



Abbildung 61: Im Laufe des Jahres 2005 wurden die ersten Ebenen des hadronischen Kalorimeter Prototyps am DESY zusammengebaut und in Betrieb genommen. Das Bild zeigt eine der ersten Ebenen nach dem Zusammenbau der Scintillatorplatten, aber vor der Installation der Abdeckung. Im vorderen Teil des Fotos sind die $3 \times 3\text{cm}^2$ großen Scintillatorplatten sichtbar, die von neuartigen Silizium-Photodetektoren ausgelesen werden. Diese Sensoren sind klein genug, dass sie direkt in jeden einzelnen Scintillatorziegel integriert werden können. Für den Prototypen wurde die Grösse der Zellen am Rande angepasst, um die Zahl der Auslesekanäle zu minimieren.

International Linear Collider

ILC-Projektgruppe: Mitglieder und Gäste der Gruppen M und FH, darunter insbesondere LC (DESY, Zeuthen – Leiter: H.J.Schreiber) und FLC (Leiter: T. Behnke), sowie etwa 66 Institute aus 17 Ländern (im Rahmen der ECFA Studie).

Sprecher: T. Behnke, E. Elsen und N. Walker, DESY

Nach der für DESY äußerst erfreulichen Entscheidung des Jahres 2004, die supraleitende Technologie für den International Linear Collider, ILC, einzusetzen, war das Jahr 2005 davon geprägt, einen effektiven internationalen Organisationsrahmen für den ILC zu bilden. Im Frühjahr wurde auf der LCWS2005 in Stanford B. Barish zum Direktor des neu gegründeten *Global Design Efforts* (GDE) berufen. In den folgenden Monaten stellte er eine etwa 30-köpfige Gruppe von Experten aus aller Welt zusammen, die den Kern des GDE bilden.

Im Sommer fand in Snowmass der zweite ILC Workshop statt, der einer der Höhepunkte des Jahres für den ILC war. Am Ende des Jahres konnte dann das Baseline Configuration Document (BCD) bereitgestellt werden, in dem die grundlegende Konfiguration des Beschleunigers festgelegt wurde.

B. Barish erklärte bei Amtsantritt, dass er das Design der internationalen Anforderung entsprechend von einem virtuellen Büro aus leiten werde. Mitglieder des GDE sind vor allem Experten der verschiedenen Maschinenabschnitte, wobei in der Regel für jeden Themenbereich aus jeder der Regionen Amerika, Asien und Europa jeweils ein Vertreter gewählt wurde. DESY stellt Vertreter in mehreren Bereichen der Maschine, insbesondere bei der supraleitenden Beschleunigertechnologie, und ist im Exekutivbüro des ILC vertreten.

Die ILC-Projektgruppe am DESY hat diese Entwicklungen begleitet. Die von der EU geförderte Designstudie EUROTeV wird von DESY koordiniert und nahm im Januar 2005 ihre wissenschaftliche Arbeit auf. Im Laufe des Jahres konnten sechs Mitarbeiter in Hamburg und Zeuthen eingestellt werden und trugen zu den für den ILC relevanten Maschinenstudien bei.

Große Fortschritte konnten im Laufe des Jahres bei den verschiedenen Detektorentwicklungsarbeiten erzielt werden. Auch hier konnte die internationale Kooperation verstärkt werden. Erste Ergebnisse der Arbeiten wurden verfügbar und konnten auf Konferenzen vorgestellt werden. DESY übernahm eine zentrale Aufgabe in der Koordination eines von drei Detektor Konzepten des ILC, dem *Large Detektor Concept* (LDC), der wesentlich vom TESLA-Detektor abgeleitet worden ist.

Als großer Erfolg, auch für DESY selbst, kann die Bewilligung der EU-Infrastrukturmassnahme EUDET gesehen werden. Wiederum unter der Federführung von DESY wurde hier ein Antrag einer Großzahl europäischer Institute bewilligt, gemeinsam eine Infrastruktur zum Test hochempfindlicher Detektorkomponenten auszubauen und zu nutzen. Bei einem Fördervolumen von 7 M€ über einen Zeitraum von vier Jahren lassen sich so am DESY-Teststrahl und anderweitig anspruchsvolle Entwicklungsprogramme, wie sie für die Detektoren am ILC erforderlich sind, durchführen.

Zwei Forscherinnen waren 2005 erfolgreich in der Einwerbung von Mitteln für Nachwuchsgruppen, die

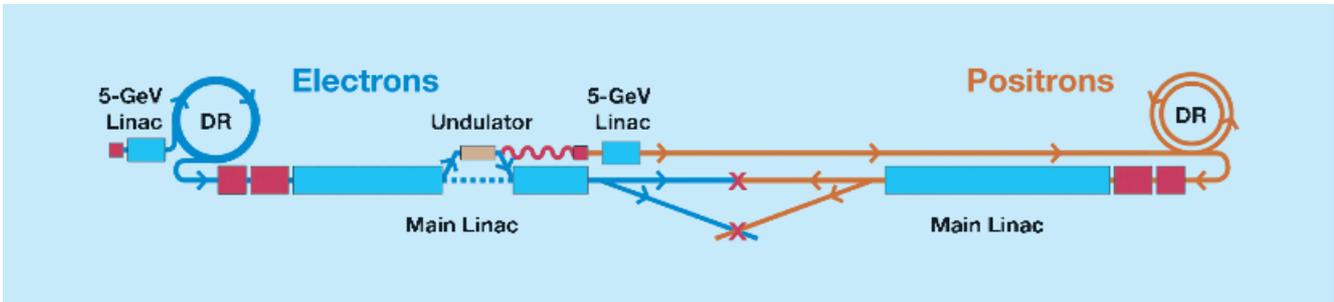


Abbildung 62: Das Layout des ILC gemäß *Baseline Configuration Document (BCD)*

am DESY am ILC angesiedelt werden: Erika Garutti wurde Leiterin einer HGF-Nachwuchsgruppe, die sich mit der Entwicklung eines hadronischen Kalorimeters beschäftigt, und Jenny List erhielt ein Emmy Noether-Stipendium zum Aufbau einer Gruppe im Bereich Polarimetrie und Untersuchungen zur dunklen Materie am ILC. Beide werden zu Beginn des Jahres 2006 ihre Arbeit aufnehmen.

Linearbeschleuniger

Weltweit ist DESY unter den großen Forschungslaboratorien in der vorteilhaften Lage, sowohl den VUV-FEL, eine große Test- und Forschungseinrichtung mit supraleitender Technologie, zu betreiben, als auch ein vielfach größeres Projekt, den XFEL, zur Bewilligungsreife zu führen, das auf gleicher Technologie beruht. Praktische Erfahrung zur Fertigung und Optimierung der supraleitenden Hohlraumresonatoren kann also direkt bei DESY gewonnen werden. Mehrere Besucher aus Japan und Amerika, wo solche Testanlagen erst im Aufbau sind, besuchten DESY im Laufe des Jahres. Ein Industrieforum, *European Industry Forum for Accelerators with SCRF Technology (EIFast)*, wurde im Laufe des Jahres mit dem Ziel gegründet, Firmen die Gelegenheit zu geben, sich auf die Produktion der Resonatoren und Komponenten für die nächsten, größeren Beschleunigerprojekte vorzubereiten. Wegen seiner großen Stückzahl nimmt der ILC dabei eine besondere Rolle ein.

Die neu gegründete ILC-Arbeitsgruppe formierte sich im Laufe des Jahres 2005. Finanziert durch die Eu-

ropäische Kommission im Rahmen des EUROTeV Projektes konnten mehrere Mitarbeiter bei DESY eingestellt werden und ihre Arbeit aufnehmen. DESY koordiniert dieses Projekt. Das ILC-Projekt selbst fand große Beachtung auch in Brüssel selbst. Der EUROTeV-Koordinator wurde eingeladen, das ILC-Projekt als eines der führenden Großprojekte der internationalen Forschung auf einem Treffen des *European Strategy Forum for Research Infrastructure (ESFRI)* in Nottingham darzustellen.

Auslegung des Beschleunigers

Das gegenwärtige Layout des ILC gemäß *Baseline Configuration Document (BCD)* ist in Abbildung 62 gezeigt. Auf einer Strecke von etwas mehr als 30 km wird eine Gesamtenergie von 500 GeV erreicht. Der Tunnel für eine spätere Ausbaustufe in den TeV-Bereich wird zunächst nicht gebaut, allerdings in den Planungen bereits berücksichtigt. Hier wird erwartet, dass mit den Produktionserfahrungen aus der ersten Phase auch höhere Beschleunigungsgradienten zum Einsatz kommen können. Die schematische Zeichnung lässt auch die Position des Undulators zur Erzeugung von Positronen erkennen.

Entwicklung der supraleitenden Technologie

Supraleitende Hohlraumresonatoren sind für den ILC in großer Stückzahl (20000) erforderlich. Die Optimie-

nung der Eigenschaften der Resonatoren ist deshalb eine Schlüsselaufgabe. Ein wichtiger Parameter in diesem Zusammenhang ist der nominelle Beschleunigungsgradient, über den auf dem Snowmass Workshop beraten wurde; im Mittel sollen die Resonatoren einen Gradienten von 31.5 MV/m bei hoher Güte im Strahlbetrieb erreichen. Das ist deutlich mehr als gegenwärtig für den XFEL bei DESY vorgesehen ist und erfordert ein intensives Forschungsprogramm. Amerikanische und japanische Institute haben diese Herausforderung erkannt und bauen gegenwärtig eine entsprechende Infrastruktur auf. DESY versucht gleichzeitig, die Begrenzungen im Fertigungsprozess zu erkennen. Kritischer Parameter bleibt dabei die Reinheit der Oberflächen. Immer wieder kommt es durch einzelne Unregelmäßigkeiten an der Niobium-Oberfläche zur Feldemission und damit zum vorzeitigen Zusammenbruch der Beschleunigerspannung. Ein gewisser Vorteil scheint sich bei Resonatoren, die aus einem Niobium-Einzelkristall geformt werden, abzuzeichnen. Hier ist die Zahl der Korngrenzen von vornherein reduziert. Eine ausreichende Anzahl von Hochgradienten-Resonatoren für ein Modul wird bei DESY voraussichtlich im Jahr 2006 zur Verfügung stehen. Auf der mechanischen Seite der Modulkonstruktion wurde als Ziel für den ILC das Modul der 4. Generation definiert. Hier ist vorgesehen, in der Mitte zwischen den Hohlraumresonatoren einen supraleitenden Quadrupol für die Strahloptik in den Kryostaten einzubauen. Weitere Elemente, wie z. B. piezo-getriebene Tuner, die der elektromagnetischen Verstimmung der Resonatoren entgegenwirken, werden in Zusammenarbeit mit mehreren europäischen Labors perfektioniert. Die Steuerelektronik, die in schnellen Regelkreisen den Phasenvorschub jedes einzelnen Resonators kontrolliert, wurde getestet und weiterentwickelt.

Dämpfungsringe

Der kurze Abstand (200 ms) zwischen Strahlzügen des ILC macht eine schnelle Kühlung der Strahlen im Dämpfungsring nötig. Dies kann nur über entsprechende Wiggler-Strecken erreicht werden. Der Krümmungsradius des ILC-Dämpfungsringes hat dementsprechend

nur eine untergeordnete Rolle bei der Festlegung der Dämpfungszeit. Zwei Alternativen für die Auslegung der Dämpfungsringe wurden während des Snowmass Workshops intensiv diskutiert: ein so genannter Dogbone Ring, der in Anlehnung an den TESLA-Vorschlag die Länge des Linac-Tunnels zur Speicherung der 3000 Strahlpakete ausnutzt, und ein dicht-gepackter Kreisring von 6 km Umfang. Kürzliche Erfolge in der Entwicklung schneller Ejektions-Kickermagnete (3 ns) lassen auch solche Designs als möglich erscheinen. Während des GDE Meetings in Frascati im November konnte deshalb die Entscheidung zugunsten eines 6 km Rings gefällt werden. Es bleiben jedoch noch einige Fragen offen: kann das Vakuumsystem und die Beschichtung der Strahlrohre so ausgelegt werden, dass freigesetzte Elektronen die Emittanz des Positronenstrahls nicht zerstören? Kann der Elektronenstrahl durch freigesetzte Ionen selbst instabil werden? Sicherheitshalber wurde für den Positronenstrahl vorgesehen, einen Doppelling (Gesamtlänge 12 km) im 6 km langen Tunnel vorzusehen. Intensive Studien und Simulationsarbeiten sind zur endgültigen Klärung der Machbarkeit erforderlich. DESY Mitarbeiter sind in diesen Arbeiten direkt involviert.

Strahldynamik und Physik

Mehrere Studien wurden im Rahmen des EUROTeV Projektes zur Strahldynamik angestellt. Zur Erreichung des Luminositätsziels von $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ werden extrem flache Strahlen zur Kollision gebracht. Die Bewahrung der vertikalen Emittanz beim Ausgang aus dem Dämpfungsring ist deshalb extrem wichtig. Mehrere konstruktionstechnische und betriebsbedingte Gründe legen nahe, den Tunnel der Erdkrümmung folgen zu lassen, was einer vertikalen Ablenkung von mehr als 1 mrad entspricht. In einer gezielten Studie konnte gezeigt werden, dass die durch Kopplung mit der horizontalen Ebene induzierten Emittanzaufweitungen beherrschbar bleiben und die Luminosität bei einer Bauweise längs der Erdoberfläche nicht nachteilig beeinflussen werden. Weiterhin sind Studien unterwegs, die das Kollimationsverfahren beim ILC untersuchen.

Positronenquelle

Nach ausgiebigen Vorarbeiten und Studien zur Positronenquelle wurde im Workshop in Snowmass entschieden, Positronen mit einem 100–200 m langen, wendelförmigen Undulator zu erzeugen. Dies ist der Vorschlag, der bereits grundsätzlich für den TESLA TDR ausgearbeitet worden war. Die Materialbelastung für das (dünne) Target ist in diesem Fall deutlich kleiner als für ein konventionelles Target, das als Alternative diskutiert wurde. Die guten Strahleigenschaften einer Undulatorquelle erleichtern den Einfang der Teilchenpakete am Dämpfungsring. Darüberhinaus bietet ein wendelförmiger Undulator den Vorteil, dass auch der Positronenstrahl polarisiert werden kann. Der Elektronenstrahl ist bereits von der Quelle her polarisiert.

Global Accelerator Network

Gute Fortschritte gab es in der Arbeitsgruppe, die sich mit dem ferngesteuerten Betrieb von Beschleunigerkomponenten beschäftigt. Zunächst wurde in einer umfassenden Nutzerumfrage das genaue Anforderungsprofil für einen zuverlässigen ferngesteuerten Betrieb von Hardware-Komponenten festgestellt. Ausgehend von diesen Ergebnissen konnte die Spezifikation geeigneter Konfigurationen angegangen werden. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut wurde ein moderner Video-CODEC zur Übertragung der Audio-Video-Informationen zur Nutzung definiert. In einem Demonstrationsexperiment konnte eine Strahlinjektion in den Beschleuniger des ELETTRA-Synchrotrons in Trieste von einem Hamburger Arbeitsplatz aus vorgenommen werden. Diese virtuelle Präsenz an einem weitentfernten Beschleuniger wird in anderen Aspekten verfeinert. Dazu gehören unter anderem der standardisierte Zugriff auf Messinstrumente über Webseiten, die nach entsprechender Authentifizierung weltweit zur Verfügung stehen. Weitere Schritte in dieser Richtung werden die internationale Zusammenarbeit am Beschleuniger erleichtern und haben große Bedeutung bei der Aufteilung der Aufgaben.

Verfügbarkeit des Beschleunigers

Der ILC wird an einigen Stellen Komponenten in einer solchen Anzahl verwenden, dass ein stochastischer Zugang zur Untersuchung der Betriebssicherheit angebracht ist. Bei 20 000 Hohlraumresonatoren und mehreren tausend Magneten ist es nahliegend, die Auslegung des Maschinenkomplexes auch hinsichtlich der Verlässlichkeit zu untersuchen. Insbesondere lässt sich mit solchen Studien feststellen, an welchen Stellen Redundanz im System das Betriebsergebnis deutlich verbessert. Ein kleiner Ausschnitt einer solchen Simulation ist in Abbildung 63 gezeigt. Als Ergebnis solcher Studien, die am SLAC (Stanford) initiiert wurden, konnte durch Studien am DESY gezeigt werden, dass eine undulatorbasierte Positronenquelle quasi gleiche Verfügbarkeit erreicht wie eine konventielle (auf einem dicken Target basierende) Quelle, auch wenn für die Positronenerzeugung in diesem Fall der Elektronenweg verfügbar sein muss. Ein zweiter Tunnel erhöht die Verfügbarkeit

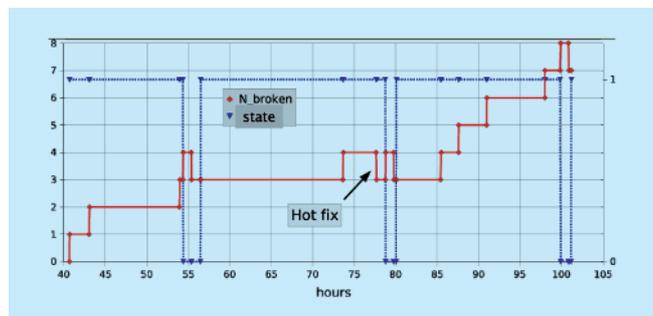


Abbildung 63: Die Zahl der ausgefallenen Komponenten während eines simulierten Betriebslaufs des ILC. Die rote Kurve zeigt die Ausfälle (N_{broken}), die blaue Kurve den Betriebszustand (0 oder 1, rechte Skala) des Colliders. In diesem Beispiel kommt es nach etwa 55 h zu kritischen Ausfällen, die zur Abschaltung und Reparatur des ILC führen. Wegen der Redundanz (bei kritischen Komponenten) müssen nicht alle Komponenten vor Betriebswiederaufnahme repariert werden. Obwohl Ausfälle verbleiben, kann der Beschleuniger in diesem Beispiel nach kurzer Zeit wieder betrieben werden (Betriebszustand 1).

des Colliders um mehr als 10%, wenn im Servicetunnel der Zugang auch während des Betriebs des Colliders möglich ist. Die Annahmen, die diesen Simulationsstudien zugrunde liegen, sind z. T. jedoch ad hoc. Bei DESY wurde versucht, durch Vergleich mit existierenden Anlagen die Zahlen in anderen Anwendungen zu reproduzieren. Dabei zeigte sich, dass die Annahmen zu den Zeiten der Beschleunigeroptimierung nach einer Betriebsstörung zumindest beim Vergleich mit HERA Daten zu deutlich anderen Zeiten der Verfügbarkeit des ILC führen würden. Es wird offensichtlich, dass die Ergebnisse dieser Studien mit Bedacht zu nutzen sind und jeweils anderen Optimierungsaspekten gegenüber gestellt werden müssen.

Ein Photon-Collider am ILC

Zu den viel diskutierten Erweiterungsoptionen für den ILC zählt der $\gamma\gamma$ -Collider, bei dem die Strahlen kurz vor dem Wechselwirkungspunkt mit jeweils einem Laserstrahl kollidieren. Durch Comptonstreuung werden dabei Photonen mit maximal 80% der Elektronenenergie erzeugt, die im Wechselwirkungspunkt kollidieren.

Das schwierigste Problem beim $\gamma\gamma$ Collider ist der Bau des Hochleistungslasers. Für die Kollision mit den Elektronenpaketen werden Laserpulse von ca. 10 J Energie, ein bis zwei Pikosekunden Dauer und der Zeitstruktur des Beschleunigers gebraucht. Mit Hilfe eines Ringresonators kann die Laserenergie zwischengespeichert und damit die Leistungsanforderung an den Laser um zwei Größenordnungen verringert werden. Ein detaillierter Entwurf eines solchen Resonators wurde in Zeuthen ausgearbeitet und publiziert. Es stellte sich heraus, dass ein solcher Resonator im Prinzip gebaut werden kann, jedoch enorme Anforderungen an die Justiertoleranzen stellt.

In Zeuthen wurde die Machbarkeit der $\gamma\gamma$ -Option untersucht und Studien zur physikalischen Motivation ange stellt. Die wichtigsten Ergebnisse sind publiziert, eine abschließende Veröffentlichung ist in Vorbereitung.

Polarisierte Positronenquelle am ILC: E166

Ein Linearbeschleuniger, in dem sowohl Elektronen als auch Positronen polarisiert sind, hat ein besonders breites Physikpotenzial. Die Erzeugung polarisierter Elektronen durch Photoemission an geeigneten GaAs-Strukturen ist inzwischen ein wohletablierter Prozess, bei dem hohe Polarisationsgrade erreicht werden. Die Erzeugung eines polarisierten Positronenstrahls mit vergleichbarer Intensität ist hingegen eine völlig neue Herausforderung.

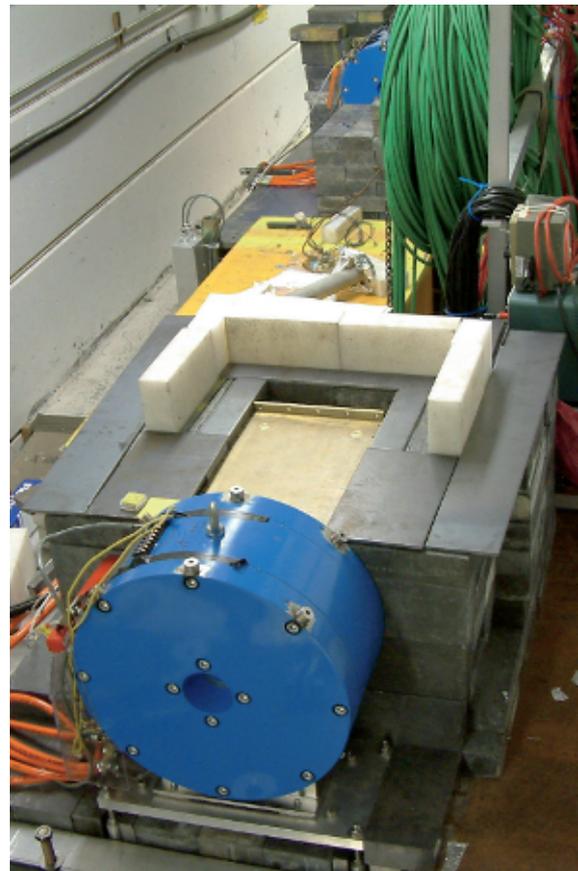


Abbildung 64: E166 Experiment im SLAC FFTB Tunnel. Im Vordergrund ist der Analysiermagnet für die Positronen zu sehen. Unmittelbar dahinter steht der CsI-Detektor inmitten der hier noch im Aufbau befindlichen massiven Abschirmung. Im Hintergrund ist der Analysiermagnet für die Photonen zu sehen.

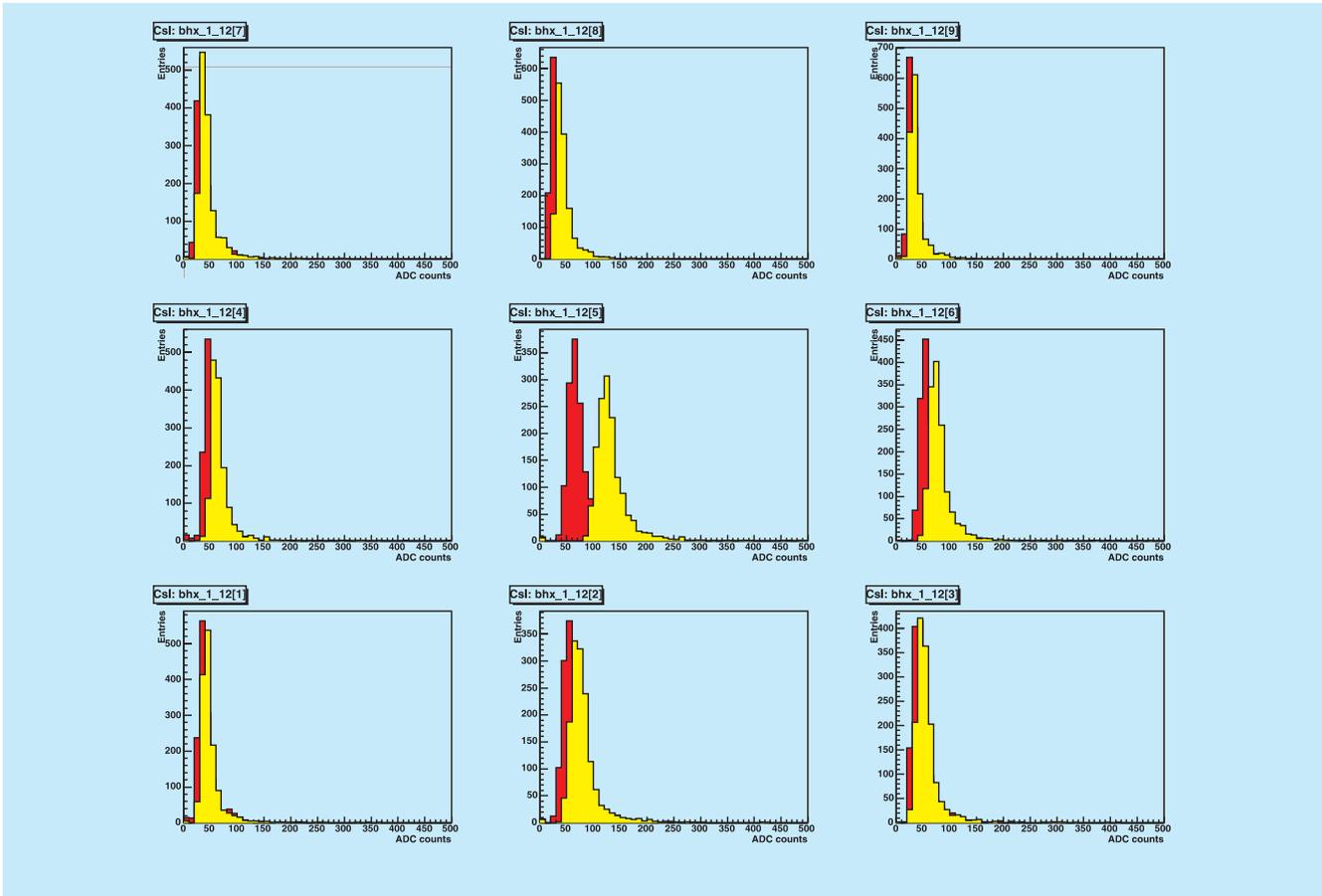


Abbildung 65: Die Signal- (hell) und Untergrundereignisse (dunkel) gemessen in den in einer 3×3 Matrix angeordneten CsI(Tl)-Kristallen des Kalorimeters für eine Magnetisierungsrichtung des Eisen im Analysiermagneten. Die Kristalle haben eine Größe von je $6 \text{ cm} \times 6 \text{ cm} \times 28 \text{ cm}$; die rückkonvertierten Photonen treffen vor allem den zentralen Kristall.

Mit dem E166 Experiment am SLAC wurde erstmals die Produktion polarisierter Positronen mit einem helikalen Undulator experimentell demonstriert. Diese Methode geht auf eine Arbeit von Balakin und Mikhailichenko aus dem Jahre 1979 zurück. Ein hochenergetischer Elektronenstrahl wird durch einen helikalen Undulator geschickt. Dabei entsteht zirkular polarisierte Gammastrahlung, die hinter dem Undulator auf ein dünnes Target trifft und Elektron-Positron Paare erzeugt. Die Polarisation der Undulatorphotonen überträgt sich dabei auf die von der nachfolgenden Strahloptik eingefangenen hochenergetischen Positronen, die Polarisationsgrade von bis zu 60% erreichen können. Obwohl die Strahlenergie am FFTB deutlich

niedriger ist als die am ILC, kann durch geeignete Wahl der Parameter des Undulators erreicht werden, dass die Wellenlänge der Photonen die gleiche ist wie am ILC, und damit die Ergebnisse übertragbar werden.

E166 wurde am SLAC unter internationaler Beteiligung durchgeführt. DESY hatte die Verantwortung für die Polarimetrie der Positronen. Das Polarimeter besteht aus einem Analysiermagneten (Verantwortung DESY Hamburg) und einem CsI(Tl) Kalorimeter (Verantwortung DESY Zeuthen), siehe Abbildung 64. Die Polarisation der Positronen wird aus der gemessenen Asymmetrie der Kalorimetersignale bestimmt. Ein weiterer

Analysiermagnet wurde zur Messung der Polarisierung der Undulatorphotonen eingesetzt.

Ein schwerer elektrischer Unfall am SLAC im Herbst 2004 führte auch beim Experiment E166 zu langen Verzögerungen und erst im Juni 2005 konnte mit einem 4-wöchigen Strahlbetrieb für E166 begonnen werden.

Alle Komponenten des Experimentes arbeiteten sehr gut. Der helikale Undulator wurde erfolgreich in Betrieb genommen und es gelang, die Position und Ausrichtung so zu steuern, dass der Elektronenstrahl ohne wesentliche Verluste hindurchgeführt werden konnte. Eine entscheidende Voraussetzung hierfür ist die vorzügliche Strahlemittanz im SLAC FFTB, da der Undulatorkanal sehr eng ist ($0.9\text{ mm } \varnothing \times 1\text{ m}$). Die Datennahme erfolgte bei 46.6 GeV typischerweise mit 10 Hz, wobei jeder zweite Maschinenpuls für Untergrundmessungen verwendet wurde, indem der Undulator gegenüber der Maschine zeitlich verzögert gepulst wurde. Die Analysiermagnete wurden automatisch unter Computerkontrolle nach jeweils 3000 Maschinenpulsen umgepolt. Die Strahlqualität wurde fortlaufend durch Beobachtung verschiedener Untergrundsignale überwacht.

Abbildung 65 zeigt die im CsI-Kalorimeter gemessenen Signale und den Untergrund für alle 9 Kristalle. Aus diesen Messungen wurden dann die Asymmetrien im Transmissionsverhalten der zu Photonen konvertierten Positronen gemessen, sie betragen wie erwartet etwa 1%. In einer zweiten, 6-wöchigen, Runperiode von Anfang September bis Oktober 2005 wurde das Polarisationspektrum bei verschiedenen Positronenenergien ausgemessen. Die Analyse der Messergebnisse ist noch in Arbeit, die vorläufigen Resultate sind in Abbildung 66 zusammengefasst: Der erwartete Polarisationsgrad der Positronen wächst mit deren Energie, entsprechend sind auch die Asymmetrien des Transmissionsignals energieabhängig. Die Messungen stimmen gut mit den erwarteten Asymmetrien überein. Zum Vergleich wurde außerdem die Asymmetrie für die Elektronen bei 6 MeV gemessen, die im Target bei der Paarbildung entstehen.

Um aus den gemessenen Asymmetrien den Polarisationsgrad der Positronen zu bestimmen, braucht man eine

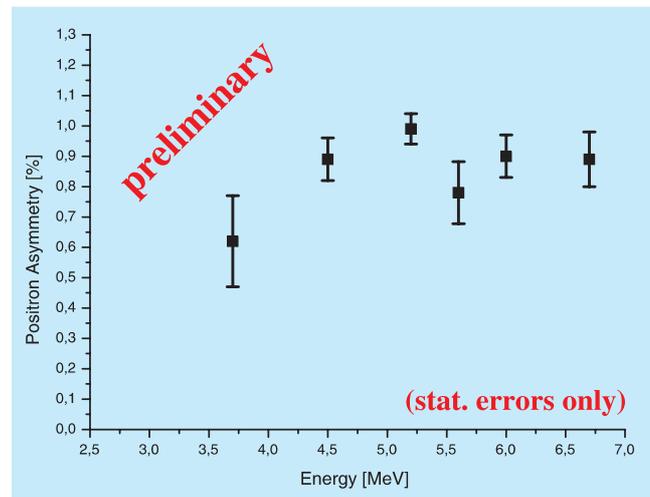


Abbildung 66: Die Asymmetrien gemessen mit dem Compton-Transmissionspolarimeter bei E166 in Abhängigkeit von der Energie der Positronen. Die Energie wurde mit einem Doppeldipolspektrometer eingestellt. Aus den gemessenen Asymmetrien und der bekannten Magnetisierung im Eisen kann die Polarisierung der Positronen berechnet werden, wenn die Spinabhängigkeit der Photonentransmission (Analyzing Power) mit einer Monte Carlo Simulation bestimmt wurde.

detaillierte Simulation sämtlicher Prozesse, die zum gemessenen Signal beitragen können, und zwar unter besonderer Berücksichtigung von spinabhängigen Aspekten. Zur Untersuchung der allgemeinen Messmethode und zur Entwicklung des experimentellen Aufbaus war zunächst in Hamburg ein modifizierter GEANT3 Code entwickelt worden. Eine entsprechende Polarisationserweiterung von GEANT4 wird in Zeuthen realisiert. Compton-, Møller- und Bhabha-Streuung wurden bereits implementiert, die Einbindung der polarisationsabhängigen Paar-Produktion und Bremsstrahlung ist noch in Arbeit.

Arbeiten zur Messung der Strahlenergie am ILC

Die Messung der Strahlenergie (E_b) am ILC mit einer Genauigkeit von 10^{-4} oder besser ist notwendig, um



Abbildung 67: Prinzip der Messung der Strahlenergie mittels Resonanzabsorption von Laserlicht in einem statischen Magnetfeld.

Massen von z. B. Higgs-Bosonen oder vom Top-Quark mit einer Präzision zu bestimmen, die kleiner ist als die theoretischen Unsicherheiten. Die Standardmethode zur Bestimmung von E_b ist die Nutzung einer Magnetschikane ergänzt durch Strahlagemonitore (BPMs) sehr hoher Positionsgenauigkeit. Diese Möglichkeit wurde im zurückliegenden Jahr ausführlich untersucht und in einem LC Report Anfang 2005 dokumentiert. Im nächsten wichtigen Schritt ist nachzuweisen, dass unter realen Strahlbedingungen die geforderte Genauigkeit von 10^{-4} erreichbar ist. Dazu ist ein Experiment am SLAC (USA) in Vorbereitung mit dem Ziel, Stabilitätsprobleme eines BPM-Spektrometers und Eigenschaften der Monitore mit zugehöriger Elektronik zu untersuchen. Dieses Experiment wird im Rahmen einer internationalen Kollaboration durchgeführt. Ergebnisse werden im Herbst 2006 erwartet.

Neben dieser Art der Strahlenergiemessung werden in Zeuthen komplementäre Methoden zur Bestimmung von E_b betrachtet. Hierzu gehört die Möglichkeit, die Energie mittels Resonanzabsorption von Laserlicht in einem statischen Magnetfeld zu bestimmen. Bei Kenntnis der Stärke des Magnetfeldes und der Länge des

Magnetes, sowie der Frequenz des Laserlichts und seiner Einfallrichtung ist im Fall maximaler Lichtabsorption die Energie des Strahls bestimmbar. Der Schritt von rein theoretischen Betrachtungen und Fragestellungen zu einem praktischen Konzeptionsvorschlag wurde 2005 vollzogen, siehe auch Abbildung 67. Trotz einer Reihe offener Probleme schlugen Kollegen aus Yerevan vor, ein *proof-of-principle* Experiment in 2007 und 2008 am dortigen Beschleuniger durchzuführen.

Ein anderer Zugang zur Bestimmung der Strahlenergie basiert auf der Nutzung der Synchrotronstrahlung, die in den Dipolmagneten der Magnetschikane generiert wird. Erste Simulationsrechnungen zeigen, dass eine präzise Messung der Breite der Synchrotronstrahlung eine Genauigkeit der Strahlenergie von bis zu $5 \cdot 10^{-5}$ erlaubt. Die Entwicklung notwendiger Detektoren zur Messung dieser Strahlung (für z. B. Photonen mit Energien unter 20 keV) mit einer Ortsauflösung von wenigen Mikrometern wird gegenwärtig mit Kollegen vom VIK Dubna verfolgt.

Die Möglichkeit der Messung der Strahlenergie mittels inverser Comptonstreuung wird ebenfalls betrach-

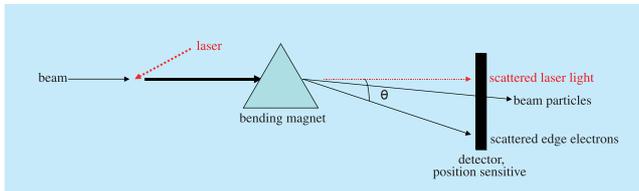


Abbildung 68: Skizze zur Bestimmung der Strahlenergie mittels inverser Comptonstreuung.

tet. Sie beruht auf der Bestimmung der Position der gestreuten *Kantenelektronen* nach Durchlaufen eines Dipols relativ zur Richtung der gestreuten vorwärtslaufenden Photonen (Abbildung 68). Die Kantenposition der Elektronen hängt von E_b ab, und ihre Bestimmung mit einer Genauigkeit von etwa $5\ \mu\text{m}$ ermöglicht, die geforderte Präzision der Strahlenergie zu erreichen.

Diese hier aufgezeigten Möglichkeiten zur Bestimmung der Strahlenergie sind vielversprechend und werden gemeinsam mit Kollegen in Dubna und Yerevan weiter verfolgt. Sie dienen in erster Linie als Kontrollmessung der Strahlenergie mit Hilfe eines auf Strahllagemonitoren basierten Spektrometers.

Detektorentwicklungen für den ILC

Zur Vorbereitung des Experimentierprogrammes am ILC werden verschiedene Detektorkonzepte weltweit entwickelt. Basierend auf dem TESLA Detektor Konzept, welches ausführlich im TESLA TDR diskutiert worden ist, wurde das *Large Detektor Concept* unter wesentlicher Mitarbeit von DESY Physikern entwickelt und auf der LCWS2005-Konferenz erstmalig der Fachwelt vorgestellt. Daneben ist DESY an drei internationalen Detektor R&D Kollaborationen beteiligt, in denen wesentliche Komponenten eines Detektors am ILC entwickelt werden: LC-TPC, einer Kooperation von etwa 30 Instituten, die sich die Entwicklung einer TPC für den ILC auf die Fahnen geschrieben haben, CALICE, eine Kollaboration zur Entwicklung von Kalorimetern am ILC, und FCAL, einer Gruppe von Instituten, die sich mit der Planung von besonders schnellen und strahlenharten Kalorimetern im Vorwärtsbereich des Detektors beschäftigen.

Eine Zeit-Projektions-Kammer für den ILC

In einigen der Konzepte für einen Detektor am ILC ist eine Zeit-Projektions-Kammer (TPC) als Teil des zentralen Spurrekonstruktionssystems vorgesehen. Bereits seit einigen Jahren wird am DESY eine neuartige Form einer TPC entwickelt, die auf der Auslese mit *Gas Electron Multipliern* (GEM) basiert.

In enger Zusammenarbeit mit anderen Instituten in Deutschland, Frankreich und Kanada wurden in den vergangenen Jahren grundlegende Versuche zum Einsatz von GEMs in einer TPC mit vielversprechenden Resultaten durchgeführt.

Auflösungsstudien

Mit einem im Jahr 2003 entwickelten und gebauten Prototyp (Abbildung 69) wurden im vergangenen Jahr eine Reihe von Messungen mit kosmischen Muonen in hohen Magnetfeldern durchgeführt. Hierzu wurde die DESY Hoch-Magnetfeld-Testanlage genutzt. Ziel der im Jahr 2005 durchgeführten Untersuchung der gewonnenen Daten ist die Bestimmung des räumlichen Auflösungsvermögens und der Entwicklung geeigneter Methoden zur Rekonstruktion der Ereignisse. Das von den GEMs auf der Auslesefläche generierte Signal ist wesentlich schmaler als das herkömmlicher Gasverstärkungs-Systeme, die auf Vieldraht-Proportionalkammern basieren. Die Größe der Auslesestrukturen (Pads) kann nicht beliebig verkleinert wer-



Abbildung 69: TPC Prototyp, der für den Einsatz in der Hoch-Magnetfeld-Testanlage am DESY konstruiert wurde.

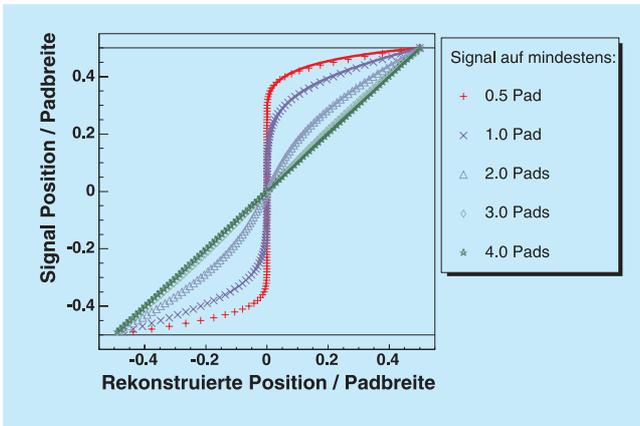


Abbildung 70: Pad-Antwort-Funktion für verschiedene Signalbreiten

den, da dies die Anzahl der Kanäle und damit die Kosten stark erhöht. Um das Verhältnis zwischen Signal und Auslesestruktur zu optimieren, wurden Methoden untersucht, die die auftretenden Systematiken berücksichtigen und soweit möglich korrigieren. Hierbei ist die Pad-Antwort-Funktion (PRF), die in Abbildung 70 gezeigt ist, von zentraler Bedeutung. Diese Funktion stellt die wahre Signalposition in Relation zur rekonstruierten Position dar. Es ist deutlich zu sehen, dass bei einem kleinen Verhältnis von Signalbreite zur Breite des Pads die PRF einen flachen Bereich aufweist. Dies bedeutet, dass nur ein Pad aktiv ist, und somit die tatsächliche Position der Ladung auf dem Pad nicht

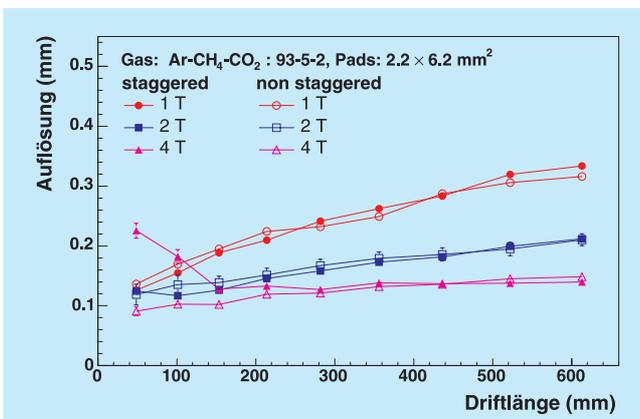


Abbildung 71: Räumliches Auflösungsvermögen einer TPC in transversaler Richtung als Funktion der Driftlänge und des Magnetfeldes.

mehr ermittelt werden kann. Ebenfalls ist zu erkennen, dass bei genügender Signalbreite die PRF durch eine Gerade dargestellt werden kann und somit keine Korrektur notwendig ist. Abbildung 71 zeigt die mit der Korrektur der PRF ermittelte Auflösung der TPC. Sehr dicht an der Anode erreicht die Kammer eine Auflösung von etwa 100 μm und damit das für den ILC gesetzte Ziel.

Laser

Neben dem Ortsauflösungsvermögen ist eine weitere wichtige Größe einer TPC die Doppelspurtrennung. Diese wird im Labor mit Hilfe eines UV-Lasers untersucht. Ein UV-Laser erzeugt Spuren in einem Argon basierten Gemisch, die ähnlich denen realer Teilchen sind. Der Laserstrahl wird mit einem Teleskop in das sensitive Volumen der Kammer fokussiert. Vor Eintritt in das Gasvolumen wird der Strahl mit einem Strahlteiler in zwei Strahlen aufgeteilt. Aus dem bekannten Abstand der Spuren in der Kammer kann dann die Doppelspurauflösung bestimmt werden. Erste Messreihen sind durchgeführt worden und werden im Moment analysiert.

Bei der Untersuchung der Doppelspurtrennung transversal zur Driftrichtung muss der Einfluss des Magnet-

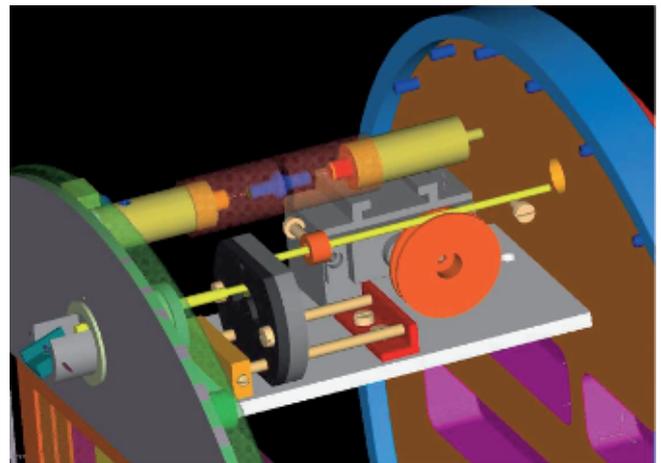


Abbildung 72: Laserpositionierungssystem: Modifikation des TPC-Prototyps zu Messung der Doppelspurauflösung in hohen Magnetfeldern.

feldes berücksichtigt werden. Deshalb wird zurzeit der Prototyp, der für den Einsatz im Magnet entwickelt wurde, modifiziert. Hierzu wurde die Kathodenseite mit einem Fenster zur Einkopplung des Lasers versehen. Für die Ausleseseite wurde ein Positionierungssystem (siehe Abbildung 72) entwickelt, welches den Strahlteiler hält und eine Positionierung während des Betriebs der Kammer ermöglicht.

Messung der Driftgeschwindigkeit

Mit Hilfe des Lasers wurde eine Messung der Driftgeschwindigkeit für verschiedene Gase und unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt. Für die Messung wurden zwei parallele Laserstrahlen bekannten Abstands gleichzeitig durch verschiedene Fenster in die Kammer geleitet. Durch Messung der Zeitdifferenz zwischen den so erzeugten Signalen kann die Driftgeschwindigkeit bestimmt werden. Abbildung 73 zeigt die Ergebnisse dieser Messung für verschiedene Stärken des Driftfeldes. Ebenfalls eingezeichnet sind

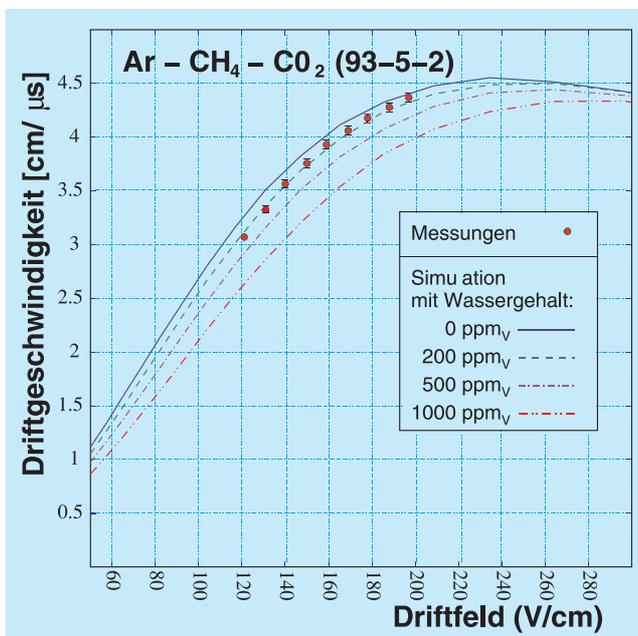


Abbildung 73: Driftgeschwindigkeit versus Driftfeld für Ar-CH₄-CO₂ (93-5-2): Gezeigt sind Messung und Vorhersagen durch eine Garfield-Simulation für verschiedene Anteile Wasser im Gas.

die Vorhersagen für verschiedene Mengen von Verunreinigungen durch Wasser bis 1000 ppm_v. Durch den Vergleich der Messungen mit den Vorhersagen kann indirekt der Wassergehalt zu (150^{+70}_{-50}) ppm_v bestimmt werden. Dies stimmt im Rahmen der Messgenauigkeit mit der direkten Messung des Wassergehaltes mit dem Slow-Control-System überein. Ein solches Slow-Control-System wurde im Rahmen einer Diplomarbeit entwickelt. Es dient der Überwachung und Kontrolle wichtiger Parameter der TPC. Hierzu zählen neben Hochspannungseinstellungen und Magnetfeld auch Gasparameter wie Druck, Temperatur und der Menge an Verunreinigungen durch Wasser und Sauerstoff.

Ein Hadronisches Kalorimeter für den ILC

Studien haben gezeigt, dass Präzisionsmessungen vieler Schlüsselreaktionen am geplanten Internationalen Linearbeschleuniger (ILC) ein hadronisches Kalorimeter mit hoher Zellgranularität erfordern. Die Gruppe FLC entwickelt einen Prototyp eines solchen Kalorimeters, der aus abwechselnd geschichteten Lagen von Stahlplatten und Scintillatorziegeln besteht. Das von durchquerenden Teilchen in den Ziegeln erzeugte Licht wird mit neuartigen Halbleiterdetektoren (SiPM, Silicon Photomultiplier) ausgelesen, die aufgrund ihrer geringen Größe von nur einem Quadratmillimeter direkt auf den quadratischen, neun Quadratzentimeter großen Ziegeln montiert sind.

Der Prototyp besteht aus 38 Scintillationslagen, die jeweils 216 Zellen umfassen. Im Jahre 2005 wurden bei DESY sechs Lagen fertig gestellt. Abbildung 74 zeigt die Anordnung der Scintillatorziegeln mit der feinen Granularität im Zentrum und nach außen größerer Zellstruktur. Die Produktion der restlichen Lagen ist für 2006 vorgesehen. Im Sommer 2006 soll der Prototyp bei CERN mit Hadronen bestrahlt werden, um die Funktionalität zu testen und um wichtige Informationen über die Entwicklung hadronischer Schauer zu erhalten, die zur Optimierung des Kalorimeters für den ILC benötigt werden.

Mit den produzierten Lagen wurden erfolgreich Bestrahlungen mit Positronen aus dem Beschleuniger

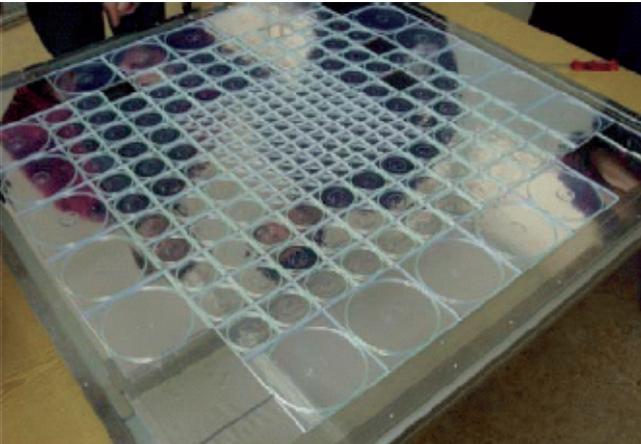


Abbildung 74: Anordnung der Scintillatorziegel auf einer Ausleseebene des HCAL Prototypen. Deutlich erkennbar ist die feinere Granularität im Zentrum.

DESY-II sowie Tests mit kosmischen Muonen durchgeführt. Dabei wurde auch das Datennahmesystem in Betrieb genommen, das in den Hadronstrahltests zum Einsatz kommen soll. Die Detektorsignale werden auf speziellen, in enger Zusammenarbeit mit der Gruppe FEB entwickelten Elektronikarten verarbeitet, bevor sie an die zentrale Datennahme weitergeleitet werden. Eine Datenrate von durchschnittlich 100 Ereignissen pro Sekunde wurde erreicht. Die Parameter des Detektorbetriebs, wie beispielsweise die Betriebsspannungen der Halbleiterdetektoren und die in ihnen fließenden Ströme, werden im Slow-Control-System elektronisch überwacht und aufgezeichnet.

Als Detektoren werden Photonenvervielfacher auf Siliziumbasis (SiPM) eingesetzt. Dabei handelt es sich um eine quadratische Matrix aus ca. 1000 Dioden, an die eine Betriebsspannung in Sperrrichtung angelegt wird, so dass in jeder Diode eine Verarmungszone entsteht. Die Spannung ist so gewählt, dass ein einzelnes, durch ein auftreffendes Photon ausgelöstes Elektron in der Verarmungszone eine Ladungslawine mit ungefähr einer Million Elektronen hervorruft (so genannter Geiger-Modus). Eine einzelne Diode, die in Analogie zu bildgebenden Bauteilen auch *Pixel* genannt wird, kann auf diese Weise einzelne Photonen nachweisen. Ausgelesen wird die Summe der Signale der einzelnen Dioden, die

ein Maß für die Anzahl der auf den SiPM auftreffenden Photonen ist.

Zur Eichung des Prototypkalorimeters wird ein Lichtinjektionssystem verwendet. Das Licht von Leuchtdioden (LED), die seitlich an den Scintillatorlagen auf speziellen Elektronikarten angebracht sind, wird über optische Fasern zu den Ziegeln geleitet. Jeweils eine LED stellt das Licht für 18 Ziegel zur Verfügung. Zur Messung der Halbleiterdetektorverstärkung müssen Lichtpulse geringer Intensität ausgesandt werden, die in den Detektoren zur Auslösung einer nur geringen Zahl von Pixeln führen. Das Spektrum des Detektorsignals für eine Vielzahl solcher Pulse ist in Abbildung 75 gezeigt. Die Separation der Signale einzelner Pixel entspricht der Verstärkung. Das Lichtinjektionssystem wird außerdem zur Langzeitüberwachung der SiPMs eingesetzt.

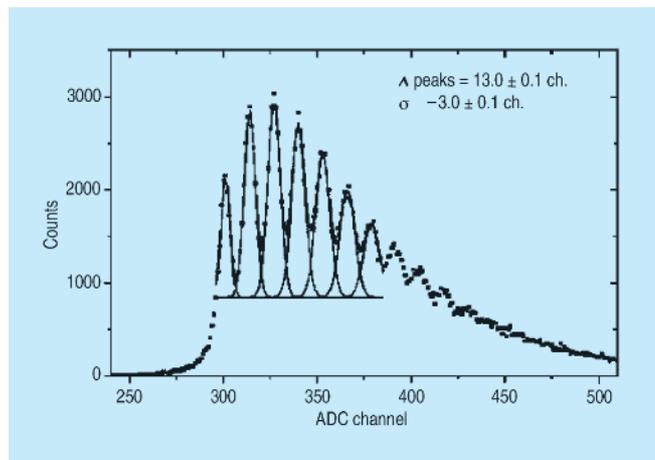


Abbildung 75: Pulshöhenspektrum eines SiPM Detektors für einzelne Photonen.

Die Entwicklung des hadronischen Kalorimeters finden innerhalb der internationalen CALICE-Kollaboration in Zusammenarbeit mit Instituten aus Deutschland (Universität Hamburg), Frankreich, Großbritannien, Russland, Tschechien und den USA statt. Die Ziegel und die Halbleiterdetektoren werden von den Moskauer Instituten ITEP und MEPhI in Zusammenarbeit mit der Firma PULSAR produziert. Die integrierten Verstärkerchips auf den Elektronikarten werden bei LAL in Orsay entwickelt und werden auch für den

Prototyp eines elektromagnetischen Kalorimeters der CALICE-Kollaboration eingesetzt. Die zentrale Datennahme wird federführend von den Londoner Instituten Imperial College und UCL aufgebaut. Die Elektronik des Lichtkalibrationssystems wird vom Prager Physikinstitut entwickelt.

Ein strahlnahes Kalorimeter für den ILC

Am ILC sind zwei Wechselwirkungszone geplant mit Kreuzungswinkeln von 2 und 20 mrad zwischen Elektronen- und Positronenstrahl. In beiden Varianten sind in der strahlnahen Region des geplanten ILC Detektors zwei Kalorimeter vorgesehen, welche hohen Anforderungen, speziell in der Strahlenhärte, genügen müssen. In Abbildung 76 ist ein Entwurf der Geometrie für den 20 mrad Fall dargestellt.

Das BeamCal, welches direkt an der Strahlröhre anliegt und einen Polarwinkel von etwa 5 bis 30 mrad überdeckt, muss unter sehr hoher Strahlenbelastung funktionstüchtig bleiben. Elektronen und Positronen der *Beamstrahlung* deponieren eine Dosis von etwa 10 MGy pro Jahr. Für die Physik am ILC ist es wichtig, hochenergetische einzelne Elektronen bis zu kleinsten Polarwinkeln trotz dieses sehr hohen Untergrundes zu

erkennen, da diese einen Untergrund bei der Suche nach neuen Teilchen verursachen.

Die Verteilung der *Beamstrahlung* im Bereich des BeamCal kann zur Strahldiagnose und Korrektur genutzt werden. Im Rahmen von EUROTeV wird an einem Verfahren zur schnellen Luminositätsmessung gearbeitet. Innerhalb eines Zuges von Elektron/Positron Paketen soll der Strahl so gesteuert werden, dass am Kollisionspunkt die maximale Luminosität erreicht wird.

Das LumiCal, bei grösseren Polarwinkeln, ist das Instrument zur präzisen Luminositätsmessung. Die angestrebte Genauigkeit von etwa 10^{-4} erfordert extrem genau gebaute Kalorimeter, deren Position ebenfalls sehr genau kontrolliert werden muss.

Die internationale FCAL Kollaboration hat sich die Ausarbeitung eines technischen Designs für beide Kalorimeter zum Ziel gesetzt. Im Moment wird an umfangreichen Monte Carlo Rechnungen zur Optimierung der Struktur gearbeitet. Parallel werden Sensor Prototypen getestet und Vorbereitungen für den Aufbau von Prototypen der Kalorimeter getroffen.

Um die genannten Ziele zu erreichen, müssen die Kalorimeter sehr kompakt sein, eine hohe Granularität besitzen und sehr schnell ausgelesen werden. Umfangreiche Monte Carlo Studien haben zu dem Schluss geführt, dass Diamant-Wolfram oder Silizium-Wolfram Sandwich Kalorimeter den Anforderungen genügen.

Sensoren aus Diamant versprechen, extrem strahlenhart zu sein, und gleichzeitig ähnliche Eigenschaften wie Siliziumzähler zu haben. Besonders für das BeamCal sind diese Sensoren eine sehr interessante Option. Allerdings erfordern sie noch wesentliche grundlegende Entwicklungsarbeiten.

Polykristalline CVD Diamant-Sensoren, welche das Fraunhofer Institut für angewandte Festkörperphysik in Freiburg und die Firma E6 angefertigt haben, wurden in einem Teststrahl in einem großen Intensitätsbereich untersucht. Linearität und Homogenität wurden getestet. Die Resultate, ein Beispiel ist in Abbildung 77 gezeigt, sind sehr zufrieden stellend.

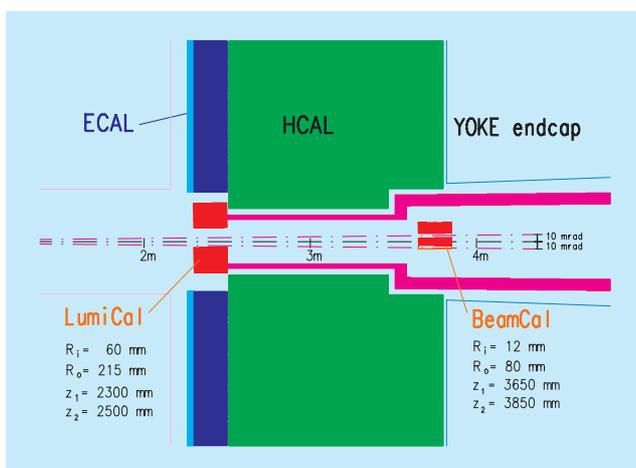


Abbildung 76: Entwurf der Vorwärtsregion für einen Strahlkreuzungswinkel von 20 mrad.

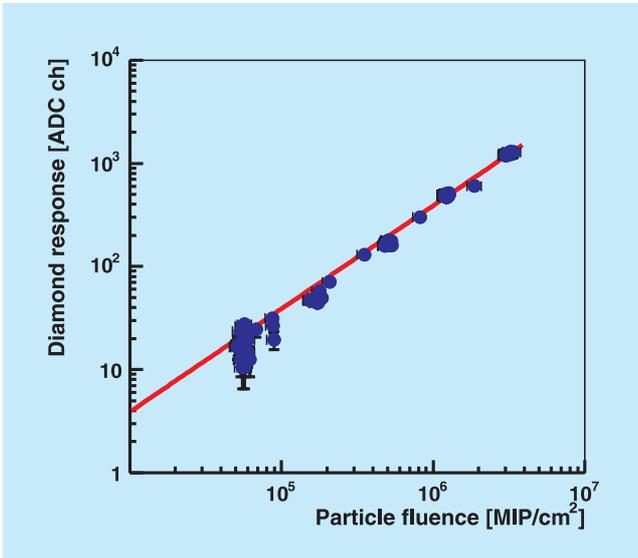


Abbildung 77: Das Signal eines Diamantsensors als Funktion des Teilchenflusses.

Die Herstellung einkristalliner Diamantsensoren stellt zurzeit noch eine hohe technologische Herausforderung dar. Untersuchungen an einem $5 \times 5 \times 0.3 \text{ mm}^3$ großen Sensorprototypen zeigen die hervorragenden Eigenschaften dieses Materials. Die klare Trennung des Signals eines hochenergetischen Elektrons vom Rauschen ist in Abbildung 78 sehr schön zu sehen. Die weitere Entwicklung der Technologie zu großflächigen Sensoren wird intensiv verfolgt.

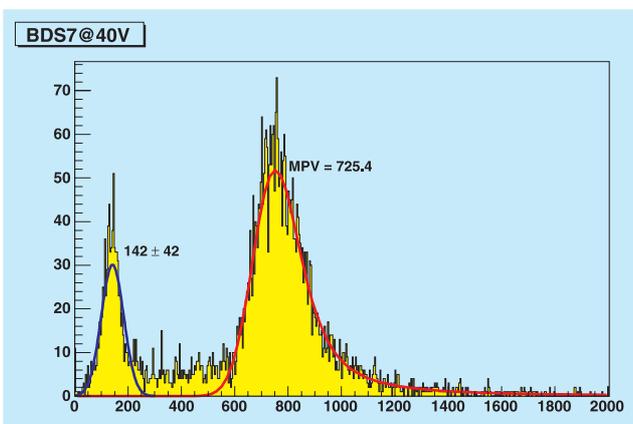


Abbildung 78: Das Signal eines einkristallinen Diamantsensors bei $0.13 \text{ V}/\mu\text{m}$.

Physikalische Studien zum ILC

Die physikalische Motivation für den ILC ist intensiv in den letzten Jahren untersucht und auch dokumentiert worden. Im Moment werden noch verschiedene supersymmetrische Szenarien untersucht, und auch die Rolle von Optionen am Beschleuniger (z. B. die $\gamma\gamma$ Option) näher studiert.

Eine mögliche Erweiterung des Standardmodells ist die Supersymmetrie. Falls es supersymmetrische Teilchen im Energiebereich des ILC gibt, ist die Produktionsrate im $\gamma\gamma$ -Modus höher als im e^+e^- Modus. Es ist daher sinnvoll zu untersuchen, in welchem Modus Zerfallparameter der supersymmetrischen Teilchen besser gemessen werden können. In Zeuthen wird die Produktion von Charginos und Smuonen im Detail untersucht. Ferner wird in Zusammenarbeit mit Physikern aus Dubna die Produktion von Top-Squarks studiert. Für die Charginos konnte gezeigt werden, dass die am $\gamma\gamma$ -Collider möglichen Messungen von Verzweigungsverhältnissen signifikant zum Verständnis der Supersymmetrie-Brechung beitragen können.

In Fortführung der gemeinsamen Studien zur Physik eines Linearcolliders wurde mit der Staatlichen Universität Moskau der Nachweis von Higgs-Bosonen im Minimalen Supersymmetrischen Standardmodell im intensiven Kopplungsregime durch Publikation abgeschlossen. Es konnte gezeigt werden, dass in diesem Regime der ILC dem LHC deutlich überlegen ist, wenn zunächst die Erzeugung von h/H Bosonen im Higgs-Strahlungsprozess $e^+e^- \rightarrow Z + h/H$ (mit Zerfällen des Z Bosons in Elektron- und Muonpaare) untersucht wird. Anschließend ist es möglich, wichtige Parameter des pseudoskalaren Higgs-Bosons A^0 im Paarerzeugungsprozess $e^+e^- \rightarrow A + h/H$ bei Kenntnis der Massen von h und H zu ermitteln.

Ferner wurde eine Studie zur Suche eines Teilchens begonnen, das dem Photon im Standardmodell sehr ähnlich ist. Dieses in bestimmten Erweiterungen des Standardmodells vorhergesagte Teilchen sollte bevorzugt vom Top-Quark abgestrahlt und durch seine vernachlässigbar kleine Wechselwirkung mit gewöhnlicher Materie nachgewiesen werden. Die technischen Vor-

aussetzungen zur Simulationssuche dieses Teilchens wurden geschaffen, so dass diese Analyse im ersten Halbjahr 2006 abgeschlossen werden kann.

Wenn kein leichtes Higgs-Boson existiert, erwartet man aus Messungen der Eichboson-Selbstkopplung Rückschlüsse auf den Mechanismus der elektroschwachen Symmetriebrechung ziehen zu können. Auch die Produktionsrate von Eichbosonen ist im $\gamma\gamma$ -Modus wesentlich höher. Detaillierte Studien zu den Prozessen $e\gamma \rightarrow \nu W^-$ und $\gamma\gamma \rightarrow W^+W^-$ werden in Zeuthen durchgeführt. Es ergibt sich dabei eine ähnliche Sensitivität wie im e^+e^- Modus, wobei die Ergebnisse bei der Interpretation innerhalb von Modellen komplementär sind.

Softwareentwicklungen

Die Entwicklung eines komplexen Detektors wie des LDC bedarf umfangreicher und komplexer Software-Systeme. Gerade beim ILC Detektor, der wesentlich auf Präzision hin entwickelt wird, kann eine sinnvolle Detektoroptimierung nur dann erfolgen, wenn schon im Entwicklungsstadium fast vollständige Rekonstruktionsalgorithmen vorliegen.

Bereits in den letzten Jahren ist an dieser Stelle über die Entwicklung von LCIO, dem Linear Collider Daten Format, berichtet worden. Diese Software, welche in enger Zusammenarbeit mit SLAC entwickelt worden ist, bildet die Basis für alle weiteren Software Projekte, und wird aktiv weiter entwickelt.

Für die Simulation von Ereignissen am ILC wird das Paket MOKKA, basierend auf GEANT4, verwendet. MOKKA ist von einer Gruppe an der Ecole Polytechnique in Frankreich entwickelt worden. Die Verarbeitung der simulierten Ereignisse passiert unter der Kontrolle des MARLIN Programm Paketes. MARLIN wurde von der Gruppe *Computing in Experimental Physics* am DESY erstellt, und liefert ein Rahmenprogramm, welches es einfach macht, in Form so genannter Prozessoren Funktionalität zum Rekonstruktions- und Analyseprogramm hinzuzufügen. Es basiert auf dem LCIO

Datenmodell. Eine erste offizielle Version wurde 2005 erstellt.

Eine Reihe von Prozessoren unter MARLIN wurden im Laufe des Jahres fertig gestellt, und erlaubten es, eine erste fast komplette Rekonstruktionskette zur Verfügung zu stellen.

Basierend auf dem bereits vor einigen Jahren entwickelten FORTRAN basierten Spurerkennungs- und Rekonstruktionscode wurde ein TPC Spurerkennungs-Prozessor entwickelt.

Eine zentrale Rolle bei der Rekonstruktion von Ereignissen am ILC spielt das Konzept des Teilchenflusses (*Particle Flow concept*). Eine erste komplette Version eines Teilchenfluss Prozessors konnte für das Snowmass Treffen fertig gestellt werden. Für relativ einfache Ereignisse am ILC konnte das Ziel einer Jet-Energie Auflösung von $30\%/\sqrt{E}$ fast erreicht werden (siehe Abbildung 79).

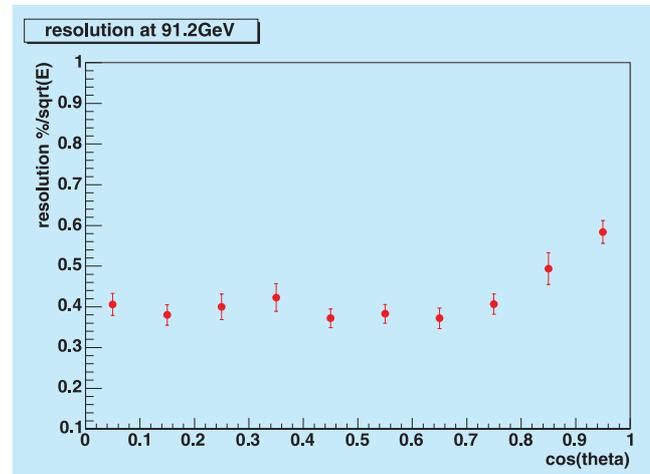


Abbildung 79: Simulierte Jet-Energie Auflösung im LDC Detektor als Funktion des Polarwinkels nach Rekonstruktion mit MARLIN.

Erhebliche Arbeit floss auch in die Entwicklung verschiedener generell einsetzbarer Werkzeuge. Besonders erwähnt werden soll das RAIDAK Paket, welches eine Brücke zwischen dem generischen Histogrammierpaket AIDA und dem graphischen Analysepaket ROOT herstellt. Die gesamte Software, die für den ILC ent-

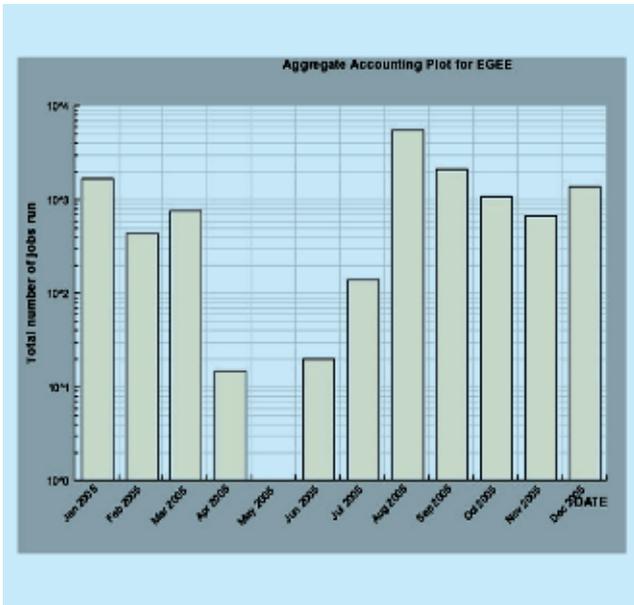


Abbildung 80: Zahl der unter ILC auf dem GRID gerechneten Jobs im Jahre 2005.

wickelt worden ist, wurde im letzten Jahr soweit modifiziert, dass sie auf dem GRID laufen kann. Inzwischen unterstützen eine große Zahl von Instituten ILC Computing auf dem GRID, was es erlaubt, Simulations-Rechnungen im erforderlichen Umfang durchzuführen. In Abbildung 80 ist die Zahl der GRID Jobs, die unter ILC im Jahre 2005 gerechnet worden sind, gezeigt.

Ausbildung

Die für den International Linear Collider durchgeführten Arbeiten beruhen entscheidend auf Beiträgen von Diplomanden und Doktoranden, und werden vielfach von jungen Postdoctoral Fellows koordiniert. Die Attraktivität des Projektes gerade auch für Nachwuchsphysiker zeigt sich auch darin, dass es gelang, im Jahre 2005 zwei Nachwuchsgruppen für den ILC am DESY anzusiedeln. Die Zahl der Anfragen nach Doktorandenstellen übersteigt das Angebot.

Auch im Jahre 2005 haben wieder mehrere Schüler und Schülerinnen die Möglichkeit zu einem Praktikum im Rahmen der ILC Aktivitäten wahrgenommen. Die

Schüler nehmen für einige Wochen an den Forschungsaktivitäten der Gruppe teil und sind in das wissenschaftliche Leben eingebunden. Die Resonanz von Seiten der Schüler und auch der Schulen war durchgängig sehr positiv.

Wie schon in den vergangenen Jahren fand auch 2005 wieder ein von der Universität organisiertes mehrtägiges Schülerprogramm statt. Etwa 6 Schüler und Schülerinnen wurden von FLC in diesem Rahmen betreut.

Im Sommer arbeiteten mehrere Sommerstudenten an verschiedenen Projekten sowohl am Standort Hamburg als auch am Standort Zeuthen. Ein Student nahm in Rahmen eines ausgedehnten Praktikums an der Messperiode von E166 am SLAC teil.

Zusammenfassung und Ausblick

Die ILC-Projektgruppe am DESY hat im Jahre 2005 ihre Arbeit aufgenommen, und ist inzwischen am Labor etabliert. Beide Standorte sind an diesem Projekt beteiligt. Die Arbeiten finden in enger Abstimmung, unterstützt durch regelmässige Treffen der Arbeitsgruppen in Hamburg oder in Zeuthen, statt.

In Hamburg profitieren die Arbeiten am ILC von der großen Nähe zum XFEL, wodurch viele Synergie-Effekte entstehen und auch genutzt werden. Darüber hinaus ist Hamburg, besonders auch im Rahmen von EUROTeV, an verschiedenen Systemen des ILC beteiligt. In Zeuthen liegt der Schwerpunkt der Beteiligungen am E166 Experiment, und bei der Entwicklung eines Strahlenergiespektrometers.

Die Detektorentwicklung in Zeuthen konzentriert sich auf die Entwicklung der strahlenharten Kalorimetrie, während in Hamburg die Projekte TPC und HCAL verfolgt werden. Physikstudien und Softwareentwicklungen werden in sehr enger Kooperation beider Standorte durchgeführt.

Eines der wichtigsten Ziele für den ILC im Jahre 2006 wird die Erstellung des *Reference Design Reports* sein, der am Ende des Jahres erwartet wird. In ihm wird ein detailliertes Design der Maschine vorgestellt werden,

zusammen mit einem Kostenrahmen. Im Bereich der ILC-Physik und des Detektors wird dieses Dokument durch den *Detector Conceptual Report* (DCR) ergänzt werden. DESY Physiker werden an der Erstellung die-

ser Dokumente intensiv mitarbeiten. Mit der Fertigstellung dieser Dokumente wird der ILC als internationales Projekt definiert sein, und kann dann in die nächste Stufe der detaillierte technischen Vorbereitung eintreten.