Entdeckung der B - Oszillation mit ARGUS (1987)

Überblick

- Kaonen ⇔ B-Mesonen
- Experimenteller Aufbau
- Messung
- Auswertung
- Ausblick

Kaonenzerfall

$$|K_0\rangle = p|K_L\rangle + q|K_S\rangle$$

$$|\overline{K}_0\rangle = p|K_L\rangle - q|K_S\rangle$$

$|K_L\rangle, |K_S\rangle$ Masseneigenzustände

Zeitentwicklung

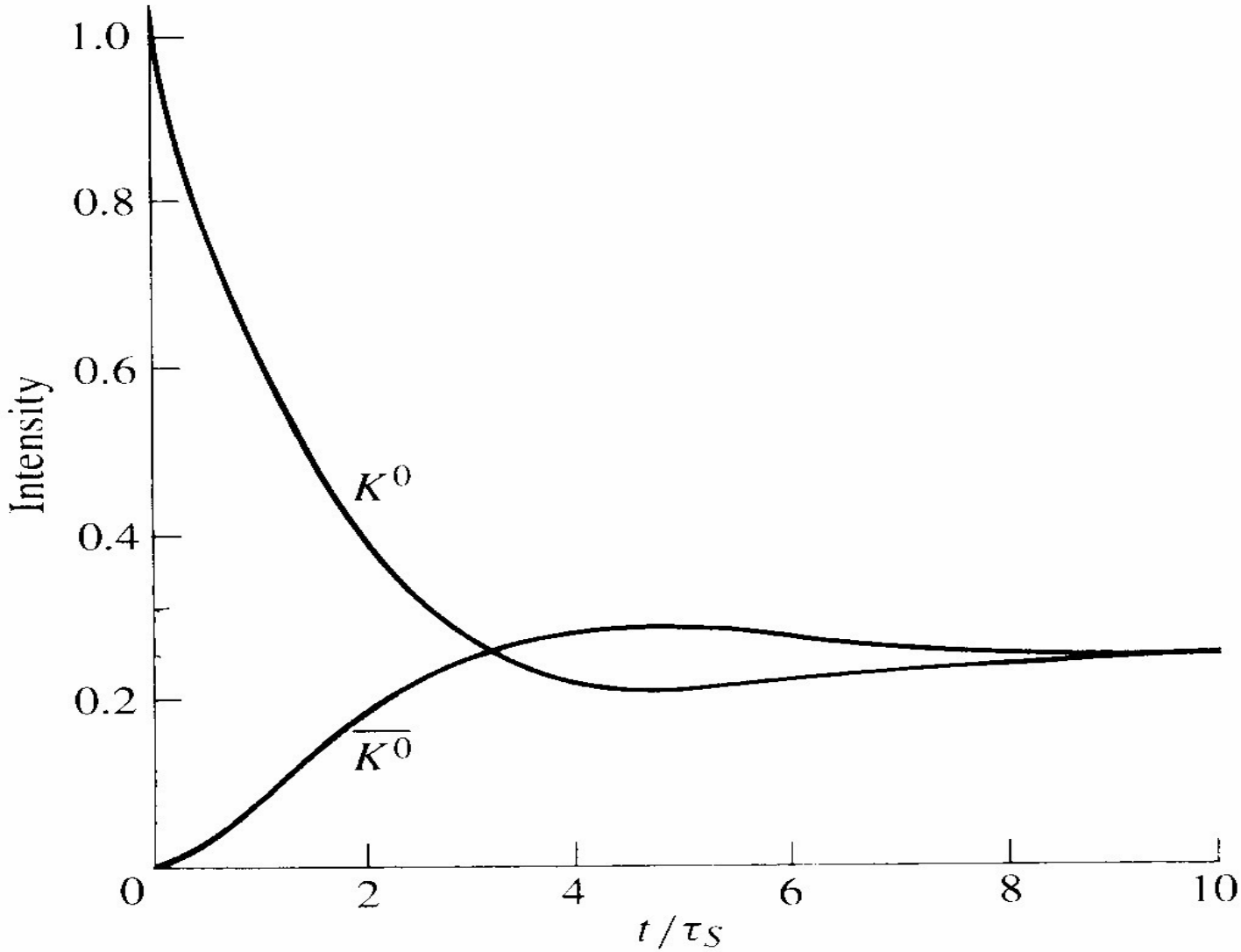
$$\left|K_0(t)\right\rangle = p\left|K_L\right\rangle \exp\{im_L t\} + q\left|K_S\right\rangle \exp\{im_S t\}$$

$$\left|\overline{K}_0(t)\right\rangle = p\left|K_L\right\rangle \exp\{im_L t\} - q\left|K_S\right\rangle \exp\{im_S t\}$$

Für $\exp\{i(m_S - m_L)T\} = -1$:

$$\left|K_0(t = T)\right\rangle = \left|\overline{K}_0\right\rangle$$

Kaon Oszillation



B-Mesonen

$$B_d^0 = \left(\bar{b}\,d\right) = B^0 \Leftrightarrow K^0 = \left(\bar{s}\,d\right)$$

$$B_s^0 = \left(\bar{b}\,s\right)$$

Analoges Verhalten von B- und K-Mesonen

$$B^0 : (5279.4 \pm 0.5)\ \mathrm{MeV/c^2}$$

$$B_s^0 : (5367.5 \pm 1.8)\ \mathrm{MeV/c^2}$$

Zerfälle

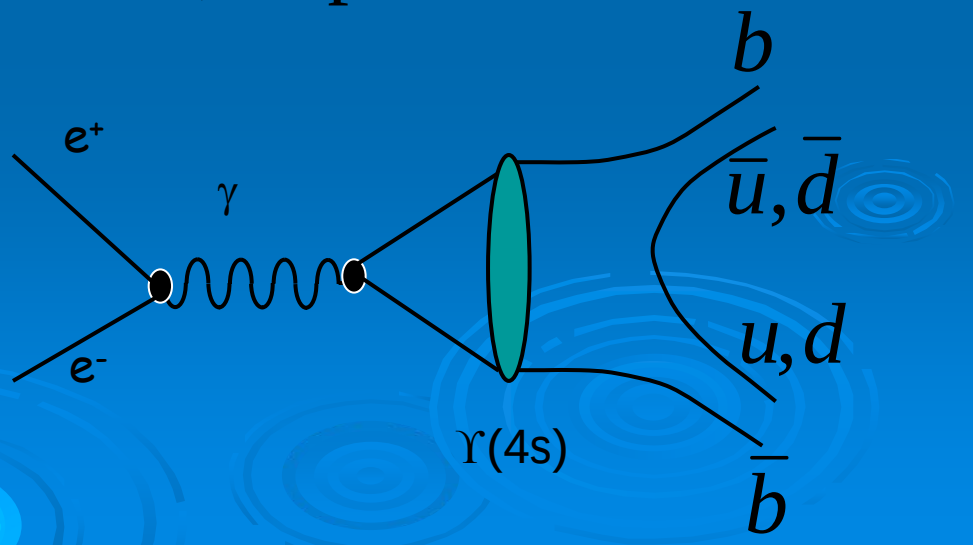
$$e^+e^- \rightarrow Y(4s) \text{ (Resonanz des } (b\bar{b}) \text{ Mesons)}$$

$$Y(4s) \rightarrow B^0\bar{B}^0, B^+B^-$$

$$B^0 \rightarrow D^{*-} + \ldots \text{ z.B. Pions, Leptonen}$$

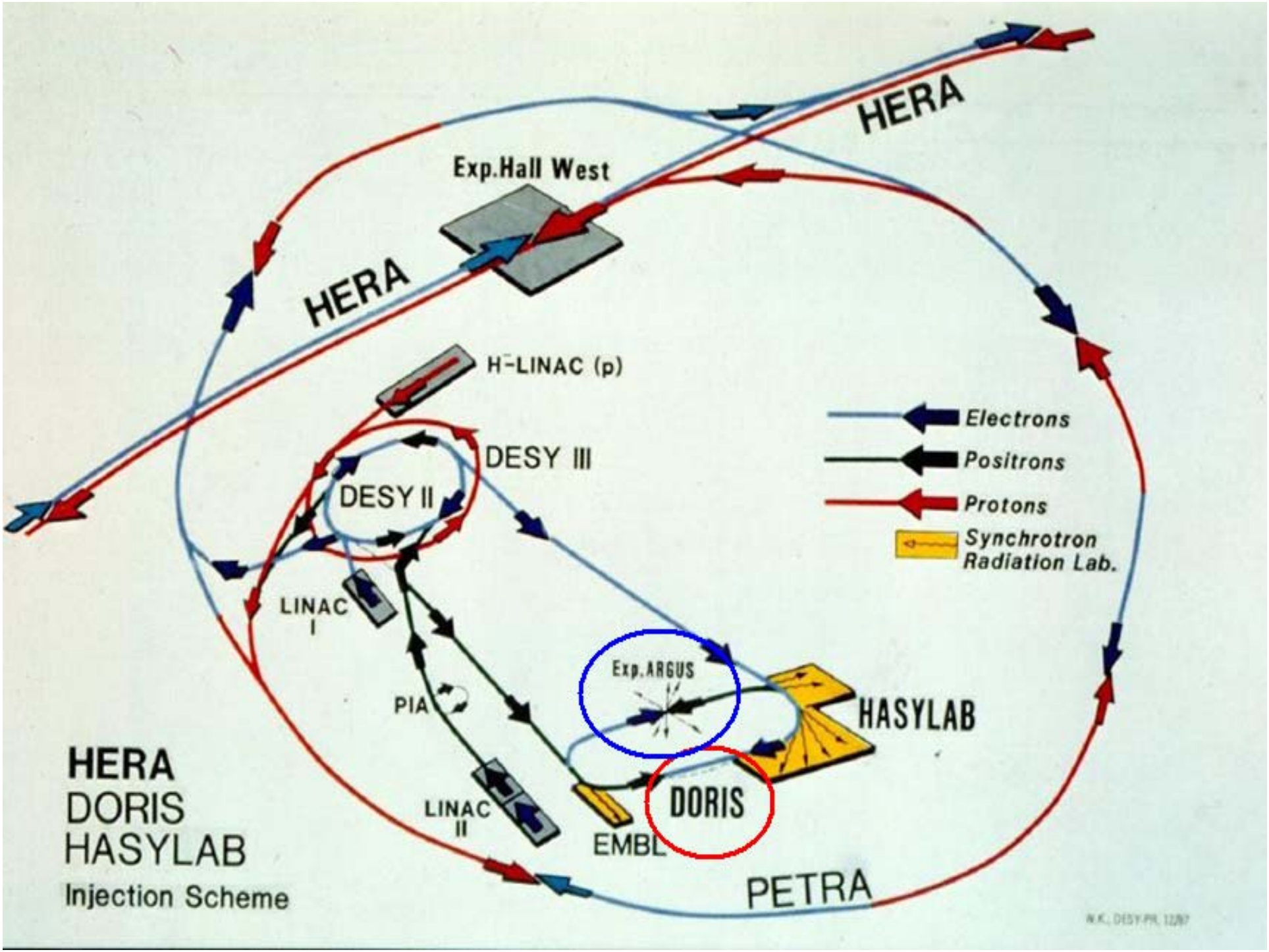
$$D^{*-} \rightarrow D^0 + \ldots$$

$$D^0 \rightarrow K^+ + \ldots$$



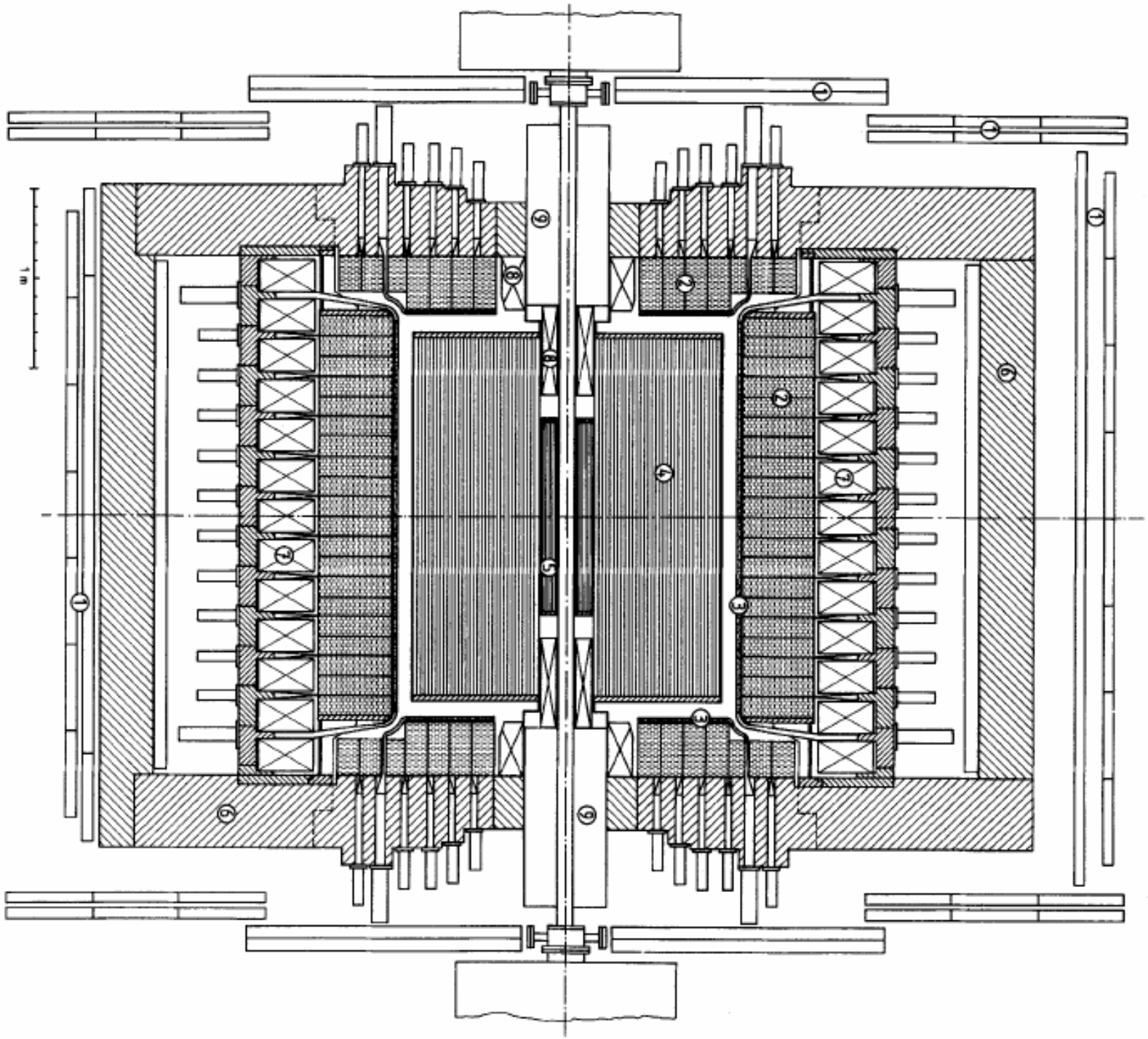
Doris II

- **DO**ppel-**RI**ng-**S**peicher
- e^+e^- - Collider
- Energie: 10,6 GeV
- 300m Umfang
- Luminosität: 103 pb^{-1} für Y(4s) von 1983 bis 1986

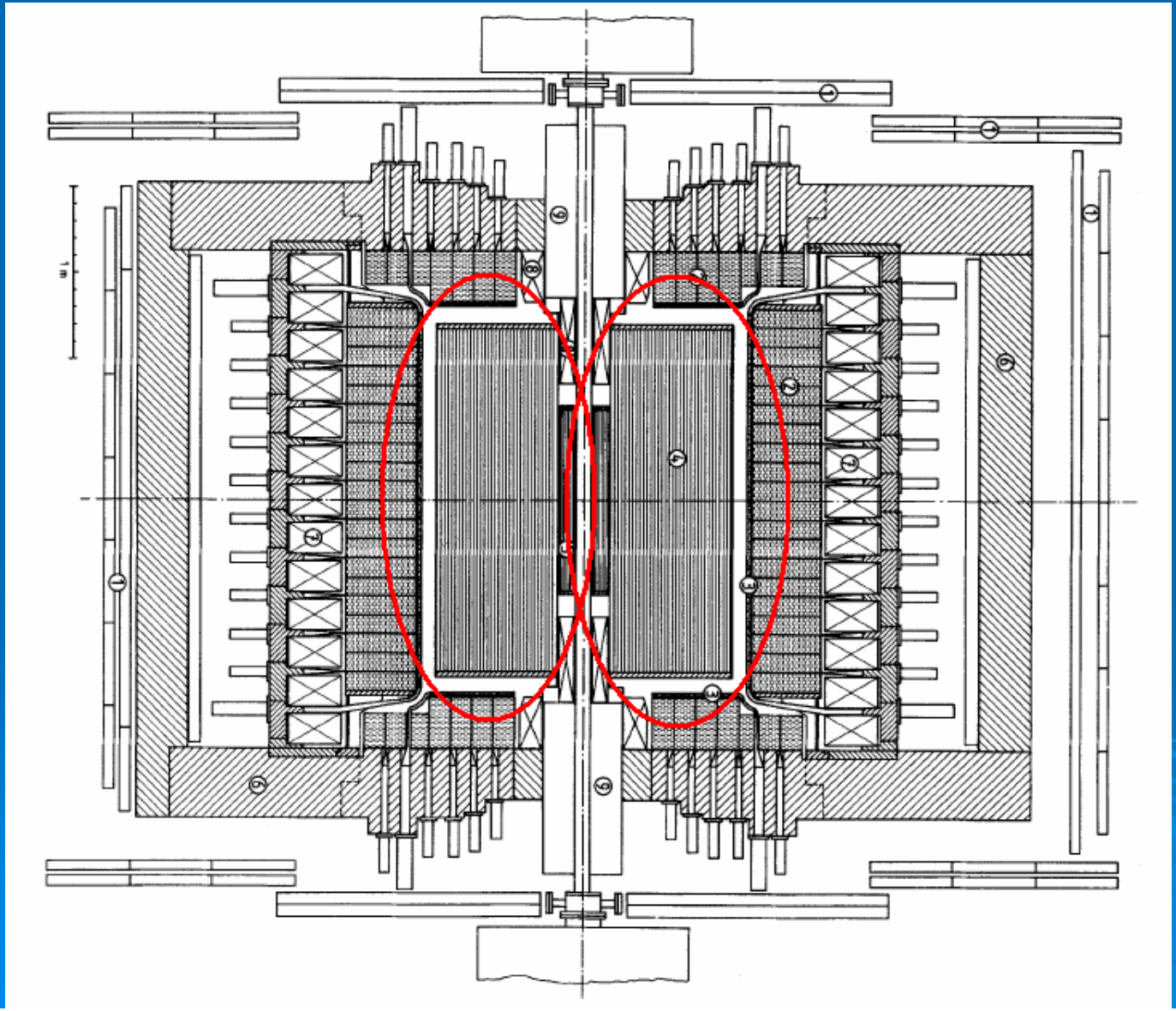

HERA
HERA
Exp.Hall West
H⁻-LINAC (p)
DESY III
DESY II
LINAC I
PIA
LINAC II
Exp.ARGUS
HASYLAB
DORIS
EMBL
PETRA
Electrons
Positrons
Protons
Synchrotron Radiation Lab.
HERA
DORIS
HASYLAB
Injection Scheme

Argus

- Detektor an Doris
- Universeller Detektor für Energien um 10GeV
- → Notwendige Kompromisse

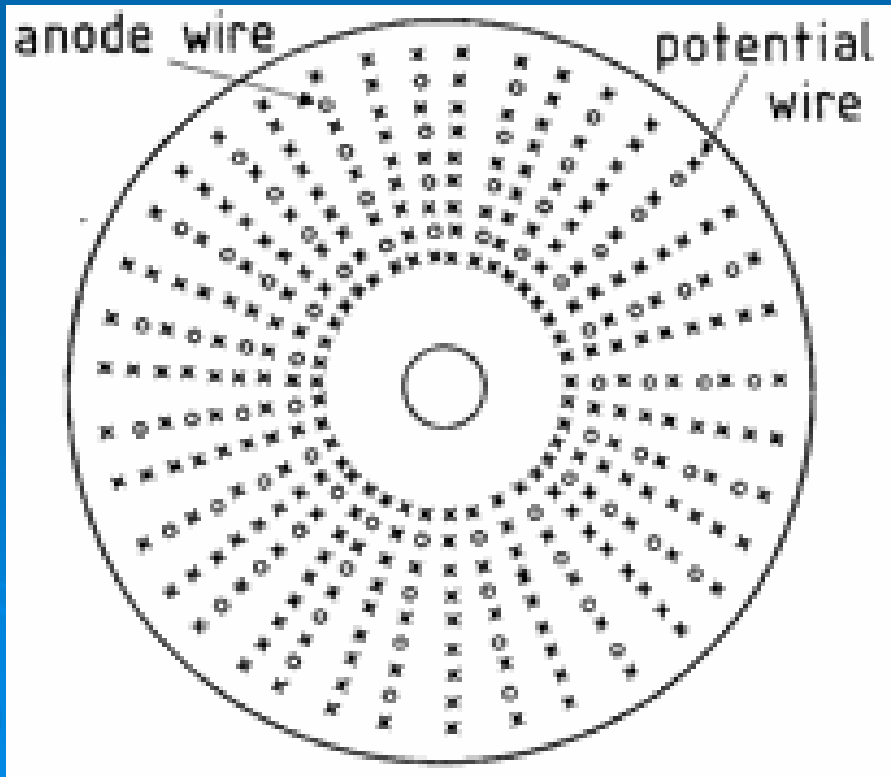

1 m

Haupt Drift Kammer



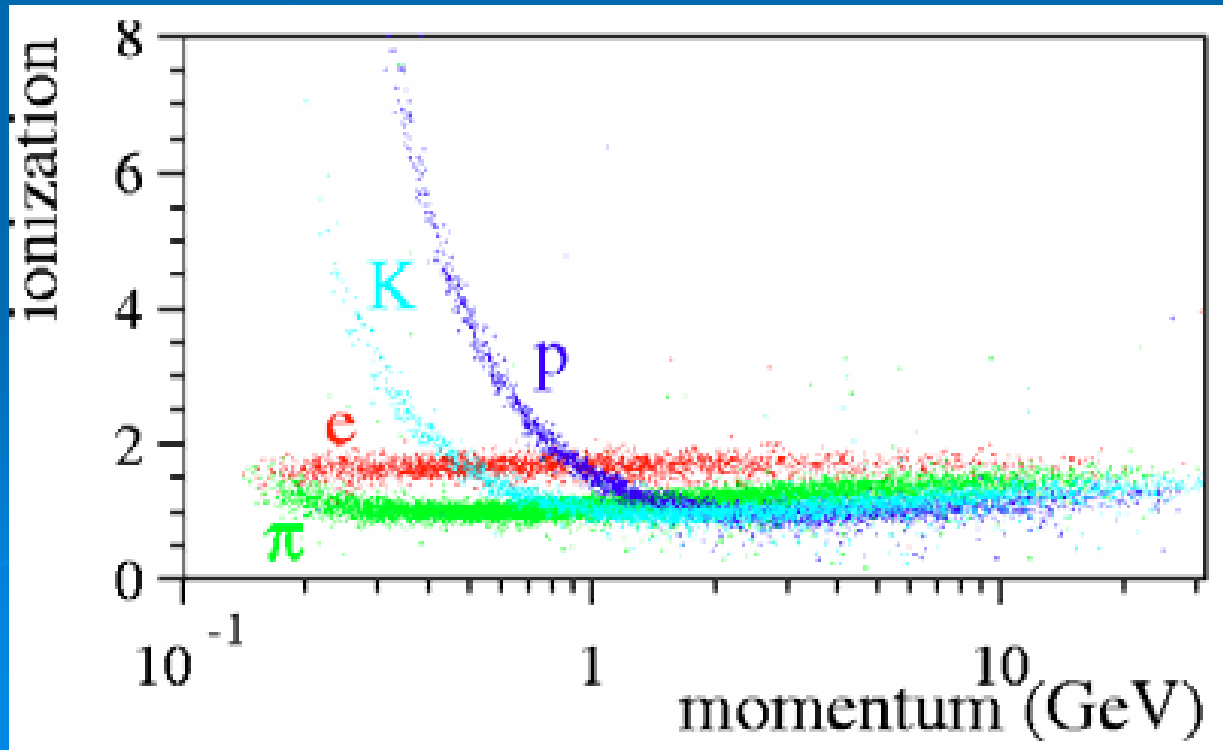
Haupt Drift Kammer

- $|\cos\theta|<0.76$ für ganze Tracks
- ~25000 Kathodendrähte
- ~6000 Anodendrähte
- Spannung: ~ 1N
- Spurauflösung: 200μm
- Magnetfeld: B = 0,8T

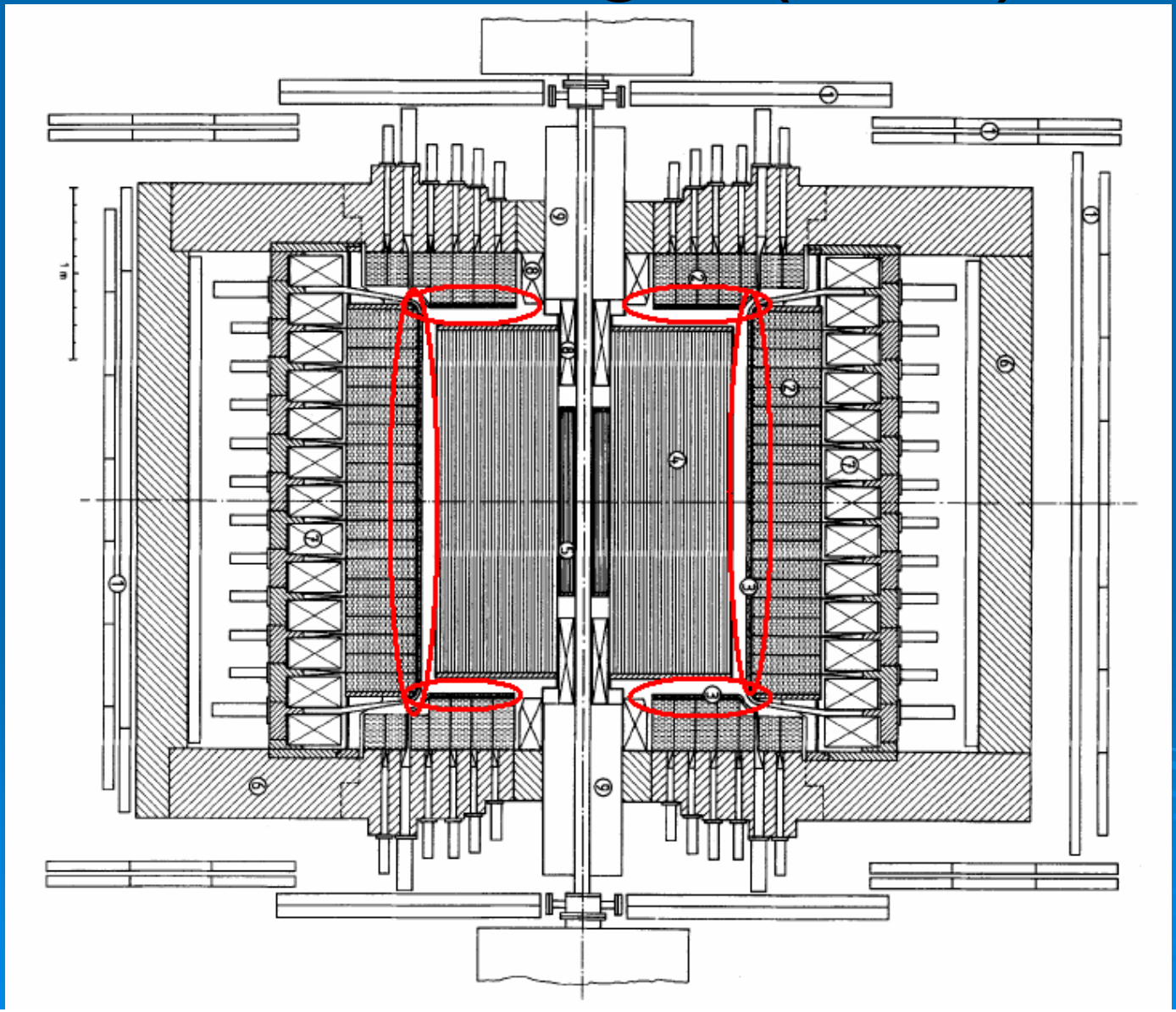


Energieverlust

- Abstand zwischen Anodendrähten: 18mm
- → Ideal für Energieverlustmessung:15mm
- π/K-Separation bis 0,7GeV in 3σ

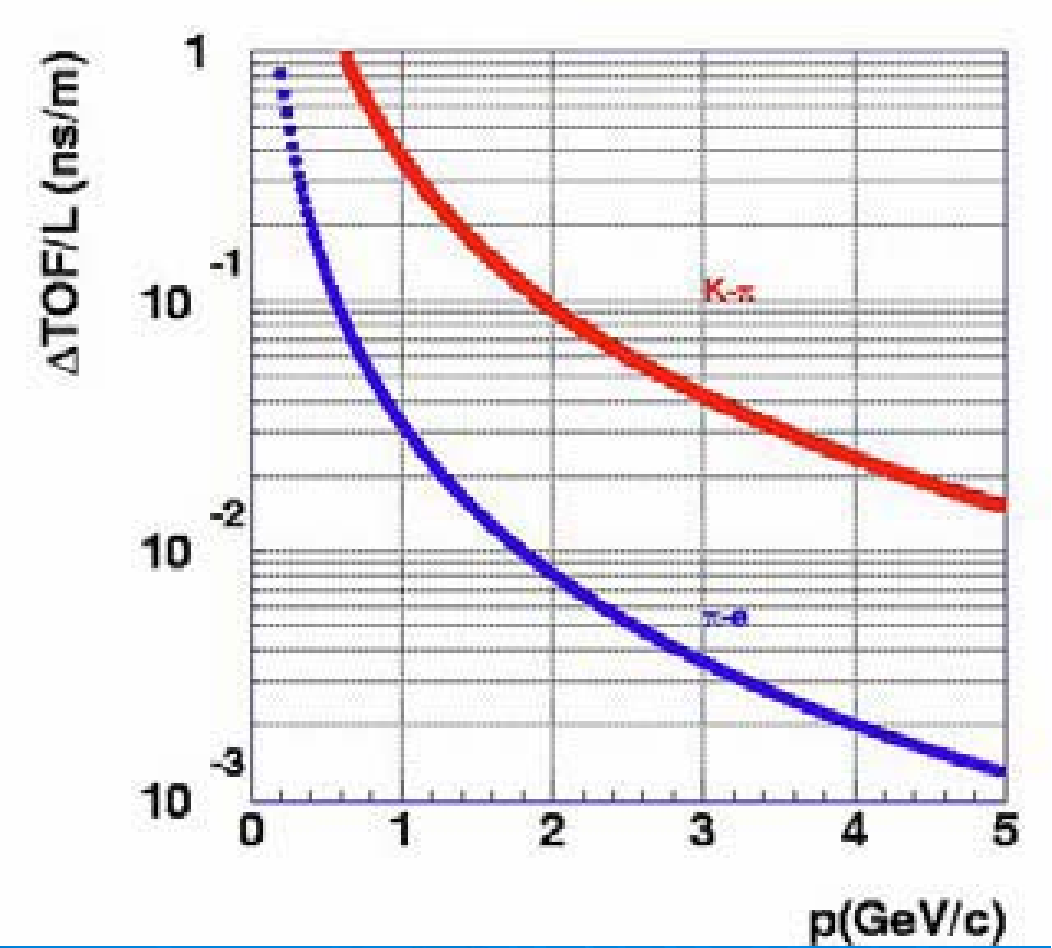


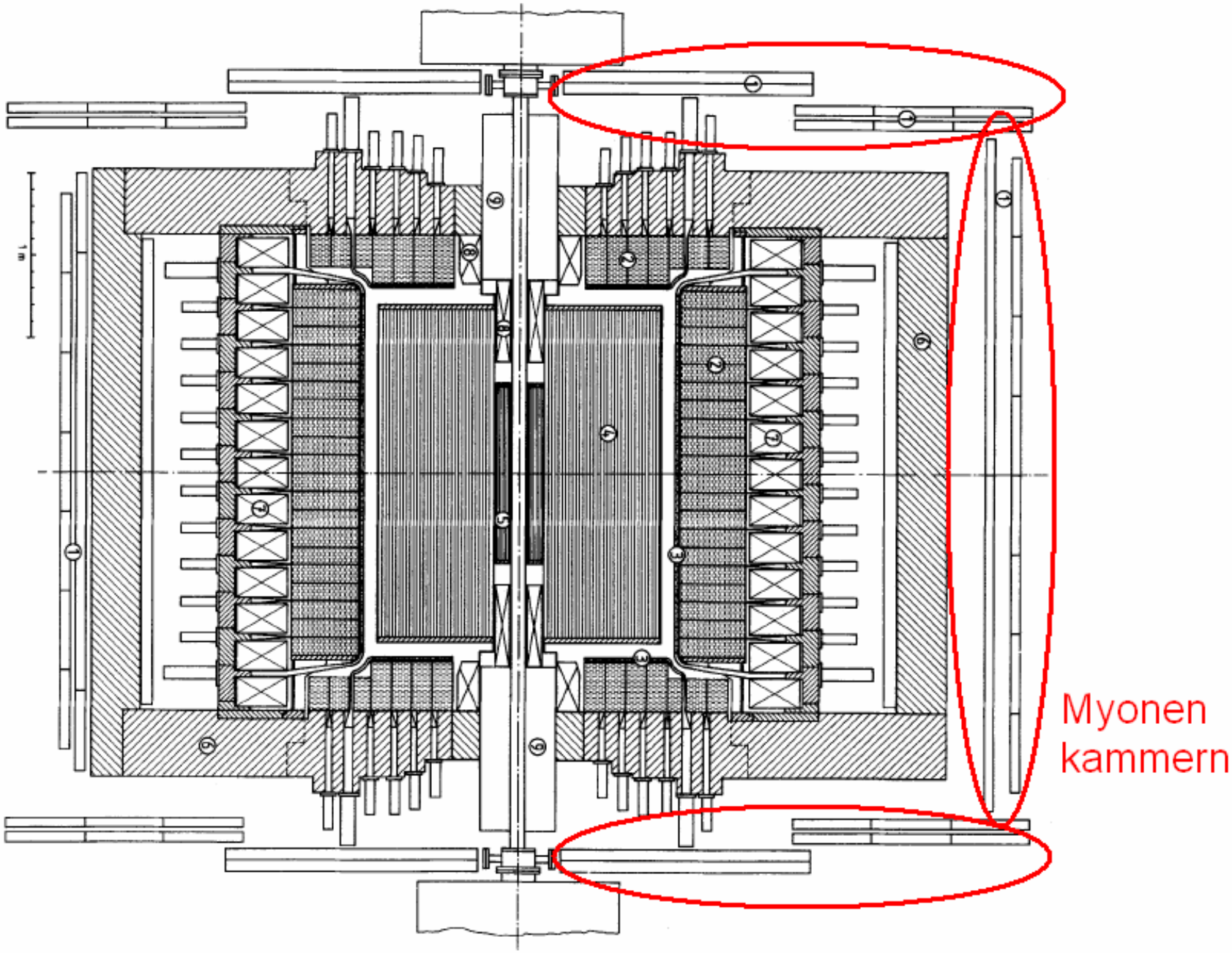
Time-Of-Flight (TOF)

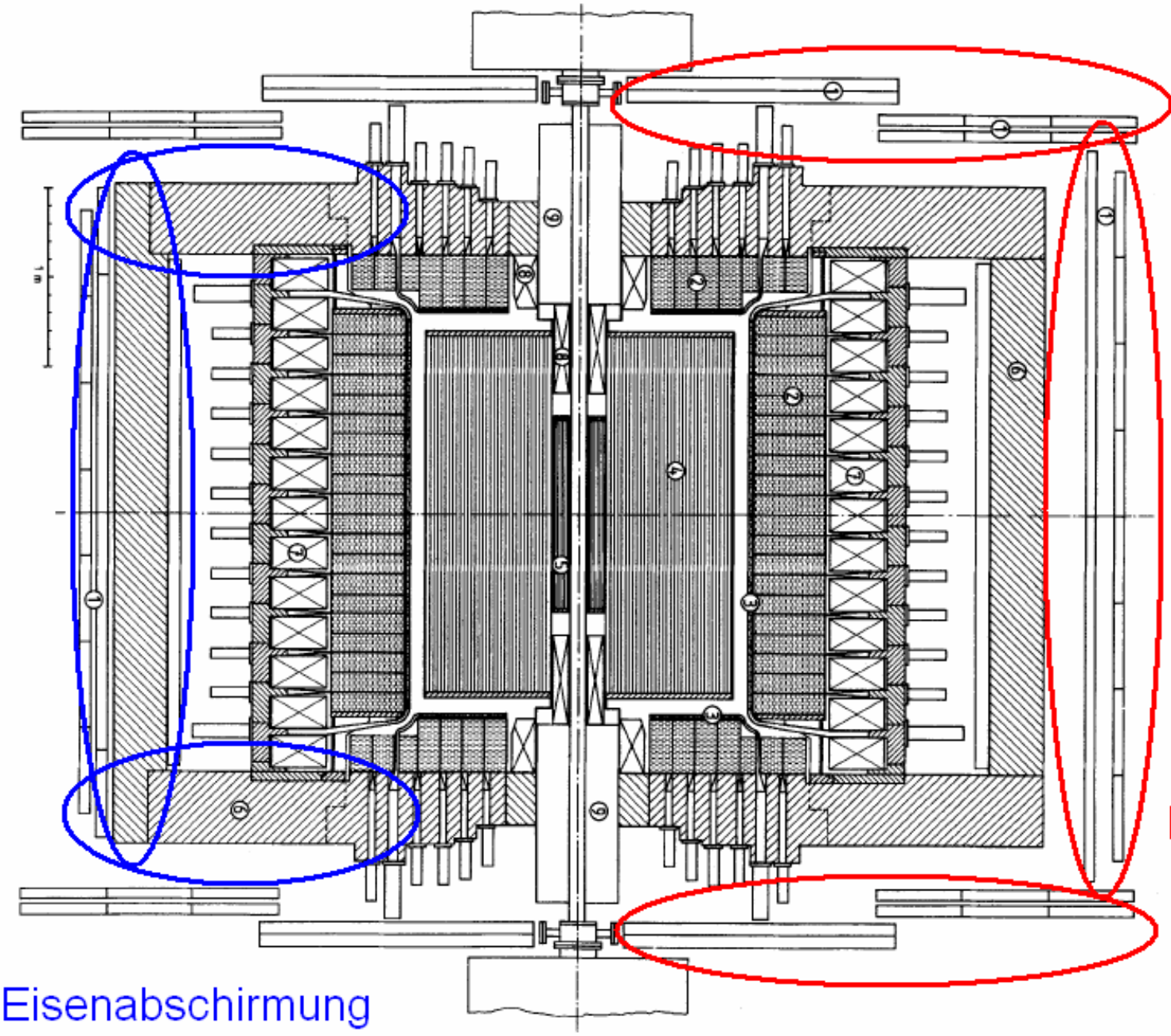


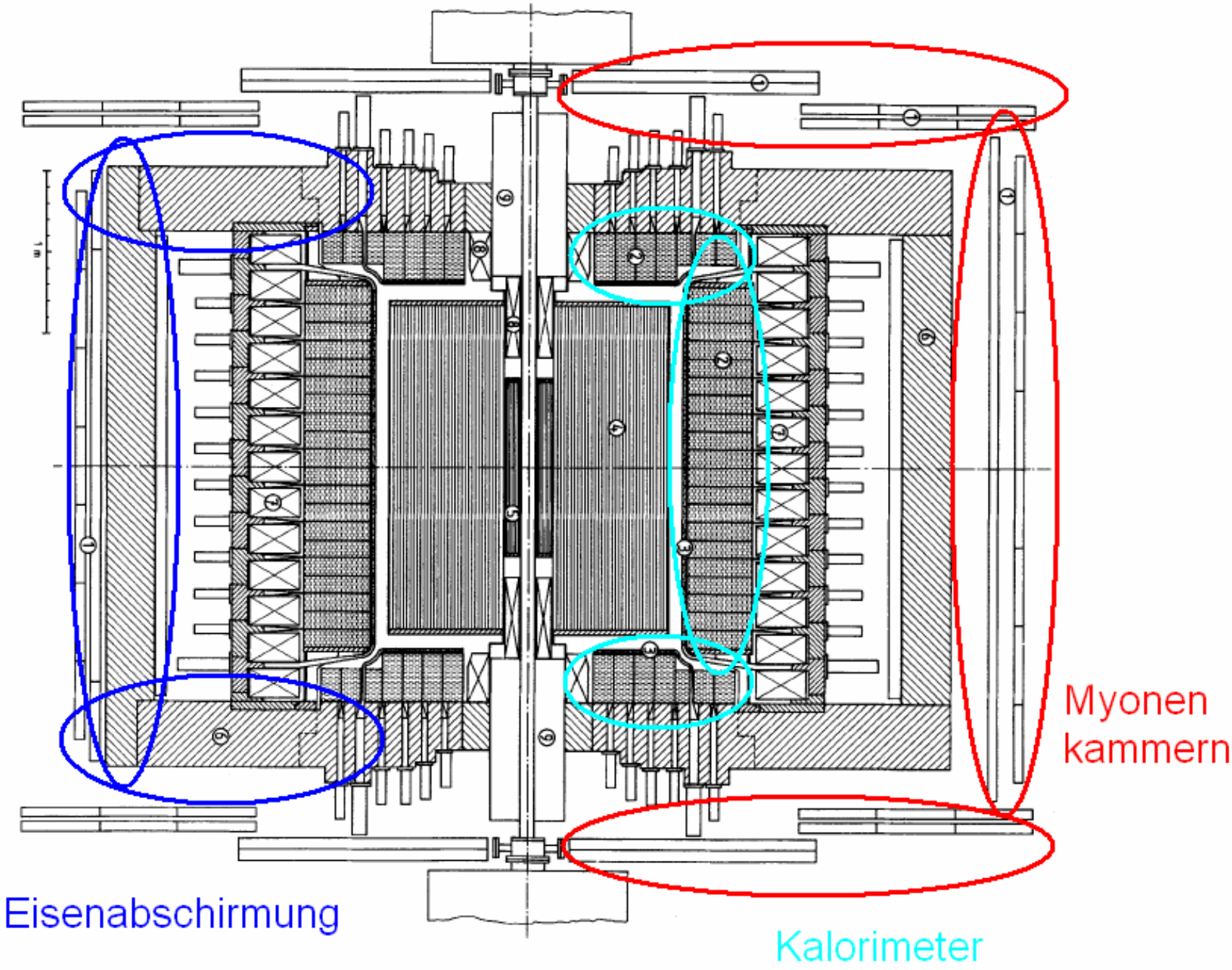
Time-Of-Flight (TOF)

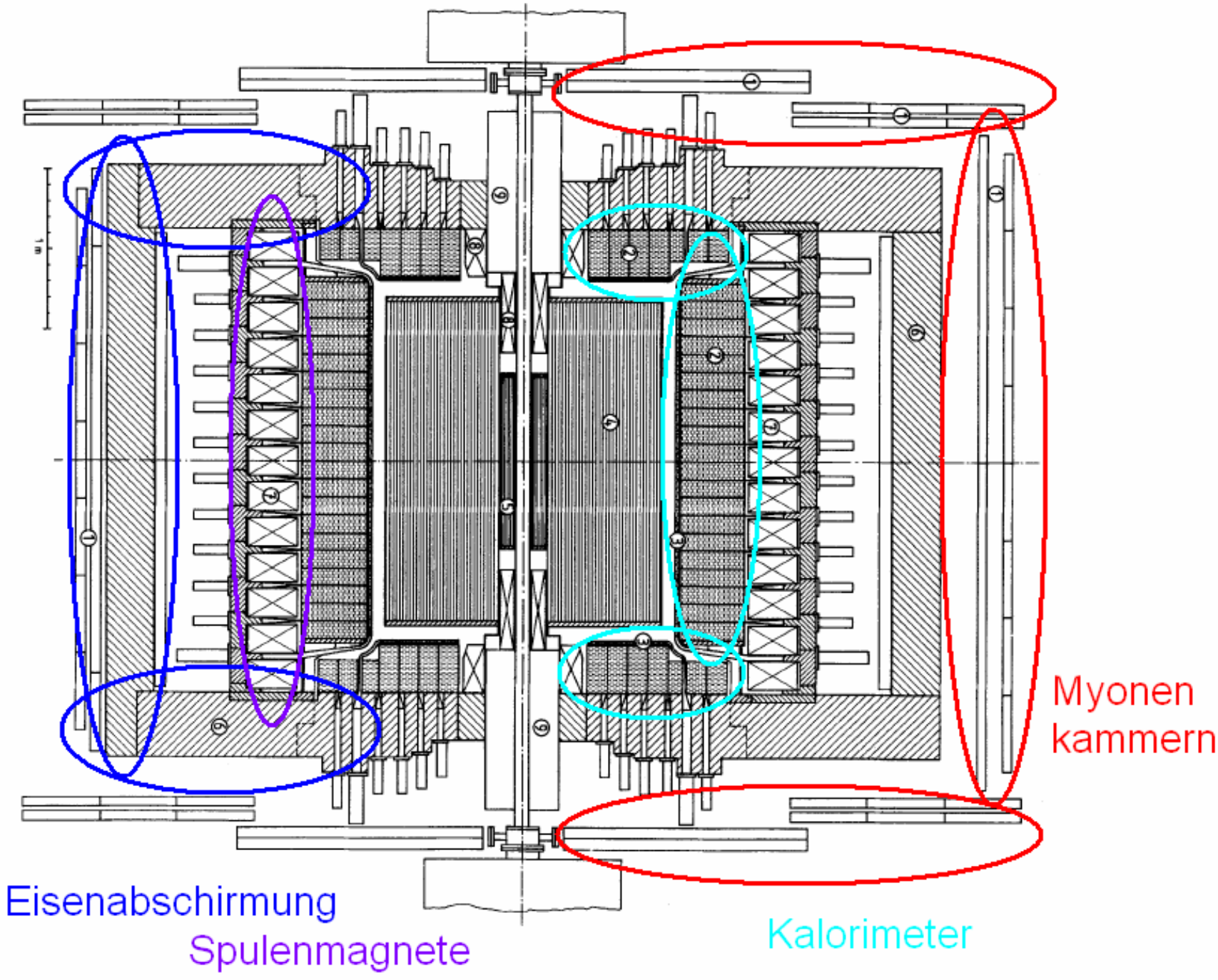
- Messung der Geschwindigkeit
- σ=220ps
- π/K-Separation bis 0,7GeV in 3σ
- $|\cos\theta|<0.95$ Abdeckung




Myonen
kammern


Myonen
kammern
Eisenabschirmung

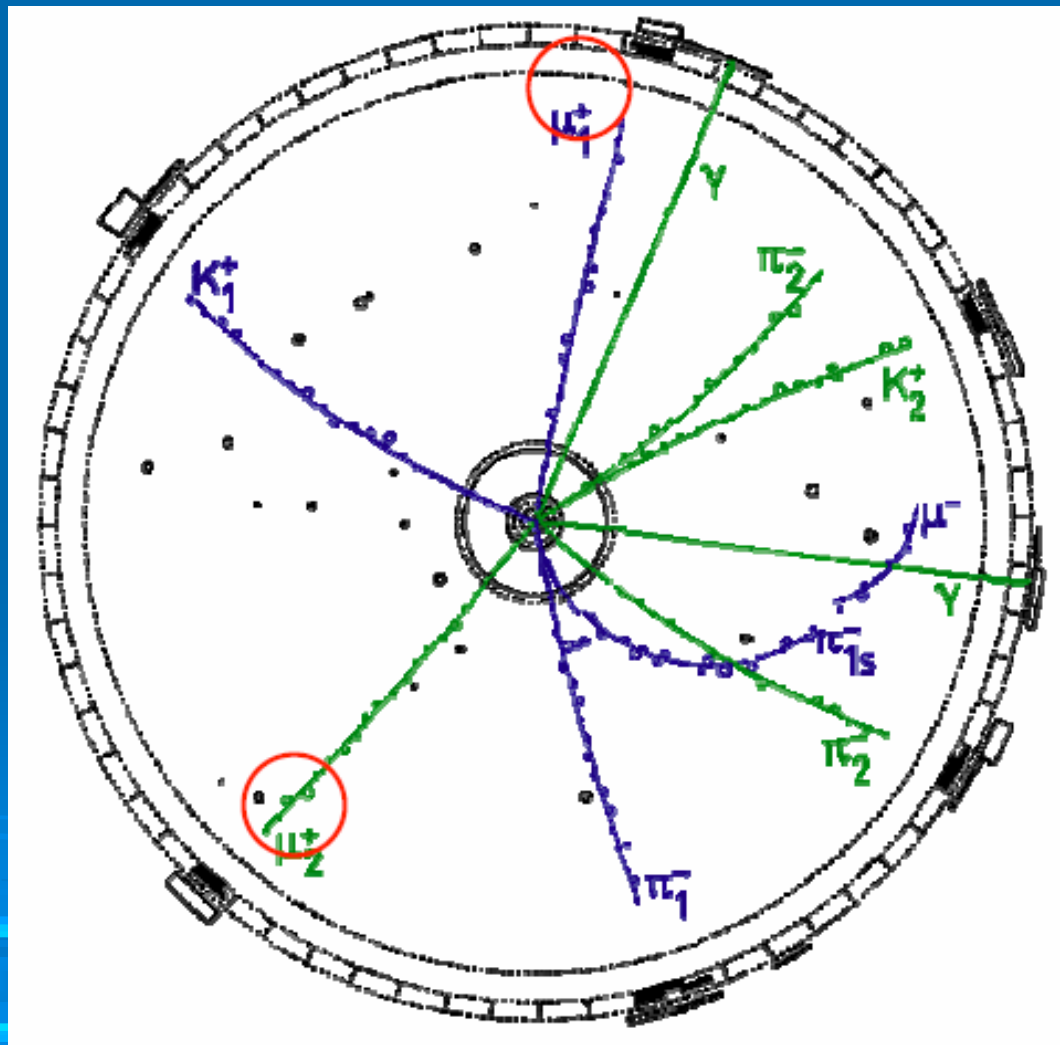

Myonen
kammern
Eisenabschirmung
Kalorimeter


Myonen
kammern
Eisenabschirmung
Spulenmagnete
Kalorimeter

Messung

Erstes vollständig rekonstruiertes Ereignis

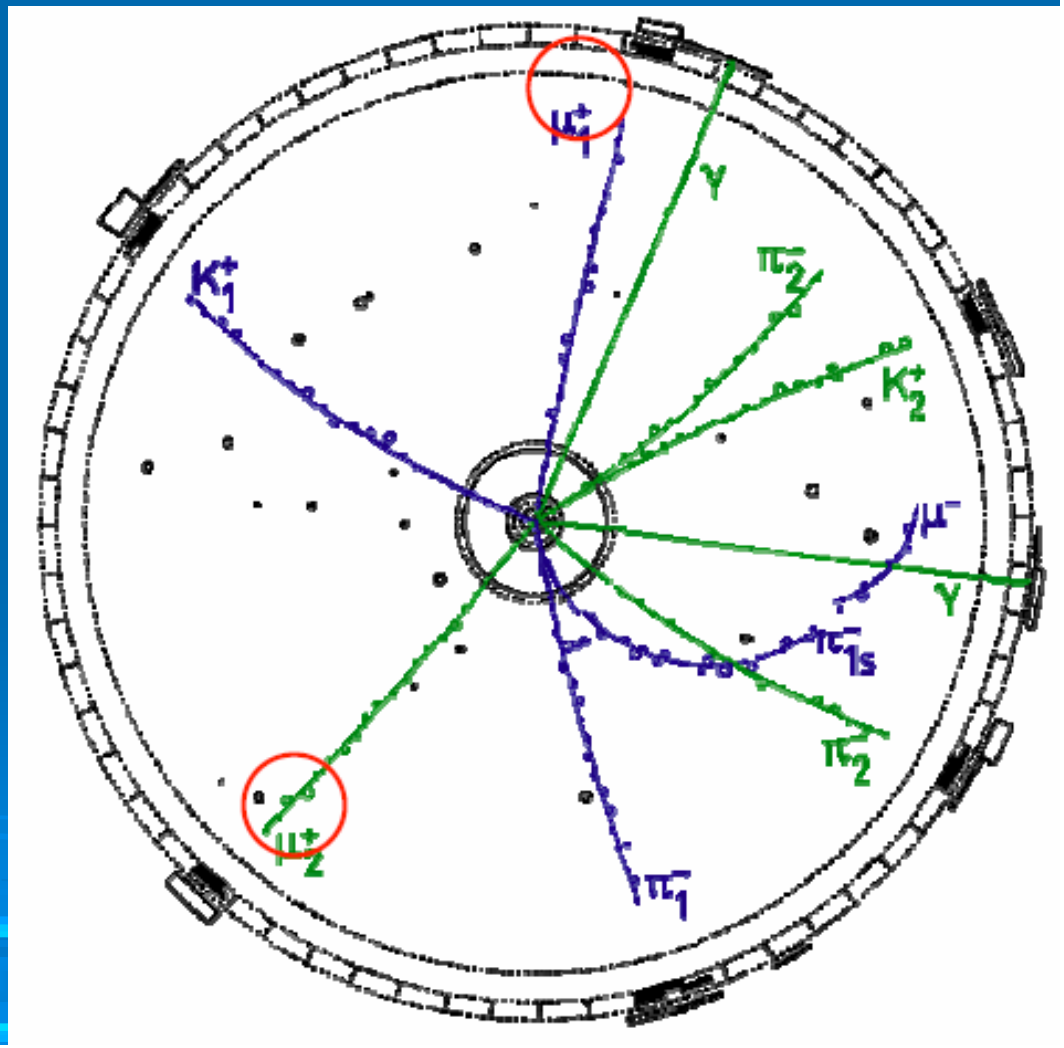
$$B_1^0 \to D_1^{*-} \mu_1^+ \nu_1$$
$$\mapsto D_1^{*-} \to \pi_1^- \overline{D}_1^0$$
$$\mapsto \overline{D}_1^0 \to K_1^+ \pi_1^-$$
$$B_2^0 \to D_2^{*-} \mu_2^+ \nu_2$$
$$\mapsto D_2^{*-} \to \pi_2^0 \overline{D}_2^-$$
$$\mapsto \overline{D}_2^- \to K_2^+ \pi_2^- \pi_2^-$$



Messung

Erstes vollständig rekonstruiertes Ereignis

- M(D*)= 2008 MeV
- $M(D_1)$= 1873 MeV
- $M(D_2)$= 1886 MeV
- $P(\mu_1)$ = 2186 MeV
- $P(\mu_2)$ = 1579 MeV
- Theorie:
- M(D*)= 2010 MeV
- M(D) = 1870 MeV



Vollständige Rekonstruktion

Vorteil

- minimaler Untergrund
- ➔ quasi kein systematischer Fehler

➢ Nachteil

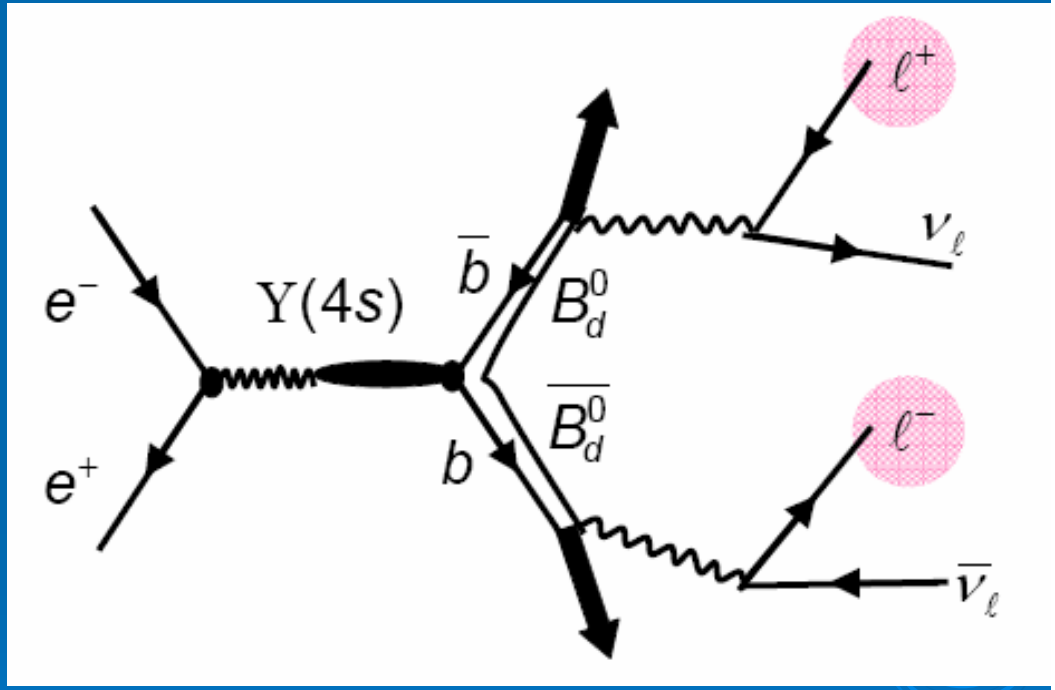
- sehr geringe Statistik
- ➔ hoher statistischer Fehler

2. Analysemethode

$$B^0\overline{B}^0 \rightarrow l^-l^+$$

$$B^0B^0 \rightarrow l^+l^+$$

$$\overline{B}^0\overline{B}^0 \rightarrow l^-l^-$$



Idee: Keine vollständige Rekonstruktion

➔ Begrenzung auf semileptonische Zerfälle

Fehlerquellen

- Messung der „falschen“ Leptonen:
  - aus späteren Zerfällen
  - aus J/Ψ Zerfällen
  - aus Paarbildung durch Photonen
- Missidentifikation der Leptonen
- Missidentifikation der B-Mesonen!!!

Lösungsansätze

- Passende Eventauswahl:
  - $E\ (e^-, e^+) \geq 1{,}4$ GeV
  - $E\ (e^- + e^+) \neq E(J/\Psi)$
  - $\theta\ (e^-, e^+) \geq 32°$
- Untergrundmessung
  - → Messung bei $E_{Beam} \leq 10{,}6$ GeV

Ergebnis

- Events mit gleich geladenen Leptonen:

  $N(l^+ l^+ / l^- l^-) = 24{,}8 \pm 7{,}6 \pm 3{,}8$

- Events mit unterschiedlich geladenen Leptonen:

  $N(l^- l^+) = 270{,}3 \pm 19{,}4 \pm 5{,}0$

- Umwandlungsrate r:

$$r = \frac{[N(l^+l^+) + N(l^-l^-)](1+\lambda)}{N(l^+l^-) - [N(l^+l^+) + N(l^-l^-)]\lambda}$$

- $r = 0{,}22 \pm 0{,}09 \pm 0{,}04$

Semileptonische Zerfälle

Vorteil

- geringerer statistischer Fehler
- ➔ ermöglicht Bestimmung einer Umwandlungsrate

➢ Nachteil

- Höherer Untergrund
- ➔ höherer systematischer Fehler

3. Analysemethode

- Kombination der beiden ersten Methoden
  - ein B-Meson wird rekonstruiert, das andere über semi-leptonischen Zerfall bestimmt
- Analoges Vorgehen

Ergebnis

- Events mit gleich geladenen Leptonen:

  N ($l^+ l^+ / l^- l^-$) = 4,1 ± 0,3

- Events mit unterschiedlich geladenen Leptonen:

  N ($l^- l^+$) = 20,8 ± 1,1

- Umwandlungsrate r:

$$r = \frac{N(B^0 l^+) + N(\overline{B}^0 l^-)}{N(B^0 l^-) + N(\overline{B}^0 l^+)} = \frac{4{,}1}{20{,}8}$$

- r = 0,20 ± 0,12

3. Methode

Vorteil

- Geringerer Untergrund
- Zusätzliche Ereignisse zur Auswertung

➢ Nachteil

- Geringere Statistik
- ➔ höherer statistischer Fehler

Kombiniertes Ergebnis

- Aus Kombination aller drei Methoden:

$$\underline{r = 0{,}21 \pm 0{,}8}$$

- Sehr viel größer als erwartet

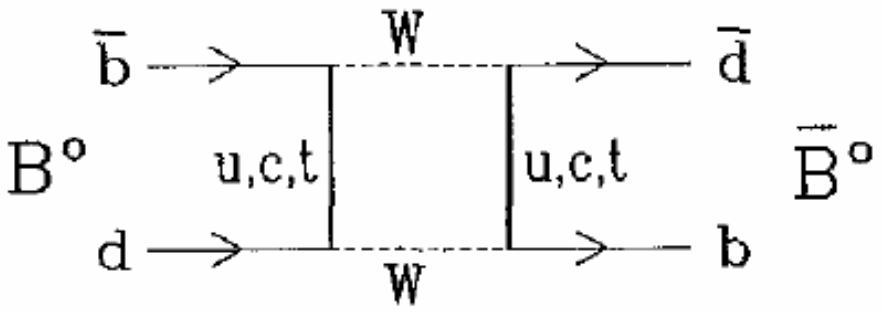
Theorie

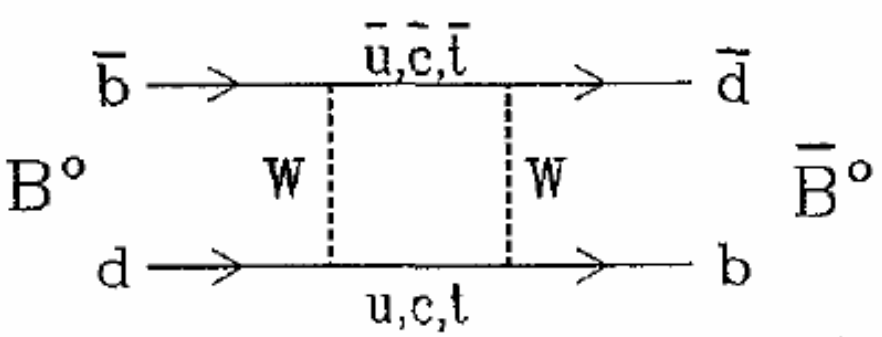
- Erwartung: r ≈ 0,01

$$r = \frac{X^2}{2 + X^2} \propto m_{top}^4$$

- m_{top}>50GeV → heute: m_{top}=(170,9±1,8)GeV

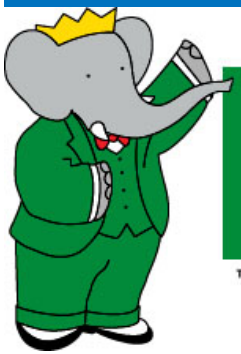
$$X = \frac{\Delta m}{\Gamma_B} = 32\pi \frac{B f_B^2 m_B m_{top}^2}{m_\mu^5} \frac{\tau_b}{\tau_\mu} \left| V_{tb}^* V_{td} \right|^2 \eta_{QCD}$$





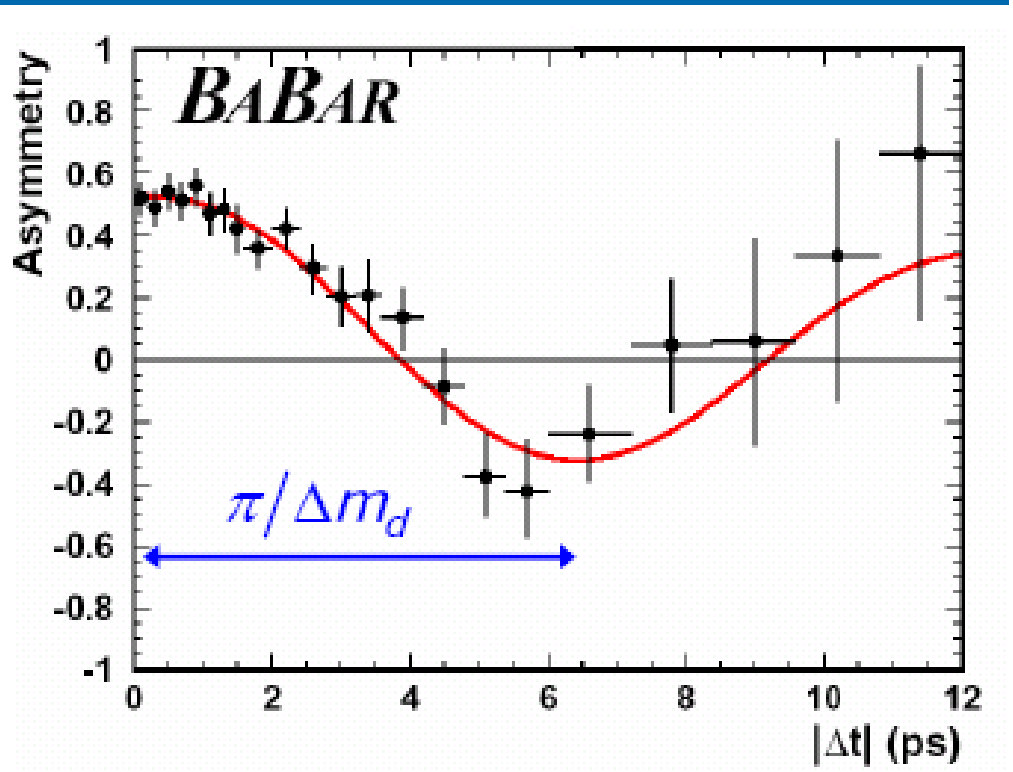
B-Oszillation

- $\Gamma = 1/\tau = 0{,}71\ ps^{-1}$
- $\Delta m = 0{,}507 \pm 0{,}005\ ps^{-1}$
- $\Delta m < \Gamma$
- → nur geringer Effekt!



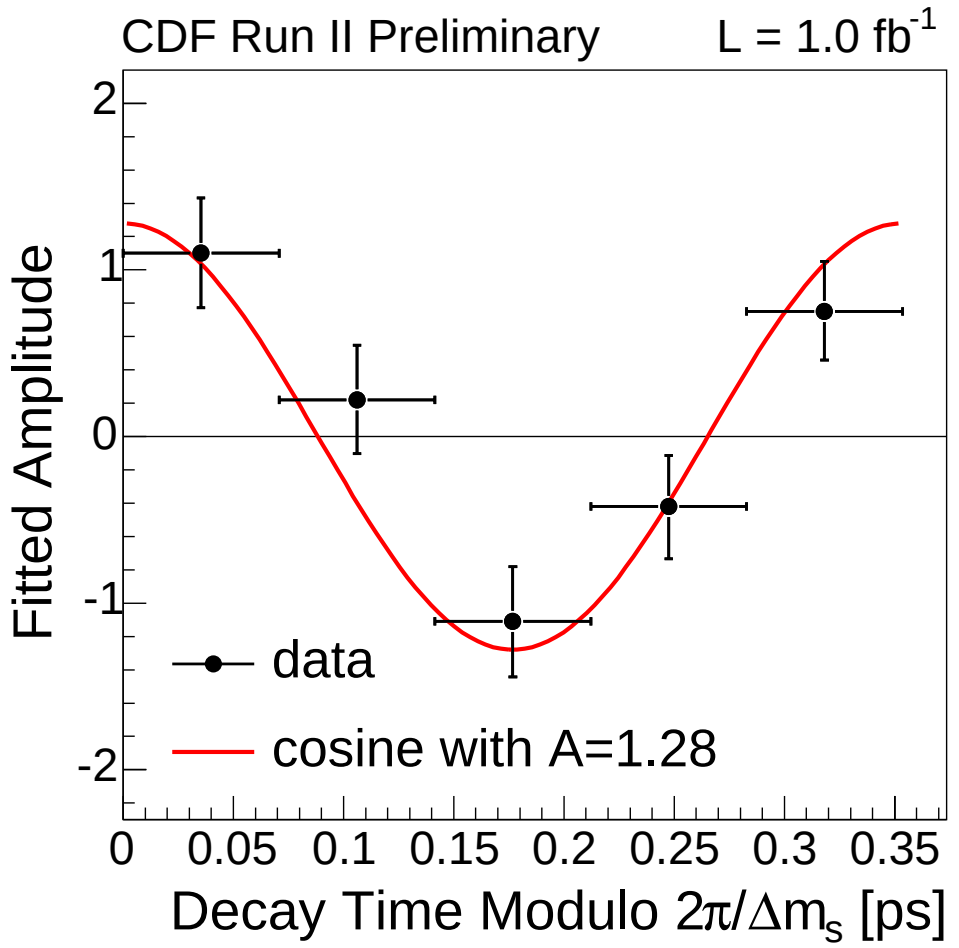
BABAR

™ and © Nelvana, All Rights Reserved

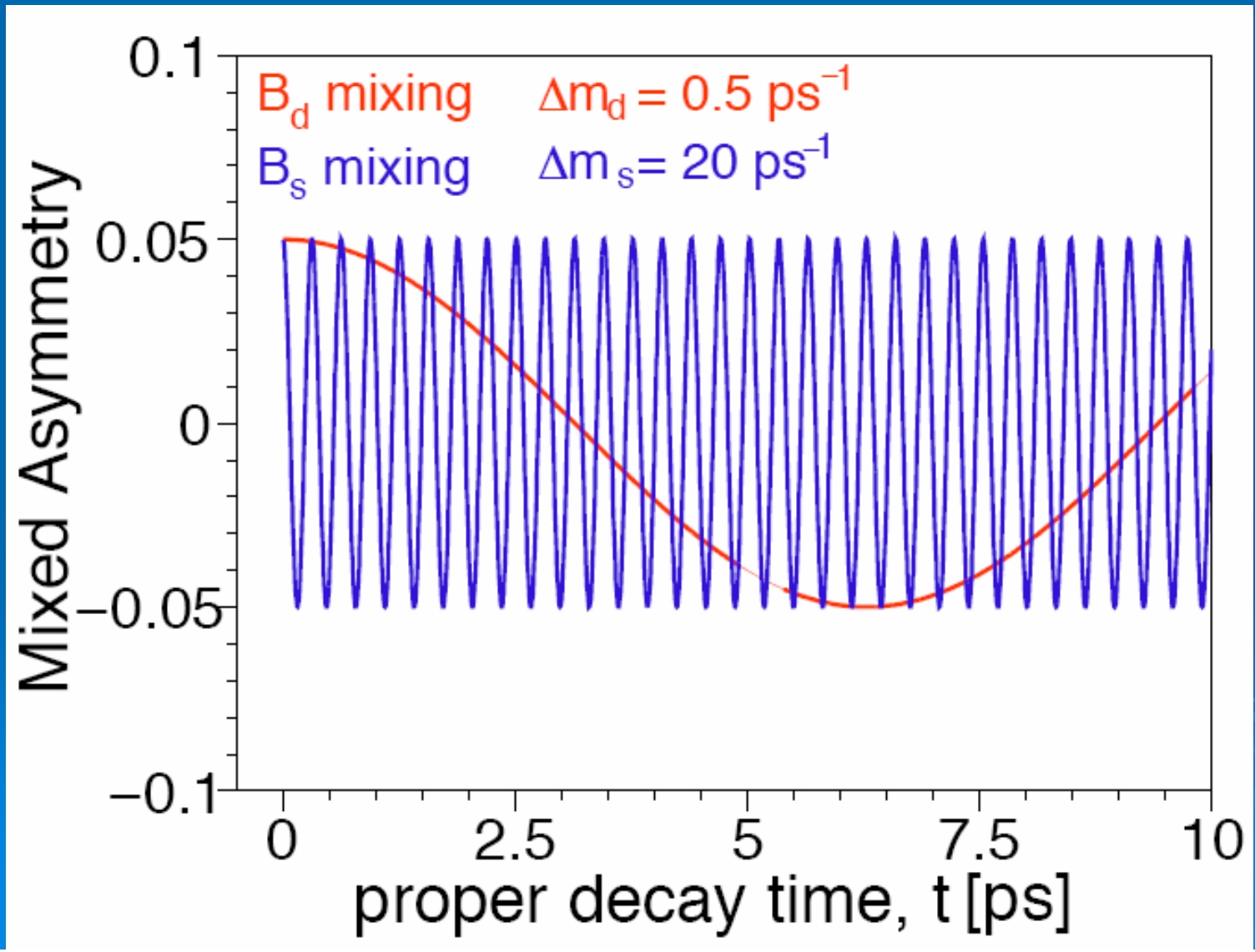


B_s-Oszillationen

- Deutlich schnellere Oszillation
- $\Delta m_s = (17{,}8 \pm 0{,}1)\,ps^{-1}$
- Stimmt mit SM überein



Vergleich


0.1
0.05
0
−0.05
−0.1
Mixed Asymmetry
B_d mixing
Δm_d = 0.5 ps^−1
B_s mixing
Δm_s = 20 ps^−1
0
2.5
5
7.5
10
proper decay time, t [ps]

Zusammenfassung

- Argus:
  - Beobachtung der B-Oszillation
  - Unerwartet große Umwandlungsrate
  - ➔ Untere Schranke für top-Quark Masse
- Heute:
  - Suche nach „Neuer Physik“ bei B_s-Mesonen
  - Nicht gefunden!!! ☹

Referenzen

- „b-quark physics at Doris“ von Dietrich Wegener
- „Oszillation zwischen Teilchen und Antiteilchen bei B-Mesonen“ von Walter Schmidt-Parzefall
- „Observation of B Bbar Mixing“ von Albrecht et al. (Argus)
- „Argus: A universal detector at DorisII“ von Albrecht et al. (Argus)
- „Advanced Particle Physics“ Skript von Prof. Schultz-Coulon
- „Detektoren in der Kern- und Teilchenphysik“ Skript von Prof. Herrmann
- „Observation B_s-$B_s$bar Oscillation“ von CDF-Collaboration
- http://pdg.lbl.gov/pdg.html