

Abbildung 50: *Aufbau des ATLAS Detektors.*

# ATLAS-Experiment

**Gruppenleiter:** K. Moenig, DESY

**Ende 2005 hat DESY beschlossen, beide großen Experimente am Large Hadron Collider, LHC, zu unterstützen. Die DESY Gruppe wurde formal im Juli 2006 in die ATLAS Kollaboration aufgenommen. Sie besteht zur Zeit aus sechs permanenten Mitarbeitern, vier Postdocs und vier Doktoranden. Die Beteiligung an ATLAS erfolgt in enger Kooperation mit einer Gruppe der Humboldt Universität zu Berlin und einem Juniorprofessor der Universität Hamburg. Alle übernommenen Aufgaben werden gemeinsam bearbeitet. Die Gruppe arbeitet am ATLAS Computing, den höheren Trigger Stufen, sowie an der schnellen Schauersimulation. Diese Aktivitäten werden im weiteren näher beschrieben. Außerdem beteiligt sich DESY an der Koordination der Outreach Aktivitäten für den LHC in Deutschland. Ab Ende 2006 stellt die DESY ATLAS Gruppe den Koordinator der deutschen LHC Outreach-Gruppe GELOG. Erste Aktivitäten begannen im Multimedia-Bereich.**

Zu Beginn der Beteiligung konzentrieren sich natürlicherweise die Aktivitäten im Servicebereich, es wurde jedoch schon in begrenztem Maße mit Physikstudien begonnen. Im Bereich der Supersymmetrie wurden Studien zur Rekonstruktion von Zwei-Lepton Endzuständen durchgeführt. Besonderer Wert wurde dabei auf die Entwicklung eines Software Rahmens gelegt, der es erlaubt, die Daten schnell und effizient zu analysieren und der flexibel genug ist, um von allen Mitgliedern der DESY Gruppe und allgemein verwendet zu werden.

Als zweite Aktivität nahe an der Physik wird ein Eventfilter Algorithmus für *Minimum-Bias Ereignisse* entwickelt, der diese Ereignisse bei sehr niedriger Lumi-

nosität selektieren kann. Mit *Minimum-Bias* werden Ereignisse bezeichnet, bei denen Quarks oder Gluonen mit sehr niedrigen Energien wechselwirken. Bei höheren Luminositäten treten mehrere solcher Ereignisse pro Strahlkreuzung auf und erschweren die Analyse interessanter Prozesse. Bei niedrigen Luminositäten kann man sie einzeln selektieren und analysieren, um so den zu erwartenden Untergrund bei hoher Luminosität zu verstehen.

Der ATLAS Detektor wiegt 7000 Tonnen und füllt mit einem Durchmesser von 25 m und einer Länge von 46 m (Abbildung 50) seine unterirdische Halle (35 m Höhe, 30 m Breite, 53 m Länge) gut aus. Eine Besonderheit sind große Toroiden (Abbildung 51), die mit einer leichten und offenen Konstruktion ein optimales Magnetfeld von 4 Tesla in einem großen Volumen erzeugen und damit eine präzise Vermessung von Muonspuren ermöglichen.

## Computing

Der instrumentelle Hauptbeitrag von DESY für beide Experimente liegt in der Bereitstellung je eines Tier-2 Zentrums pro Experiment für die Simulation und die Datenanalyse. Der Aufbau des ATLAS WLCG Tier-2 Grid-Rechenzentrums bei DESY geschah in engem Kontakt mit den IT Gruppen in Hamburg und Zeuthen. Es wurde begonnen, die Zusammenarbeit zwischen dem deutschen Tier-1 bei GridKa, dem Tier-2 und dem Rechnen an Universitäten im deutschlandweiten ATLAS Computing zu koordinieren. Das Tier-2 Zentrum ist im Kapitel Zentrale Datenverarbeitung auf Seite 296 detailliert beschrieben.

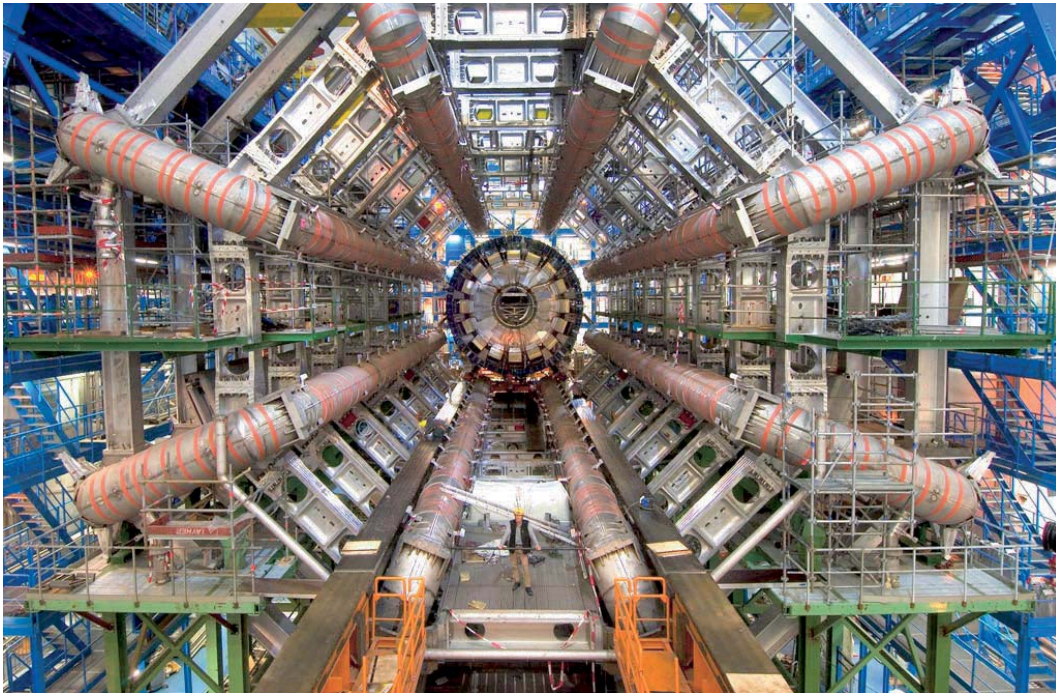


Abbildung 51: Die Toroiden des ATLAS Barrels.

Als Verbindung zwischen ATLAS und dem Tier-2 beteiligt sich DESY am Computing von ATLAS, insbesondere an der Entwicklung von Grid-Werkzeugen. Neben der Grid-Software wurden die ATLAS Softwarepakete zur lokalen Nutzung auf den Rechnern in Hamburg und Zeuthen bereitgestellt. DESY stellt einen Vertreter im ATLAS International Computing Board.

## Der ATLAS Trigger

Wegen der hohen Wechselwirkungsraten sind die Triggersysteme der LHC Experimente besonderes wichtige Komponenten. Für das ATLAS Experiment ist ein dreistufiges Triggersystem vorgesehen, um die Ereignisraten von der anfänglichen Bunch-Crossing-Rate von 40 MHz auf einige hundert Hz zu reduzieren. Dabei ist die erste Triggerstufe (LVL1) in speziell gefertigter Elektronik gebaut. Sie reduziert die Raten innerhalb von 1.5 Mikrosekunden auf ungefähr 100 kHz. Zur Selektion werden ausschließlich Daten aus den Kalorimetern und den Muon-Systemen verwendet. Auch

die wichtige Identifikation des Bunch-Crossings wird auf der ersten Triggerstufe vorgenommen. Die Selektion der zweiten und dritten Triggerstufe wird von Softwareprozessen übernommen, die auf großen Computerfarmen laufen. Diese beiden Triggerstufen werden unter dem Namen *High-Level-Trigger* (HLT) zusammengefasst. Auf der zweiten Triggerstufe (LVL2) haben die Selektionsalgorithmen Zugang zur vollen Granularität der Daten, allerdings nur in sogenannten *Regions-of-Interest*, die vorher von der ersten Stufe identifiziert worden sind. Für die vorgesehene Ratenreduktion auf ca. 1 KHz stehen der zweiten Stufe im Durchschnitt 10 ms zur Verfügung. Erst die dritte Triggerstufe, Event-Filter (EF) genannt, läuft nach dem Eventbuilding und hat somit Zugang zum gesamten Ereignis. Dort wird die Datenrate auf einige hundert Hz reduziert. Das ATLAS Triggersystem ist in Abbildung 52 skizziert.

Während des Jahres wurden große Fortschritte im Aufbau dieses Triggersystems gemacht. Viele wichtige Komponenten der ersten Triggerstufe, wie der zentrale Trigger oder das Muon-Trigger-Interface sind be-

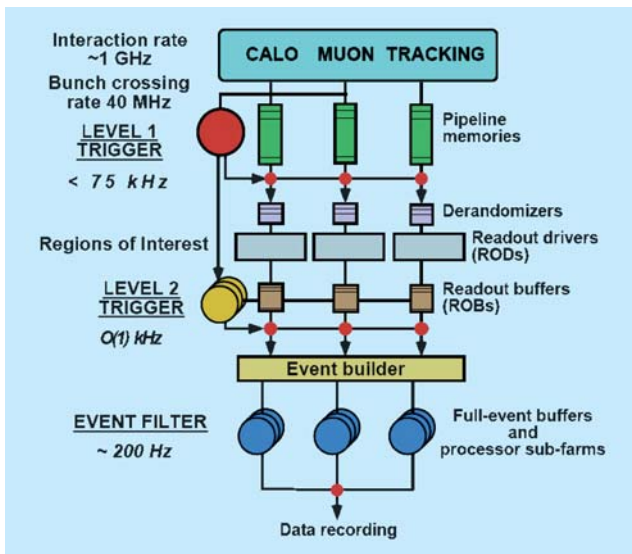


Abbildung 52: Das ATLAS Triggersystem.

reits vollständig am Experiment installiert. Auch ein Großteil der HLT/DAQ-Infrastruktur, wie Netzwerk, Racks, etc. ist bzw. wird bereits am Experiment installiert. Allerdings sind erst ca. 10% der LVL2- und EF-Computerfarm zu Testzwecken aufgebaut. Die restlichen Rechner werden zu einem möglichst späten Zeitpunkt beschafft, um von leistungsfähigerer Computertechnologie profitieren zu können.

Die ATLAS Gruppe am DESY engagiert sich vorwiegend bei der Implementation von wichtigen Softwarekomponenten zum Betrieb des ATLAS Triggers. So ist die Gruppe verantwortlich für den Aufbau des Systems, das in der späteren Datennahme die Selektion des HLT überwachen soll (Monitoring). Auch das Konfigurationssystem wird von der DESY-Gruppe implementiert.

## Trigger Konfiguration

Das Konfigurationssystem des ATLAS Triggers versorgt die verschiedenen Triggerstufen mit allen Parametern, die für die Selektion der interessanten Ereignisse während der Datennahme benötigt werden. Es übernimmt auch die Archivierung dieser Parameter für die spätere Datenanalyse. Dasselbe System soll auch zur Konfiguration der Trigger-relevanten Teile in Re-

konstruktion und Simulation von Ereignissen eingesetzt werden.

Die zentrale Komponente des Konfigurationssystems ist die Trigger Datenbank (TriggerDB), in der die gesamte Information, die zur Konfiguration des Triggers nötig ist, gespeichert wird. Die TriggerDB ist eine relationale Datenbank, die mit ORACLE und MySQL Technologie betrieben werden kann und letztlich ein Bestandteil der ATLAS online Datenbank sein wird.

Zu Beginn der Datennahme (oder Simulation) ziehen die Komponenten des Triggers die Konfigurationsdaten aus der TriggerDB. Weil die HLT Prozesse auf ca. 3000 Rechnerknoten ablaufen sollen, ist vor allem die schnelle Verteilung der HLT Parameter eine Herausforderung. Während der Datennahme werden die Parameter dann angewendet und in der TriggerDB markiert, so dass sie nicht mehr verändert werden können und für die spätere Datenanalyse zur Verfügung stehen. Auch das Interface zur späteren Datenanalyse, das für die Interpretation der Triggerentscheidung in jedem Ereignis benötigt wird, und damit auch das zugrundeliegende Analysemodell ist Teil der Arbeit am Konfigurationssystem. Zum Füllen der TriggerDB wird ein grafisches Interface (TriggerTool) in Java entwickelt. Dieses erlaubt es, komplizierte Menüs übersichtlich darzustellen und einfach zu verändern, so dass alle Abhängigkeiten berücksichtigt werden.

Die DESY Gruppe ist an der Entwicklung aller Teile des Systems führend beteiligt. Am DESY ist die TriggerDB aufgesetzt, um Tests durchzuführen und die Entwicklung voranzubringen. Nach einer positiven Bewertung des Systems innerhalb eines ATLAS internen Reviews im Herbst 2006 wird weiter mit Hochdruck an der Realisierung des Systems gearbeitet, so dass es zum vorgesehenen Beginn der Datennahmen im Herbst 2007 mit voller Funktionalität zur Verfügung stehen wird.

## Trigger Monitoring

Für eine erfolgreiche Datennahme ist es wichtig, die Funktion des Triggers laufend zu überwachen. Zum einen muss der Schichtbesatzung die Möglichkeit gegeben werden, im Falle einer Fehlfunktion schnell ein-

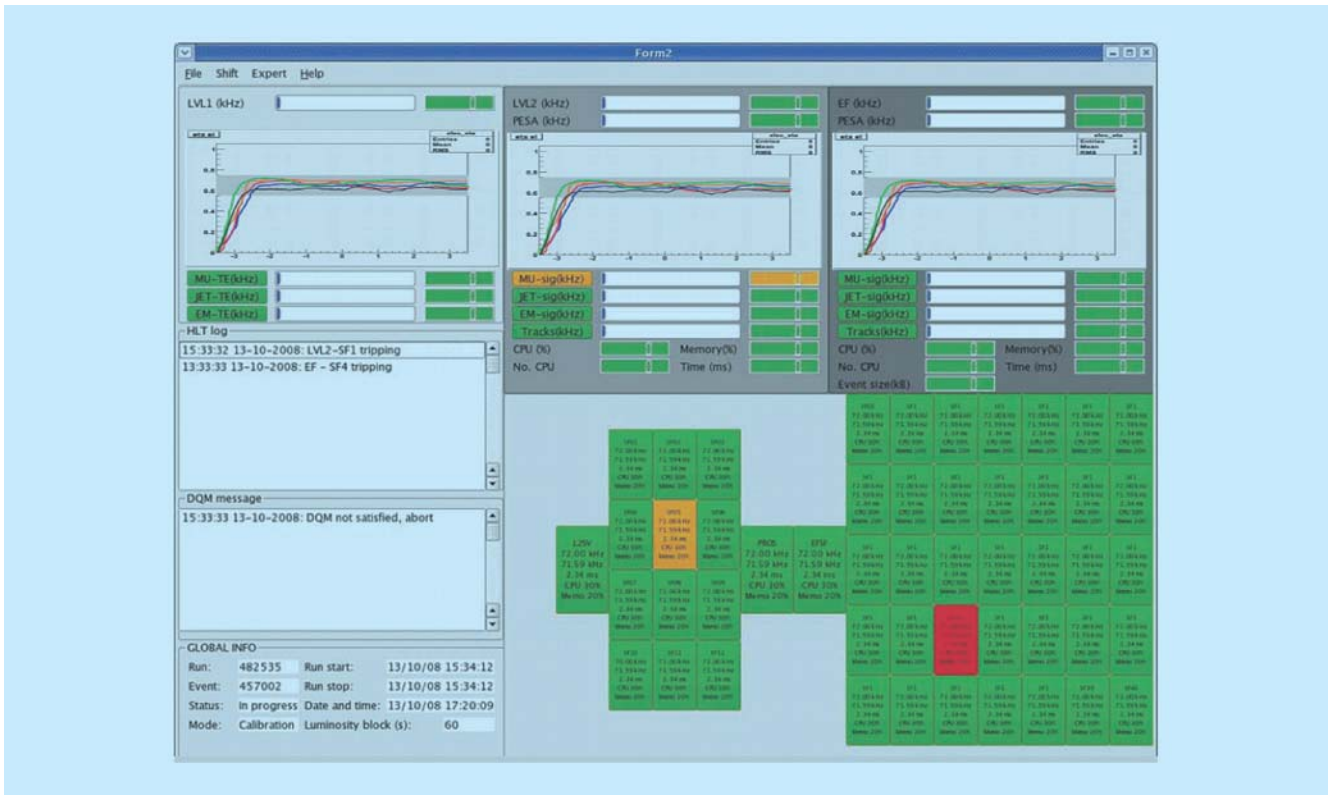


Abbildung 53: Vorgeschlagene Benutzeroberfläche für die Überwachung des Triggers.

greifen zu können, um einen Datenverlust zu minimieren, zum anderen müssen aber auch Perioden, in denen wesentliche Teile des Triggers nicht wie vorgesehen funktioniert haben, von der Datenanalyse ausgeschlossen werden. DESY hat zusammen mit einer Gruppe der Humboldt Universität beide Aspekte der Triggerüberwachung übernommen.

Da die höheren Triggerstufen bei ATLAS aus Software bestehen, die auf Standardrechnersystemen laufen, kann das Trigger Monitoring leicht in diese Programme integriert werden. Dies erlaubt einen Zugriff auf alle für die Ereignisselektion verwendete Information, sowohl für die selektierten als auch für die verworfenen Ereignisse. Dazu wird bei DESY ein Programm entwickelt, das sämtliche Raten des Eventfilters in Form von Histogrammen erfasst und an den *Histogram Server* weitergibt, sowie ein Programm, das diese Raten benutzerfreundlich darstellt. Ein erster Vorschlag für die Benutzeroberfläche ist in Abbildung 53 dargestellt.

Des weiteren wird an einem Programm gearbeitet, das die Funktion der Trigger- und Datennahme-Rechner erfasst und graphisch darstellt, um auch deren mögliche Fehlfunktion schnell zu erkennen.

Die Arbeiten am *Data Quality Monitoring* haben gerade erst begonnen. DESY und die Humboldt Universität koordinieren hier die Triggeraspekte.

## Schnelle Schauersimulation

Das ATLAS Experiment übertrifft viele frühere Experimente in Größe, Komplexität und Messgenauigkeit. Zur vollen Ausschöpfung des Physikpotentials ist ein genaues Verständnis des Detektors nötig. Eine wichtige Komponente in diesem Erkenntnisprozess ist eine detaillierte Detektorsimulation. Der Simulationsprozess ist in fünf Schritte aufgeteilt. Als erstes werden entweder einzelne Teilchen für Detektorstudien oder physikalische Prozesse generiert. Darauf folgt die Si-

mulation des Detektors, Digitalisierung der simulierten Treffer und die Rekonstruktion der gemessenen Teilchen. Der Zeitbedarf wird durch die reine Detektorsimulation dominiert, die zwischen zehn und fünfzehn Minuten für ein typisches Physikereignis braucht. Im Vergleich zu Planungen aus dem Computing TDR ist dies um einen Faktor vier zu hoch, der bereits davon ausgeht, dass nur für 20% der aufgezeichneten Daten Monte Carlo Daten simuliert werden. Das ATLAS Management hat letztes Jahr eine Task-Force eingesetzt, die die Möglichkeiten der Zeitreduzierung in der vollen Simulation untersuchen soll. DESY und die Universität Hamburg tragen mit zwei Schwerpunkten signifikant zu dieser Task-Force bei: der Entwicklung einer Methode zur Parametrisierung von Elektronenschauern niedriger Energie (*Frozen Showers*) und der Validierung der kombinierten Parametrisierungsstrategie. Studien zum Zeitverbrauch in der Simulation haben gezeigt, dass das elektromagnetische Kalorimeter die Simulationszeit dominiert. Eine Parametrisierung der Schauer von hochenergetischen Elektronen im Kalorimeter sollte einen signifikanten Zeitgewinn bringen. Durch die hohe Materialdichte vor dem Kalorimeter fängt ein Elektronenschauer schon vor dem Kalorimeter an, so dass man im Kalorimeter mit vielen niederenergetischen Elektronen zu tun hat anstatt mit einzelnen hochenergetischen.

Die von DESY vorgeschlagene und umgesetzte Methode der Frozen Showers parametrisiert niederenergetische Elektronen wie folgt: Niederenergetische Elektronen werden separat für diskrete Energie- und Rapiditätswerte simuliert und in einer Bibliothek gespeichert. Während der vollen Simulation werden niederenergetische Elektronen durch Schauer aus der Bibliothek ersetzt, so dass die Simulationszeit verringert wird. Der Schauer aus der Bibliothek muss natürlich der Richtung und Energie des Elektrons angepasst werden. Dieser Ansatz simuliert sehr gut den niederenergetischen Anteil eines Elektronenschauers und gibt einen Zeitgewinn von bis zu zehn für einzelne Elektronen, aber nur einen Faktor zwei für realistische Ereignisse im ATLAS-Detektor.

Ein weiterer wichtiger Aspekt, zu dem DESY beiträgt, ist die Validierung des Simulationsprozesses sowohl auf Simulations- als auch auf Rekonstruktionsebene.

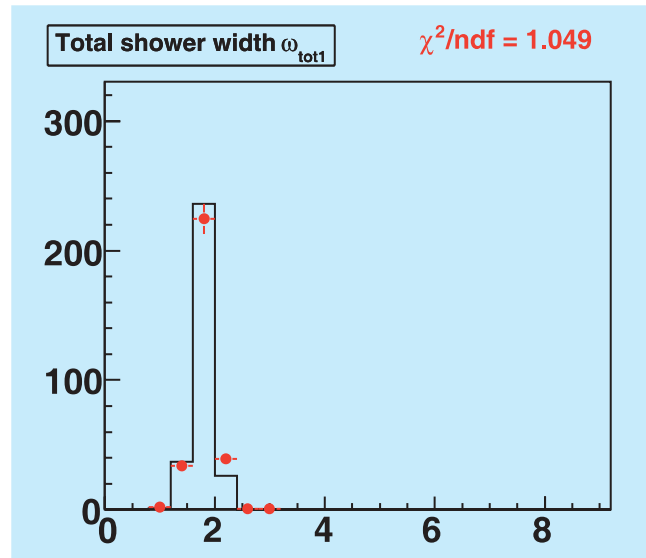


Abbildung 54: Breite eines Schauers in der ersten Lage des Kalorimeters aus der vollen Simulation (schwarze Linie) und der Frozen Shower Methode (rote Punkte).

Auf Simulationsebene kann nicht immer abgeschätzt werden, wie genau eine einzelnen Größe simuliert werden muss. Zum Beispiel ist der Zeitpunkt der einzelnen Treffer für den Simulationsprozess nicht wichtig, spielt aber eine wichtige Rolle während der Digitalisierung der Treffer. Eine falsche oder schlechte Simulation würde so erst auf Rekonstruktionsebene auffallen. Direkte Größen aus der Simulation sind die deponierte Energie in den einzelnen Lagen, die Anzahl der Treffer und die Auflösung in  $\eta$  und  $\phi$ . Auf Rekonstruktionsebene werden Größen wie die rekonstruierte Energie im gesamten Kalorimeter und in den einzelnen Lagen betrachtet, aber auch spezieller Observablen wie die Breite des Schauers in der ersten Lage (Siehe Abbildung 54). Diese Breite ist eine wichtige Observable, um falsch identifizierte Elektronen aus Jets von wahren Elektronen zu unterscheiden. Abbildung 54 zeigt exemplarisch die gute Übereinstimmung der vollen Simulation mit der Frozen Shower Methode.

Genauere Zeitstudien haben gezeigt, dass eine Parametrisierung von Photonen mit niedriger Energie einen weiteren signifikanten Zeitgewinn bringen kann. Die Methode der Frozen Showers ist einer der besten Kandidaten dafür.