

Produktion schwerer Quarks bei HERA

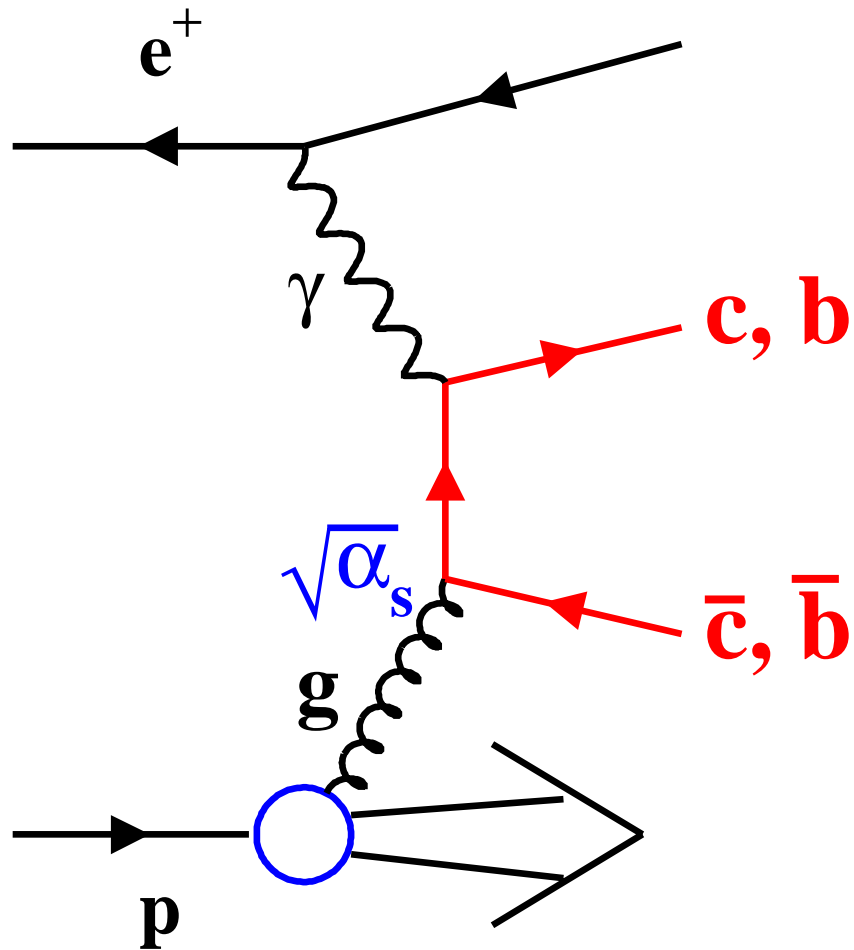
O. Behnke (Heidelberg)

7. März 2005

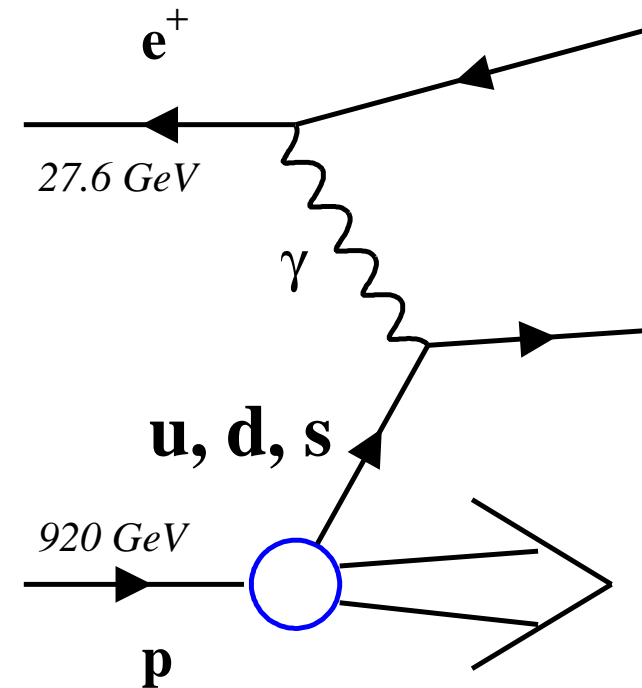
DPG Tagung Berlin



Erzeugung schwerer Quarks bei HERA

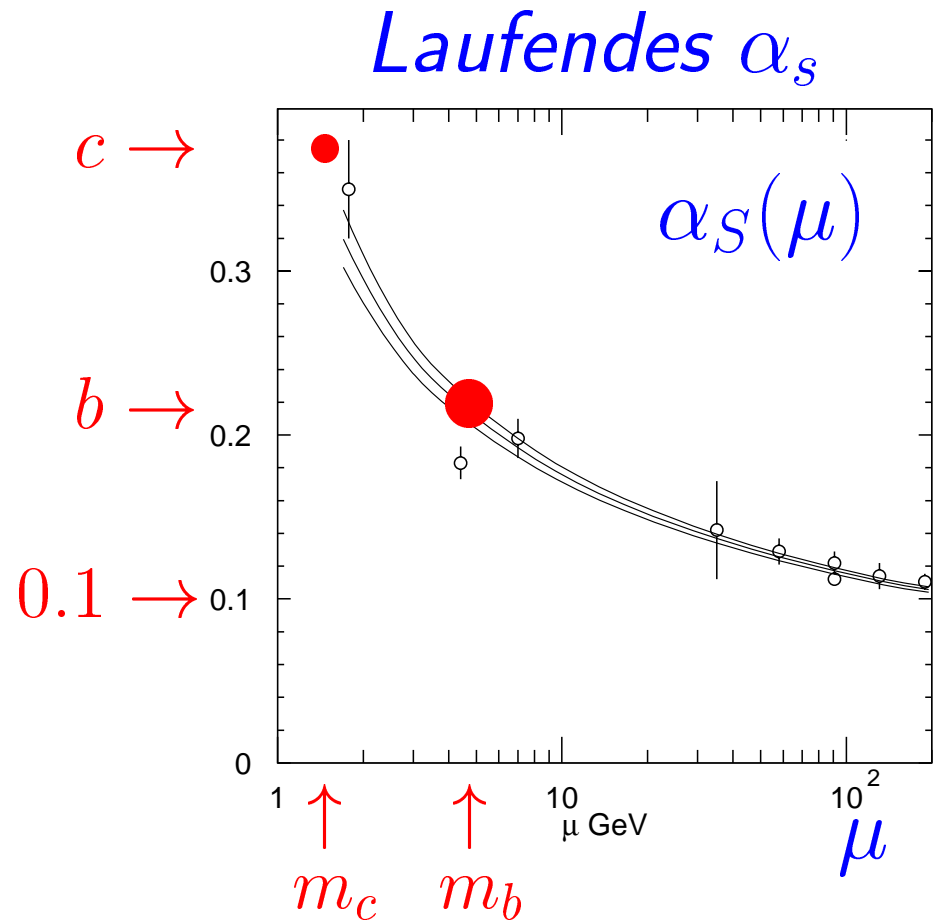
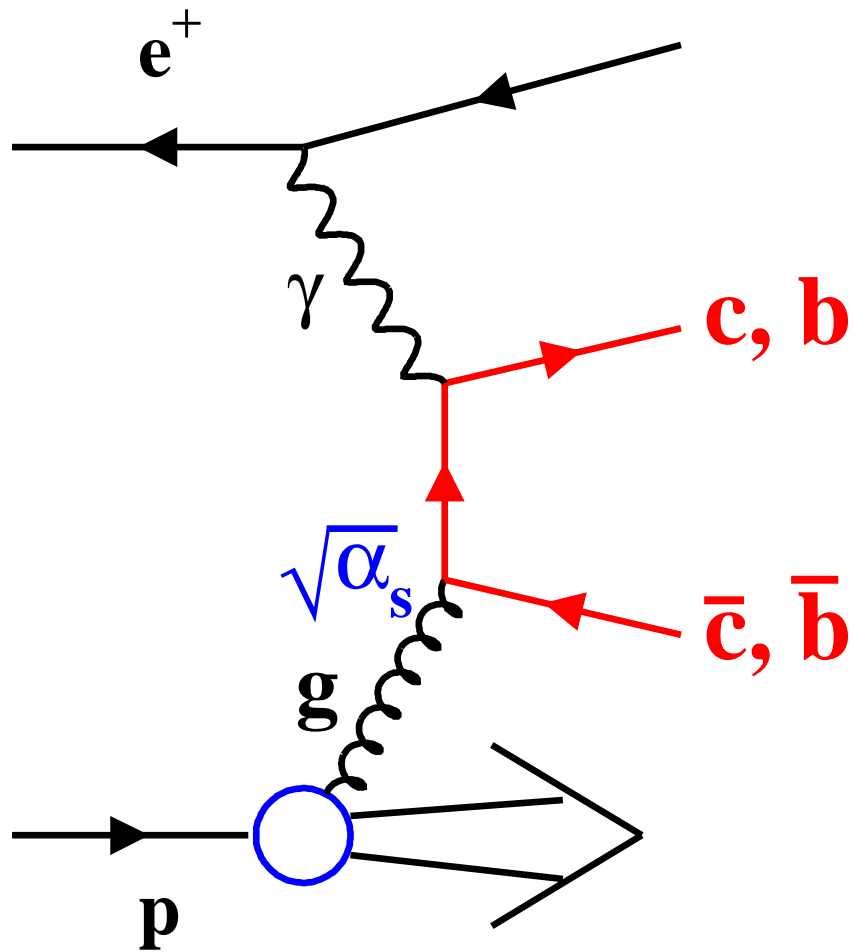


vergleiche leichte Quarks



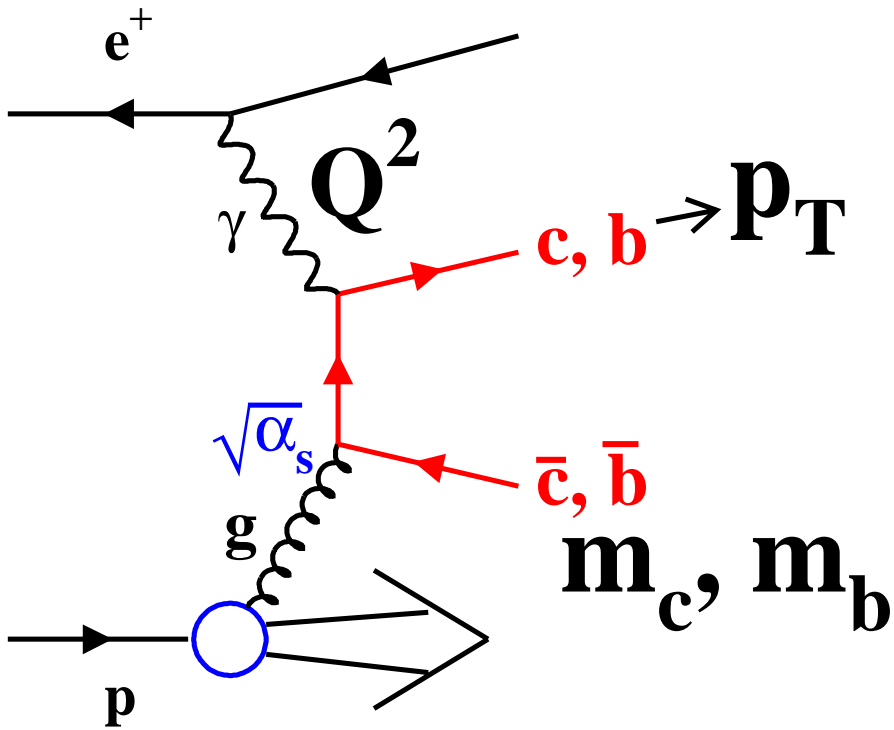
- \Rightarrow von Gluonen im Proton angetrieben
- \Rightarrow berechenbar in perturbativer QCD!

Kopplungskonstante α_s



\Rightarrow $\alpha_s(m_c)$ und $\alpha_s(m_b)$ klein genug
um Störungsrechnung anzuwenden

Multi-Harte-Skalen



Multiskalen-Problem:

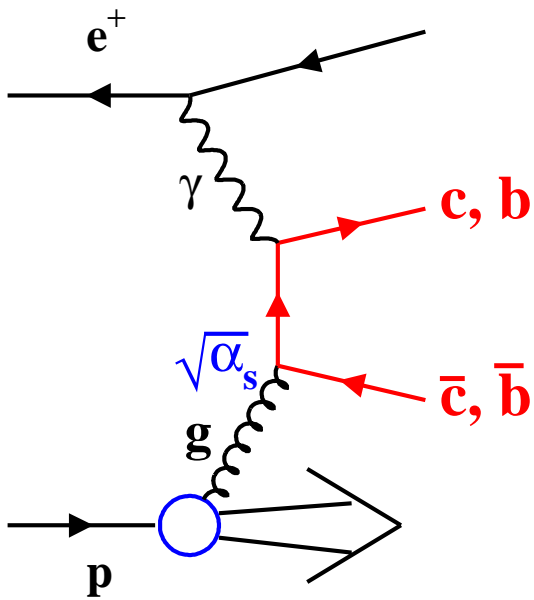
- $[\alpha_s \ln(Q^2/m_c^2)]^n$ Terme in QCD Störungsreihe
- werden gross für $Q^2/m_c^2 \gg 1$.
- ⇒ Was tun?

pQCD Näherungen: Eine dominante Skala!

Massives Schema: $\rightarrow m_c, m_b$

- c, b massiv
- Vernachlässigt $[\alpha_s \ln(Q^2/m_c^2)]^n$

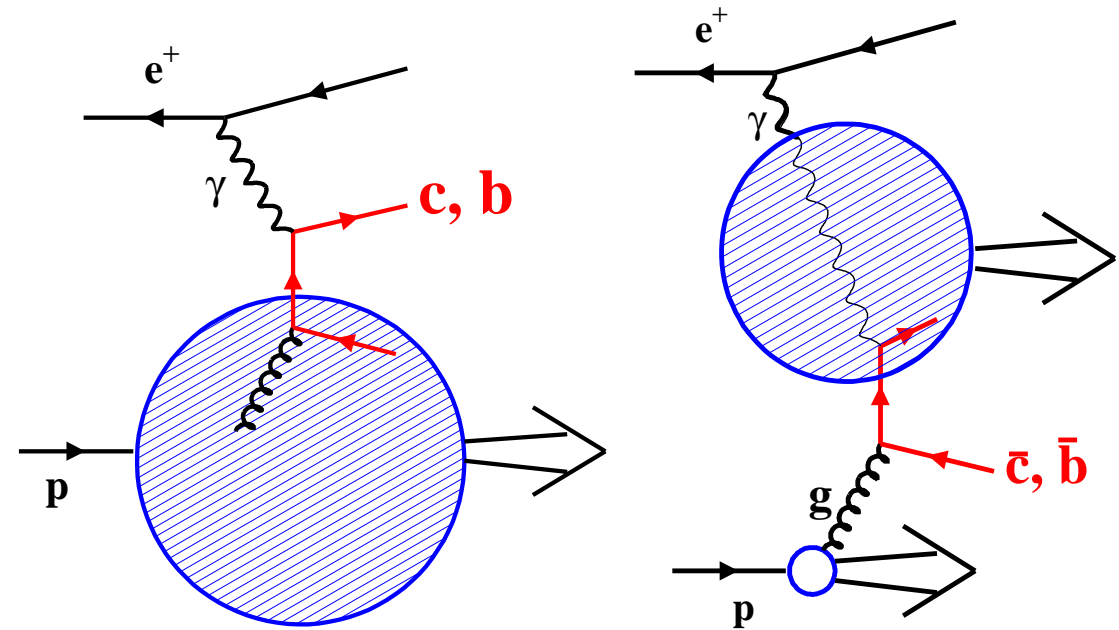
\rightarrow Perturbative Erzeugung:



Masseloses Schema: $\rightarrow p_T, Q^2$

- c, b masselos!!!
- Resummiert $[\alpha_s \ln(Q^2/m_c^2)]^n$

\rightarrow c, b auch in Proton und Photon!!



Variable Schemen:


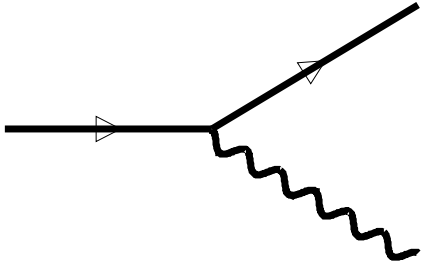
\rightarrow bei kleinen Q^2 massiv, bei grossen Q^2 masselos

Welches Schema beschreibt die HERA-Daten am besten?

Spaziergang durch die Skalen

$Q^2 \longrightarrow$


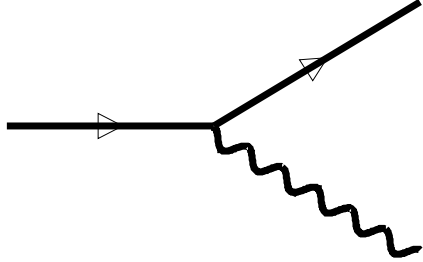
$m_Q \downarrow$

	Photoproduction $Q^2 \approx 0$ 	DIS $Q^2 \geq 1 \text{ GeV}^2$ 
c ● 1.5 GeV	1.	2.
b ● 4.75 GeV	3.	4.

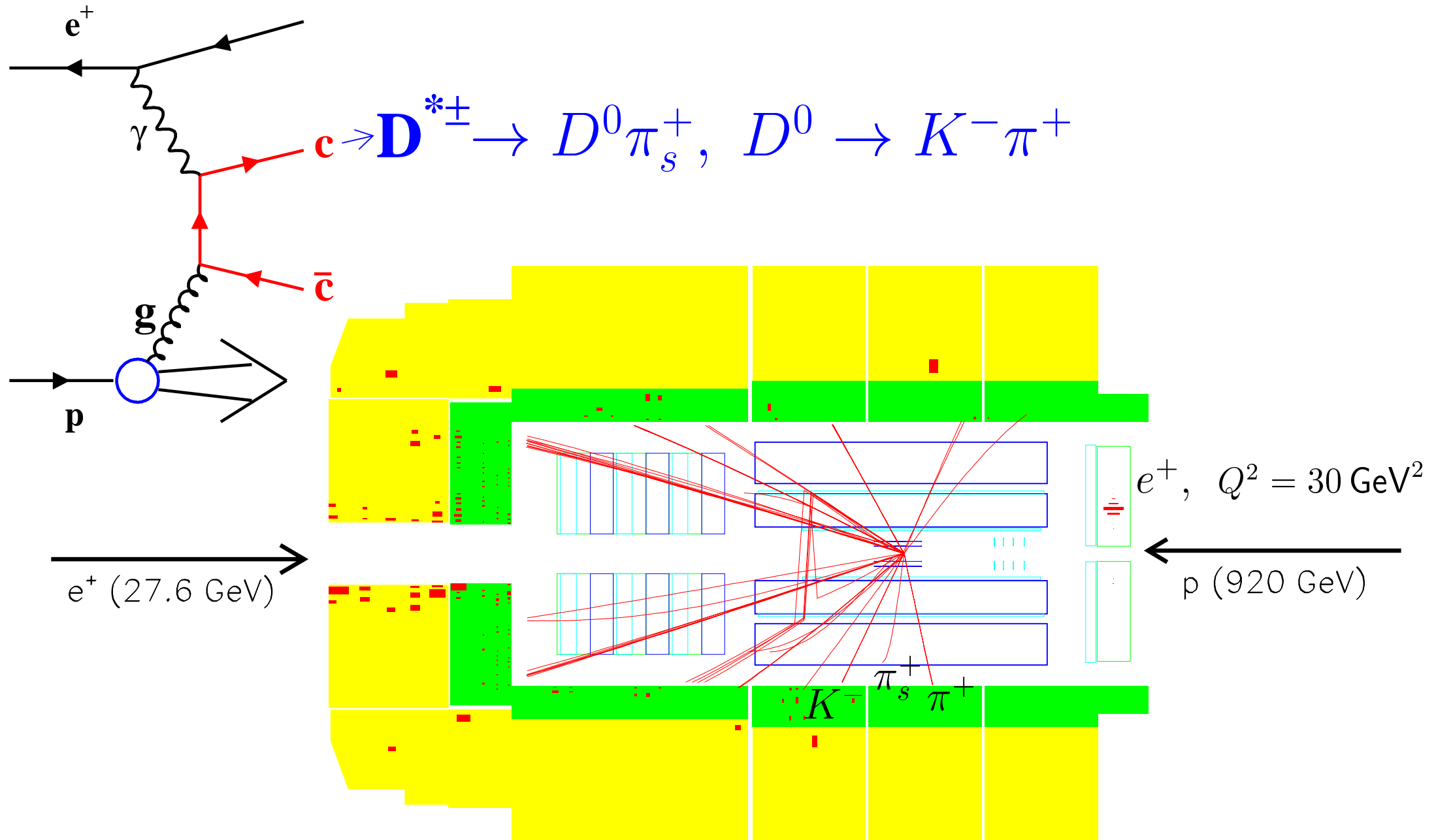
Experimentelle Signaturen

$Q^2 \longrightarrow$

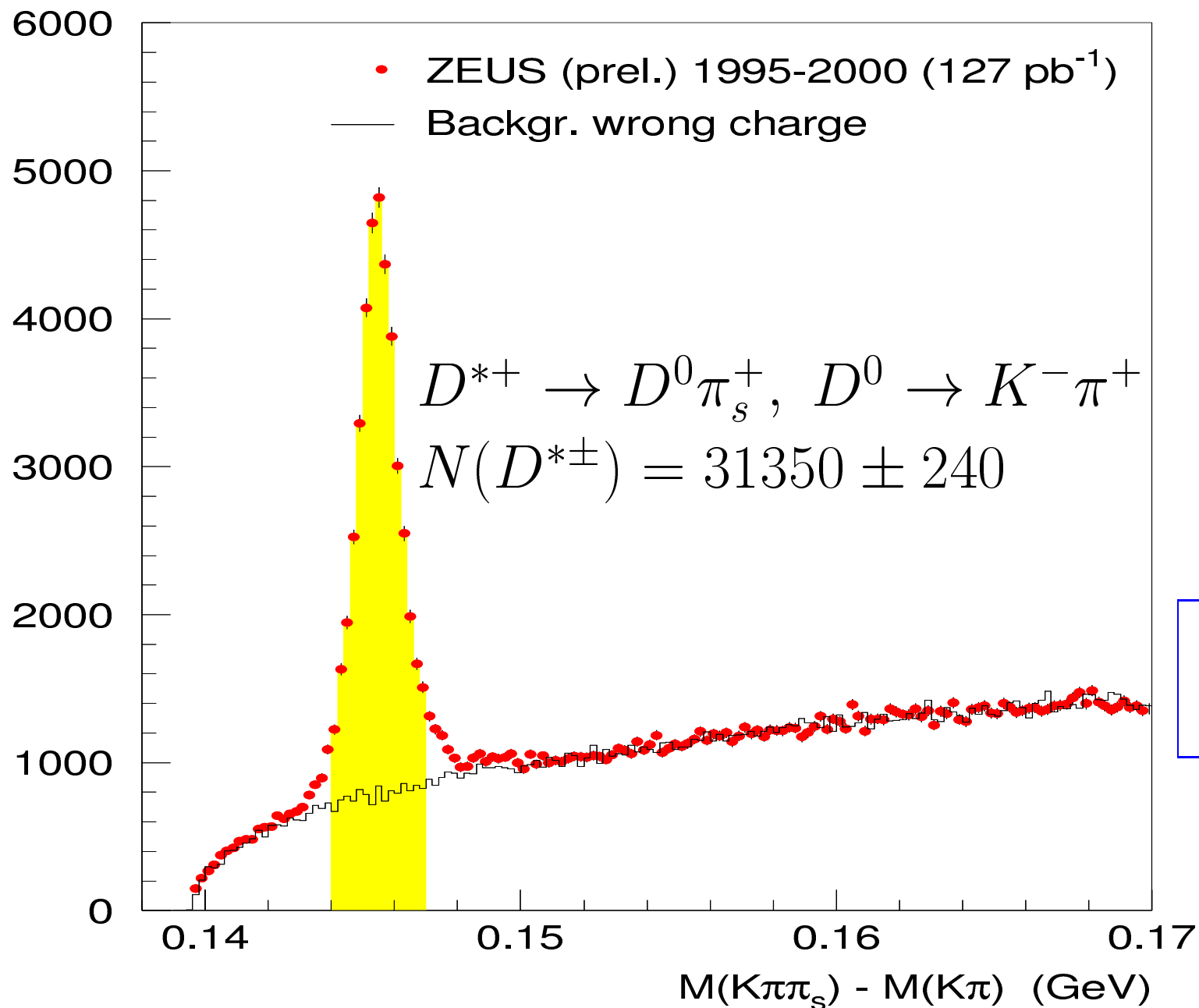
$m_Q \downarrow$

	Photoproduction $Q^2 \approx 0$ 	DIS $Q^2 \geq 1 \text{ GeV}^2$ 
c ● 1.5 GeV	D^{*+} $D^{*+} + \text{Jets}$	D^{*+} Inkl. Lifetime Tag
b ● 4.75 GeV	$\text{Muon} + \text{Jets}$	$\text{Muon} + \text{Jets}$ Inkl. Lifetime Tag

Charm Ereignis im H1-Detektor (DIS)

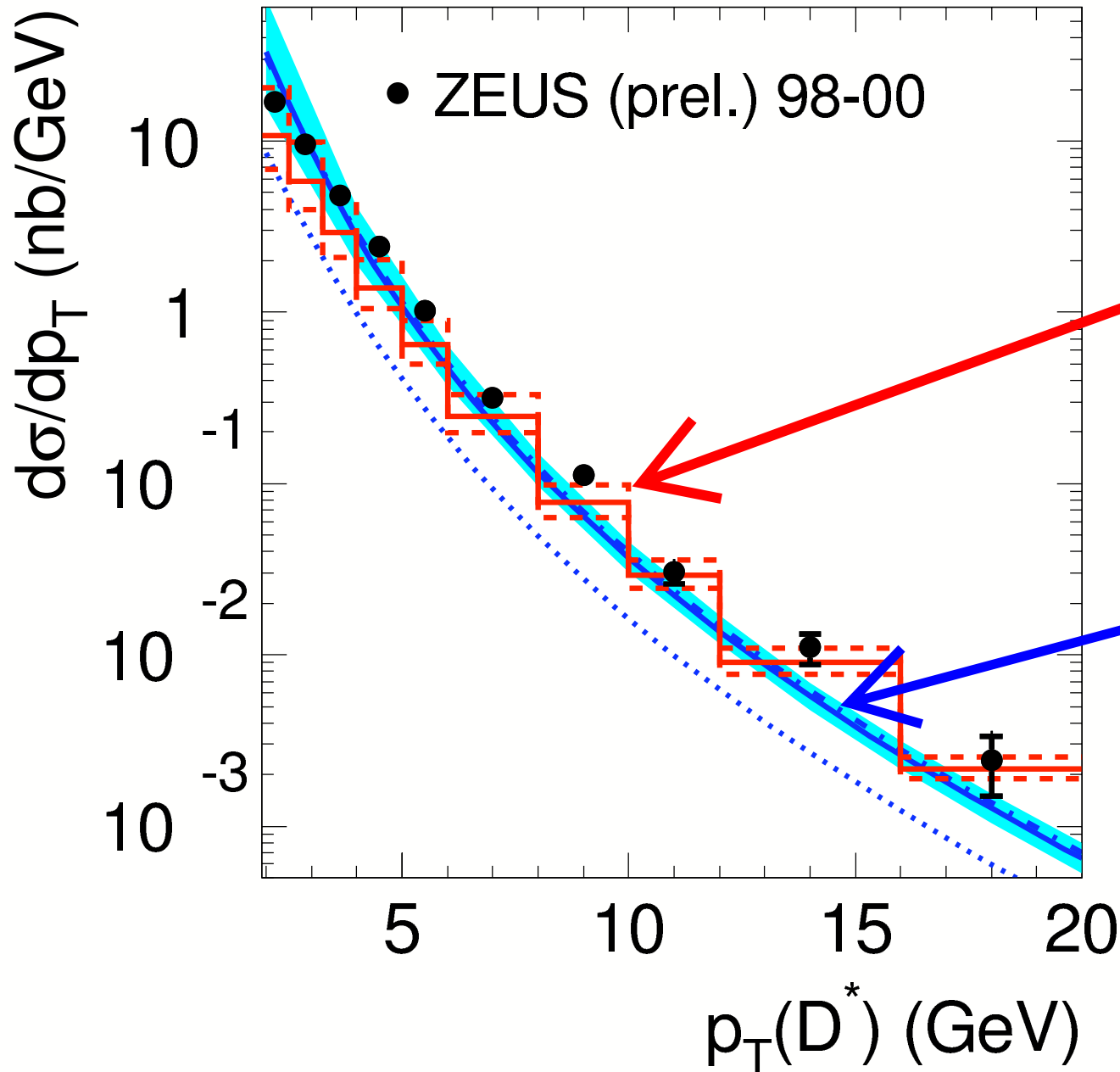


Gesamtes D^{*+} -Signal in HERA-I Daten



⇒ Hohe Stat. für
Präzisionsanalysen!

Charm in γp : vs. $p_T(D^*)$

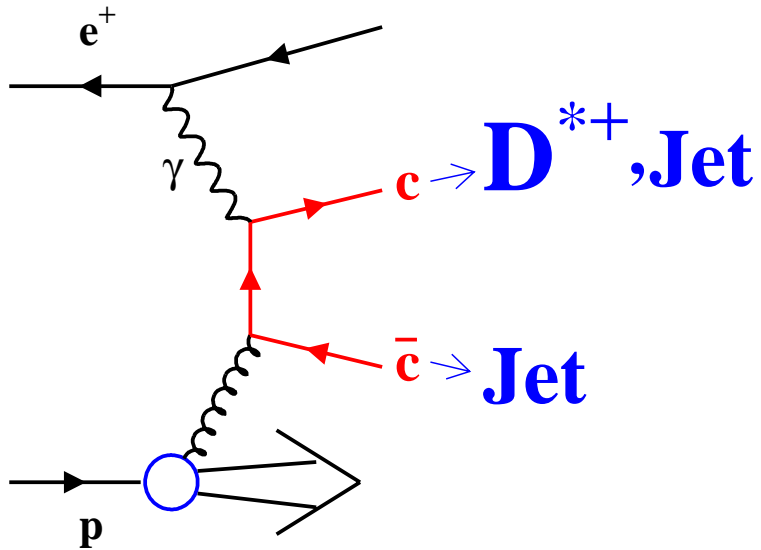


Massives NLO:
zu flacher Abfall

Masseloses NLO:
zu steiler Abfall

⇒ Beide Modelle
mit Problemen

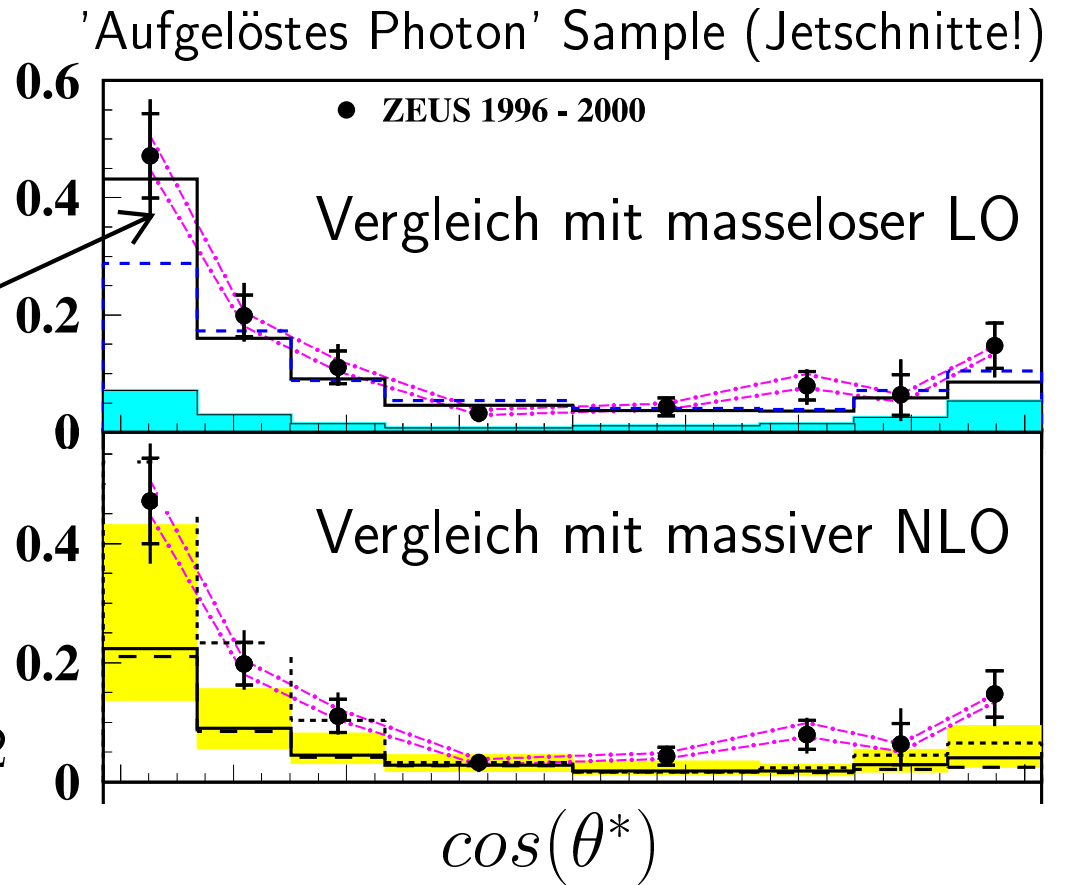
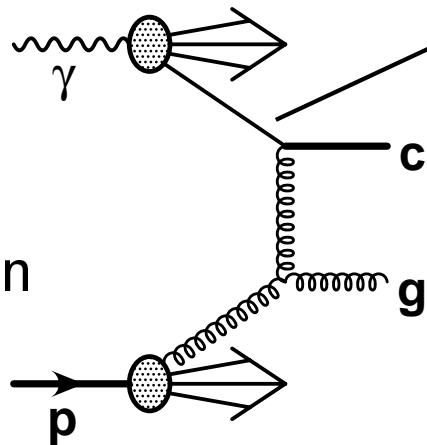
Charm in γp : $D^* + \text{Jets}$



Studiere θ^* = Winkel zwischen p und D^{*+} -Jet

Charm im Photon

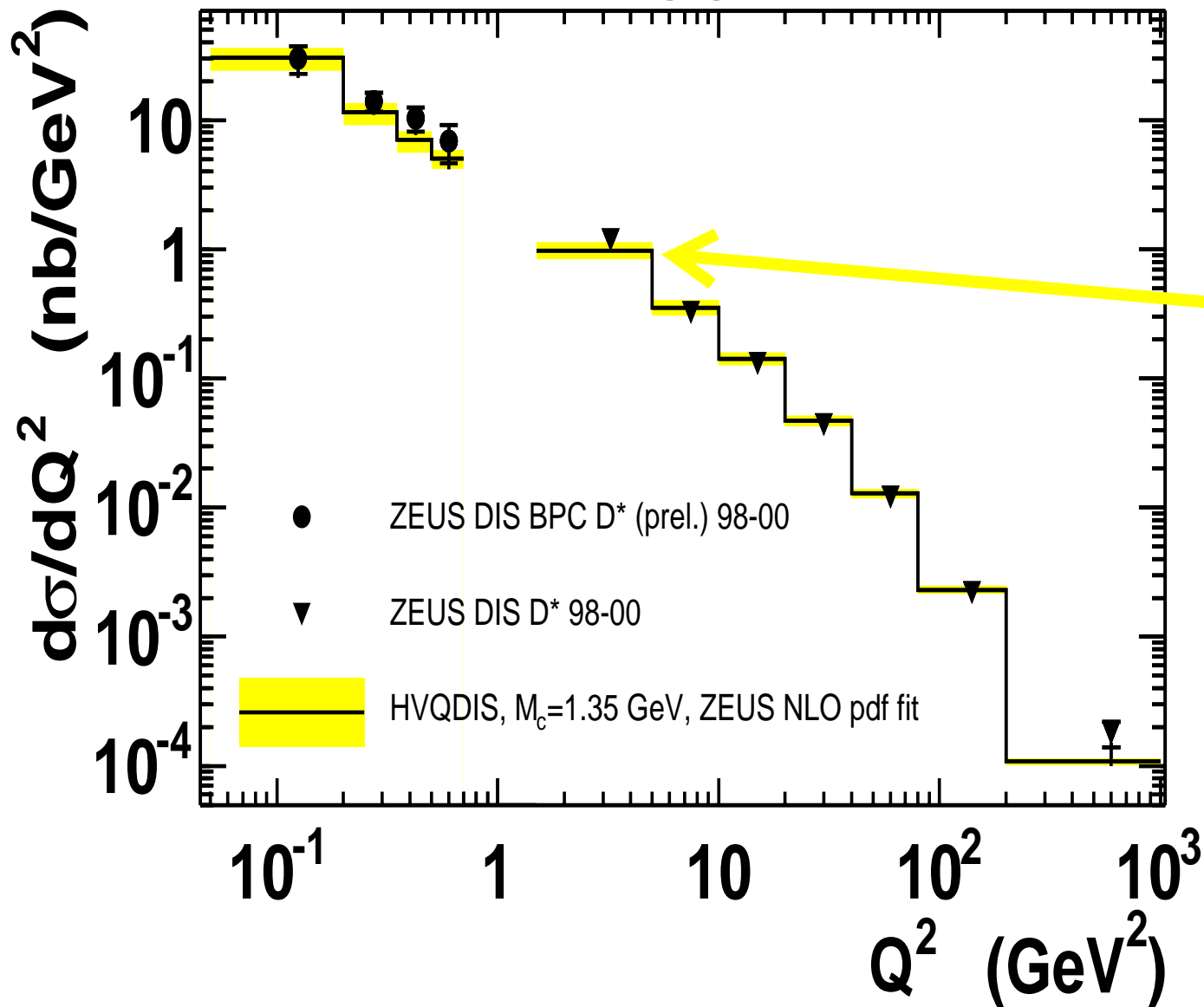
$$\propto (1 - |\cos(\theta^*)|)^{-2}$$



⇒ Evidenz für gross Charm Kompon. in hadr. γ -Struktur

Charm in DIS: D^* vs. Q^2

ZEUS



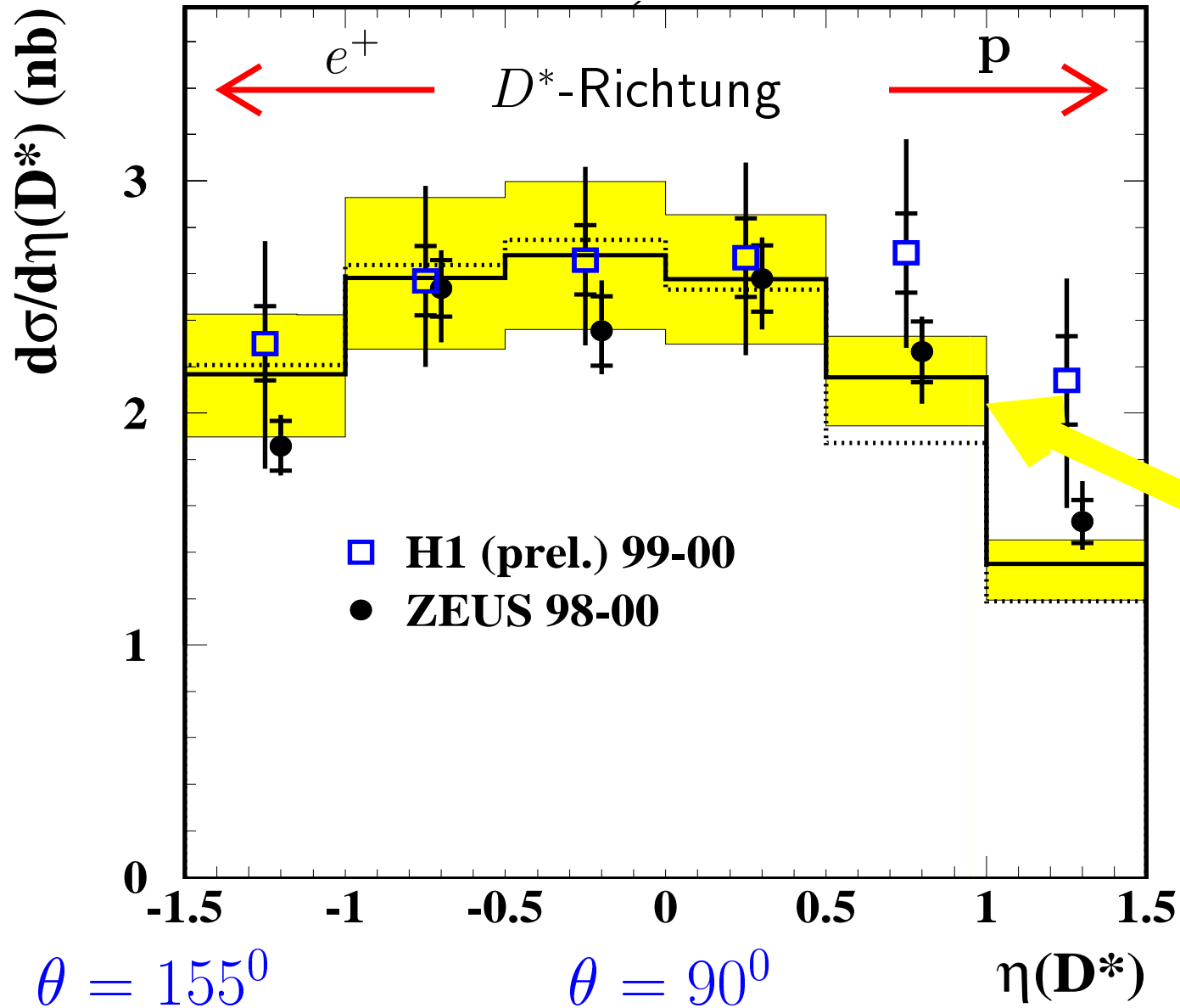
Riesiger Q^2 -Bereich!

$Q^2 \ll m_c^2$ bis $Q^2 \gg m_c^2$

Massives NLO beschreibt die Daten für alle Q^2

Masselose Rechnung leider nicht verfügbar!

Charm in DIS: vs. $\eta(D^*)$

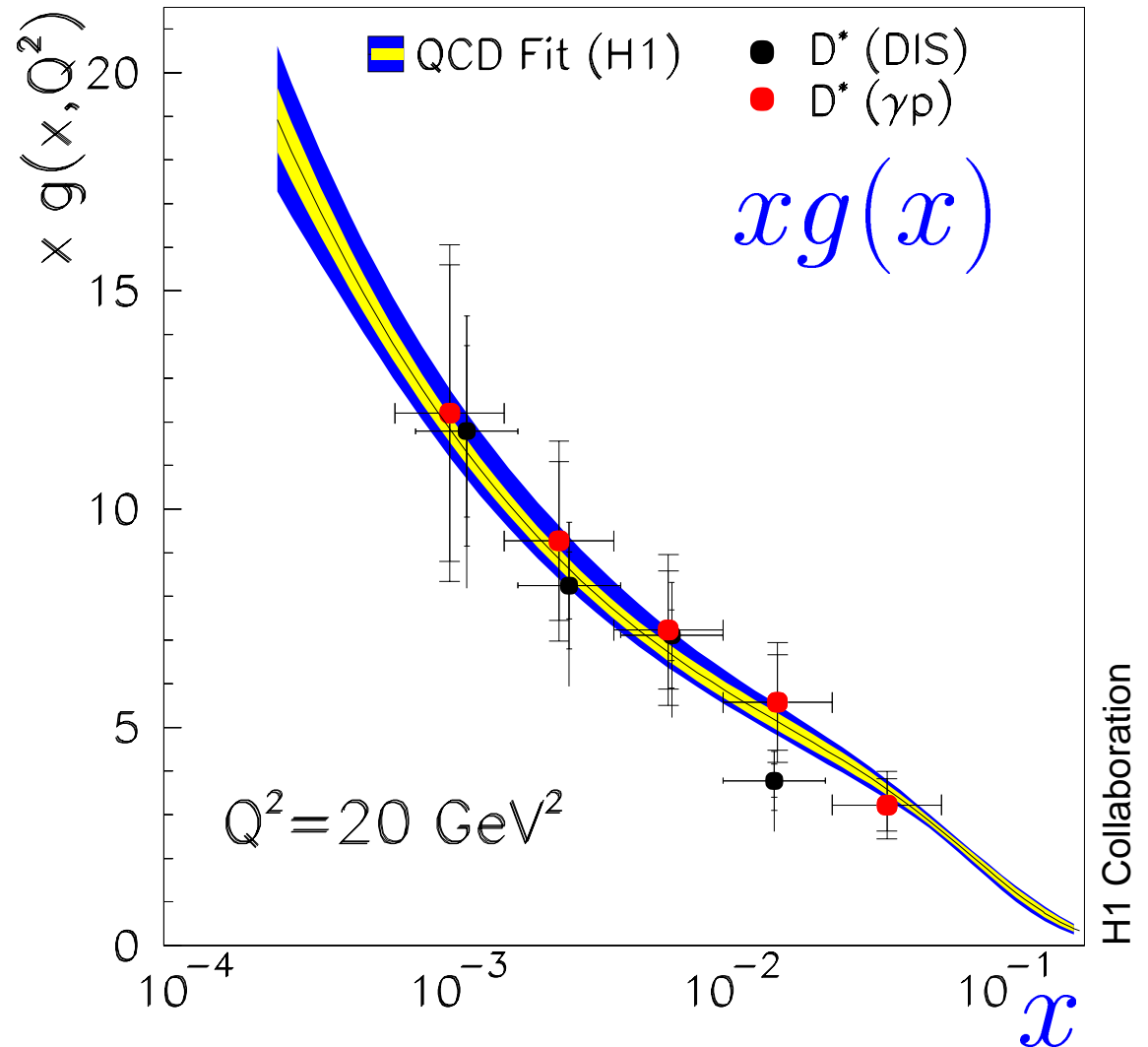


Charm: Direkte Best. der Gluondichte

Setze:

$$\sigma_{data}^{D^*} = \sigma_{NLO, massiv}^{D^*}$$

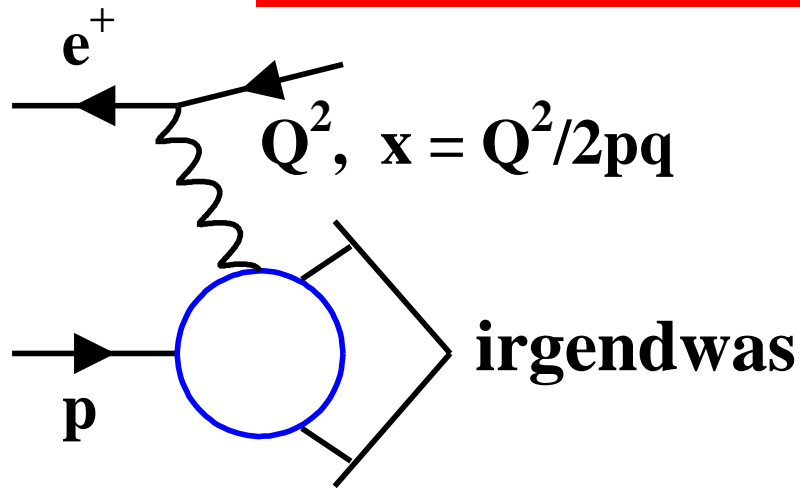
⇒ löse nach Gluondichte auf



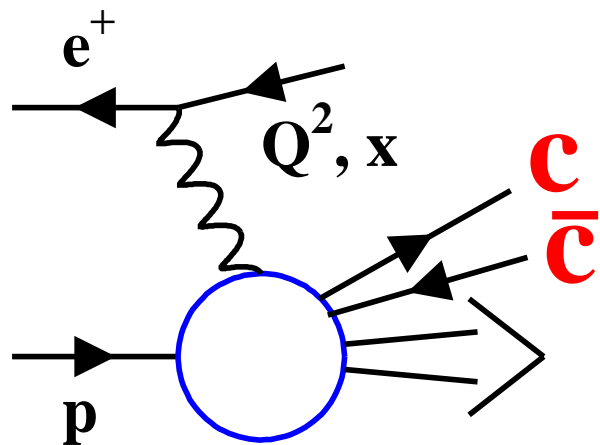
⇒

Direkte (Charm) und indirekte Messungen der Gluondichte stimmen überein!

Charm in DIS: Beitrag zur inkl. ep-Streuung



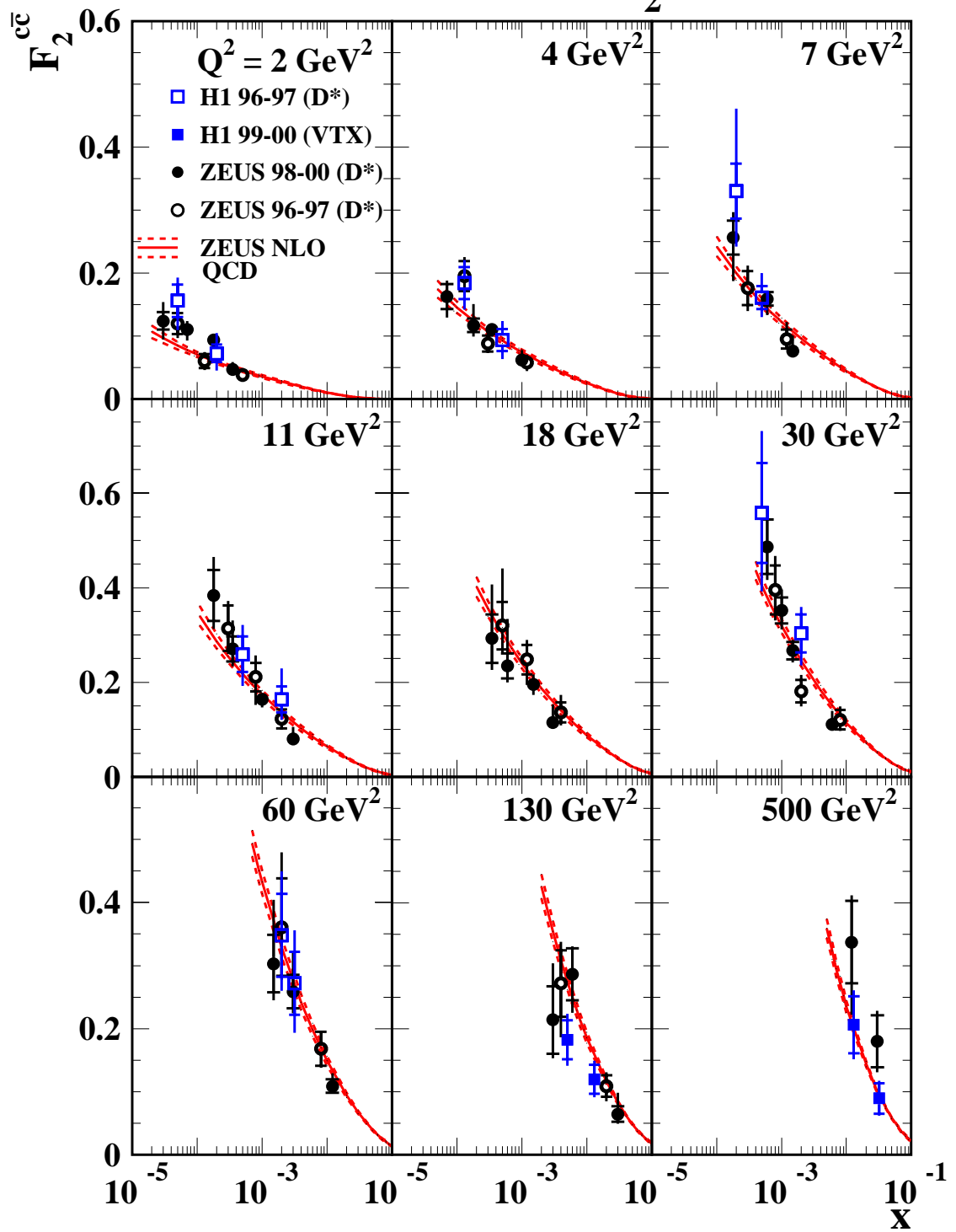
$$\frac{d^2 \sigma^{ep}}{dQ^2 dx} \propto F_2(x, Q^2)$$



$$\frac{d^2 \sigma^{ep \rightarrow c\bar{c}x}}{dQ^2 dx} \propto F_2^{c\bar{c}}(x, Q^2)$$

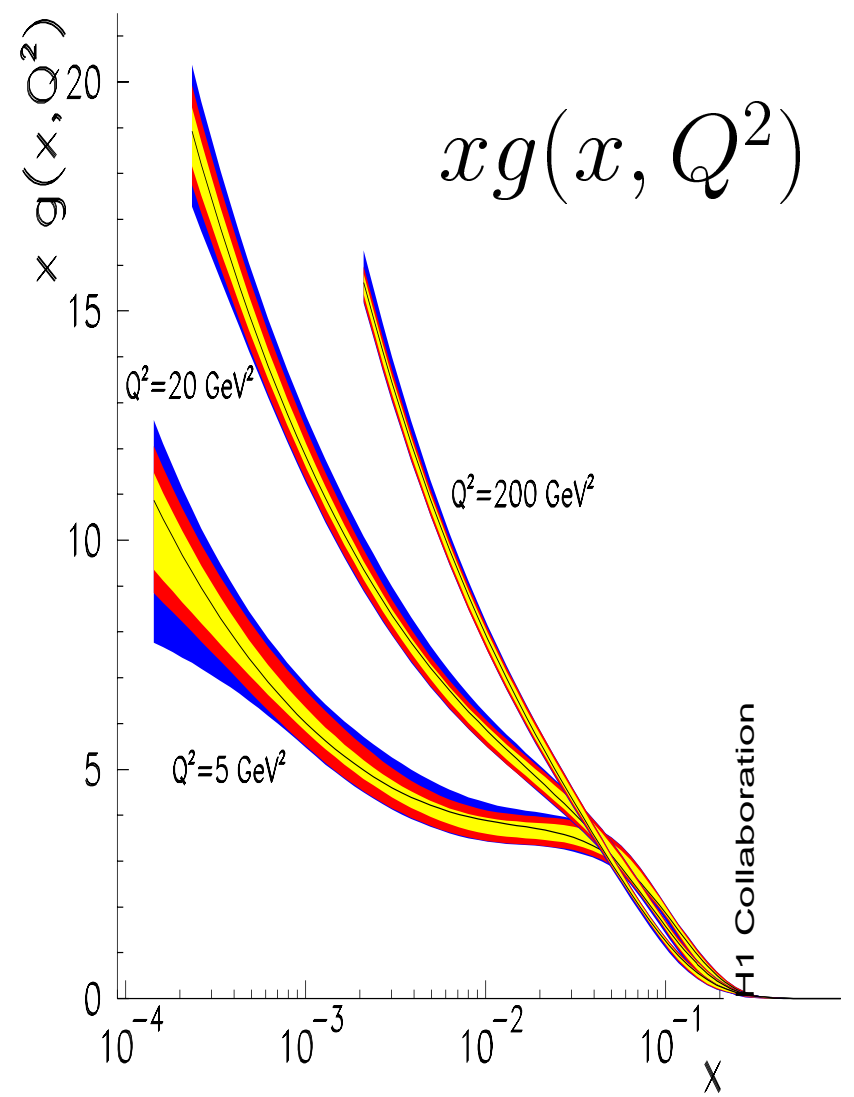
Um $F_2^{c\bar{c}}$ zu bestimmen, extrapoliere D^* Messungen zu vollem $P_T(D^*)$, $\eta(D^*)$ Phasenraum (grosse Faktoren!)

HERA F_2^{cc}

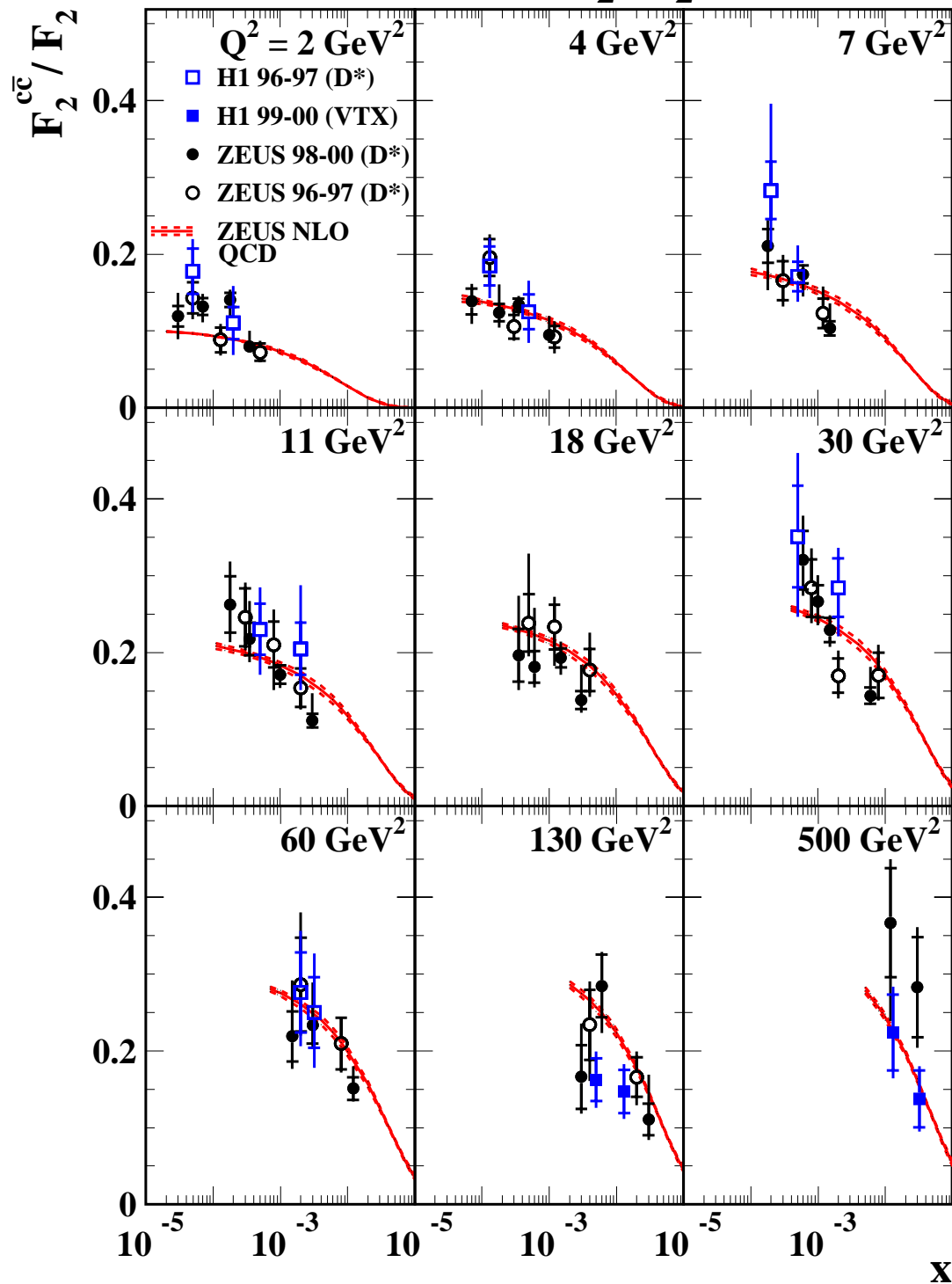


$F_2^{c\bar{c}}$ -Ergebnisse

→ Anstieg zu kleinen x und grossen Q^2 → durch Gluondichte!



HERA $F_2^{c\bar{c}}/F_2$



Charm Anteil $F_2^{c\bar{c}}/F_2$

bei kleinen x , grossen Q^2 :

→ $F_2^{c\bar{c}}/F_2 \sim 30\%$

→ für p aus masselosen
 u, d, s, c, b Seequarks

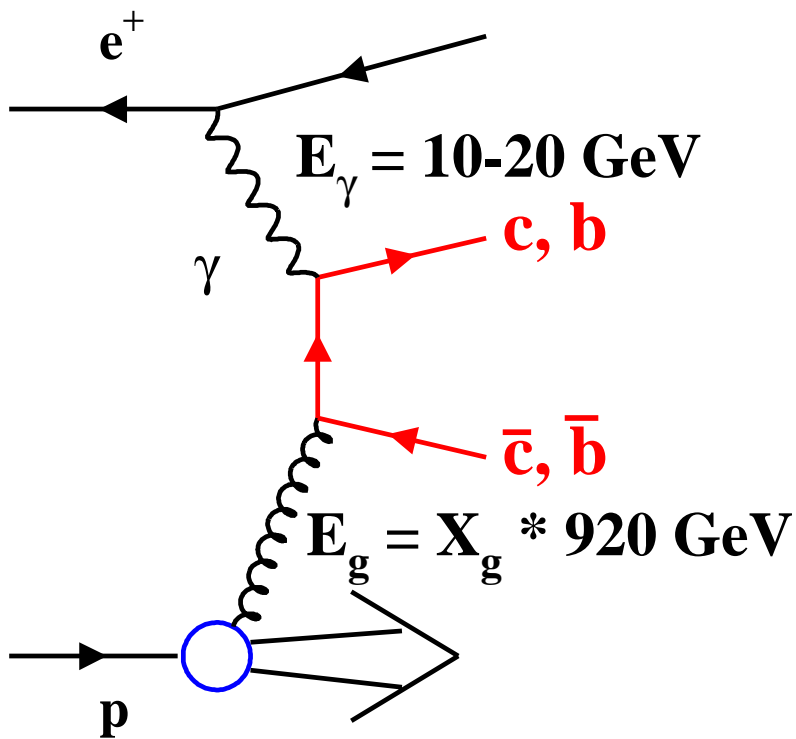
	u	d	s	c	b
$F_2^{q\bar{q}}$	$\frac{4}{11}$	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{11}$	$\frac{4}{11}$	$\frac{1}{11}$

Beauty bei HERA

Totale Erzeugungsraten bei HERA:

$$\sigma_{uds} : \sigma_{charm} : \sigma_{beauty} \sim 2000 : 200 : 1$$

Hauptgrund für Beauty-Unterdrückung: Phasenraum!

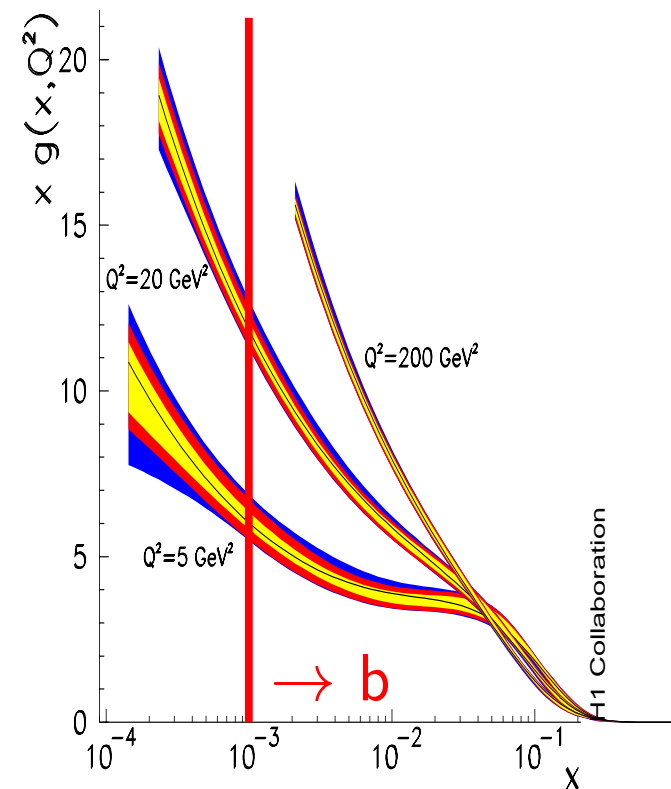


Kin. Schwelle:

$$X_g \geq \frac{m_Q^2}{E_\gamma \cdot 920 \text{ GeV}}$$

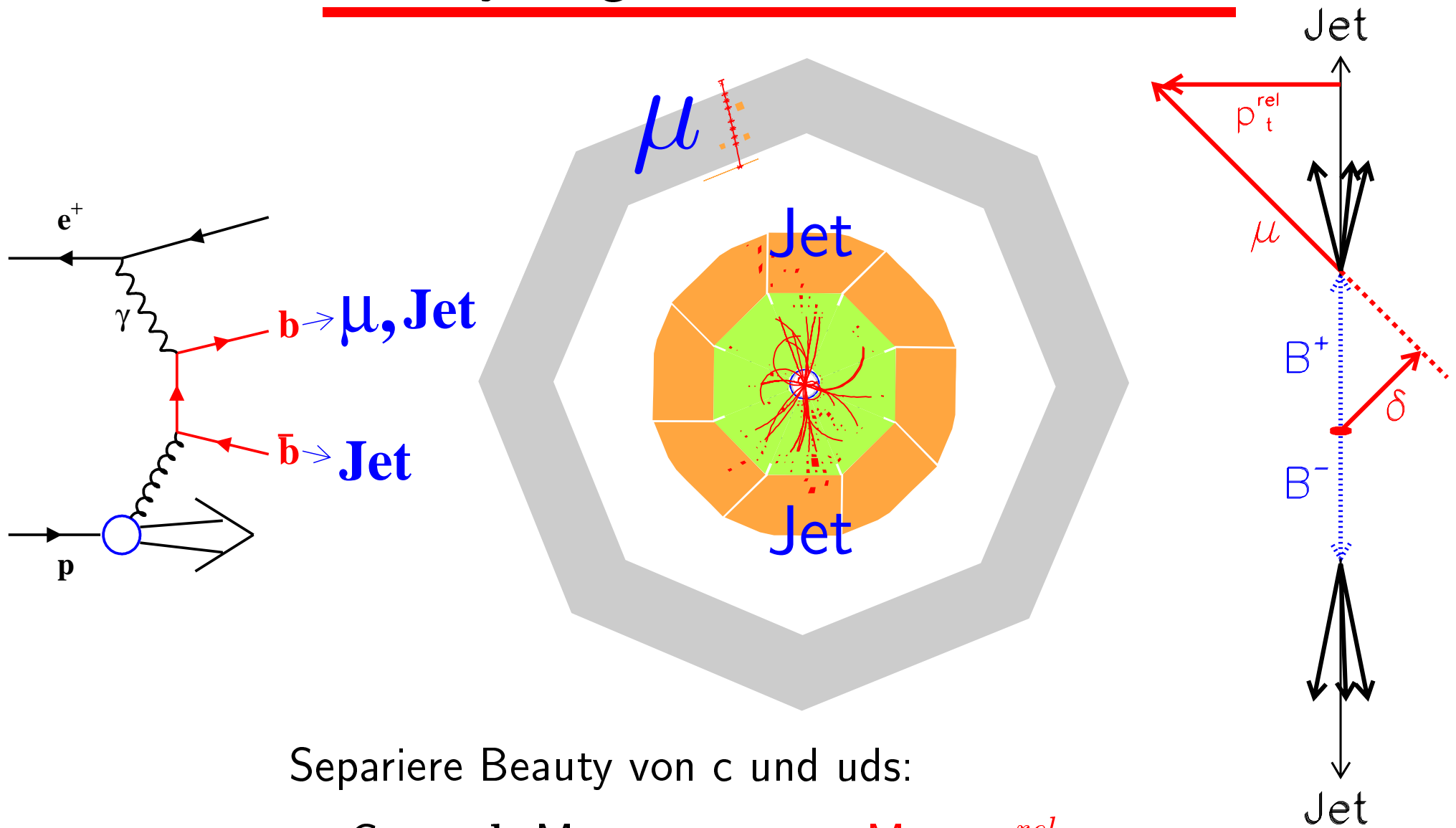
c: $X_g \geq 10^{-4}$

b: $X_g \geq 10^{-3}$



H1 Collaboration

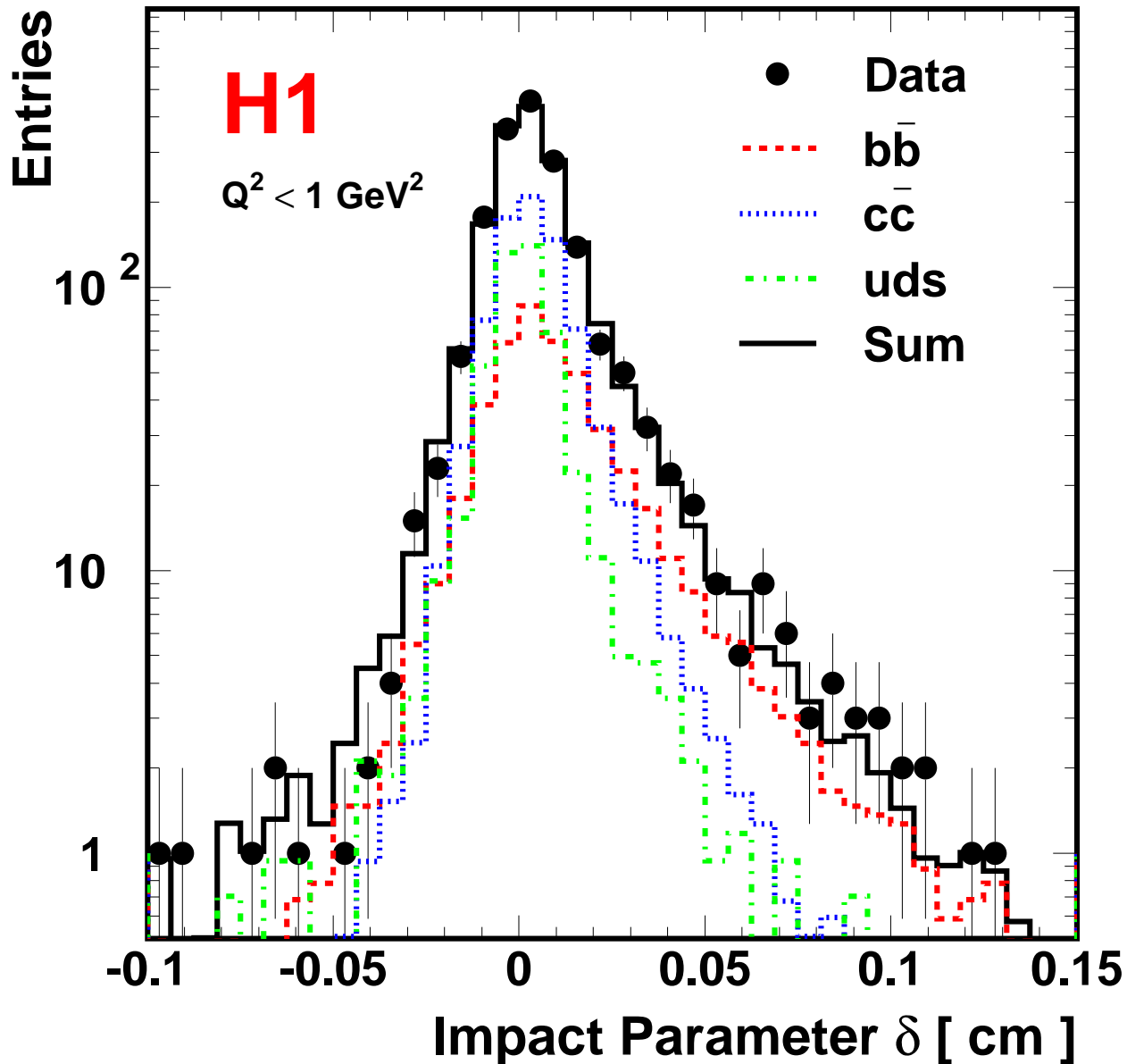
Beauty *Tag* mit Jets und Muonen



Separiere Beauty von c und uds:

- Grosse b Masse \rightarrow grosse Muon p_T^{rel}
- Lange b Lebensdauer \rightarrow grosse Muon Impactpar. δ

Beauty in γp : Muon-Impactpar. (H1)

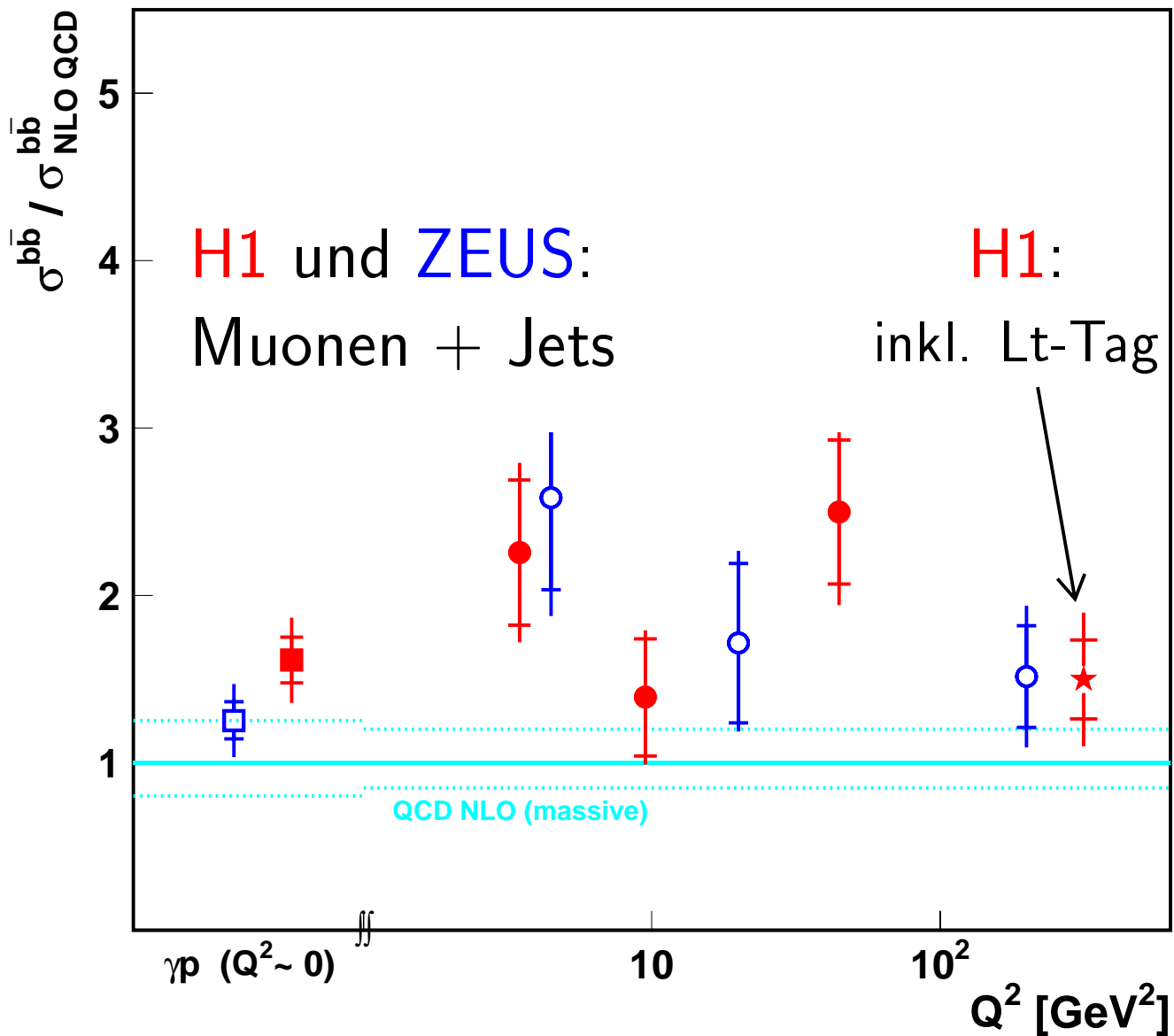


~ 30% Beauty-Anteil

~ 500 Beauty Ereignisse

HERA Beauty Resultate gegen Q^2

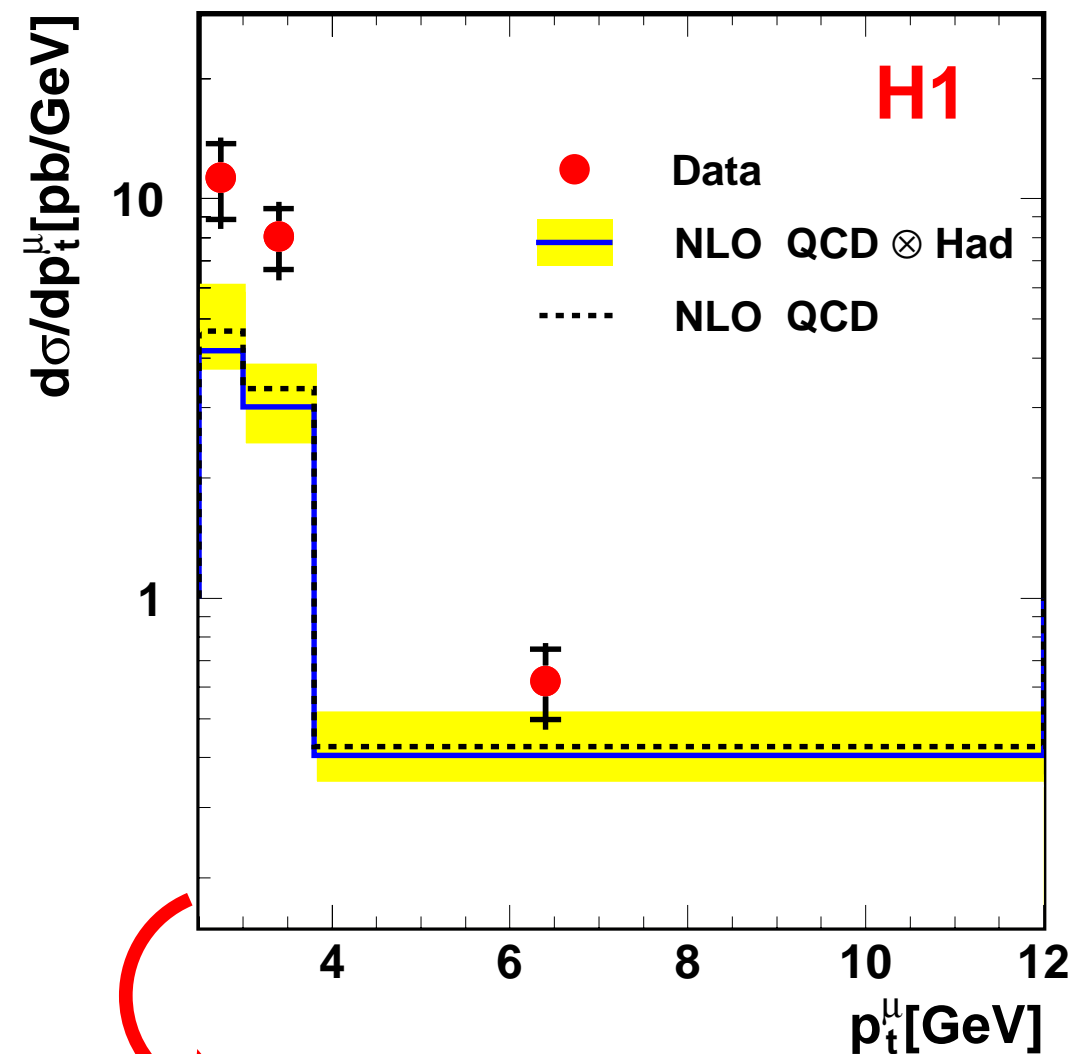
Daten/Massive NLO Rechnung



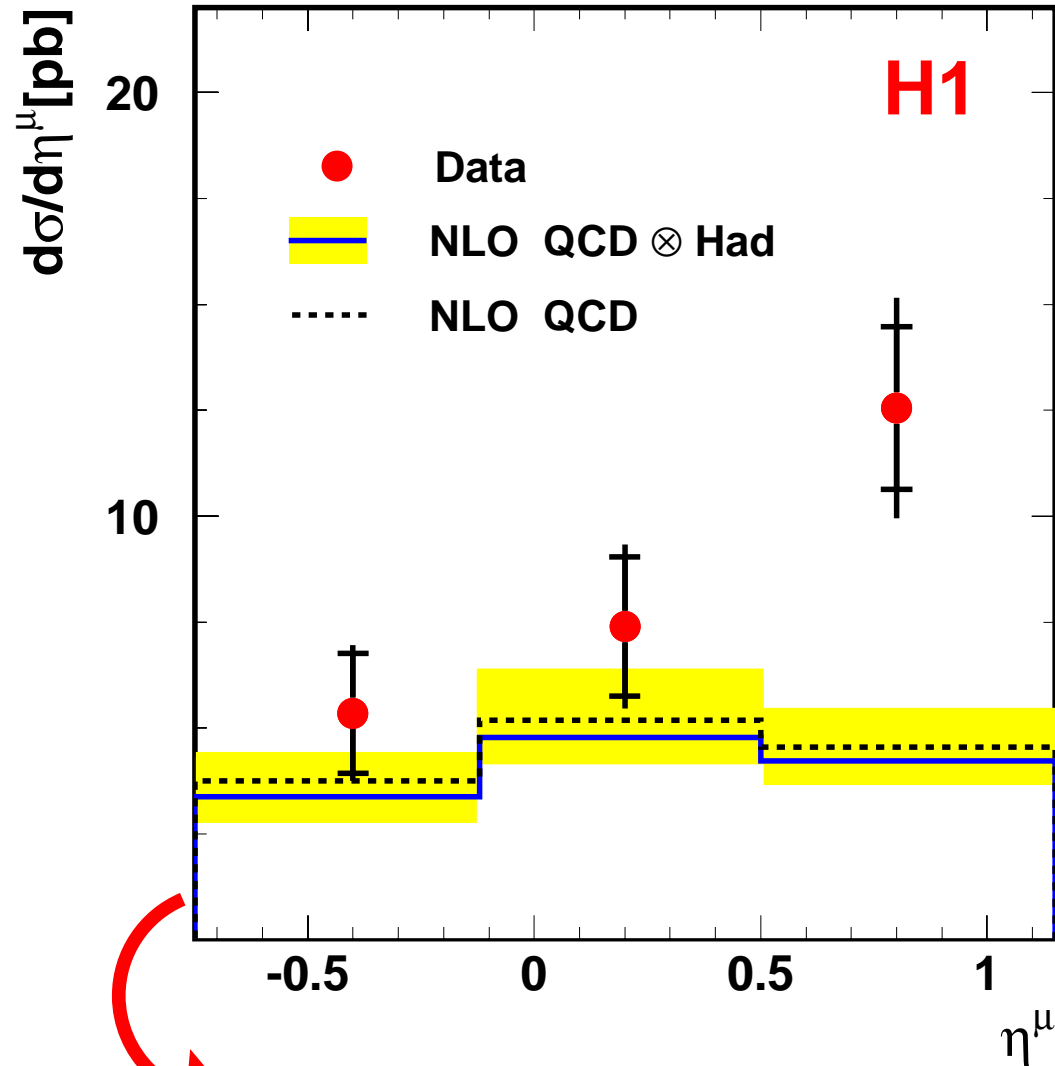
Daten liegen syst.
über massive NLO

*Masselose Rechnung
leider nicht verfügbar!*

Beauty in DIS: vs. Muon p_T und η



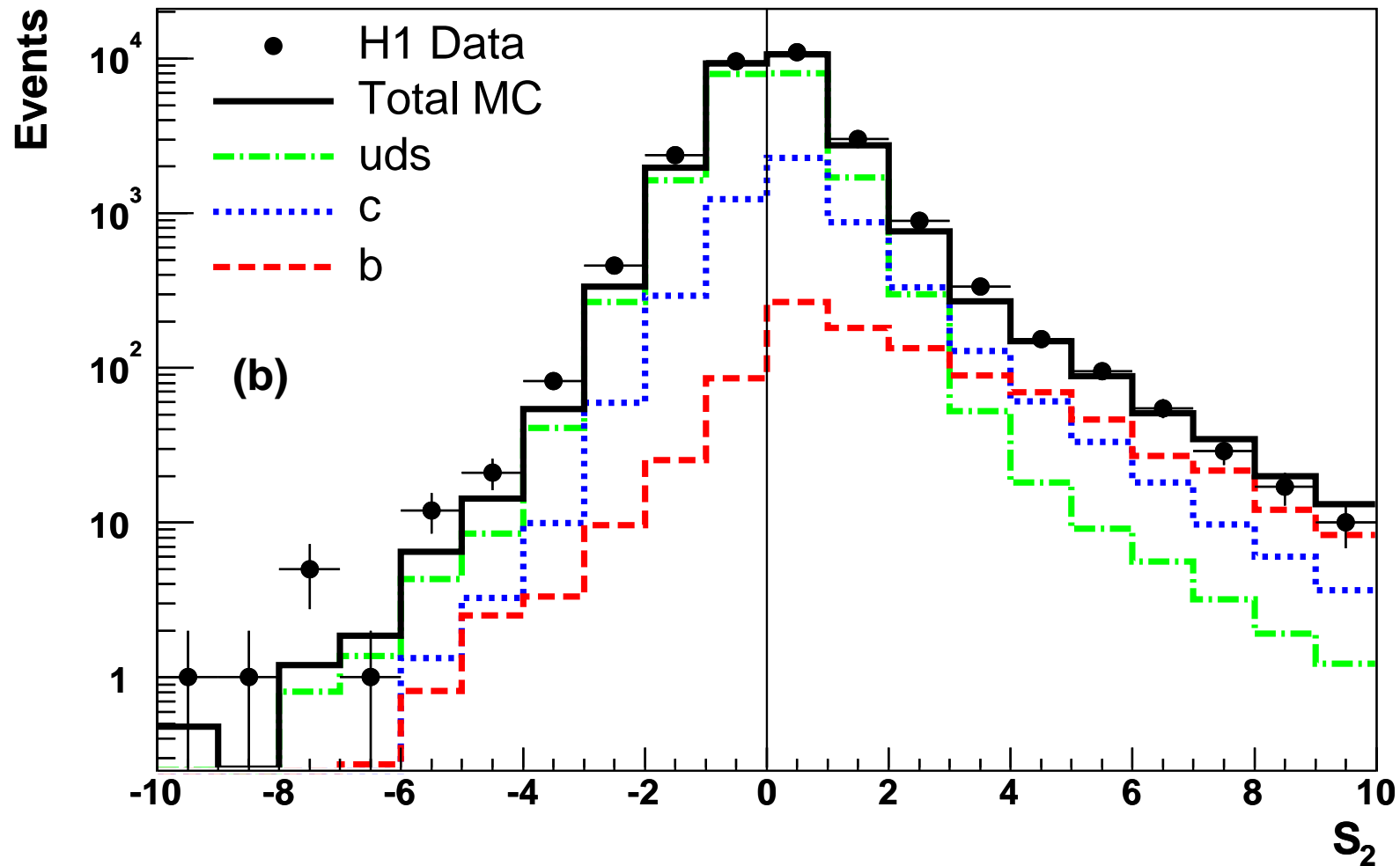
Massives NLO: Zu tief bei kleinen p_T^μ



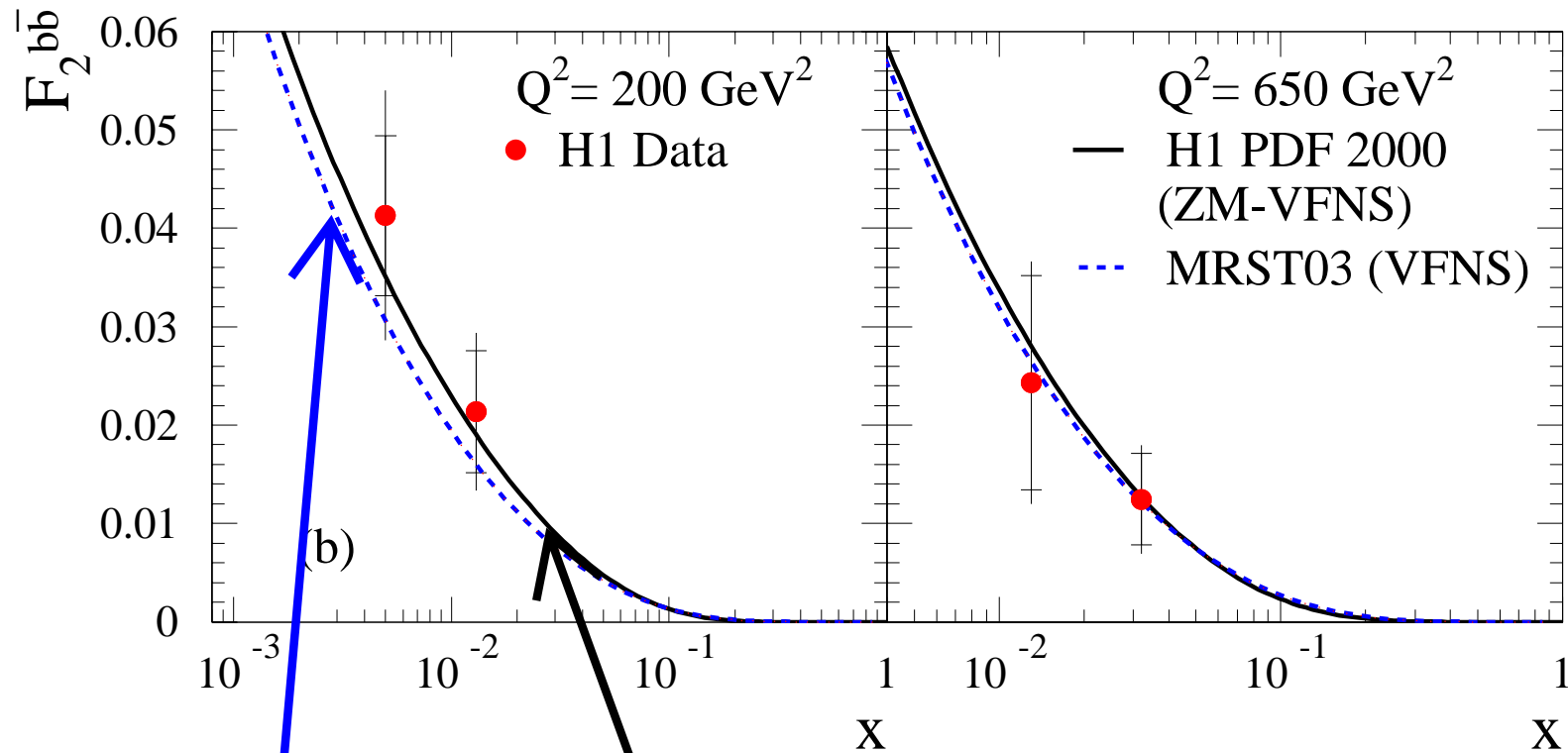
Massives NLO: Zu tief 'nach vorne'

Beauty in DIS: Inkl. Lifetime Tag bei hohen Q^2

- Nutze Impaktpar.-Signifikanz $S = \frac{\delta}{\sigma(\delta)}$
- Spur mit dem zweithöchsten S liefert gute Trennung b,c und uds



Beauty in DIS: $F_2^{b\bar{b}}$ bei hohen Q^2 (inkl. Lt-Tag)



Variables Schema

Masseloses NLO



Daten gut beschrieben durch beide Modelle

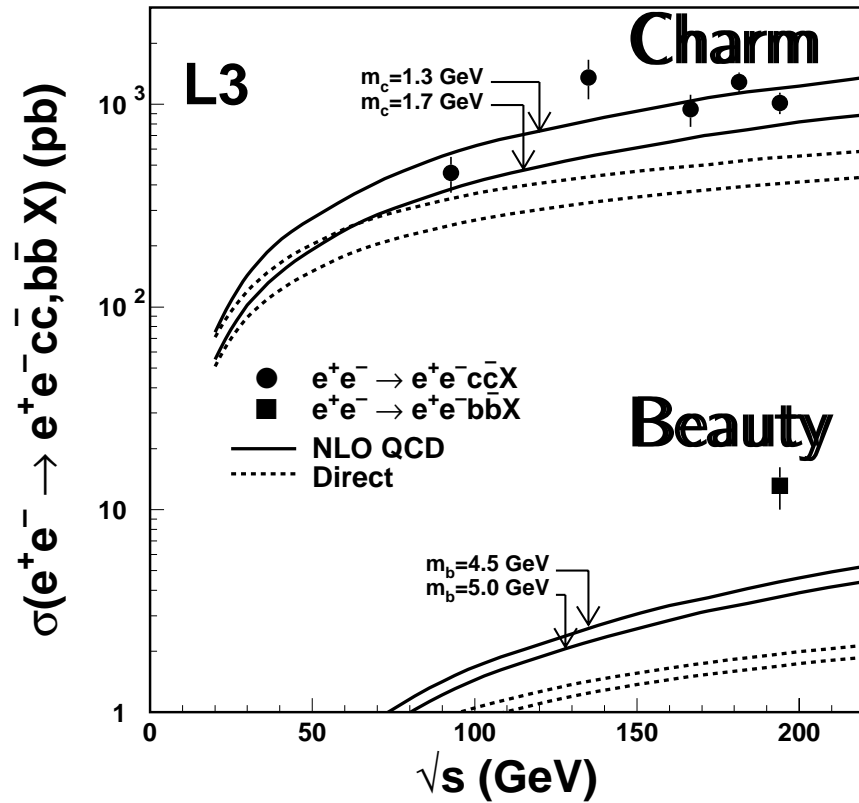
Massive Rechnung leider nicht verfügbar!

Zusammenfassung

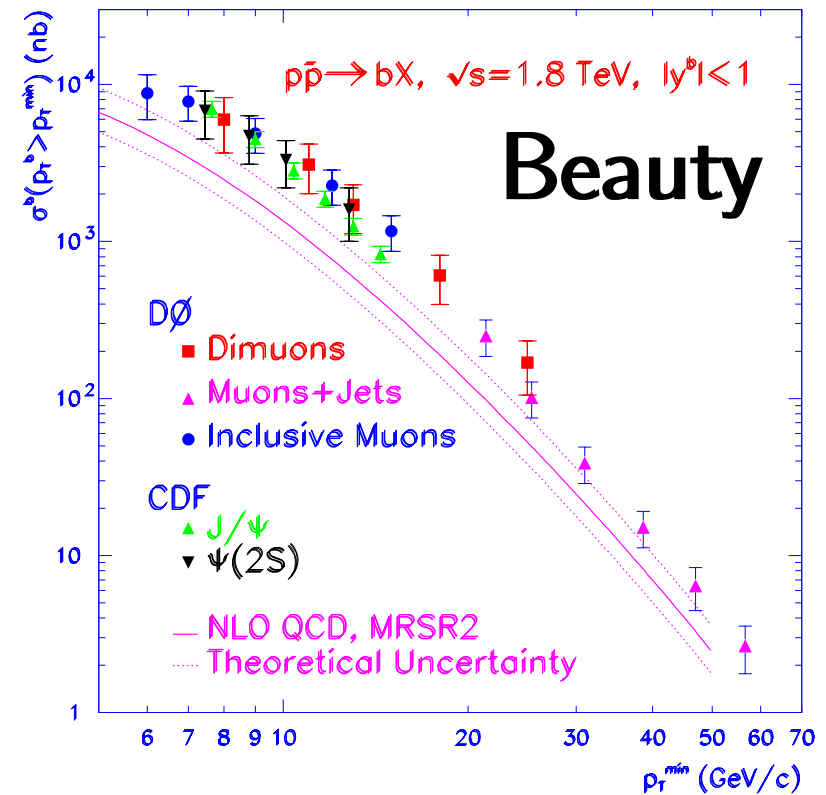
- Schwere Quarks bei HERA: → Ideales Testlabor der starken Kraft
- *Massive & Masselose* perturbative Modelle: → Können die Daten *im wesentlichen* beschreiben, Abweichungen zu Daten \leq Faktor 2
- Charm: → γp : Signifikanter Charm Anteil in hadr. γ -Struktur
→ DIS: Gute Beschreibung durch *massive* Modelle
- Beauty: → syst. höher als *massive* Modelle
- Fehlen wichtige Rechnungen (Bsp. *masselos* für DIS)

Ergebnisse an anderen Collidern

$\gamma\gamma$ LEP

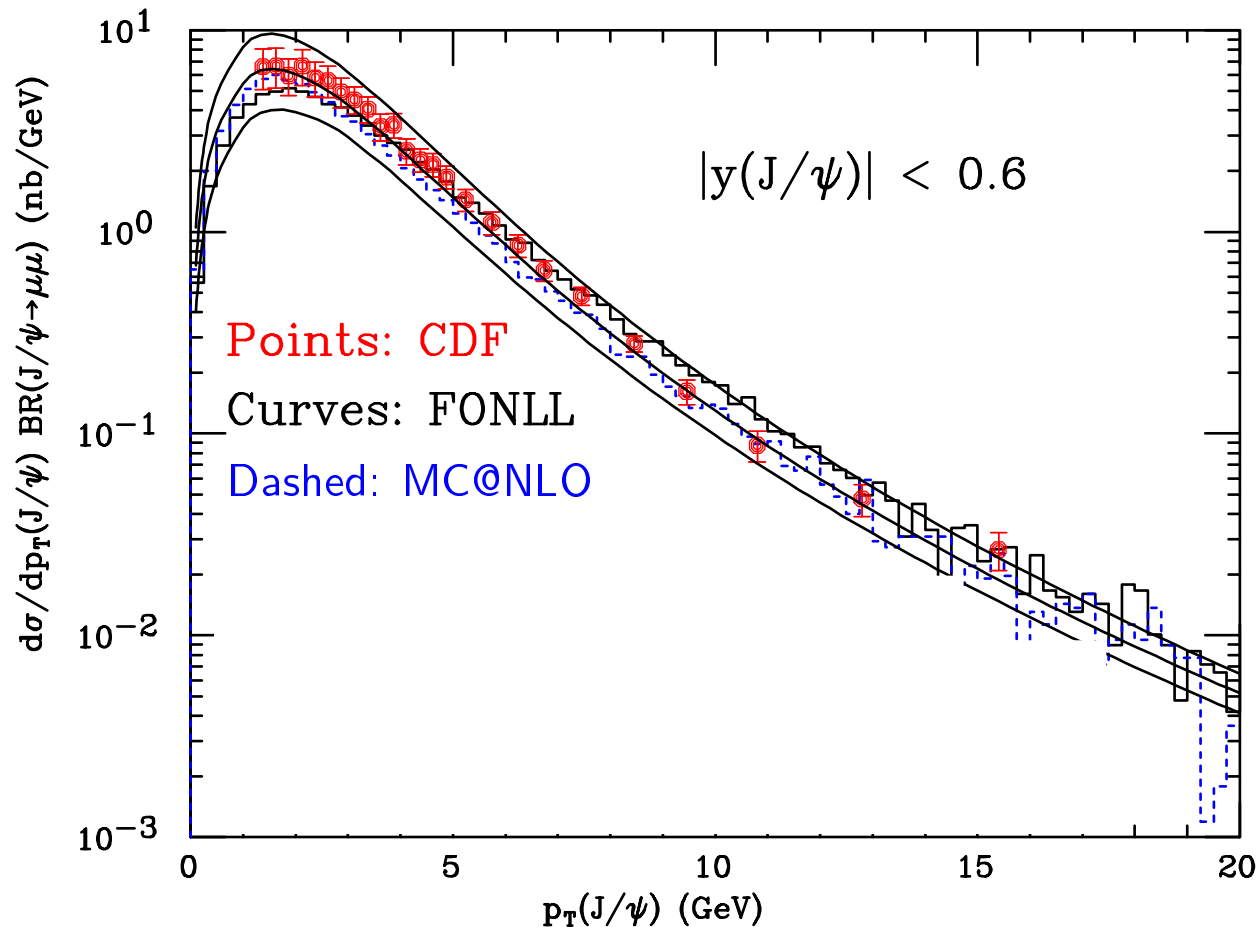


$p\bar{p}$ Tevatron RUN I



Überschüsse bei B-Produktion!

Beauty am Tevatron Run-II



Gute Beschreibung durch verbesserte Modelle:
FONLL = variables S.
MC@NLO = massives S.

Verbesserte Modelle für HERA leider nicht verfügbar!

Ausblick: HERA-II

- 5 mal mehr Stat. als HERA-I
- + Verbesserte Detektoren (Bsp. ZEUS Silicon Detektor)



- ⇒ Messungen in bislang nicht zugänglichen oder stat. limitierten Bereichen, Beispiele:
- Charm in Vorwärtsrichtung
 - Quark-Antiquark-Korrelationen (Double Tag)
- ⇒ Neue spannende Tests zum Verständnis der starken Kraft!