

Lebensdauer von Myonen

Manuel Wittner

Seminar Präzisionsexperimente der
Teilchenphysik

25. Juli 2014

Gliederung

- Motivation
- Theorie
- Aufbau und Funktionsprinzip des FAST-Experiments
- Datenanalyse
- Fehleranalyse
- Zusammenfassung und Ausblick

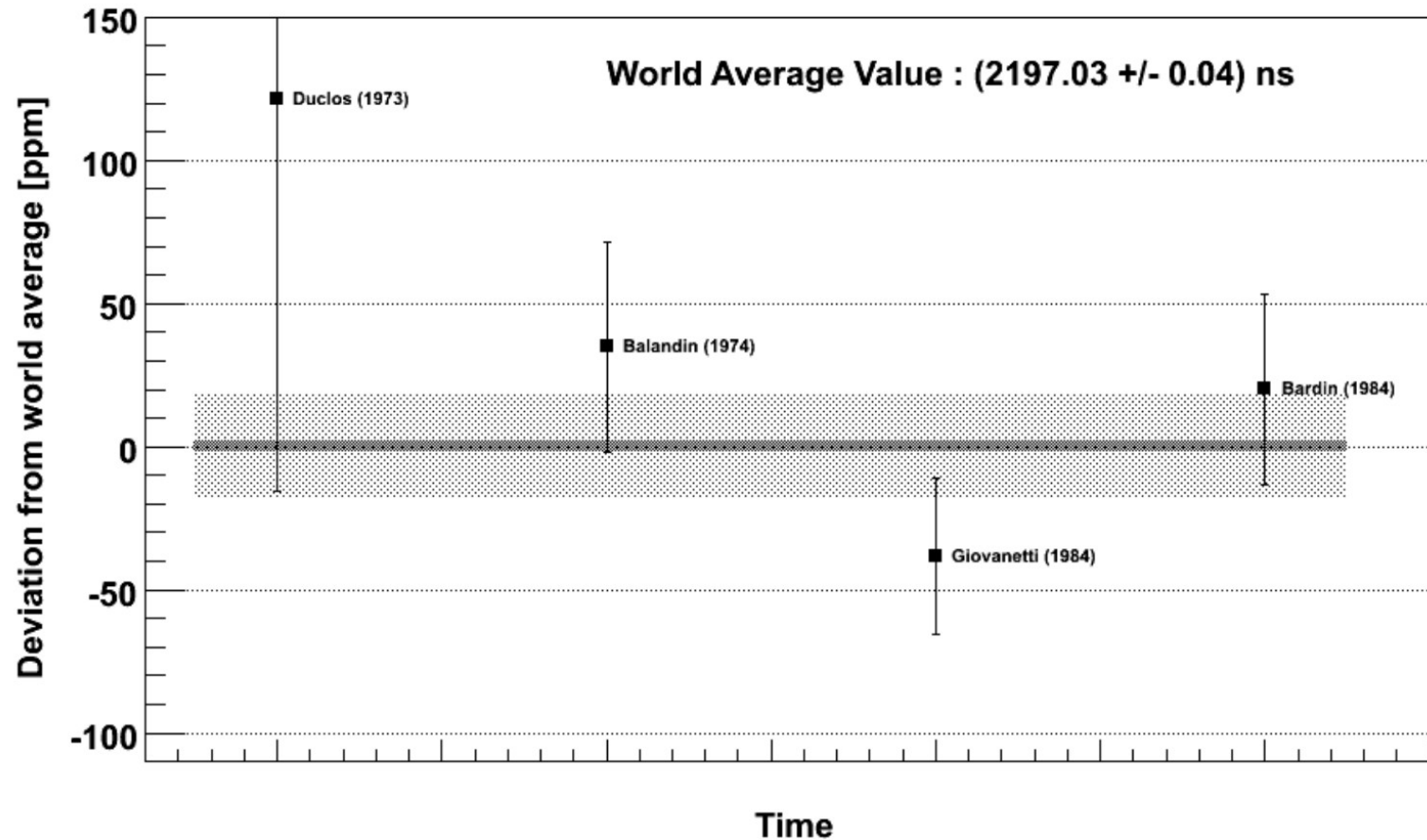
Motivation

- 3 Parameter im bosonischen Sektor des SM:
 α , M_Z und G_F
- Bestimmung der Fermi-Konstante G_F aus Myon-Lebensdauer τ_μ :

$$\frac{1}{\tau_\mu} = \frac{G_F^2 m_\mu^5}{192 \pi^3} (1 + \Delta q)$$

- Fehler dominiert durch Fehler von $\tau_\mu \approx 18 \text{ ppm}$

Frühere Messungen von τ_μ



„High Precision Muon Lifetime Measurement with the FAST Experiment“, Maria Chiara Casella

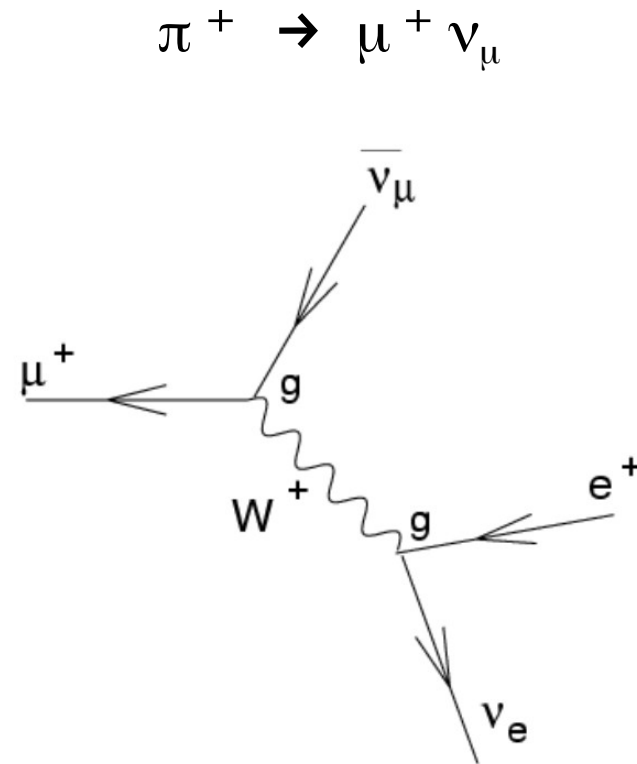
Frühere Messungen von τ_μ

- Wenige Events → statistisch limitierte Genauigkeit
- Beispiele:
 - TRIUMPH: Konnte nur 1 Event alle 20 μs erfassen
 - Saclay: Nur 1 Event pro Zeitfenster erlaubt
- Anforderung an moderne Experimente:
 - Gleichzeitiges Detektieren mehrerer Events
 - Dennoch möglichst kleine systematische Fehler

Theorie

- Gemessen wird die Zeit zwischen Myon-Detektion und Positron-Detektion
- Zerfall gemäß

$$N(t) \propto e^{-t/\tau}$$



Maria Chiara Casella

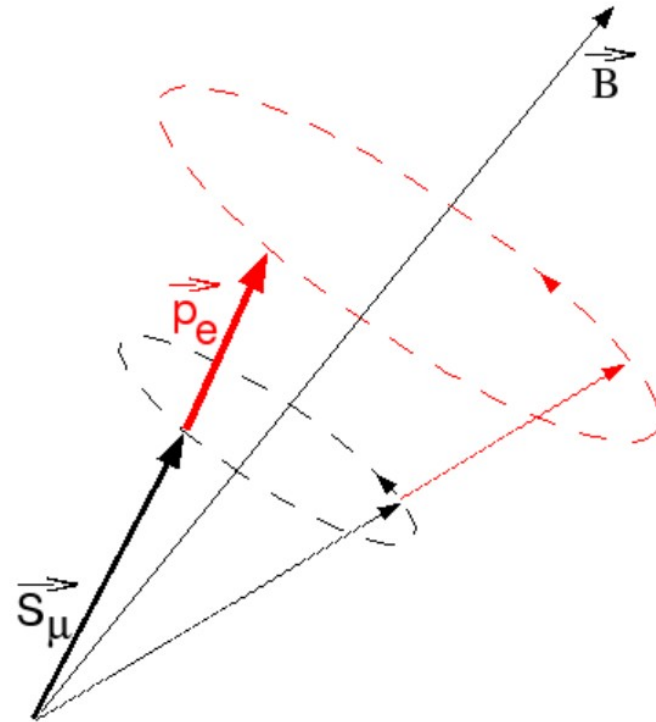
μ SR-Effekte

- Präzession des Spins um Magnetfeld

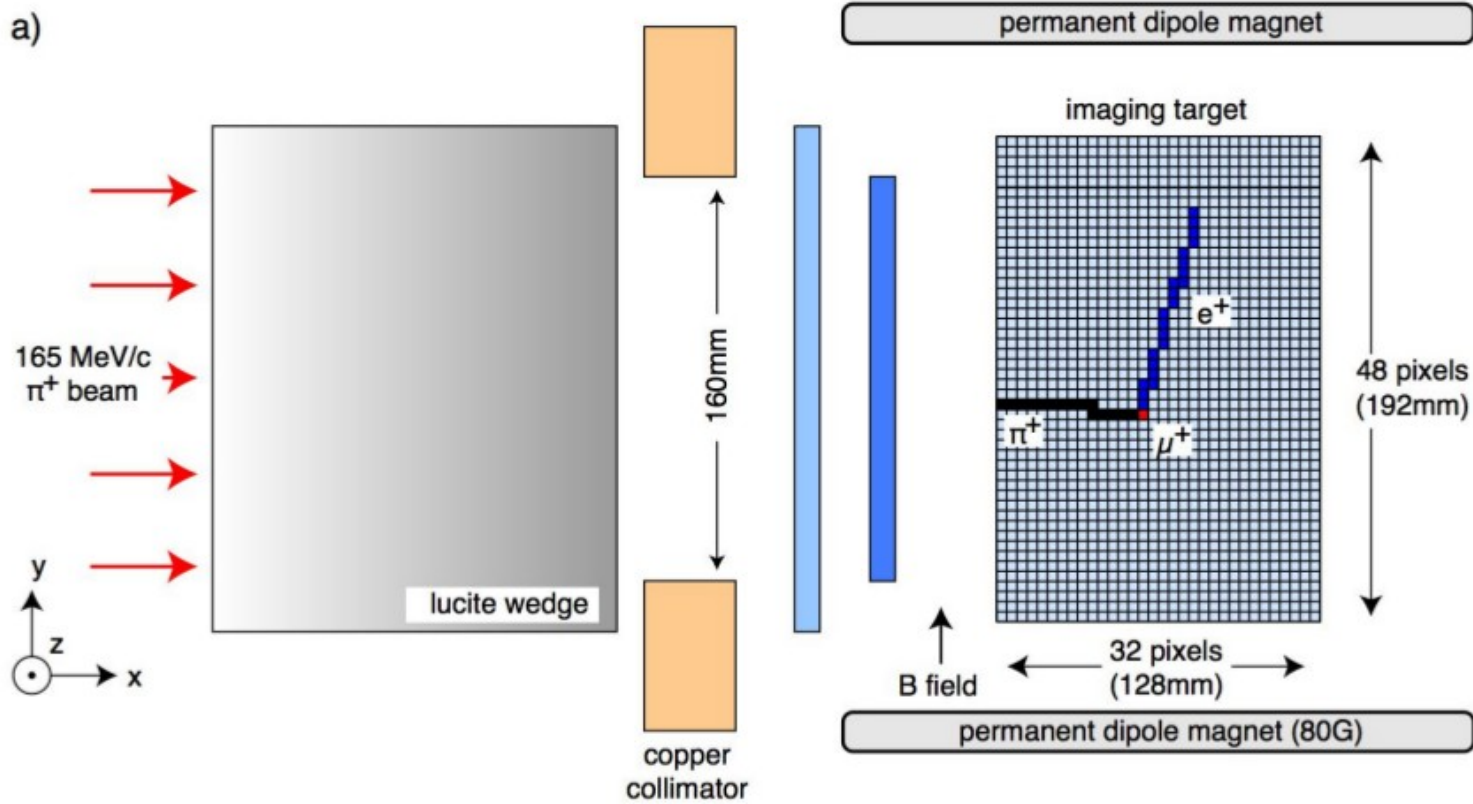
$$f_{\mu} = 13,55 \frac{\text{kHz}}{\text{G}} \times B$$

- Zeitabhängige Winkelverteilung der Positronen

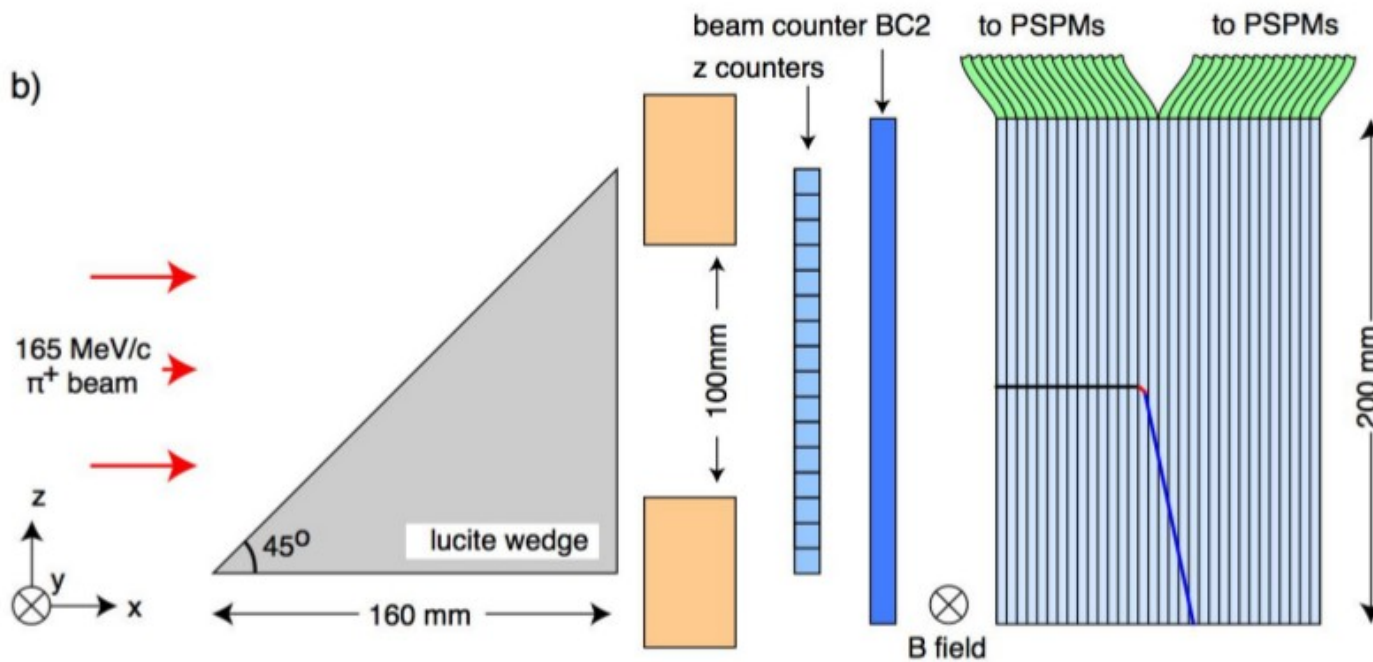
- Anisotropie des Detektors \rightarrow Fehler



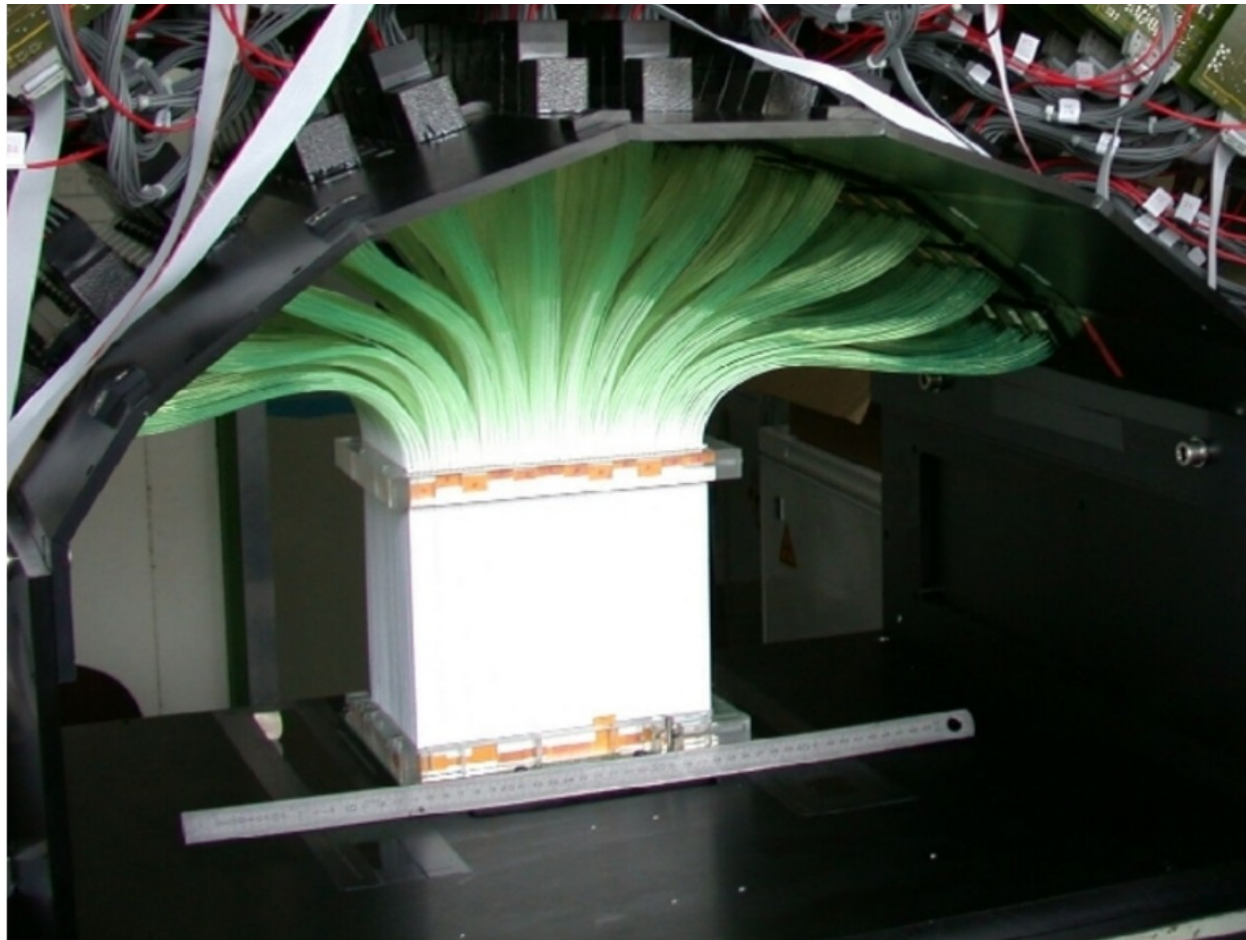
Maria Chiara Casella



„Measurement of the Fermi-Constant by FAST“, C. Casella et al.



Detektor: Array aus Plastiksintillatoren



Maria Chiara Casella

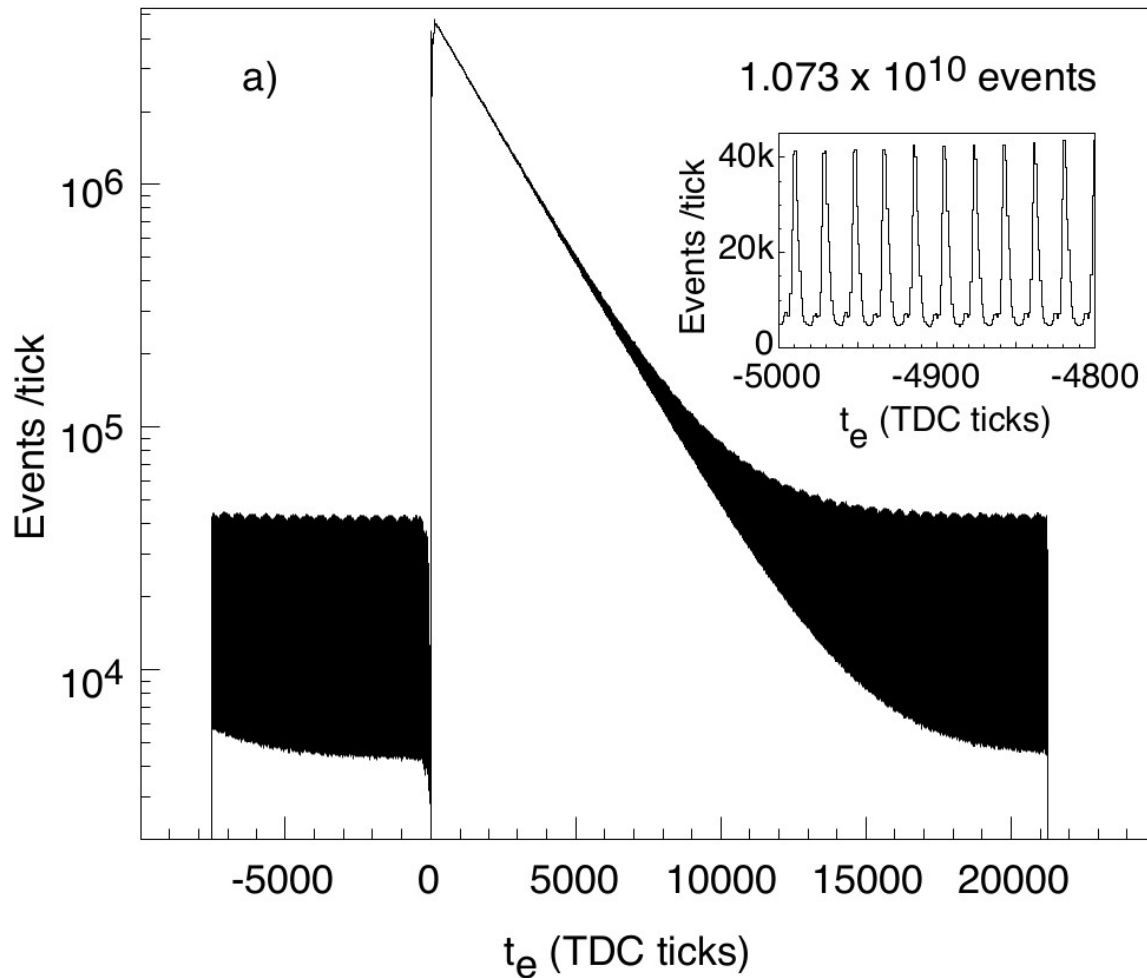
Vorteile des Aufbaus

- Paralleles Erfassen verschiedener Events
- Schneller Detektor → Pile-Up unterdrückt
- DC-Strahl → keine Gain-Shifts
- Myon-Spin Fehler unterdrückt durch:
 - π^+ -Strahl mit Spin 0
 - Range-Cuts zum Herausfiltern von Strahl-Myonen
 - Magnetfeld von 80 G zum Detektieren von Spineffekten

Messprinzip

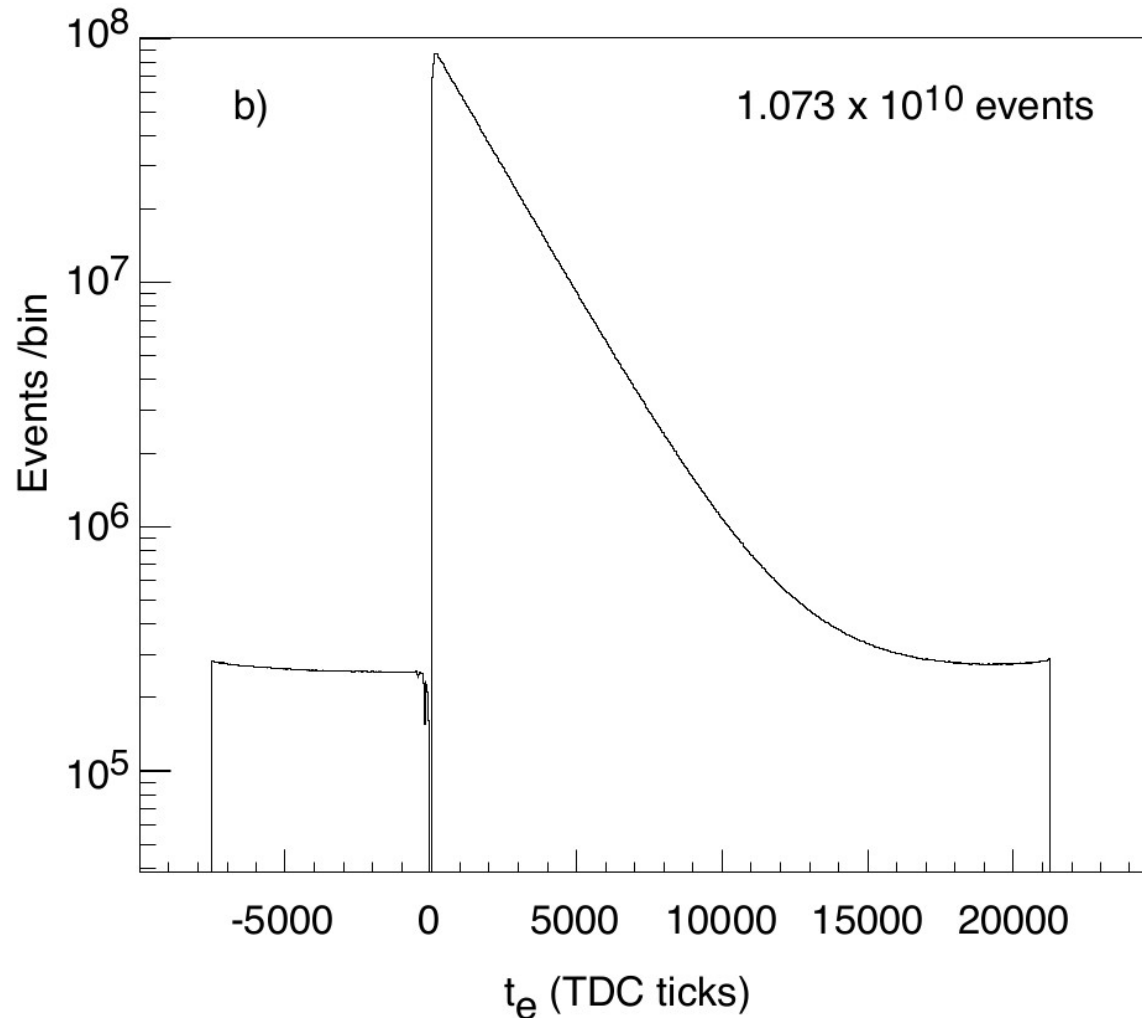
- Myon-Koordinate identifizieren
- Superpixel darum legen
- Mögliches Positron im Bereich -8 bis $22 \mu\text{s}$ darum identifizieren
- Durchschnitt aller Positronen-Pixel in der Matrix bilden

Datenanalyse



„Measurement of the Fermi-Constant by FAST“, C. Casella et al.

Binning mit Beschleuniger-RF-Periode



„Measurement of the Fermi-Constant by FAST“, C. Casella et al.

Fitten der Myonen-Lebensdauer

- 3 Schritte:
 - Bestimmung der Periode T des Pion-Strahls
 - Rebinning des Histogramms mit T als Bin-Weite
 - Fitten des Histogramms mit τ_μ als freier Parameter
 - Bestimmung der Periode auf 2 Arten:
 - Faltung des Intervalls in einzelne Periode
 - Fourier-Transformation
- beide Methoden stimmen überein mit 1 ppm

Fitten der Myonen-Lebensdauer

- Maximum-Likelihood-Fit mit Fitfunktion:

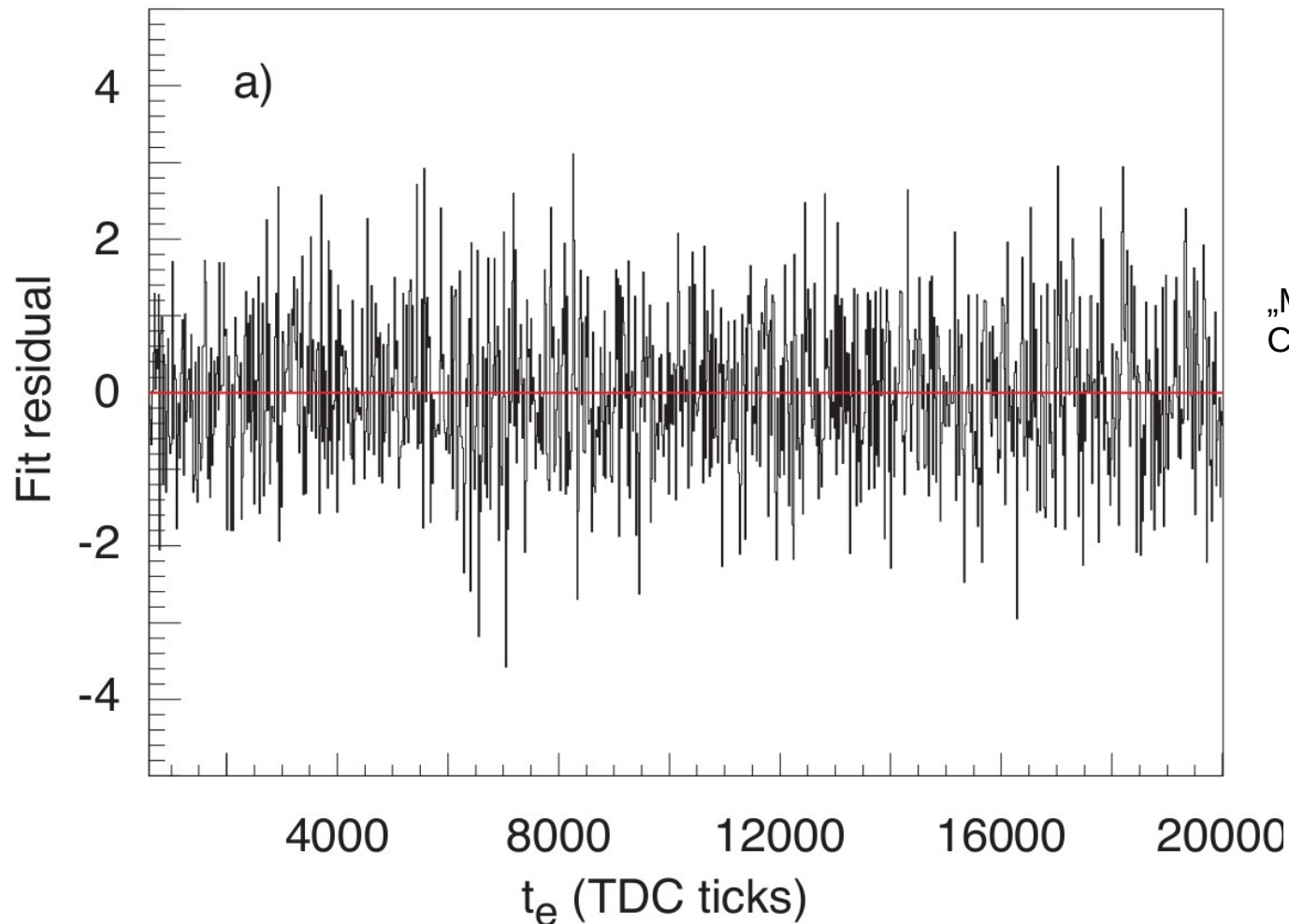
$$N(t_e) = f_{TDC}(t_e) (A e^{-t_e/\tau_\mu} + B e^{t_e/\tau_\mu} + C)$$

- Ergebnis:

$$\tau_\mu = 2,197\,083(32)\,\mu s$$

$$\chi_{reduziert}^2 = 1,01 \Rightarrow P \approx 0,401$$

Residuen des Fits

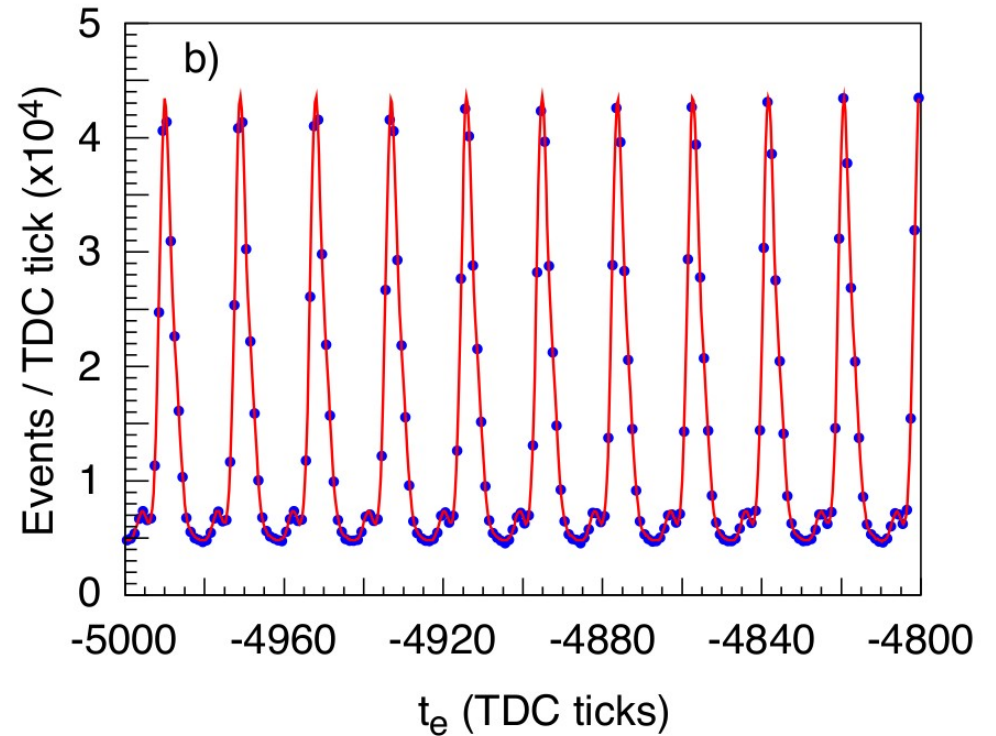
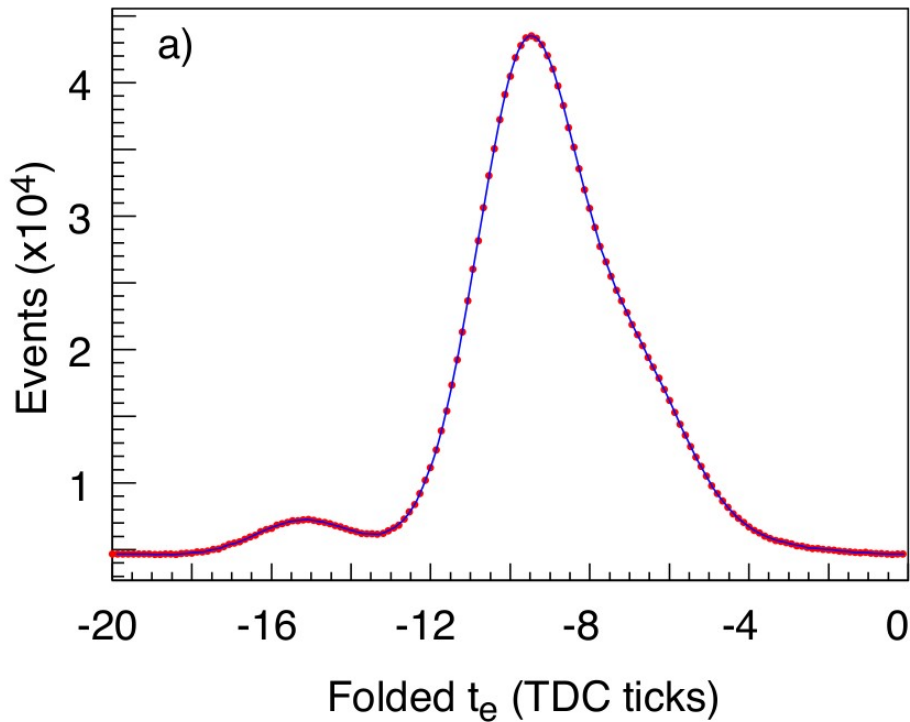


„Measurement of the Fermi-Constant by FAST“, C. Casella et al.

Alternative Methode: τ_μ -Fit mit feinem Binning

- Bin-Weite entspricht 1 TDC tick
- Background muss einbezogen werden
- Faltung des negativen Bereichs in eine Periode
- Background-Shape als Spline beschreiben

Faltung in eine Periode



„Measurement of the Fermi-Constant by FAST“, C. Casella et al.

Vergleich der Methoden

- Maximum-Likelihood-Fit:

$$N(t_e) = f_{TDC}(t_e) \left(A e^{-t_e/\tau_\mu} + B e^{t_e/\tau_\mu} f_\pi(t_e) + C + Spline \right)$$

- Unterschied der Methoden bei 5,2 ppm

Fehleranalyse

Source of systematic error	$\Delta\tau_\mu$ (ppm)	
1. Fit method	-5.2	
2. Reference time (π vs. μ)	+1.8	Stand 2007
3. Detector uniformity	+7.6	„Measurement of the Fermi-Constant by FAST“, C. Casella et al.
4. Time stability	< 1	
5. Beam rate	< 1	
6. TDC performance	< 1	
7. Muon spin rotation	< 1	
Total	± 6.5	

Zusammenfassung und Ausblick

- Endergebnis:

$$\tau_{\mu} = 2,197\,083(32)(15)\,\mu\text{s}$$

Stand Juli 2007

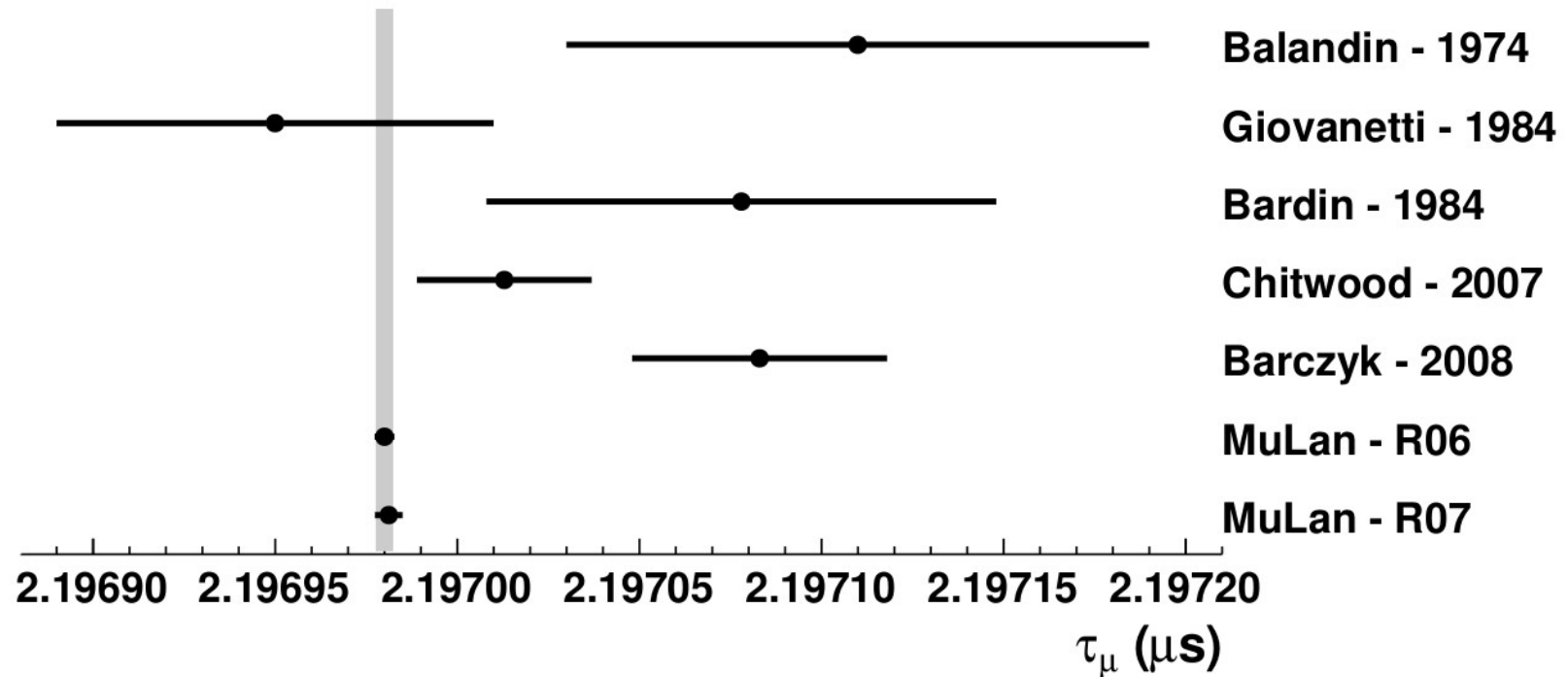
$$G_F = 1,166\,353(9) \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$$

- Weltdurchschnitt: $1,166\,370(10) \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$
- Abbruch aufgrund eines systematischen Fehlers → Afterpulse

Moderne Präzisionsexperimente

- **RIKEN-RAL-Experiment:**
 - Gepulster Myonen-Strahl
 - Ansammlung und Depolarisierung in Paramagnet
 - Detektion in Drahtkammer
- **MuLan-Experiment:**
 - Gepulster Myonen-Strahl in dünnes Target
 - Detektion in umgebenden Szintillatoren
 - Genauste Messung von G_F (0,5 ppm)

Aktueller Stand



„Detailed Report of the MuLan Measurement of the Positive Muon Lifetime and Determination of the Fermi Constant“, V. Tishchenko et al.

Fragen

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!