

Abbildung 72: Vom 15.12. bis in die frühen Morgenstunden des 16.12. wird der CMS Silizium-Spurdetektor in den Vakuumtank des Solenoiden eingebaut.

# CMS-Experiment

**Gruppenleiter:** J. Mnich, DESY

Seit dem Beitritt von DESY in die CMS Kollaboration im Jahre 2006 hat sich die CMS Gruppe am DESY und ihre Beteiligung am CMS Experiment stetig erweitert. Mittlerweile umfasst die CMS Gruppe 19 Physiker, 7 PostDocs, 5 Doktoranden und 3 Diplomanden, die voll oder zeitweise für CMS arbeiten. Sie werden von einem Ingenieur und drei Technikern unterstützt. Mit dem Zugang von neuen Mitgliedern wurde auch die Bandbreite der Aktivitäten erweitert. Die anfänglichen Tätigkeitsbereiche wurden erweitert und ergänzt.

Aufgrund ihrer Erfahrungen mit dem Aufbau und Betrieb von Großexperimenten und der Physik-Analyse von Daten übernahmen viele Mitglieder der DESY CMS Gruppe wichtige und sehr sichtbare Verantwortlichkeiten in der Koordination unterschiedlicher Gebiete. Ein DESY Mitarbeiter ist als Stellvertreter des Technischen Koordinators tätig, weitere als Koordinatoren im Computing, im Data Quality Monitoring, im Alignment der Spurdetektoren, in der Top-Physik Analysegruppe, in der Projektleitung für das CASTOR Kalorimeter und in der Computing Integration. Zwei dieser Koordinatoren sind aufgrund ihrer Funktion im Management Board der CMS Kollaboration vertreten. Die übernommenen Verantwortlichkeiten verleihen der DESY Gruppe eine sehr achtbare Rolle innerhalb der CMS Kollaboration.

In Ergänzung zu den oben erwähnten Bereichen gibt es Beteiligungen am High Level Trigger und des Beam Condition Monitors, sowie die Vorbereitung eines Remote Operation Centers für das CMS Experiment am DESY. Mit Hilfe dieses Cen-

ters wird es möglich sein, den Detektorbetrieb und Entwicklungen am Experiment von DESY aus zu verfolgen und zur Sicherung der Datenqualität beizutragen.

Die DESY CMS Gruppe ist eng vernetzt mit den CMS Gruppen an deutschen Universitäten, und eingebettet in die Struktur der Helmholtz-Allianz. In monatlich stattfindenden Videokonferenzen werden Aktivitäten vorgestellt und gemeinsame Lösungen und Vorgehensweisen besprochen. Einmal im Jahr treffen sich alle deutschen CMS Gruppen an einem der Institute. Im Berichtszeitraum fand dieses große jährliche Treffen erfolgreich in Zeuthen statt. Ein besonders enger Kontakt besteht mit der CMS Gruppe an der Universität Hamburg. Insbesondere in den Bereichen Physik und Datenanalyse, im Alignment des CMS Spurendetektors und im Computing findet die Zusammenarbeit auf täglicher Basis statt, wie auch die gemeinsame Betreuung von Studenten.

## Technische Koordination

Im Berichtszeitraum stand der Aufbau des Detektors in der Untergrund-Kaverne im Vordergrund. Am Anfang des Jahres wurden kurz hintereinander die dritte Endkappe (YE+1) sowie zwei Mittelräder (YB+2 und YB+1) in die unterirdische Halle abgesenkt. Ein Höhepunkt des Jahres für CMS war die Absenkung des Solenoiden mit dem zentralen Jochteil am 28. Februar (Abbildung 73).

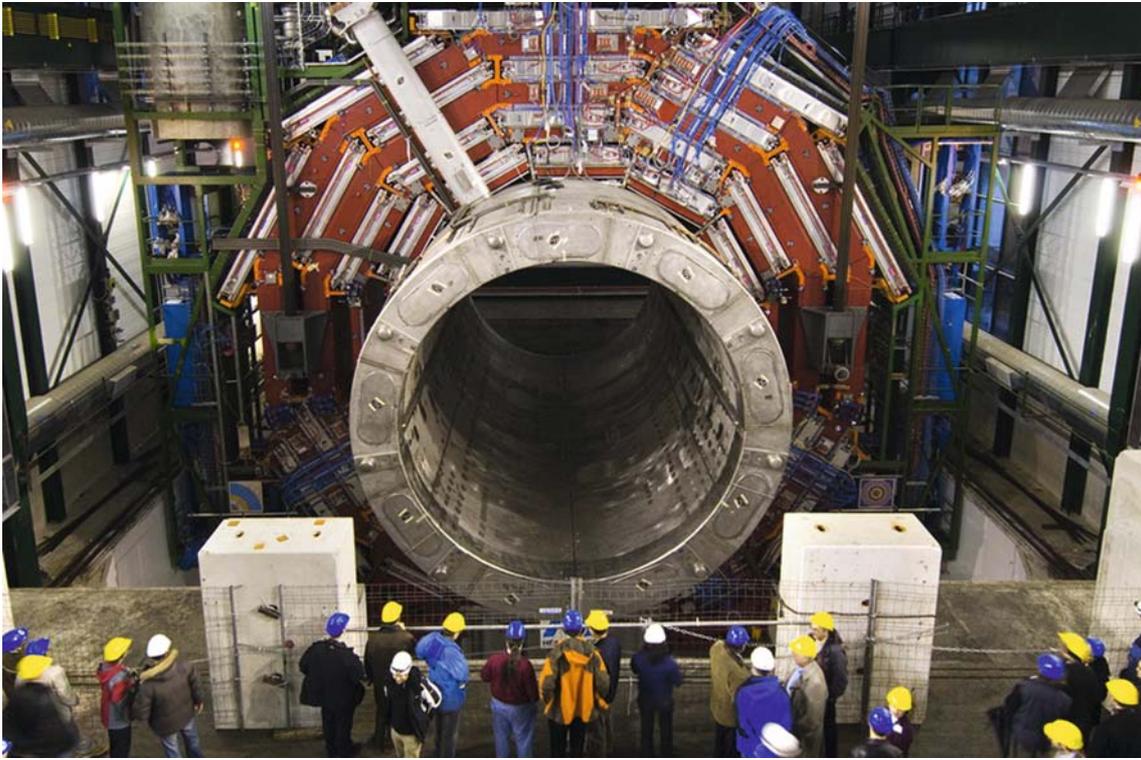


Abbildung 73: Am frühen Morgen des 28. Februars 2007 wird das 1920 Tonnen schwere Mittelteil von CMS in die Untergrund-Kaverne herabgelassen.

Unter großer Beteiligung von internationalen Presse- und Fernsightteams wurde das 1920 Tonnen schwere Mittelteil von CMS in die Untergrundhalle verbracht. Wenige Tage später wurde es in seiner endgültigen Position parallel zum Strahl ausgerichtet und befestigt. Die Präzision der Ausrichtung ist bemerkenswert: über die volle Länge von 13 m weicht die Mittelachse lediglich um 0.3 mm von der Strahlachse ab. Als nächstes folgte der Einbau des zentralen hadronischen Kalorimeters. Wegen der großen Länge des Magneten sind alle zentralen Kalorimeter bei CMS zweigeteilt und werden von beiden Seiten eingebaut. Die Module des hadronischen Kalorimeters waren in zwei Ringen vormontiert und wurden zusammen in den Vakuumtank des Solenoiden eingebaut. Danach erfolgte die Installation des elektromagnetischen Kalorimeters. Es besteht aus zweimal 18 Modulen, die mit einer speziellen Einbauvorrichtung an Schienen am hadronischen Kalorimeter aufgehängt werden. Kurz vor dem Einbau stellte sich

heraus, dass die langfristige Zuverlässigkeit der Module durch eine Änderung an der Elektronik wesentlich gesteigert werden kann. Deshalb wurde beschlossen, alle Module noch einmal zu öffnen, zu modifizieren und danach wieder zu testen. Um den extrem engen Zeitplan halten zu können, wurde auch ein DESY-Techniker für zwei Monate zum CERN entsandt, der bei der Modifikation der elektromagnetischen Kalorimeters half. Zur gleichen Zeit arbeitete auch eine DESY-Technikerin bei CMS an den komplizierten Verlegungswegen der Glasfasern für die Datenübertragung. Diese Zusammenarbeit war sehr erfolgreich und weitere technische Hilfe ist geplant, damit der Zusammenbau des elektromagnetischen Endkappen-Kalorimeters termingerecht fertiggestellt werden kann. Bei CMS befinden sich alle zentralen Spurdetektoren und Kalorimeter innerhalb der Spule, daher müssen alle Versorgungskabel, Kühlrohre und Glasfasern über den Vakuumtank der Spule und das Joch nach außen geführt werden. Es

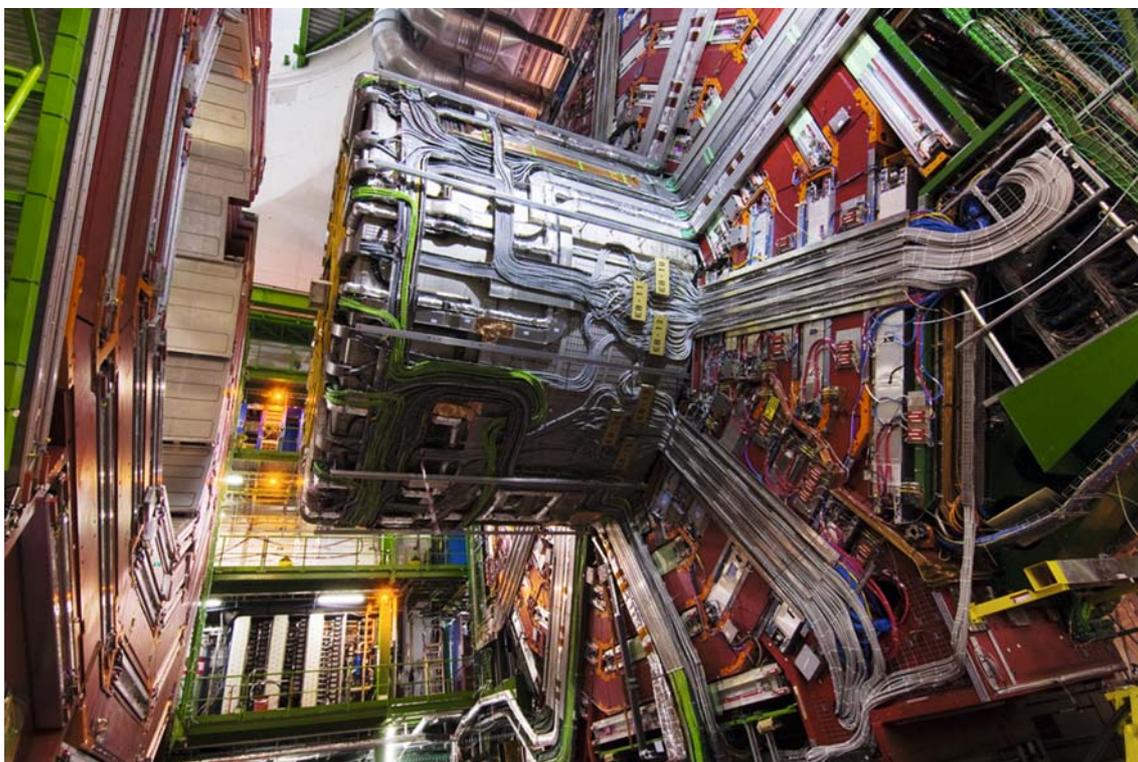


Abbildung 74: Eine Seite des vollständig verkabelten Vakuumtanks von CMS.

handelt sich dabei um etwa 5000 Kabel und Fasern mit einer Gesamtlänge von über 200 km. Weitere etwa 20 km Kühlleitungen, welche zum Teil  $-30^{\circ}\text{C}$  kaltes Kühlmittel führen, müssen zudem extrem gut isoliert werden. Die Planung und Installation dieser Versorgungsleitungen war eines der kompliziertesten und aufwändigsten Projekte im Rahmen des Aufbaues von CMS. In etwa 4 Monaten wurde es mit ungefähr 50000 Arbeitsstunden durchgeführt. Zeitweilig arbeiteten bis zu 60 Mitarbeiter im Zwei-Schichtbetrieb an der Realisierung (Abbildung 74).

Nach Ende dieses Projekts war der Weg frei, um die verbleibenden Teile von CMS in die Kaverne zu transportieren und den Einbau des Silizium-Spurdetektors vorzubereiten. Im Oktober wurden zunächst die beiden Mittelräder (YB-1 und YB-2) in die Halle gebracht, an die großen Kabelketten im Hallenboden angeschlossen und über den Vakuumtank geschoben. Gleichzeitig war es an der Oberfläche erforderlich, die Position von

drei Endkappen zu vertauschen, damit die große und sperrige Endkappe YE-1 mit dem angesetzten hadronischen Endkappen-Kalorimeter als letztes abgesenkt werden konnte. Anfang Dezember wurde YE-3 in die Kaverne abgelassen und an die Stirnwand geschoben. Der letzte Höhepunkt des Jahres 2007 war der Einbau des Silizium-Spurdetektors (Abbildung 72). Er wurde nachts mit einem Spezialtransport von Meyrin zur Experimenthalle in Cessy gebracht, am folgenden Mittag in die Kaverne abgesenkt und für den Einbau vorbereitet. Die Installation erfolgte innerhalb von 16 Stunden und wurde durch eine endgültige Justierung und Vermessung beendet.

Die nächsten Schritte werden die Verkabelung des Spurdetektors und die Absenkung der letzten beiden Endkappen sein. Es ist geplant, die beiden Endkappen bis Ende Januar 2008 in die Kaverne zu verbringen und mit ihrem Anschluss an die Kühlung und die Stromversorgung zu beginnen. Der Spurdetektor soll bis

Ende März verkabelt sein. Danach findet die Strahlrohrinstallation statt, die mit dem zentralen Strahlrohr beginnt und nach außen fortgesetzt wird. Als letztes werden der Pixeldetektor, die Untergrundmonitore und wahrscheinlich zwei elektromagnetische Endkappen-Kalorimeter eingebaut. Im späten Frühjahr sollte dann die erste Version von CMS einsatzbereit sein.

Während der Aufbauarbeiten in der Experimentierhalle sind an der Oberfläche und in der Kaverne bis zu hundert Personen gleichzeitig tätig. Dies erfordert ein hohes Maß an Koordination und Kontrolle der einzelnen Abläufe. Als Vertreter des Technischen Koordinators trägt ein DESY Mitarbeiter die Verantwortlichkeit für diesen gesamten Bereich.

## CASTOR Kalorimeter

Im Berichtszeitraum neu hinzugekommen ist eine Beteiligung von Mitgliedern der DESY CMS Gruppe am Projekt des CASTOR Kalorimeters. Dieses Kalorimeter soll rund 14.4 m entfernt vom Wechselwirkungspunkt, direkt anschließend an den zentralen Detektor, eingebaut werden. Es erweitert damit den kinematischen Bereich zum Nachweis der in den Wechselwirkungen erzeugten Teilchen in erheblichem Maße. Aufgrund seiner Position im Vorwärtsbereich des Experimentes ist es sehr hohen Teilchenflüssen ausgesetzt und muss daher besonders strahlenhart ausgelegt sein. Sein Betrieb wird signifikant zu den Erkenntnissen des Betriebes einer Detektorkomponente unter Bedingungen, wie sie später am SLHC herrschen, beitragen.

Als Technologie wurde ein Schicht-Kalorimeter aus Wolfram- und Quarz-Platten gewählt. Mit der hohen Dichte des Wolframs können Teilchenschauer und damit die Energie des Primärteilchens sehr kompakt absorbiert und gemessen werden. In den Quarz-Platten erzeugen geladene Teilchen über den Cherenkov-Effekt Lichtsignale. Dieses Licht, dessen Stärke proportional zur Energie der Primärteilchen ist, wird durch Photonen-Vervielfacher in elektrische Signale umgewandelt und ausgelesen. Mit der Platzierung in der

Vorwärtsrichtung eignet sich das CASTOR Kalorimeter ideal für das Studium einer Reihe von Fragestellungen der QCD, wie zum Beispiel der Partonen-Dichteverteilungen im Proton bei kleinen Impulsbruchteilen  $x$  und eventuellen Sättigungseffekten, der Multi-Parton-Wechselwirkungen, sowie Diffraction. Alle diese Fragestellungen sind mit an den HERA-Experimenten erzielten Forschungsergebnissen eng verbunden; die Erfahrungen von HERA können so direkt eingebracht werden und von zentralem Nutzen für die LHC-Physik sein.

Das CASTOR Projekt wurde im Jahr 2003 im Rahmen der Schwer-Ionen-Arbeitsgruppe bei CMS begonnen. Im Januar 2007 beteiligten sich DESY Mitarbeiter erstmalig an einem CASTOR Workshop. Eine Begutachtung aller Projekte im Vorwärtsbereich des CMS Detektors im Februar 2007 gefolgt von einer Einzel-Begutachtung des CASTOR Projektes im Mai führten zur Anerkennung des CASTOR Kalorimeters als offizielle CMS Detektorkomponente. Nach der Fertigstellung eines verkürzten Prototypen des Kalorimeters durch DESY Werkstätten wurde ein Achtel des Kalorimeters im August im Teststrahl am CERN in Genf unter Beteiligung von DESY Physikern und PostDocs getestet.

Ein signifikanter Beitrag zur Realisierung des Kalorimeters wird durch die eingeworbene Finanzierung einer neuartigen *Helmholtz-Russian-Joint-Research-Group* (HRJRG) ermöglicht, welche im September 2007 für eine Laufzeit von drei Jahren genehmigt wurde. Diese HRJRG ist eine weitere Möglichkeit der Pflege der traditionell guten Vernetzung zwischen DESY und Russland, hier mit den Moskauer Instituten MSU, ITEP und MEPHI. Mitarbeiter, sowohl von DESY als auch aus Russland beteiligen sich an der Konstruktion und der Produktion der Mechanik, sowie an der Elektronik, der Erstellung der Software für die Data Acquisition, der Analyse der Teststrahl Daten, der Erstellung von Simulationssoftware und den Vorstudien für die Physik-Analysen. Die Projektführung für das CASTOR Kalorimeter teilen sich zwei Physiker. Eine von ihnen ist die DESY Mitarbeiterin, die auch die Mitarbeiter der HRJRG leitet.

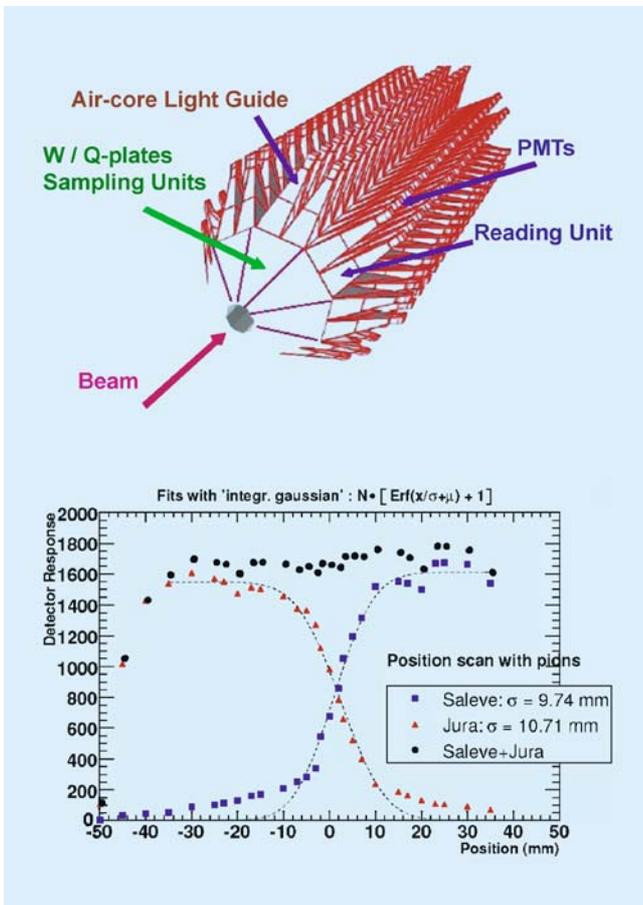


Abbildung 75: Schematische Darstellung des CASTOR Kalorimeters (oben) und Ansprechverhalten als Funktion des Auftreffpunktes von Pionen im Detektor.

Abbildung 75 zeigt oben den Aufbau des CASTOR Kalorimeters mit seinen einzelnen Komponenten und in dem unteren Bild die Variation des Signals in den beiden Ausleseseiten in Abhängigkeit der Einschussposition der Teststrahl-Teilchen. Die Summe der Signale in den beiden Halb-Oktanten verdeutlicht die Gleichmäßigkeit der Gesamtsignale. Aus ihrer Anpassung mit einer Fehlerfunktion lässt sich ableiten, dass die Teilchenschauer für Hadronen hoher Energie in der Tat sehr kompakt sind, nur ca. 10 mm Radius, und damit den Zielen des Designs entsprechen. In Abbildung 76 befindet sich ein Foto vom getesteten Probeaufbau des CASTOR Kalorimeters

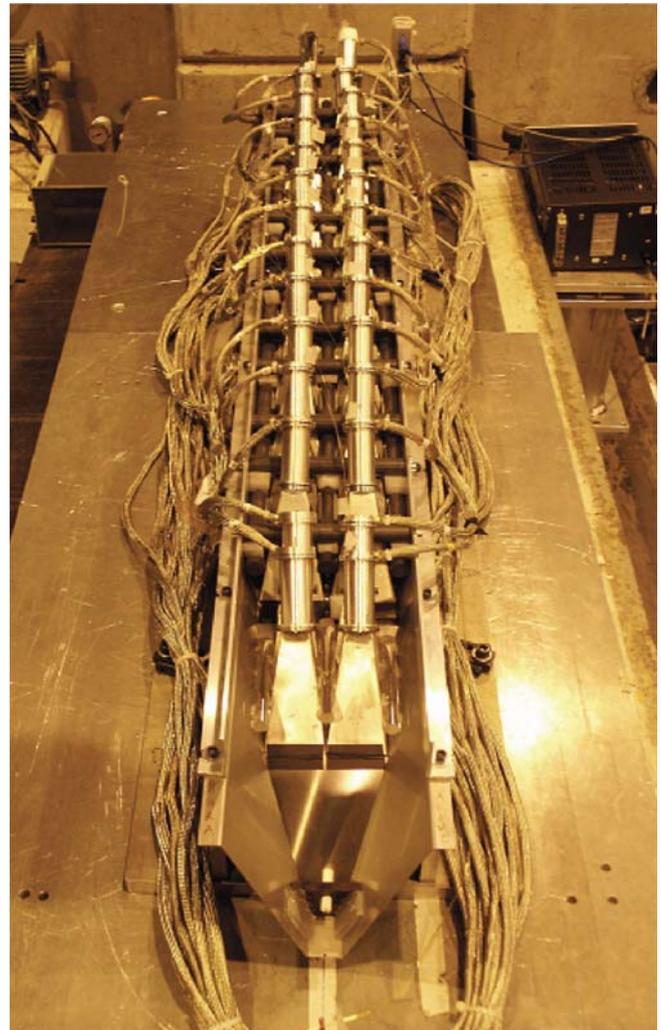


Abbildung 76: Photographie des CASTOR Kalorimeter-Aufbaues für die Messungen im Teststrahl.

## Beam Conditions Monitor

Mitte 2007 wurde von Mitgliedern der DESY-Gruppe in Zeuthen die Inbetriebnahme des BCM1-F-Systems, eines Teils des CMS-Beam Conditions Monitors (BCM) übernommen. Der BCM besteht aus mehreren unabhängigen Detektoren, welche Informationen über den Zustand der LHC-Strahlen in verschiedenen Zeitintervallen, von Sekunden bis Nanosekunden, liefern.

BCM1-F hat die höchste Zeitauflösung und erlaubt die Kontrolle einzelner Protonenpakete im Strahl. Es besteht aus acht einkristallinen Diamantsensoren, wovon jeweils vier auf beiden Seiten des Wechselwirkungspunkts von CMS nahe des Strahlrohrs installiert werden. In diesen Sensoren werden die durch Ionisation erzeugten Ladungen mit hoher Effizienz gesammelt, so dass auch minimal ionisierende Teilchen im Strahluntergrund nachgewiesen werden können.

Hardwarebeiträge zum BCM1-F kommen von den Kollaborationspartnern, z. B. der Universität Karlsruhe, sowie von Rutgers und vom CERN. Mitarbeiter aus Zeuthen sind dabei, das BCM1-F-System aufzubauen und zu kalibrieren. Die Installation und die folgenden Funktionstests sollen ebenfalls unterstützt werden. Dazu wurde am CERN ein Datennahmesystem installiert und eine komplette Ausleseketten aufgebaut.

Zunächst wurden die einzelnen Komponenten der Elektronik – Vorverstärker, Laser und optischer Empfänger – einzeln justiert. Das erste komplett bestückte und für den Einbau vorbereitete Modul mit Diamantsensoren, einem Vorverstärker, einer Laserdiode und einer direkt daran angekoppelten Mono-Mode-Lichtleitfaser ist in Abbildung 77 gezeigt.

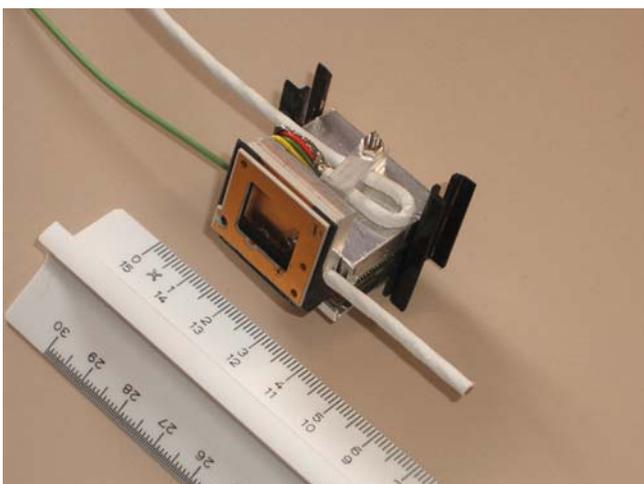


Abbildung 77: Die erste komplette Sensorbaugruppe des BCM1-F und BCM1-L, welche für den Einbau vorbereitet ist.

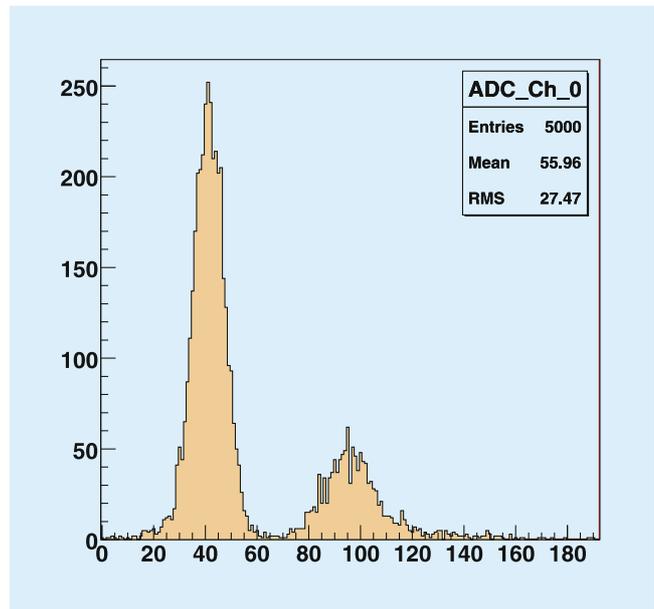


Abbildung 78: Das Spektrum von Signalen am Ende der Ausleseketten. Aufgetragen ist die Anzahl der Trigger ist gegen die Signalamplitude.

Ein kompletter Kanal vom Sensor bis zum Analog-Digital-Konverter konnte Ende 2007 erfolgreich getestet werden. Der Sensor wurde dabei mit Elektronen aus einer  $^{90}\text{Sr}$ -Quelle bestrahlt und die erzeugten Signale aufgezeichnet.

Das Spektrum der Signale ist in Abbildung 78 gezeigt. Die Signale der Elektronen in dem rechts liegenden Maximum, nahe dem Wert 100, sind deutlich getrennt vom Rauschen der Elektronik im linken Maximum im Bereich des Wertes 40.

In dieser Art werden vor dem Einbau im Frühjahr 2008 alle Kanäle des BCM1-F getestet, kalibriert und justiert.

Für ein zweites Detektorsystem im BCM mit geringerer Zeitauflösung, das BCM1-L, haben die Mitglieder der Gruppe in Zeuthen die Qualitätskontrolle der 30 dort zu installierenden polykristallinen Diamantsensoren übernommen. Dabei konnte auf das für die Forschung an Diamantsensoren für die Vorwärtsdetektoren

an Linearkollidern eingerichtete Labor zurückgegriffen werden.

## Computing

DESY leistet entscheidende Beiträge im Aufbau des CMS Computing. Ein DESY Wissenschaftler war im Jahr 2007 als Computing Koordinator im CMS-Management in Planung und Koordinierung tätig. Im Jahr 2007 stand die Konsolidierung der Services der verteilten Computing-Ressourcen im Vordergrund. Am DESY wurde dies durch den Neuaufbau und Ausbau des dCache Storage Elements für das Daten-Management und die Speicherung erreicht. Desweiteren wurde ein verbessertes Monitoring für alle weltweit verteilten CMS Zentren eingeführt.

DESY als Tier-2-Zentrum stellt zuverlässig und mit hoher Leistungsfähigkeit Ressourcen im Bereich Rechenleistung und Speicherkapazität für CMS zur Verfügung. Diese wurden bei der Vorbereitung und Durchführung des *Computing, Software und Analysis Challenge* (CSA07) ausgiebig genutzt. Neben der Produktion von Monte Carlo Datensätzen und der Speicherung von ausgewählten Datensätzen zur Vorbereitung der Physikanalyse, war die Inbetriebnahme der Verbindungen zwischen den verteilten Zentren ein wesentlicher Aspekt der CSA07. Die Anforderungen für die Funktionsfähigkeit der Verbindungen konnten von DESY für alle Tier-1-Zentren und dem Tier-2-Zentrum, das DESY zusammen mit der Universität Aachen betreibt, erfüllt werden.

Um die beteiligten Rechenzentren für die CMS Monte-Carlo-Produktion sowie Datenanalyse nutzen zu können, muss dort die CMSSW-Software verfügbar sein. Für die Installation an den Zentren in Europa und Asien ist seit Ende des Jahres ein Mitglied der DESY CMS Gruppe verantwortlich.

Gemeinsam mit den CMS Standorten Uni Hamburg, Karlsruhe und Aachen wurden die Anforderungen an die National Analysis Facility (NAF) in der Helmholtz Allianz *Physics at the Terascale* ausgearbeitet.

Die NAF wird die Physikanalyse der deutschen CMS Benutzerschaft zentral unterstützen.

## High Level Trigger

Das CMS Experiment ist mit einem zweistufigen Triggersystem ausgestattet. In der ersten Stufe, Level-1 (L1), ist eine schnelle Elektronik implementiert, die totzeitfrei, innerhalb von  $2.5\ \mu\text{s}$  anhand charakteristischer Eigenschaften der Ereignisse die Entscheidung trifft, ob ein Ereignis ausgelesen oder verworfen wird. Während dieser Zeit wird die vollständige digitalisierte Information der Ereignisse zwischengespeichert. Die Protonpakete am LHC kollidieren mit einer Rate von 40 MHz, die von L1 ausgelöste Auslese von Ereignissen findet mit einer Rate von 100 kHz statt. Die Ereignisdaten werden in einem sogenannten Event-Builder Netzwerk aus den Informationen aller Detektorkomponenten zusammengesetzt.

In der zweiten Triggerstufe, dem *High Level Trigger* (HLT), werden die ausgelesenen Ereignisse mithilfe einer Filter-Software weiter untersucht. Die Filter-Units im HLT sind kommerzielle PC Rechner, die mit dem Betriebssystem Linux betrieben werden. Die Event-Builder und HLT Systeme sind skalierbar konzipiert. In der ersten Ausbaustufe wird die HLT-Farm aus etwa 2000 CPU's bestehen, so dass pro Ereignis etwa 40 ms Rechenzeit für die Triggerentscheidung zur Verfügung stehen. Für die Datennahme von realen Physikereignissen wird der HLT so eingestellt, dass nur etwa 1/1000 der Ereignisse akzeptiert und aufgezeichnet werden.

DESY ist an der Entwicklung und Implementierung der Run-Control- und Monitoring-Software des *High Level Trigger Supervisor* (HLTS) beteiligt, sowie an der Entwicklung und Implementierung der Konfigurationsdatenbank. In der Datenbank werden die für eine bestimmte Datennahmeperiode, auch Run genannt, vorgegebenen Parameter gespeichert und archiviert. Um Kohärenz des HLTs mit L1 zu gewährleisten, ist die HLT Datenbank mit der Konfiguration des L1 Triggersystems verbunden. Das HLT Run-Control und Monitoring System wird für den Betrieb der Filter-

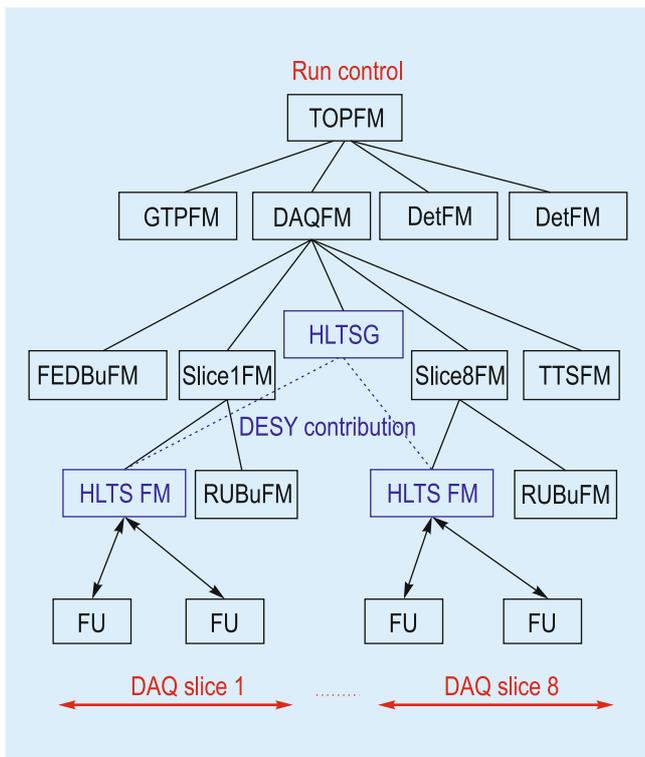


Abbildung 79: Funktionsskizze des CMS Runcontrol-DAQ Systems mit dem HLT Supervisor.

Units verwendet (siehe Abbildung 79). Dafür sind verschiedene Zustände, Initialized, Configured, Enabled, Halted, definiert, die das HLT System synchron mit der Detektorauslese-Elektronik einnimmt. Weitere Aufgaben des HLT Supervisors sind das Auslesen und Summieren von Trigger-Statistiken und Herunterladen von Prescale-Werten während der Runs. Die am DESY entwickelte Kontroll-Software ist in Java geschrieben, wobei Web-Services benutzt werden. Die HLT Supervisor Software ist seit 2006 am CERN in Betrieb, und wurde im Rahmen der im Jahr 2007 regelmäßig durchgeführten Test-Datennahmen (*Global Runs*) kontinuierlich erweitert und verbessert.

## Data Quality Monitoring

Die Überwachung und das Echtzeit-Monitoring des Detektorstatus anhand von Ereignisdaten (*Data Qua-*

*lity Monitoring*, DQM) ist von zentraler Bedeutung, insbesondere während der Inbetriebnahme des Experimentes. Seit Anfang 2007 ist ein Mitglied der DESY Gruppe CMS Koordinator für die Entwicklung und Inbetriebnahme der dafür benötigten Software und Computing Infrastruktur, sowie für die Optimierung der für das Monitoring verwendeten Informationen. Das DQM Projekt umfasst sowohl die Darstellung der Ereignisdaten während der Datennahme in Echtzeit, als auch die Infrastruktur für die Zertifizierung der für Physikanalysen verwendbaren rekonstruierten Daten. Im Jahr 2007 lag das Hauptaugenmerk darauf, die bestehende Software zu vereinheitlichen und zu komplettieren, so dass eine erste Version der entgeltigen Software für das Echtzeit-Monitoring (*online*) am Experiment in Betrieb genommen werden konnte. Darüberhinaus wurde die für die Datenrekonstruktion (*offline*) vorgesehene DQM-Architektur entwickelt und definiert. Die CMS Data Quality Monitoring Software basiert auf dem Physik Analyse Framework *Root* und ermöglicht das Anlegen und Füllen, sowie den Transport von Histogrammen und anderen aus Ereignisdaten gewonnenen Informationen. Im Online-Bereich stehen zwei Quellen von Ereignisdaten zur Verfügung: Eine begrenzte Anzahl von Histogrammen kann in den Filter-Units des Higher-Level-Triggers gefüllt werden. Hier steht die volle Ereignisrate von 100 kHz als Input zur Verfügung. Diese Histogramme werden alle 93 Sekunden (entsprechend eines Luminositätsabschnitts) ausgelesen. Zudem steht ein Ereignis-Server zur Verfügung, der Ereignisdaten mit einer Rate von typischerweise 10 Hz an DQM-Applikationen liefert. In 2007 wurde ein Betrieb etabliert, bei dem jede einzelne Detektorkomponente ein oder mehrere unabhängige DQM-Applikationen besitzt, welche die jeweiligen Histogramme anlegt und mit Ereignisdaten füllt (siehe Abbildung 80).

Die von den DQM-Applikationen erzeugten Histogramme, sowie die Histogramme aus den Filter-Units, werden zur Visualisierung an ein zentrales *Graphisches User-Interface* (GUI) geliefert, und für einzelne Runs archiviert. Das DQM GUI basiert auf einem Webserver und erlaubt somit den einfachen und weltweiten Zu-

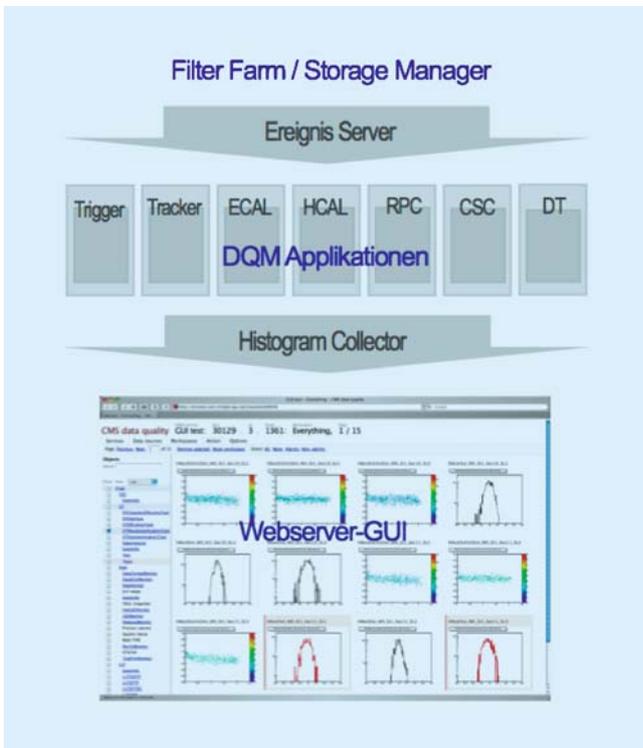


Abbildung 80: Schematische Darstellung des für Online Data Quality Monitoring aufgebauten Systems. Ereignisse aus dem Software Filter werden von mehreren DQM Applikationen verarbeitet. Die Verteilungen von Kontrollgrößen werden in einem zentralen web-basierten Visualisierungssystem dargestellt.

griff auf alle Verteilungen. Eine Beispielansicht ist in Abbildung 80 gezeigt. Die hervorragende Funktionalität dieses Ansatzes wurde in Testdatennahmen in der zweiten Jahreshälfte bewiesen. Seit November 2007 ist das System in kontinuierlichem Betrieb am Experiment und ist dort von großem Wert für die Arbeit an der Inbetriebnahme der Detektoren.

Für die erste Hälfte 2008 ist geplant, das System auf weitere Bereiche des DQM, z. B. Zugriff auf archivierte Verteilungen, sowie DQM für Tier-0 basiertes Prozessieren (*Offline*) zu erweitern. Die Architektur für *Offline* DQM ist mit der in Online verwendeten kompatibel, so dass die gleiche Applikations-Software in beiden Bereichen eingesetzt werden kann.

## CMS Tracker Alignment

Der CMS Tracker besteht aus über 15000 individuellen Silizium-Modulen und ist damit einer der komplexesten Spurdetektoren die jemals gebaut wurden. Das Leistungsvermögen solcher Spurdetektoren ist entscheidend durch die Präzision bestimmt, mit der man die Position und Orientierung dieser Module auf der Mikroskala feststellen kann. Die Kalibrierung dieser Parameter bezeichnet man als *Alignment*. Die ultimative Genauigkeit erreicht man letztlich nur durch die Analyse der rekonstruierten Spuren selbst. Die Bestimmung von über 50 000 freien Parametern aus einem Ensemble von einigen Millionen rekonstruierten Spuren ist jedoch ein formidables mathematisches Problem, das bei Teilchenphysikexperimenten erstmals in dieser komplexen Form auftritt. Dabei hat sich die Nutzung des Millepede-II-Algorithmus als sehr vielversprechend erwiesen, der von Prof. V. Blobel (Universität Hamburg) entwickelt wurde. Da in den HERA-Experimenten bei DESY bereits umfangreiche Erfahrungen mit dem Alignment von Siliziumdetektoren gemacht wurden, war es naheliegend, diese Expertise auch bei CMS einzubringen. Im Frühling des Berichtsjahres begann DESY daher eine enge Zusammenarbeit mit der CMS-Gruppe der Universität Hamburg, die bereits seit geraumer Zeit mit dem Millepede-II Algorithmus arbeitet. Das Ziel dieser Aktivität ist die Komplettierung und Inbetriebnahme eines Systems, welches das routinemäßige Alignment des vollen CMS-Trackers mit einer Genauigkeit von besser als  $10\mu\text{m}$  erreicht, und dies voll integriert in den normalen Betrieb von Datennahme und prompter Rekonstruktion quasi in Echtzeit durchführen kann.

Als Einstieg organisierte DESY gemeinsam mit der Universität Hamburg einen zweitägigen *CMS Tracker Alignment Workshop*, der Ende Mai auf dem DESY-Gelände stattfand. Mit über 30 Teilnehmern war er sehr gut besucht und ausgesprochen erfolgreich. Ein wichtiges Thema bei CMS war die Vorbereitung des sogenannten *Computing, Software and Analysis (CSA07) Challenge*, dessen Ziel die realitätsnahe Simulation des Betriebes mit 50% der nominellen Ereignisrate im ersten Jahr der Datennahme war. DESY übernahm die Verantwortung für die Durchführung der Alignment-

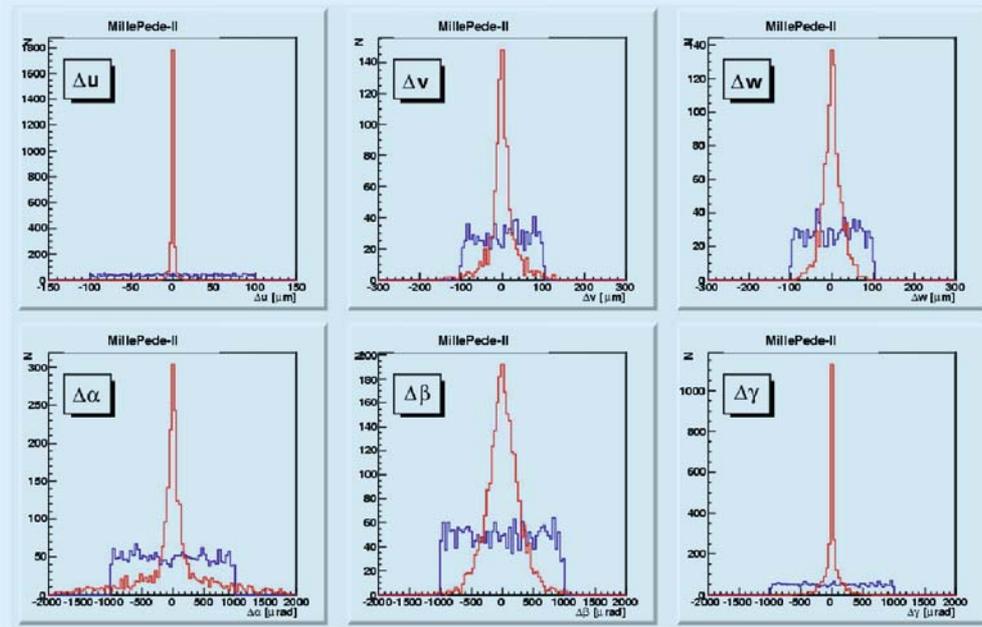


Abbildung 81: Abweichungen relativ zur wahren Geometrie, vor (blau) und nach der Anwendung des MillePede-Alignments (rot). Die gezeigten Parameter entsprechen Verschiebungen ( $\Delta u$ ,  $\Delta v$ ,  $\Delta w$ ) und Verdrehungen ( $\Delta\alpha$ ,  $\Delta\beta$ ,  $\Delta\gamma$ ) im dreidimensionalen Raum.

Studie mit dem Millepede-Algorithmus. Nach umfangreichen Vorarbeiten fand dieser Teil des Challenges am 18. Oktober 2007 auf der Plattform der *CERN Analysis Facility* (CAF) statt: mit 1.7 Millionen simulierter Zerfälle des  $Z^0$ -Bosons im Myonkanal konnten rund 12000 Alignmentparameter simultan bestimmt werden, wobei die erste Version der Konstanten bereits nach drei Stunden in die CMS-Datenbank geladen wurde. Damit wurde eine Latenzzeit erreicht, wie sie auch im Routinebetrieb des CMS-Experiments mit „echten“ LHC-Kollisionen völlig akzeptabel ist. Die erreichte Genauigkeit ist in Abbildung 81 gezeigt. Die transversale Verschiebung der Sensoren (entsprechend der u-Koordinate in Abbildung 81) wurde dabei mit einer Genauigkeit von rund 2 Mikrometern bestimmt. Des Weiteren wurden wichtige Erfahrungen in der zeitnahen Durchführung des Alignments auf der CERN Analysis Facility gewonnen, die inzwischen in Form konkreter Verbesserungen der Infrastruktur umgesetzt werden.

Darüber hinaus wurden im Rahmen einer Diplomarbeit Methoden zur Validierung der Alignmentalgorithmen entwickelt und getestet. Bereits vor dem Einbau in der CMS-Kaverne am LHC wurde der CMS-Spurdetektor (mit Ausnahme des Pixeldetektors) im späten Frühjahr 2007 in einer Halle am CERN vollständig zusammengesetzt und teilweise mit Ausleseelektronik versehen. Wie in Abbildung 82 gezeigt, konnten mit Hilfe von Szintillatoren in Teilbereichen kosmische Myonen getriggert und zum Test verschiedener Alignmentalgorithmen verwendet werden. Diese Daten wurden in enger Zusammenarbeit mit der Universität Hamburg analysiert. Die Validierung zeigt klar die Verbesserung der Spurrekonstruktion durch den Einfluss der Vermessungsdaten des Detektors sowie der durch die verschiedenen Alignmentalgorithmen bestimmten Korrekturen, und verifiziert damit eine Methodik, die auch bei der weiteren Kommissionierung des CMS-Spurdetektors eine wichtige Rolle spielen dürfte.

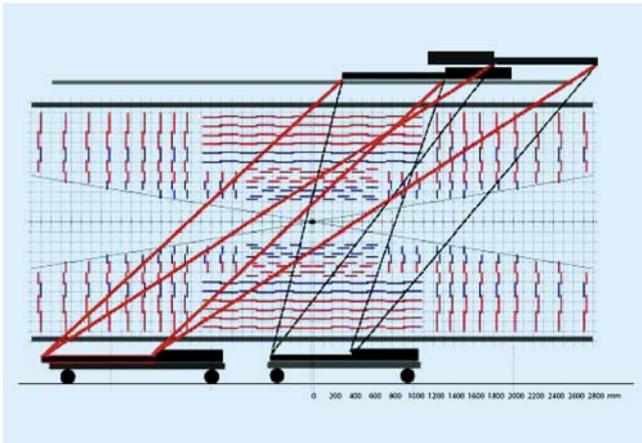


Abbildung 82: Testanordnung des CMS-Spurdetektors. Oberhalb und unterhalb des Detektors sind die beweglichen Szintillationszähler zum Triggern kosmischer Myonen eingezeichnet.

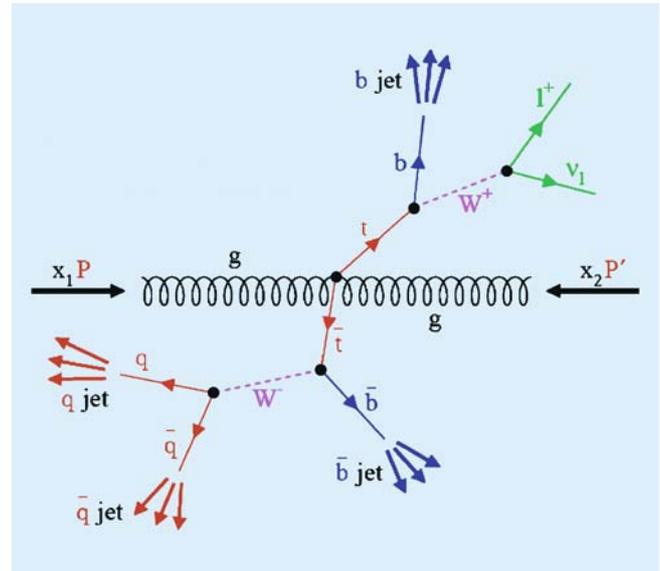


Abbildung 83: Produktion eines Top-Quarkpaares am LHC mit anschließendem Zerfall.

## Vorbereitung Physikanalyse

Ein wesentlicher Teil der Aktivitäten der CMS-Gruppe liegt in der Vorbereitung von Physikanalysen. In diesem Bereich wurden im Jahr 2007 eine Reihe von Diplom- und Doktorarbeiten begonnen, die von DESY Wissenschaftlern betreut werden. Die Zusammenarbeit mit der Universität Hamburg ist in diesem Bereich besonders eng.

Der Schwerpunkt der bisher am DESY vorbereiteten Physikanalysen lag im Berichtszeitraum im Bereich der Physik des Standardmodells, sowohl in der Präzisionsbestimmung von Standardmodellparametern (z. B. der Masse von Top-Quarks), als auch in der Untersuchung von QCD Phänomenen. Ein quantitatives Verständnis der QCD ist für die eventuelle Entdeckung neuer physikalischer Phänomene unerlässlich.

## Physik der Top Quarks

Am LHC werden bei der für die ersten Betriebsjahre angestrebten Luminosität von  $10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  Top-Quarkpaare mit einer Rate von ungefähr einem Ereignis pro

Sekunde erzeugt. Damit bietet der LHC ideale Voraussetzungen, um das schwerste der bekannten Teilchen genauer zu untersuchen und noch ungetestete Vorhersagen des Standardmodells zu überprüfen. Insbesondere die Zerfallskanäle mit einem oder zwei geladenen Leptonen sind dafür geeignet (Abbildung 83). Die Physik der Top-Quarks ist bereits seit einigen Jahren ein Schwerpunkt der Aktivitäten in der DESY Gruppe bei CMS und in der Helmholtz-Allianz. Bis Ende 2007 war ein DESY Physiker am CMS Experiment Koordinator für Top-Physik. Insgesamt führen vier Doktoranden und ein Diplomand am DESY vorbereitende Studien zur Top-Physik mit dem CMS-Experiment durch.

Eines der am DESY untersuchten Themen, die Vorbereitung der Messung von Top-Antitop-Spin-Korrelationen, wurde im Jahr 2007 zum Abschluss gebracht und liegt seit 2008 in einer Dissertation vor. In dieser Analyse werden dileptonische Top-Antitop Ereignisse vollständig rekonstruiert, so dass die Winkel und Impulse der Quarkpaare, sowie von deren Zerfallsprodukten genau bestimmt werden können. Wegen der hohen Masse zerfallen Top-Quarks so schnell, dass keine Hadronisierung stattfindet. Anders als die leichteren Quarks sind Top-Quarks daher im Zerfall frei

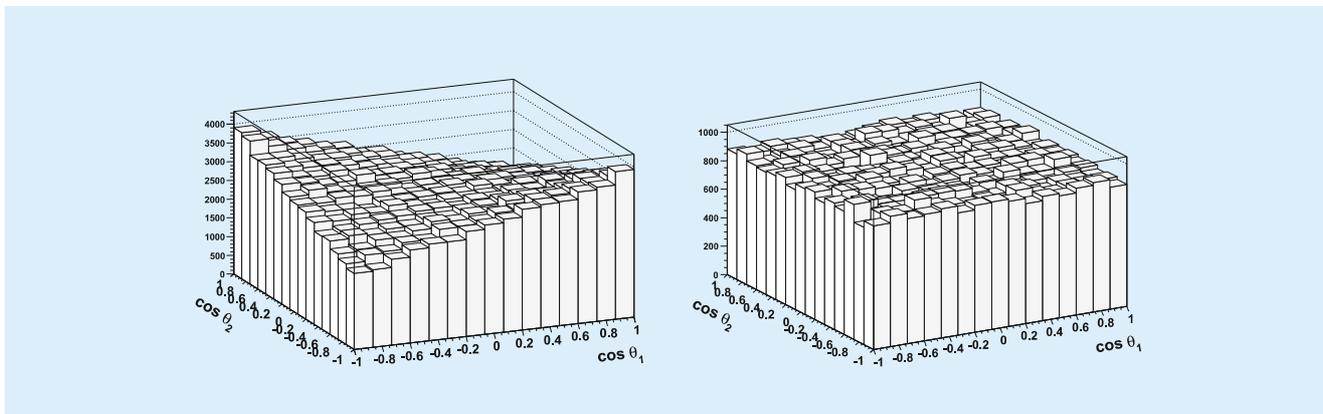


Abbildung 84: Vergleich der erwarteten Winkelverteilungen von Top-Quarkpaar-Zerfällen im Standard-Modell (links) und ohne Korrelation (rechts).

von Effekten der starken Wechselwirkung, die die in der Paarproduktion im Standard-Modell erwartete Korrelation der Quark-Spins unsichtbar machen würden. In Abbildung 84 ist ein Vergleich zwischen der Erwartung im Standardmodell und dem Fall ohne Spin-Korrelation gezeigt. Aufgetragen ist die Korrelation der Zerfallswinkel der Zerfallsleptonen im Helizitäts-Bezugssystem.

In jüngeren Arbeiten liegt der Schwerpunkt auf der möglichst genauen Messung differentieller Top-Quark Produktionswirkungsquerschnitte. Sowohl Produktion als auch Zerfall von Top-Quarks werden im Standardmodell recht genau vorhergesagt, so dass präzise Messungen zum Beispiel die Überprüfung der Partonverteilungen bei hohen Impulsüberträgen erlauben. Mit detaillierten Messungen der Ereignistopologie, etwa im Hinblick auf die Produktion zusätzlicher Gluonen im Endzustand, können verschiedene Näherungsverfahren der perturbativen Quantenchromodynamik auf ihre Anwendbarkeit getestet werden. All diese Analysestudien werden mit ständig verbesserter Simulation des CMS-Detektors durchgeführt, um der realen Datennahmesituation möglichst nahe zu kommen. Das Verständnis dieser Phänomene erlaubt auch Rückschlüsse auf das Auftreten neuer Physik, die sich in manchen Modellen aufgrund der hohen Masse in Top-Endzuständen manifestieren kann.

## Underlying Events und Multiple Interactions

In hochenergetischen Proton-Proton Wechselwirkungen gibt es aufgrund der sehr großen Partondichteverteilungen (im wesentlichen Gluonen) eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass in einzelnen Proton-Proton Kollision mehrere Partonen aus den beiden Protonen miteinander wechselwirken können (Multi-Parton Wechselwirkungen). Diese Prozesse sind unabhängig von der Luminosität, also selbst in der Anfangsphase von LHC wichtig. Das Verständnis der Multi-Parton Wechselwirkungen ist für Präzisionsmessungen am LHC unerlässlich. Sie führen über die zusätzlichen Wechselwirkungen zu Untergrundenergien, welche in den Messsignalen für die untersuchten Prozesse subtrahiert werden müssen. Außerdem können durch die Mehrfach-Wechselwirkungen Teilchen-Endzustände produziert werden, welche denjenigen entsprechen, nach denen für die Entdeckung des Higgs-Bosons oder von neuartigen SUSY-Prozessen gesucht wird. Deshalb muss auch dieser mögliche Beitrag durch Mehrfach-Wechselwirkungen mit möglichst hoher Genauigkeit bekannt sein, um die Signifikanz der Entdeckung zu bestimmen.

Allerdings sind diese Multi-Parton Wechselwirkungen theoretisch noch nicht vollständig verstanden, und man

ist in ihrer Beschreibung auf approximative Modelle angewiesen. Diese Modelle können mit Messungen bei HERA, aber auch mit Messungen am Tevatron, verglichen und angepasst werden. Um Vorhersagen bei LHC machen zu können, ist aber eine Extrapolation über ein Größenordnung in der zur Verfügung stehenden Schwerpunktsenergie der Wechselwirkungen notwendig und daher mit großen Unsicherheiten behaftet.

Die Multi-Parton Wechselwirkungen können besser verstanden werden, indem man die Energiedeposition im CASTOR Kalorimeter mit der Teilchenmultiplizität im Zentraldetektor korreliert. Abbildung 85 zeigt die Abhängigkeit der mittleren Teilchen-Multiplizität als Funktion der Rapidität, für verschieden große Energiedeposition im CASTOR Kalorimeter. Wie oben beschrieben eignet sich das CASTOR Kalorimeter für eine ganze Reihe von Untersuchungen. Die Vorbereitung einiger dieser Untersuchungen, z. B. die Messung zur sogenannten *forward jet* Produktion, wurde im Berichtszeitraum begonnen. Mit dieser Messung werden sich neue Ergebnisse zur Partonen-Dynamik bei sehr kleinen Werten von  $x$  erzielen lassen. Ergebnisse von in dieser kinematischen Region gültigen Rechnungen wurden auf verschiedenen Konferenzen, beispielsweise im HERA-LHC Workshop, vorgestellt.

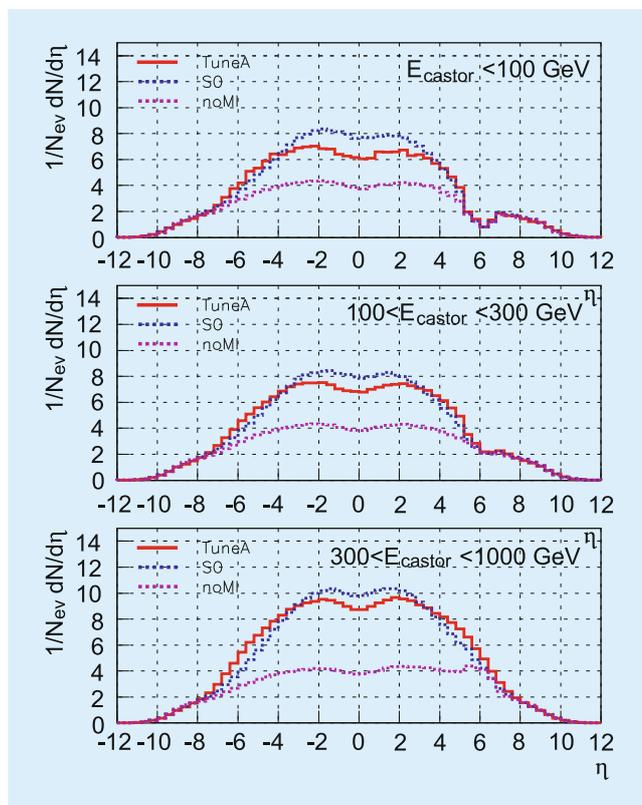


Abbildung 85: Mittlere Teilchen-Multiplizität als Funktion der Rapidität der Teilchen für verschiedene Energien im CASTOR Kalorimeter.