

Abbildung 55: Aufbau des CMS-Detektors.

CMS-Experiment

Gruppenleiter: J. Mnich, DESY

Ende 2005 hat das DESY Direktorium beschlossen, dass DESY sich an den beiden großen LHC Experimenten ATLAS und CMS beteiligt. Der Entscheidung vorausgegangen waren intensive Gespräche mit dem Management der Experimente darüber, welche Beiträge DESY leisten kann. Für CMS wurde festgelegt, dass das schon bestehende Engagement im Bereich der Physikanalyse von Standardmodellprozessen weitergeführt wird. Weiter wurde eine Beteiligung am High-Level-Trigger vereinbart. Als weiteres Beteiligungsgebiet wurde die zentrale Technische Koordination von CMS ausgewählt und seit August 2006 arbeitet ein erfahrener DESY-Physiker als Stellvertreter des Technischen Koordinators am CERN. DESY stellte in 2006 einen von zwei Computing Integration Koordinatoren und seit dem 1.1.2007 auch den CMS Computing-Coordinator. Die Projekte, die im Berichtsjahr begonnen wurden werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Technische Koordination

Der CMS-Detektor ist etwa 21 m lang, 18 m hoch, 15 m breit und wiegt 12500 Tonnen. Er besteht aus 15 zylindersymmetrischen Elementen die hintereinander, entlang des Strahls, aufgestellt werden (siehe Abbildung 55). Alle Elemente werden an der Oberfläche montiert und verkabelt und danach als Ganzes in die 100 m unter der Erde liegende Kaverne abgelassen. Dort werden Gas, Kühlung, Stromversorgung und die Glasfasern für die Signale an großen Verteilern an der Seite des Detektors angeschlossen. Die zentralen Teile des elektromagnetischen und hadronischen Kalorime-

ters, sowie der Silizium-Spurdetektor werden in der Untergrundkaverne in den Solenoiden eingebaut.

Die große Herausforderung des Jahres 2006 bestand darin einen Test des Detektors mit Teilen nahezu aller Komponenten an der Oberfläche durchzuführen, den großen 4 Tesla Magneten zu testen und danach mit dem Ablassen der ersten Komponenten zu beginnen. Gleichzeitig musste die Kaverne soweit vorbereitet werden, dass die ersten abgelassenen Komponenten angeschlossen und überprüft werden können. Die erste Hälfte des Jahres stand im Zeichen der Vorbereitung des Magnettests und der ersten Datennahme mit Cosmics (*Magnet Test and Cosmic Challenge* MTCC). Der Magnet war seit Ende Februar auf 4 K abgekühlt und supraleitend. Bis zum Sommer wurden alle Komponenten eingebaut. Im August wurde der Magnet in mehreren Schritten bis auf 3.8 Tesla hochgefahren. Bei diesem Feld wurden Myonen aus der kosmischen Höhenstrahlung mit einem Prototypen des Siliziumtrackers, zwei Supermodulen des elektromagnetischen Kalorimeters, Teilen des hadronischen Kalorimeters und Teilen des Myon-Systems aufgezeichnet. Abbildung 56 zeigt ein Beispiel eines Myons, das in allen Komponenten ein Signal hinterlässt.

Nach dem Ende der Datennahme wurden alle Detektoren aus dem Inneren der Spule entfernt und stattdessen ein Gerät zur präzisen Vermessung des Magnetfeldes eingebaut. Bei verschiedenen Feldstärken wurde das Magnetfeld mit einer Genauigkeit von etwa 10^{-4} vermessen. Dabei wurde der Magnet auch mehrere Tage problemlos mit dem Maximalfeld von 4 Tesla betrieben. Auch während dieser Phase wurden Cosmics genommen, insgesamt hat CMS im Sommer 2006 mehr als

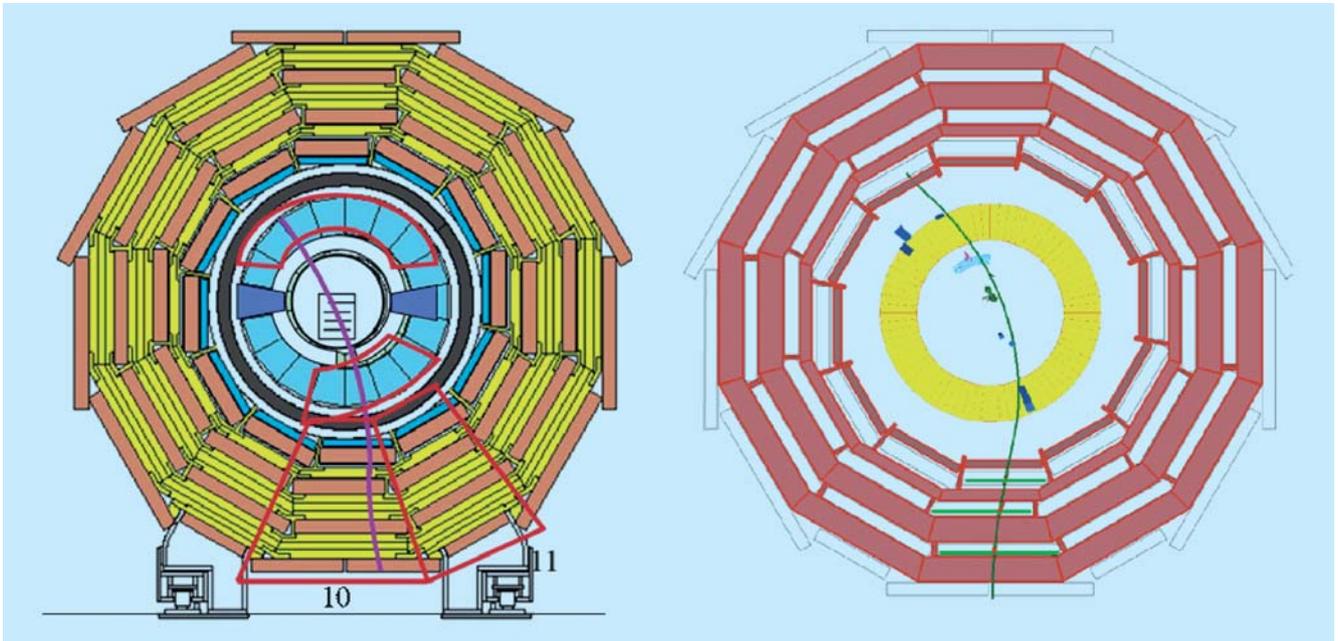


Abbildung 56: *Komponenten des Cosmic Challenge und ein aufgezeichnetes Ereignis.*

230 Millionen Ereignisse aufgezeichnet. Nach Ende des Magnettests wurde der Solenoid aufgewärmt und der Detektor für das Absenken in die Kaverne vorbereitet.

Am 2. November wurde das erste der beiden Hadron-Vorwärtskalorimeter in die Kaverne verbracht. Die zweite Hälfte folgte am 9. November. Am 30. November wurde die erste große Myon-Endkappe (YE+3) in die Detektorhalle abgesenkt und am 12. Dezember folgte die zweite Endkappe (siehe Abbildung 57). Damit ist CMS gut vorbereitet, das zentrale Jochteil mit dem Solenoiden im Februar 2007 in die Untergrundhalle zu bringen.

Die große Herausforderung des Jahres 2007 wird sein, CMS in seiner Anfangskonfiguration bis zum Herbst fertig zu stellen. Besonders schwierig wird dabei die Verlegung der Kabel von allen Detektoren, die innerhalb der Spule sitzen, auf dem Kryostaten. Auf der Außenseite müssen über 5500 Kabel mit einer Gesamtlänge von etwa 200 km verlegt werden. Dazu kommen etwa 20 km Kühlrohre. Die Vorbereitungen für dieses schwierige Projekt laufen auf Hochtouren und gehen wie geplant voran.

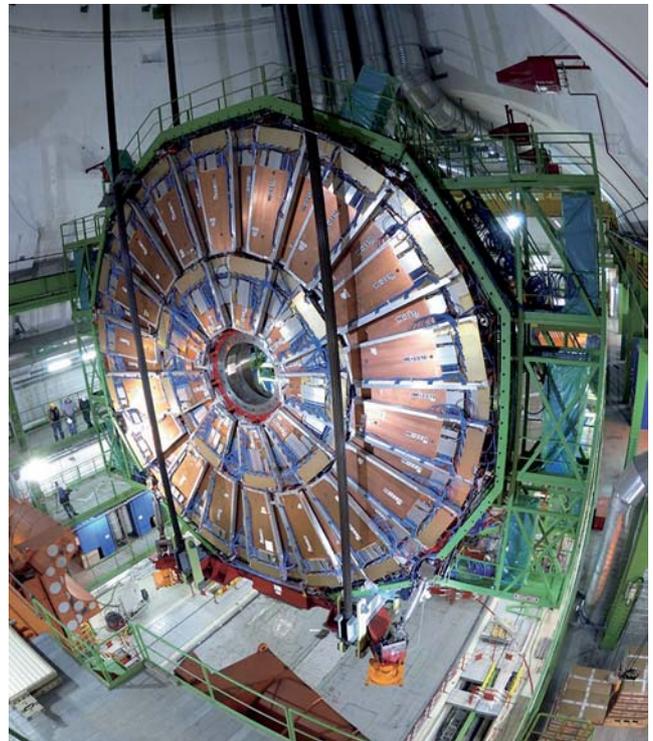


Abbildung 57: *Absenken einer Myon-Endkappe in die Untergrundkaverne.*

High Level Trigger Konfiguration

Am LHC kollidieren die Protonpakete mit einer Rate von 40 MHz. Das CMS Triggersystem besteht aus zwei Stufen. In der ersten Stufe, Level-1 (L1), ist eine schnelle Elektronik implementiert, die ohne Totzeit zu verursachen, arbeitet. Die Triggerentscheidung wird mit einer Latenz von $2.5 \mu\text{s}$ anhand charakteristischer Eigenschaften der Ereignisse getroffen. Während dieser Zeit wird die vollständige digitalisierte Information der Ereignisse zwischengespeichert. Die L1 Triggerentscheidungen werden anhand von groben Informationen aus dem Myon-System und den Kalorimetern getroffen. Der Nachweis von Signalen von Teilchen (Elektronen, Myonen, Jets) mit hohem Transversalimpuls führt zur Auslese der Ereignisinformation. Die Auslese findet über einen Netzwerk-Event-Builder statt, in dem die Teile des Ereignisses aus den verschiedenen Detektorkomponenten zusammengeführt werden. Für die Endausbaustufe ist eine Ausleserate von 100 kHz geplant.

Im *High-Level-Trigger* (HLT) werden die Ereignisse weiter untersucht und gefiltert. Die Filtereinheiten im HLT sind kommerzielle PC Rechenknoten. Die Event-Builder und HLT Systeme sind skalierbar konzipiert. Bei der LHC Design-Luminosität wird die HLT-Farm aus etwa 2000 CPUs bestehen, was bei einer L1-Rate von 100 kHz eine durchschnittliche Verweilzeit im PC von etwa 20 ms bedeutet. Ereignisse werden mit einer Rate von 100 Hz akzeptiert und auf Band geschrieben.

DESY ist an der Entwicklung und Implementierung der Run-Control- und Monitoring-Software des *High Level Trigger Supervisor* (HLTS) beteiligt. Das HLTS-System ist verantwortlich für die Konfiguration der HLT PC Programme (*Filter Units*, FUs). Am Beginn von Runs wird die Konfiguration aus einer Datenbank ausgelesen und zu den FUs weitergeleitet. Außerdem ist das System für die Navigation der FUs durch die definierten State-Transitions, z. B. Aktivieren, Halten, usw., verantwortlich. Zusätzliche HLTS-Aufgaben sind das Auslesen und Summieren von FU Trigger-Statistiken und Herunterladen von Prescale-Werten während der

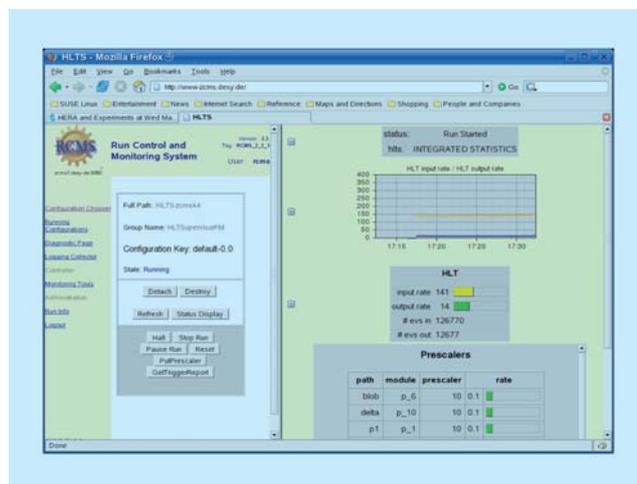


Abbildung 58: Graphische Benutzeroberfläche für die Konfiguration und das Monitoring des High-Level-Trigger Systems.

Runs. Die HLTS-Kontroll-Software ist in Java geschrieben, wobei Web-Services benutzt werden, um Monitoringdaten zu visualisieren. In Abbildung 58 ist die graphische Benutzeroberfläche des HLTS gezeigt. Die Entwicklung der HLTS-Software findet im Allgemeinen auf einem am DESY installierten Testsystem statt. Neue Versionen werden in regelmäßigen Abständen auf den CMS Online-Rechnern am CERN installiert.

Vorbereitung Physikanalyse

Die CMS Gruppe am DESY ist auch aktiv an der Vorbereitung von Physikanalysen beteiligt. Im Juni 2006 hat CMS dem LHC Experiments Committee (LHCC) den zweiten Teil des sogenannten Physics Technical Design Reports vorgelegt, der beruhend auf vollständigen, detaillierten Detektorsimulationen das physikalische Potential des Experiments beschreibt. Der gesamte Bereich der Standardmodellphysik, d. h. QCD und Diffraktion, Top- und b-Physik, sowie elektroschwache Physik, ist von einem DESY-Physiker koordiniert und editiert worden. Außerdem führen drei Doktoranden am DESY vorbereitende Studien zur Top-Physik mit dem CMS-Experiment durch.

Am LHC werden bei der für die ersten Betriebsjahre angestrebten Luminosität von $10^{33}/\text{cm}^2/\text{s}$ 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.

Eines der am DESY untersuchten Themen ist die Messung der Top-Antitop-Spinkorrelationen, die Aufschluss über den Produktionsmechanismus erlauben. Weil das Top-Quark so kurzlebig ist, dass es zerfällt bevor es in Hadronen fragmentieren kann, ist es das einzige Quark, bei dem eine direkte Spinanalyse möglich ist. Daneben wird die möglichst genaue Messung differentieller Wirkungsquerschnitte studiert. 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, aber auch Rückschlüsse auf neue Physik, die sich in manchen Modellen auf Grund der hohen Masse in Top-Endzuständen manifestieren könnte. Darüber hinaus wird am DESY daran gearbeitet, die bisherigen Simulationsergebnisse, die auf Rechnungen in niedrigster Ordnung basieren, durch Studien zu verbessern, die auf vollständig simulierten und rekonstruierten CMS-Ereignissen auf der Basis von neuen Next-to-Leading-Order (NLO) Generatoren beruhen.

Computing

Auch im Bereich des Aufbaus des CMS Computings leistet DESY entscheidende Beiträge. Ein DESY Wissenschaftler war im Jahre 2006 zusammen mit einem Kollegen vom Fermilab mit der Koordination der Computing-Integrationsaufgaben betraut, die dazu dienen, die in den weltweit verteilten Zentren installierten Computing-Ressourcen zu einem homogenen System

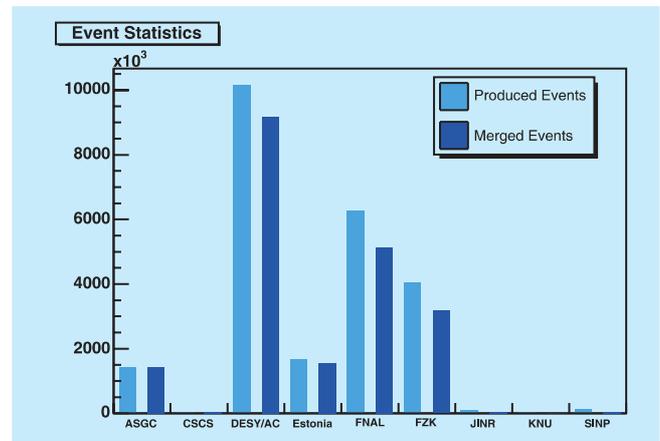


Abbildung 59: Anzahl der von DESY/RWTH Aachen produzierten Events an den verschiedenen Grid-Sites während des CSA06.

zu integrieren. Viele dieser Standorte, darunter auch das DESY Tier-2 Zentrum, stellen heute dank des Integrationsprogramms zuverlässig und mit hoher Leistungsfähigkeit Ressourcen im Bereich Rechenleistung und Speicherkapazität für CMS zur Verfügung. Dieses wurde insbesondere für die Vorbereitungen und die Durchführung des *Computing, Software und Analysis Challenge* (CSA06) ausgiebig genutzt. DESY hat dafür einen hohen Anteil an der Produktion von etwa 65 Millionen Ereignissen erbracht und mit seiner dCache basierten Speicherinstallation über Monate eine stabile und hohe Datentransferrate erzielt.

Ein deutsches Team bestehend aus Studenten von DESY und der RWTH Aachen hat sich sowohl bei der Vorbereitung als auch bei der Durchführung des CSA06 erfolgreich eingebracht und etwa ein Drittel der gesamten Produktion durchgeführt. Zur Aufgabe gehörte es auf dem LHC-Computing-Grid gleichzeitig mehrere tausend Produktionsjobs zu betreuen. Abbildung 59 zeigt die Verteilung der in dieser erfolgreichen Zusammenarbeit auf den verschiedenen Grid-Zentren produzierten CMS-Ereignisse und die wichtige Rolle, die das deutsche CMS Tier-2 Zentrum am DESY und der RWTH Aachen dabei eingenommen hat.