

Mit Aktualität
und Archäologie
an e^+e^- -Beschleunigern
zu neuen Erkenntnissen
über die
starke Wechselwirkung

24. 11. 2000

Otmar Biebel
MPI für Physik

LEP- und PETRA-Beschleuniger

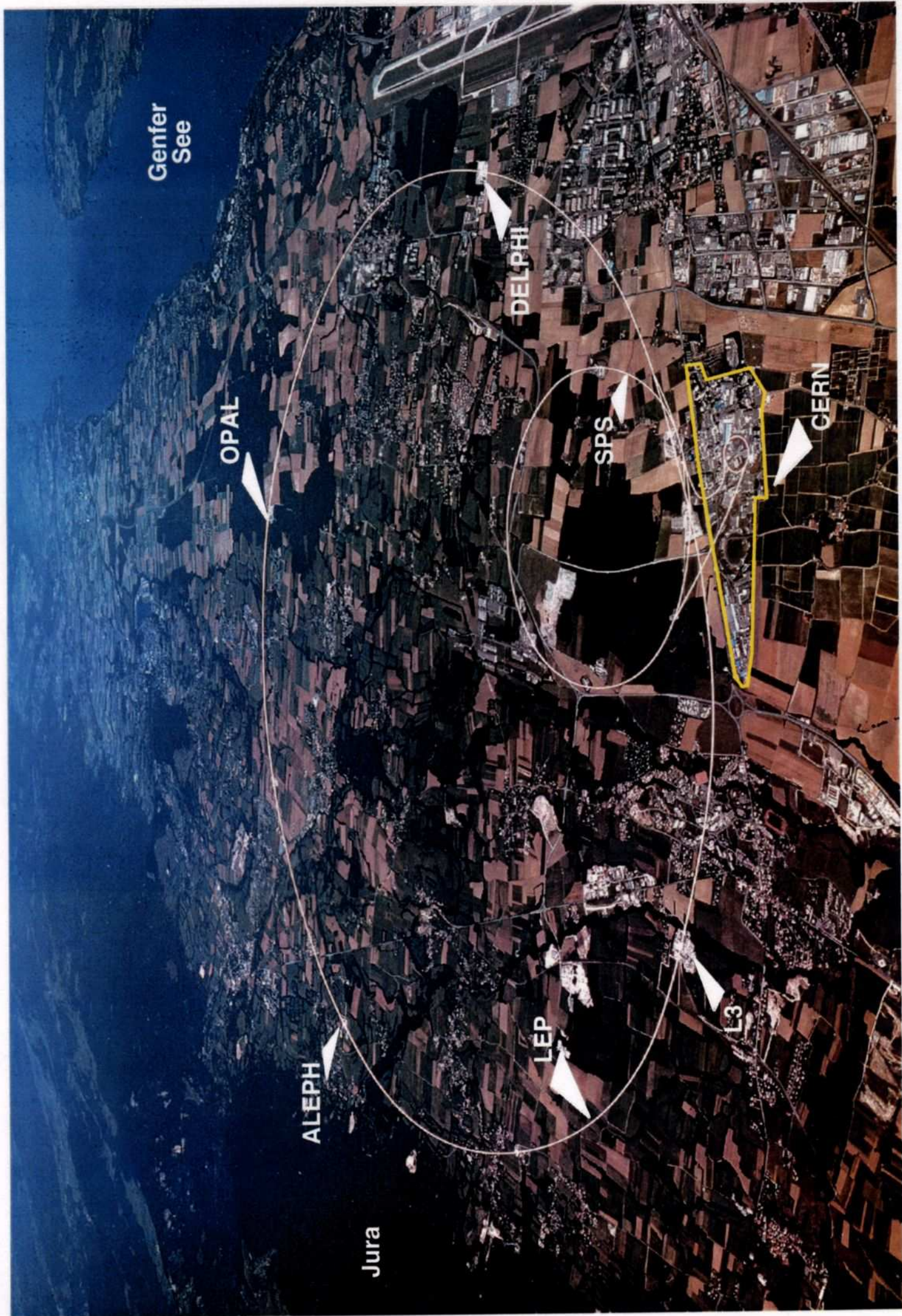
e^+e^- Ringbeschleuniger

● LEP @ CERN :

- ▶ ~27 km Umfang
- ▶ 4 Detektoren (ALEPH, DELPHI, L3, OPAL)
- ▶ Meßzeit: 1989 - 2000
- ▶ Schwerpunktsenergie: 91 ... 209 GeV

● PETRA @ DESY :

- ▶ ~2 km Umfang
- ▶ 4 Detektoren (JADE, MARK, PLUTO → CELLO, TASSO)
- ▶ Meßzeit: 1979 - 1986
- ▶ Schwerpunktsenergie: 12 ... 47 GeV



Genfer
See

OPAL

DELPHI

SPS

CERN

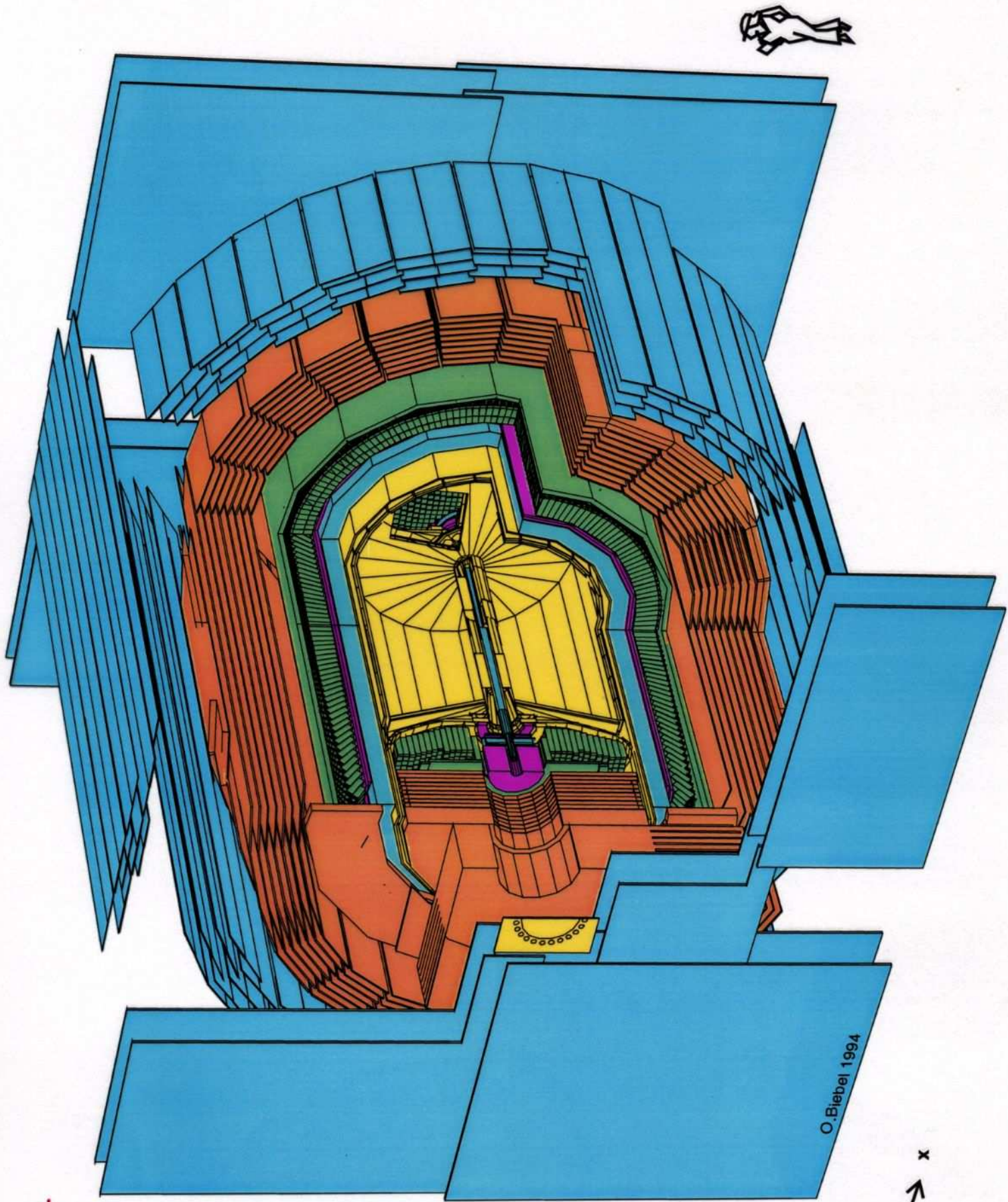
ALEPH

LEP

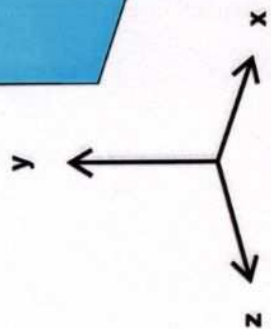
L3

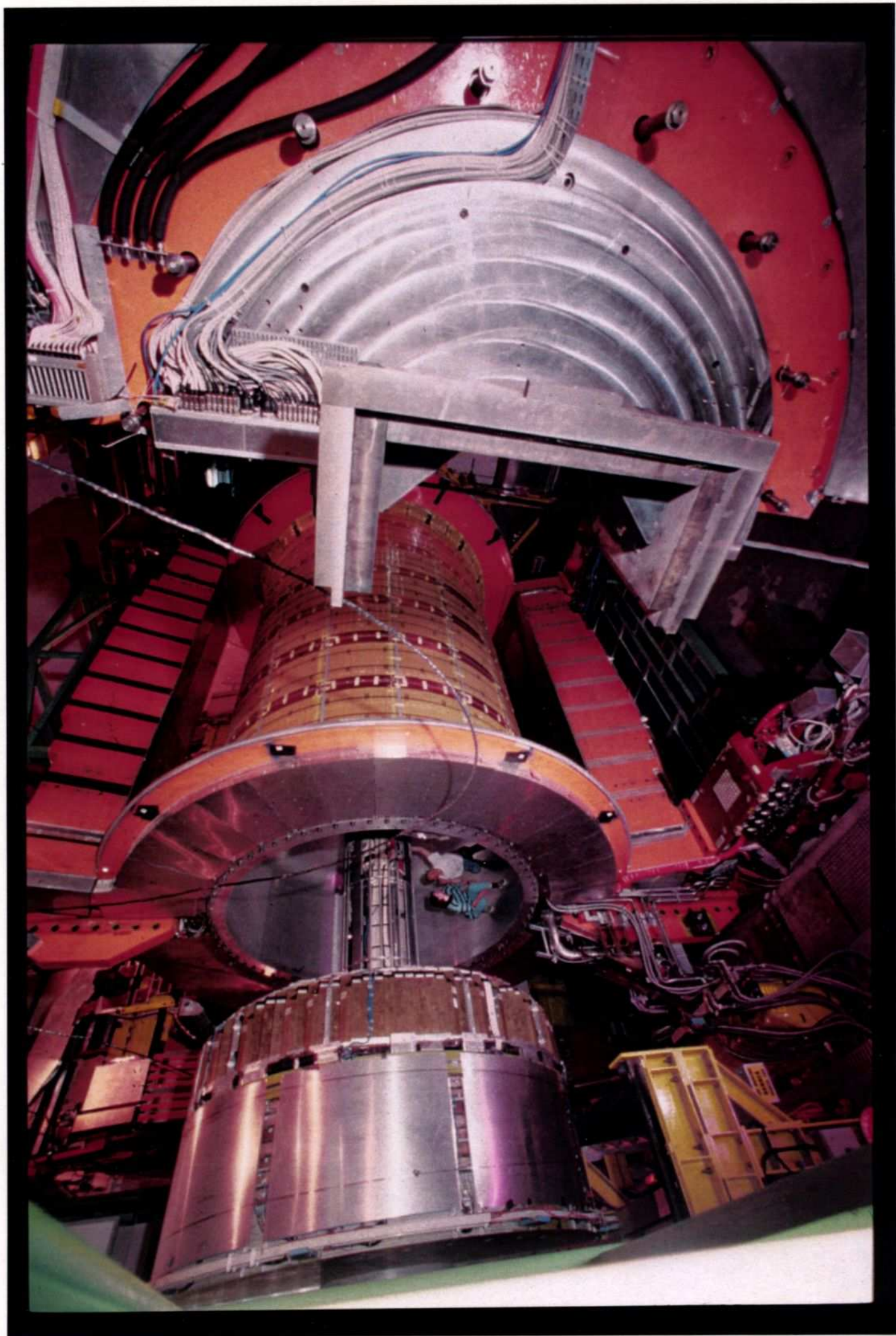
Jura

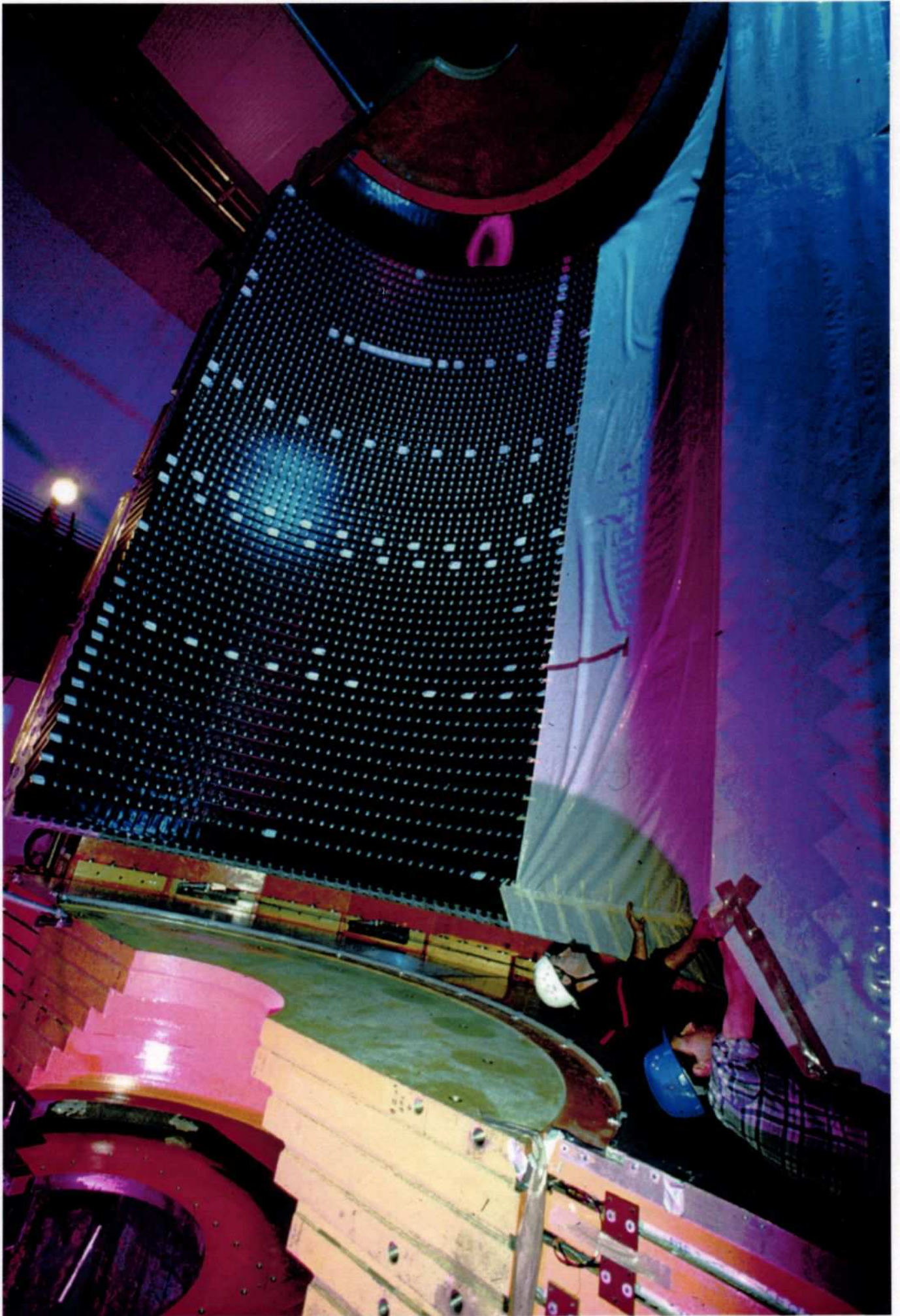
OPAL



O. Biebel 1994





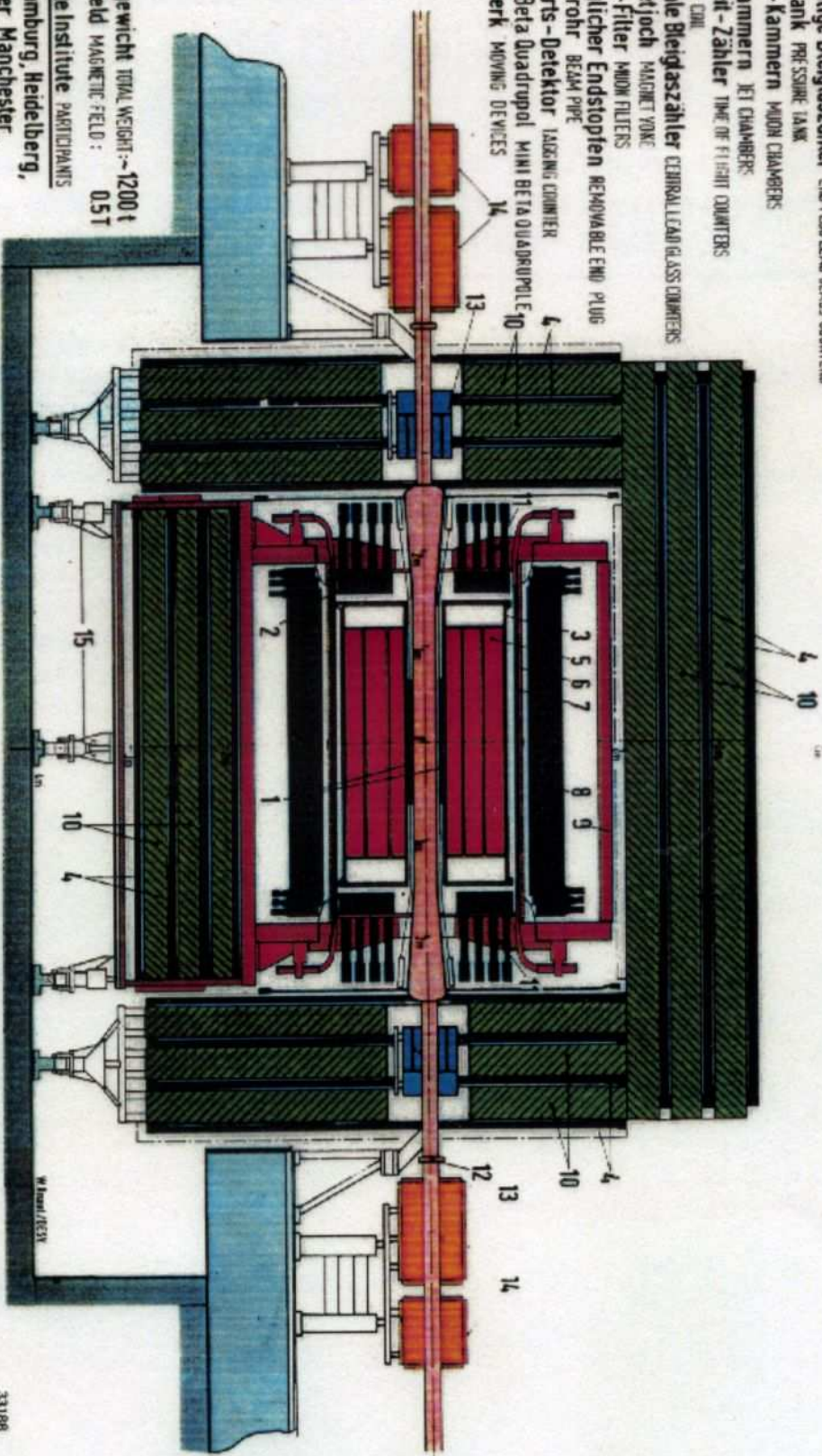




MAGNETDETEKTOR **JADE**

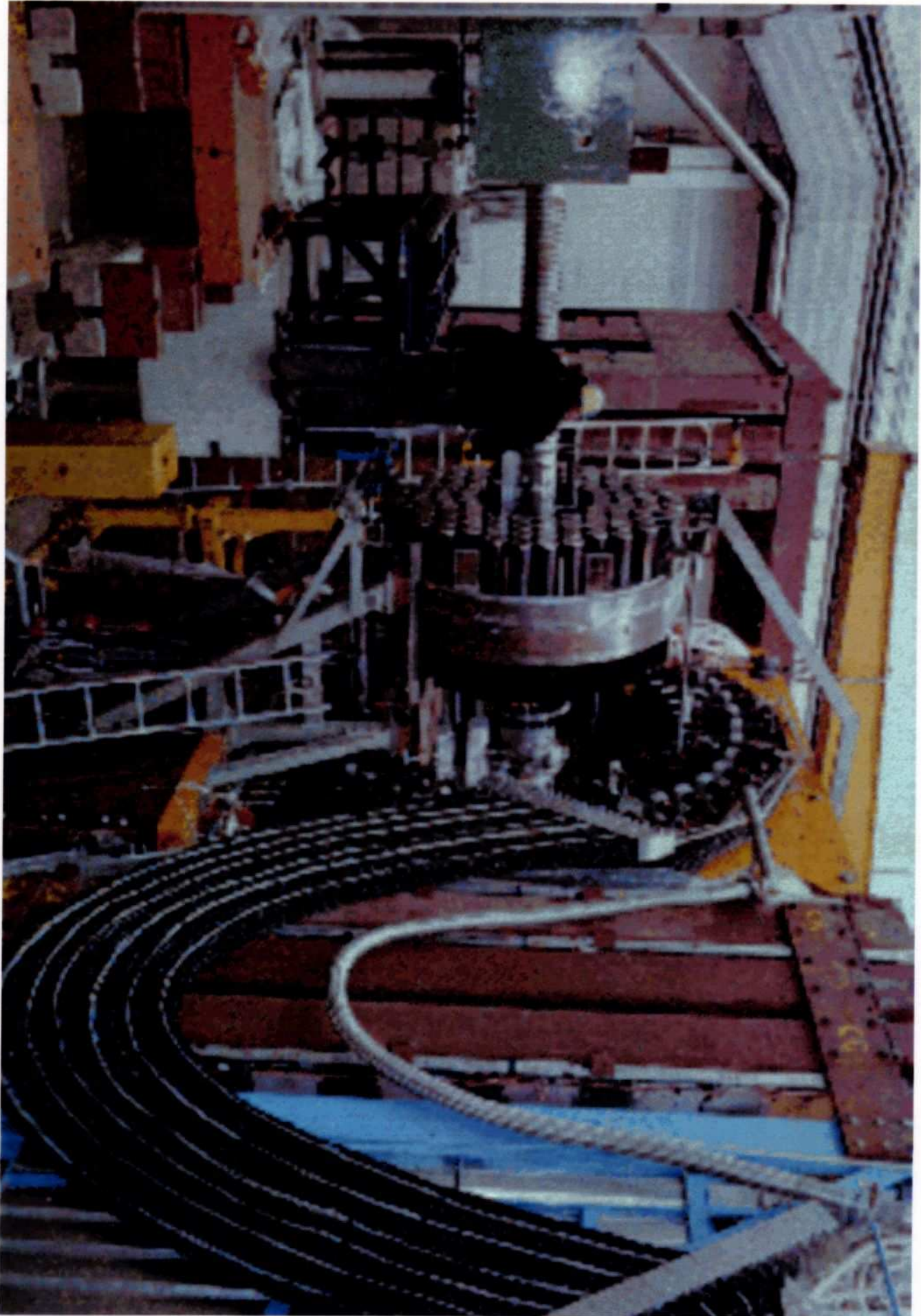
MAGNET DETECTOR

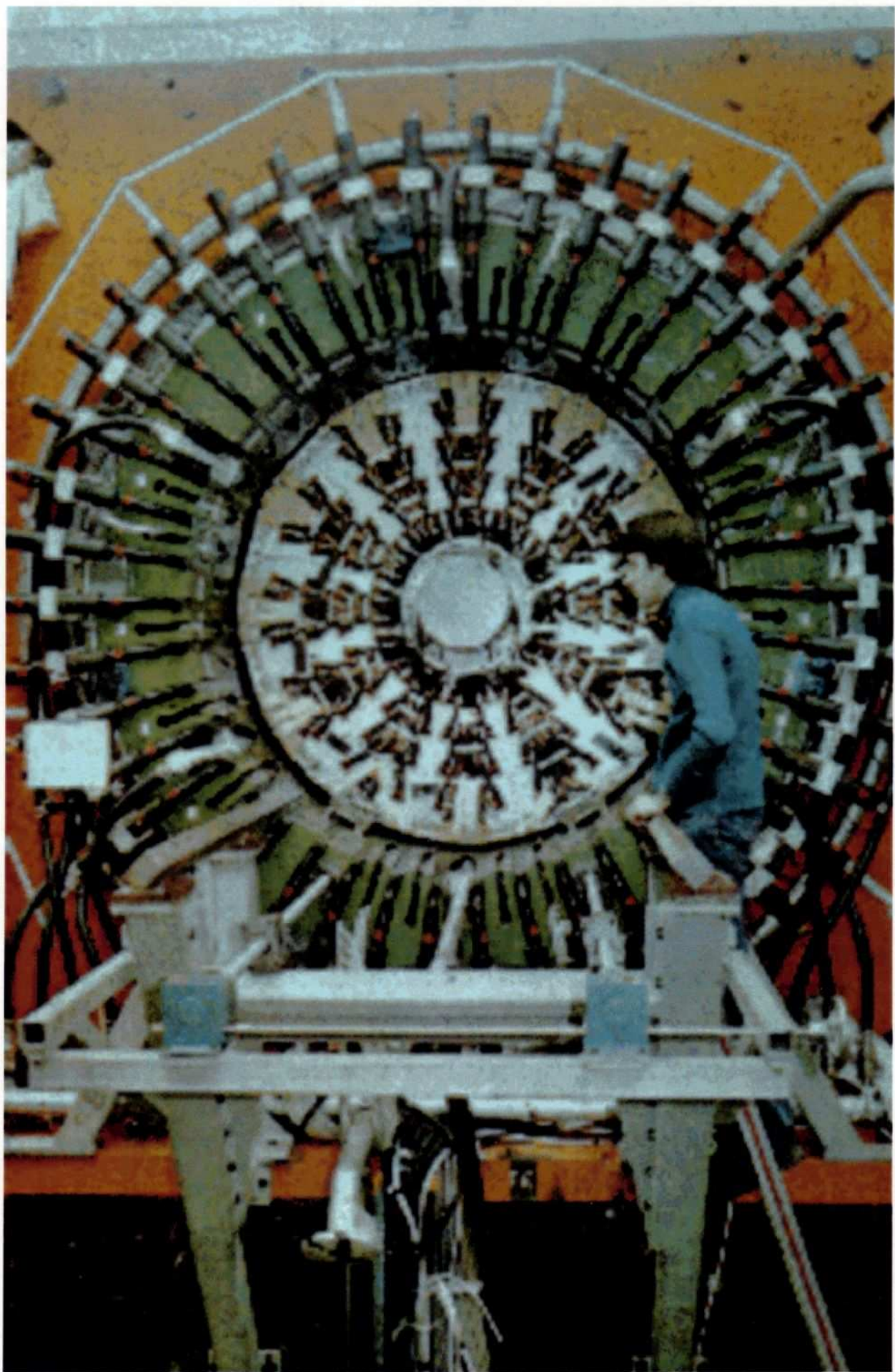
- 1 Strahlrohrzähler BEAM PIPE COUNTERS
- 2 Endseitige Bleiglaszähler END PUG LEAD GLASS COUNTERS
- 3 Drucktank PRESSURE TANK
- 4 Myon-Kammern MUON CHAMBERS
- 5 Jet-Kammern JET CHAMBERS
- 6 Flugzeit-Zähler TIME OF FLIGHT COUNTERS
- 7 Spule COIL
- 8 Zentrale Bleiglaszähler CENTRAL LEAD GLASS COUNTERS
- 9 Magnetioch MAGNET YOKE
- 10 Myon-Filter MUON FILTERS
- 11 Beweglicher Endstopfen REMOVABLE END PLUG
- 12 Strahlrohr BEAM PIPE
- 13 Vorwärts-Detektor FORWARD DETECTOR
- 14 Mini-Beta-Quadrupol MINI BETA QUADRUPOLE
- 15 Fahrtwerk MOVING DEVICES



Gesamtgewicht TOTAL WEIGHT: ~1200 t
 Magnetfeld MAGNETIC FIELD: 0.5 T

Beteiligte Institute PARTICIPANTS
 DESY, Hamburg, Heidelberg,
 Lancaster, Manchester,
 Rutherford Lab., Tokio





OPAL & JADE - Detektoren

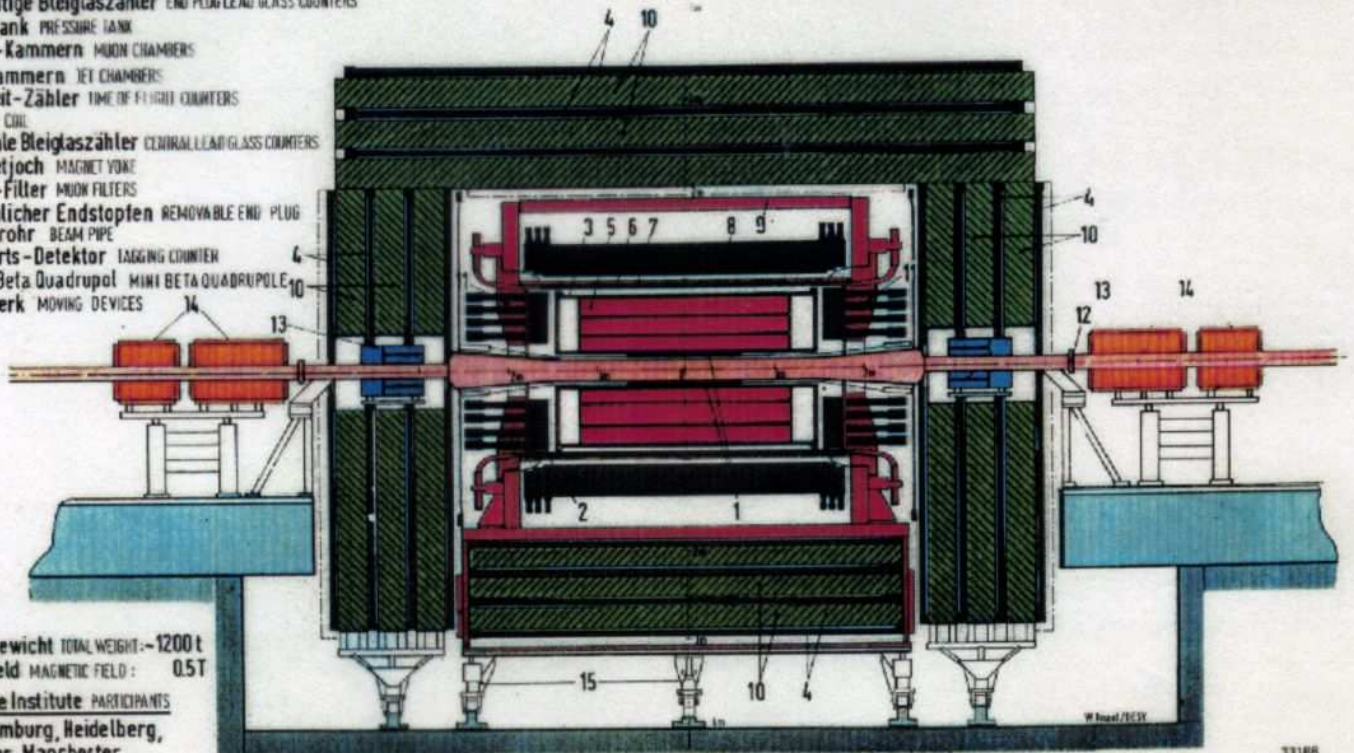
- Detektoren mit sehr ähnlichem Aufbau
 - + Jetkammer f. Spuren geladener Teilchen
 - + Bleiglasblöcke f. Energie elmag. wechselwirkender Teilchen
 - + Solenoidspule innerhalb des Bleiglas-Kalorimeters
 - + B-Feld $\sim 0.45 \text{ T}$

"JADE \cong Prototyp f. OPAL"

MAGNETDETEKTOR **JADE**

MAGNET DETECTOR

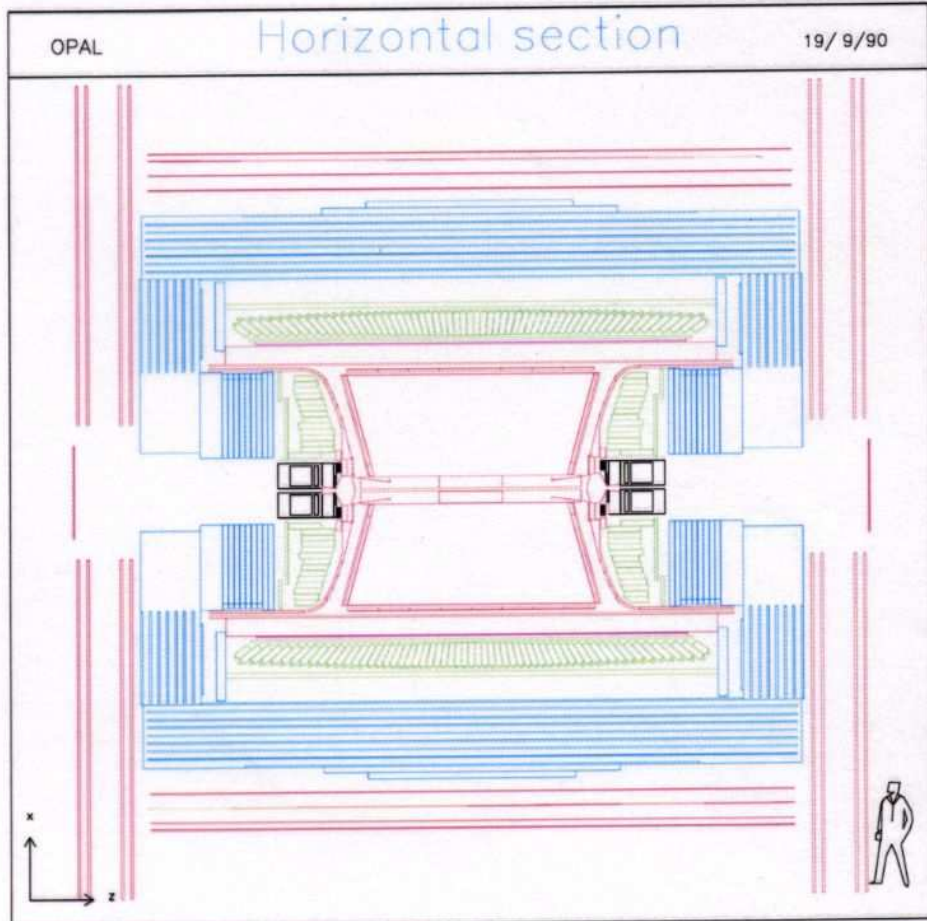
- 1 Strahlrohrzähler BEAM PIPE COUNTERS
- 2 Endseitige Bleiglaszähler END PLUG LEAD GLASS COUNTERS
- 3 Drucktank PRESSURE TANK
- 4 Myon-Kammern MUON CHAMBERS
- 5 Jet-Kammern JET CHAMBERS
- 6 Flugzeit-Zähler TIME OF FLIGHT COUNTERS
- 7 Spule COIL
- 8 Zentrale Bleiglaszähler CENTRAL LEAD GLASS COUNTERS
- 9 Magnetjoch MAGNET YOKE
- 10 Myon-Filter MUON FILTERS
- 11 Beweglicher Endstopfen REMOVABLE END PLUG
- 12 Strahlrohr BEAM PIPE
- 13 Vorwärts-Detektor TAGGING COUNTER
- 14 Mini-Beta Quadrupol MINI BETA QUADRUPOLE
- 15 Fahrwerk MOVING DEVICES



Gesamtgewicht TOTAL WEIGHT: ~1200 t
 Magnetfeld MAGNETIC FIELD: 0.5T

Beteiligte Institute PARTICIPANTS
 DESY, Hamburg, Heidelberg,
 Lancaster, Manchester,
 Rutherford Lab., Tokio

33186



Ähnlichkeit von OPAL und JADE

gleiches Konzept, aber unterschiedl. Größe

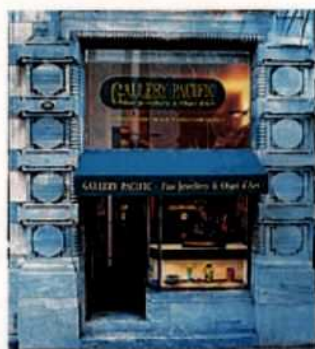
	Parameter		JADE	OPAL
Dimensions	overall length		8 m	12 m
	overall height		7 m	12 m
Tracking system	dimension	length	2.4 m	4 m
		outer radius	0.8 m	1.85 m
	transv. momentum resolution $\sigma(p_t)/p_t$	A_t	0.04	0.02
		B_t	0.018	0.0015
	spatial resolution	$r - \phi$	180 μm (110 μm)	135 μm
		z	1.6 cm	100—350 μm
	double hit resolution		7.5 mm (2 mm)	2.5 mm
	gas composition argon/methane/isobutane		88.7%/8.5%/2.8%	88%/9.4%/2.6%
	gas pressure		4 bar	4 bar
	max. no. of hits reachable in		48	159
at least 8 hits reachable in		$0.83 \cdot 4\pi$	$0.73 \cdot 4\pi$	
magnetic field		0.48 T	0.435 T	
Electromagnetic calorimetry	energy resolution $\sigma(E)/E$	A_c	0.015	0.002
		B_c	0.04	0.063
	solid angle coverage		90%	98%
	angular resolution		7 mrad	2 mrad
	barrel	radial extent	1—1.4 m	2.5—2.8 m
		length	3.6 m	7 m
		polar angle covered	32° — 148°	36° — 144°
		radiation depth granularity	$12.5X_0$ ($15.7X_0$) $8.5 \times 10 \text{ cm}^2$	$24.6X_0$ $10 \times 10 \text{ cm}^2$
	endcap	outer radius	0.9 m	1.8 m
		polar angle covered	11° — 32° / 148° — 169°	11° — 36° / 144° — 169°
radiation depth granularity		$9.6X_0$ $14 \times 14 \text{ cm}^2$	$22X_0$ $9 \times 9 \text{ cm}^2$	



GALLERY PACIFIC

ONE OF A KIND.

Our discovery can be yours



Reward yourself and visit us first, the Gallery Pacific in the centre of Auckland. New Zealand's finest selection of Opals, fine traditional Maori Carvings, Black Pearls and Jade. Open Monday to Sunday. Tax Free to International travellers.

105 QUEEN STREET, AUCKLAND, NEW ZEALAND. PHONE & FAX 09 308 9231.

あなた御自身の為にまずお訪ね下さい。

月曜日から土曜日まで営業。

オークランド中心にあるギャラリーパシフィックへ。

免税価格でお求め頂けます。

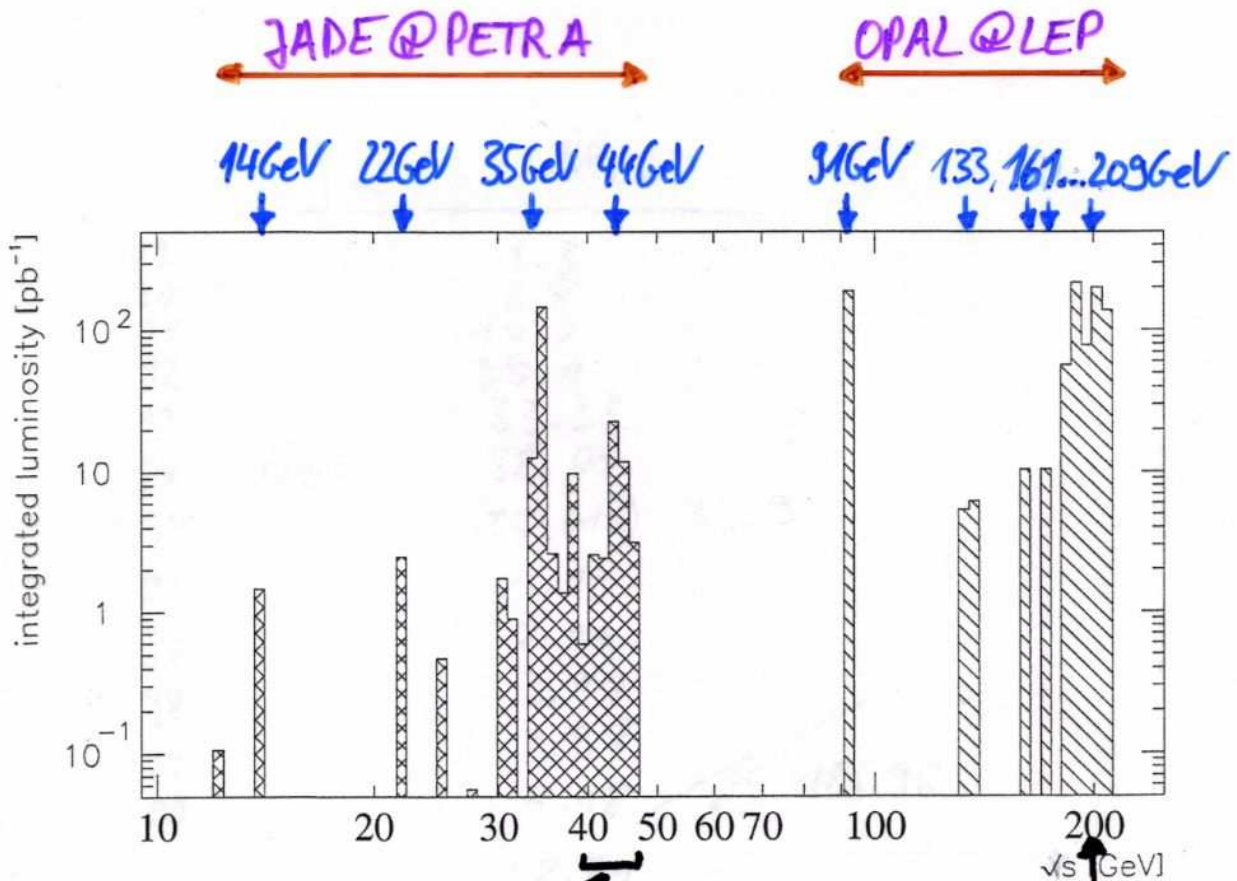
日本人スタッフが、お待ちしております。

The World of Opal and Jade

Überblick

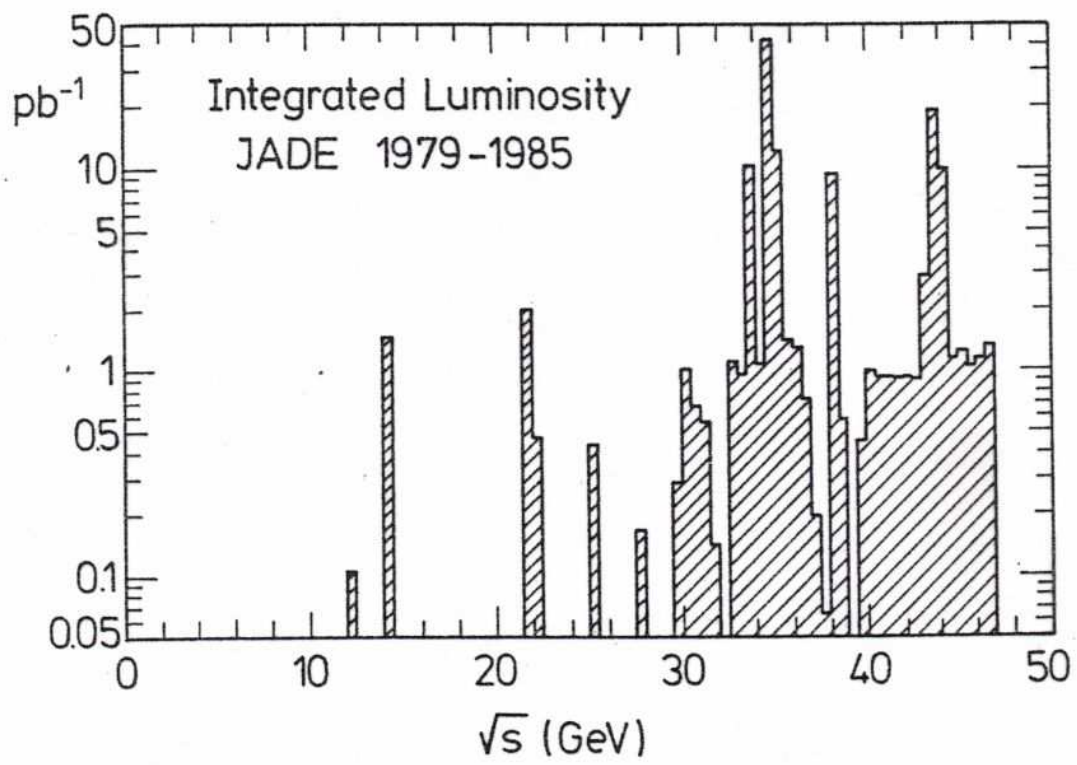
- Einleitung
- Reanalyse der JADE-Daten
- Kombinierte JADE & OPAL-Studien
- Energiepotenzkorrekturen
- JADE-Detektorsimulation
- Zusammenfassung

Integrierte Luminosität



Energiescan für
top-Quarksuche

höchste Energie für
Higgs- und SUSY-Suche
+ ...



Warum Reanalyse d. JADE-Daten?

- Elektroschwaches Standard Modell ?

→ Daten "ausgequetscht"

- Starke Wechselwirkung \leftrightarrow QCD ?

→ Fortschritte der Theorie

seit dem Start von LEP !

→ neue, aussagekräftigere Tests der QCD
bei PETRA-Energien !

QCD im Schnelldurchgang

- 1973: Quanten Chromo Dynamik
Theorie d. Wechselwirkung zwischen
Quarks & Gluonen mit (Farb-)Ladung

→ Renormierung (Skala μ)

$$\Rightarrow \frac{d\alpha_s}{d \ln \mu^2} = -\beta_0 \cdot \alpha_s^2 - \dots$$

und $\beta_0 = \frac{33 - 2n_f}{12\pi} > 0 \quad (n_f < 17)$

⇒ "Laufen" d. renormierten Kopplung
& asymptotische Freiheit

$$\alpha_s \rightarrow 0 \quad \text{wenn} \quad \mu^2 \rightarrow \infty$$

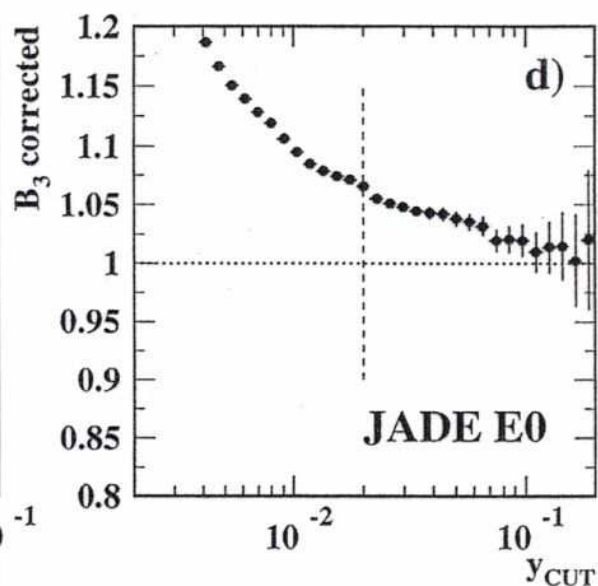
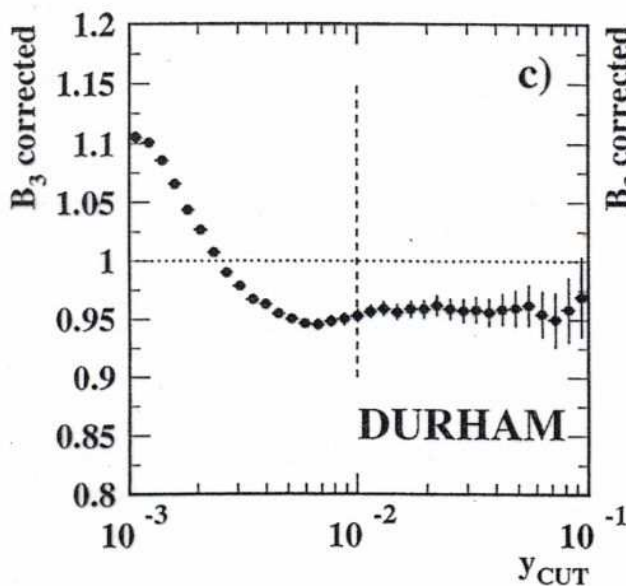
$$\Rightarrow \frac{1}{m} \frac{dm}{d \ln \mu^2} = -\gamma_{m,0} \cdot \alpha_s - \dots$$

und $\gamma_{m,0} = \frac{1}{\pi} > 0$

⇒ "Laufen" d. renormierten Quarkmassen

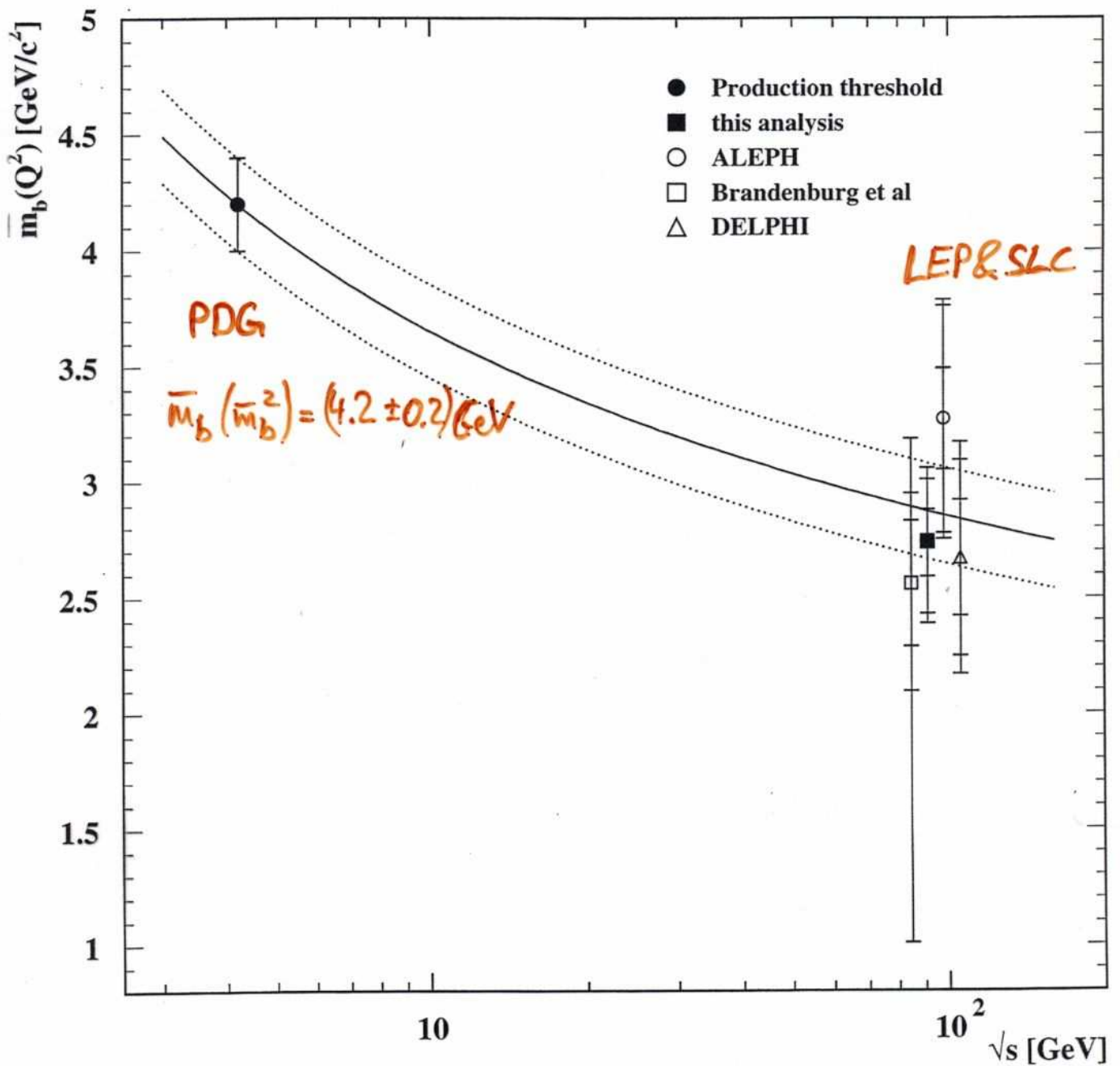
Bestimmung der b-Quarkmasse @ m_Z

- **Ansatz:** Gluonabstrahlung ist abhängig v. q-Masse (vgl. β -Bremsstrahlung von Elektron \leftrightarrow Myon)
- **Konzept:** Verhältnis der Häufigkeit harter Gluon-Bremsstrahlung von b- zu u,d,s,c-Quarks
→ B_3
- **Methode:** Identifikation von $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ bzw. leichte Quarks
Bestimmung der Rate von 3-Jet-Endzuständen (als Fkt. eines Parameters der Jetauflösung γ_{cut})

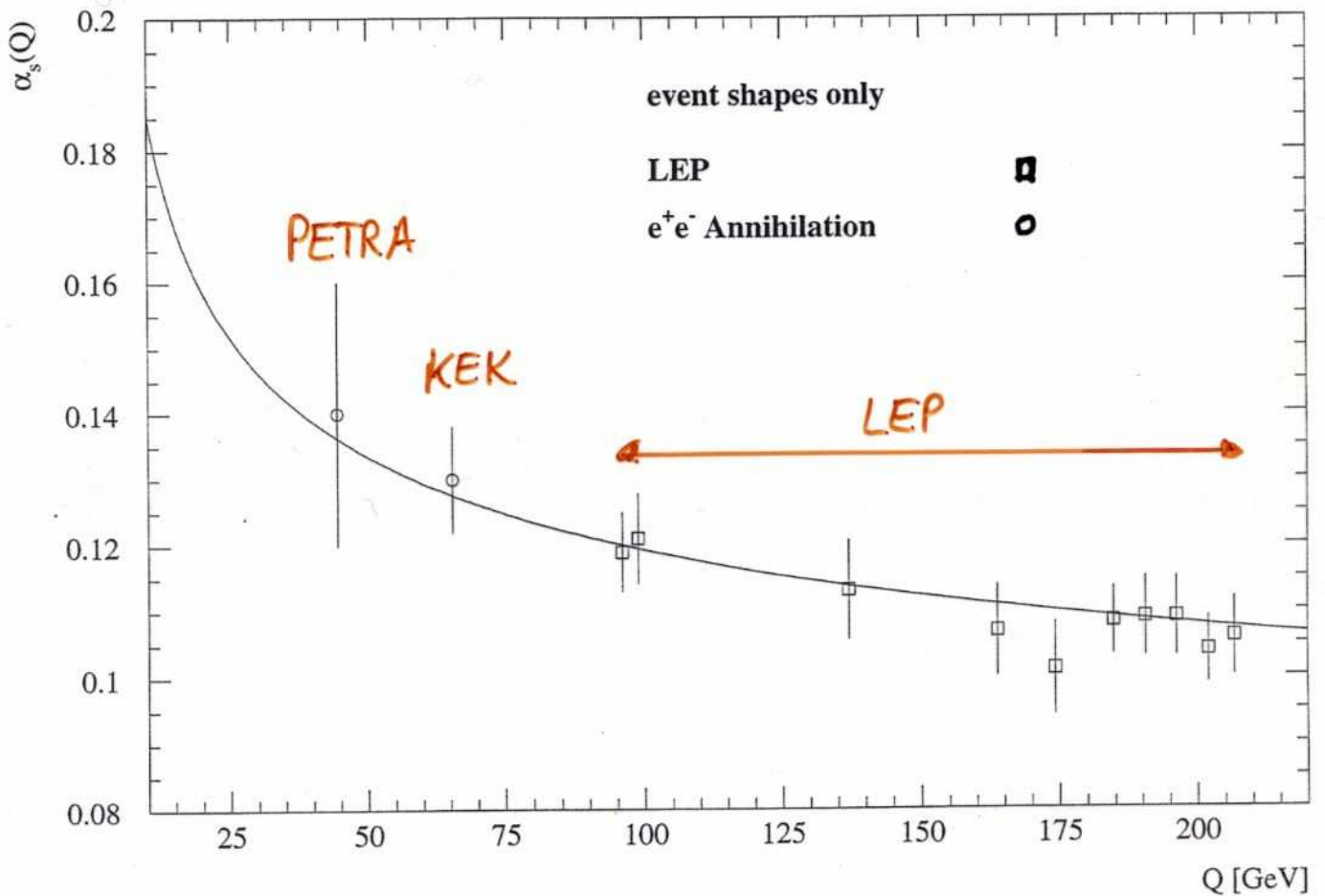


- **Bestimmung** der b-Quarkmasse mittels Theorie =
Vorhersage in 2. Ordnung in α_s
(Bernreuther et al., Rodrigo et al., Oleari et al.: 1997)

Laufende b-Quarkmasse



LEP & KEK & PETRA zum Laufen von α_s



$\Rightarrow \alpha_s$ @ PETRA energies important
for details of running

Aber: Geht's heute genauer als zu PETRA-Zeiten?

Fortschritte der QCD seit PETRA

- Neue Observable

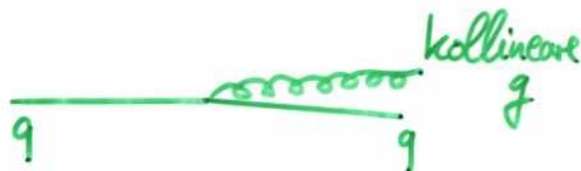
Jet broadening

Durham/Cambridge Jetfinden-Algorithmen

....

- Summierung große logarithmischer Terme für verschiedene Observable

→ bessere Beschreibung v. Regionen, in denen






große Beiträge liefern

- Neue Ansätze zur Hadronisierung

z.B. Energiepotenz-Korrekturen ($\sim \frac{1}{\sqrt{s}}$)

Observable für d_S -Bestimmung

- häufig genutzt: "Event shape"-Observable
(messen Verteilung d. Teilchen, Impulse, Energien im Endzustand von $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$)

F				
Thrust	max. Longitudinal-Impuls	1	$\geq \frac{2}{3}$	$\geq \frac{1}{2}$
C-Parameter	$\langle \sin^2 \theta_{ij} \rangle$, $\theta_{ij} = \angle$ (Teilchen)	0	$\leq \frac{3}{4}$	≤ 1
Jetmasse (je Hemisphäre)	$\sqrt{(\sum E_i)^2 - (\sum \vec{p}_i)^2} / \sqrt{s}$	0	$\leq \frac{1}{3}$	$\leq \frac{1}{2}$
Jet Broadening (je Hemisphäre)	$\langle \frac{p_i}{2\sqrt{s}} \cdot \sin \angle(\vec{p}_i, \vec{Thrust}) \rangle$	0	$\leq \frac{1}{2\sqrt{3}}$	$\leq \frac{1}{2\sqrt{2}}$
Jetraten : : :	$\frac{\#(\text{3-jet})}{\#(\text{2-jet}) + \#(\text{3-jet}) + \dots}$	2-Jet	3-Jet	n-Jet

typ.: Event shapes $\sim d_S$
 n-Jetraten $\sim d_S^{n-2}$

QCD - Vorhersagen

- **NLO** für Event shape-Observable \mathcal{F}

kumulativer Wirkungsquerschnitt $R(\mathcal{F})$:

$$R(\mathcal{F}) = 1 + A(\mathcal{F}) \cdot \alpha_s + B(\mathcal{F}) \cdot \alpha_s^2$$

- **NLLA** mit log. Näherung für $L \equiv \ln 1/\mathcal{F}$

$$R(\mathcal{F}) = C(\alpha_s) \cdot \exp[G(\alpha_s, L)] + \text{Rest}$$

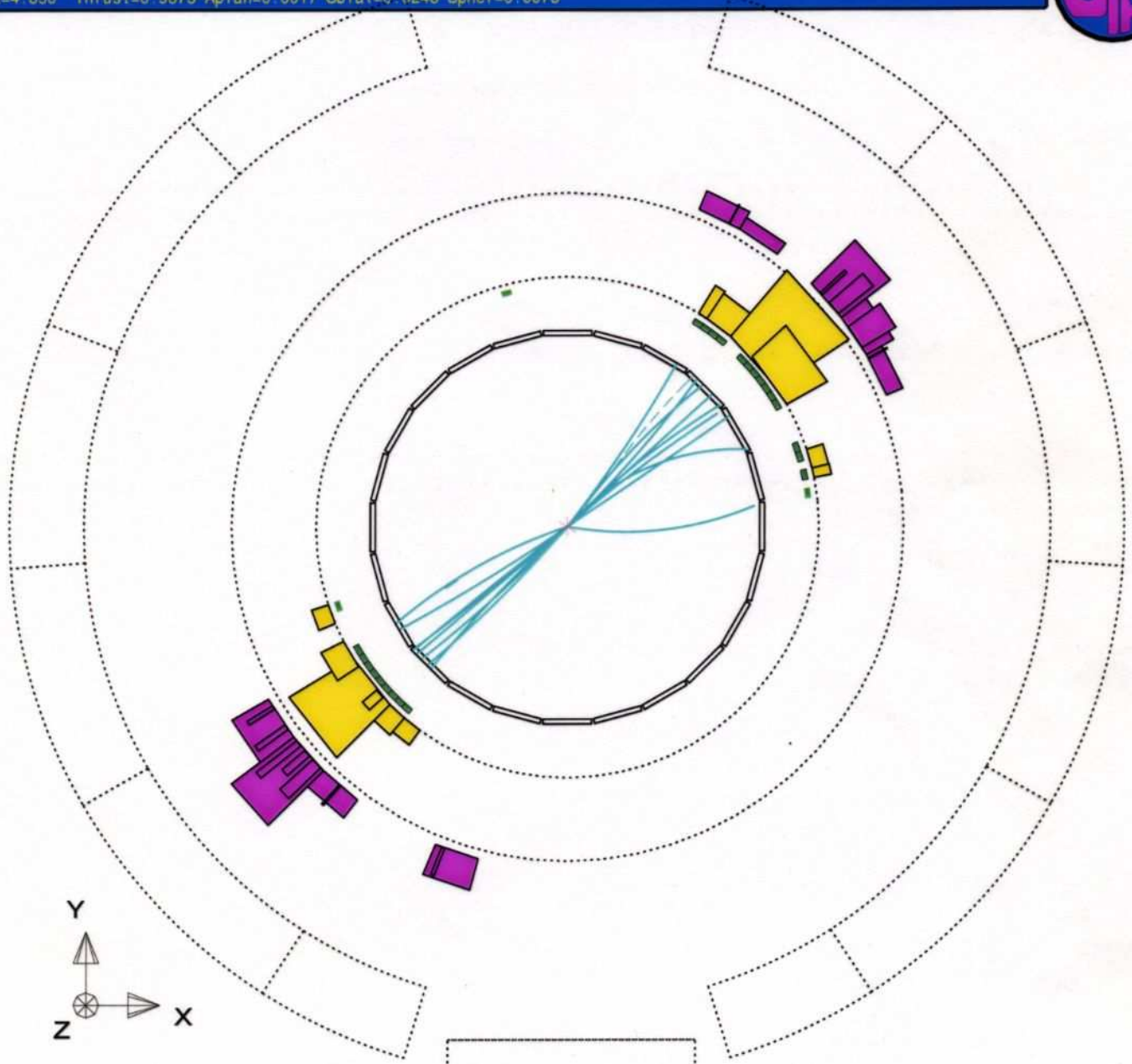
mit Koeff.-fkt $C(\alpha_s) = 1 + C_1 \cdot \alpha_s + C_2 \cdot \alpha_s^2 + \dots$

	leading logs	next-to-leading logs	subleading logs	non-log terms	
$G(\alpha_s, L) =$	$G_{12} \alpha_s L^2$	$+ G_{11} \alpha_s L$		$+ \alpha_s \mathcal{O}(1)$	$= \mathcal{O}(\alpha_s)$
	$+ G_{23} \alpha_s^2 L^3$	$+ G_{22} \alpha_s^2 L^2$	$+ G_{21} \alpha_s^2 L$	$+ \alpha_s^2 \mathcal{O}(1)$	$= \mathcal{O}(\alpha_s^2)$
	$+ G_{34} \alpha_s^3 L^4$	$+ G_{33} \alpha_s^3 L^3$	$+ G_{32} \alpha_s^3 L^2$	$+ \dots$	$= \mathcal{O}(\alpha_s^3)$
	$+ \dots$	$+ \dots$	$+ \dots$	$+ \dots$	\vdots
	$L \cdot g_1(\alpha_s L)$	$+ g_2(\alpha_s L)$	$+ \dots$	$+ \dots$	

⇒ **Kombination von NLO + NLLA!**

z.B. durch Abstimmung der $\ln(R)$ -Ausdrücke
($\ln R$ -matching)

Run event 4093: 1000 Date 930527 Time 20716 Ctrk(N= 39 Sump= 73.3) Ecal(N= 25 SumE= 32.6) Hcal(N=22 SumE= 22.6)
 Ebeam 45.658 Evis 99.9 Emiss -8.6 Vtx (-0.07, 0.06, -0.80) Muon(N= 0) Sec Vtx(N= 3) Fdet(N= 0 SumE= 0.0)
 Bz=4.350 Thrust=0.9873 Aplan=0.0017 Oblat=0.0248 Spher=0.0073



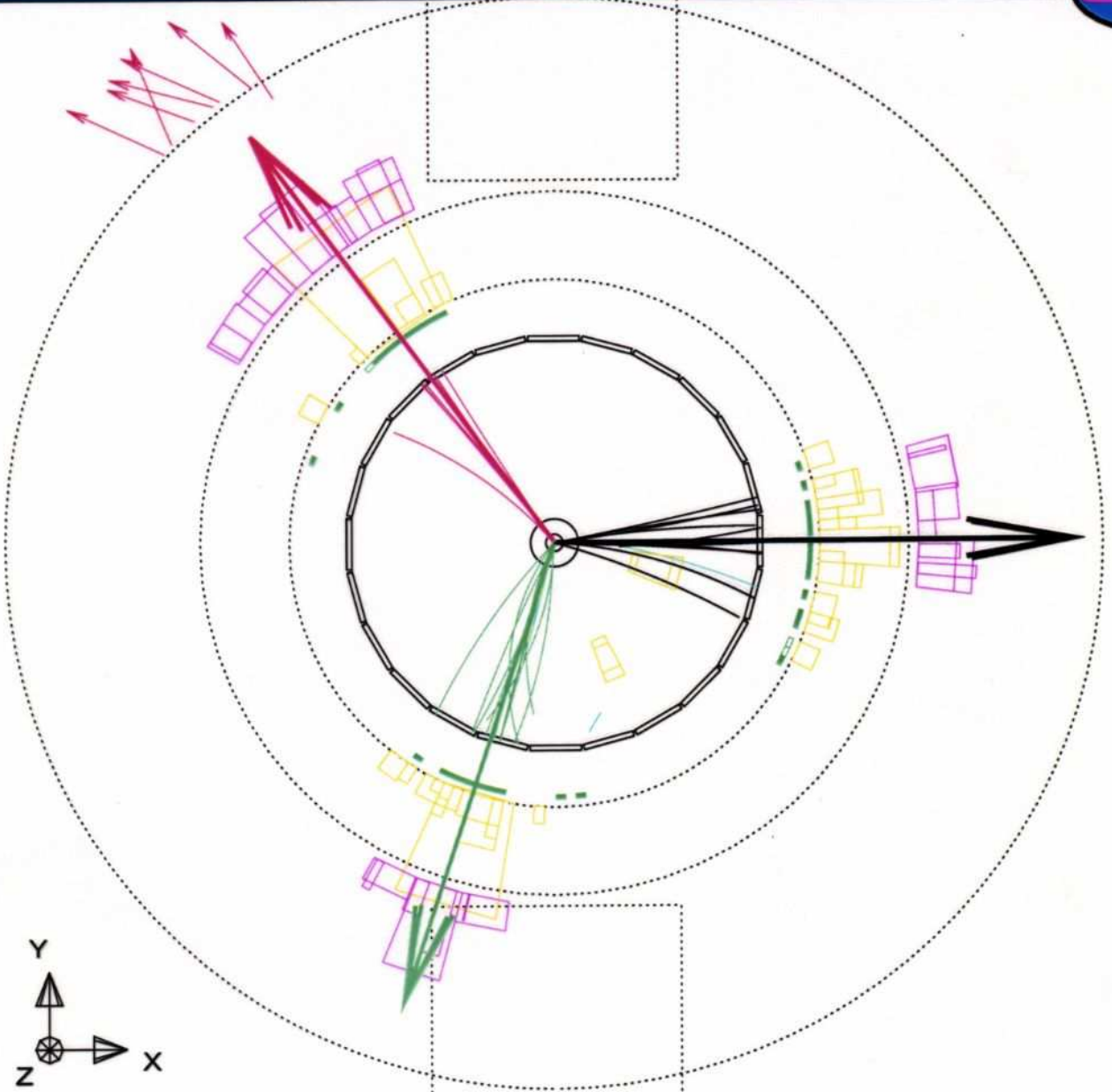
200. cm.

5 10 20 50 GeV

Centre of screen is (0.0000, 0.0000, 0.0000)

$$\sqrt{s} = 205 \text{ GeV}$$

Run: event 13998: 3409 Date 000628 Time 095142 Ctrk(N= 39 Sump=119.9) Ecal(N= 54 SumE=104.9) Hcal(N=27 SumE= 43.6)
 Ebeam 102.70 Evis 190.2 Emiss 15.2 Vtx (-.03, .04, 2.45) Muon(N= 3) Sec Vtx(N= 4) Fdet(N= 0 SumE= 0)
 Bz=4.028 Bunchlet 1/1 Thrust= .7139 Aplan= .0341 Oblat= .3763 Spher= .6405

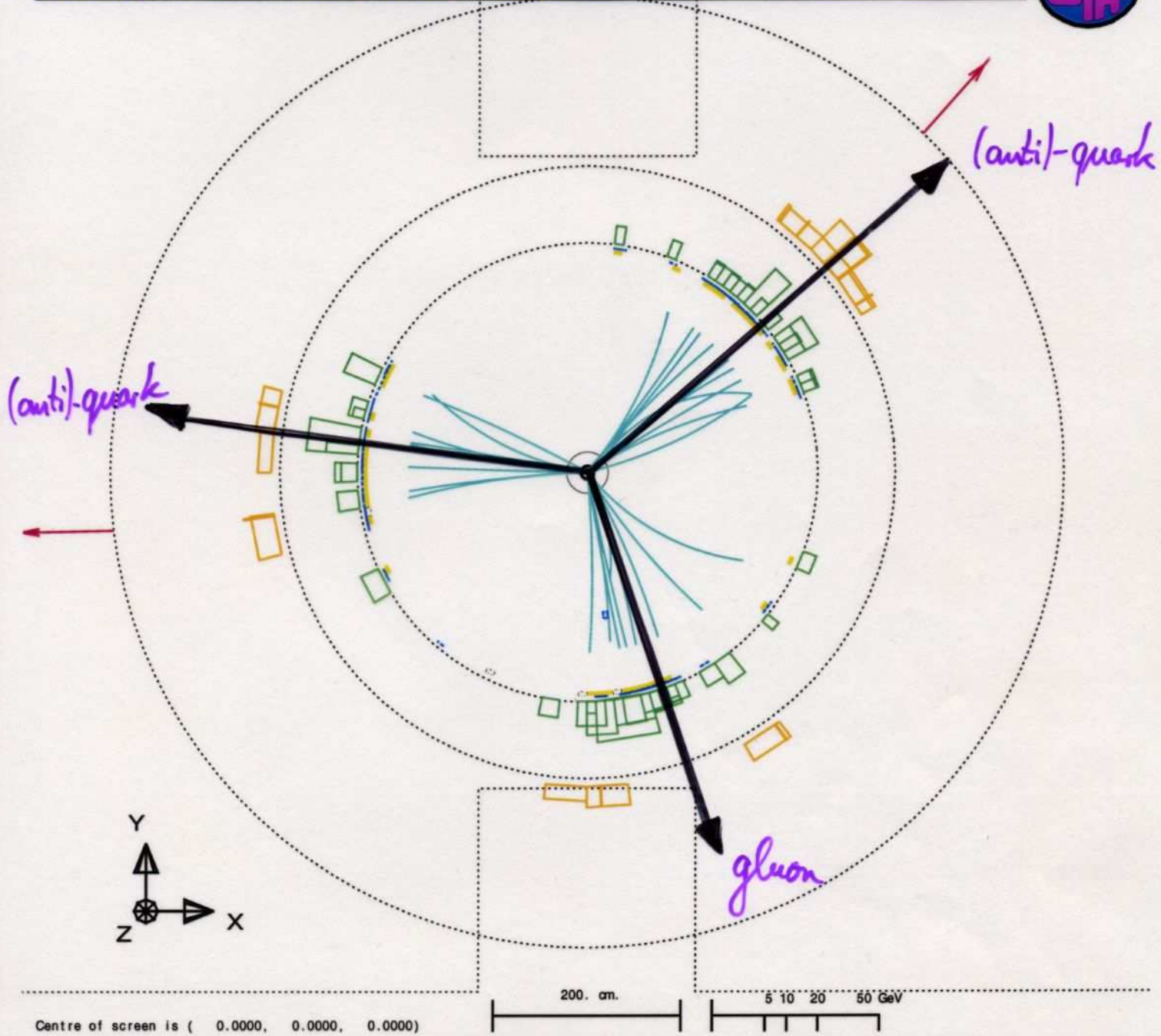


200. cm.

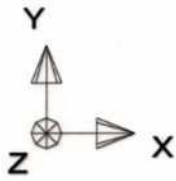
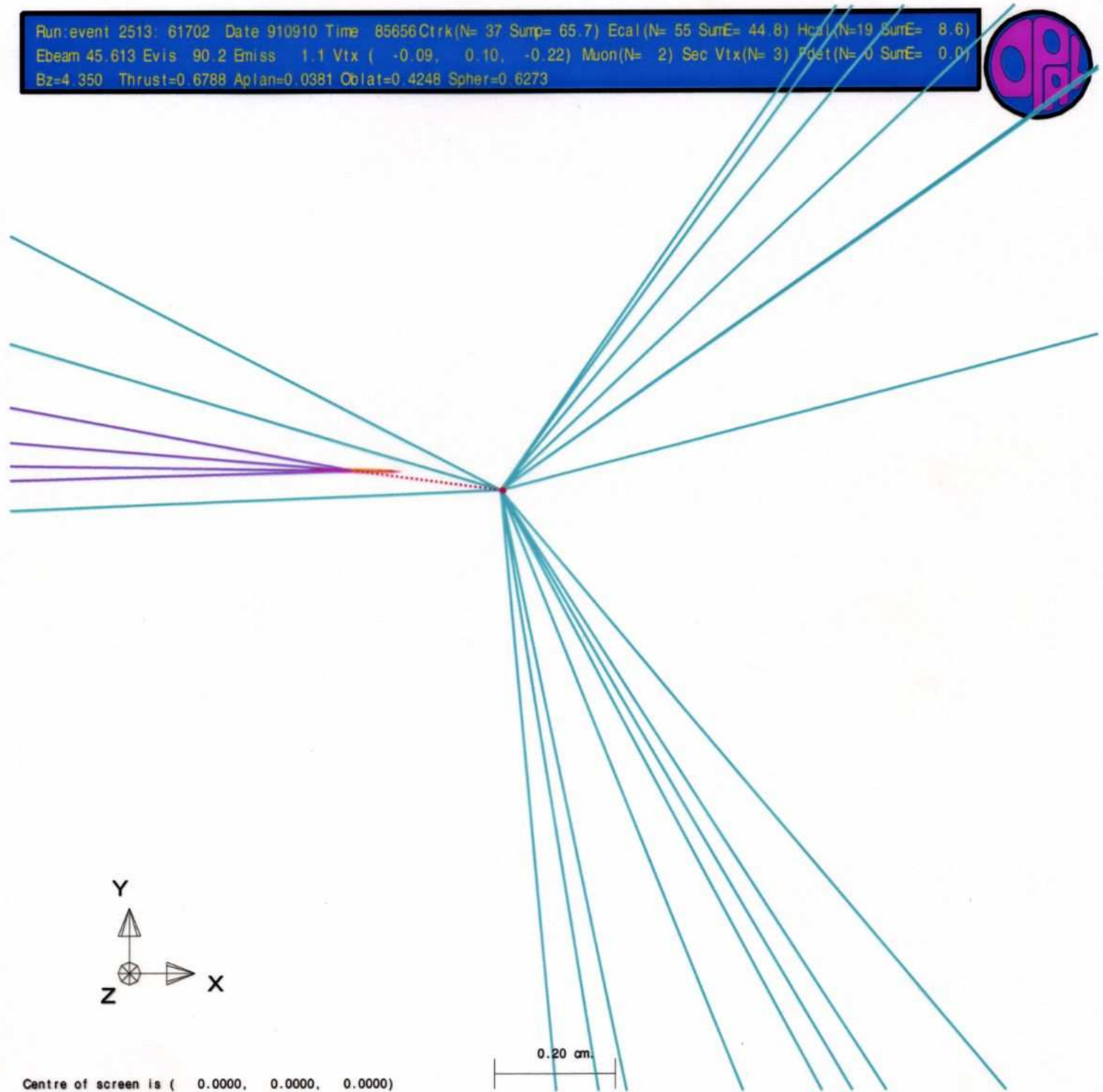
5 10 20 50 GeV

Centre of screen is (.0000, .0000, .0000)

Run event 2513: 61702 Date 910910 Time 85656 Ctrk(N= 37 Sump= 65.7) Ecal(N= 55 SumE= 44.8) Hcal(N=19 SumE= 8.6)
 Ebeam 45.613 Evis 90.2 Emiss 1.1 Vtx (-0.09, 0.10, -0.22) Muon(N= 2) Sec Vtx(N= 3) Fdet(N= 0 SumE= 0.0)
 Bz=4.350 Thrust=0.6788 Aplan=0.0381 Oblat=0.4248 Spher=0.6273



Run: event 2513: 61702 Date 910910 Time 85656 Ctrk(N= 37 Sump= 65.7) Ecal(N= 55 SumE= 44.8) Hcal(N=19 SumE= 8.6)
Ebeam 45.613 Evis 90.2 Emiss 1.1 Vtx (-0.09, 0.10, -0.22) Muon(N= 2) Sec Vtx(N= 3) Pdet(N= 0 SumE= 0.0)
Bz=4.350 Thrust=0.6788 Aplan=0.0381 Oblat=0.4248 Spher=0.6273

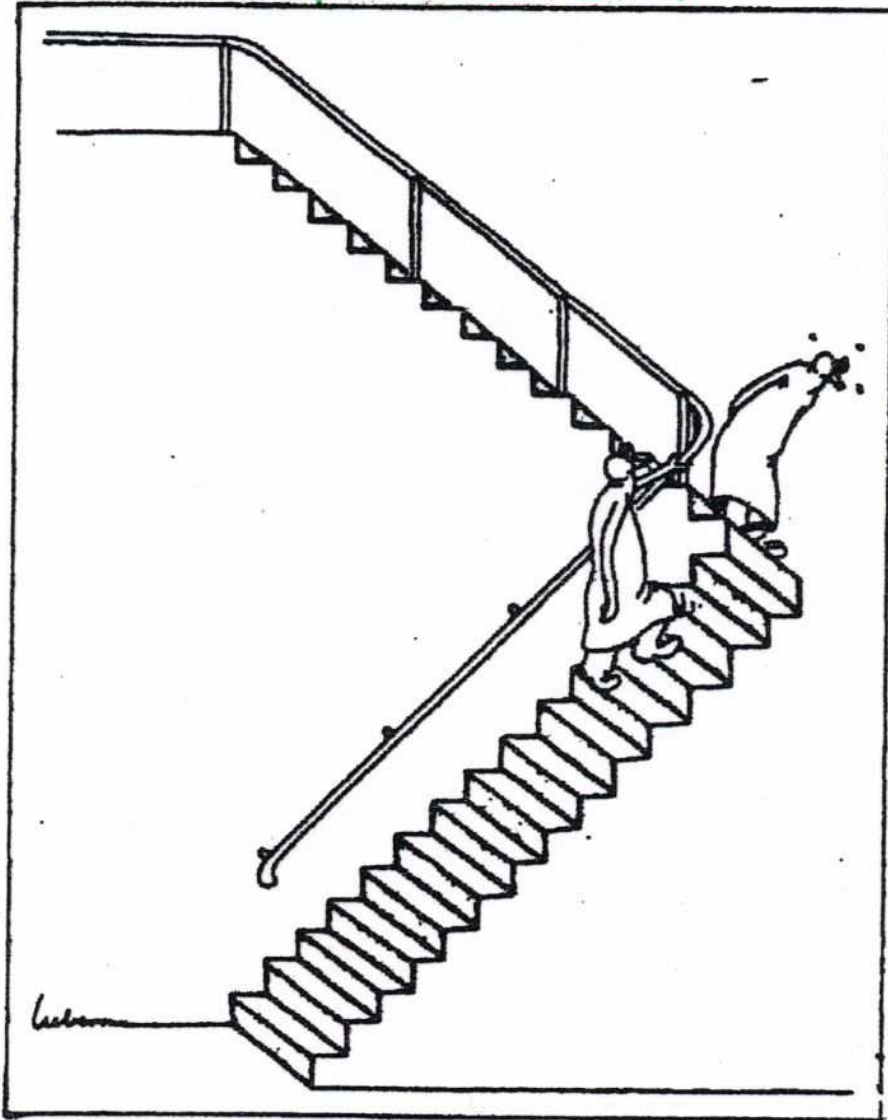


0.20 cm

Centre of screen is (0.0000, 0.0000, 0.0000)

Hadronisierung

Theorie: α_s q
 g
 \bar{q} ... Parton-schauer
Aufsummierung
von logs.;

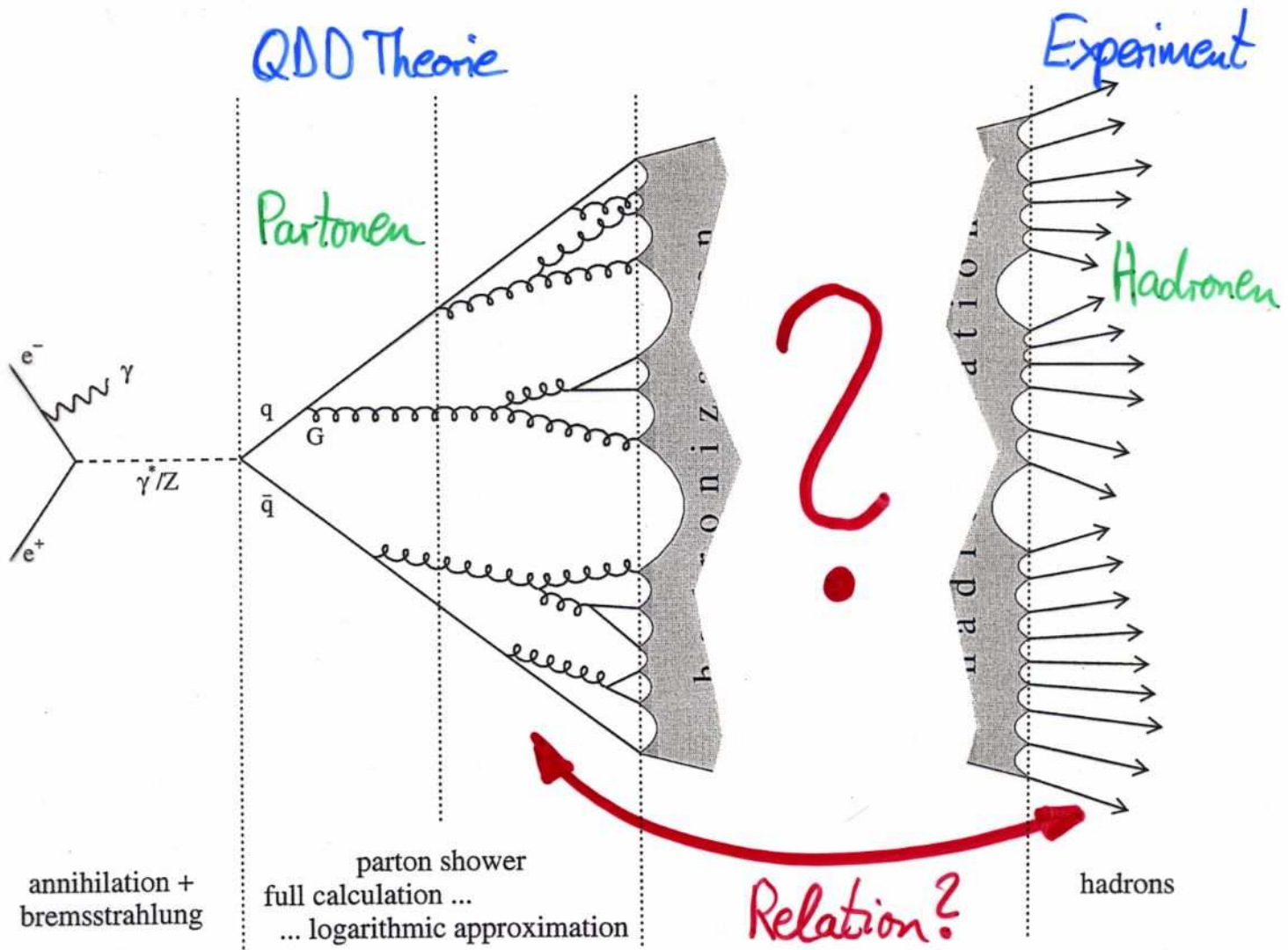


Experiment: 
Hadronen

... Rekonstr.
v. Zerfällen
und v. Jets

Hürden zw. Experiment & Theorie

- Hadronisierung



- phänomenolog. Modelle erforderlich
- + Parameterjustage
- + Untersuchung d. Hadronisierung

Experimentelle Behandlung d. Hadronisierung

Hadronisierung beinhaltet kleine Energieskalen

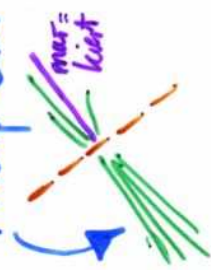
- nicht perturbativ berechenbar
- benötigt phänomenolog. Modelle
(JETSET | PYTHIA | HERWIG | ARIADNE | COJETS | ...)
- Modellparameter ?
aus Justage mittels LEP-Daten von $\sqrt{s} = 91 \text{ GeV}$
- erhebliche Unsicherheiten für α_s -Bestimmung

Untersuchungen zur Hadronisierung

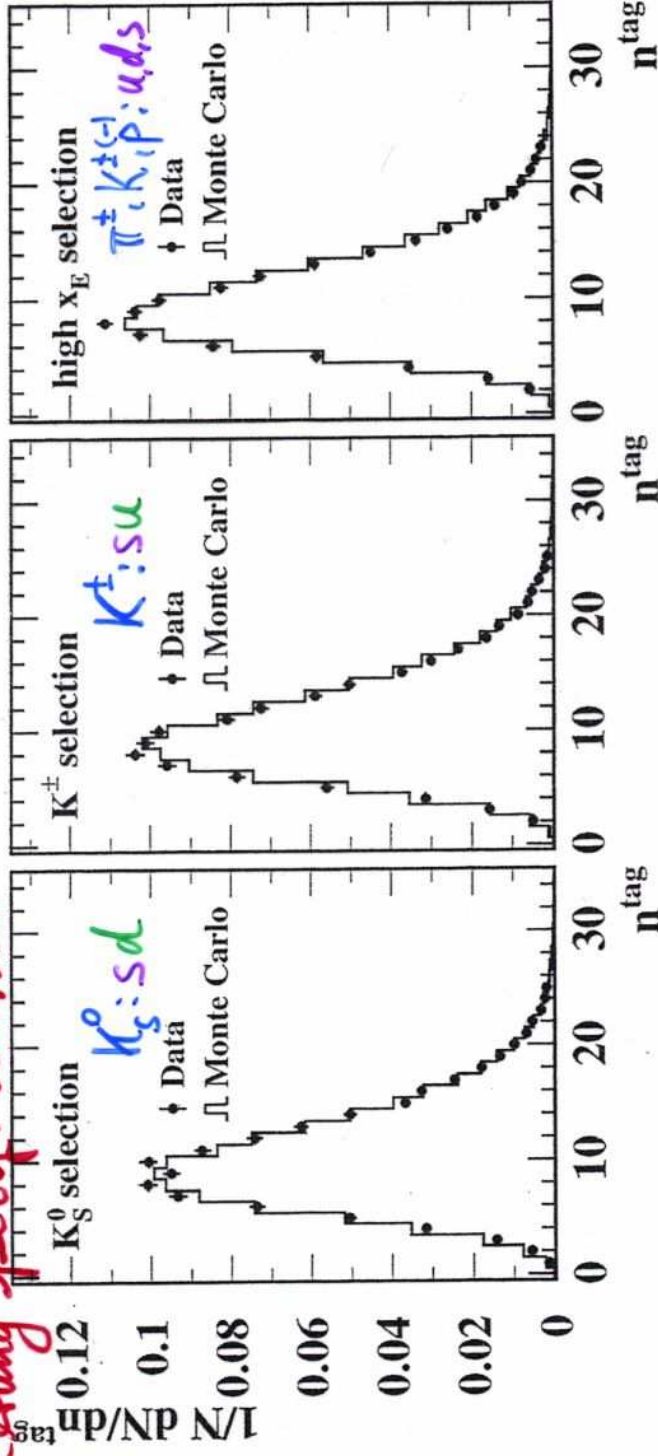
• höchstenerget. Teilchen

→ Anreicherung spezif. Quarks

• Multiplizität



OPAL

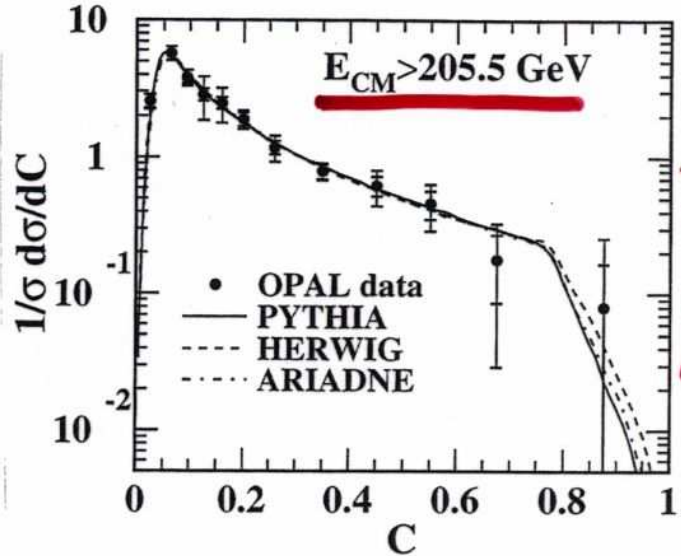
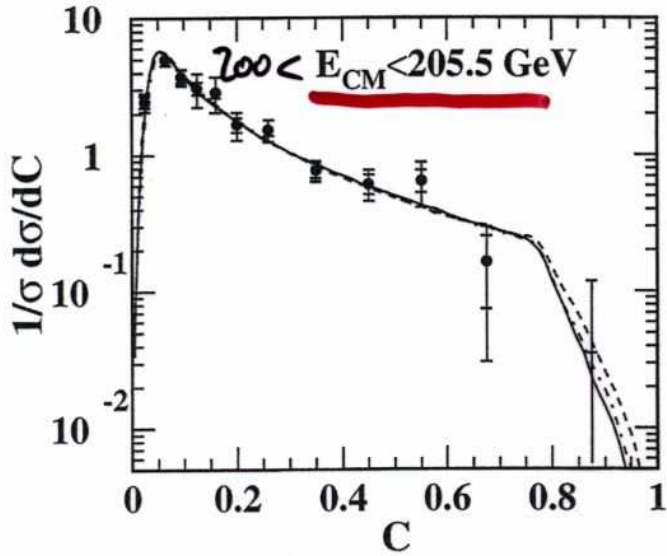


• Entfaltung der geladenen Multiplizität in u, d, s -Quark Reaktionen

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} n_u/n_d = 0.83 \pm 0.11 \\ n_s/n_d = 0.93 \pm 0.09 \\ n_s/n_u = 1.13 \pm 0.07 \end{array} \right.$$

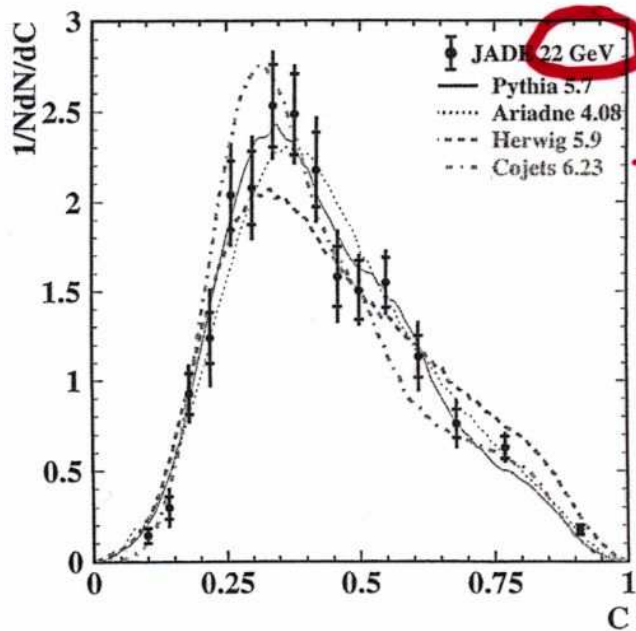
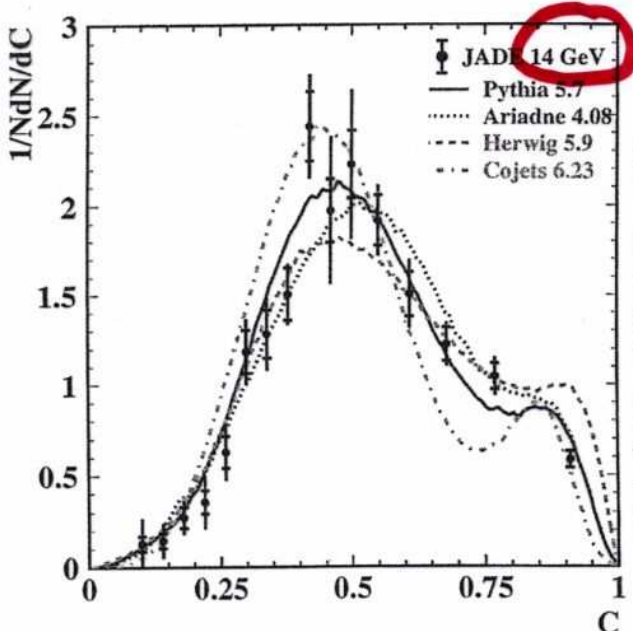
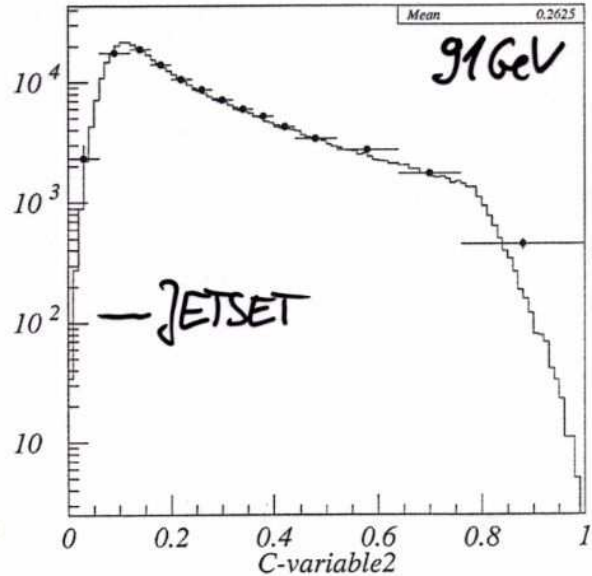
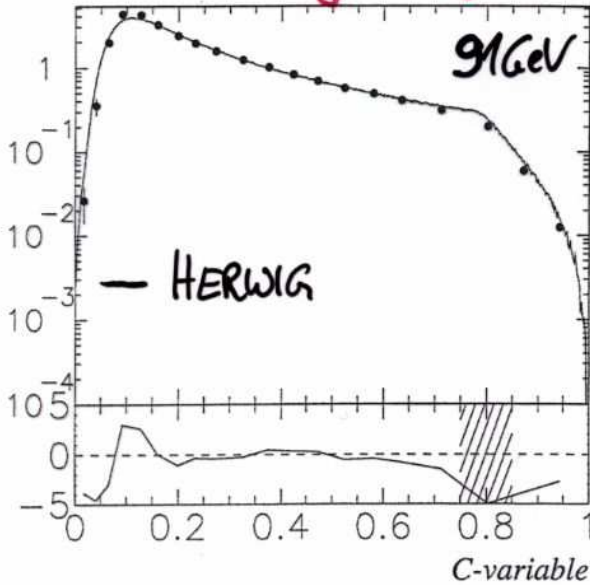
(stat ⊕ syst.)

Test der phänomenolog. Hadronisierungsmodelle



Test zu höheren Energien ✓

▶ Parameterjustage mit Daten bei $\sqrt{s} = 91 \text{ GeV}$



Test zu niedrigeren Energien ✓

Kein Weg führt daran vorbei ... Renormierung



Alright Ruth, I about got this one renormalized

COPYRIGHT JFCARTIER 1984

(Nambu: "Quarks")

Renormierung:

- für endliche Resultate erforderlich ~~renormieren~~
- führt eine Energieskala μ ein $\leadsto \alpha_s(\mu^2)$
- keine offensichtliche Relation $\mu^2 \leftrightarrow (\sqrt{s})^2 \equiv Q^2$

$$\rightarrow \mu = x_\mu \cdot Q$$

und

$$x_\mu = ?$$

(Renormierungs-
skalenfaktor x_μ)

übliche Wahl $x_\mu = 0.5 \dots 2.0$

\Rightarrow Unsicherheit durch Wahl von x_μ

Weitere (praktische) Hürden

Rettung & Reaktivierung der JADE-Daten

- "Last minute" (P. Movilla Fernández, P. Pfeifenschneider, J. Olsson, S. Bethke und andere)

+ Auffinden der alten JADE-Tapes
(Suche bei DESY, Heidelberg, Berkeley)

+ dazu passende JADE-Detektorsimulation
(teilweise schon JETSET 6.3, aber nur f. 35 & 44 GeV)

+ Auffinden d. zugehörigen Luminositäts-Infos

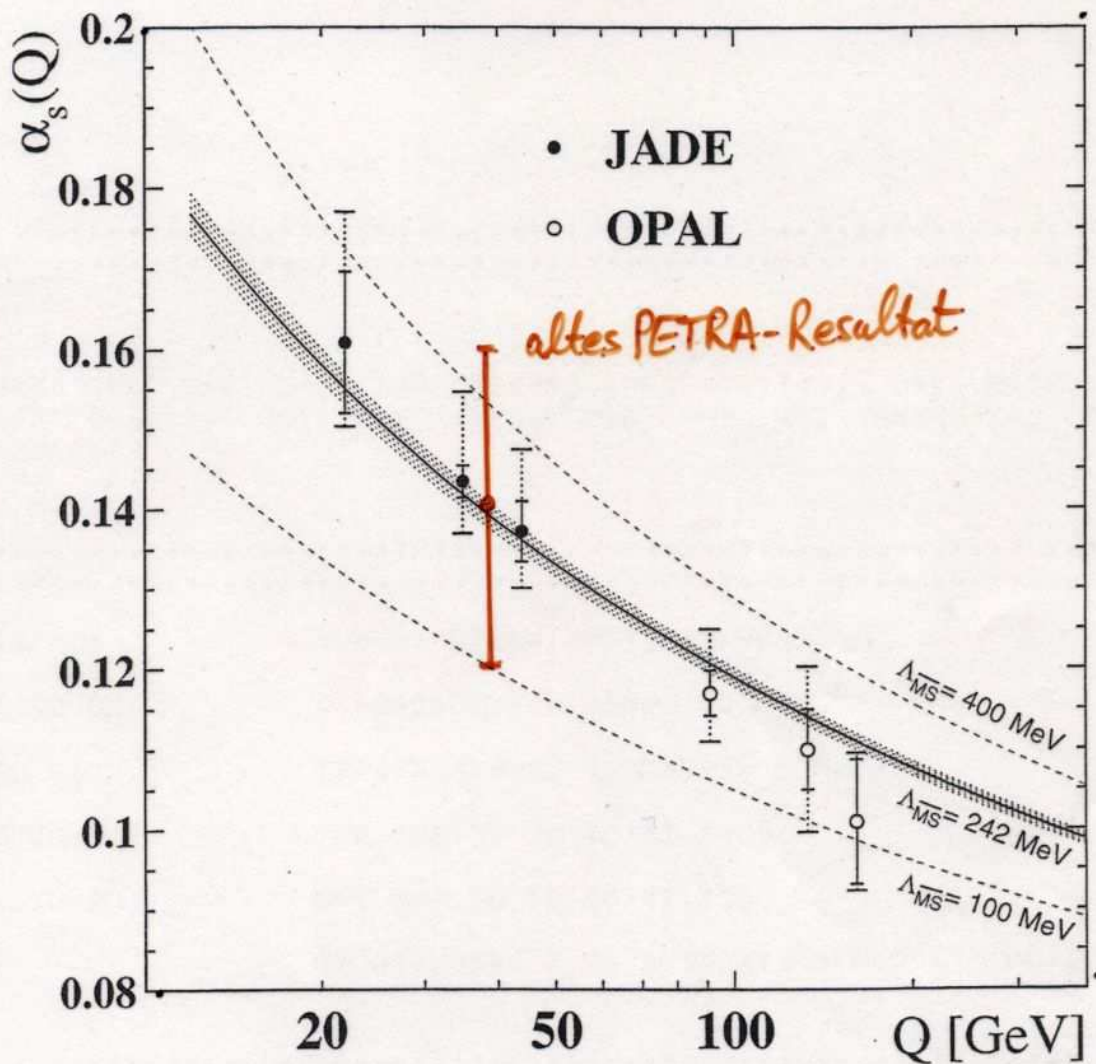
+ Aneignen der Kenntnisse ehemaliger "Jadione"

+ Reproduktion veröffentlichter JADE-Resultate

⇒ "state of the art" α_s -Bestimmung

JADE & OPAL zu α_s

- vergleichbare Detektoren
- gleiche Event shape-Observable (T, B_w, B_T, M_H, Y_{23})
- gleiche Theorievorhersagen ($\ln R$ -matched)
- vergleichbares Studium syst. Unsicherheiten

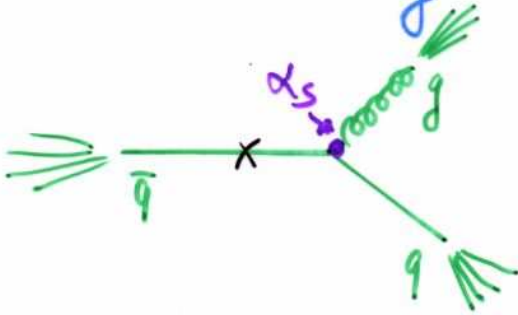


⇒ α_s läuft!

NB: Gesamtfehler durch Renormierungsskala dominiert

Weitere kombinierte JADE & OPAL-Studien zu Jets

- Sensitivität auf d_s in



- Algorithmus zur Definition der Jets erforderlich
- # Jets hängt von Auflösungsparameter γ_{cut} ab
- Studium der

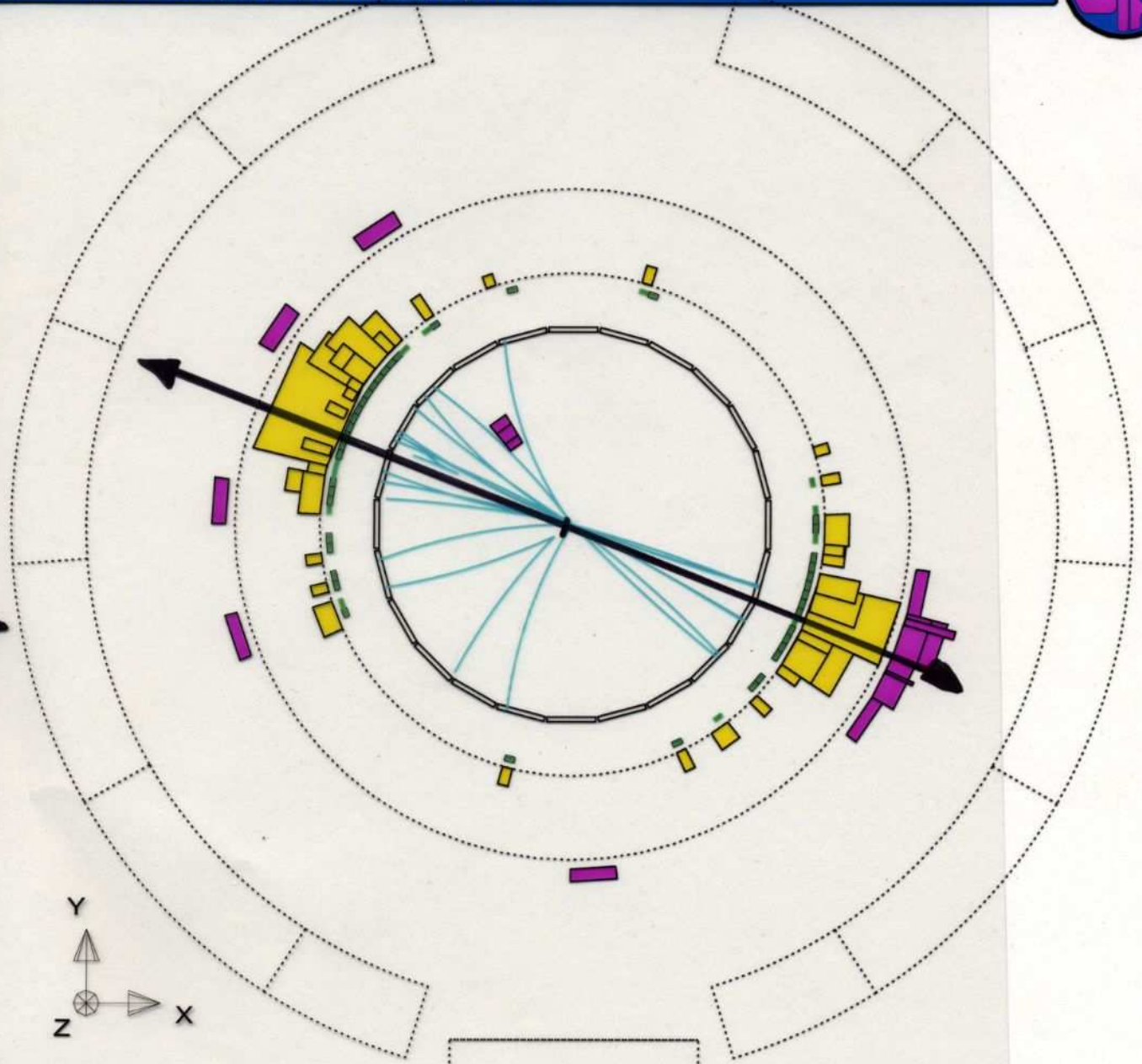
▷ **differentielle Jetrate:**
(Durham & Cambridge Algorithmen)

$$D_2(\gamma_{cut}) \hat{=} \begin{cases} \text{Änderung} \\ \text{der \#2-Jets} \\ \text{mit } \gamma_{cut} \end{cases} \\ = A_0(\gamma_{cut}) \cdot d_s + \dots$$

▷ **mittleren Jetanzahl:**
(Durham & Cambridge Algorithmen)

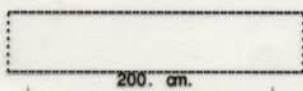
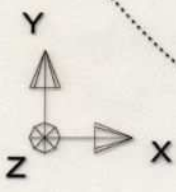
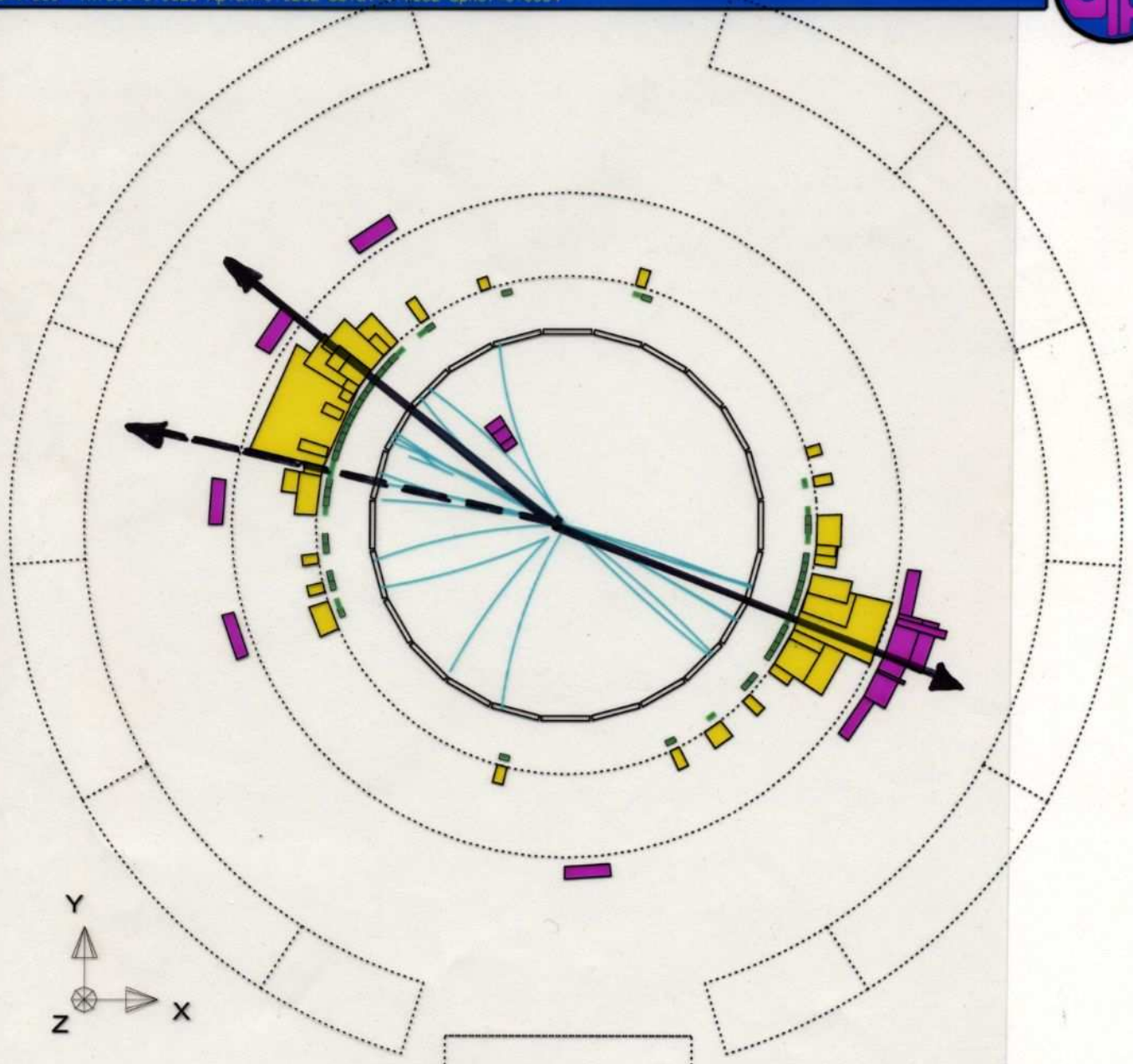
$$N(\gamma_{cut}) = 2 + A_N(\gamma_{cut}) \cdot d_s + \dots$$

Run: event 2419: 67143 Date 910723 Time 112832 Ctrk(N= 26 Surp= 47.4) Ecal(N= 50 SurE= 73.1) Hcal(N=13 SurE= 7.6)
 Ebeam 45.623 Evis 89.3 Emiss 2.0 Vtx (-0.10, 0.16, -0.10) Muon(N= 0) Sec Vtx(N= 3) Fdet(N= 0 SurE= 0.0)
 Bz=-4.350 Thrust=0.9320 Aplan=0.0202 Oblat=0.0532 Spher=0.0554



Centre of screen is (0.0000, 0.0000, 0.0000)

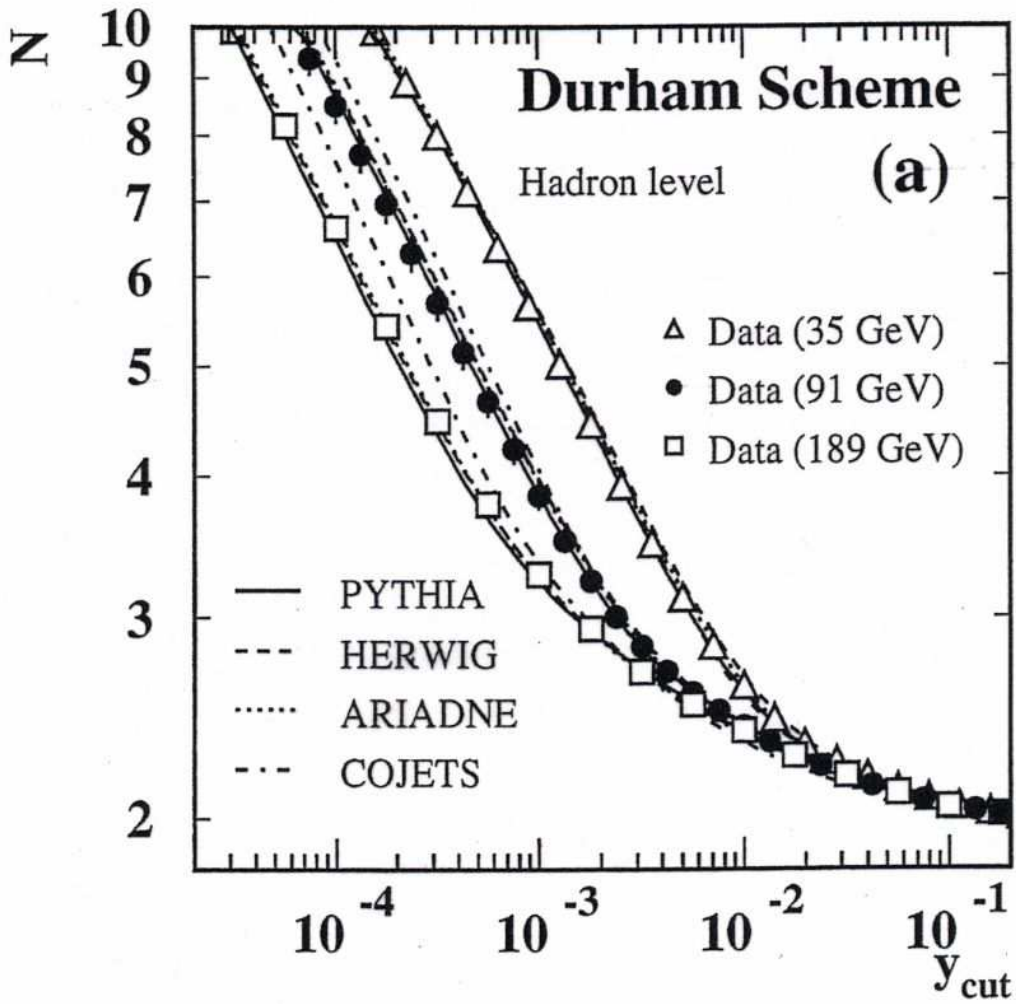
Run: event 2419: 67143 Date 910723 Time 112832 CirK(N= 26 Surp= 47.4) Ecal(N= 50 SurE= 73.1) Hcal(N=13 SurE= 7.6)
 Ebeam 45.623 Evis 89.3 Emiss 2.0 Vtx (-0.10, 0.16, -0.10) Muon(N= 0) Sec Vtx(N= 3) Fdet(N= 0 SurE= 0.0)
 Bz=4.350 Thrust=0.9320 Aplan=0.0202 Oblat=0.0532 Spher=0.0554



5 10 20 50 GeV

Centre of screen is (0.0000, 0.0000, 0.0000)

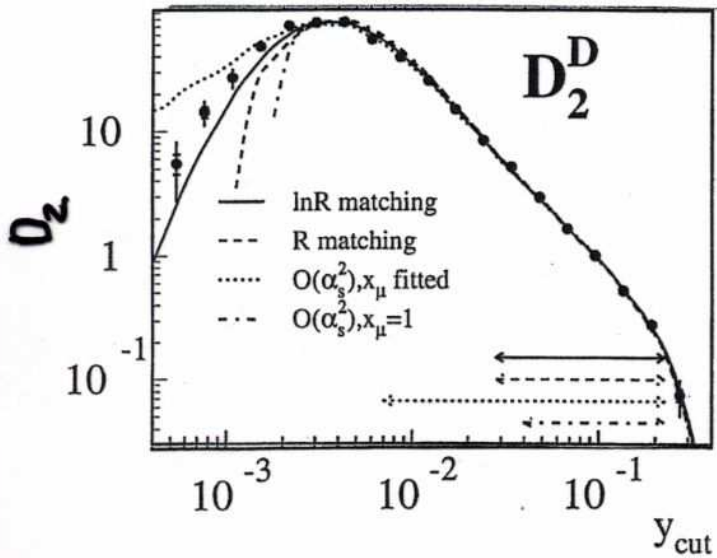
Mittlere Jetanzahl



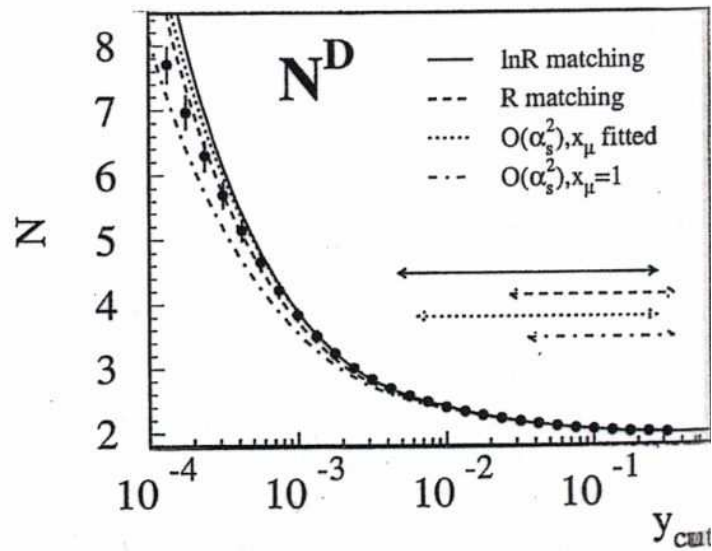
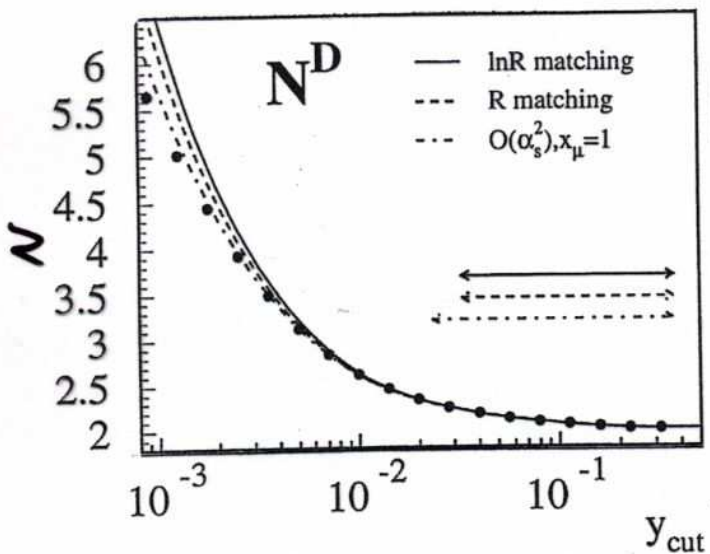
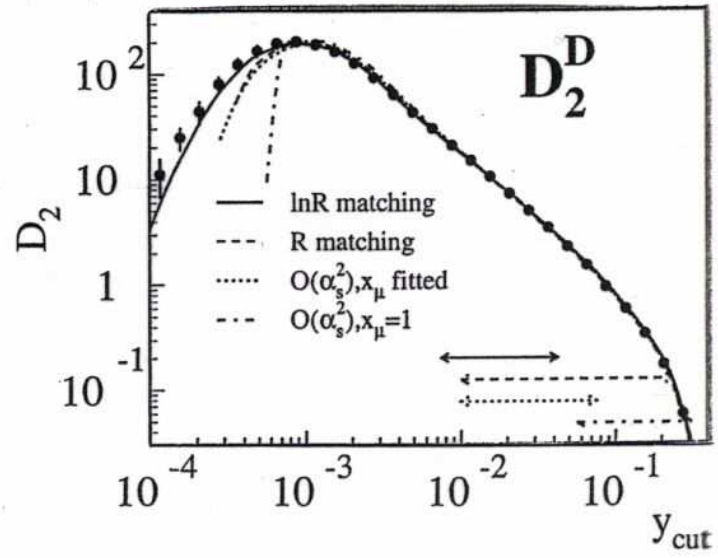
⇒ Skalenabhängigkeit von α_s

Anpassungen für diff. 2-Jetrate u. mittlere Jetanzahl

35 GeV

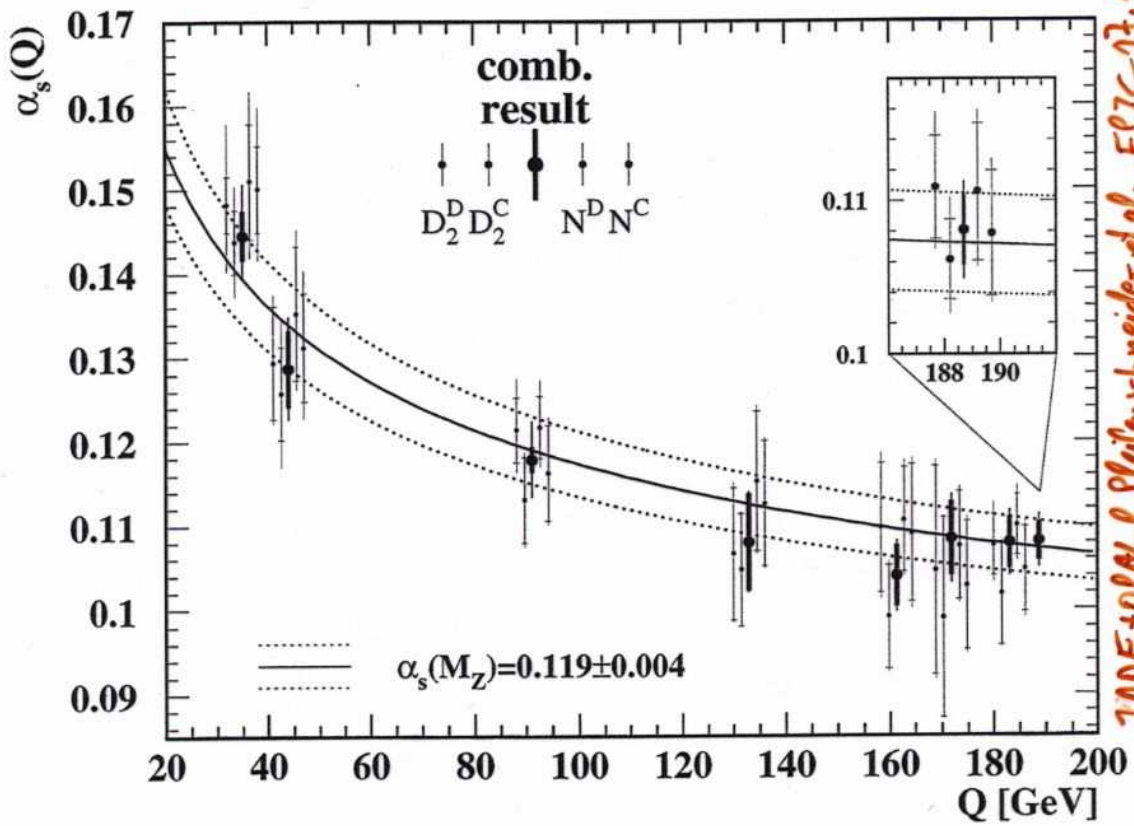


91 GeV



α_s aus D_2 und N

- homogene Analyse d. JADE & OPAL - Daten



⇒ kombiniertes Ergebnis:

$$\alpha_s(M_Z^2) = 0.1187 \pm \begin{matrix} 0.0034 \\ 0.0019 \end{matrix}$$

$$\chi^2/\text{dof} = 7.9/7$$

Modellfreie Ansätze

■ Wie wird man die Hadronisierungsmodelle los?

● MLLA Ansatz

→ Berechnung der Parton-Verteilungen
bis zu sehr geringen Skalen $Q_0 = 500 \text{ MeV}$

● LPHD Hypothese

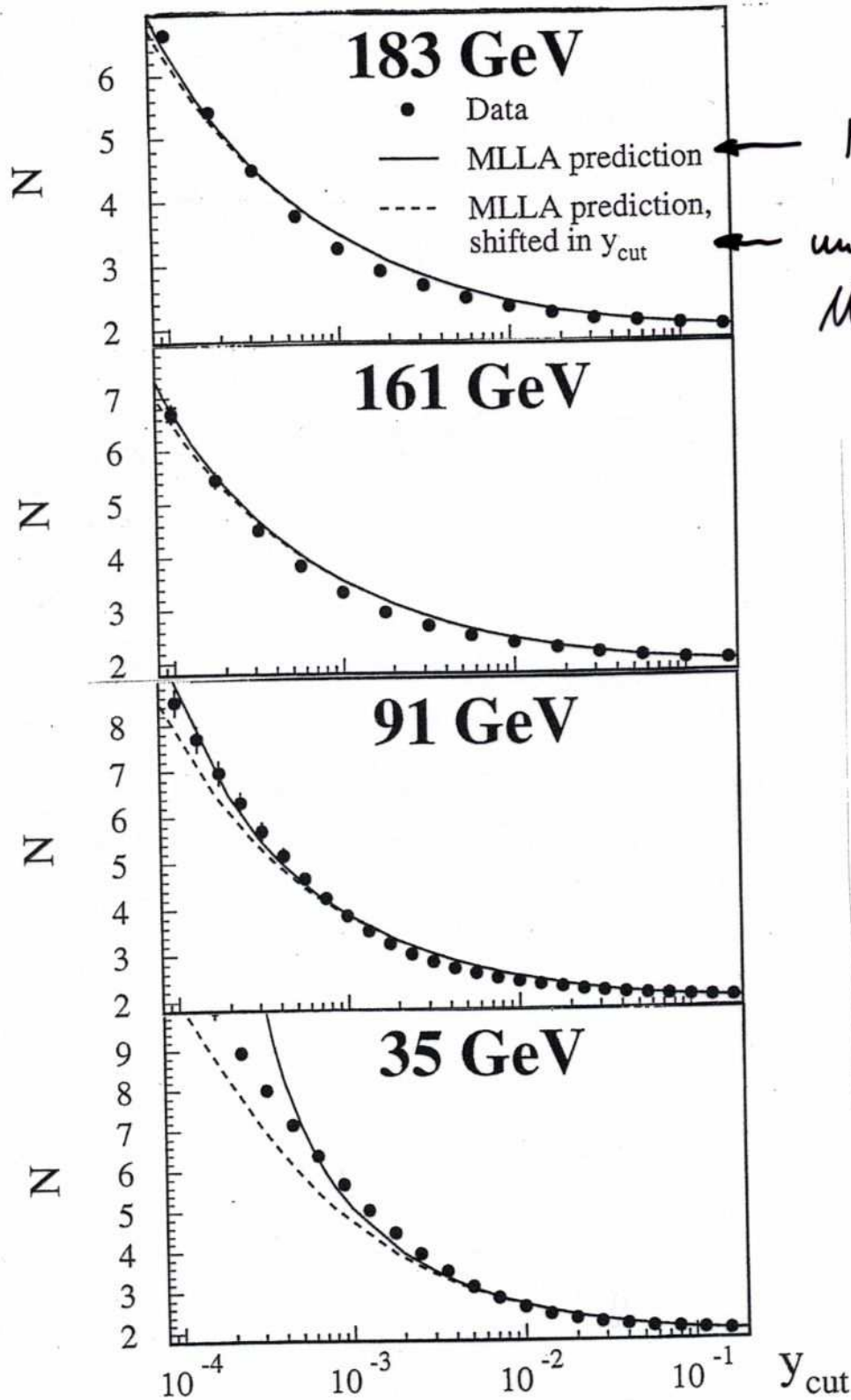
→ Übereinstimmung: Partonen \leftrightarrow Hadronen

⇒ Vorhersagen direkt für Hadronen!

→ keine Notwendigkeit eines Hadronisierungs-
modells!

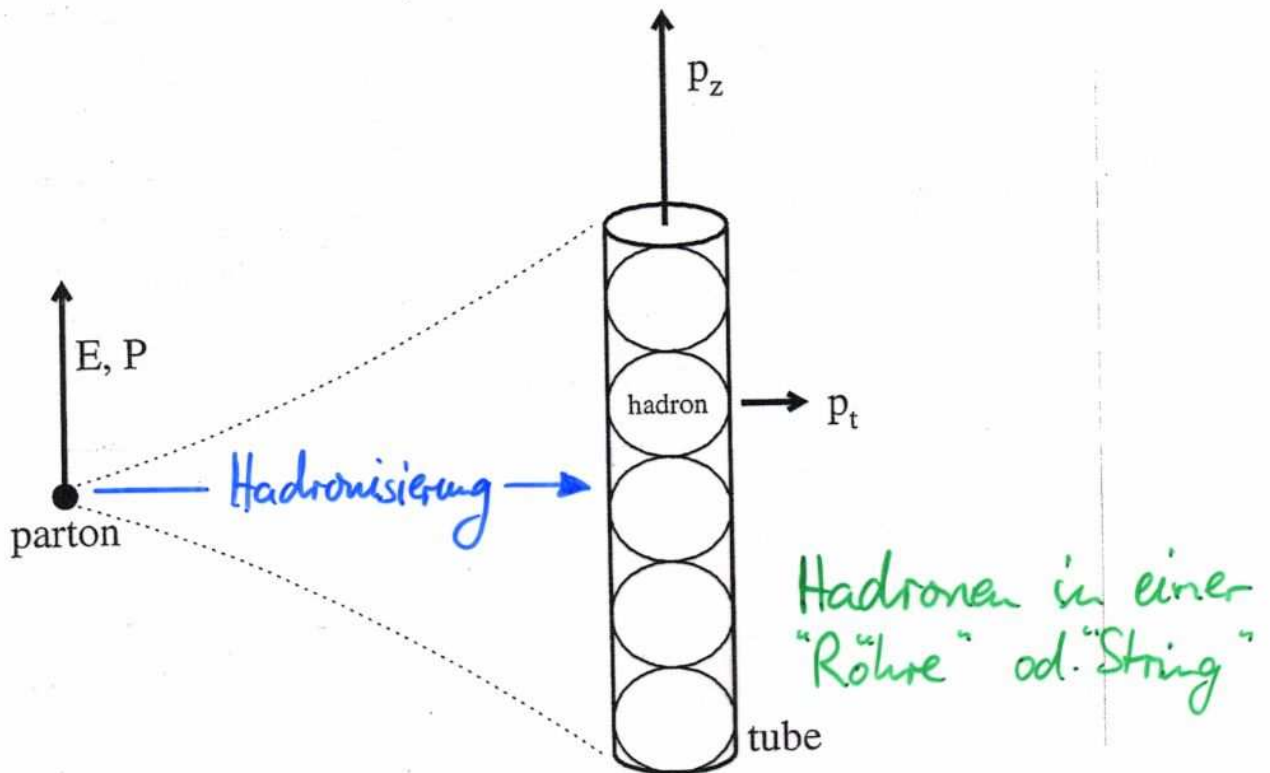
▷ mittlere Jetanzahl (Khoze & Ochs)

MLLA-Vorhersage für mittlere Jetanzahl



Khoeze & Ochs
um Q_0^2/Q^2 wegen
Masseneffekten

Hadronisierung \cong Energiepotenzkorrekturen



▷ Energie d. Röhre :

$$E_{tube}$$

▷ Impuls \sim :

$$P_{tube} \cong E_{tube} - 2$$

▷ Hadronisierungsskala:

$$2 = \int dp_t^2 \cdot \text{Hadronendichte}(p_t)$$

■ 2-Jet Konfiguration

$$E_{tube} \cong Q/2 \cong \sqrt{s}/2$$

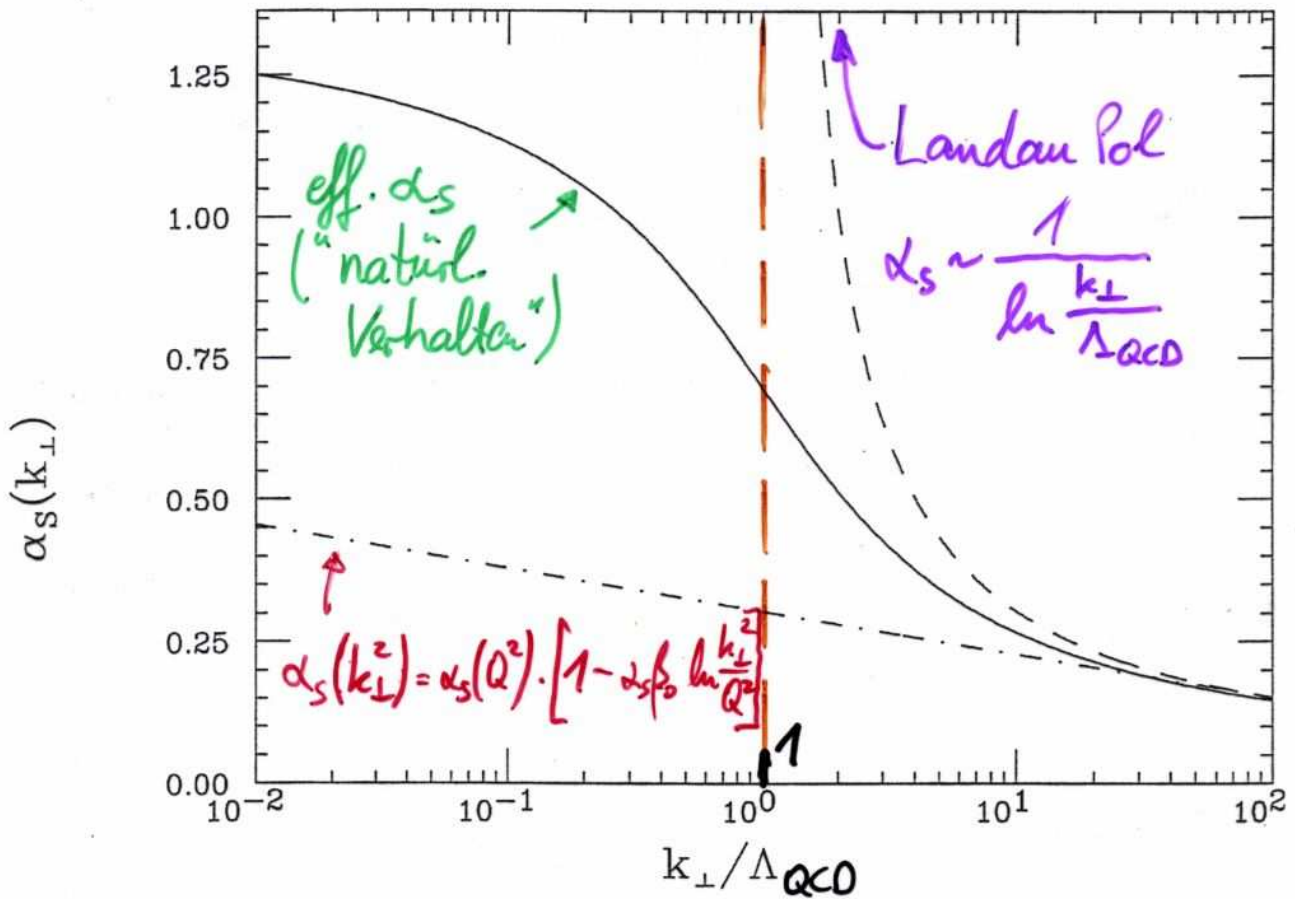
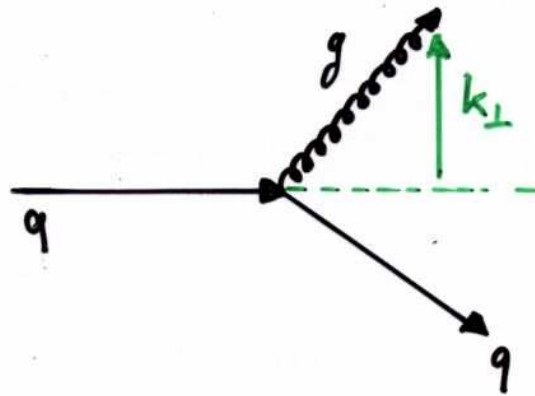
\Rightarrow

$$\text{Thrust} = \frac{P_{tube}}{E_{tube}} \cong 1 - \frac{22}{Q}$$

\Rightarrow

$$\text{Hadronisierung} \sim 1/Q$$

QCD bei niedriger Energieskala?



keine perturbative Berechnung von α_s (kleine k_{\perp}) möglich

⇒ nutze Momente für Berechnung

z.B.
$$\alpha_0(\mu_I) \equiv \frac{1}{\mu_I} \int_0^{\mu_I^2} \frac{dk_{\perp}^2}{k_{\perp}} \alpha_s(k_{\perp}^2)$$

Energiepotenzkorrekturen

- Hadronisierungseffekte:

$$\begin{array}{ccc} = \alpha_0 & \cdot & \frac{1}{Q} & \cdot & c_F \\ \uparrow & & \uparrow & & \uparrow \\ \text{nicht berechenbar} & & \text{Skala des} & & \text{berechenbar f.} \\ \rightarrow \text{messen!} & & \text{Prozesses} & & \text{Observable } F \end{array}$$

- Theorie:

α_0 ist universell

(,d.h. gleicher Wert für Thrust, Jetmasse, Jet Broadening, ...
und für Prozesse e^+e^- , $e p$, ...)

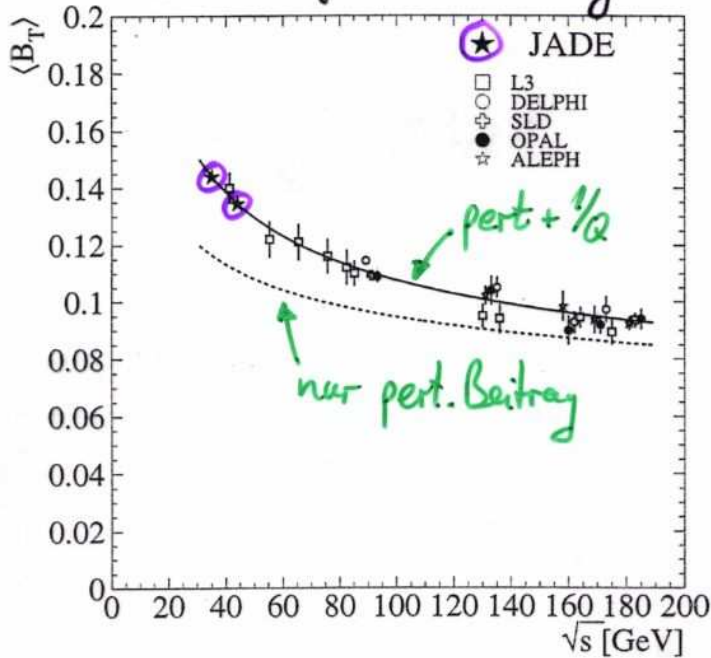
- Vorhersage für Observable F :

$$\langle F \rangle = \langle F_{\text{pert.}} \rangle + \alpha_0 \cdot \frac{1}{Q} \cdot c_F$$

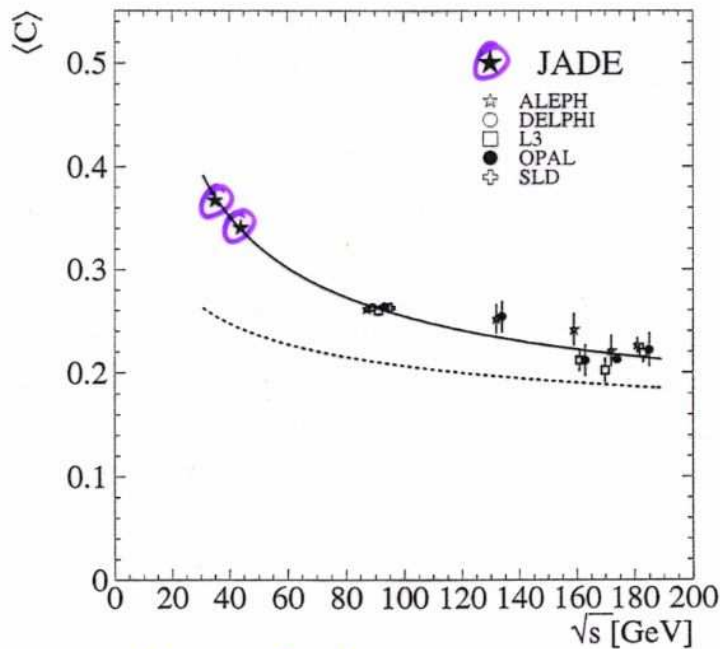
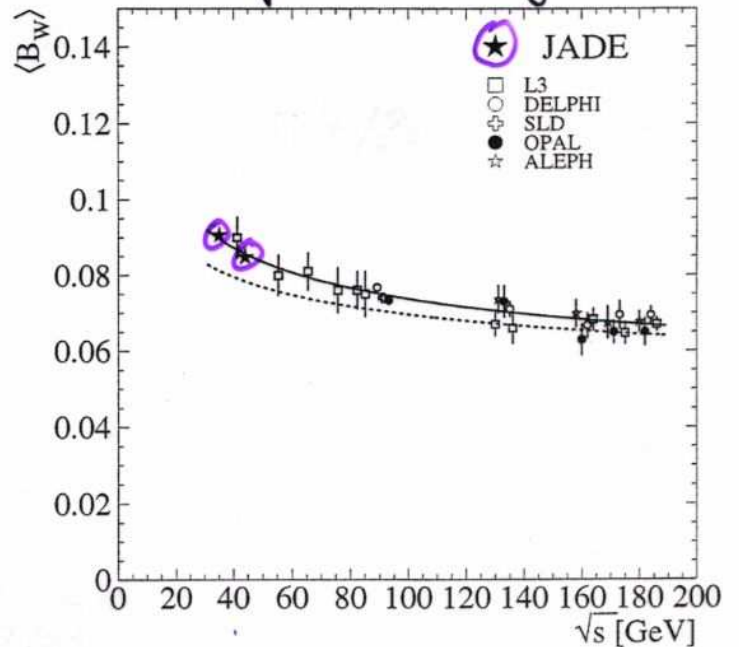
- ▷ mehrere Theorie- und Experimentgruppen
untersuchen Energiepotenzkorrekturen

Energiepotenzkorrekturen f. Mittelwerte

totales Jet Broadening



weites Jet Broadening



C-Parameter

+ Thrust, schwere Jetmasse



$$\alpha_s(M_Z^2) = 0.120 \pm 0.004$$

$$\alpha_0 = 0.51 \pm 0.06$$

Energiepotenzkorr. f. diff. Observablen-Verteilungen?

- Theorie: $\frac{d\sigma}{Q}$ gilt auch für Verteilungen

i.a.: $\frac{d\sigma}{d\mathcal{F}}(\mathcal{F}) \rightarrow \frac{d\sigma}{d\mathcal{F}}(\mathcal{F} - \frac{d\sigma}{Q})$

(etwas komplizierter f. Jet Broadening...)

- Anwendung auf alle verfügbaren e^+e^- -Daten

14 ... 200 GeV

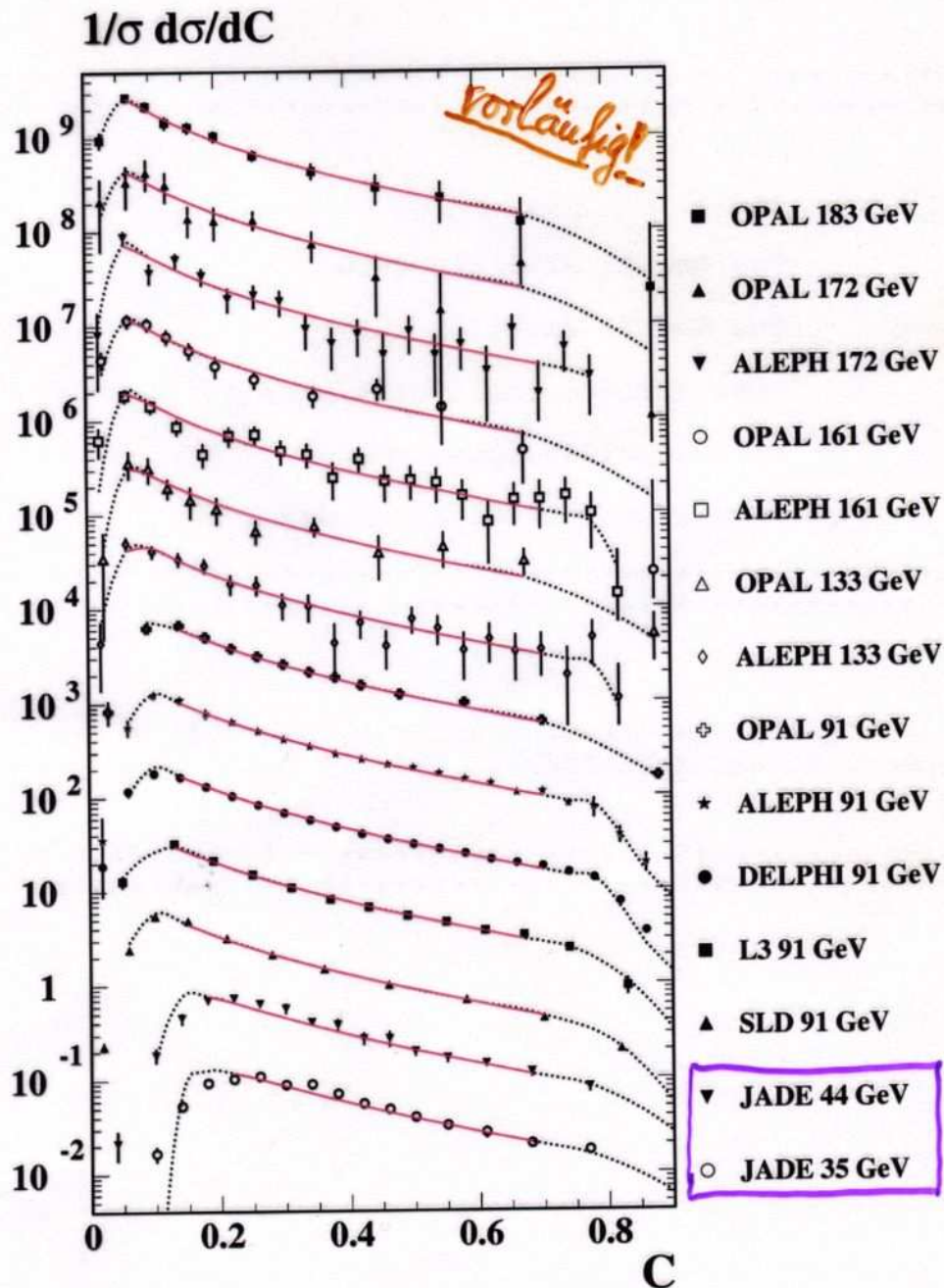
+ neue Observable bei PETRA-Energien!

- Untersuchung von

Thrust, C-Parameter, totals & weites Jet Broadening

↑ ↑
erstmal bei PETRA-Energien

Energiepotenzkorrekturen an C-Parameter



⇒ C:

$$\alpha_s(M_Z^2) = 0.114 \pm 0.006$$

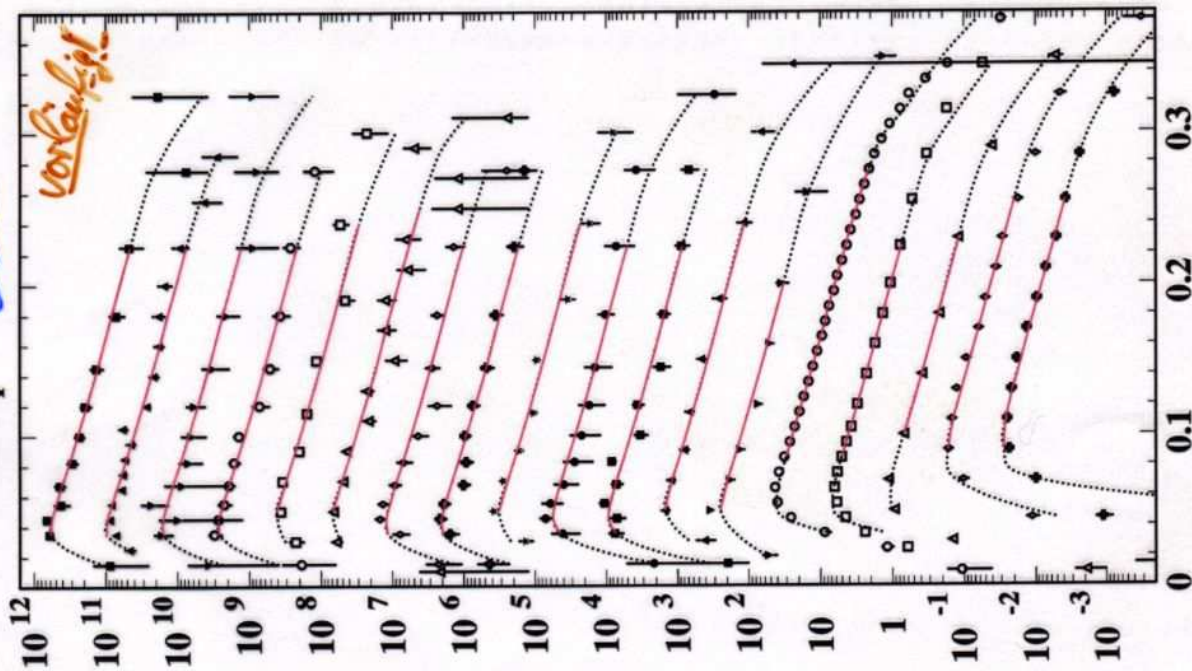
$$d_0 = 0.50 \pm 0.10$$

$$\chi^2/dof = 163/170$$

Energiepotenzkorrekturen an Jet Broadening

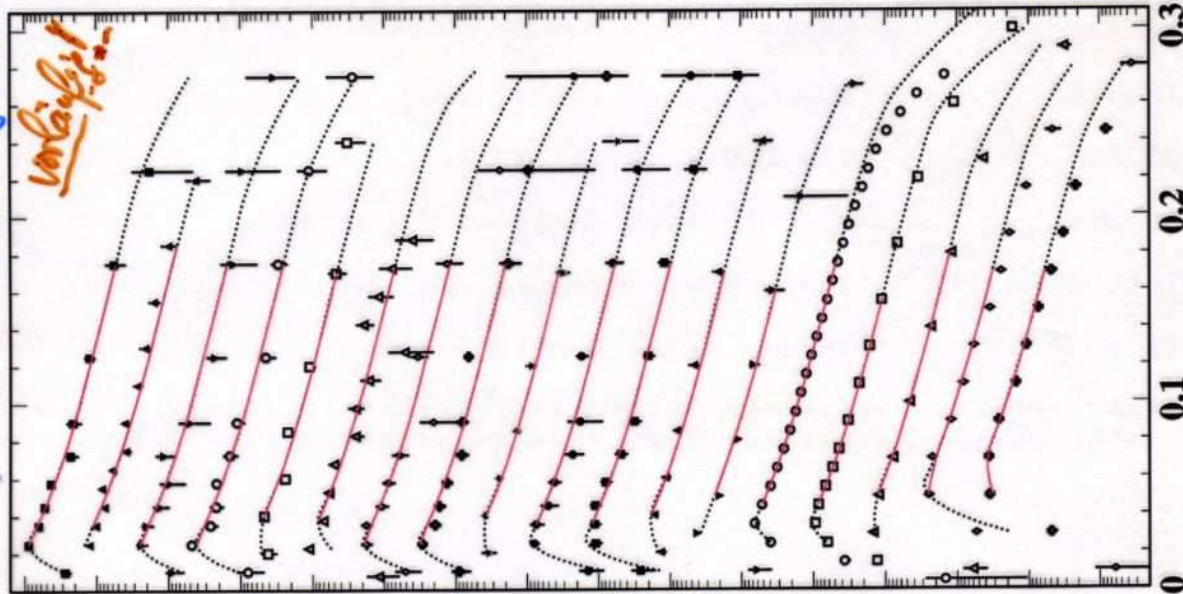
$1/\sigma \text{ d}\sigma/\text{dB}_T$ *totales*

$1/\sigma \text{ d}\sigma/\text{dB}_W$ *wertes Jet Broadening*



B_T

$\chi^2/\text{dof} = 161/171$

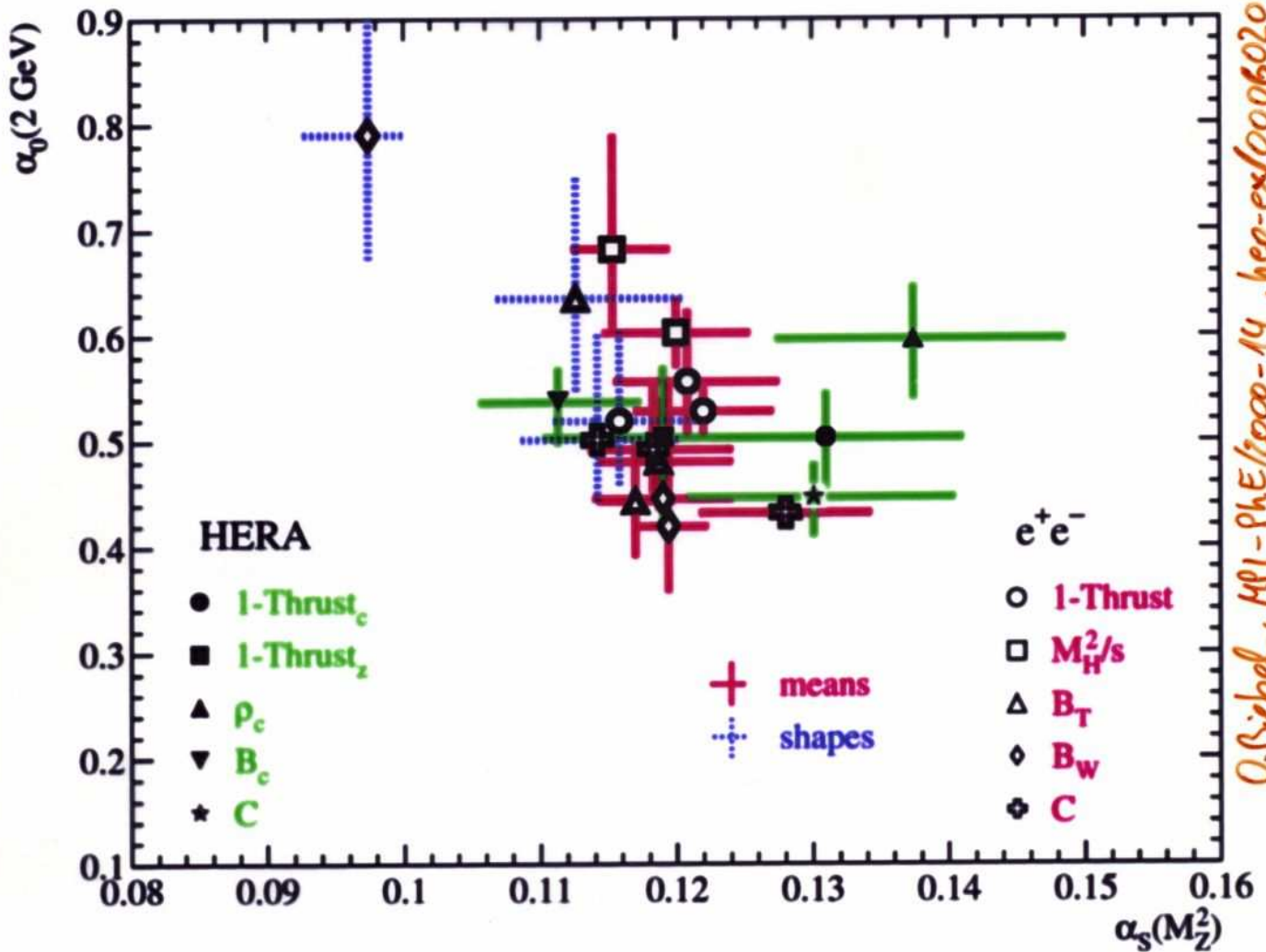


B_W

162/132

- OPAL 183 GeV
- ▲ DELPHI 183 GeV
- ▼ OPAL 172 GeV
- ALEPH 172 GeV
- DELPHI 172 GeV
- △ L3 172 GeV
- ◇ OPAL 161 GeV
- ⊕ ALEPH 161 GeV
- ★ DELPHI 161 GeV
- OPAL 133 GeV
- ALEPH 133 GeV
- ▲ DELPHI 133 GeV
- ▼ L3 133 GeV
- OPAL 91 GeV
- DELPHI 91 GeV
- △ SLD 91 GeV
- ◇ JADE 44 GeV
- ⊕ JADE 35 GeV

Universalität des α_0 -Parameters



⇒ Universalität auf dem 20% - Niveau!
 (≙ Genauigkeit der Energiepotenzkon.-Rechnungen)

Für Mittelwerte in e⁺e⁻:

$$\alpha_s(M_Z^2) = 0.116 \pm 0.004$$

$$\alpha_0 = 0.49 \pm 0.03$$

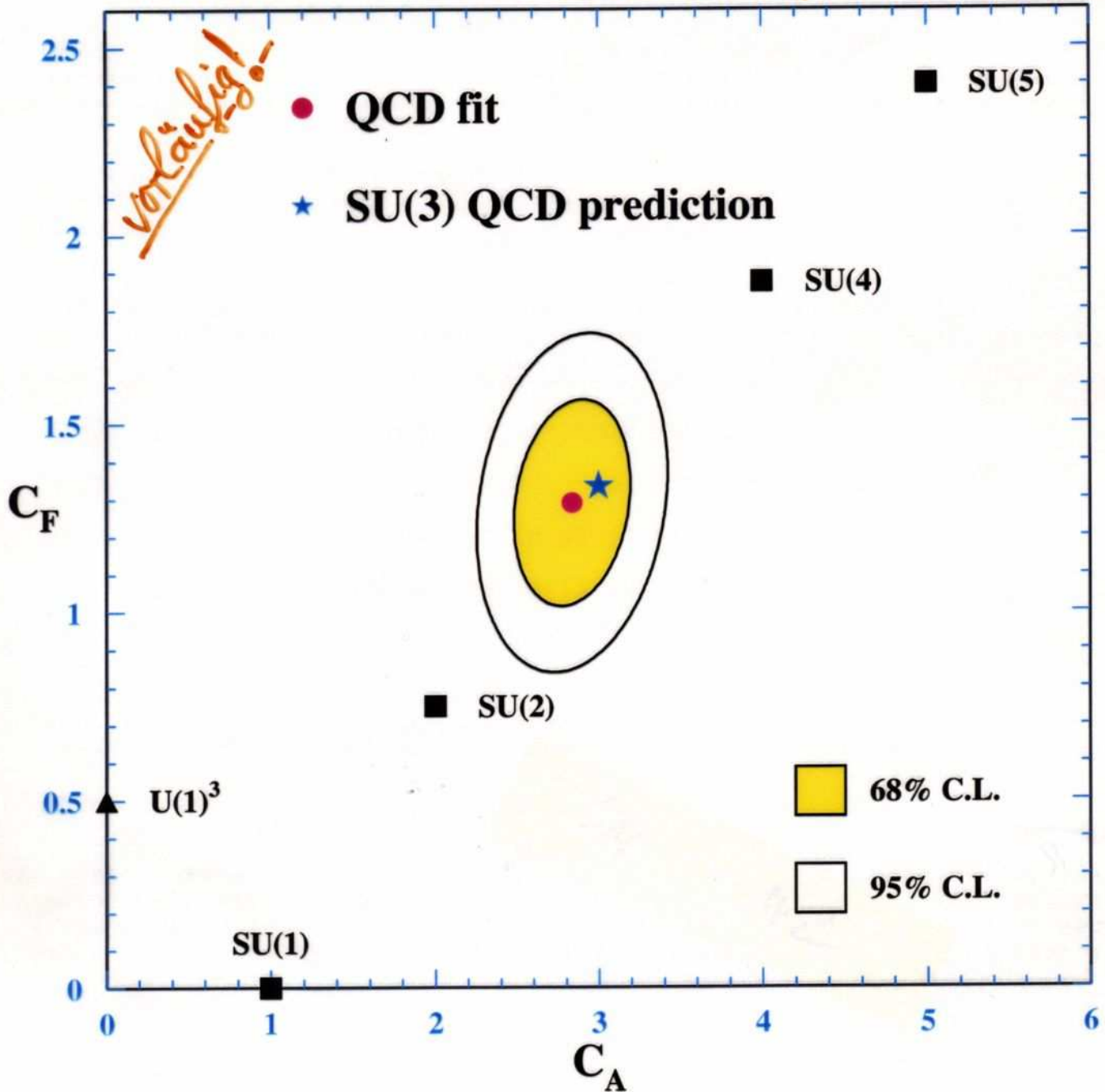
Ausnutzung d. Energiepotenzkorrekturen

zur modellfreien Bestimmung der QCD-Farbfaktoren

▷ Anpassung an diff. Verteilungen

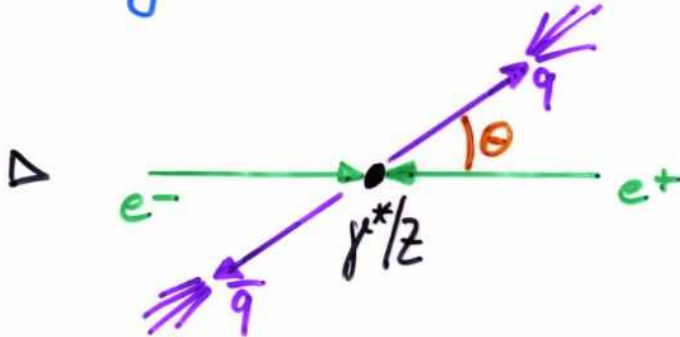
⇒ C_A, C_F

S. Kluth et al., MPI-PhE/2000-19 (in Vor-
bereitung)

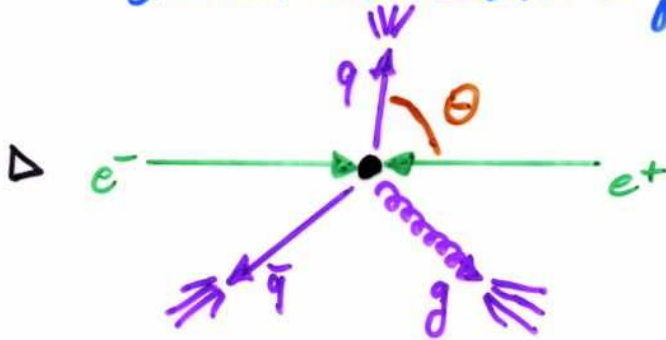


Mehr zu α_s -Bestimmungen & Energiepotenzkorr.

- Longitudinaler & transversaler Wirkungsquerschnitt @ 35 GeV



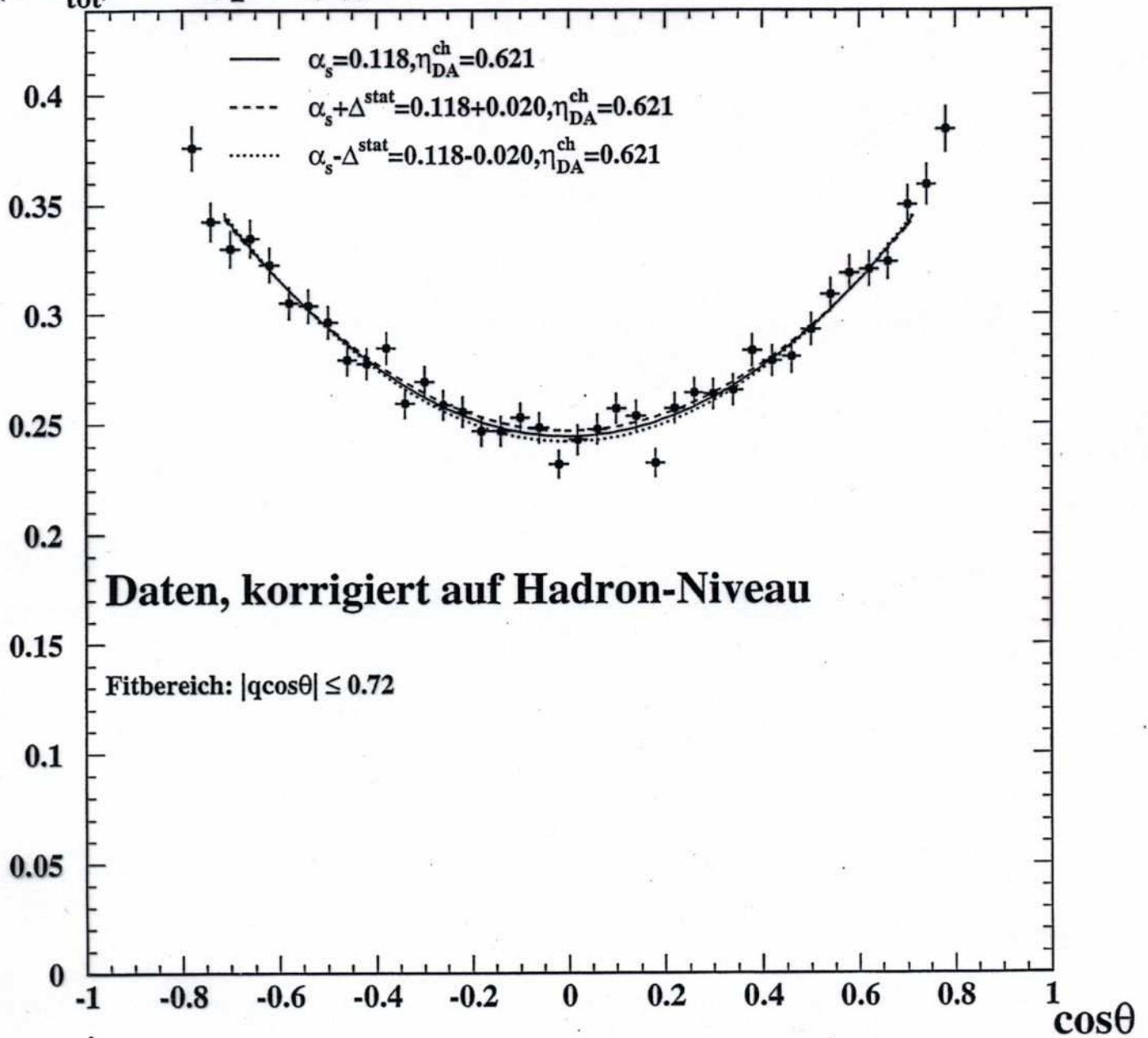
transv. Polarisation v. $\gamma^*/Z \rightarrow 1 + \cos^2 \theta$
transv. WQ



Gluonabstrahlung $\rightarrow \sin^2 \theta$
long. WQ

$$\Rightarrow \frac{d\sigma}{d\cos\theta} \sim \underbrace{\# \cdot (1 + \cos^2 \theta)}_{\text{transv. } \sim \sigma_T} + \underbrace{\# \cdot \sin^2 \theta}_{\text{long. Anteil } \sim \sigma_L} + \underbrace{\dots}_{\text{asym.}}$$

$(1/\sigma_{\text{tot}})d\sigma/d(q\cos(\theta))$



Long. & transv. Wirkungsquerschnitt

- in niedrigster Ordnung d. Störungsrechnung:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_T &= \sigma_{\text{Born}} \\ \sigma_L &= \frac{\alpha_s}{\pi} \cdot \sigma_{\text{Born}} \end{aligned} \right\} \sigma_{\text{tot}} = \sigma_T + \sigma_L$$

$\sim 4-5\%$

$$\Rightarrow \frac{\sigma_L}{\sigma_T} = \frac{\alpha_s}{\pi} \quad (\text{in } \mathcal{O}(\alpha_s^2) \text{ bekannt})$$

- Energiepotenzialcorr. erwartet!

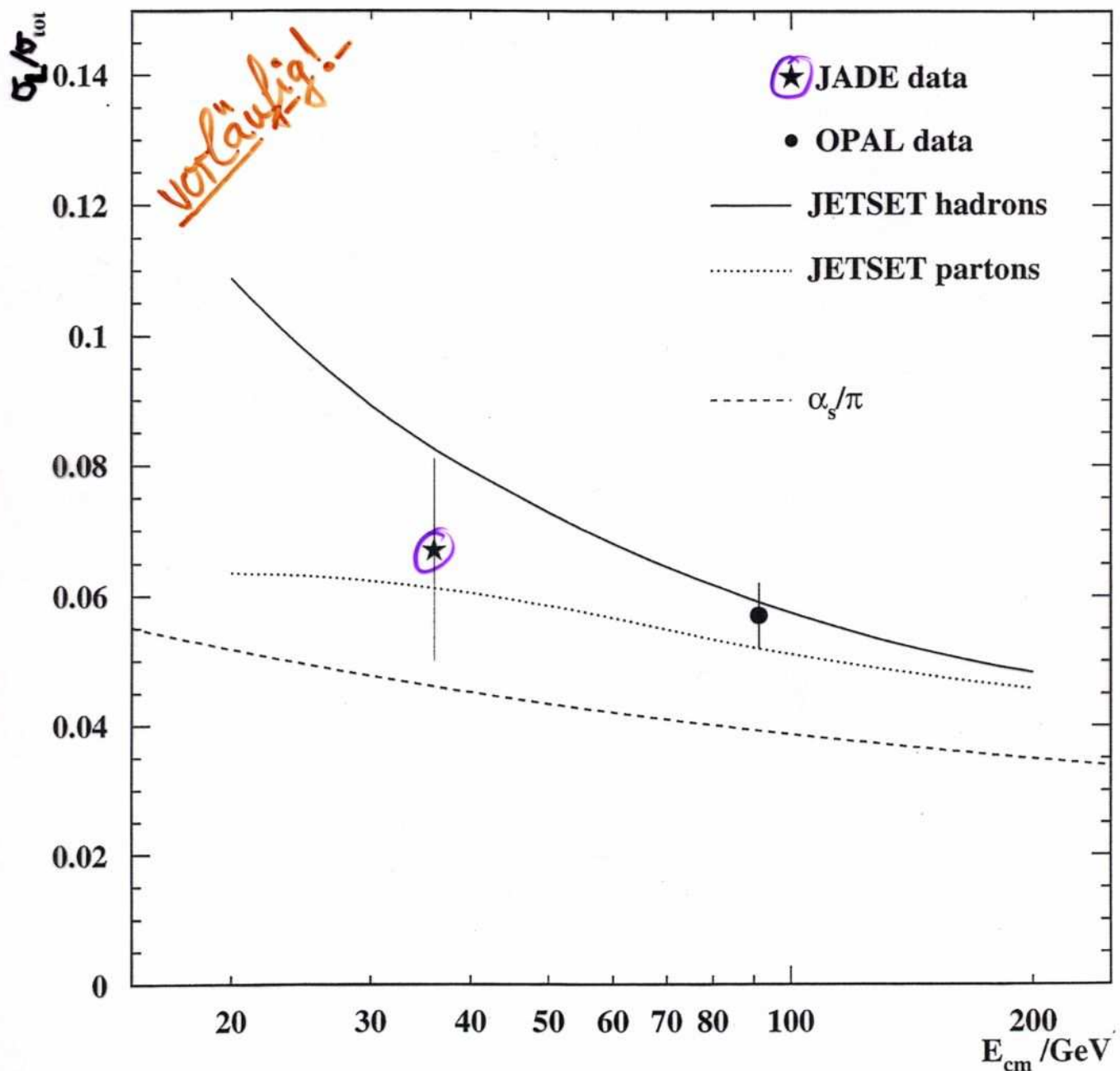
$$\frac{\sigma_L}{\sigma_T} = \frac{\alpha_s}{\pi} \cdot \left[1 - \frac{1}{Q} \dots \right]$$

\uparrow
bekannt

z.B. Beneke et al.
hep-ph/9609266

Resultate für σ_L/σ_{tot}

aus θ -Verteilung der Hadronen



⇒ JADE-Ergebnis empfindl. auf Qualität d. Detektorsimulation

→ Reaktivierung der JADE-Simulation?!

Reaktivierung der JADE-Detektor-Simulation!

einige Komplikationen

- FORTRAN 4 + SHEPTRAN + MORTRAN
Programm-Code
- Code sehr spezif. für ehemaligen DESY-Zentralrechner (IBM)
- Variablen * 1, * 2, * 4
- Byte-Ordnung im Wort: 1-2-3-4 vs. 4-3-2-1
- numerische Präzision
- ...

Trotz allem: Es geht!

→ Jetzt: Neubestimmung von $\alpha_s(14 \dots 22 \text{ GeV})$ möglich!

z.B. $\alpha_s(22 \text{ GeV}) = 0.158 \pm 0.015$ (vorläufig)

Monte Carlo

DATE 18/11/99 TIME 23.08.22

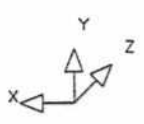
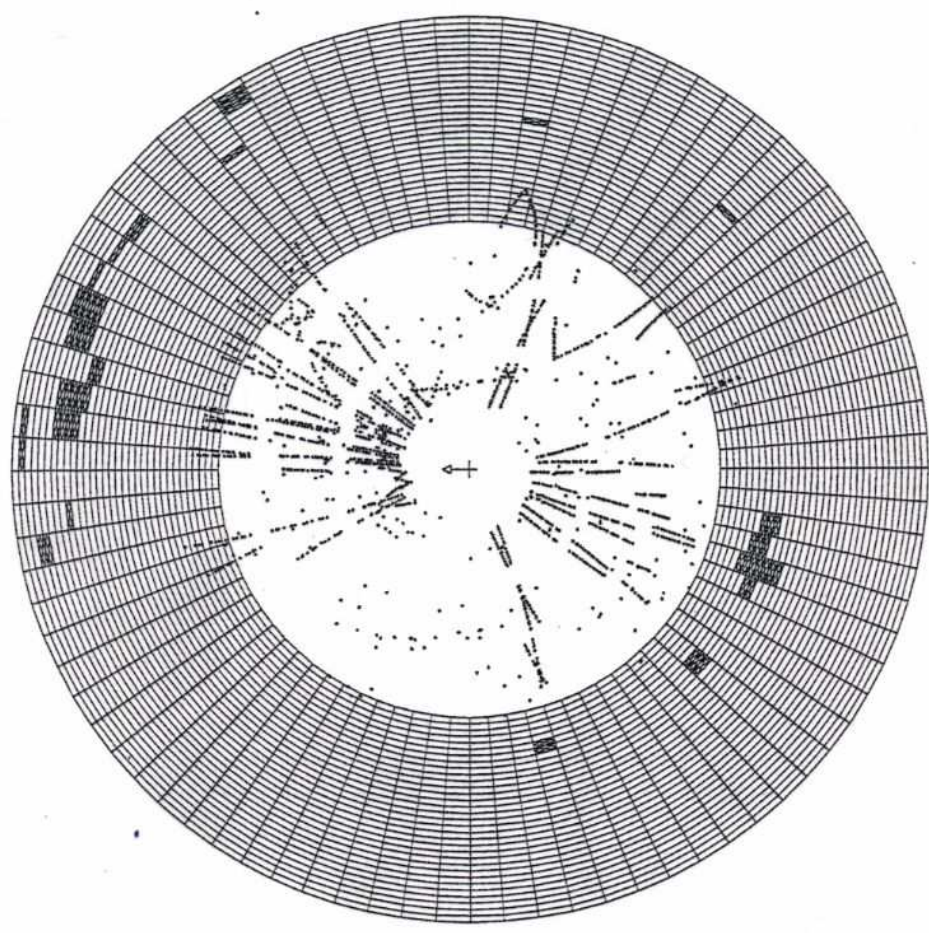
DSN mcjade.bos

BEAM 17.500 GEV FIELD -4.849 KG TALC 0039 DATE 18/11/99 TIME 23.08.22
T1A 0802 T1P 4101 T2C 0089 CAMAC TIME 1. 1. 1 17/ 5/198

MONTE CARLO

R-FI PERSPECTIVE

0 1 1
IDHITS 831
ELGTOT 17559 JADE
MUHITS 0
LGCYL 17235
LGCAPS 0 324
FWCAPS 0 0

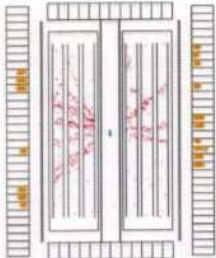
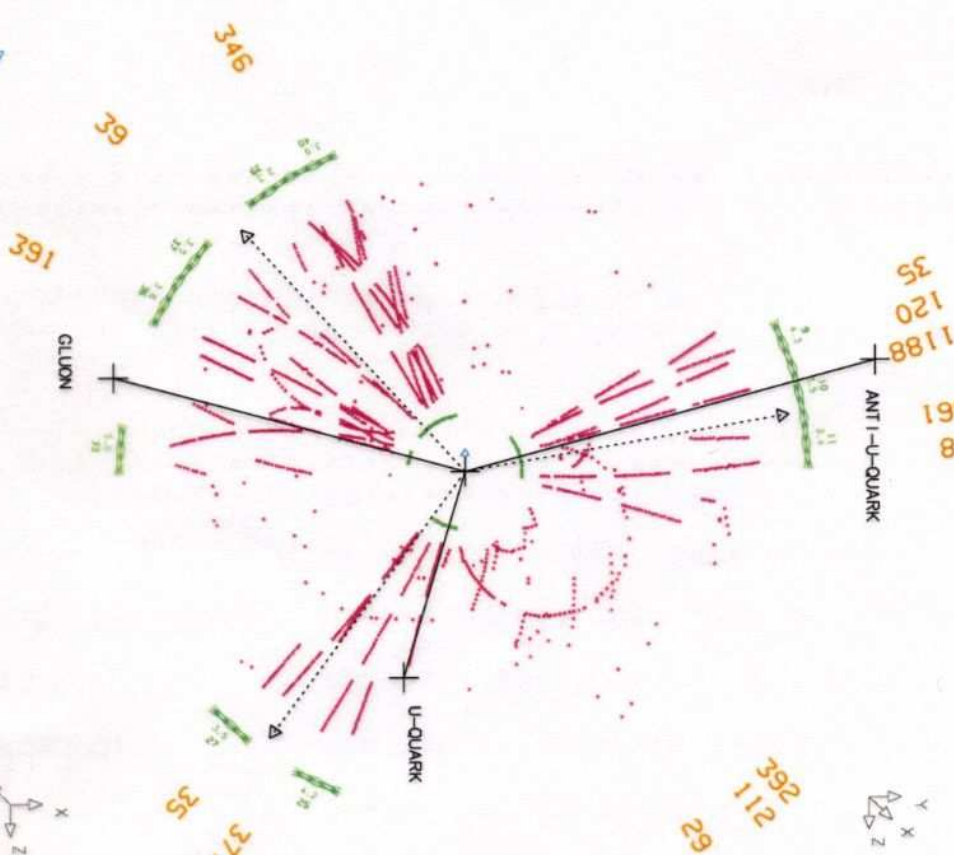
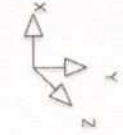


QCD bei 14.6eV

DSN mc14b
 0 120 120
 IDHITS 645
 ELCTOT 3506
 MUHITS 0
 LGCTL 3506
 LGCAPS 0
 FPCAPS 0

MONTE CARLO R-FI SECTION
 JADE

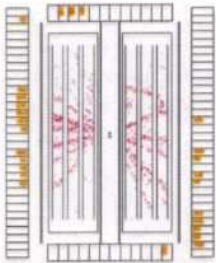
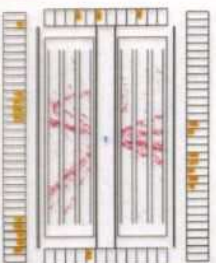
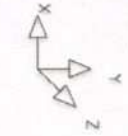
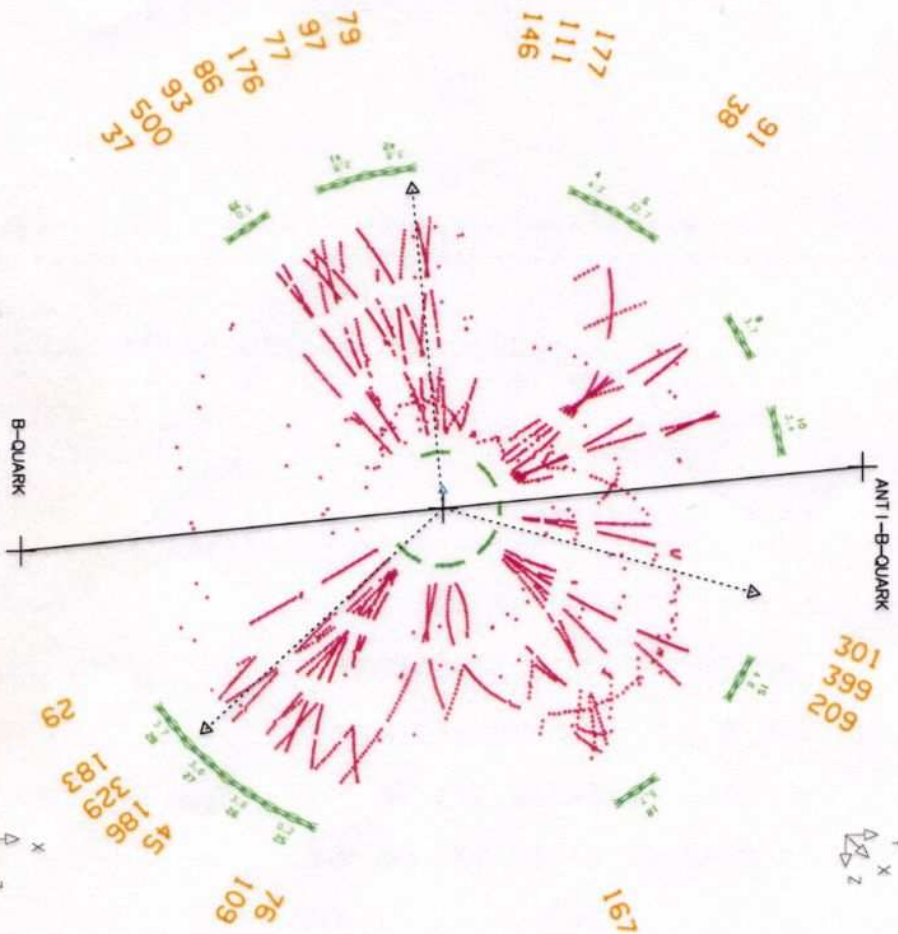
BEAM 7.000 GEV FIELD -4.849 KG TALC 0032 DATE 01/11/00 TIME 11.49.22
 TRIG 0001 CAMC TIME 1. 1. 1 17/ 7/1981



DSN mc14b
 0 393 393
 IDHITS 891
 ELGTO1 4601
 MUHITS 0
 LGCVL 3765
 LGCAPS 682 154
 FMCAPS 0 0

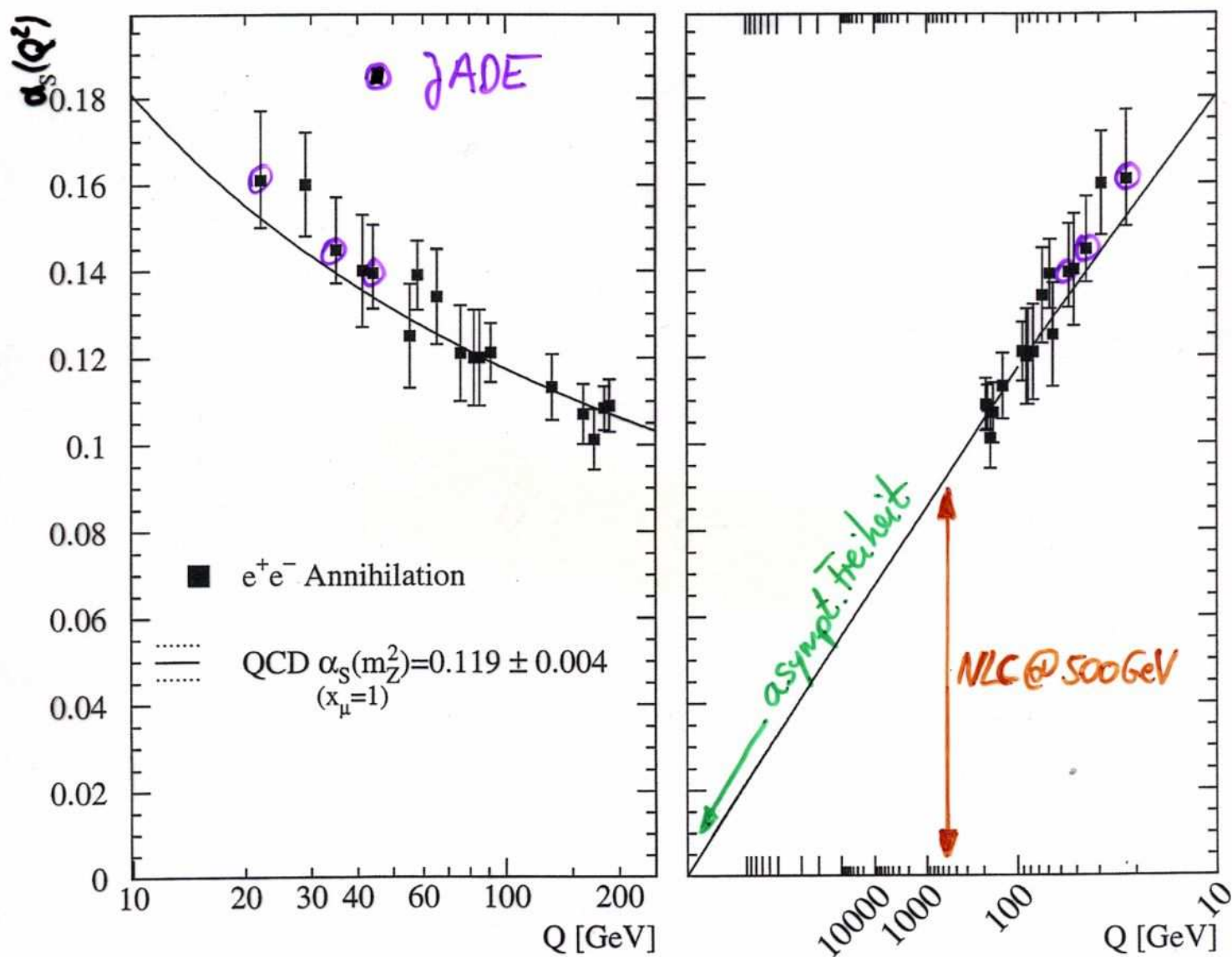
MONTE CARLO R-F I SECTION
 JADE

BEAM 7.000 GEV FIELD -4.849 KG TALC 0039 DATE 01/11/00 TIME 11.44.01
 TRIG 0201 CAMAC TIME 1. 1. 1 17/ 7/1981



Zusammenfassung

- Reanalyse der JADE-Daten
wertvolle Beiträge zu QCD-Tests
- und Potential noch nicht völlig ausgeschöpft!
- weitere QCD-Studien bei geringen Schwerpunktsenergien



- Letztlich: α_s -Genauigkeit durch Theorie limitiert
(3. Ordnungsrechnung für Event shape-Observable erhofft)