

Abbildung 64: *Blick in die ATLAS Kaverne im Dezember 2007. Der Endkappen-Magnet vor der endgültigen Positionierung.*

ATLAS-Experiment

Gruppenleiter: K. Mönig, DESY

DESY war 2007 im zweiten Jahr an dem Experiment ATLAS am Large Hadron Collider am CERN beteiligt. Die DESY-ATLAS-Gruppe hat sich seit 2006 signifikant vergrößert und besteht jetzt aus 11 permanenten Mitarbeitern, 13 Post-Doktoranden und 6 Doktoranden. Darin enthalten ist eine Nachwuchsgruppe aus dem Impuls- und Vernetzungsfonds der HGF. Die von DESY übernommenen Aufgaben im Rahmen der Beteiligung an ATLAS werden in enger Kooperation mit einer Gruppe der Humboldt-Universität zu Berlin und einem Juniorprofessor der Universität Hamburg bearbeitet. Die Aufgaben umfassen Arbeiten an Software und Computing, den höheren Trigger Stufen, dem Luminositätsmonitor ALFA, der Vorbereitung der Physikanalysen sowie an der Öffentlichkeitsarbeit. Diese Aktivitäten werden im Weiteren näher beschrieben.

Der ATLAS-Trigger

Wegen der hohen Wechselwirkungsraten sind die Triggersysteme der LHC Experimente besonders wichtige Komponenten. Das ATLAS-Triggersystem ist in Abbildung 65 skizziert. 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 (FPGAs und ASICs) gebaut. Sie reduziert die Raten innerhalb von 2.5 Mikrosekunden auf ungefähr 100 kHz. Zur Selektion werden ausschließlich Daten aus den Kalorimetern und den Myon-Systemen

verwendet. Eine wichtige Aufgabe der ersten Triggerstufe ist auch die Zuordnung eines Ereignisses zu dem *bunch crossing*, in dem es erzeugt wurde. Die Selektion der zweiten und dritten Triggerstufe wird von Software-Prozessen übernommen, die auf großen Computer-Farmen 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 so genannten *Regions-of-Interest*, die vorher von der ersten Stufe identifiziert worden sind. Für die vorgesehene Ratenreduktion auf etwa 1 kHz stehen der zweiten Stufe im Durchschnitt 10 ms zur Verfügung. Erst die dritte Triggerstufe, *Event-Filter* (EF) genannt, läuft nach dem Zusammenführen aller Daten eines Ereignisses (*event building*) und hat somit Zugang zur gesamten Information. Dort wird die Datenrate auf einige hundert Hz reduziert.

Während des vergangenen Jahres wurden große Fortschritte im Aufbau dieses Triggersystems gemacht. Alle Komponenten der ersten Triggerstufe, wie der zentrale Trigger, der Myon-Trigger oder der Kalorimeter-Trigger sind bereits vollständig am Experiment installiert. Das gleiche gilt für einen Großteil der HLT/DAQ-Infrastruktur. Allerdings sind erst ca. 20% der LVL2- und EF-Computerfarm zu Testzwecken aufgebaut. Die restlichen Rechner werden zu einem möglichst späten Zeitpunkt beschafft, um von leistungsfähigerer Computer-Technologie profitieren zu können. Die installierten Komponenten werden in verschiedenen Tests mit simulierten Daten und Daten aus kosmischer Strahlung eingesetzt. Bei diesen Tests steht vor allem die kombinierte Datennahme aller Subdetektoren im

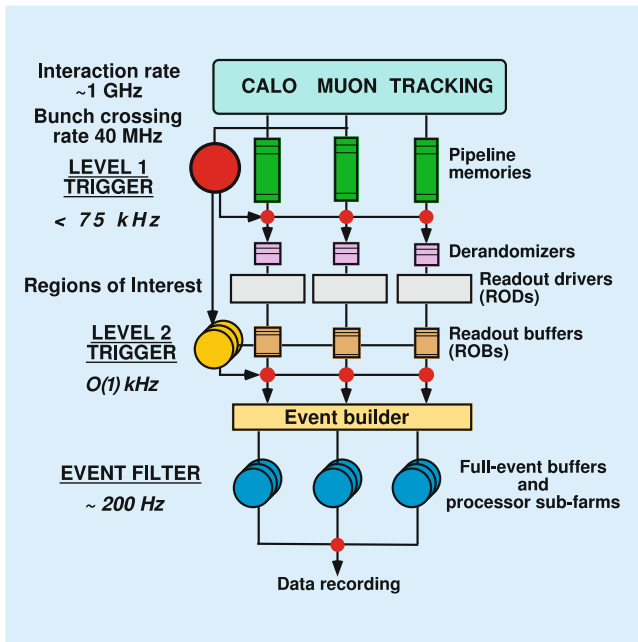


Abbildung 65: Das Triggersystem des ATLAS-Detektors.

Mittelpunkt. Die DESY-Gruppe engagiert sich vorwiegend bei der Implementation von wichtigen Softwarekomponenten zum Betrieb des ATLAS-Triggers. So ist die Gruppe zum Beispiel verantwortlich für das Konfigurationssystem des Triggers und das System zur Überwachung der Datennahme.

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 bei der Rekonstruktion 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 in das ATLAS-weite System von Online-Datenbanken integriert ist. Zu Beginn der Datennahme (oder Simulation) ziehen die Komponenten des Triggers die Konfigurationsdaten aus der TriggerDB. Weil die HLT-Prozesse auf etwa 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 ist ein grafisches Interface (TriggerTool) in Java entwickelt worden. 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. Im Hamburger Rechenzentrum des DESY sind Kopien der TriggerDB installiert, um Tests durchzuführen und die weitere Entwicklung voranzubringen. Das Konfigurationssystem, das direkt am Experiment installiert ist, wird in den bereits erwähnten Tests der kombinierten Datennahme aller Detektoren routinemäßig zur Konfiguration der Triggerselektion eingesetzt. Auch für die Selektion von Signalen kosmischer Myonen werden die Triggerkomponenten bereits durch dieses System konfiguriert. Diese Tests erlauben es, die Funktionalität des Systems im Hinblick auf die erste Datennahme im Sommer 2008 zu verbessern.

Trigger-Studien

Die Algorithmen, die zur Selektion der Ereignisse im ATLAS-Triggersystem verwendet werden, können zu jedem Zeitpunkt im Rahmen der technischen Gegebenheiten verändert werden. So sind z. B. verschiedene Optimierungen der Selektion möglich. Die Gruppe beteiligt sich vor allen Dingen an der Optimierung der Selektion des Elektronentriggers. Hier können beispiels-

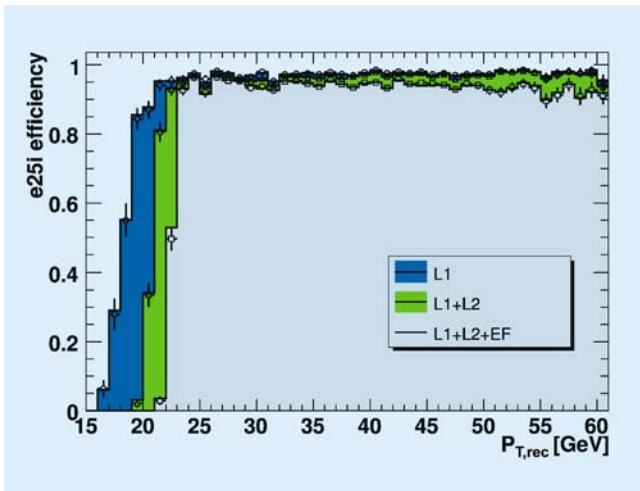


Abbildung 66: Effizienz des ATLAS-Triggers für die Selektion von Elektronen auf den verschiedenen Triggerstufen: Vergleich der Ergebnisse aus der *tag&probe*-Methode (offene Symbole) und aus Monte-Carlo-Information (Histogramme).

weise die Algorithmen, die in der Hardware (FPGA Firmware) der ersten Triggerstufe implementiert sind, im Rahmen der technischen Möglichkeiten verändert und neu angepasst werden (z. B. Schnitt-Parameter). Da die Selektion auf den höheren Triggerstufen als Software implementiert ist, können hier im Prinzip vollkommen neue Algorithmen entwickelt werden. Am DESY werden vor allen Dingen so genannte multivariate Methoden zur Selektion von Elektronen studiert.

Ein wichtiger Aspekt vieler Studien am LHC (z. B. Messung von Wirkungsquerschnitten oder Massen) ist die richtige Berücksichtigung von Triggereffizienzen. Zur Bestimmung von Triggereffizienzen am LHC sind einige Methoden bekannt. Eine Methode, die bereits am Tevatron und anderen Collidern benutzt worden ist, ist die so genannte *tag&probe*-Methode, die bei DESY auf den $Z \rightarrow e^+e^-$ Kanal angewandt wurde. In dieser Methode werden in einer Offline-Selektion Ereignisse ausgewählt, die einen rekonstruierten Zerfall $Z \rightarrow e^+e^-$ aufweisen. Es wird verlangt, dass eines der Elektronen den Elektron-Trigger ausgelöst hat (*tag*). Das zweite Elektron (*probe*) kann dann zur Bestim-

mung der Triggereffizienz für Elektronen benutzt werden. Die DESY-Gruppe ist führend an den Studien zur Leistungsfähigkeit dieser Methode mit simulierten Ereignissen beteiligt. Teile der Ergebnisse der Studie werden im ATLAS-Detektor-Referenz-Papier veröffentlicht und sind in Abbildung 66 gezeigt. Zu sehen ist das charakteristische Schwellenverhalten der Triggereffizienz für die verschiedenen Triggerstufen. Die offenen Symbole zeigen die Ergebnisse aus der *tag&probe*-Methode für eine Datenmenge, die bei einer Luminosität von 100 pb^{-1} genommen würde, während die Histogramme die Effizienz aus Monte-Carlo-Information darstellen. Man erkennt, dass die *tag&probe*-Methode die Effizienzwerte aus Monte-Carlo-Information gut reproduzieren kann und man bereits mit einem relativ kleinen Datensatz recht geringe Unsicherheiten erhält.

Trigger-Monitoring

Für eine erfolgreiche Datennahme ist es wichtig, die Funktion des Triggers und des gesamten Detektors laufend zu überwachen. Zum einen muss der Schichtbesatzung die Möglichkeit gegeben werden, im Falle einer Fehlfunktion schnell eingreifen und die fehlerhaften Komponenten identifizieren 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 der Gruppe der Humboldt Universität beide Aspekte der Triggerüberwachung übernommen.

Da die höheren Triggerstufen bei ATLAS aus Software bestehen, die auf Standard-Rechnersystemen laufen, kann das Trigger-Monitoring leicht in diese Programme integriert werden. Dies erlaubt einen Zugriff auf alle für die Ereignis Selektion verwendeten Informationen, 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. Des Weiteren werden diese Histogramme im so genannten *Data Quality Monito-*

ring Framework (DQMF) analysiert und die Ergebnisse für die weitere Datenanalyse gespeichert. Auch die Analyse der Trigger-Information im DQMF wird von der DESY/Humboldt-Gruppe koordiniert.

Zusätzlich zur Funktion des Triggers muss die Hardware des Datennahmesystems selbst überwacht werden. Dazu veröffentlichen alle Programme und Hardwarekomponenten Informationen über ihren Zustand auf dem so genannten *Information Server* (IS). Bei DESY wird ein Programm entwickelt (OMD), das beliebige Informationen vom IS darstellen und analysieren kann. Die große Flexibilität dieses Programms macht es besonders nützlich bei der Inbetriebnahme des Datennahmesystems.

Minimum-Bias-Trigger

Mit *Minimum-Bias* werden Ereignisse bezeichnet, bei denen Quarks oder Gluonen mit sehr niedrigen Energien wechselwirken, was für die Mehrzahl der Ereignisse zutrifft. Diese Ereignisse sind zum einen interessant für das Verständnis der starken Wechselwirkung bei kleinen Impulsüberträgen, zum anderen treten bei höheren Luminositäten mehrere solcher Ereignisse pro Strahlkreuzung auf, die dann Untergrund für die interessierenden seltenen Reaktionen sind. Zur Analyse der interessanten Prozesse müssen die Minimum-Bias-Ereignisse daher gut verstanden sein.

Die Schwerpunktsenergie am LHC entspricht der einer Streuung eines Protons mit einer Energie von etwa 10^{17} eV an einem ruhenden Proton. Das ist ein für Experimente mit kosmischer Strahlung besonders interessanter, aber auch experimentell schwieriger Energiebereich. Energie und Masse der primären kosmischen Strahlung werden bei hohen Energien aus der Vermessung von Luftschauern erschlossen. Die Güte der Vermessung hängt von der Zuverlässigkeit von Modellen für die Luftschauersimulation ab, für die Minimum-Bias-Analysen dringend benötigte Eingabedaten liefern können.

Bei niedrigen Luminositäten kann man Minimum-Bias-Ereignisse einzeln selektieren und analysieren.

Daher wird bei DESY ein Trigger für solche Ereignisse entwickelt. Eine Möglichkeit, bei ATLAS auf solche Ereignisse zu triggern, sind spezielle Szintillationszähler im Endkappenbereich. Diese Zähler sind sehr schnell und können daher schon auf der ersten Stufe ein Signal geben. Andererseits sind sie nur in einem begrenzten Rapiditätsbereich installiert, was die Triggereffizienz einschränkt. Bei DESY wird daher eine alternative Methode verfolgt. Bei einer Luminosität von ca. 10^{31} cm⁻²s⁻¹, wie sie in der ersten Periode erwartet wird, beträgt die Wahrscheinlichkeit für ein Minimum Bias Ereignis ca. 10% pro Strahlkreuzung. Es reicht daher aus, wenn man die gewünschte Triggerrate durch einen Zufallstrigger in der ersten Stufe einstellt und dann die Selektion in den höheren Stufen durchführt. Durch einen einfachen Schnitt auf die Anzahl der rekonstruierten Raumpunkte in Silizium-Streifendetektor können die leeren Strahlkreuzungen mit hoher Effizienz verworfen werden. Eine anschließende Spurrekonstruktion in den Pixel- und Streifendetektoren erlaubt auch eine fast vollständige Abtrennung von Strahl-Gas-Ereignissen.

Software und Computing

Der instrumentelle Hauptbeitrag von DESY liegt weiterhin in der Bereitstellung eines Tier-2-Zentrums für jedes LHC-Experiment. Dieses steht zur Simulation und zur Datenanalyse bereit. In Kooperation mit dem Tier-1 in Karlsruhe und den daran angeschlossenen Tier-2-Zentren wurde die Produktion von Simulationsdaten gefördert und Weiterentwicklungen der Software unterstützt.

DESY baut im Rahmen der Helmholtz-Allianz eine *National Analysis Facility* (NAF) auf, um für deutsche Physiker zusätzliche Rechenkapazitäten für Physikanalysen bereit zu halten. Die hier gewonnenen Erfahrungen werden im Rahmen der Tier-3 Task Force der ATLAS-Kollaboration zur Verfügung gestellt.

Im Bereich der Datenverteilung werden Werkzeuge zur Überwachung der Datenübertragung entwickelt und für die ATLAS-Kollaboration nutzbar gemacht.

DESY beteiligt sich personell an der Überwachung der Datenverteilung und unterstützt die Weiterentwicklung der vorhandenen Softwarepakete. Die Portierung der ATLAS-Software auf unterschiedliche Plattformen wird am DESY aktiv unterstützt. Dabei steht DESY in enger Zusammenarbeit mit den Entwicklern am CERN.

Des Weiteren ist die Gruppe beteiligt an der schnellen Simulation von elektromagnetischen Schauern und ist verantwortlich für die Schnittstellen zwischen den Ereignisgeneratoren und der ATLAS-Simulationssoftware.

Monte-Carlo-Generatoren

Die DESY-Gruppe hat die Verantwortung für die Einbindung von Monte-Carlo-Generatoren in die ATLAS-Software seit September 2007 übernommen. Neben der Unterstützung der bereits existierenden Software wurde damit begonnen, strukturelle Veränderungen einzuführen und neue Monte-Carlo-Generatoren für ATLAS zu benutzen.

Die ATLAS-Kollaboration verwendete ATLAS-spezifische, teilweise ältere Versionen von Generatorsoftware, was einen höheren Aufwand an Validierung und Unterstützung bedeutet. Es wird jetzt begonnen, die von der LCG-Gruppe *Generator Services* (GENSER) zur Verfügung gestellte Software zu benutzen (LCG = LHC Computing Grid Project). Diese Software soll LHC-weit angewandt werden und wird für alle GRID-Plattformen validiert. Beispielsweise wurde das Paket HepMC, das generatorunabhängige Format zur Speicherung der generierten Teilchen und ihrer Zerfallsprodukte, auf die neueste Version und auf die Benutzung der GENSER-Bibliothek umgestellt.

ATLAS hat damit begonnen, die Dokumentation der verschiedenen Projekte zentral zu validieren. Die Validierung der Monte-Carlo-Generatoren ist für Januar geplant. In diesem Zusammenhang wurde die Generator-Software dokumentiert.

Es wurde damit begonnen, den Monte-Carlo-Generator Herwig++, der in C++ neu geschriebene Generator Herwig, in die ATLAS-Software einzubinden.

Simulation elektromagnetischer Schauer

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, die in fünf Schritte aufgeteilt ist. Als erstes werden entweder einzelne Teilchen für Detektorstudien oder physikalische Prozesse generiert. Darauf folgt die Simulation des Detektors, Digitalisierung der simulierten Hits und die Rekonstruktion der gemessenen Teilchen. Das Zeitbudget wird durch die reine Detektorsimulation dominiert, die zwischen 10 und 15 Minuten für ein typisches Physikereignis braucht. DESY und die Universität Hamburg arbeiten im Rahmen einer ATLAS-Task-Force an der Reduzierung der Simulationszeit im elektromagnetischen Kalorimeter. Rund 60% der Simulationszeit wird dort aufgewandt. Eine signifikante Reduzierung kann mit der Methode der *Frozen Showers* erreicht werden, die darauf beruht, Elektronen mit niedriger Energie durch vorgefertigte Template-Schauer zu ersetzen. Mit dieser Methode kann die Simulationszeit für Elektronen um einen Faktor 10 bis 20 gesenkt werden. Für typische Physikereignisse liegt die Zeitersparnis zwischen zwei und drei.

DESY hat die Methode der Frozen Showers vorgeschlagen, entwickelt und innerhalb der ATLAS-Software implementiert. Der Schwerpunkt der jetzigen Arbeit liegt auf der Erstellung der Template-Schauer. Um Speicherplatz zu sparen, werden die Template-Schauer in kinematischen Variablen des elektromagnetischen Schauers parametrisiert. Für den Barrel- und Endkappenbereich hat sich eine Parametrisierung in der Schauerenergie und der Pseudorapidität als optimal erwiesen. Damit werden typische Schauervariablen auf einige Prozent genau beschrieben. Diese Genauigkeit sollte für die Analyse der Daten ausreichen. Die Methode der Frozen Shower ist offiziell in die ATLAS-Simulation aufgenommen worden und wird zur Zeit validiert. Weitere Studien für ein besseres Verständnis und damit einer

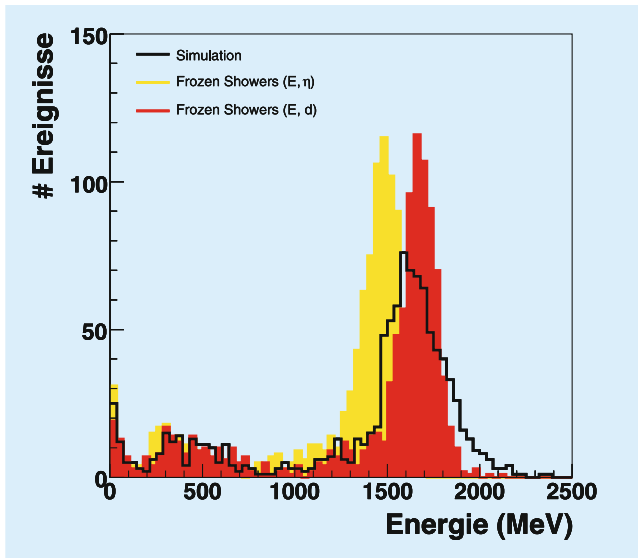


Abbildung 67: Verteilung der deponierten Energie im Vorwärtskalorimeter für die volle Schauer-simulation (schwarze Linie) und Template-Schauer mit η (gelb) bzw. mit d (rot) Parametrisierung.

besseren Beschreibung der Simulation sind jedoch noch nötig.

Weitere Studien zum Zeitverbrauch in der Kalorimetersimulation haben gezeigt, dass die Frozen Shower Methode in bestimmten Energiebereichen auch auf Photonen ausgeweitet werden sollte. Photonen wurden bis jetzt nicht explizit behandelt. Sie wurden implizit durch die Frozen Shower Methode parametrisiert, sobald ein Photon ein Elektron-Positron-Paar erzeugt hat. Die mittlere Weglänge für niederenergetische Photonen (im Bereich der Energieschwelle für Paarerzeugung) ist aber signifikant länger als für mittelenergetische Photonen, so dass eine explizite Parametrisierung dieser Photonen eine signifikante Zeitersparnis ergibt. Template-Schauer für Photonen werden nun standardmäßig erzeugt und zusätzlich zu den Template-Schauern für Elektronen in der Simulation benutzt.

Seit längerem wurde die Methode der Frozen Shower auch auf das elektromagnetische Vorwärtskalorimeter angewandt. Die Parametrisierung der Template-Schauer in der Schauerenergie E und der Pseudorapidität η wurde vom Barrel- auf den Vorwärtsbereich übertragen.

Leider ist die Übereinstimmung in z. B. der deponierten Energie nie besser als 10% (siehe Abbildung 67). Diese Problematik wurde auf einem Simulations-Workshop bei DESY in Hamburg diskutiert. Ausführliche Diskussionen mit Simulations- und Detektorexperten haben ergeben, dass die derzeitige Parametrisierung der Template-Schauer für das Vorwärtskalorimeter nicht optimal ist. Die Geometrie im Vorwärtsbereich unterscheidet sich signifikant von der im Barrel- oder Endkappenbereich. Hier ist eine Parametrisierung in der Pseudorapidität η nicht notwendig. Viel wichtiger ist die Unterscheidung, ob der Schauermittelpunkt im aktiven oder passiven Material des Kalorimeters liegt. Für diese Unterscheidung wird der Abstand d zum Mittelpunkt einer Kalorimeterzelle benutzt. Diese Parametrisierung der Template-Schauer wird zurzeit implementiert und erste Tests haben gezeigt, dass dadurch die deponierte Energie signifikant besser reproduziert wird. Dies ist in Abbildung 67 dargestellt.

ALFA

Seit dem Jahr 2007 nimmt DESY am Bau des ALFA Detektors teil. ALFA ist ein Vorwärts-Spektrometer, das die elastisch oder quasi-elastisch (diffraktiv) gestreuten Protonen nachweisen kann. Über die Messung des elastischen Streuquerschnittes kann auf die absolute Luminosität am ATLAS Wechselwirkungspunkt geschlossen werden. Der Detektor besteht aus einem System von so genannten *Roman-Pots*, das auf beiden Seiten des Wechselwirkungspunktes in einer Entfernung von ca. 240 m aufgestellt wird. Ein *Roman-Pot* ist ein zylindrischer, evakuierter Behälter, der einen Detektor beinhaltet. Er erlaubt, den Detektor bei stabilen Stahlbedingungen ganz nah an den Strahl zu fahren, vom Vakuum der Maschine nur durch ein sehr dünnes Fenster getrennt.

Die ALFA Sensoren bestehen aus dünnen (0.5 mm^2) szintillierenden Fasern, die mit hoher Präzision dicht nebeneinander auf beiden Seiten einer Titanplatte aufgeklebt werden. In einem *Roman-Pot* sind 10 solche Sensoren mit insgesamt 20×64 Fasern installiert. Diese sollen die Position gestreuter Protonen mit einer Präzi-

sion von ca. $30\ \mu\text{m}$ in Bezug auf den Strahl bestimmen. Zusätzlich werden noch drei Platten mit Fasern als so genannte Überlappdetektoren verwendet.

Alle Fasern werden mit Hilfe von Multi-Anode PMTs (jeweils 64 Kanäle) ausgelesen. Es werden also pro *Roman-Pot* 20 MAPMTs und 3 MAPMTs für die Überlappdetektoren benötigt. Abbildung 68 zeigt die zehn ALFA Sensoren (grau) und die drei Überlappensensoren (hellgrau) mit schematisch eingezeichneten Faserbahnen. Die Fasern werden durch runde Löcher in der oberen Platte zu den MAPMTs geführt.

Der gesamte Detektor besteht aus acht *Roman-Pots*, vier auf jeder Seite des Wechselwirkungspunktes, davon jeweils zwei oben und zwei unten. Jeder *Roman-Pot* wird durch spezielle Triggerszintillatoren getriggert. Die Entwicklung der Triggerzähler ist noch nicht abgeschlossen.

DESY hat zusammen mit der Universität Gießen und der Humboldt Universität die Verantwortung für den Bau wesentlicher Komponenten des Detektors übernommen. Das sind die präzise gefrästen Titanplatten

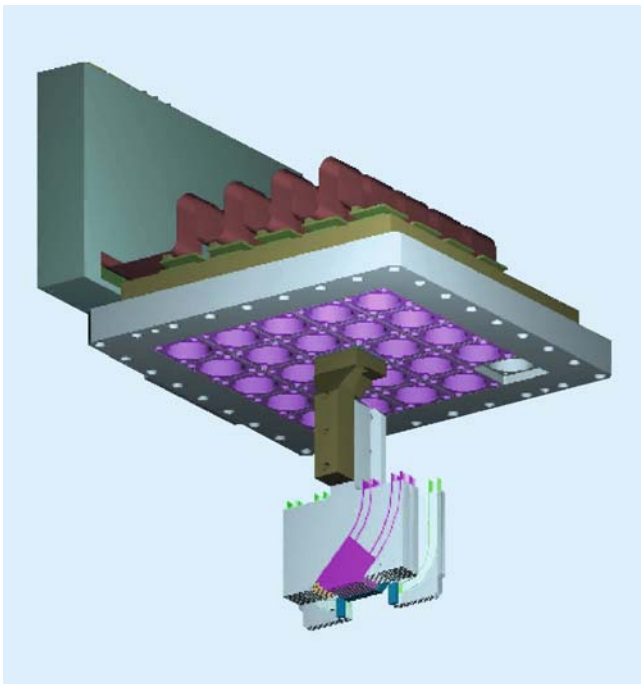


Abbildung 68: Schematischer Aufbau des ALFA-Detektors.

mit aufgeklebten Fasern für den Positionsdetektor, die Überlappdetektoren und die MAPMTs. Alle Teile werden bei DESY vermessen um die Position jeder Faser innerhalb des Detektors mit einer Präzision von besser als $5\ \mu\text{m}$ zu bestimmen. Auch die MAPMTs müssen mit ähnlicher Genauigkeit positioniert werden, um eine optimale Lichtausbeute zu gewährleisten. DESY ist zusammen mit der Universität Gießen außerdem führend am Aufbau der Analyse- und Simulationssoftware beteiligt.

Die primäre Aufgabe des Detektors ist die Messung der elastischen Proton-Proton Streuung. Die Messung soll in den Bereich der Coulomb-Streuung ausgedehnt werden ($t \sim 6 \cdot 10^{-4} \text{GeV}^2$), um die absolute Luminosität aus der gut bekannten elektromagnetischen Wechselwirkung zu bestimmen. Darüber hinaus kann die Luminosität auch aus dem Vergleich des elastischen und des totalen Wirkungsquerschnittes bestimmt werden. Mit dem Detektor kann auch, bei nicht zu hoher Luminosität, diffraktive Streuung untersucht werden. Theoretische Untersuchungen zu der Bedeutung der Diffraktion für die LHC Physik werden zurzeit bei DESY durchgeführt. Längerfristig ist die Messung der Elastischen Streuung als erster Schritt zu einem Programm der Vorwärtsphysik beim LHC zu sehen.

Physikstudien

Nachdem die Gruppe sich im ersten Jahr im Wesentlichen auf Servicearbeiten konzentriert hat, wurden in diesem Jahr auch die Studien zu Vorbereitung der Physikanalyse intensiviert. Dabei konzentriert sich die Gruppe auf drei Aspekte, Analysen im Rahmen des Standardmodells, Physik mit Top-Quarks und der Suche nach Supersymmetrie (SUSY). Als Teil der SUSY-Studien beschäftigt sich die Gruppe auch mit der Rekonstruktion von τ -Leptonen. Während die Top- und SUSY-Studien schon weiter fortgeschritten sind, stehen die Standardmodell-Analysen noch am Anfang. Hier haben Arbeiten zur Rekonstruktion von Ereignissen mit W- und Z-Bosonen sowie von Minimum-Bias-Ereignissen begonnen.

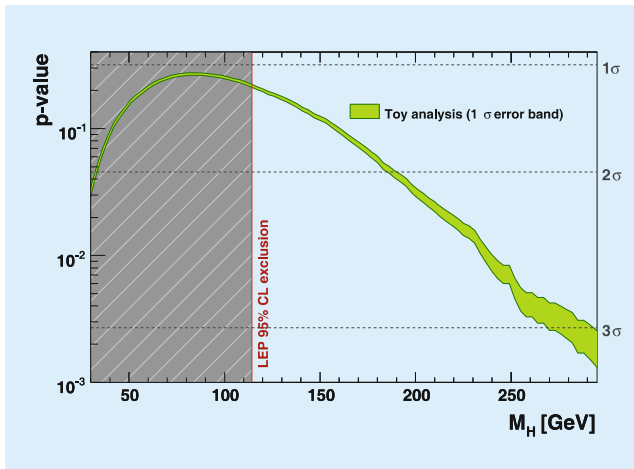


Abbildung 69: *P-Value des Standardmodells als Funktion der Higgs-Masse.*

Die Suche nach dem Higgs-Boson, dem letzten noch fehlenden Baustein des Standardmodells (SM), steht im Fokus der Arbeit der Kollaboration. Bisher kann man nur indirekte Rückschlüsse auf die Masse des Higgs-Bosons ziehen, in dem χ^2 -Anpassungen an bereits verfügbare Präzisionsmessungen von LEP- und Tevatron-Experimenten durchgeführt werden. In Zusammenarbeit mit CERN und der Universität Hamburg werden diese Studien in der DESY-Gruppe im Rahmen eines neuen Software-Frameworks, Gfitter, durchgeführt. In Abbildung 69 ist der Verlauf des so genannten *p-Value* des SM – der Wahrscheinlichkeit im Rahmen der Unsicherheiten der einzelnen Messungen einen χ^2 -Wert zu erhalten, der größer als der tatsächlich beobachtete Wert des globalen SM Fits ist – als Funktion der Higgs-Masse zu sehen. Es zeigt sich, dass diese Messungen kleine Massen des Higgs (etwa 100 GeV) bevorzugen.

Rekonstruktion von τ -Leptonen

Um Messungen mit τ -Leptonen im Standardmodell und insbesondere die geplanten Analysen zur Entdeckung und präzisen Vermessung von SUSY durchführen zu können, ist eine effiziente τ -Lepton-Rekonstruktion mit guter Untergrundunterdrückung und ein sehr präzises Verständnis der Eigenschaften dieser Rekonstruktion

notwendig. Die DESY-ATLAS-Gruppe engagiert sich daher mit drei Schwerpunkten an der Studie von τ -Leptonen, nämlich den notwendigen Umgebungen zur Entwicklung der Rekonstruktionsalgorithmen, der Verbesserung der Rekonstruktionsalgorithmen selbst und im Bereich der Analyse der Leistungsfähigkeit und Auflösung der Algorithmen unter Verwendung der ersten Daten.

Entwicklung der τ -Rekonstruktionsalgorithmen

Die von der DESY-ATLAS-Gruppe geplanten SUSY-Analysen erfordern eine möglichst gute Effizienz und Untergrundunterdrückung der τ -Identifikationsalgorithmen gerade für τ -Leptonen mit kleinem Transversalimpuls. Daher werden in der DESY-ATLAS-Gruppe verschiedene Verbesserungen der Identifikationsalgorithmen studiert.

Um solche Algorithmen effizient entwickeln zu können, wurden zunächst Datenstrukturen geschaffen, die einen schnellen Zugriff auf die relevante Information erlauben. Dazu wurde der TauDPDMaker entwickelt, der als eines der ersten Werkzeuge das neue ATLAS-Analysemodell mit so genannten DPDs, *Derived Physics Data*, implementiert. Dabei werden die detaillierten Daten nur für die Ereignisse und nur die Bereiche des Detektors gespeichert, in der ein wahres (im Fall von Simulationsdaten) oder rekonstruiertes τ -Lepton erwartet wird. Auf dem in der Größe stark reduzierten DPD kann dann effizient und genau eine Entwicklung und eine Messung der Eigenschaften der Algorithmen vorgenommen werden. Ein zusätzlicher Mechanismus zum parallelen oder ausschließlichen Erstellen von n-Tupeln erlaubt den quasi-automatischen Vergleich von Algorithmen und Messungen der Eigenschaften der Algorithmen.

Ein wichtiges Kriterium zur Auswahl der hadronisch zerfallenden τ -Leptonen ist ihre Eigenschaft, meist ein oder drei Spuren zu enthalten. Die Nutzung dieser Information wird dadurch erschwert, dass in vielen Fällen ein von einem π^0 -Zerfall aus dem Zerfall des τ -Leptons stammendes Photon in ein Elektron-Positron-Paar kon-

vertiert und die Zahl der Spuren erhöht. Eine spezifische Rekonstruktion der Konversionen kann die Zahl der mit der korrekten Zahl von Spuren rekonstruierten τ -Leptonen stark vergrößern, insbesondere für kleine Transversalimpulse, wo die Trennung der Spuren und die Identifikation der Vertizes der Konversionen aufgrund des Magnetfelds klar möglich ist.

Unabhängig von den Photon-Konversionen ist die Qualitätsselektion der π^\pm -Spuren eine wichtige Eigenschaft der Identifikation. Harte Schnitte auf die Spurrekonstruktion verbessern die Zuordnung von 1- und 3-Spurzerfällen und die Energie- und Richtungsauflösung, verschlechtern aber die Untergrundunterdrückung, da bei harten Qualitätsschnitten die mittlere Zahl der Spuren von QCD-Jets sinkt. Die DESY-ATLAS-Gruppe studiert mögliche Verbesserungen, in denen für die Identifikation und Untergrundunterdrückung eine lose Spurrekonstruktion verwendet wird, während die Energie- und Richtungsinformation mit härteren Schnitten berechnet wird.

Messung der Eigenschaften von τ -Rekonstruktionsalgorithmen aus ersten ATLAS-Daten

Die Bestimmung der Eigenschaften der τ -Rekonstruktion erfolgt bislang meist aus dem Vergleich zwischen Rekonstruktion der Monte-Carlo-Ereignisse und der Monte-Carlo-Wahrheit. Sobald erste Daten des ATLAS-Experiments verfügbar sind, sollten experimentelle Parameter, wie Energieauflösung, Winkelauflösung, Effizienz und Untergrundunterdrückung sowie der fehlerhaften Identifikation von Untergrund als τ -Leptonen (*fake rate*), direkt aus den Daten ohne Verwendung der Monte-Carlo-Simulationen bestimmt werden. Zur Vorbereitung dieser Messungen simuliert die DESY-ATLAS-Gruppe die Bestimmung der fake rates von QCD-Jets und der Effizienzen und Untergrundunterdrückung aus echten Daten mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulationen.

Als Beispiel sind in Abbildung 70 fake rates von QCD-Jets gezeigt, die aus Monte-Carlo-Daten mit der für echte Daten entwickelten Methode bestimmten wur-

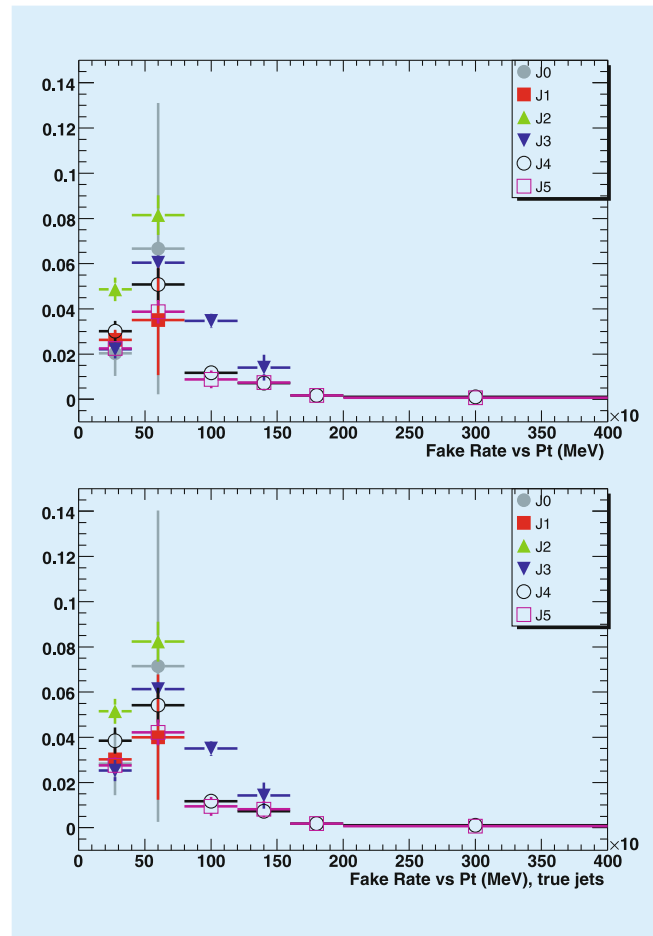


Abbildung 70: *Fake rates* verschiedener Monte-Carlo-Datensätze, die mit dem TauIP3P-Algorithmus bestimmt wurden. Man sieht eine sehr gute Übereinstimmung zwischen rekonstruierten (oben) und generierten (unten) Jets.

den, im Vergleich mit fake rates, die direkt aus der Monte-Carlo-Wahrheit bestimmt wurden.

Supersymmetrie

Zur Vorbereitung der ATLAS-Datenanalyse untersucht die DESY-Gruppe schwerpunktmäßig das Entdeckungspotenzial für supersymmetrische Erweiterungen des Standardmodells. Supersymmetrie (SUSY) ist eine Symmetrie zwischen Bosonen und Fermionen. Teilchen, die sich unter einer SUSY-Transformation

ineinander umwandeln, werden Superpartner genannt. Wegen ihres Potenzials, offene Fragen der Teilchen- und Astrophysik zu erklären, sind supersymmetrische Theorien sehr populär. Die meisten Theorien zur *Großen Vereinheitlichung* und Superstringtheorien sind supersymmetrisch. Die minimal mögliche, mit bisherigen Erkenntnissen kompatible Erweiterung des Standardmodells der Teilchenphysik (SM), das Minimale Supersymmetrische Standardmodell (MSSM), ist der am meisten untersuchte Kandidat für Physik jenseits des Standardmodells. Allerdings konnte trotz vielversprechender theoretischer Argumente bis heute kein experimenteller Beweis erbracht werden, dass Supersymmetrie tatsächlich in der Natur existiert, insbesondere wurden noch keine Superpartner bekannter Teilchen beobachtet, die im Massenbereich bis etwa 1 TeV erwartet werden. Durch die hohe Schwerpunktenenergie und Luminosität wird dieser Energiebereich mit der Inbetriebnahme des LHC zum ersten Mal zugänglich.

Da die neuen supersymmetrischen Teilchen offensichtlich nicht die Massen ihrer SM-Partner tragen, muss Supersymmetrie gebrochen sein. Verschiedene Mechanismen der SUSY-Brechung führen zu unterschiedlichen Teilchenspektren und somit auch zu unterschiedlichen experimentellen Signaturen in Proton-Proton-Kollisionen am LHC. In einigen Modellen, die von heute zugänglichen Messungen bevorzugt werden, befinden sich insbesondere τ -Leptonen in den Endzuständen. Eine HGF-Nachwuchsgruppe am DESY beschäftigt sich deshalb mit der Rekonstruktion von τ -Leptonen im ATLAS-Detektor und mit dem speziellen Studium von Endzuständen mit τ -Leptonen in supersymmetrischen Modellen.

Einer der Mechanismen, der zu SUSY-Brechung führt, ist in so genannten *gauge mediated supersymmetry breaking* Modellen (GMSB) umgesetzt. In diesen Modellen ist in weiten Bereichen des Parameterraumes das Neutralino, das supersymmetrische Teilchen mit der zweitleichtesten Masse (*next-to-lightest-supersymmetric particle*, NLSP). Da das Gravitino das leichteste SUSY Teilchen (LSP) ist, zerfällt das Neutralino in ein Gravitino und ein Photon. Da in R-Paritätserhaltenden Modellen SUSY-Teilchen nur paarweise in pp-Kollisionen produziert werden können, führen diese

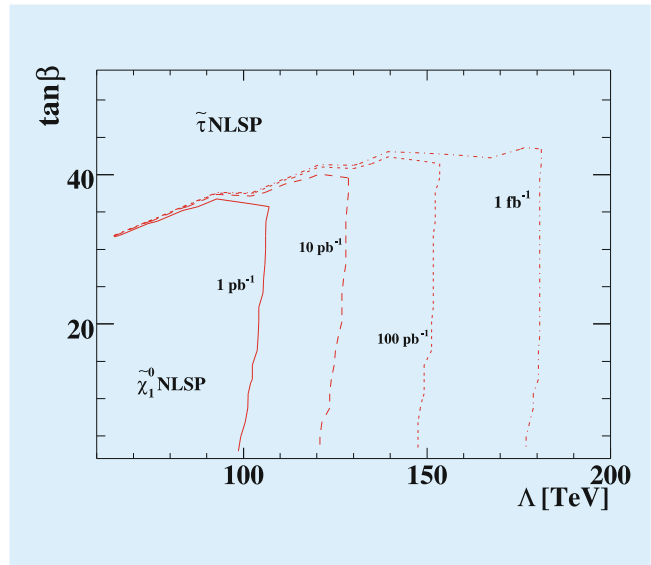


Abbildung 71: Messbare Bereiche für verschiedene Luminositäten für GMSB-SUSY-Modelle mit Endzuständen mit zwei hochenergetischen Photonen.

Modelle zu zwei hochenergetischen Photonen im Endzustand. In Abbildung 71 sind die messbaren Bereiche im GMSB Parameterraum für verschiedene integrierte Luminositäten bis 1 fb^{-1} gezeigt, was selbst bei geringen Anfangsluminositäten in weniger als einem Jahr zu erreichen wäre. Es zeigt sich, dass bereits die ersten Daten ausreichen könnten, um diese Modelle zu entdecken (Signalsignifikanz > 5), wenn sie in der Natur realisiert sind.

Top-Quark Physik

Mit dem LHC wird ab Mitte 2008 erstmals eine Maschine bereit stehen, die Top-Quarks in großer Anzahl produzieren wird und deshalb zurecht den Titel „Top-Fabrik“ verdient. Die Wirkungsquerschnitte für im Wesentlichen durch Gluon-Gluon-Fusion erzeugte Top-Paare und elektroschwach produzierte einzelne Top-Quarks sind mit 833 pb und 323 pb etwa hundertmal höher als am Tevatron.

Untersuchungen des Top-Quarks am LHC und damit auch an ATLAS sind daher von großer Relevanz, da sie neben der Anreicherung des Wissens über das

Top-Quark selbst, auch der Charakterisierung einer der Hauptquellen für Untergrund für neue Physik dienen.

Eine notwendige Voraussetzung für die Analyse des Top-Quarks ist die korrekte und effiziente Selektion von Top-Ereignissen. Deshalb war einer der Schwerpunkte der Arbeit auf diesem Gebiet die Untersuchung des ATLAS-Triggersystems im Hinblick auf die Auswahl von Top-Ereignissen. Der nahezu hundertprozentige Zerfall der Top-Quarks in ein W-Boson und ein Bottom-Quark und der weitere Zerfall des W-Bosons in entweder ein Lepton-Neutrino- oder ein Quark-Antiquark-Paar hinterlässt im Detektor verschiedene markante Signaturen. So lassen sich Signaturen sowohl aus leptonischen und hadronischen Triggern (auch mit höheren Multiplizitäten) als auch Triggern für fehlende transversale Energie (\cancel{E}_T) kombinieren.

In Zusammenarbeit mit der Top-Trigger-Arbeitsgruppe von ATLAS hat die DESY-Gruppe sich speziell mit der Untersuchung der hadronischen Jet-Trigger, der \cancel{E}_T und ΣE_T Trigger, sowie der Redundanz und dem Überlapp verschiedener Trigger beschäftigt. Eine weitere wichtige Rolle spielte die Analyse und die Entwicklung von Monitor-Triggern, zur Bestimmung des Trigger-Effizienz an Hand von Daten.

Die Untersuchungen der Jet-Trigger beschäftigten sich im Konkreten mit der Fähigkeit des Systems, speziell Ereignisse mit höheren Jet-Multiplizitäten zu selektieren, sowie der Bestimmung der Triggereffizienz als Funktion der Jet-Energie, -Rapidität und Azimutwinkels. Weiterhin wurde die systematische Effekte bei der Bestimmung der Jet-Energie auf dem ersten Trigger-Level untersucht und es wurden Effizienzen und Raten der im Physikprogramm relevanten Trigger abgeschätzt.

Bei den Analysen der \cancel{E}_T und ΣE_T Trigger ging es in erster Linie um eine Abschätzung ihrer Selektivität. Dabei wurde festgestellt, dass \cancel{E}_T Trigger erst ab Schwellen von etwa 50 GeV und in Kombination mit anderen Triggern sinnvoll nutzbar sind. Dies ist hauptsächlich bedingt durch die sehr grobe Messung von \cancel{E}_T , die in den ersten Tagen von ATLAS sicherlich zusätzlich fehlerhaft sein wird. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass

sich der ΣE_T Trigger, bedingt durch den enormen QCD-Untergrund, lediglich für die Detektor-Inbetriebnahme und in der Anfangsphase (kein Pile-Up) nutzen lässt.

Die Studien zur Redundanz und dem Überlapp verschiedener Trigger galten dem Auffinden und der Charakterisierung der Korrelation zwischen den verschiedenen Triggerobjekten. Dabei wurde eine Auswahl relevanter Trigger gegenüber gestellt und die Ansprechwahrscheinlichkeit des einen als Funktion des jeweils anderen bestimmt. Diese Untersuchungen, welche sowohl für verschiedene Luminositäten als auch Ereignis-Auswahl-Kriterien durchgeführt wurden, geben Aufschluss, welche Trigger sich sinnvoll und möglichst korrelationsfrei kombinieren und welche sich als Monitor-Trigger nutzen lassen. Die Grundidee bei der Einführung von Monitor-Triggern ist die Bestimmung der Effizienz eines Triggers nur an Hand von Daten und damit befreit von zusätzlichen, durch Monte-Carlo-Simulationen eingebrachten, systematischen Fehlern.

Zusätzlich zu den Untersuchungen auf dem Gebiet der Auswahl von Top-Ereignissen, hat die Arbeitsgruppe an der Entwicklung und Pflege von allgemein zugänglicher und genutzter Software mitgearbeitet und wichtige Funktionen bei der Validierung und Produktion von Monte-Carlo-Daten, speziell für die Top-Arbeitsgruppe, übernommen.

Standardmodell-Analysen

Zwei weitere Analysen im Rahmen des Standardmodells wurden begonnen. Teile der DESY-Gruppe haben durch ihre HERA-Analysen große Erfahrungen in Parton Verteilungsfunktionen. Diese Erfahrungen sollen für Präzisionsmessungen der W- und Z-Boson Produktion genutzt werden. Studien zu Selektion dieser Ereignisse wurden begonnen. Außerdem sollen die Erfahrungen, die bei der Konzeption des Minimum-Bias-Triggers gewonnen wurden auch weiter genutzt werden. Daher wurde eine detaillierte Analyse solcher Ereignisse begonnen. Als erster Schritt wurden dazu mehrere Monte-Carlo-Generatoren für Minimum-Bias-Ereignisse verglichen.