Beobachtung von Ereignissen mit sehr hohen Impulsüberträgen bei HERA

Peter Schleper

Heidelberg / CERN

für

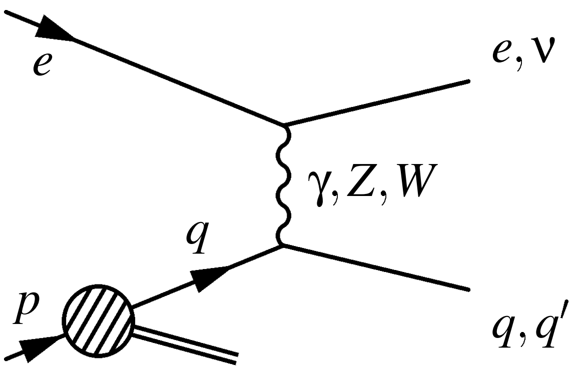
März 1997

Dieser Vortrag: **http://wwwcn1.cern.ch/∼schleper**

Tief- inelastische Streuung bei HERA

e^+: 27.55 GeV, p: 820 GeV $\rightarrow \sqrt{s} = 300$ GeV

Parton Kinematik in niederigster Ordnung



im $e^+ +$ parton Schwerpunktssystem:

invariante Masse^2 = $\boxed{M^2 = xs}$

Θ_e^* = Winkel zwischen gestreutem e^+ und Proton Strahl

$$\boxed{y = \frac{1}{2}\left(1 + \cos\Theta_e^*\right)}$$

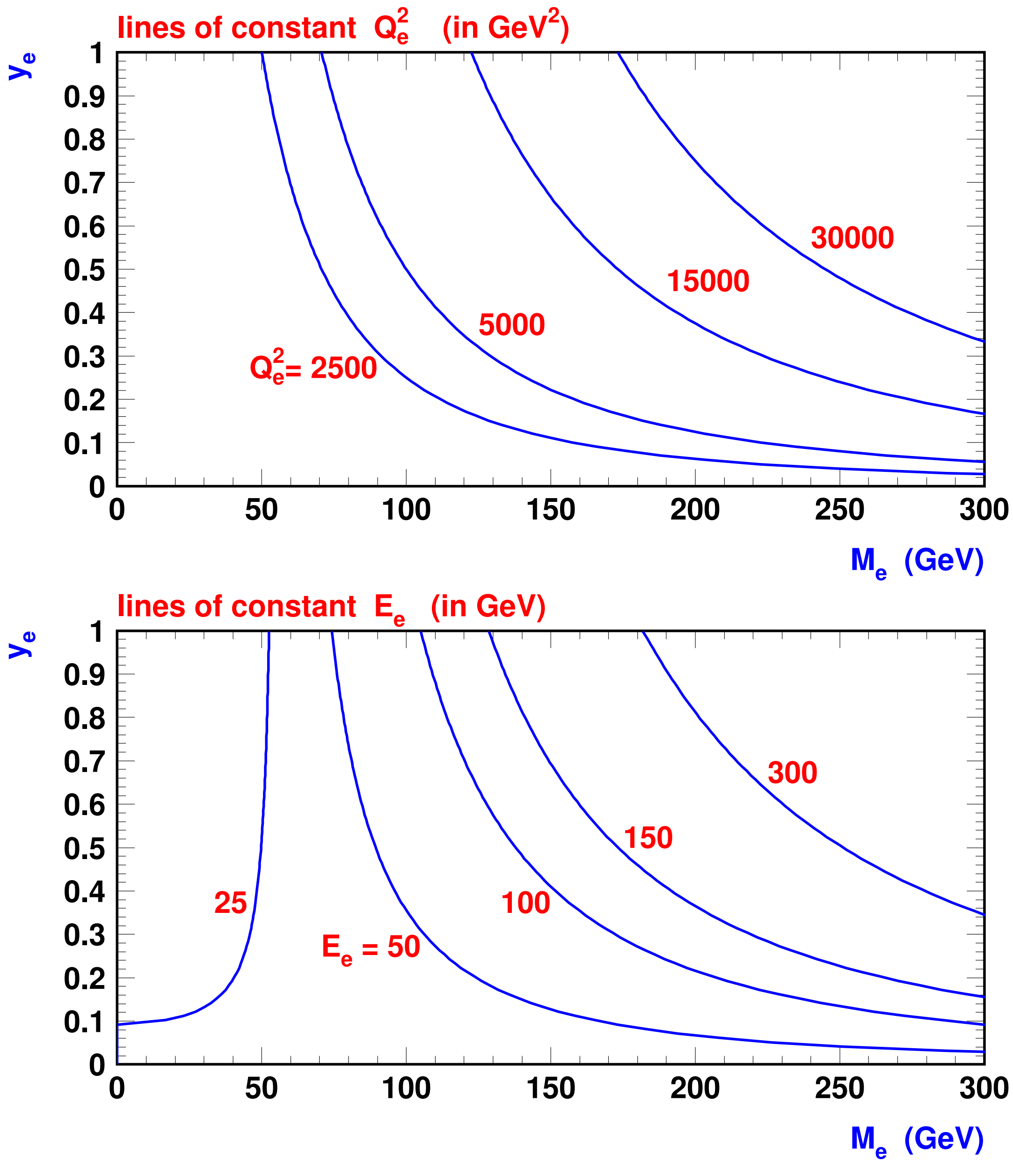
$$\boxed{Q^2 = M^2 y}$$

Kinematischer Bereich bei HERA: Q^2 bis 90000 GeV^2

Auflösungsvermögen: $\sim 10^{-16} cm$

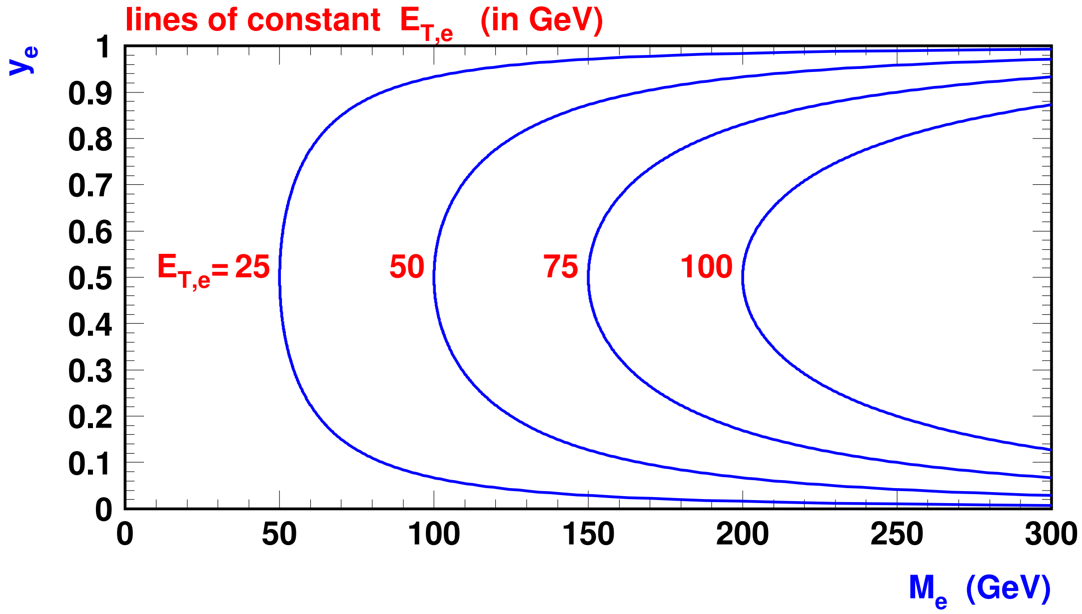
$\rightarrow$ Test der Struktur des Protons und seiner Partonen bei kleinsten Abständen.

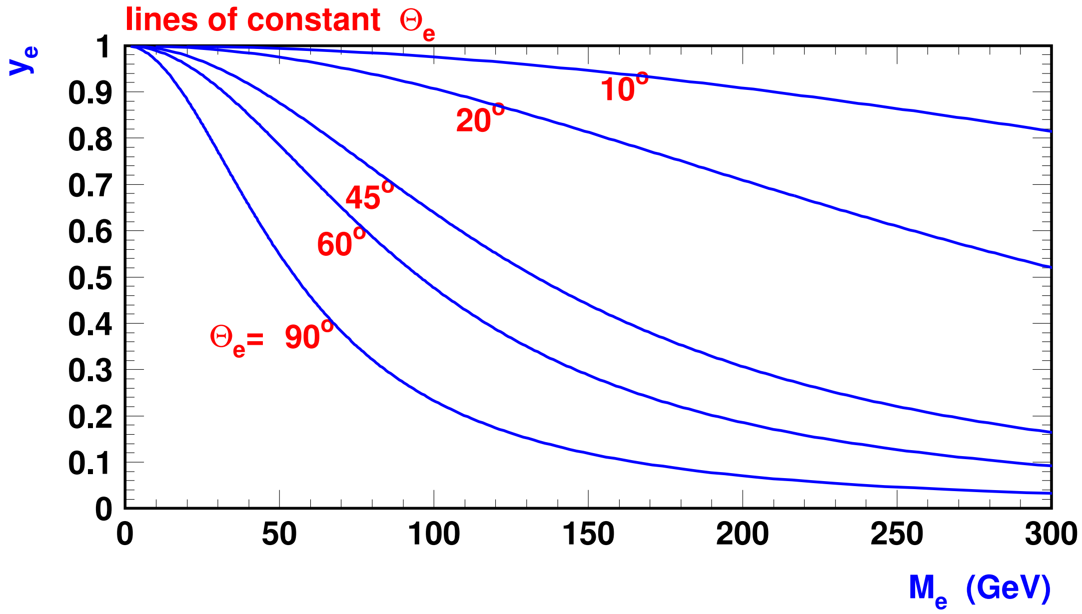
Kinematic of Deep Inelastic Scattering



Peter.Schleper@cern.ch

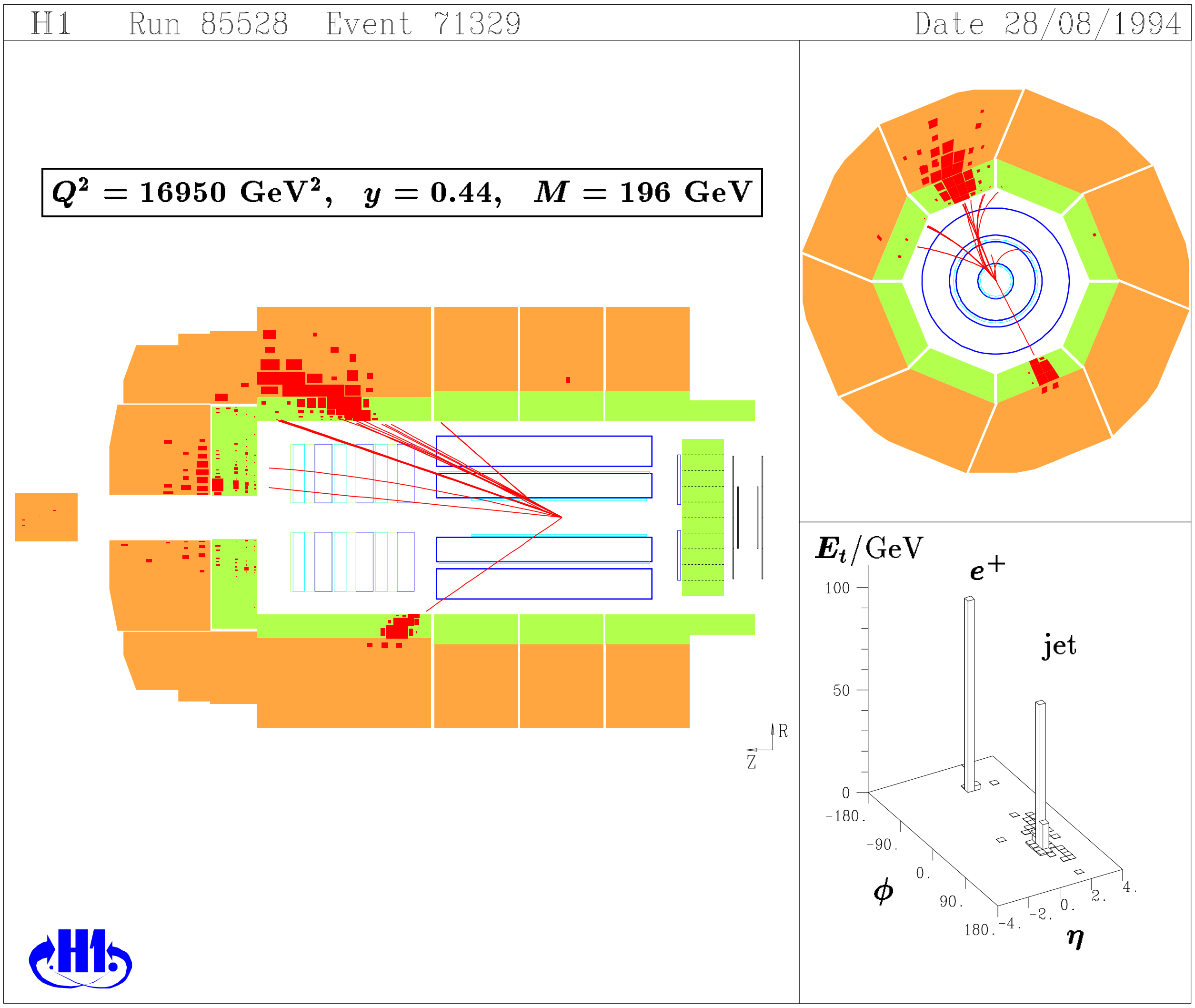
Kinematic of Deep Inelastic Scattering





Peter.Schleper@cern.ch H1 collaboration

$e^+p \rightarrow e^+X$ Ereignis



Flüssig Argon Kalorimeter

Sehr feine Segmentierung ($\approx$ 44000 Zellen)

- **Optimiert für Messung von Elektronen:**

  Elektron Identifizierung, $\delta\Theta_e \sim 2$mrad

  $\sigma(E)/E \simeq 12\%/\sqrt{E/\text{ GeV}} \oplus 1\%$

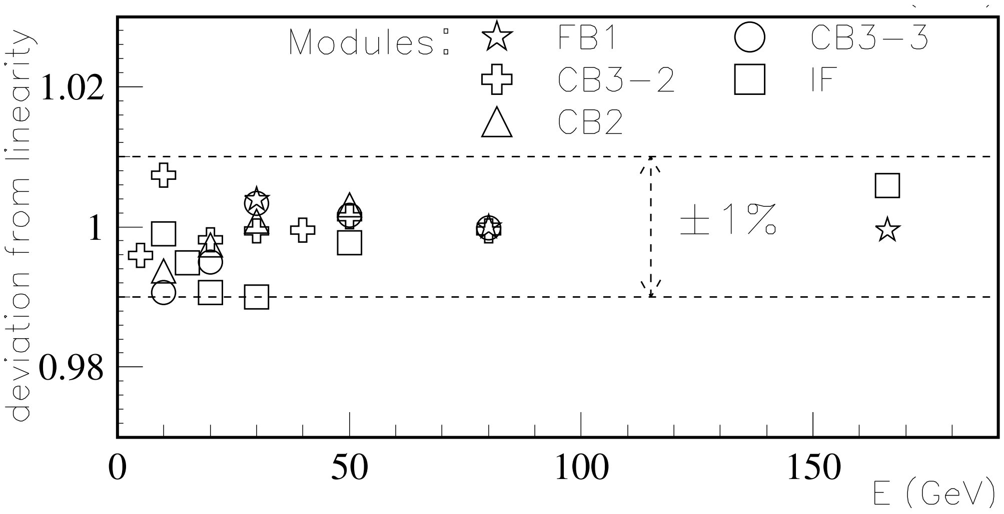
- **Energieauflösung für Hadronen:**

  $\sigma(E)/E \simeq 50\%/\sqrt{E/\text{ GeV}} \oplus 2\%$

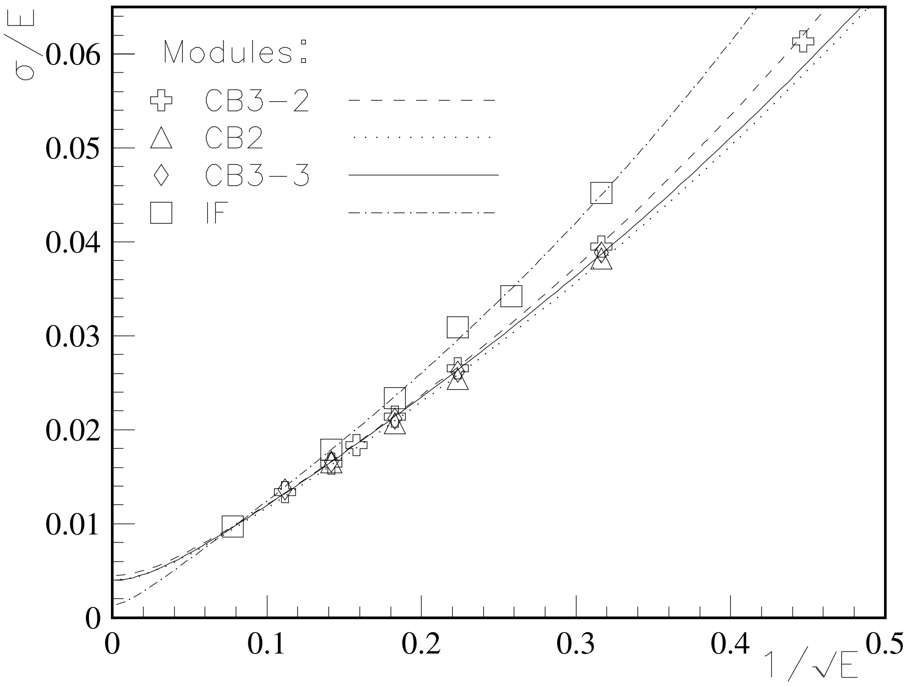
  gute Winkel- Auflösung

Elektron Test- Strahl Resultate

Linearität: $\pm 1\%$ bis 166 GeV



Auflösung: $dE_e/E_e = 12\%/\sqrt{E_e(\mathrm{GeV})} \oplus 1\%$



Rekonstruktion der Kinematik

Messung: $E_e, \Theta_e, E_h, \Theta_h \rightarrow M, y\ (Q^2)$

Kinematik überbestimmt

Elektron Methode: E_e, Θ_e **für NC Resultate**

$$Q^2 = -(e_o - e)^2 \qquad y = (e_o - e)p/e_0 p$$

$$M^2 = xs = Q^2/y$$

Hadron Methode: E_h, Θ_h **für CC Resultate**

hadronischer Energiefluß und Impulserhaltung

Doppel Winkel (2α) Methode: Θ_e, Θ_h **für Systematik**

$\sim$ **unabhängig von Energie Messungen**

Pseudorapidität $\eta_{e,h} = -\ln\tan\Theta_{e,h}/2$

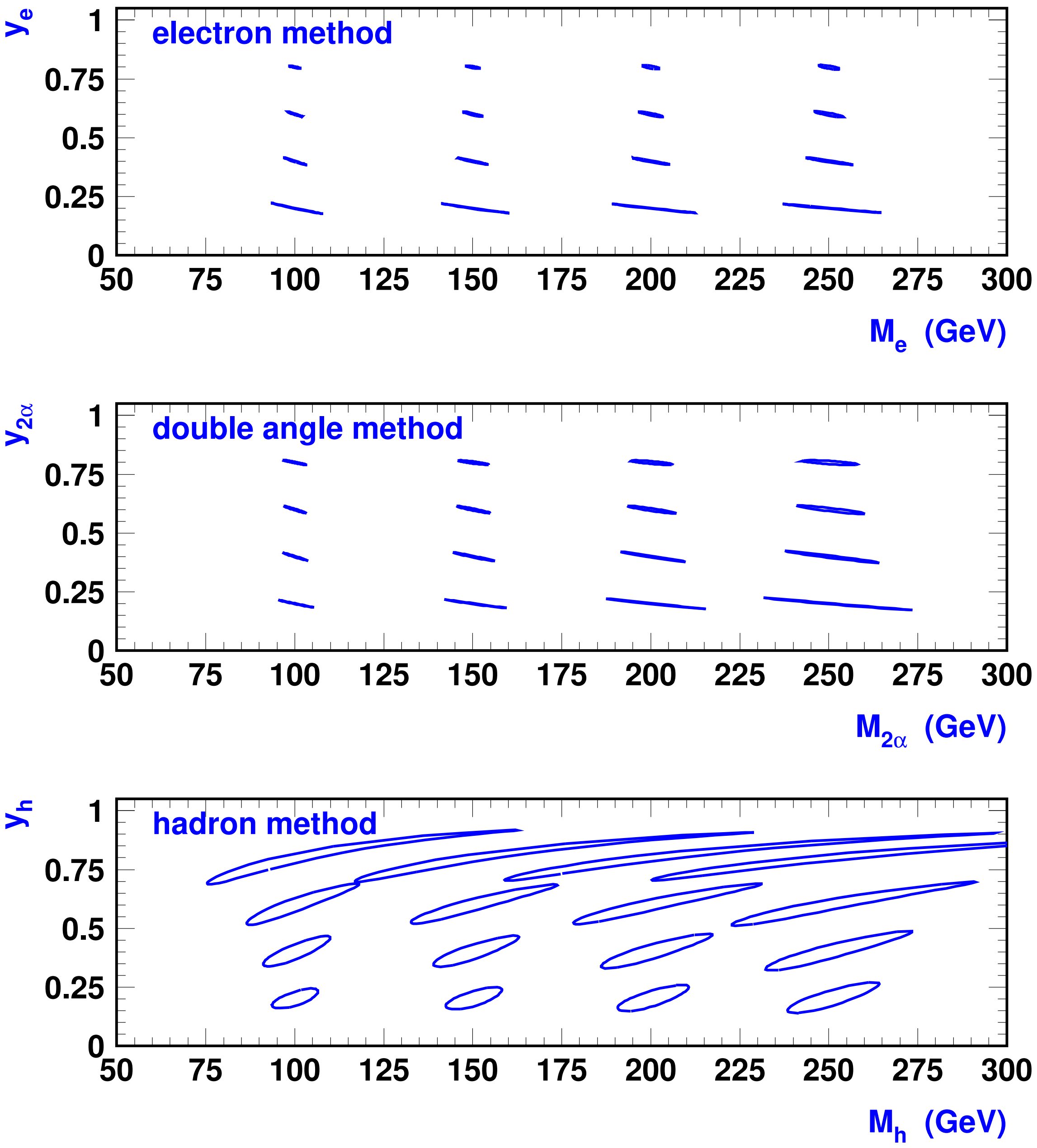
$$\boxed{M = 2E_e^0 e^{(\eta_h + \eta_e)/2}}$$

$$\boxed{y = \left(1 + e^{\eta_h - \eta_e}\right)^{-1}}$$

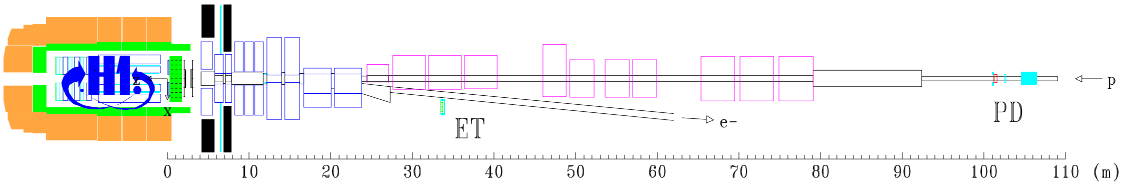
$\eta_e + \eta_h$ **groß** $\rightarrow$ **M groß**

$\eta_e - \eta_h$ **groß** $\rightarrow$ **y groß**

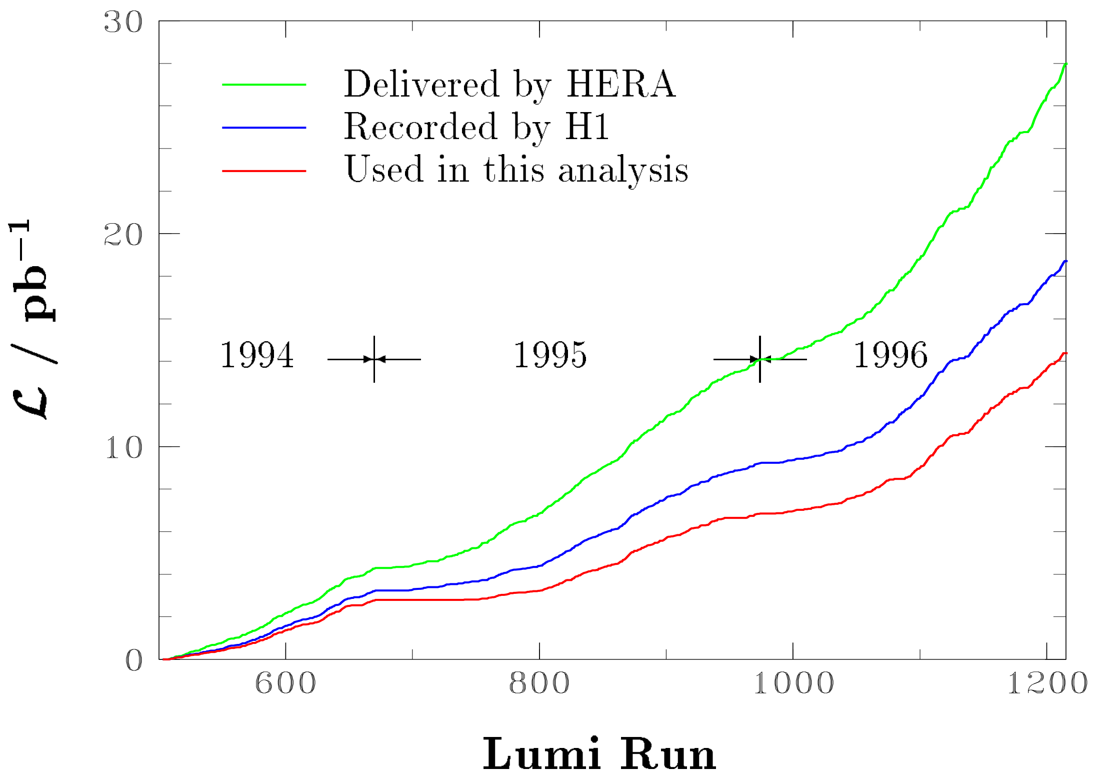
Measurement errors for Mass and y



LUMINOSITY



$$ep \rightarrow e\gamma p$$



e^+p collisions		$\mathcal{L}$ [pb^{-1}]	$\delta\mathcal{L}$ [%]
Delivered by HERA	$\mathcal{L}$	27.93 ± 0.42	1.5
Total accumulated	$\mathcal{L}$	18.42 ± 0.20	1.1
Nominal IP collisions	$\mathcal{L}$	18.16 ± 0.20	1.1
Detector status corrected	$\mathcal{L}$	15.34 ± 0.17	1.1
Satellite bunch corrected	$\mathcal{L}$	14.19 ± 0.32	2.3

$$\boxed{\mathcal{L} = 14.19 \pm 0.32 \ \mathrm{pb}^{-1}}$$

Selektion von $e^+p \rightarrow e^+X$ Ereignissen

e^+p Daten von 94' + 95' + 96': $14.19 \pm 0.32\, pb^{-1}$

Schnitte gegen Untergrund

- Vertex innerhalb der nominellen WW Zone
- Zeitmessung in der Jet-Kammer (± 1.6 ns / Ereignis)
- Filter gegen Halo- und kosmische Muonen

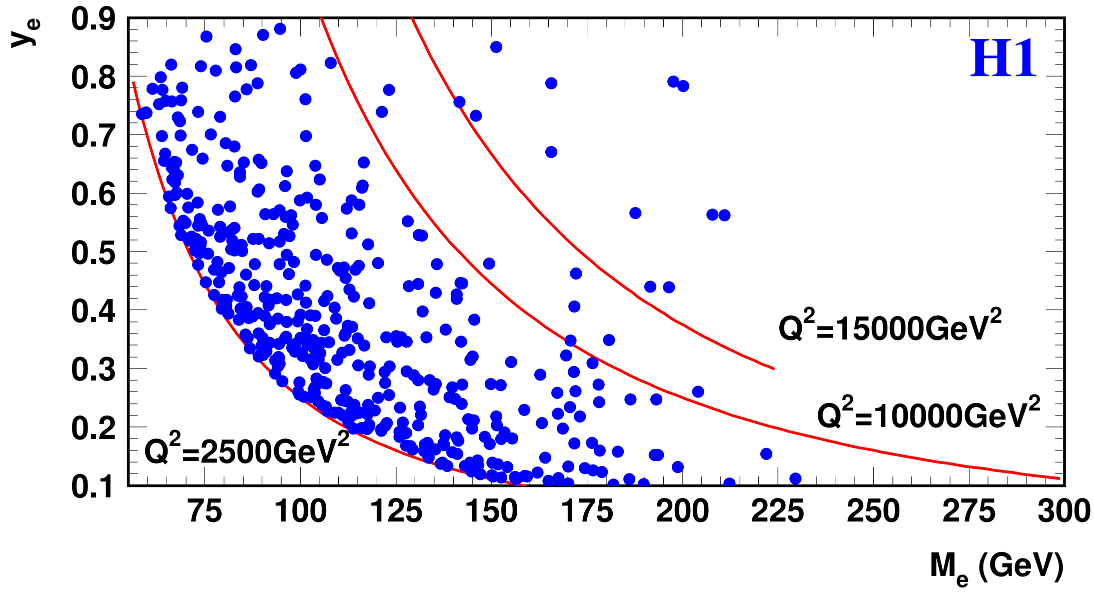
e^+ Selektion

- Elektron Identifikation:
  - Schauer- Form Test im Kalorimeter
  - Isolation in $\eta - \phi$ Konus ($R < 0.25$)
  - Geladene Spur
- $\boxed{E_{T,e} > 25 \text{ GeV}}$ $\boxed{\Theta_e > 10^o}$
- $\boxed{Q_e^2 > 2500 \text{ GeV}^2}$ $\boxed{0.1 < y_e < 0.9}$
- Implus Balance
  - transversal: $P_{T,miss} / \sqrt{E_T} < 3\sqrt{GeV}$
  - longitudinal: $43 < \sum E - P_z < 63$ GeV

    $2E_e^o = 55$ GeV erwartet

    verwirft Ereignisse mit Bremsstrahlung

$e^+p \rightarrow e^+X$ Ereignisse



Elektron Methode

$Q_e^2 > 2500$ GeV^2 $\qquad\qquad 0.1 < y_e < 0.9$

- **beobachtete Ereignisse:** 443
- **erwartete Ereignisse:** 427 ± 38

Nachweiswahrscheinlichkeit: $N_{exp}/N_{gen} \sim 80\%$

Vorhersagen zur tief inelastische Streuung

Quark Dichten bei $x \sim 0.5$ und großen Q^2

- x- Abhängigkeit aus Daten bei kleinen Q^2

μ- Nukleon Streuung:	BCDMS, NMC, SLAC,	$x < 0.8$
ν- Nukleon Streuung:	CCFR, CDHS	$x < 0.7$
Drell-Yan, direkte γ:	$p\bar{p}$ Exp.,	$x < 0.5$
ep Streuung:	H1, ZEUS	$x < 0.3$

- Parametrisierungen der x- Abhängigkeit

  MRS, CTEQ, GRV: hier MRS H $\pm 5\%$

- QCD Evolution zu großen Q^2

  α_s klein: Störungsrechnung o.k., DGLAP-NLO $\pm 4\%$

- F$_L$=0

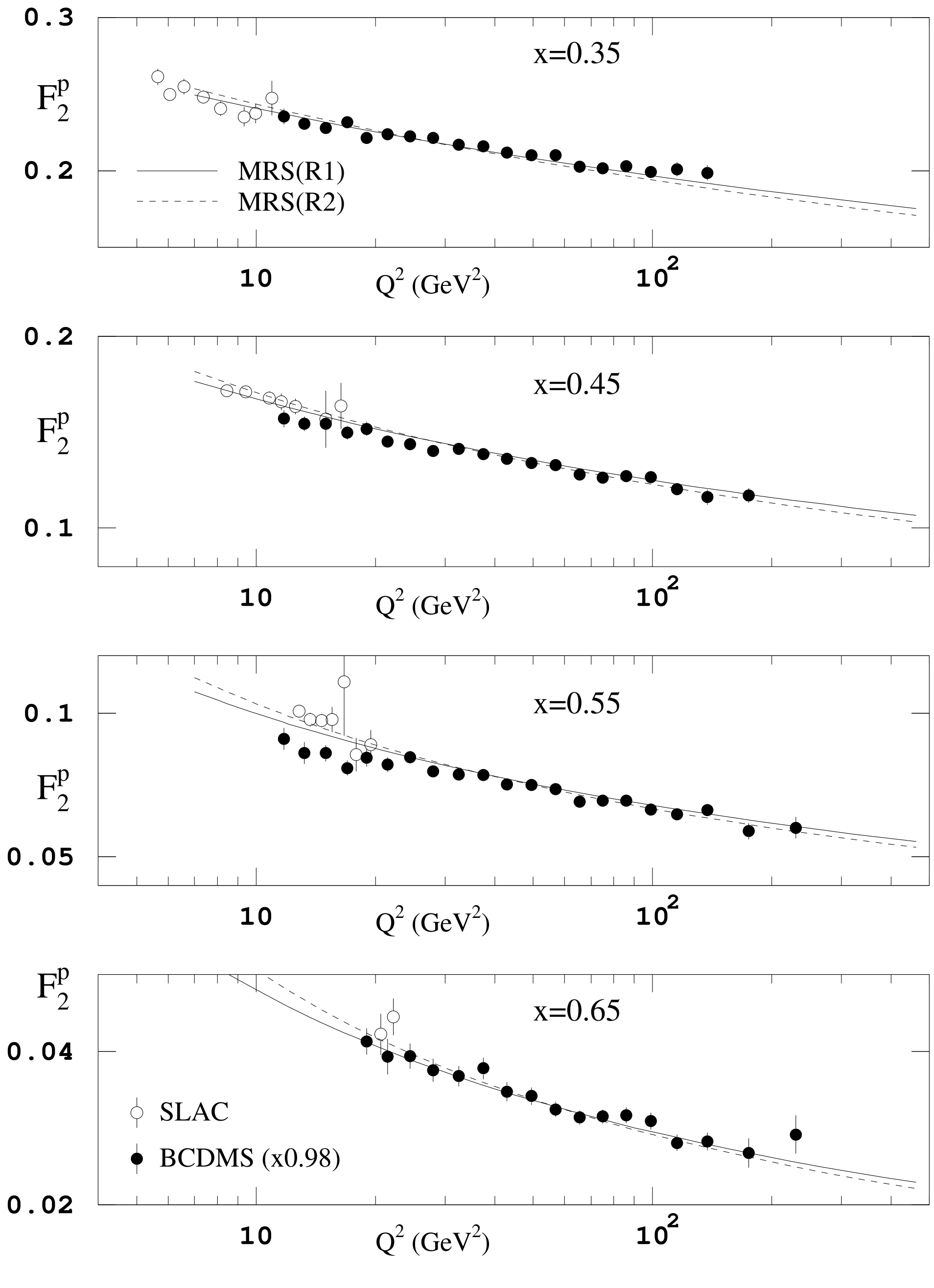
γ/Z Austausch

- elektro-schwache Parameter: LEP

- QED Strahlungskorrekturen zur $\mathcal{O}(\alpha_{elm})$ $\pm 2\%$

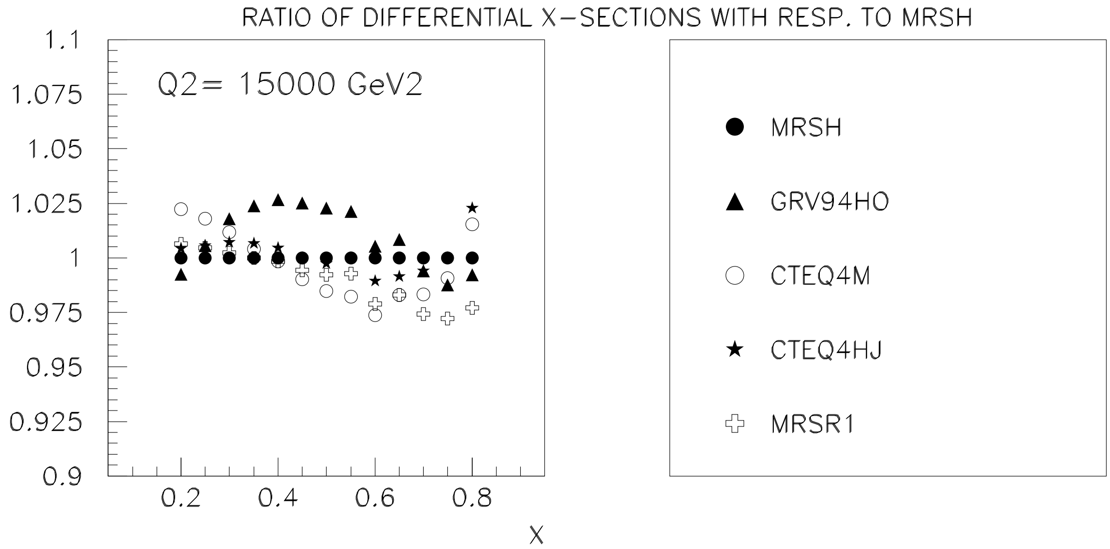
Unsicherheit der Vorhersage: 7%

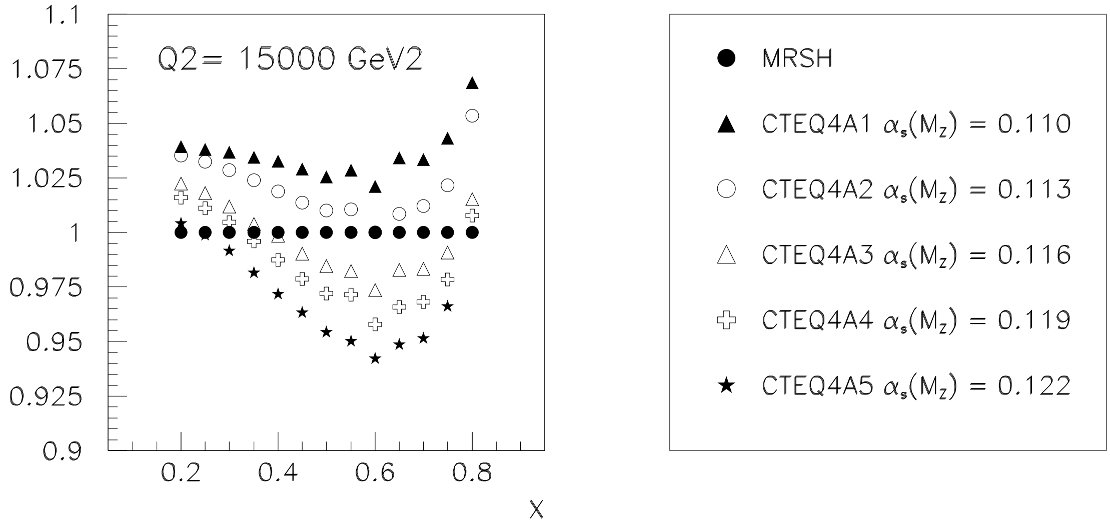
Strukturfunktion von Experimenten bei kleinen Q^2



Q^2 (GeV^2)

Comparison of Parton Density Parameterizations



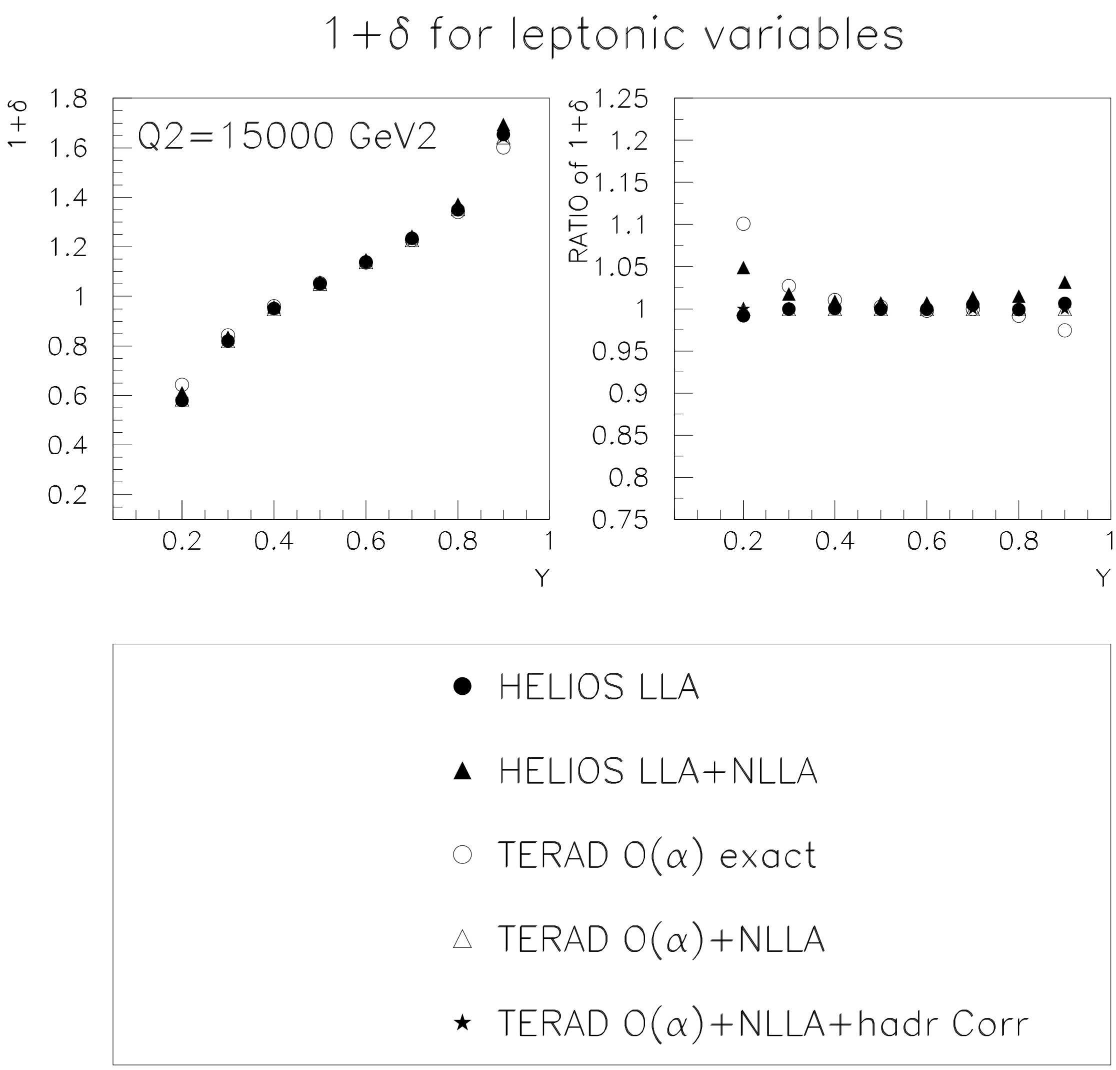


$\overline{MS}$ **scheme**

parton densities: $\pm 5\%$

$$\mathbf{0.11 \le \alpha_s \le 0.122: \pm 4\%}$$

Higher Order QED Corrections



systematic error: $\pm 2\%$

Peter.Schleper@cern.ch

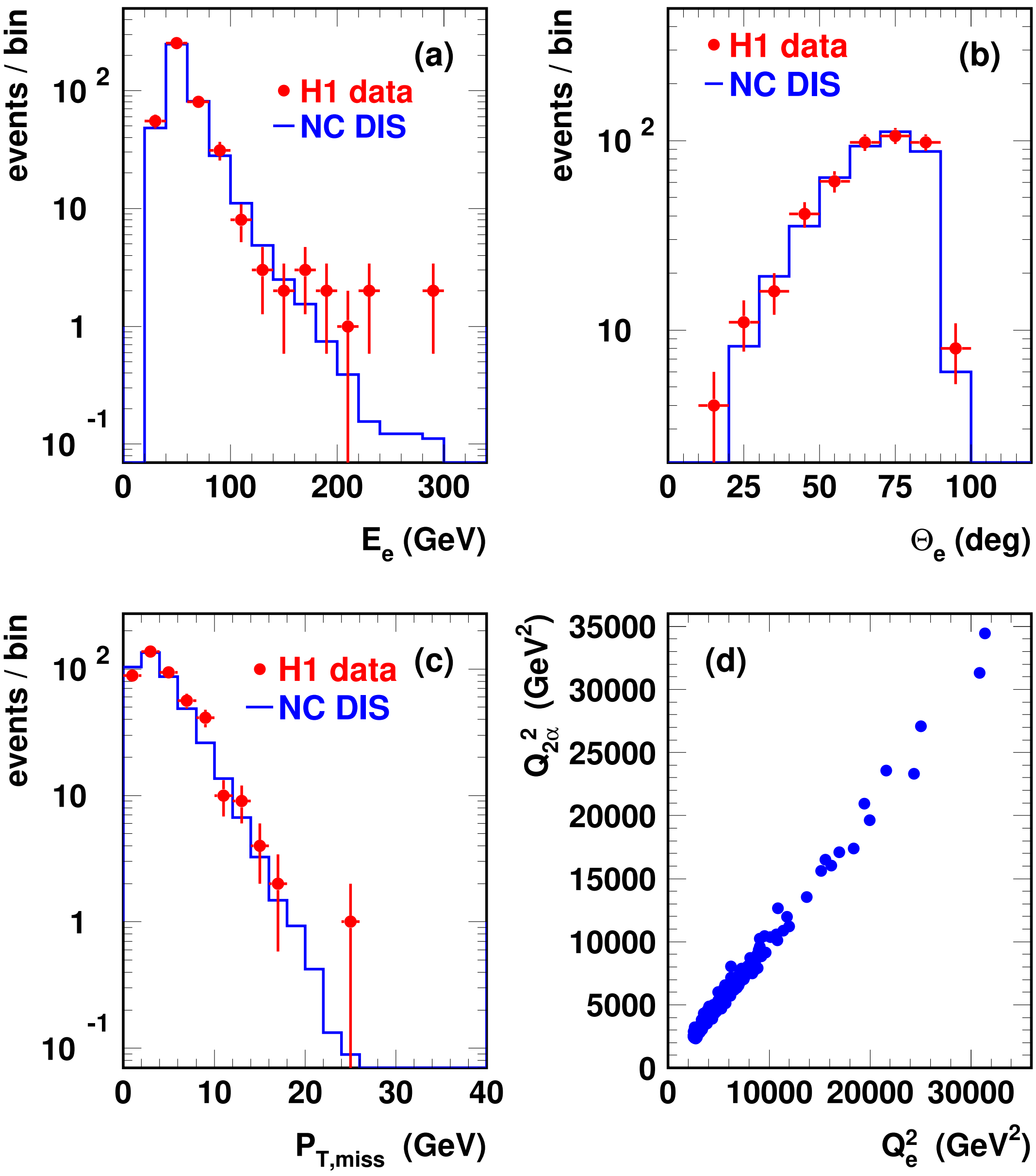
Andere SM Prozesse

Partonic Process (example)	Generator Model	Simulated Luminosity (pb^{-1})	Upper Limits (95% CL) on Events per 14.19 pb^{-1}
Single W and Z Boson Production			
$e + q \longrightarrow W + e + X$	H1EPVEC		
$\hookrightarrow e + \nu$		8600	0.005
$\hookrightarrow$ jet + jet		1400	0.16
$e + q \longrightarrow Z + e + X$	H1EPVEC		
$\hookrightarrow e^+ + e^-$		42000	0.003
$\hookrightarrow \tau^+ + \tau^-$		59000	0.001
$\hookrightarrow$ jet + jet		3600	0.18
Photoproduction of high P_T jets (direct and resolved)			
$\gamma + q(g) \rightarrow q + g(\bar{q})$	PYTHIA		
(hard jet)		500	0.38
(hard fragmentation)		500	0.31
Heavy Flavour Production (direct and resolved)			
$\gamma + g \longrightarrow c + \bar{c}$	PYTHIA	600	0.07
$\gamma + g \longrightarrow b + \bar{b}$		600	0.07
Prompt Photon Production (direct and resolved)			
$\gamma + q \rightarrow q + \gamma$	PYTHIA	500	0.09
Two-photon processes			
$\gamma + \gamma \longrightarrow e^+ + e^-$	LPAIR	4500	0.04
$\gamma + \gamma \longrightarrow q + \bar{q}$		17000	0.002

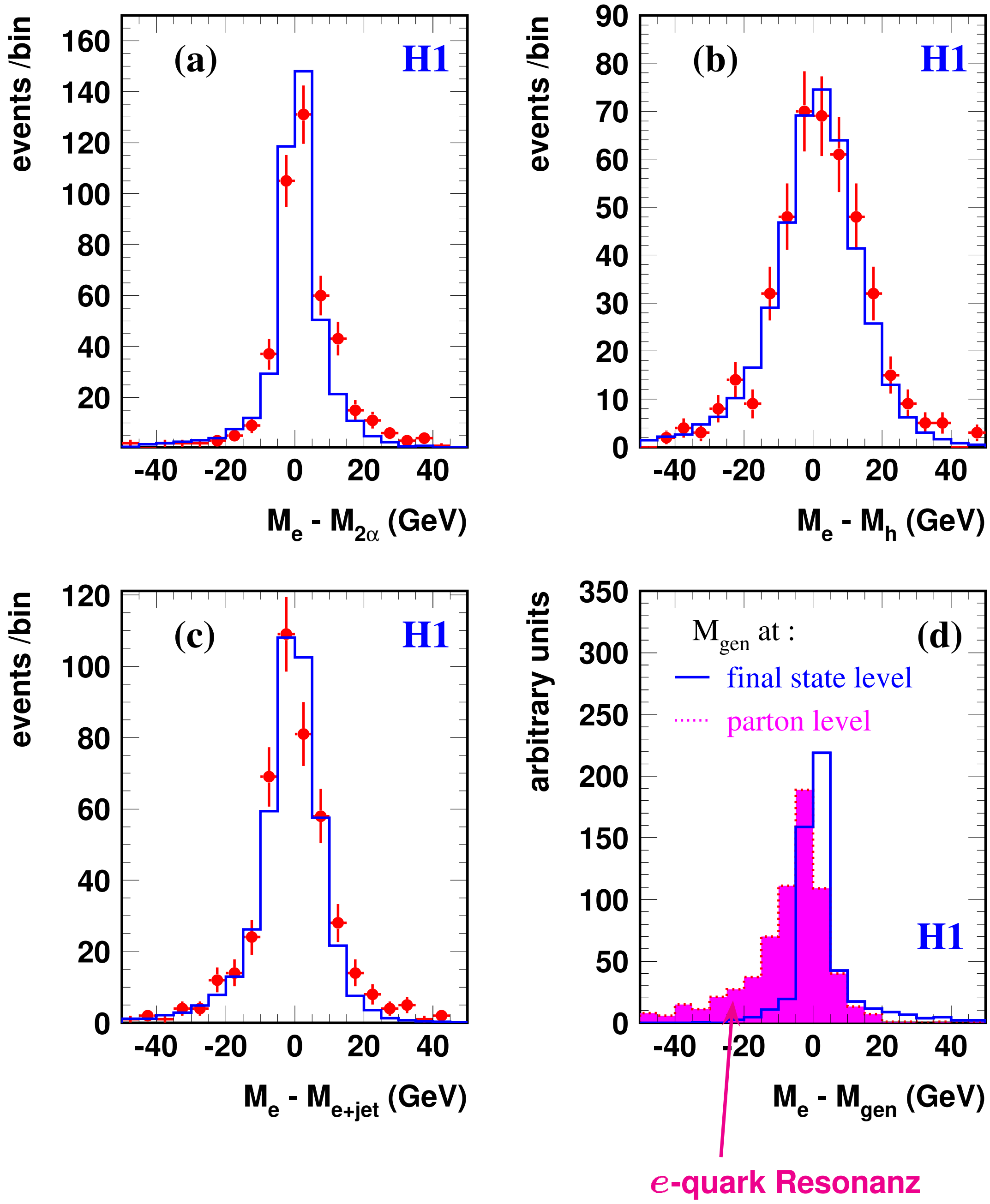
voller Datensatz: **Beitrag $< 0.1\%$**

$Q^2 > 10000$ GeV^2: **Beitrag < 0.1 Ereignis**

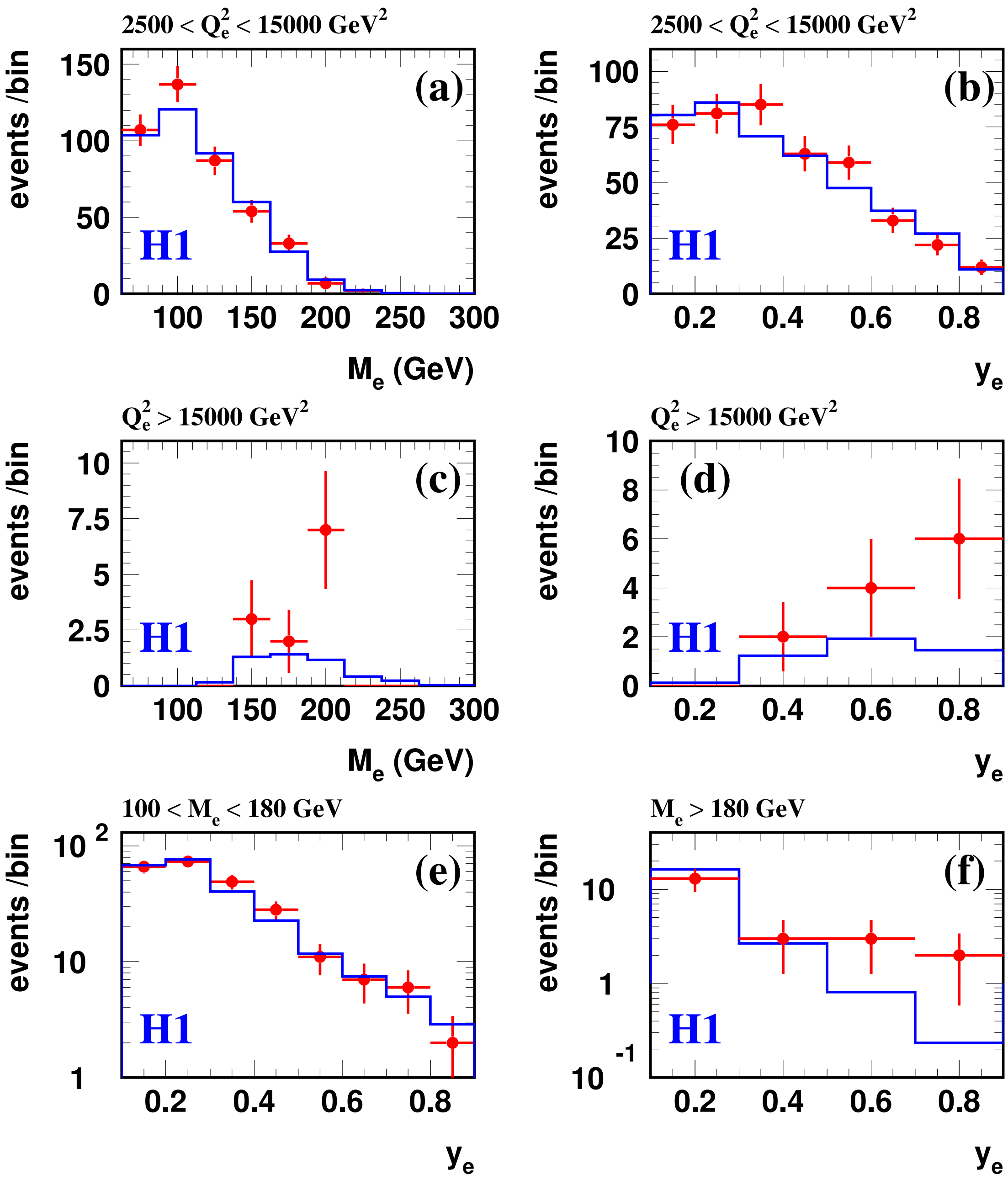
$e^+p \rightarrow e^+X$ Ereignisse



Massen Rekonstruktion

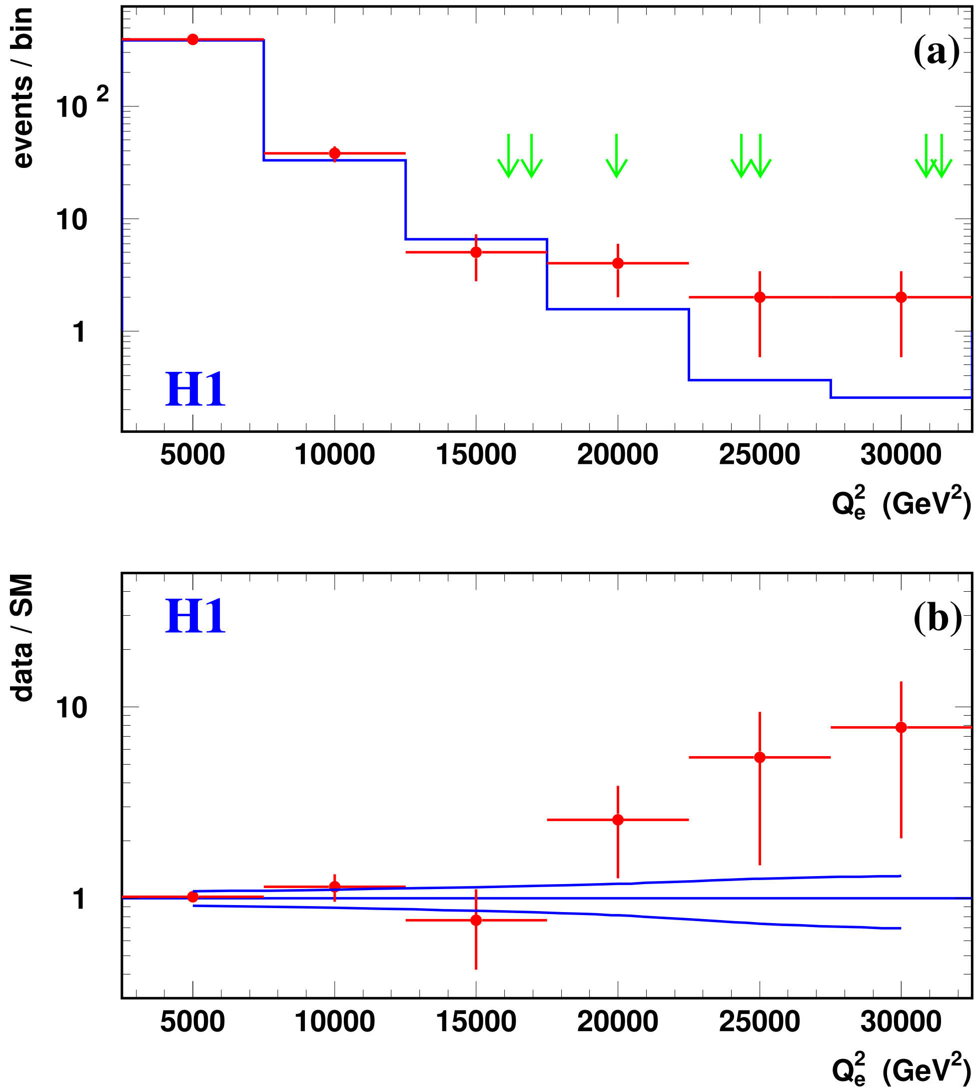


Gute Übereinstimmung der Rekonstruktions- Methoden.



- Mehr Ereignisse beobachtet als erwartet bei großen Q^2, besonders bei $M_e \sim 200$ GeV.
- Bei großen $M_e \Rightarrow$ Überschuß bei großen y_e.

Q^2 Verteilung



Fehler dominiert durch Energie Skala für e^+:

$\sim 8.5\%$ bei kleinen Q_e^2,

$\sim 30\%$ bei den größten Q_e^2.

$e^+p \rightarrow e^+X$ Ereignisse mit $Q^2 > Q^2_{min}$

Q^2_{min} (GeV^2)	2500	10000	15000	20000	30000
N_{obs}	443	20	12	5	2
N_{DIS}	426.7 $\pm$ 38.4	18.3 $\pm$ 2.4	4.71 $\pm$ 0.76	1.32 $\pm$ 0.27	0.23 $\pm$ 0.05
$\mathcal{P}(N \geq N_{obs})$	0.35	0.39	6×10^{-3}	1.4×10^{-2}	2.3×10^{-2}

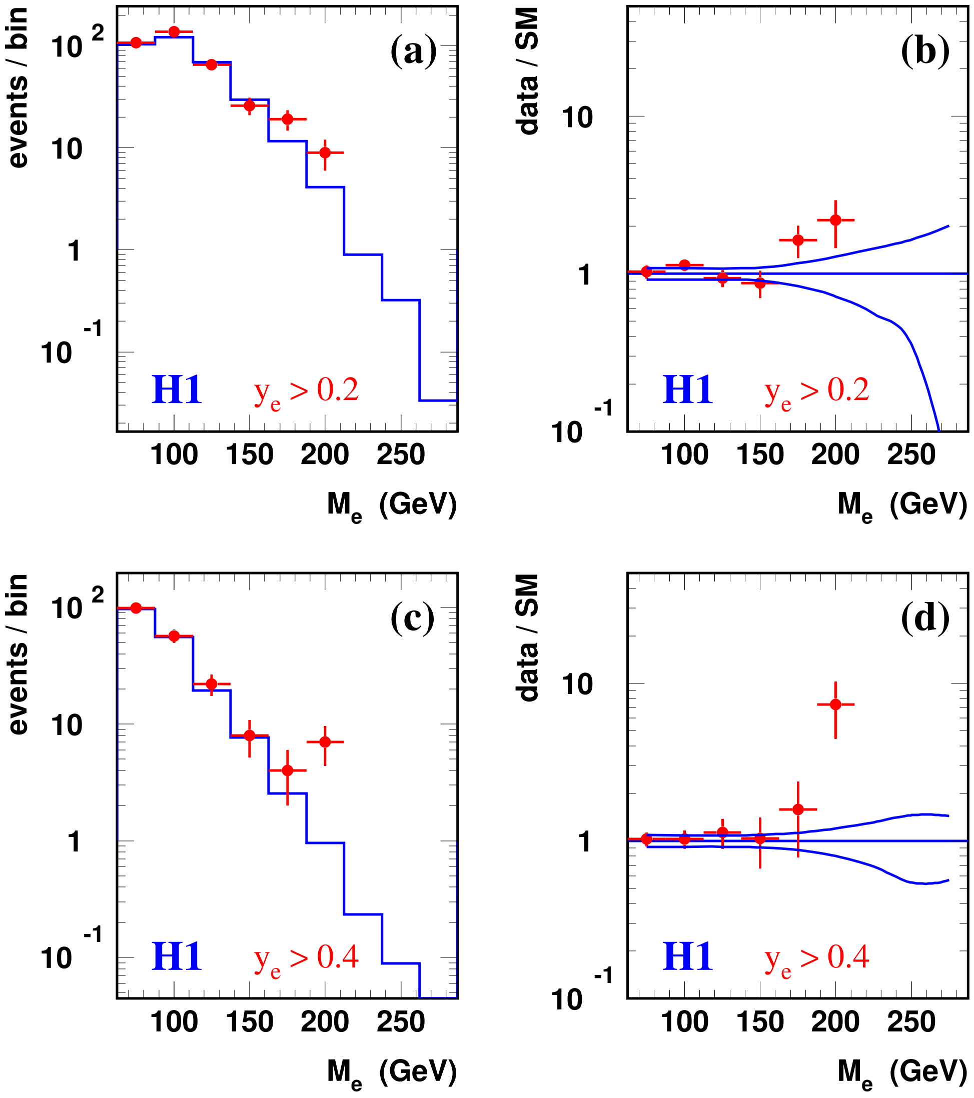
Poisson Wahrscheinlichkeit für
Anzahl erwartete Ereignisse $\geq$ Anzahl geobachtete Ereignisse:

$$\mathcal{P}(N \geq N_{obs}) = \int_0^{+\infty} dx G(x; b, \delta b) \sum_{k=N_{obs}}^{\infty} p(k; x)$$

wobei:

- $p(k; x)$ = Poisson Wahrscheinlichkeit k Ereignisse zu beobachten wenn x Ereignisse erwartet werden.
- $G(x; b, \delta b)$ = Gauß Verteilung für mittlere Erwartung $\pm$ systematischer Fehler.

Massen- Verteilungen



- Überschuß bei den höchsten Massen,
- deutlicher sichtbar bei großen y.

$e^+ p \to e^+ X$ Ereignisse mit $M > 180$ GeV, $y > 0.4$

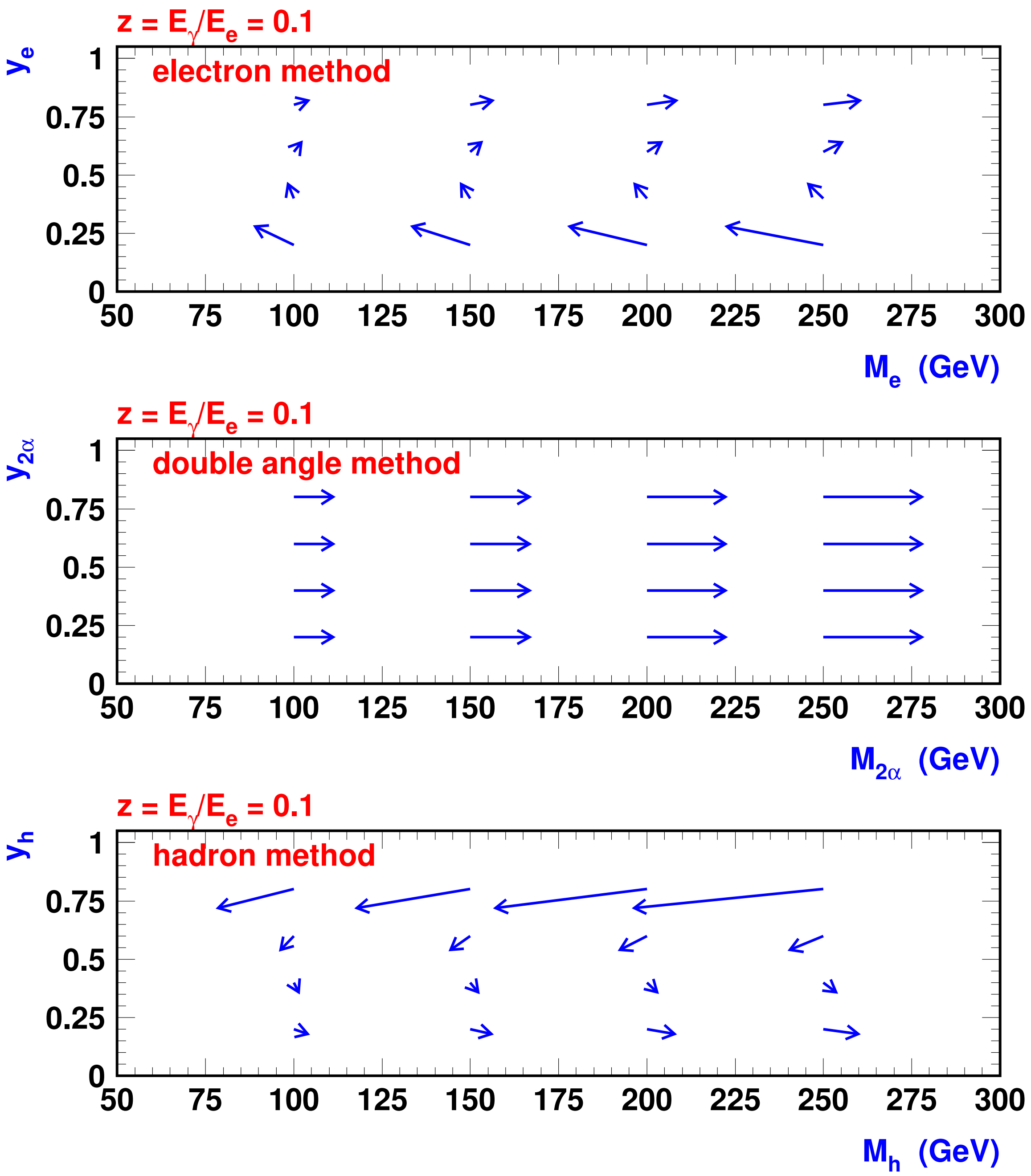
	Run # Event #	M_e (GeV)	$M_{2\alpha}$ (GeV)	M_{e+jet} (GeV)	y_e	$y_{2\alpha}$	Q^2_e (GeV^2)	$Q^2_{2\alpha}$ (GeV^2)
1	85528	196	198	195	.439	.434	16950	17100
	71329	±5			±.014		±360	
2	87050	208	200	213	.563	.582	24350	23320
	8062	±4			±.012		±430	
3	88999	188	185	184	.566	.573	19950	19640
	106218	±12			±.032		±1400	
4	119314	198	199	197	.790	.787	30870	31320
	18272	±2			±.008		±530	
5	122145	211	227	211	.562	.526	25030	27100
	69506	±4			±.012		±440	
6	155768	192	190	215	.440	.443	16130	16050
	67216	±6			±.016		±400	
7	158577	200	213	210	.783	.762	31420	34450
	100110	±2			±.008		±540	

Mittelwert $M_e = 200.8 \pm 2.2$ GeV

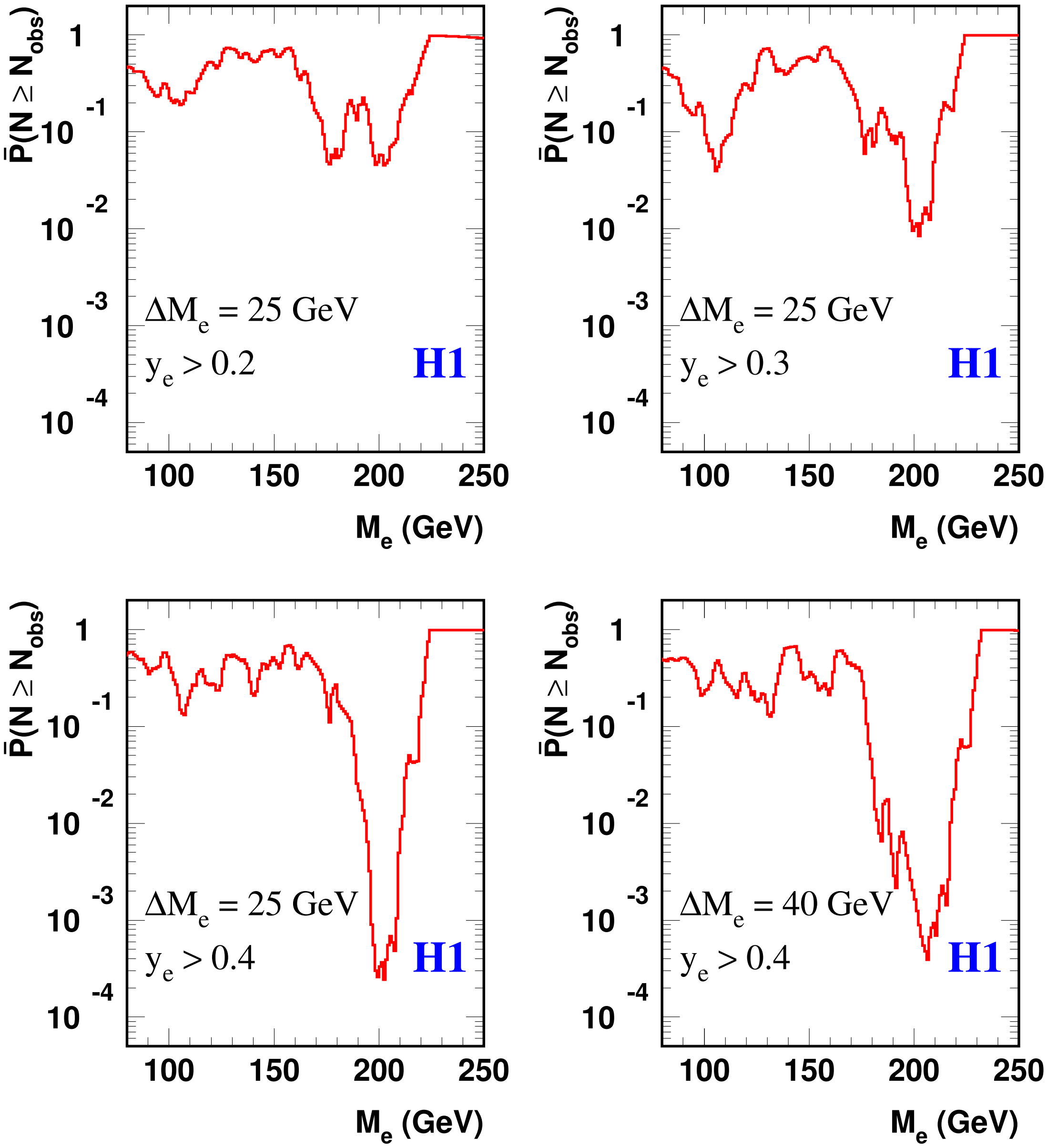
Systematischer Fehler durch Energie- Eichung:

$$\frac{\delta E_e}{E_e} = 3\% \Rightarrow \frac{\delta M_e}{M_e} \sim \frac{0.03}{2 y_e} \Rightarrow \delta M = \pm 5 \text{ GeV}$$

Influence of initial state radiation



Wahrscheinlichkeiten innerhalb eines Massen- Fensters



Erwartung: $\sim$ 0.3 Ereignisse mit $M_e > 220$ GeV.

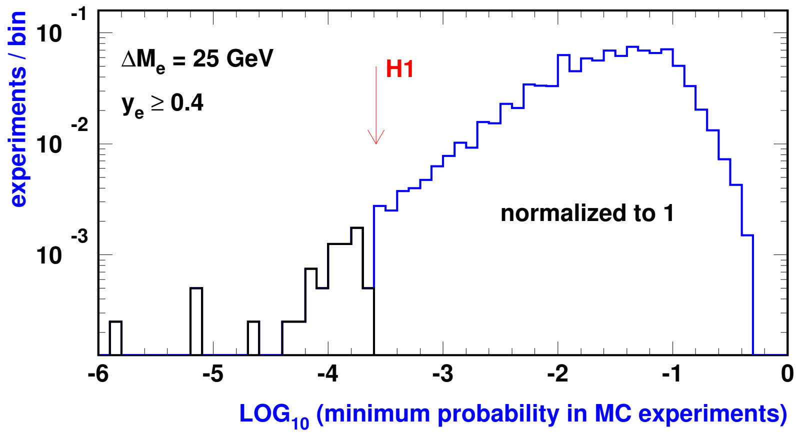
Abhängigkeit von Breite des Massen- Fensters

$M_e = 200$ GeV

ΔM_e	20	25	30	40
N_{obs}	5	7	7	7
N_{DIS}	0.63 $\pm$ 0.13	0.95 $\pm$ 0.18	1.10 $\pm$ 0.19	1.57 $\pm$ 0.28
$\bar{\mathcal{P}}$ (10^{-4})	5.0	2.6	2.5	16

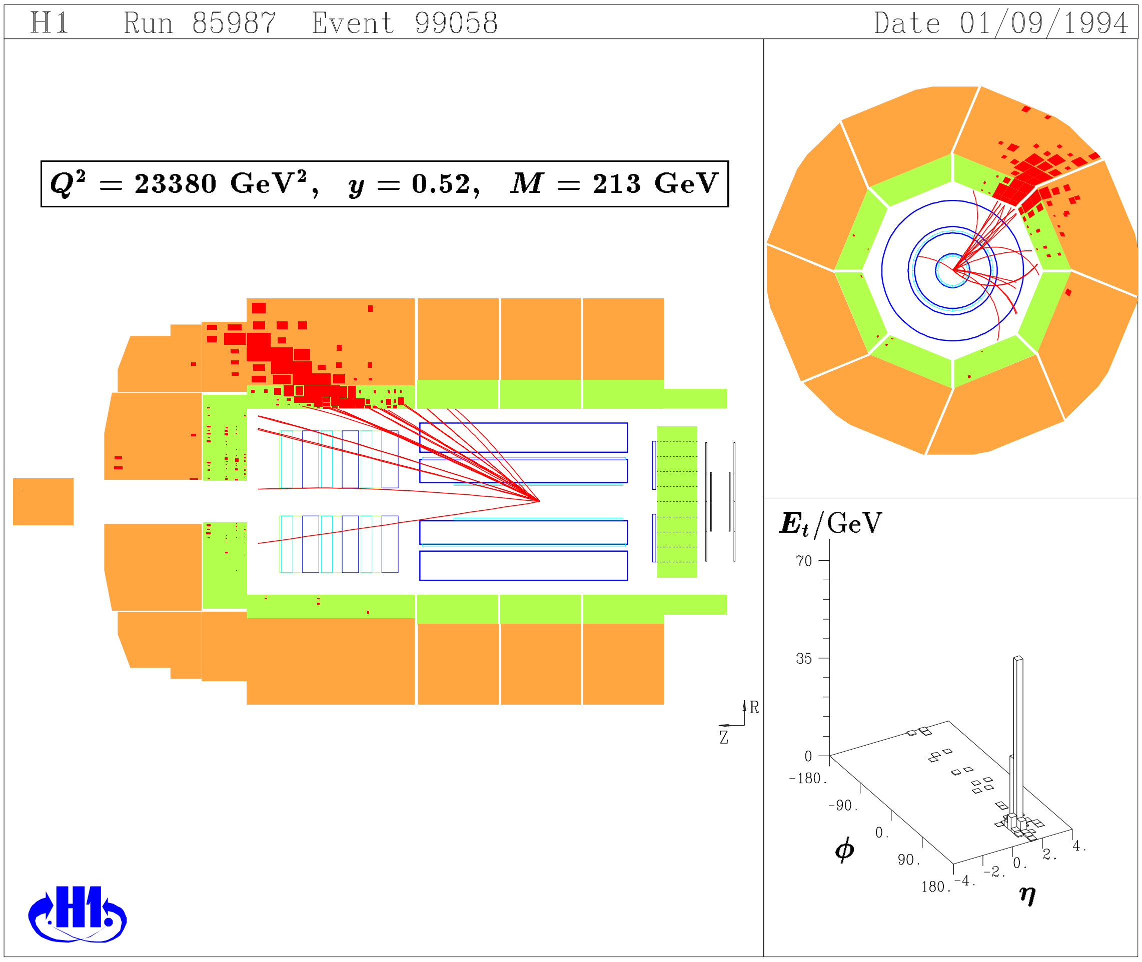
Wahrscheinlichkeit eine wenigstens ebenso große Fluktuation *irgendwo* im Massenbereich zu finden:

Lowest Probability in Monte Carlo Experiments



Wahrscheinlichkeit = 0.9%

CC candidate ($\not{P}_T = 106$ GeV)

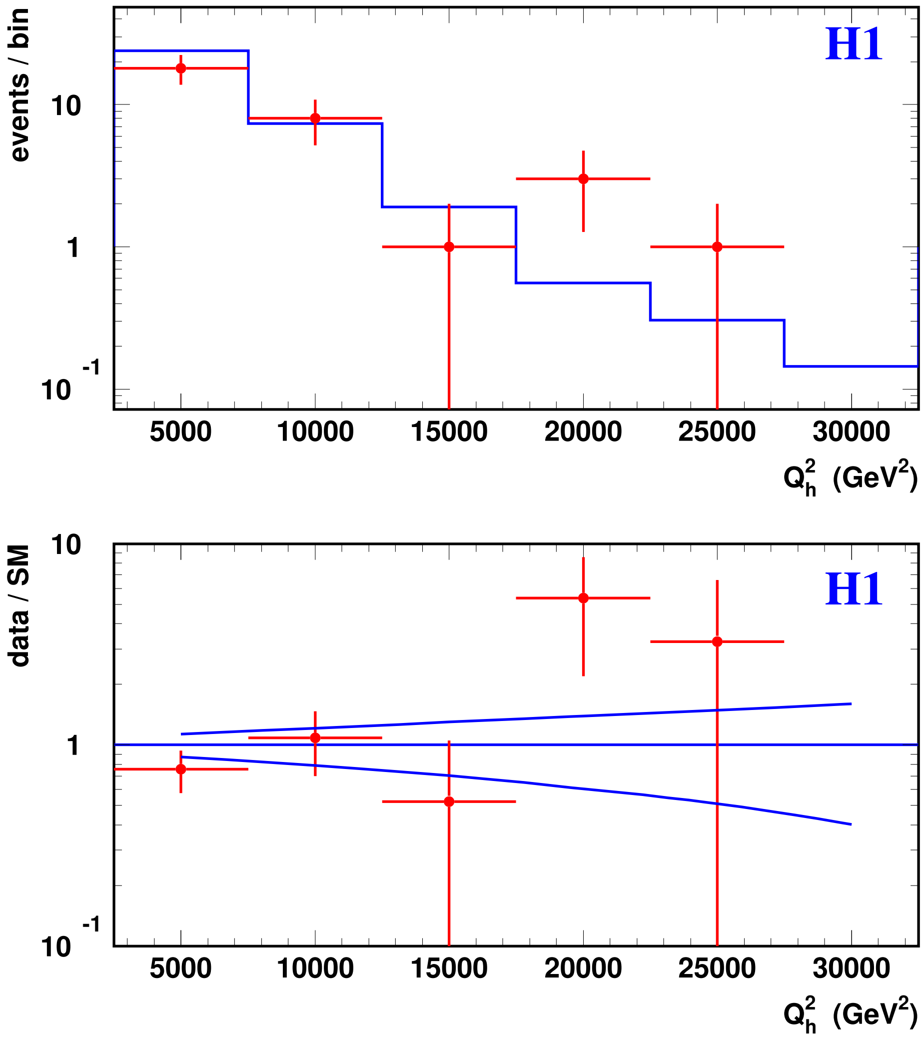


$e^+p \rightarrow \bar{\nu}X$ Ereignisse

Ereignis Selektion

- $\boxed{P_{T,miss} > 50 \text{ GeV}}$
- $\frac{E_T - P_{T,h}}{E_T} < 0.5$

Q^2 Verteilung



Charged Current

Q^2_{min}(GeV^2)	2500	5000	10000	15000	20000
N_{obs}	31	24	10	4	3
N_{DIS}	34.2 ± 5.8	21.1 ± 4.2	5.07 ± 1.88	1.77 ± 0.87	0.74 ± 0.39
$\mathcal{P}(N \geq N_{obs})$	0.64	0.31	7×10^{-2}	0.14	5.4×10^{-2}

CC Event list at $Q^2 > 15000$ GeV^2

	Run # / Event #	M_h	y_h	Q^2_h
1	85987/ 99058	213	.52	23380
2	153720/199055	187	.58	20170
3	163852/20613	157	.75	18650
4	169851/206239	192	.56	20800

$$\delta M_h / M_h \sim 10\%$$
$$\delta y_h / y_h \sim 10\%$$
$$\delta Q^2_h / Q^2_h \sim 28\%$$

Mögliche Erklärungen durch tief- inelastische Streuung

σ_{DIS} bei großen x und Q^2 — H1 Daten

$Q^2 < 15000$ GeV^2

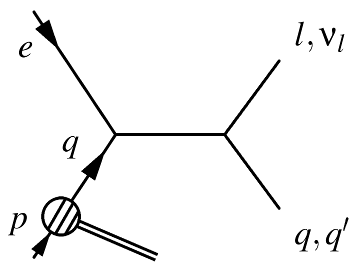
- QCD Entwicklung in Q^2
  200 GeV^2 $\longrightarrow$ 15000 GeV^2 — o.k.
- Experimente bei $Q^2 < 200$ GeV^2
  $\rightarrow$ x- Abhängigkeit — o.k.
- TEVATRON Jets mit großem E_T
  $\rightarrow$ Gluonen — $\pm$ 2%
  $\rightarrow$ α_s — $\pm$ 4%
  $\rightarrow$ ignoriere DIS Exp.: $\sigma \rightarrow +20\%$ — nein !
- $F_L \neq 0$: reduziert σ_{DIS} — nein

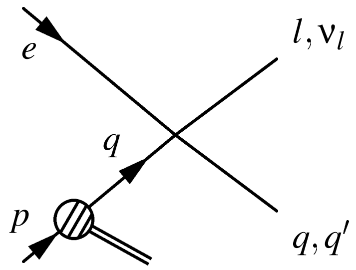
$\rightarrow$ H1 Daten lassen keine großen Änderungen von σ_{DIS} zu bis $Q^2 \sim 15000$ GeV^2.

Kein Mechanismus in standard Beschreibung für DIS der σ_{DIS} bei noch größeren Q^2 erheblich erhöhen kann.

Einzige Erklärung ist eine statistische Fluktuation.

Erklärungen
außerhalb des Standard Modells





s- Kanal: $M < \sqrt{s}$

Massen- Peak

virtuell: $M > \sqrt{s}$

große Q^2

Kandidaten:

skalare Quarks	**SUSY mit R_P (L) Verletzung**
Leptoquarks	**Compositeness, GUT, E(6) Superstring**
Leptogluonen	**Compositeness**

- **Signatur wie bei tief inelastischer Streuung**
- **nur statistischeSignifikanz in kinematischen Verteilungen**

Zusammenfassung

$Q^2 \leq 15000$ GeV^2:

Parton Dichten, QCD Entwicklung, $\gamma/Z, W$ Austausch liefern konsistente Beschreibung der H1 Daten in Q^2, M und y.

$Q^2 > 15000$ GeV^2: $e^+p \rightarrow e^+X$

12 Ereignisse beobachtet, 4.71 ± 0.76 erwartet

$$\mathcal{P}(N \geq N_{obs}) = 6 \times 10^{-3}$$

- Überschuß am deutlichsten bei $M \sim 200$ GeV und großen y (7 Ereignisse beobachtet, 0.95 ± 0.18 erwartet) Wahrscheinlichkeit für vergleichbare Fluktuation irgendwo im Bereich 80 GeV $< M <$ 250 GeV ist $\mathcal{O}(1\%)$.
- Überschuß kann nicht erklärt werden durch:
  - Detektor Effekte
  - Parton Dichten
  - Unsicherheiten in α_s, höhere Ordnungen.

Erklärung:

entweder eine statistische Fluktuation oder neue Physik

$\rightarrow$ höhere Statistik

Neue Datennahme bereits gestartet

$\rightarrow$ Ziel: Faktor 2 bis Ende 1997.

Dieser Vortrag: http://wwwcn1.cern.ch/~schleper

Combined results from H1 and ZEUS

	H1		ZEUS		H1 + ZEUS		
	e method $y < 0.9$ $\Theta_e > 10^o$		2α method $E_e > 20$ GeV ($P_{T,e} > 30$ GeV for $\Theta_e < 17^o$)				
Q^2 cut	data	NC exp.	data	NC exp.	data	NC exp.	P($N \geq N_{obs}$)
$Q^2 > 10000$ GeV^2	20	18.3 $\pm$ 2.4	33	32.2 $\pm$ 2.0	53	50.5 $\pm$ 3.1	0.37
$Q^2 > 15000$ GeV^2	12	4.71 $\pm$ 0.76	12	8.66 $\pm$ 0.66	24	13.4 $\pm$ 1.0	0.0074
$Q^2 > 20000$ GeV^2	5	1.32 $\pm$ 0.27	5	2.76 $\pm$0.24	10	4.08 $\pm$ 0.36	0.010
$Q^2 > 25000$ GeV^2	3	0.51 $\pm$ 0.16	3	1.01 $\pm$0.09	6	1.52 $\pm$ 0.18	0.0053
$Q^2 > 30000$ GeV^2	2	0.23 $\pm$ 0.05	2	0.37 $\pm$0.04	4	0.60 $\pm$ 0.06	0.0035
$Q^2 > 35000$ GeV^2	0	0.08 $\pm$ 0.04	2	0.15 $\pm$0.01	2	0.23 $\pm$ 0.04	0.023

Table 1: Number of observed and expected events from H1 and ZEUS. For the combination, the number of observed and expected events are added and the errors are added in quadrature. The difference for the DIS expectation between H1 and ZEUS reflects the difference in integrated luminosities, the kinematic reconstruction methods, the resolution on Q^2 and the detection efficiency within the kinematic cuts. The last column gives the probability that the expected NC DIS signal fluctuates to values equal to or larger than the number of observed events, where the error on the mean expected number of events is taken into account by gaussian smearing.