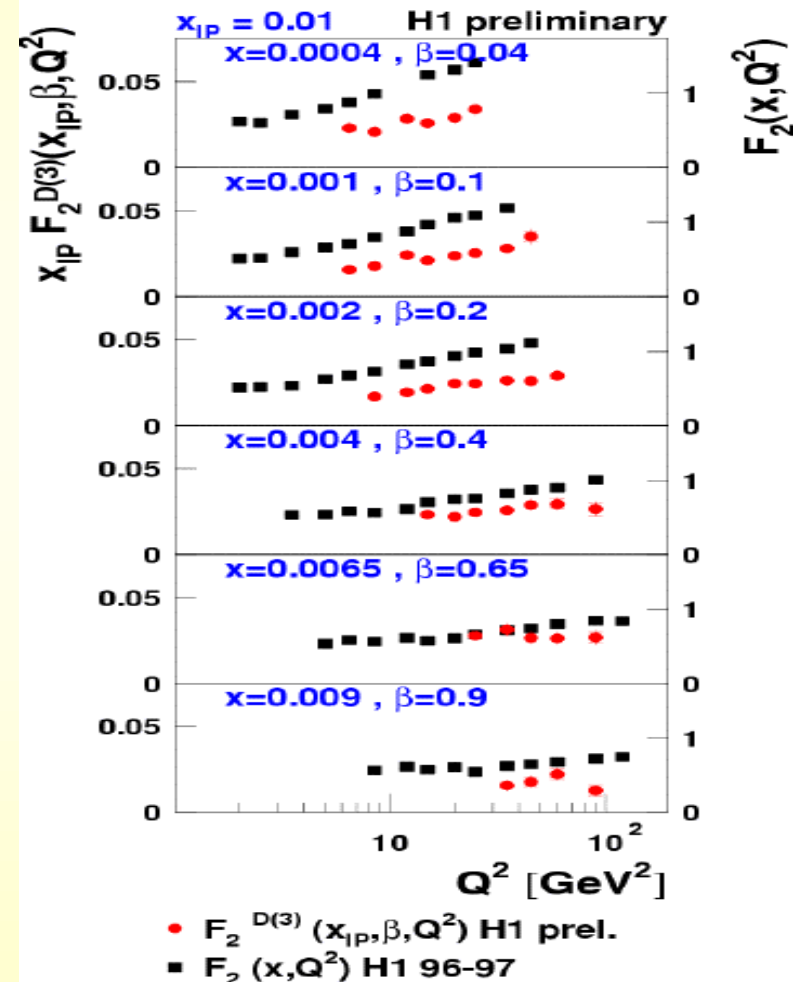
$$F_2^{D(3)}[x_{IP}, \hat{a}, Q^2] \propto \int dt \sigma_{\gamma^* p \rightarrow Xp}[x_{IP}, \hat{a}, Q^2]$$

Regge: $1/x_{IP}$ – Verhalten

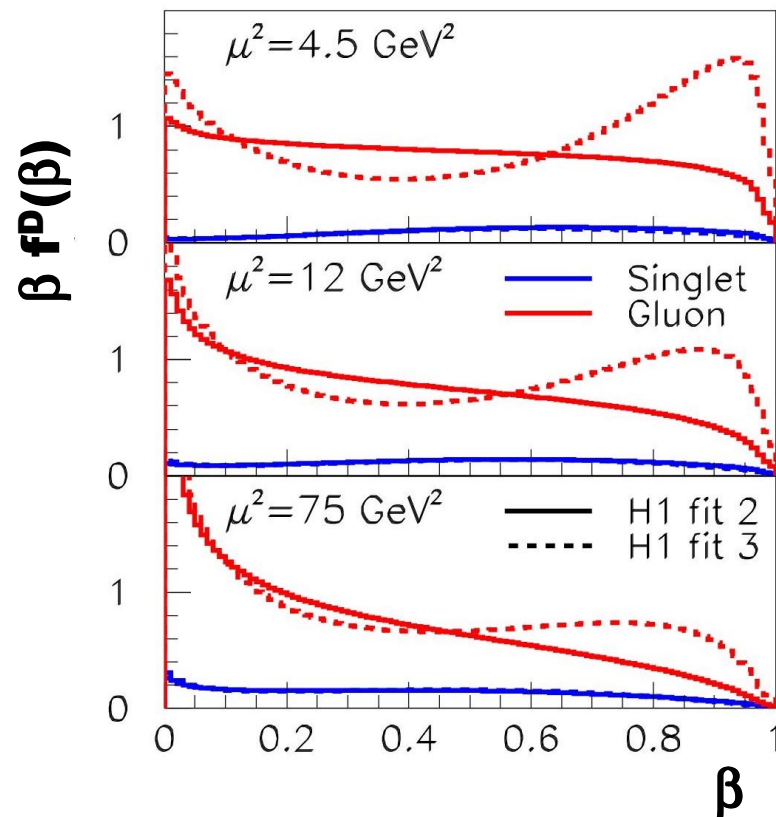
messe $x_{IP} F_2^{D(3)}$

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

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



Diffraktive Partondichten



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

**Qualität der Anpassung
vergleichbar mit F_2**

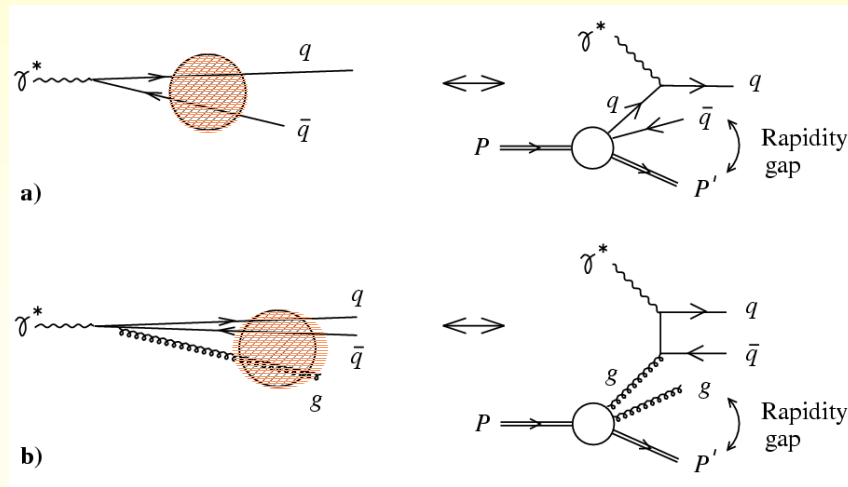
**zwei Lösungen →
Unsicherheit bei hohen β**

- **Gluon dominiert**

Farbdipol - Modelle

Proton-Ruhesystem

Laborsystem



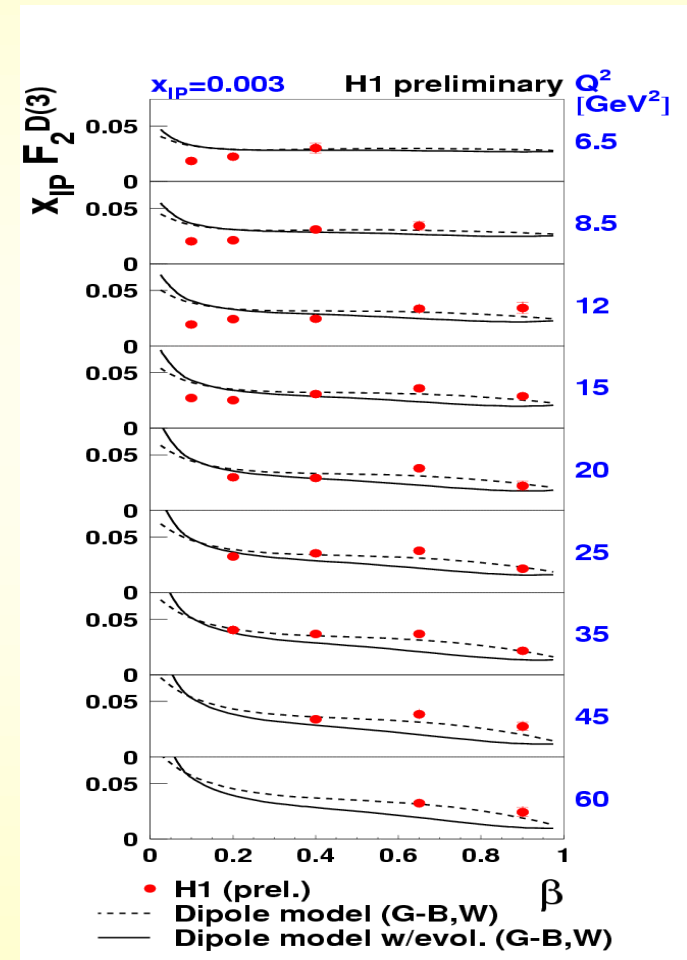
Golec-Biernat /

W. Thiele
Anpassungen
an F_2 und

Vorhersage F_2^D !

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

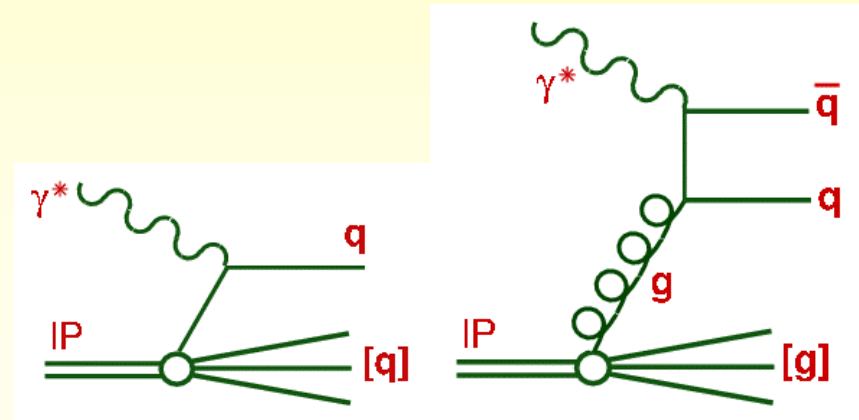
G-BW



Hadronische Endzustände

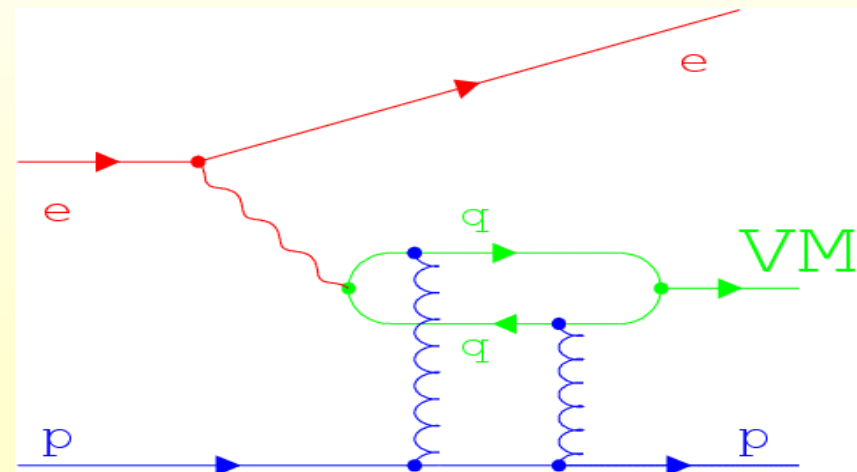
Motivation:

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

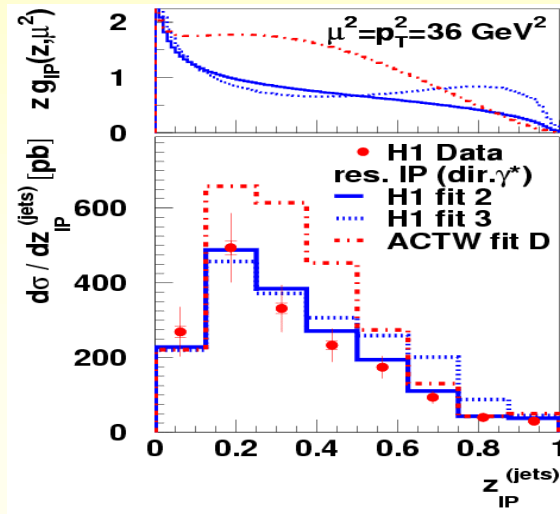


Meßgrößen:

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

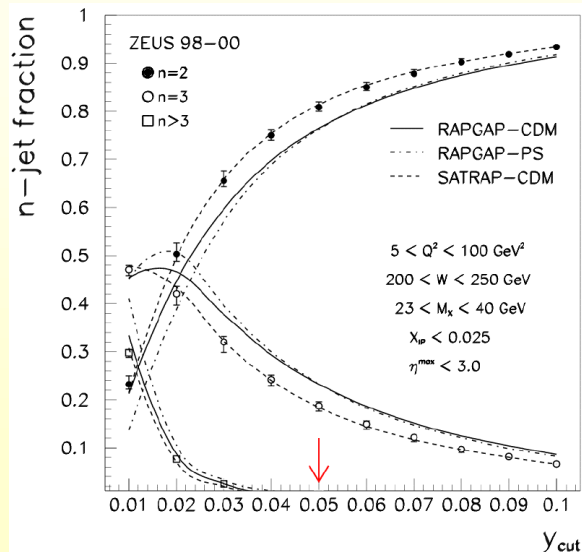


Diffraktive Jet-Ereignisse in DIS

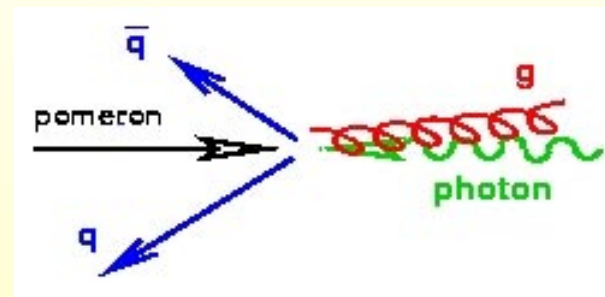


Zwei-Jet-Ereignisse:

**QCD – Faktorisierung
erhalten !**

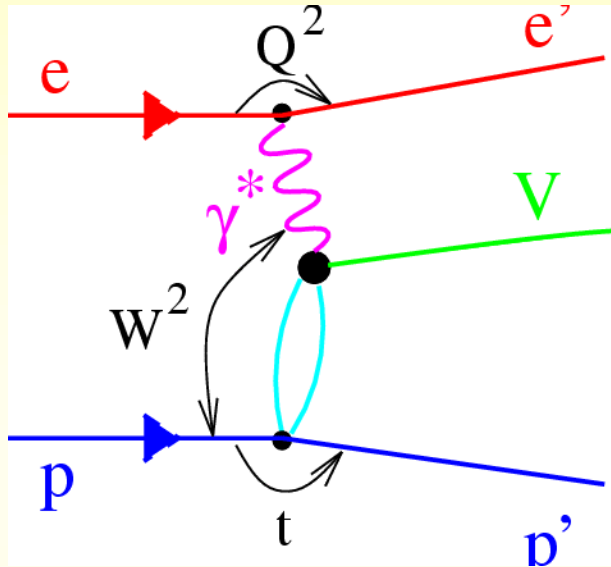


Drei-Jet-Ereignisse:



$$q\bar{q}g > q\bar{q}$$

Vektormeson-Produktion bei HERA



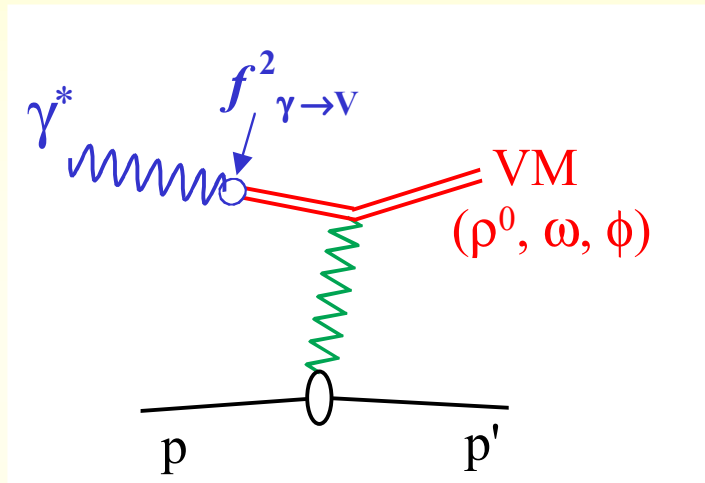
Q^2	$0 < Q^2 < 100 \text{ GeV}^2$
$W_{\gamma p}$	$20 < W_{\gamma p} < 290 \text{ GeV}$
t	$0 < t < 20 \text{ GeV}^2$
VM	$\rho^0, \omega, \phi, J/\psi, \psi', \Upsilon$

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

mit unterschiedlichen Skalen

Modelle zur Vektormeson-Produktion

VDM + Regge



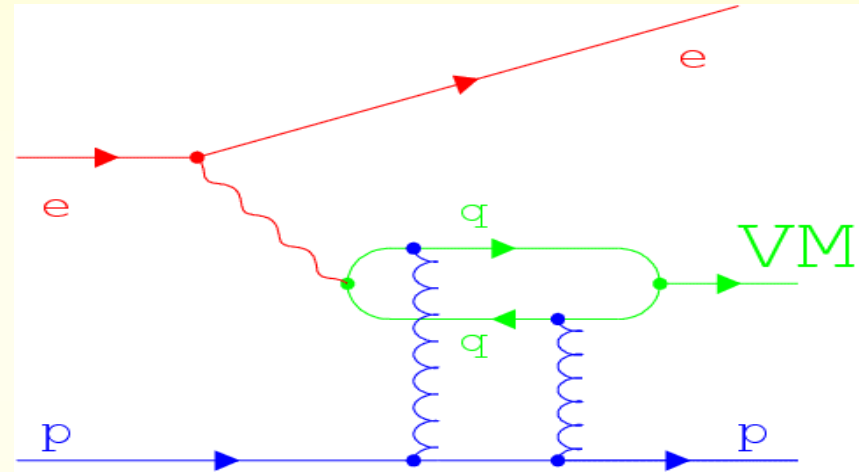
$$\sigma_{\gamma p \rightarrow Vp} = f_{\gamma \rightarrow V}^2 \otimes \sigma_{Vp \rightarrow Vp}$$

Wirkungsquerschnitte:

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

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

pQCD Modelle



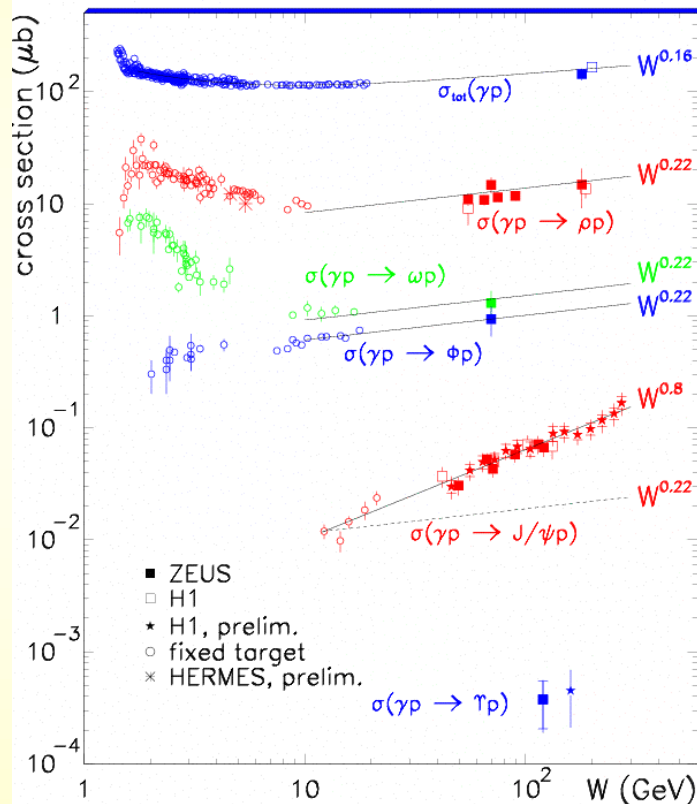
QCD-Rechnungen:

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

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

Wirkungsquerschnitte

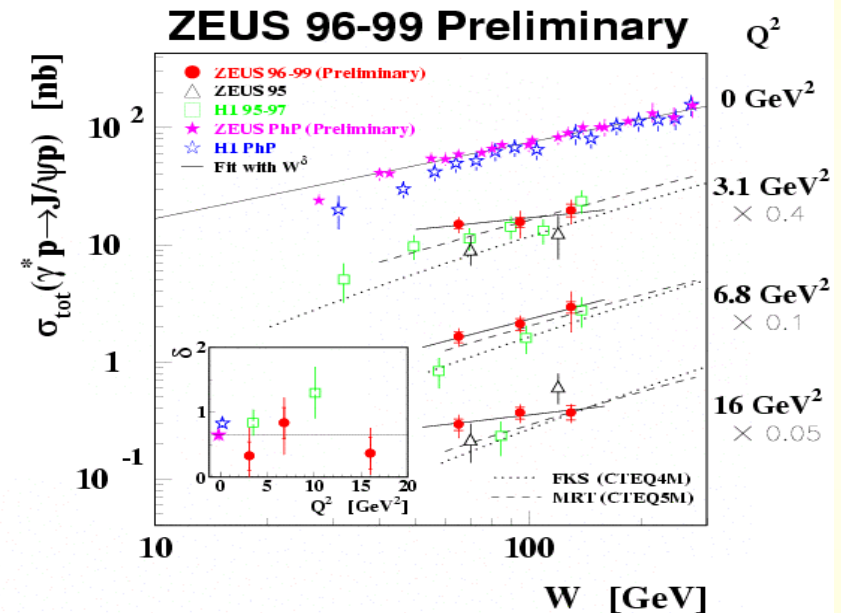
Photoproduktion:



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 Abhängigkeit

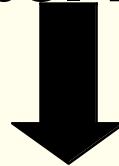
$Q^2_{\text{eff}} = Q^2_{\text{eff}}(Q^2, M, |t|)$

Zusammenfassung HERA

Konzepte für diffraktive DIS:

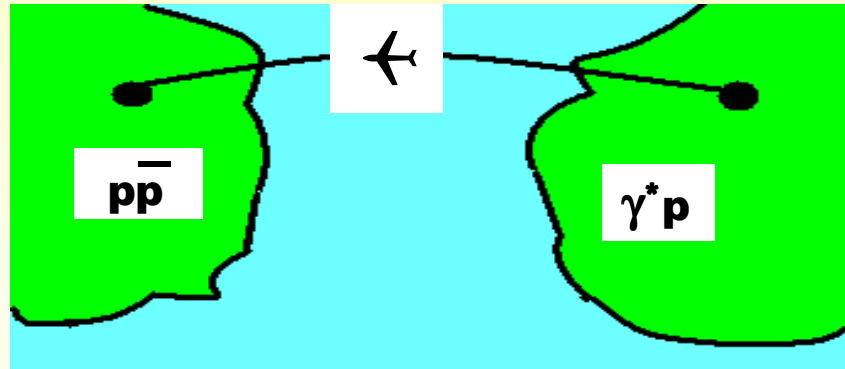
QCD-Faktorisierung & Partondichten

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

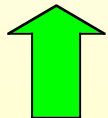
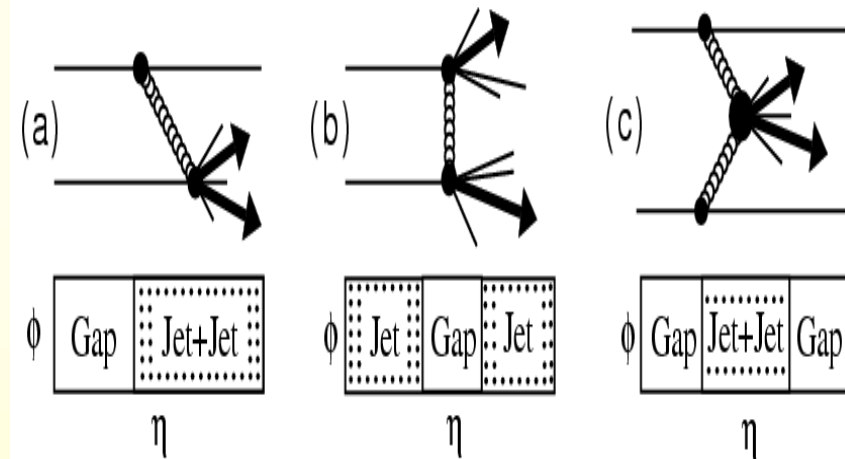
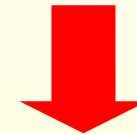


Tevatron-Experimente

D0 und CDF

**Einfache diffraktive
Dissoziation:**

**W- / Z-Bosonen, Beauty,
J/ Ψ , Jets**



Einf. Diff. Diss.

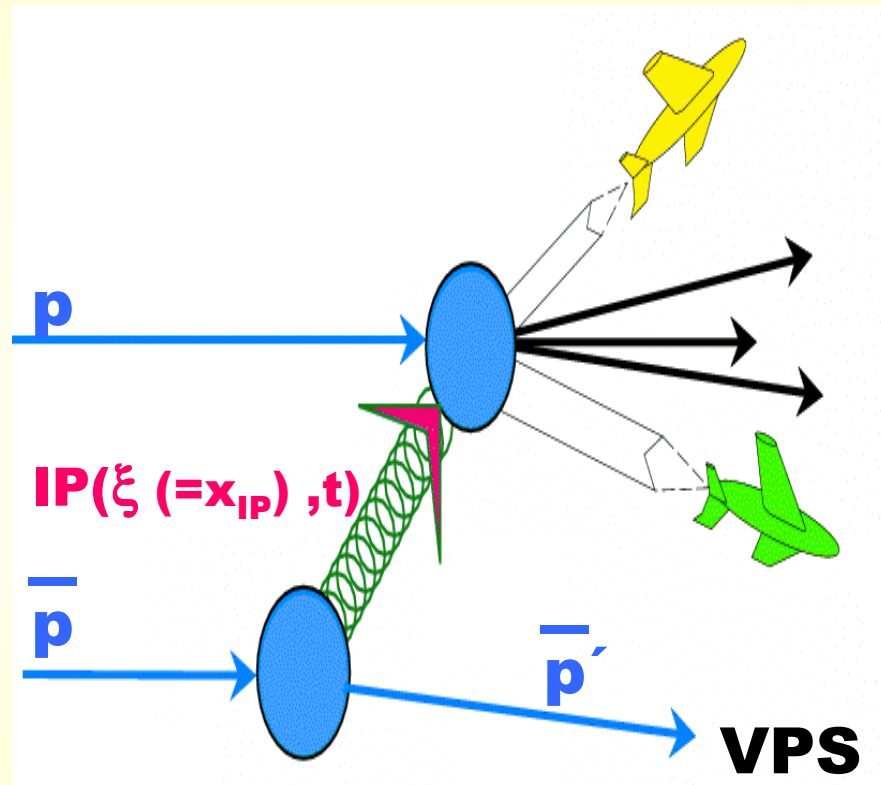


DPE

Tevatron: 1% Diffraktion

HERA: 10% Diffraktion

Strukturfunktion zur diffraktiven Zwei-Jet-Erzeugung



Messe:

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

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

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

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

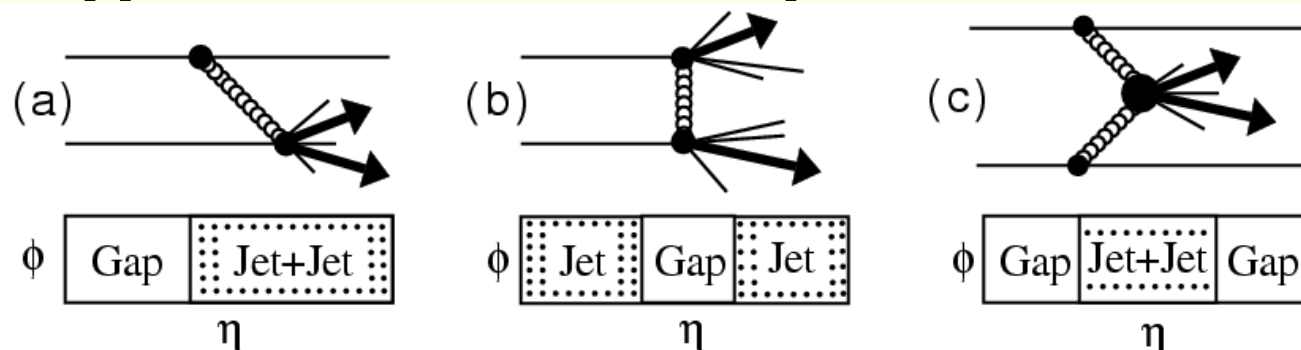
$$\bar{p}p @ \sqrt{s}=1800\text{GeV} \leftrightarrow ep @ \sqrt{s}=300\text{GeV}$$

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

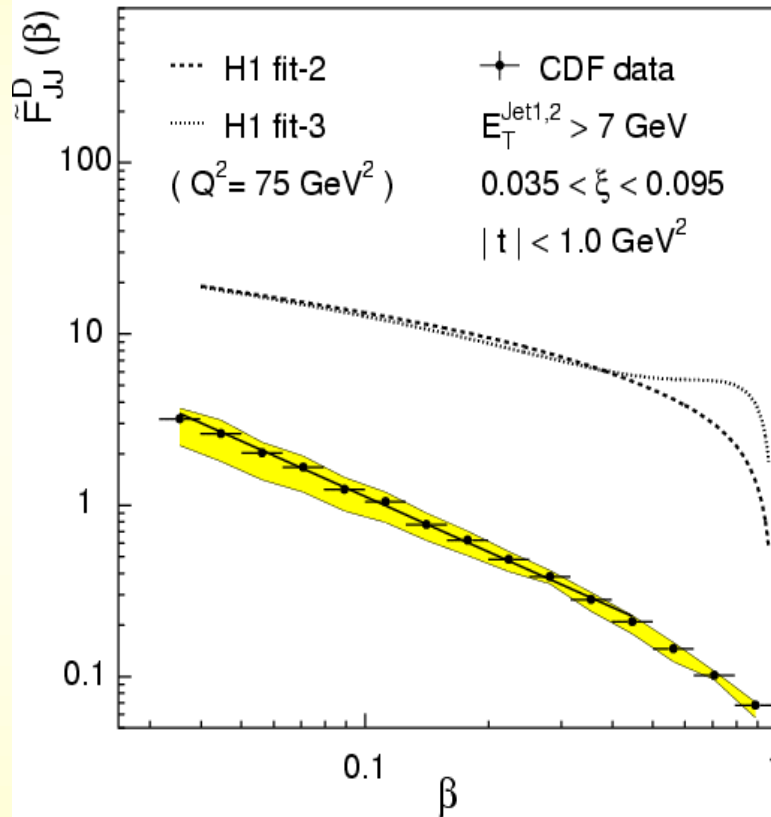
$$pp @ \sqrt{s}=1800\text{GeV} \leftrightarrow pp @ \sqrt{s}=630\text{GeV}$$

Tevatron: einf. Diffraction \leftrightarrow DPE

$$pp @ \sqrt{s}=1800\text{GeV} \leftrightarrow \text{IPp} @ \sqrt{s}=450\text{GeV}$$



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:

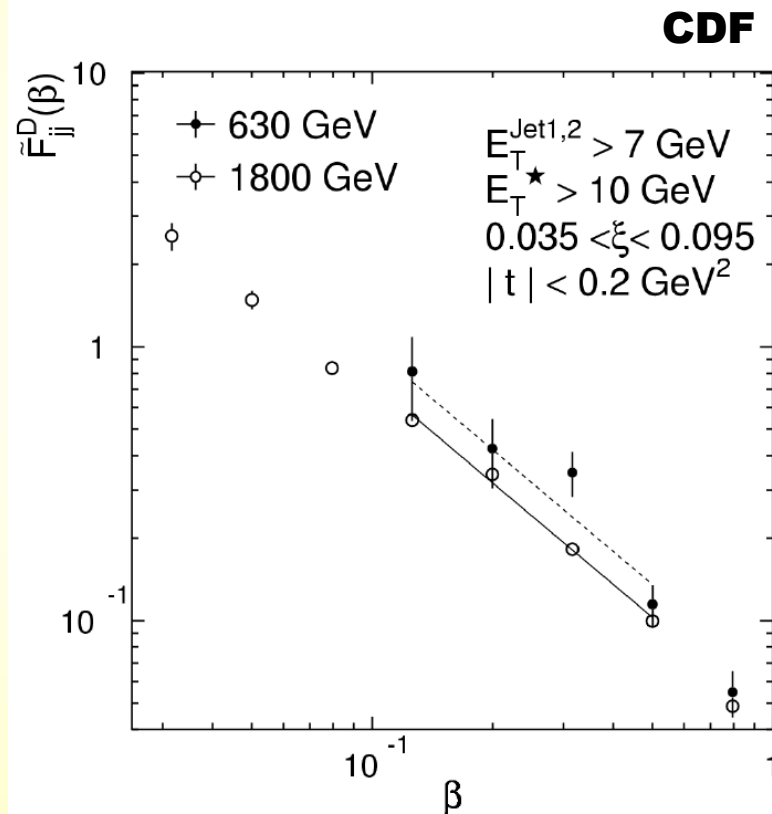
Normierung zu hoch

Form ?

Faktorisierungsbrechung !

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}

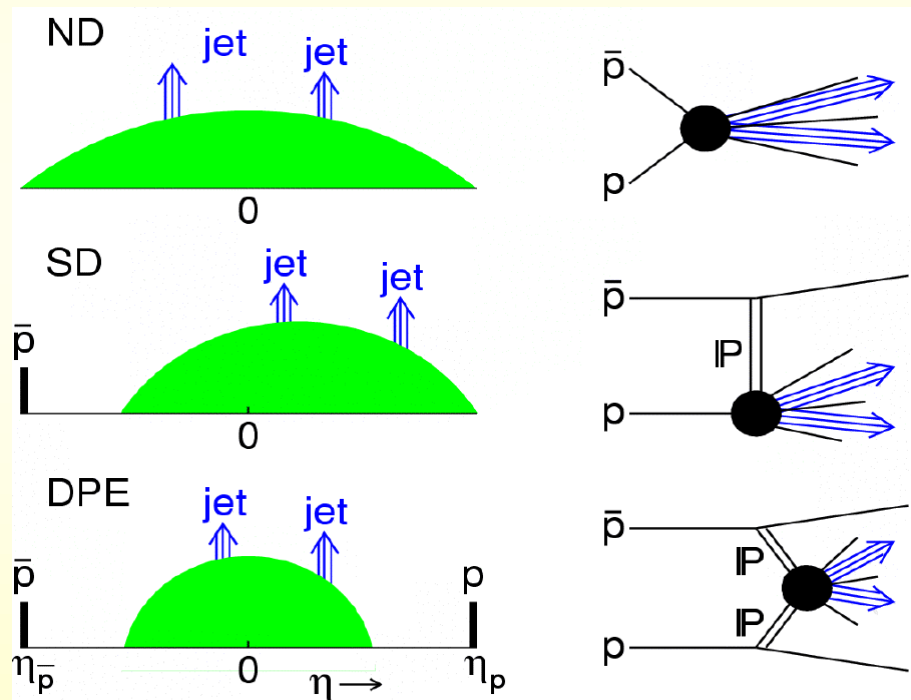
$$\begin{aligned}
 & \frac{R_{\text{Diffr.}}(630)}{\text{inkl.}} / \frac{R_{\text{Diffr.}}(1800)}{\text{inkl.}} \\
 &= 1.3 \pm 0.2(\text{stat})^{+0.4}_{-0.3}(\text{syst})
 \end{aligned}$$

Faktorisierung ?

Faktorisierungstests mit Doppeltem Pomeron Austausch

Tevatron: einf.Diffraktion \leftrightarrow DPE

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

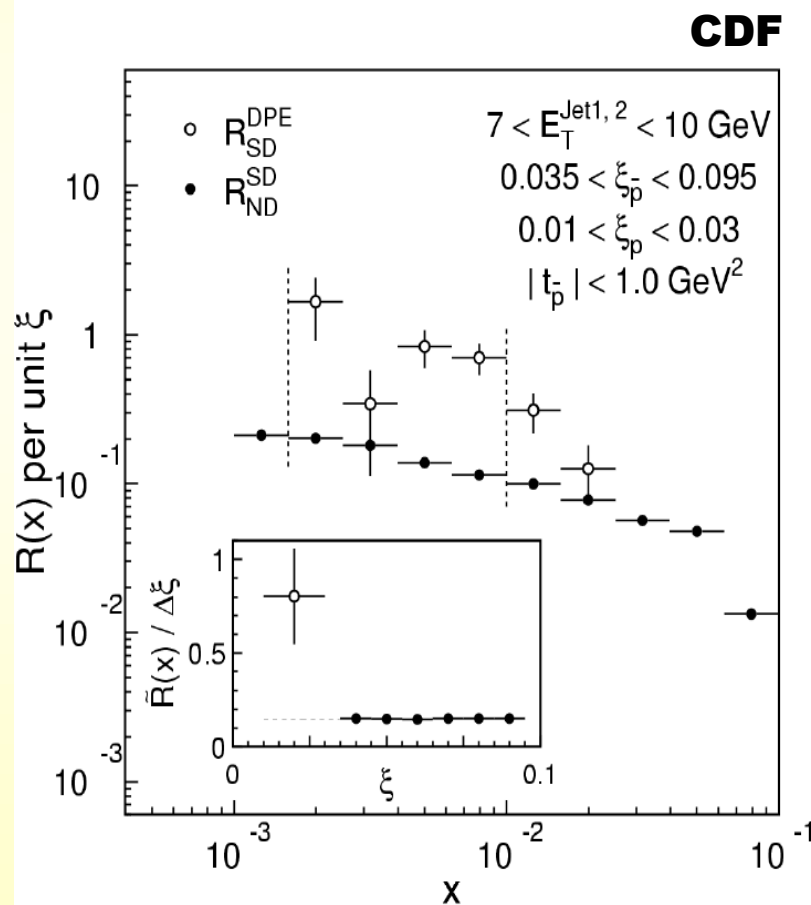


**Änderung von \sqrt{s}
durch Vorselektion**

\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:

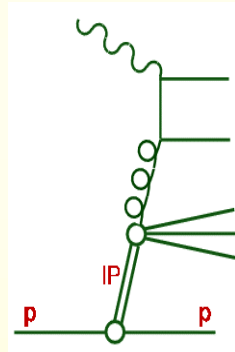
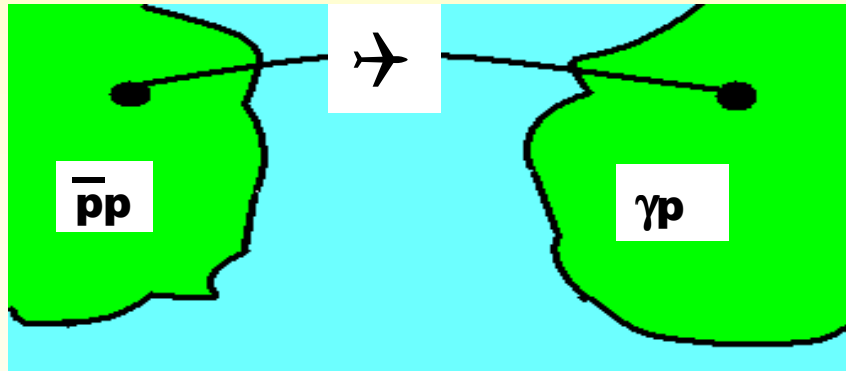
Diffraktion am Tevatron $\sim 1\%$, bei HERA $\sim 10\%$

F_{jj}^D gemessen und mit HERA verglichen

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

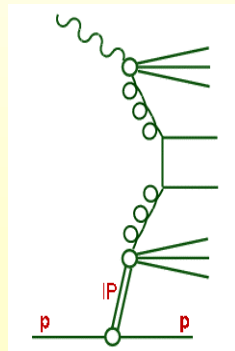
→ Faktorisierungsbruchung

Faktorisierung bei HERA: Zwei-Jets in Photoproduktion



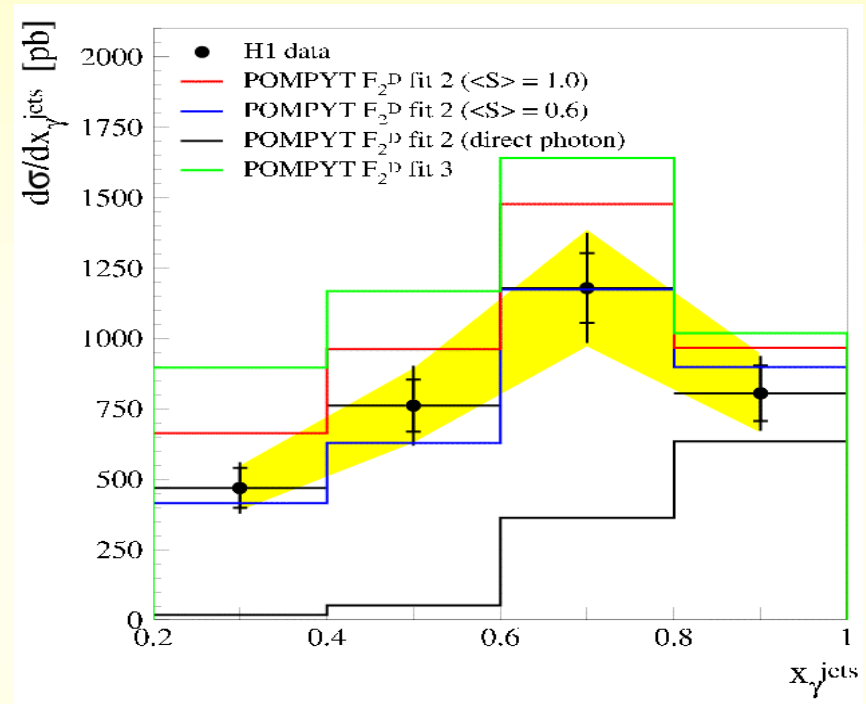
Punktförmiges γ
(wie DIS)

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



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

γ^*p : Faktorisierung bestätigt

γp und $p\bar{p}$: 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

Diffraktion

- **mit hoher Statistik**
- **mit gemessener t - Abhängigkeit**
- **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 with additional final-state meson in the extended Bjorken region**
- **Analysis of prompt photon production at H1**