

# Forschungsvorhaben

---

Das hier vorgestellte Forschungsvorhaben beschreibt Schritte zu einer systematischen und modellunabhängigen Untersuchung der Tevatron-Daten.

## Einleitung und Motivation

Das so genannte “Standardmodell” der Elementarteilchenphysik beschreibt die Eigenschaften der Quarks und Leptonen und ihrer starken und elektroschwachen Wechselwirkungen. Es gibt sechs Arten von Quarks, die Up-, Down-, Strange-, Charm-, Bottom- und Top-Quark genannt werden und sechs Arten von Leptonen, Elektronen, Muonen, Taus und die jeweils entsprechenden Neutrinos. Sie sind in drei Paaren (“Generationen”) angeordnet, die sich lediglich durch ihre Massen unterscheiden, wie in Tabelle 1 dargestellt. Die Up-Quarks, Down-Quarks und Elektronen bilden die uns bekannte Materie.

$$\begin{array}{l} \text{Quarks:} \\ \text{Leptonen:} \end{array} \quad \begin{array}{ccc} \begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix} \end{array}$$

Tabelle 1: Die sechs bekannten Quarks und Leptonen. Die drei Spalten ordnen die Quarks und Leptonen in drei Generationen ein.

Das Standardmodell weist derzeit 26 freie Parameter auf: 6 Lepton-Massen, 6 Quark-Massen, 4 Parameter um zu beschreiben wie Leptonen mischen, 4 weitere um zu beschreiben wie Quarks mischen, 3 Kopplungsstärken für die starke, schwache und elektromagnetische Wechselwirkung, die Massen der W und Higgs Bosonen und eine starke CP-verletzende Phase  $\theta$ .

Bislang hat das Standardmodell der Elementarteilchenphysik die an Beschleunigerexperimenten gemessenen Eigenschaften der Quarks und Leptonen und ihrer starken und elektroschwachen Wechselwirkungen außerordentlich erfolgreich beschrieben. Allerdings ist die Erweiterung des Standardmodells zu Energien größer als etwa 1 TeV ein ungelöstes Problem. Eine Vielzahl an neuen Phänomenen in diesem Energiebereich wurden vorgeschlagen. Dies schließt Theorien mit Supersymmetrie, Compositeness, Technicolor, magnetischen Monopolen, zusätzlichen Raumdimensionen, angeregten



Die Analyse spezifiziert nicht den Zerfallsmodus des Bosons und ist folglich unabhängig von Modellen, in denen das Higgs Boson produziert wird.

## Experimente am Tevatron

Der Beschleuniger-Komplex am FERMILAB wurde nach 1996 ausführlichen Umbauarbeiten unterworfen. Dies schloss eine Erhöhung der Schwerpunktenergie von 1.8 TeV auf nun 1.96 TeV ein. Verbesserungen am Proton-Linearbeschleuniger, Booster und am Anti-Proton-Akkumulator sowie die Inbetriebnahme des "Main Injector" lassen eine Erhöhung der instantanen Luminosität um einen Faktor 8 im Vergleich zum Run I zu. Die zweite Phase der Datennahme ("Run II") startete im März 2001. Im Februar 2004 stand den Experimenten bereits jeweils eine Datenmenge von  $260 \text{ pb}^{-1}$  zur Verfügung, zweimal mehr als in Run I. Das Ziel für das Jahr 2004 ist es, eine zusätzliche Datenmenge von  $310 - 380 \text{ pb}^{-1}$  zu erhalten. Bis Ende 2005 sollte die gesamte Datenmenge ungefähr die Größenordnung von  $1000 \text{ pb}^{-1}$  erreichen. Zeitgleich haben sowohl der CDF-Detektor [3] als auch der DØ-Detektor [4] wichtige Veränderungen erfahren, die zu einer erhöhten Akzeptanz und zu einer verbesserten Präzision bei der Untersuchung von Antiproton-Proton-Kollisionen führen. All diese Verbesserungen resultieren in größerer Sensitivität für neue, unentdeckte Phänomene.

Bis zum Start des LHC am CERN liegt unsere Hoffnung auf die Entdeckung neuer Physik bei den Experimenten am FERMILAB Tevatron.

## Forschungsprojekt

Das hier vorgestellte Forschungsprojekt dient der systematischen und modellunabhängigen Untersuchung der Daten von Hochenergie-Beschleuniger-Experimenten. Die Ziele des Projekts sind die Suche nach bzw. die Entdeckung von neuen Phänomenen in den Tevatron-Daten und die Etablierung der Methode.

Die primäre Untersuchung der Daten beinhaltet folgende Schritte:

- Die Definition physikalischer Objekte und die Identifikation von Elektronen, Myonen, Taus, Photonen, Jets, die aus einem Bottom-Quark entstanden sind und fehlender transversaler Energie ( $\cancel{E}_T$ ).
- Die Selektion aller Ereignisse mit hohem transversalen Impuls.

- Die Bestimmung aller Untergrund-Beiträge, die vom Standardmodell erwartet werden. Ereignis-Generatoren werden als virtuelle Beschleuniger-Experimente benutzt und Millionen von Feynman Diagrammen werden simultan berechnet.
- Die Simulation des Ansprechverhaltens des Detektors. Die Zeit benötigt um eine ausreichende Anzahl an Ereignissen zu simulieren ist ein kritischer Punkt und wird im Folgenden ausführlicher behandelt.
- Die Einführung experimenteller Korrekturfaktoren, die den Unzulänglichkeiten in der Simulation des Experiments Rechnung tragen.
- Die Einführung theoretischer Korrekturfaktoren.

Das hier dargestellte Projekt zur Untersuchung der Daten verlangt eine große Anzahl an simulierten Ereignissen. Die existierenden Simulationsprogramme sind sehr CPU-intensiv. Schnellere Simulationen basierend auf Parametrisierungen beanspruchen sorgfältige Feinabstimmung, die wiederum sehr arbeitsintensiv ist. Zu jeder verbesserten Simulation oder Rekonstruktion müssen aufwendige Optimierungen der schnellen Simulation durchgeführt werden. Ein alternativer Ansatz verwendet so genannte "lookup tables", die die Beziehung zwischen einem oder mehreren Partonen und den rekonstruierten Objekten darstellen. Dieser Ansatz ist unabhängig von dem jeweiligen Experiment und optimiert sich selbst mit bestehenden Detektor-Simulationen und Rekonstruktionsprogrammen.

Die Vorhersage des Standardmodells wird nach diesen Schritten global mit den gemessenen Daten verglichen. Die Ereignisse sind in exklusive Endzustände eingeteilt, gekennzeichnet durch die Art der Objekte, die sie enthalten. In jedem exklusiven Endzustand wird die Anzahl der beobachteten Ereignisse mit der Erwartung des Standardmodells verglichen und die Form der relevanten kinematischen Größen wird mit einem einfachen Kolmogorov-Smirnov Test verglichen. Das wissenschaftliche Resultat ist ein Katalog aller groben Abweichungen zwischen den Hochenergie-Daten und der Vorhersage des Standardmodells.

Nebeneffekte dieser Untersuchung schließen die folgenden Punkte ein:

- Die Verbesserungen der Identifikation von physikalischen Objekten.
- Die Einführung einer schnellen Detektor-Simulation.
- Eine umfassende Bestimmung aller Untergrund-Beiträge, die im Standardmodell erwartet werden.

- Eine Überprüfung der Detektor-Simulation durch den Vergleich mit Daten.
- Eine Überprüfung der Daten durch den Vergleich mit der Standardmodell-Vorhersage.
- Eine systematische Bestimmung experimenteller und theoretischer Korrekturfaktoren. Die simultane Anpassung der Korrekturfaktoren erzeugt eine vollständige Fehlermatrix, die eine konsistente globale Behandlung systematischer Unsicherheiten zulässt.

Sollten die groben Charakterzüge der Daten Abweichungen von der Vorhersage aufzeigen, die nicht durch experimentelle Unzulänglichkeiten erklärt werden können, dann sollten die Resultate umgehend veröffentlicht werden. Wenn alle groben Charakterzüge der Daten in Übereinstimmung sind, sollte die Aufmerksamkeit auf spezielle Regionen in den Daten gerichtet werden, die nach unserer Einschätzung die größte Wahrscheinlichkeit haben, neue Phänome erkennen zu lassen.

Da ein Signal mit kleiner statistischer Signifikanz erwartet wird, ist Vorsicht bei der Suche nach interessanten Effekten geboten. Der Algorithmus zur Suche muss sorgfältig ausgewählt und wohl definiert sein bevor die Daten analysiert werden, um eine mögliche Befangenheit auszuschließen. Der Algorithmus zur Suche nach neuen Phänomen in den Hochenergie-Daten, der in der CDF-Kollaboration eingesetzt werden soll, wird im folgenden beschrieben.

Der Algorithmus macht folgende wohl gerechtfertigte Annahmen:

- Die Daten können in Regionen eingeteilt werden, derart dass in einer dieser Regionen das neue Signal bevorzugt auftauchen wird.
- Neue Physik wird mit Objekten gefunden, die großen transversalen Impuls aufweisen.
- Neue Physik wird als ein Überschuss an Ereignissen auftreten. Ein Defizit an Ereignissen ist im allgemeinen sehr schwierig zu erzeugen, ohne gleichzeitig ein Signal an anderer Stelle zu produzieren.

Der Algorithmus beinhaltet drei Schritte, den drei Annahmen folgend:

- Die Daten werden in exklusive Endzustände eingeteilt.

- In jedem dieser exklusiven Endzustände wird eine Variable definiert. Diese ist die Summe der transversalen Impulse aller Objekte im Ereignis ( $\sum p_T$ ). Die gesamte fehlende Energie im Ereignis wird in dieser Summe berücksichtigt, falls sie zu den Objekten gezählt werden kann, die den Endzustand definieren.
- In jedem Endzustand werden Regionen definiert, die aus halb-offenen Intervallen bestehen, deren untere Grenze jeder Datenpunkt in der Verteilung von  $\sum p_T$  darstellt. Die Interessanztheit  $p_N$  einer Region wird durch die Poisson-Wahrscheinlichkeit gegeben, dass der Untergrund in der Region bis zu der beobachteten Anzahl an Ereignissen  $N$  in dieser Region fluktuiert.

Die interessanteste Region  $R$ , bestimmt durch  $N$  Datenpunkte, ist jene, für die  $p_N$  minimal ist. Der Bruchteil  $P$  an hypothetisch ähnlichen Experimenten, in welchen eine Region interessanter ist als  $R$  in einem untersuchten Endzustand, wird mit Pseudoexperimenten bestimmt. Zusätzlich kann der Bruchteil  $\tilde{P}$  für alle Endzustände bestimmt werden. Dem Umstand, dass viele unterschiedliche Regionen untersucht werden, ist explizit Rechnung getragen, weil nicht  $p_N$ , sondern  $\tilde{P}$  berücksichtigt wird, um die statistische Signifikanz der gefundenen Abweichung vom Standardmodell zu berechnen.

## Zusammenfassung

Die Suche nach Phänomenen jenseits des Standardmodells ist eine der treibenden Kräfte in der Elementarteilchenphysik. Neue Physik kann sich in den unterschiedlichsten Formen zu erkennen geben, wodurch die Frage nach der richtigen Suchstrategie besondere Bedeutung gewinnt.

Das hier vorgestellte Forschungsprojekt widmet sich dieser Suche in den Daten, aufgezeichnet mit dem CDF Detektor am FERMILAB. Basierend auf einem alternativen Ansatz sucht ein Algorithmus systematisch und modellunabhängig nach neuer Physik.

Sollten die Tevatron-Daten keine Überraschungen bergen, so wird der Einsatz der Methode am Tevatron dazu führen, dass sich dieser innerhalb der Gemeinde der Elementarteilchen-Physiker etabliert und breite Anwendung an den LHC-Experimenten am CERN finden kann.

# Curriculum Vitae

**Markus Klute**  
Fermilab  
P.O. Box 500, MS 318  
Batavia, IL 60510-0500  
USA

---

13.07.1975	Geboren in Düsseldorf.
1981 - 1985	Besuch der Freiherr von Stein Grundschule in Bad Ems.
1985 - 1990	Besuch der Schiller-Schule in Bad Ems.
1990 - 1994	Besuch des Peter-Altmeier Gymnasiums in Montabaur.
06/1994	Abitur mit der Note 1.9 in den Leistungskursen Mathematik, Physik und Geographie, sowie dem Grundkurs Deutsch.
1994 - 2000	Studium der Physik und Mathematik an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn.
1999 - 2000	Diplomarbeit im Physikalischen Institut der Universität Bonn unter Betreuung von Prof. N. Wermes. Titel der Arbeit: "Eine zerfallskanalunabhängige Analyse zur Suche nach dem Higgs-Boson in $Z^0$ -Zerfällen mit dem OPAL-Detektor".
01/2000	Abschluß der Diplomarbeit mit der Note "Sehr Gut".
2000 - 2004	Doktorarbeit in der Gruppe von Prof. N. Wermes. Titel der Arbeit: "A Measurement of the $t\bar{t}$ Production Cross Section in Proton-Antiproton Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV with the DØ Detector at the Tevatron using Final States with a Muon and Jets".
02/2000- 06/2001	Forschungsaufenthalt am Centre Européen de Recherche Nucléaire (CERN) in Genf, Schweiz
06/2001- 08/2003	Forschungsaufenthalt am Fermi National Accelerator Laboratory (FERMILAB) in Chicago, USA.
03/2004	Abschluß der Promotion mit der Note "Sehr Gut".
02/2004	Anstellung als Postdoctoral Associate am Massachusetts Institute of Technology

Batavia, März 2004

Markus Klute



# Liste der Veröffentlichungen

---

## Liste der veröffentlichten Papiere

1. Search for the standard model Higgs boson using vector boson fusion at the LHC. Published in \*Les Houches 2001, Physics at TeV colliders\* 56-66
2. Decay mode independent searches for new scalar bosons with the OPAL detector at LEP, OPAL Collaboration (G. Abbiendi et al.), Eur.Phys.J.C27:311-329,2003

## Liste der internen Papiere und von Papieren für Konferenzen

1. FERMI-Conf-03/248-E, Update of the Measurement of the  $t\bar{t}$  cross section at  $\sqrt{s}=1.96$  TeV, July 2003
2. D0-note 4185, Measurement of the  $t\bar{t}$  cross section in muon+jets events at  $\sqrt{s}=1.96$  TeV, July 2003
3. D0-note 4178, Supplement to D0note 4116 on the measurement of the  $t\bar{t}$  cross section at  $\sqrt{s}=1.96$  TeV, May 2003
4. D0-note 4122, TopAnalyze - A Framework Analyze Package For Top Group Analyses, March 2003
5. FERMI-Conf-03/200-E, FERMILAB Moriond '03 Note, March 2003
6. D0-note 4116, Measurement of the  $t\bar{t}$  cross section at  $\sqrt{s}=1.96$  TeV, March 2003
7. D0-note 4041, Tool to determine L1 CEM(n,x) Trigger Efficiencies from data, October 2002
8. D0-note 4036, Certification Studies for the Level 3 Missing ET Tool, October 2002
9. D0-note 3949, Measurements of Level 1 Trigger Efficiencies from D0 Data, Mai 2002

10. D0-note 3942, Top group ROOT tuples selection and Data Quality Monitoring, February 2002
11. ATLAS-note, ATL-PHYS-2002-018, A study of the weak boson fusion, with  $H \rightarrow \tau\tau$  and  $\tau \rightarrow e(\mu)$ , March 2002
12. OPAL Physics Note 495, Decay mode independent searches for new scalar bosons with the OPAL detector at LEP, February 2002
13. OPAL Physics Note 449, Model Independent Searches for Scalar Bosons with the OPAL Detector at LEP, July 2000

## Liste der Konferenz-Vorträge

1. March 2003, Aachen, German Physical Society Meeting, "Measurement of the  $t\bar{t}$  cross section in muon+jets events with the D0 detector"
2. February 2003, Lake Louise Winter Institute, Canada, "Recent D0 Results in Electroweak and Top Physics"
3. March 2002, Bonn, German Physical Society Meeting, "Commissioning of the D0 Silicon Micro Vertex Detector SMT at the Tevatron"
4. March 2001, Bonn, German Physical Society Meeting, "Search for the Higgs Boson in Vector-Boson Production with the ATLAS-detector at LHC"
5. February 2001, Vanderbilt University, Nashville, "Prospects of Higgs Bosons at LHC"
6. March 2000, Bonn, German Physical Society Meeting, "Decay Mode Independent Search for Higgs Bosons with the OPAL-detector at LEP"

# Literaturverzeichnis

- [1] *Outlook: The Next Twenty Years. Hitoshi Murayama, XXI International Symposium on Lepton and Photon Interactions at High Energies, Fermilab, IL, USA, 2003, <http://conferences.fnal.gov/lp2003/>*
- [2] *Decay mode independent searches for new scalar bosons with the OPAL detector at LEP, OPAL Collaboration (G. Abbiendi et al.), Eur.Phys.J.C27:311-329,2003*
- [3] *CDF II Technical Design Report, FERMILAB-Pub-96 390-E (1996).*
- [4] *The DØ Upgrade: The Detector and Its Physics, FERMILAB-Pub-96 357-E (1996).*