



Phenomenology of Elementary Particle Physics (Prof. Peter Uwer)

Precision Physics in Quantum Field Theories as Probe of Fundamental Interactions (Dr. Markus Schulze, Heisenberg Fellow)

**Beispiele für in der AG PEP durchgeführte BA-Projekte:**

- Theoretische Beschreibung und Simulation der Bewegung eines starren Körpers
- Pfadintegrale in der Quantenmechanik
- Numerische Berechnung von Streuamplituden mittels Rekursionen
- Skalenevolution von Standardmodellparametern und Vakuumstabilität
- Regulatorabhängigkeit in  $H \rightarrow gg$
- Epsilon-Entwicklung von Schleifenintegralen
- Polarisation von hadronisch produzierten Z-Bosonen
- Ladungsasymmetrie  $A_C$  in der  $tt\bar{t}$ -Produktion am LHC

**Viele Projekte aus der Teilchenphysik sind in Forschungsaktivitäten der AG eingebettet**

Isolierte Problemstellungen, die mit Bachelorwissen zugänglich sind und die aktuelle Forschung berühren

Auf Wunsch nach Rücksprache auch Themen der theoretischen Physik außerhalb der Teilchenphysik möglich

**Methodenvielfalt:**

- Analytische Rechnungen
- Computer Algebra
- Numerische Methoden
- Zusammenspiel aus theoretischen Rechnungen und experimentellen Fragestellungen

... auch nützlich außerhalb der Teilchenphysik!

**Voraussetzungen:**

- Spass an der Theoretischen Physik
- Interesse an Fragestellungen der Theoretischen Teilchenphysik + LHC Physik
- Gutes Verständnis der Speziellen Relativitätstheorie / Quantenmechanik
- Interesse an computergestützten algebraischen und/oder numerischen Methoden

"learning by doing"

## Polarisation von hadronisch produzierten Z-Bosonen

Turan Nuraliyev

**Physikalische Grundlagen:**

- Produzierte Z-Bosonen sind auf Grund der Wechselwirkung polarisiert
- Bei paarweise produzierten Z-Bosonen können zusätzlich Spinkorrelationen auftreten
- Die Polarisation der Z-Bosonen spiegelt sich in den Winkelverteilungen der Zerfallsprodukte wider

**Zielsetzungen:**

- Berechnung der Polarisation für hadronisch produzierte Z-Bosonen (in Bornapproximation)
- Beschreibung mit Dichtematrix
- Wie kann aus der Winkelverteilung der Zerfallsprodukte auf die Polarisation zurückgeschlossen werden?

**Untersuchte Reaktionen:**

$$pp \rightarrow Z \rightarrow f\bar{f},$$

$$pp \rightarrow ZZ \rightarrow f\bar{f}f'\bar{f}'$$

**Dichtematrix Spin-1 Boson: [vgl. QM1]**

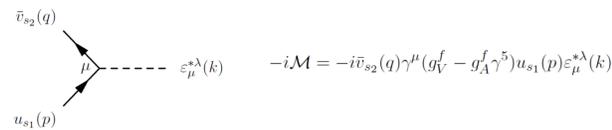
$$\rho = \sum p_m |\psi_m\rangle \langle \psi_m|$$

$$\rho = \frac{1}{3}(\mathbb{I} + \vec{P} \cdot \vec{J} + \sum w_{ij} T_{ij}),$$

Tensorpolarisation  
(tritt bei Spin-1/2 nicht auf!)

$$|\tilde{\mathcal{M}}|^2 \propto \text{Tr}[\rho_{Prod.} \cdot \rho_{Zerfall}]$$

**Produktion einzelner Z-Bosonen**



$$\vec{P} = b_0 \vec{\hat{p}},$$

$$b_0 = -\frac{3}{4} \frac{2g_A^f g_V^f}{g_A^{f2} + g_V^{f2}},$$

$$w_{ij} = c_0 \delta_{ij} + c_1 \hat{p}_i \hat{p}_j,$$

$$c_0 = -\frac{1}{2}, \quad c_1 = \frac{1}{2}$$

Tensorpolarisation

$$\text{Tr}[\rho_{q\bar{q} \rightarrow Z} \cdot \rho_{Z \rightarrow q\bar{q}}] \propto$$

$$\left( \frac{c_1}{6} (\cos^2 \theta + 1) - \frac{2c_1 + 3}{9} - \frac{b_0}{6} \frac{2g_A^f g_V^f}{(g_V^{f2} + g_A^{f2})} \cos \theta \right)$$

→ Polarisation des intermediären Z-Bosons kann aus Winkelverteilung bestimmt werden

Vgl. [Aguilar-Saavedra et al, 2016, 2017]

Entsprechende Resultate für  $pp \rightarrow ZZ$

Resultate können verwendet werden um bei LHC die Polarisation intermediärer Z-Bosonen zu messen

→ Polarisationsanalysen erlauben, die zugrunde liegende Wechselwirkung präziser zu testen.

## Ladungs-Asymmetrie $A_C$ in der $tt\bar{t} + \gamma$ Produktion am LHC

Jonas Bergner

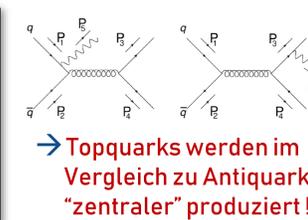
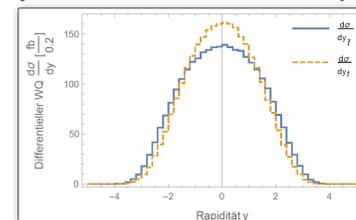
**Physikalische Grundlagen:**

- In der Top-quarkpaarproduktion existiert eine Ladungsasymmetrie: Winkelverteilung für Top-quarks unterscheidet sich von der für Antitop-quarks
- In der Top-quarkpaarproduktion kommt der Effekt nur durch Korrekturen jenseits der Bornapproximation zustande
- Erste Messungen am Tevatron deuteten auf eine Abweichung von den theoretischen SM-Vorhersagen hin: Neue Physik?

**Zielsetzungen:**

- Da sich in Quantenkorrekturen unterschiedliche Effekte kompensieren können, soll die Ladungsasymmetrie in  $tt\bar{t}$  Ereignissen untersucht werden (tritt bereits in Bornapproximation auf!)
- Berechnung in führender Ordnung für realistischen Endzustand
- Optimierung von Phasenraumschnitten, um Effekt und Signifikanz simultan zu optimieren

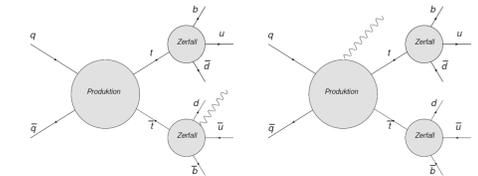
**Asymmetrie für stabile Topquarks:**



→ Topquarks werden im Vergleich zu Antiquarks "zentraler" produziert!

Definition:  $A_C = \frac{\sigma(\Delta y > 0) - \sigma(\Delta y < 0)}{\sigma(\Delta y > 0) + \sigma(\Delta y < 0)}$ ,  $\Delta y = |y_t| - |y_{\bar{t}}|$

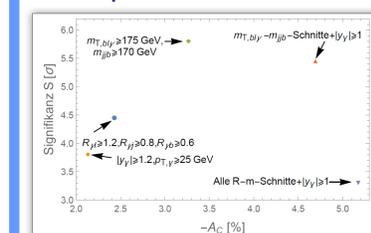
**Berücksichtigung des Top-quarkzerfalls:**



Berechnung des Wirkungsquerschnitts mit Hilfe des Partonmodells:

$$\sigma_{pp \rightarrow f} = \sum_{p_1, p_2}^{n_p} \int_0^1 dx_1 \int_0^1 dx_2 f_{p_1}(x_1) f_{p_2}(x_2) \hat{\sigma}_{p_1 p_2 \rightarrow f} \delta(s - 4x_1 x_2 E_{Beschl}^2)$$

**Asymmetrie und Signifikanz nach optimierten Schnitten:**



**Fazit:**

- $A_C$  nützlich zur Suche nach neuer Physik
- Asymmetrie und Signifikanz kann durch Schnitte deutlich verbessert werden
- Berücksichtigung der NLO Korrekturen möglich (Publikation?)

## Contact Details and Information

Peter Uwer Email: Peter.Uwer@Physik.HU-Berlin.de



Markus Schulze Email: Markus.Schulze@Physik.HU-Berlin.de



www.physik.hu-berlin.de/pep



Supported by

