

Tests des Standardmodells Gestern und Morgen - Zwei Beispiele

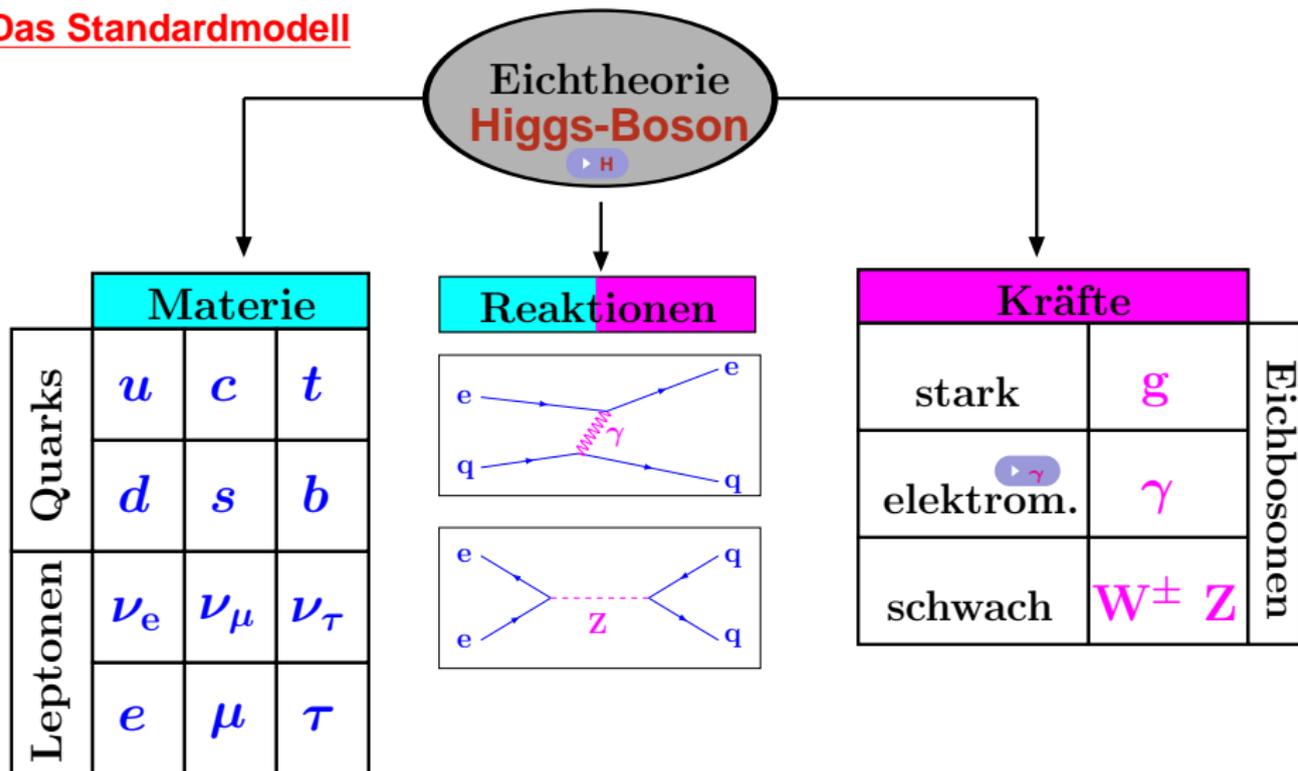


Freiburg, 13. Januar 2004

Richard Nisius (MPI München)
nisius@mppmu.mpg.de



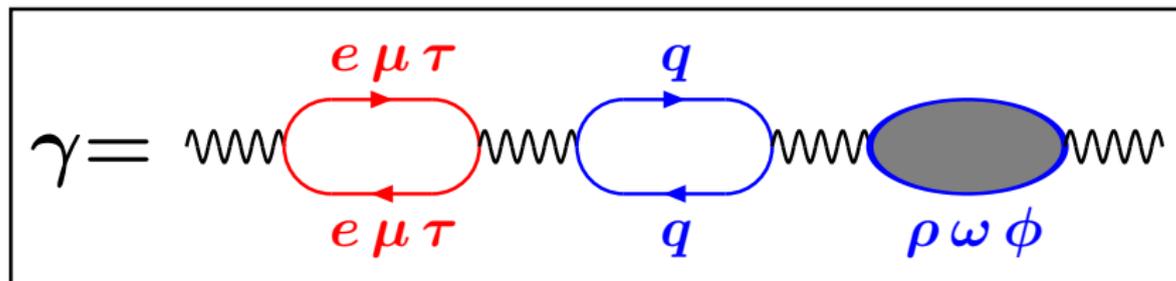
Das Standardmodell



Das Standardmodell hat Präzisionstests erfolgreich bestanden.

Warum wir von Photonstruktur sprechen

- Die Struktur des Photon ist ein rein quantenmechanischer Effekt.



- Wegen der Heisenbergschen Unschärferelation kann das Photon für einen kurzen Zeitraum in einen **leptonischen** oder **hadronischen** Zustand (vereinbar mit seinen Quantenzahlen) fluktuieren.
- Die typische Lebensdauer $\Delta t = 1/\Delta E$ dieser Fluktuationen **steigt mit der Photonenergie und fällt mit der Photonvirtualität.**

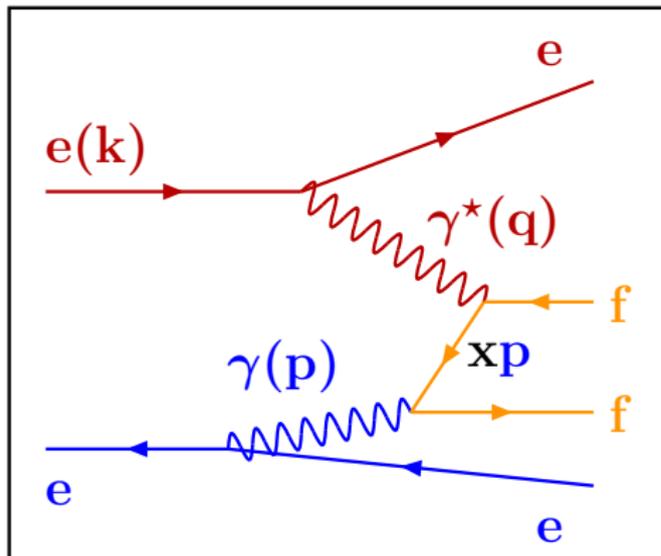


Messungen zur Photonstruktur bevorzugen quasi-reele, hochenergetische Photonen.

Der Large Electron Positron Collider (1989 - 2000): $E = 90 - 209 \text{ GeV}$



Tief-inelastische Elektron Photon Streuung



$Q^2 = -q^2 \gg 0 \Rightarrow$ dieses Elektron ist
im Detektor sichtbar.

$$\mathbf{x} = \frac{Q^2}{Q^2 + W^2}, \quad \mathbf{y} = \frac{pq}{pk}$$

$P^2 = -p^2 \approx 0 \Rightarrow$ dieses Elektron bleibt
im Strahlrohr.

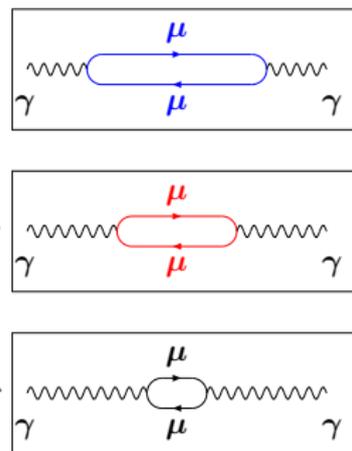
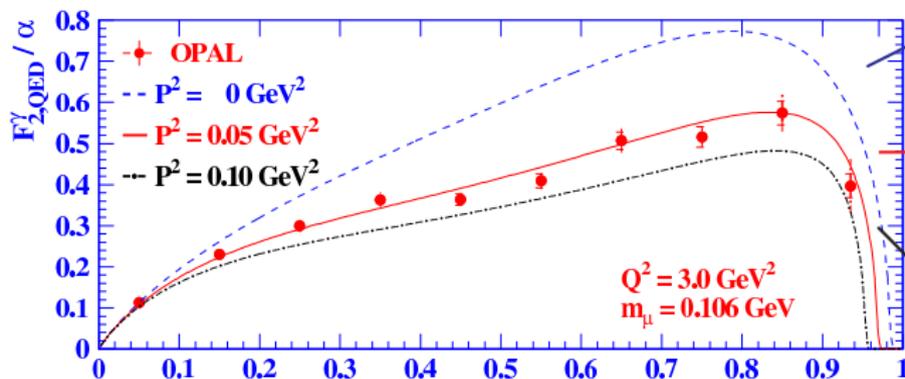
– Der differentielle WQS:

$$\frac{d^2\sigma}{dx dQ^2} \approx \mathbf{k}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, Q^2) \cdot F_2^\gamma(\mathbf{x}, Q^2, P^2)$$

Die Strukturfunktion F_2^γ parametrisiert die Struktur des Photons.

Die Struktur virtueller Photonen ist unterdrückt

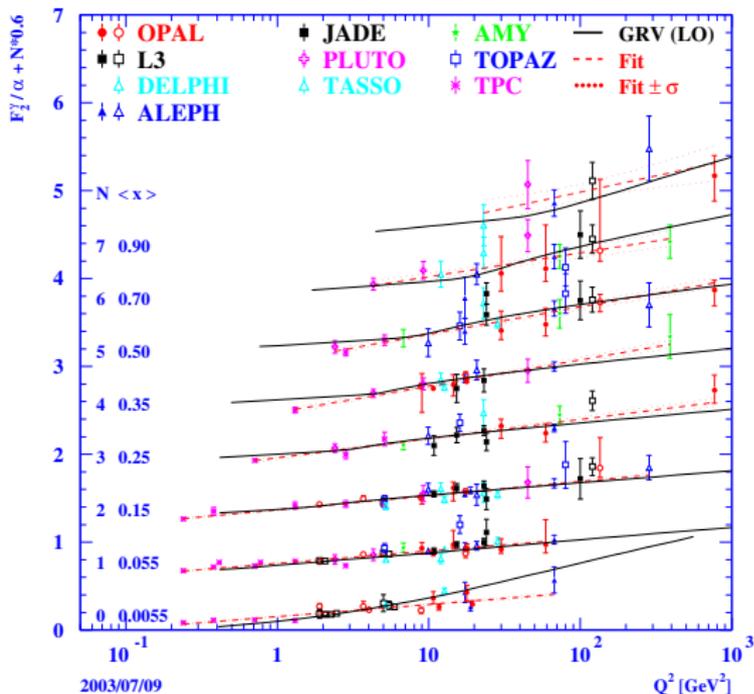
- Die Messung der Reaktion $e\gamma \rightarrow e\mu^+\mu^-$ liefert:



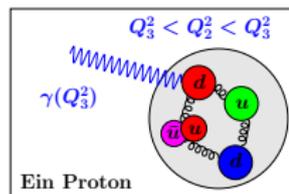
- Für $P^2 = 0$ ist das Photon reel und $F_{2,QED}^{\gamma}$ ist maximal.
- Die Vorhersage des Standardmodells ist $P^2 = 0.05 \text{ GeV}^2$.
- Für $P^2 > 0$ ist das Photon virtuell und $F_{2,QED}^{\gamma}$ ist reduziert.

Die Vorhersage wird von den Daten quantitativ bestätigt.

Die hadronische Struktur des Photons

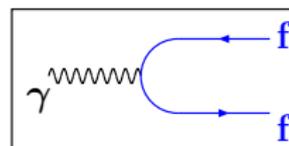


– Das Proton ist ein Hadron.

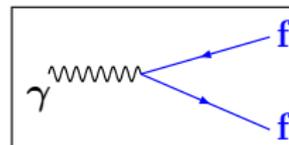


Die Struktur ist Q^2 abhängig.

– Das Photon hat eine **hadronartige**



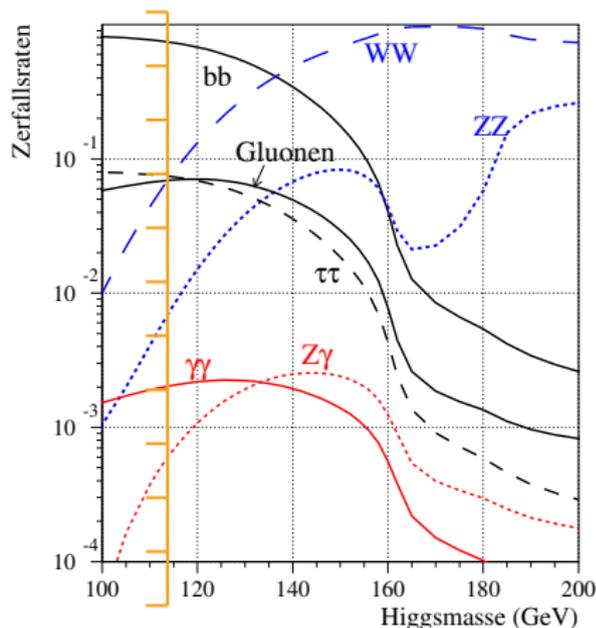
und eine **punktartige**



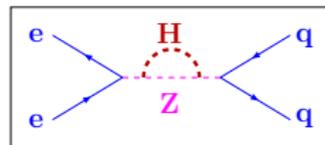
Komponente.

Wegen der punktierten Komponente steigt F_2^γ mit Q^2 für alle Werte von x .

Die Zerfallsraten des Higgs-Bosons



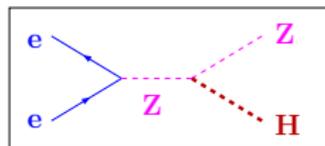
– Obere Grenze aus Präzisionsmessungen:



$M_H < 219 \text{ GeV}$ mit 95% CL.

- Im interessanten Bereich stehen eine Reihe von Zerfallskanälen zur Verfügung.
- Zu jeder Masse gehört eine genau vorhergesagte Zusammensetzung der Kanäle.

– Untere Grenze aus direkter Suche bei LEP:



$M_H > 114.4 \text{ GeV}$ mit 95% CL.

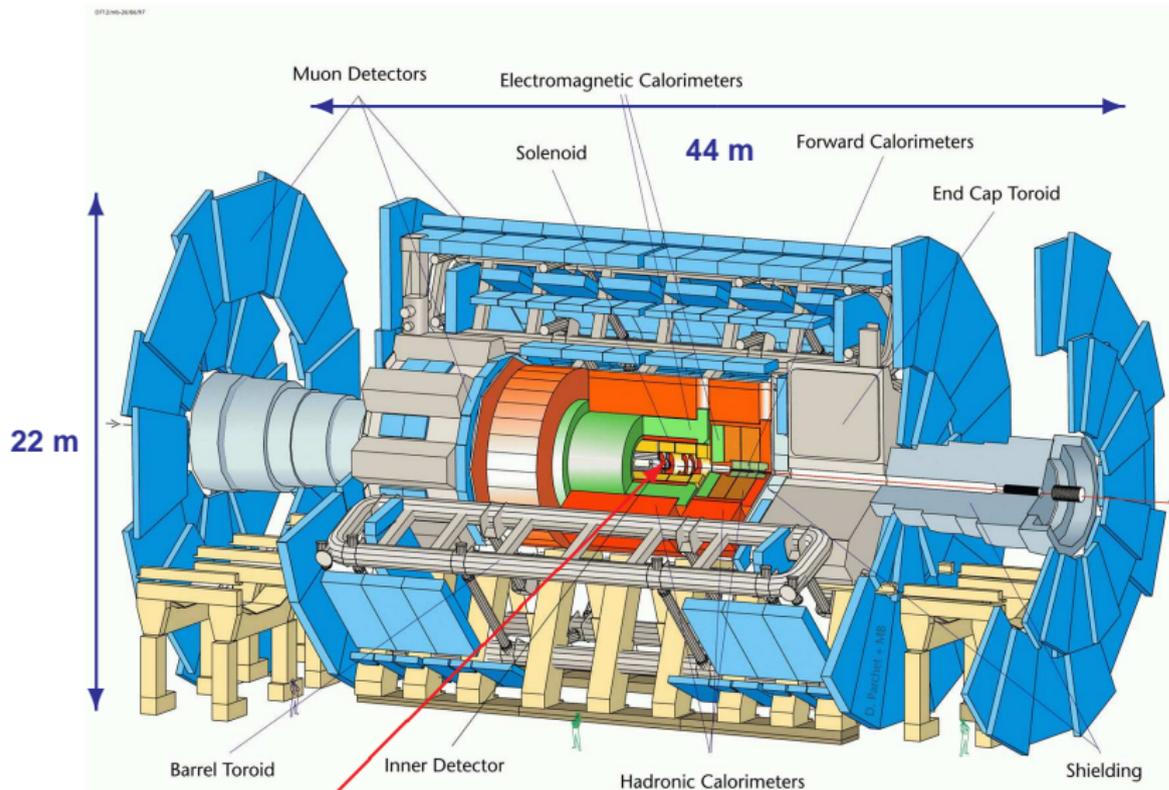
Die Kombination von Masse und Zerfallsraten ist ein guter Test der Theorie.

Der Large Hadron Collider (2007 - 20xx): $E = 14000 \text{ GeV}$



Entdeckungspotential: $M_H = 100 - 1000 \text{ GeV}$

Der ATLAS Detektor



Semi Conductor Tracker (SCT)

Gestern vs Morgen oder von OPAL(LEP) zu ATLAS (LHC)

Beschleuniger

Strahlkreuzung (Hz): 50k \Rightarrow 40M

Detektor

Radius, Länge (m): 5.5, 12 \Rightarrow 11, 44

Gewicht (t): 2800 \Rightarrow 7000

Silizium Streifendetektor

Radius, Länge (cm): 7.5, 35 \Rightarrow 52, 560

Fläche (m²): 0.003 \Rightarrow 61

Wafer, Kanäle: 150, 30k \Rightarrow 15k, 6M

Datennahme

Ereignis/Strahlkreuzung: 10^{-4} \Rightarrow 23

Ereignisgröße (MB): 0.15 \Rightarrow 1

Datenmenge (TB): 0.5/LEP \Rightarrow 1000/Jahr

Spuren/Ereignis: 5 \Rightarrow 1000

Software

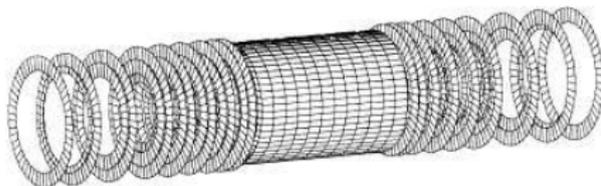
Zeilen, Routinen/Klassen, Pakete:

0.5M, 7k, 54 \Rightarrow 1M, 1k, 100

Die Herausforderungen sind teilweise um Größenordnungen gewachsen.

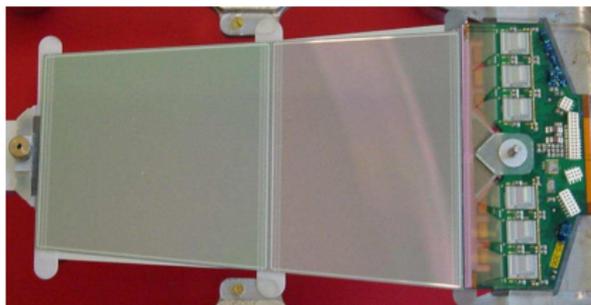
Der ATLAS SemiConductor Tracker

Das Layout



- Barrel: 4 Lagen.
- Endkappen: 2x9 Scheiben.
- Module: 4088, Barrel 2112, Endkappen 1976 (drei Sorten).
- Ortsauflösung: 16 μm (senkrecht) und 580 μm (parallel) zu den Streifen.

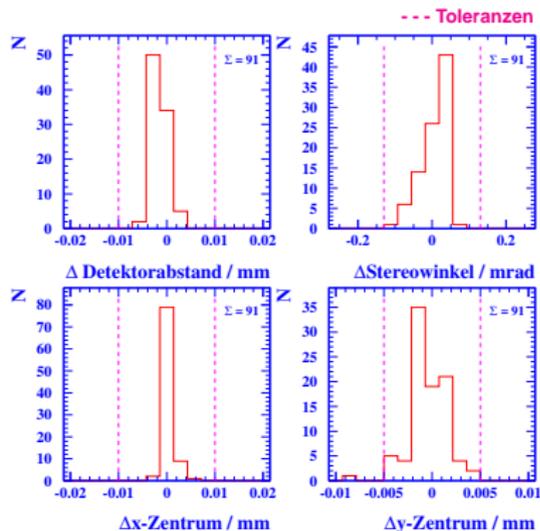
Ein Endkappenmodul



- 768 einseitige p-in-n Streifen mit 50-90 μm Streifenabstand.
- Doppelseitiger Hybrid mit 6 Chips pro Seite, binäre Auslese.
- Befestigungspunkte mit 20 μm Genauigkeit.

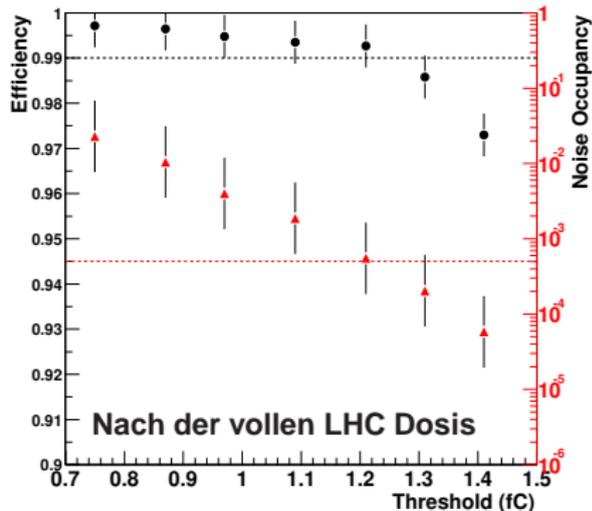
Resultate von Endkappenmodulen

Mechanische Präzision



Die Module werden mit hoher Ausbeute innerhalb der mechanischen Spezifikationen gebaut.

Elektrische Eigenschaften

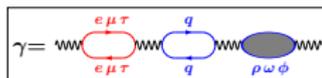


Die Module halten der hohen Strahlenbelastung bei LHC ausreichend lange stand.

Zusammenfassung und Ausblick

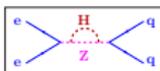
- Das Standardmodell ist experimentell mit großer Präzision getestet und bestätigt worden.
- Einer seiner Eckpfeiler, das **Higgs-Boson**, wurde jedoch bis heute nicht entdeckt.

Photonstruktur



- Wie von der Heisenbergschen Unschärferelation vorhergesagt, ist die Struktur virtueller Photonen unterdrückt.
- Die punktartige Komponente der hadronischen Struktur des Photons führt (anders als beim Proton) zu einer mit Q^2 ansteigenden Struktur für alle Werte von x .

Das Higgs-Boson



- Es gibt nur indirekte Hinweise auf die Existenz des **Higgs-Bosons**.
-  Der LHC Beschleuniger wird nach mehr als 40 Jahren die Frage der Gültigkeit dieser Theorie wahrscheinlich abschliessend klären.
- Siliziumdetektoren sind wichtige Tools zur Messung der **Higgs-Boson Zerfälle**.



Vor uns liegen spannende Zeiten, schau'n wir mal...



Die Entfaltung von F_2^γ aus den Daten

Die Aufgabe

- Finde die zugrunde liegende Funktion $f(x)$ aus der beobachteten Verteilung:
$$g^{\text{det}}(x_{\text{vis}}) = \int A(x_{\text{vis}}, x) f(x) dx + U(x_{\text{vis}})$$

Die Lösung

- Monte Carlo (MC) Simulation vieler Ereignisse und Entfaltung der Verteilung.
- Simulation vieler MC Signalereignisse $\Rightarrow A(x_{\text{vis}}, x)$.
- Simulation vieler MC Untergrundereignisse $\Rightarrow U(x_{\text{vis}})$.
- Integral \rightarrow Matrixgleichung, löse numerisch (mit Regularisierung), i.e. Anpassung von $\tilde{g}^{\text{det}}(x_{\text{vis}}, \text{MC})$ an die Datenverteilung $g^{\text{det}}(x_{\text{vis}}, \text{Da})$ durch Variation von $\tilde{f}(x) = f(x) \cdot c(x)$.

Das Ergebnis

- Die Verteilungen $\tilde{g}^{\text{det}}(x_{\text{vis}}, \text{MC})$ und $g^{\text{det}}(x_{\text{vis}}, \text{Da})$ sind im Rahmen ihrer Fehler identisch.

Die Strukturfunktion ist:

$$F_2^\gamma(x, \text{Da}) = c(x) \cdot F_2^\gamma(x, \text{MC})$$

