

Abbildung 66: *Drei-dimensionale Zeichnung des LDC Large Detector Concept, das mit wesentlicher Beteiligung des DESY entwickelt wurde. Zentraler Spurdetektor ist eine TPC umgeben von ECAL und HCAL innerhalb des Magnetjochs, das von Muon-Kammern umgeben ist. Im Zentrum des Detektors befinden sich Halbleiter-Detektoren zur Vertex-Bestimmung, in Vorwärtsrichtung zwei weitere Kalorimeter (BeamCal und LumiCal).*

International Linear Collider

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

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

Die Projektgruppe ILC am DESY beteiligt sich in den Bereichen Theorie, Experiment und Beschleuniger an der Forschung und Entwicklung für den e^+e^- International Linear Collider (ILC). Weltweit waren die Aktivitäten für den Beschleuniger auf die Ausarbeitung des *Referenz Design Reports (RDR)* gerichtet. Im Rahmen des *Global Design Efforts (GDE)* wurde unter Leitung von Prof. B. Barish die Auslegung des Beschleunigers grundlegend überarbeitet und im RDR dokumentiert, der Ende des Jahres in seiner Rohfassung vorgelegt werden konnte. Als wichtigstes neues Element enthält dieser eine Gesamtkostenabschätzung, in die seitens DESY die Erfahrungen aus der Planung für TESLA und aus dem Planungsvorschlag für den XFEL eingebracht wurden.

Im Verlauf des Jahres konnte das Modul 6, ein mit elektropolierten Kavitäten ausgestattetes Beschleunigermodul, getestet werden. In diesem Modul waren Kavitäten nach spezieller Behandlung für Tests bei höchsten Gradienten zusammengestellt worden. Diese Tests sind nicht nur für die Serienproduktion beim XFEL interessant sondern vor allem auch für das Hochgradienten-Programm beim ILC.

Die Arbeiten an der Entwicklung von Technologien für einen Detektor am ILC haben im Berichtsjahr gute Fortschritte gemacht. DESY Mitarbeiter sind sowohl in der Entwicklung von Technologien an exponierter Stelle aktiv als auch in der Ausarbeitung eines kompletten Detektor Konzeptes beteiligt.

Im Sommer des Jahres wurde ein Bericht über das konzeptionelle Design eines solchen Detektors, des LDC (*Large Detector Concept*), fertig gestellt. Dieses so genannte *Detector Outline Document* enthält die detaillierte Beschreibung eines Detektors unter Einschluss eines Statusberichts über den Stand der technologischen Entwicklungen.

Ein wesentlicher Meilenstein in der Weiterentwicklung des hadronischen Kalorimeters konnte mit dem erfolgreichen Teststrahlexperiment am CERN im Sommer 2006 genommen werden. Dieser wichtige Schritt in technologischer Hinsicht brachte gleichzeitig die verschiedenen Gruppen aus den Bereichen des elektromagnetischen Kalorimeters, des hadronischen Kalorimeters und des Tail Catchers zusammen.

Beschleunigerentwicklungen

Überragendes Ziel des Jahres 2006 war die Ausarbeitung des *Reference Design Reports (RDR)* für den e^+e^- International Linear Collider unter Einschluss belastbarer Kostenabschätzungen. Das Team des *Global Design Efforts (GDE)* unter der Leitung von Prof. B. Barish führte die 2005 begonnenen Arbeiten mit großem Engagement weiter und konnte noch vor Weihnachten 2006 einen Entwurf präsentieren, der im Februar 2007 der Weltöffentlichkeit in Beijing vorgestellt wurde. Vorausgegangen waren zahlreiche Treffen, in denen die Auslegung der Maschine hinsichtlich Kosten

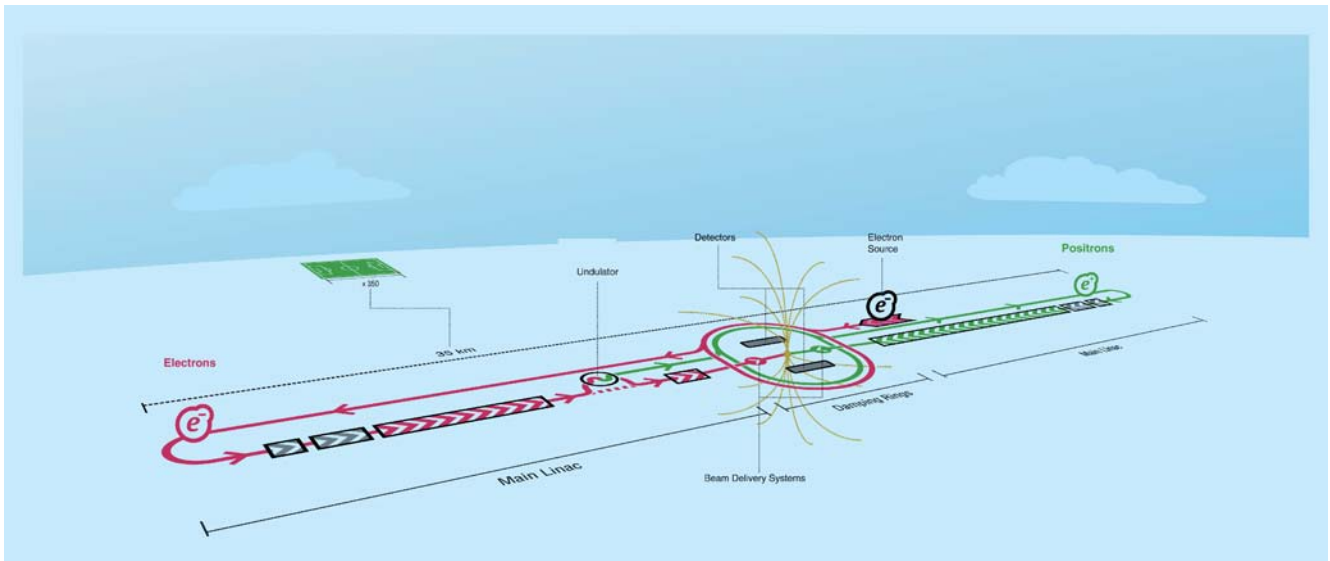


Abbildung 67: Die Auslegung des ILC in der Version für den RDR. Der zentrale Campus beherbergt jetzt Injektoren und Dämpfungsringe in unmittelbarer Nähe.

optimiert wurde. Unter diesen brachte vor allem der Linear Collider Workshop in Vancouver im Juli 2006 mehrere Änderungen auf den Weg: die beiden Dämpfungsringe wurden von ihren Positionen am Beginn der beiden Linearbeschleuniger in einen gemeinsamen, zentralen Tunnel gebracht, der Positronenring wurde nunmehr als einfacher Dämpfungsring konzipiert, Redundanzen in der Auslegung der HF-Leistung wurden ausgeräumt und die Wechselwirkungszonen wurden auf eine einzelne mit dem zugehörigen Strahlführungssystem reduziert, in die zwei verschiedene Detektoren im *Push-Pull* Verfahren eingebracht werden können, siehe Abbildung 67.

Die DESY ILC-Projektgruppe hat diese Entwicklungen mit Studien unterstützt und zu den Entscheidungen beigetragen. N. Walker leitete im GDE die Studien-Gruppe für den RDR; W. Bialowons führte zusammen mit J.L. Baldy vom CERN die Kostenabschätzungen für den ILC nach europäischem Kostenmodell durch. E. Elsen und L. Lilje haben im Forschungs- und Entwicklungs-Board (R&D Board) beigetragen, die knappen Ressourcen weltweit optimal im Verbund einzusetzen. Hier zeigt sich ein Novum in der internationalen Forschungsplanung: auch ohne zentrale Projektmitte-vergabe sind die nationalen Forschungsfördergesell-

schaften bereit, die Ausführungen des R&D Board anzuhören und umzusetzen. Dominierend war hier die Ausarbeitung eines Forschungsplans, zur Optimierung der Produktion der Kavitäten bei hohem Gradienten. Der Erfolg dieses Programms hat Einfluss auf den nutzbaren Beschleunigungsgradienten und letztlich auf die Länge und damit die Kosten des ILC.

Weitere Studien wurden vor allem im Rahmen des EUROTeV Projekts durchgeführt. Diese EU geförderte Designstudie konnte auf der EPAC06 Konferenz in Edinburgh mehr als 50 Beiträge vorlegen. Die Arbeiten haben in allen beteiligten Ländern die Bedeutung der Beschleunigerphysik deutlich herausgehoben.

Weiterentwicklung der supraleitenden Technologie

DESY nutzt beim Bau des XFEL die gleiche Beschleunigungstechnologie, die beim ILC zum Einsatz kommen soll. Die Erfahrungen aus der Serienproduktion der fast 1000 Kavitäten für den XFEL werden einen entscheidenden Beitrag zur Kostenabschätzung und Produktionsplanung für den ILC darstellen. Hinsichtlich der erforderlichen Beschleunigungsgradienten konnte

im Laufe des Jahres das Modul 6, das seit langem bei DESY in Vorbereitung war, getestet werden. Besucher vom Fermilab haben diese Tests eng verfolgt. Sechs der acht eingebauten Kavitäten konnten Beschleunigungsfelder oberhalb von 30 MV/m aufbauen, der mittlere Gradient betrug 28 MV/m. Die Ursache des Feldeinbrüche bei den beiden verbleibenden Kavitäten wird noch untersucht. Es ist damit zweifelsfrei, dass die Planungen für hohe Beschleunigungsfelder beim ILC realistisch sind – lediglich die Erfolgsquote bei der Produktion ist noch deutlich zu verbessern. In Europa fanden mehrere Arbeitstreffen statt, in denen versucht wurde, die Forschung in diesem Gebiet zu organisieren. Ein Vorschlag zur Förderung an die europäische Union im 7. Rahmenprogramm ist in Vorbereitung.

Auf der EPAC Konferenz in Edinburgh wurde L. Lilje der Beschleunigerpreis der Europäischen Physikalischen Gesellschaft (EPS) für seine grundlegenden Beiträge zum SCRF Thema verliehen.

Strahlexperimente an FLASH

Die FLASH Anlage bei DESY erlaubt neben dem Nutzerbetrieb auch Experimente am Linearbeschleuniger selbst. Ein eigenes Experiment nutzt höhere Schwingungsmodi (HOM) um auf die transversale Strahlage zurückzuschließen. Der parallele Betrieb solcher Experimente ist im verzahnten Betriebsmodus von FLASH möglich, ohne die Nutzer in den Experimentierhallen zu stören.

Positronenquelle

Ein Linearbeschleuniger, in dem sowohl Elektronen als auch Positronen polarisiert sind, hat ein besonders breites Physikpotenzial. Allerdings ist im Gegensatz zur Erzeugung polarisierter Elektronen durch Photoemission an GaAs-Strukturen die Erzeugung eines intensiven polarisierten Positronenstrahls deutlich schwieriger.

Eine favorisierte Methode beruht auf einer Idee von Balakin und Mikhailichenko aus dem Jahre 1979: ein hochenergetischer Elektronenstrahl wird durch einen

wendelförmigen Undulator geschickt. Dabei entsteht ein Strahl zirkular polarisierter Photonen, der auf ein dünnes Target trifft und Elektron-Positron Paare erzeugt. Fängt man mit der nachfolgenden Strahl-optik lediglich die hochenergetischen Positronen ein, erwartet man einen Positronenstrahl mit einem Polarisationsgrad von bis zu 60%.

Mit dem E166-Experiment am Stanford Linear Accelerator (USA) wurde erstmals die Produktion polarisierter Positronen mit einem wendelförmigen Undulator experimentell demonstriert. Der Polarisationsgrad der erzeugten Positronen wird mit einem Comptontransmissionspolarimeter gemessen. Es besteht aus einem Analysiermagneten (Verantwortung DESY, Hamburg) und einem CsJ(Tl) Kalorimeter (Verantwortung DESY, Zeuthen). Die polarisierten Positronen werden in einem Target in Photonen zurückkonvertiert. Die polarisierten Photonen werden dann in einem magnetisiertem Eisentarget gestreut. Die Polarisation der Positronen wird aus der gemessenen Asymmetrie der Signale im CsJ(Tl)-Kalorimeter hinter dem Eisen Target bestimmt.

Im Jahr 2005 wurde der wendelförmige Undulator in Betrieb genommen und das Messprogramm erfolgreich durchgeführt. Die Messungen der Asymmetrien stimmen gut mit den Erwartungen überein, die vorläufigen Resultate sind in Abbildung 68 zusammengefasst. Zum Vergleich wurde außerdem die Asymmetrie für Elektronen bei 7 MeV gemessen, die im Target bei der Paarbildung entstehen. Die Bestimmung des Polarisationsgrades der Positronen aus den gemessenen Asymmetrien erfordert eine detaillierte Simulation der Prozesse von der Erzeugung der Photonen im Undulator, der Positronen im Target sowie der Messung der Polarisation im Transmissionspolarimeter. Zu diesem Zweck wurde das Simulationspaket GEANT4 um die entsprechenden polarisationsabhängigen Beiträge erweitert. Diese Erweiterungen des GEANT4 Paketes, die in Zusammenarbeit mit NCHEP Minsk durchgeführt wurden, sind inzwischen in die offizielle GEANT Version aufgenommen worden.

Umfangreiche Rechnungen zur Strahlenbelastung hinter dem Target und zur erforderlichen Kollimation wurden durchgeführt. Die Rechnungen zeigen, dass vor

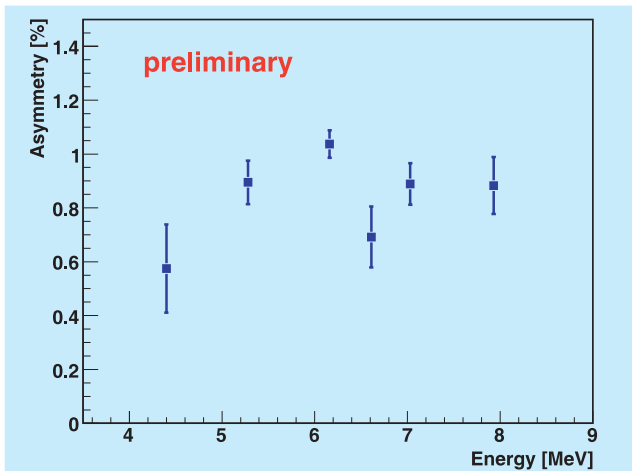


Abbildung 68: Die Asymmetrien gemessen mit dem Comptontransmissionspolarimeter bei E166 in Abhängigkeit von der Energie der Positronen. Die Energie wurde mit einem Doppeldipolspektrometer eingestellt. Aus den Asymmetrien kann die Polarisation der Positronen berechnet werden, wenn die Analysing Power der Apparatur mit einer Monte Carlo Simulation bestimmt wurde.

allem durch Neutronenfluss der Targetbereich radioaktiv belastet wird und durch eine 90 cm dicke Betonwand abgeschirmt werden muss. Das Target selbst kann nur mit einem ferngesteuerten Positionierungssystem bewegt werden. Der Austausch eines Targets ist mit relativ großem Aufwand verbunden.

Die Anforderungen an die Präzision der Messung der Polarisation der Strahlen am Wechselwirkungspunkt (0.25%) sind beispiellos. Daher wurde damit begonnen, ausgehend von einem Entwurf, der dem bisher genauesten Polarimeter beim SLD-Experiment ähnelt, einen geeigneten Detektor zu entwerfen und einen Teststand für Komponenten aufzubauen. Insbesondere sollen neben den bei SLD verwendeten konventionellen Photonenvervielfachern die für das hadronische Kalorimeter eingesetzten Silizium-Photomultiplier in Hinblick auf einen möglichen Einsatz im Polarimeter überprüft werden. Begleitend zum Aufbau des Teststandes wurde ein Simulationsprogramm für das gesamte Polarimeter entwickelt, wobei verschiedene Varianten des Detektors implementiert sind. Neben dem eigentlichen Detektor werden die Compton-Streuung

von Laser- und Elektronenstrahl sowie das Magnet-spektrometer für die gestreuten Elektronen berücksichtigt.

Dämpfungsringe

Der *Baseline Design Report* des Jahres 2005 ging von zwei Dämpfungsringen jeweils am Startpunkt der Linearbeschleuniger aus, wobei der Ring der Positronen auf einer Länge von 12 km als Doppelring in einem 6 km langen Tunnel ausgeführt war. Detaillierte Studien zum gefürchteten *electron cloud* Effekt ermutigten die Arbeitsgruppe, eine riskantere Variante vorzuschlagen, in denen die Positronen in einem einzelnen 6 km langen Ring „gekühlt“ werden. Hintergrund war, dass durch Auslegung der Vakuumkammern die Emission von Sekundärelektronen deutlich reduziert werden konnte. Letzte Zweifel im Bereich der Wiggler, in denen auch elektrische Löschfelder keine Lösung bieten können, verbleiben und Planungen für Messläufe an bestehenden Maschinen sind im Gange. Die zweite Vereinfachung ergab sich durch räumliche Zusammenlegung der e^+ und e^- Ringe in einem gemeinsamen Tunnel. Für Elektronen wird andererseits befürchtet, dass entstehende Ionen-Ladungswolken sich im Potential des gespeicherten Strahls schon nach Durchgang eines Pulszugs sammeln können und defokussierend den Strahl aufweiten könnten. DESY hat sich an den Rechnungen zu diesem Effekt besonders beteiligt und hat zusammen mit anderen Instituten einen Testlauf am ATF-Ring in Japan vorgeschlagen. Diese Experimente sind für das Jahr 2007 geplant.

Strahltransport

DESY unterstützt mit mehreren Postdocs im Rahmen des EUROTeV Programms Studien zum Strahltransport und zur Bewahrung der extrem kleinen Emittanz im Linac. Diese Werkzeuge wurden im Jahr 2006 vor allem genutzt, um zu untersuchen, unter welchen Bedingungen bei technischen Ausfällen der Strahl verloren gehen kann. Solche Studien zu Fehlerszenarien sind wichtig, wenn es um die Planungen von schnellen

Strahlejektionssystemen geht. Die vorgelegten Studien zeigen, dass bei Ausfällen von Magneten der Strahl in der Regel so aufgeweitet wird, dass die Ladungsdichte genügend reduziert ist, um Schäden am Vakuumsystem zu verhindern und genügend Zeit bleibt, nachfolgende Strahlpakete nicht auf die Beschleunigungsstrecke zu bringen. Weitere Studien sind in diesem Bereich geplant, wie das Thema der Emittanzbewahrung weiterhin von Wichtigkeit bleiben wird. DESY betreut ein größeres Programmsystem (Merlin), mit dem sich solche Studien effizient durchführen lassen.

Positionsstabilität von Beschleunigerkomponenten

Eine ebenfalls von EUROTeV geförderte Arbeitsgruppe bei DESY befasst sich seit Jahren mit Fragen der Bodenbewegungen und Stabilität von Beschleunigerkomponenten. Im Berichtsjahr wurden jetzt speziell Fragen angegangen, die sich auf die Stabilität des SC-Quadrupols im Kryomodul beziehen. Kleine Bewegungen dieser Komponente können einen großen Einfluss auf die Strahlage haben. Solche Messungen sind unter realistischen Betriebsbedingungen möglich, die auch den Eintrag externer Rauschquellen berücksichtigen.

Von der gleichen Arbeitsgruppe wurden Messungen am HERA-Tunnel durchgeführt. Diese zeigten, dass eine Aufhängung der Beschleunigungskomponenten an der Decke des Tunnels möglich ist, ohne dass es zu zusätzlichen Instabilitäten Anlass gibt. Diese Aufhängungsart lässt die Zugangswege auf dem Tunnelboden frei und wird gegenwärtig vom XFEL favorisiert.

Messung der Strahlenergie

Um die Masse von Teilchen wie z. B. dem Higgs-Boson oder dem Top-Quark mit hoher Genauigkeit messen zu können, ist die Kenntnis der Strahlenergie (E_b) von 10^{-4} oder besser notwendig.

Die Standardmethode zur Bestimmung von E_b ist die Nutzung eines Magnetspektrometers bestehend aus Dipolmagneten und Strahllagemonitoren (BPMs) mit sehr

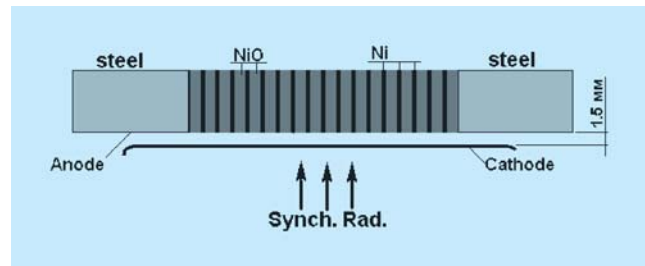


Abbildung 69: Schema eines Gasverstärkungs-Detektors zur Messung der Endpunkte der Synchrotron-Strahlung mit hoher Genauigkeit.

hoher Positionsgenauigkeit. Um nachzuweisen, dass eine solche Präzisionsmessung unter realistischen Bedingungen möglich ist, wurde ein Experiment am SLAC (USA) (Experiment T-474) aufgebaut, in dem systematische Untersuchungen von hochauflösenden BPMs im April und Juli durchgeführt wurden. Mit S-Band Monitoren vom SLAC konnte eine Einzelbunchauflösung von 550 nm über einen Bereich von ± 1.2 mm gemessen und eine Stabilität von besser als 40 ppm über einen Zeitraum von 30 Minuten beobachtet werden. Weitere Messungen mit anderen Magneten sind im Jahre 2007 geplant.

Neben der Möglichkeit die Strahlenergie mittels Magnetschikane zu messen, werden in Zeuthen komplementäre Methoden zur Bestimmung von E_b betrachtet. Gemeinsam mit russischen Kollegen aus Dubna ist die Methode basierend auf Monitoring von Synchrotron-Strahlung (SR), die in den Magneten der Schikane erzeugt wird, eingehend betrachtet worden. Ein Beispiel eines solchen Detektors ist in Abbildung 69 schematisch gezeigt.

Darüberhinaus scheint sich die Messung der Strahlenergie mittels Comptonstreuung als weitere attraktive Alternative zur Magnetschikane zu entwickeln.

Die Möglichkeit der Messung der Strahlenergie mittels Resonanzabsorption von Laserlicht in einem statischen Magnetfeld, vorgeschlagen von Kollegen in Yerevan, wurde weiter verfolgt. Details hierzu finden sich im DESY Jahresbericht 2005. Trotz einer Reihe offener Probleme strebt Yerevan mit Unterstützung von DESY ein *proof-of-principle* Experiment in 2007 und 2008 am dortigen Beschleuniger an.

Diese hier aufgezeigten Möglichkeiten zur Bestimmung der Strahlenergie werden gemeinsam mit Kollegen in Dubna, Yerevan und Novosibirsk untersucht. Sie dienen in erster Linie als Messung der Strahlenergie komplementär zur Bestimmung von E_b mit Hilfe eines auf Strahllagemonitoren basierenden Spektrometers.

Global Accelerator and Detector Network

Die EUROTeV Arbeitsgruppe zur Fernauslese, -steuerung und -kommunikation konnte im Laufe des Berichtsjahres erste Erfahrungen mit einem Prototyp-System sammeln. Bei Testmessungen für das Kalorimeter am CERN wurden die in der Arbeitsgruppe entwickelten Techniken eingesetzt und erfolgreich genutzt. Ziel dieses Programms ist es, neben dem Zugriff auf die Instrumente, durch Audio- und Videotechnik den Eindruck einer virtuellen Präsenz im entfernt gelegenen Kontrollraum zu schaffen.

Physikalische Studien zum ILC

Physikalische Studien zum ILC haben in den letzten Jahren eine gewisse Reife erreicht. Im *Detector Concept Report* (DCR), dem experimentellen Gegenstück zum RDR, wird der Stand der Studien zusammengefasst. Am DESY wurden verschiedenen Analysen im Berichtszeitraum verfolgt, die im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Die Untersuchung des Higgs Bosons ist eines der wichtigsten Ziele am ILC. Bei niedrigen Massen wird dieses Teilchen primär im Higgs Bremsstrahlungsprozess produziert. Hierbei zerfällt ein virtuelles Z-Boson in ein reelles Z-Boson und ein Higgs Boson. Aus der Rekonstruktion der Masse des Z's können die Eigenschaften des Higgs Bosons bestimmt werden, ohne Annahmen über den Zerfall des Higgs selber machen zu müssen. In einer detaillierten Studie konnte die Abhängigkeit der zu erzielenden Auflösung bei der Bestimmung der Higgs Masse von der Schwerpunktesenergie nachge-

wiesen werden. Es stellt sich heraus, dass die genaueste Bestimmung der Higgs Masse eben über der Produktionsschwelle möglich ist.

Gemeinsam mit der Staatlichen Universität Moskau wurde eine Studie zur Suche eines Teilchens fortgeführt, das dem Photon im Standard Modell sehr ähnlich ist. Dieses in bestimmten Erweiterungen des Standard Modells vorhergesagte Teilchen, das sogenannte Paraphoton, sollte bevorzugt vom Top-Quark emittiert und durch seine vernachlässigbare Wechselwirkung mit gewöhnlicher Materie nachgewiesen werden. Bedingt durch hohen Untergrund, kleinem Signal und Variablen mit geringer Unterscheidungskraft zwischen Signal und Untergrund war nur eine multidimensionale Analyse bei 1 TeV Schwerpunktesenergie in der Lage, einen signifikanten Nachweis zu erbringen bzw. eine Grenze der Paraphoton-Top-Quark Kopplung anzugeben.

Auf dem Gebiet der physikalischen Untersuchungen im Rahmen von SUSY Modellen konzentrierten sich die Arbeiten auf den Bereich der Analyse von skalaren Top-Quarks in der Coannihilationsregion. Zum Verständnis der Baryogenese werden skalare Top-Quarks benötigt, die leichter als das Top-Quark sind und am ILC sehr gut gefunden und untersucht werden können. Ihre Masse kann mit einem Fehler von 1 GeV, also rund 1%, gemessen werden. Die Arbeit wurde gemeinsam mit Physikerinnen und Physikern vom Fermilab und aus Lancaster durchgeführt.

In einer anderen Studie wurde untersucht, wie die in manchen supersymmetrischen Modellen vorausgesagten sehr langlebigen Teilchen nachgewiesen werden können. In solchen Modellen werden Teilchen produziert, die schwer sind, und eine sehr lange Lebensdauer haben. Sie werden im Detektor „abgebremst“, existieren für eine endliche Zeit im Detektor, und zerfallen dann. Die fein aufgeteilten Kalorimeter, die am ILC vorgeschlagen werden, sind sehr gut geeignet, solche Zerfälle experimentell nachzuweisen. Eine erste Studie basierend auf einer parametrisierten Detektorsimulation wurde durchgeführt, und zeigte, dass ein Nachweis prinzipiell möglich sein sollte. Detailliertere Studien mit voller Simulation und realistischen Annahmen über

Detektoren sind allerdings notwendig, bevor endgültige Aussagen gemacht werden können.

Eine neue Serie von Studien beschäftigt sich mit dem Potential des ILC in Bezug auf Kandidaten für Dunkle Materie, insbesondere sogenannte WIMPs (*weakly interacting massive particles*).

Ziel der Studien ist es, möglichst modellunabhängig die Paarproduktion von WIMPs zu untersuchen. Ausgehend von einer zur im Universum beobachteten Restdichte von dunkler Materie passenden Rate für die Paarvernichtung zweier WIMPs in Standardmodell-Teilchen wird via Zeitumkehrinvarianz eine Vorhersage für die Paarproduktion von WIMPs in Elektron-Positron-Kollisionen in Abhängigkeit von WIMP-Masse, -Spin, Drehimpuls der dominanter Partialwelle sowie Stärke und Händigkeit der Kopplung an Elektronen abgeleitet. Damit wird ein weites Spektrum an möglichen WIMP-Kandidaten abgedeckt, ohne ein spezifisches Modell, wie z. B. Supersymmetrie und dessen Parameter, zugrundelegen zu müssen. Diese Studien, die die volle GEANT4-Simulation des LDC-Detektorentwurfs und die MARLIN-Rekonstruktion verwenden, zeigen, dass auf diese Art und Weise WIMPs mit Massen von ca 100 bis 200 GeV bei unpolarisierten Strahlen am ILC beobachtet werden können, solange der Anteil von WIMP-Paarvernichtung in Elektron-Positron-Paare mindestens 20 bis 30% beträgt. Mit 80% Elektron- und 60% Positron-Polarisation reduziert sich dieser nötige Anteil um einen Faktor 5 bis 10, je nach Spin der WIMPs und Händigkeit der Kopplung. Wenn WIMPs am ILC erzeugt werden, dann könnte mit diesem modellunabhängigen Ansatz ihre Masse mit unpolarisierten Strahlen bis auf einige Prozent genau gemessen werden, erheblich genauer, wenn beide Strahlen polarisiert sind.

Maschine-Detektor Schnittstelle

Die Schnittstellen zwischen den geplanten Experimenten und dem Beschleuniger sind wichtiger Gegenstand der weltweiten Studien zum ILC. Im Berichtszeitraum standen dabei vor allem Studien zu den Kreuzungswin-

keln, der Zahl der Wechselwirkungszonen, dem Design der unterirdischen Hallen für die Detektoren, sowie zu Themen der Strahldiagnose mit direktem Einfluss auf die physikalische Leistungsfähigkeit des ILC im Vordergrund. Um die Kommunikation zwischen den Beschleunigerphysikern und den Experimentatoren zu verbessern, hat der ILC *Global Design Effort* GDE zusammen mit der *Worldwide Study for Physics and Detectors* ein gemeinsames Forum, das MDI Panel, geschaffen, in dem Vertreter aus den Detektorkonzeptstudien zusammen mit den Designern der relevanten Beschleunigerkomponenten die entsprechenden Fragen diskutieren.

Am DESY wurden im Berichtszeitraum schwerpunktmäßig Untersuchungen zur Detektorintegration und den sich daraus ergebenden Randbedingungen für das Design der Detektorhalle durchgeführt. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf Simulationsstudien zu den erwarteten strahlinduzierten Untergründen im LDC Detektor. Hierbei wurde insbesondere der Einfluss der diskutierten ILC Strahlparametersätze und der Wahl der Kreuzungswinkel auf die Untergrundraten studiert.

Detektorintegration und Detektorhalle

Die Planungen zur Größe und Ausstattung der unterirdischen Detektorhallen stehen in enger Wechselwirkung zu den Planungen der Detektorintegration in den Detektorkonzeptstudien. Im Laufe der Entwicklungen für den ILC RDR wurden dabei die Rahmenbedingungen, nicht zuletzt ausgelöst durch die erforderlichen Kostenreduktionen, während des Berichtszeitraums verändert. Wichtigster Punkt für die Detektorintegration war dabei die Entscheidung, zwei Experimente am ILC nicht mehr durch zwei Strahlführungen zu unterstützen, sondern beide Experimente in zeitlicher Abfolge an einer Strahlführung zu betreiben. Dies erfordert eine schnelle und vor allem sichere und stabile Bewegung des Detektors aus einer Parkposition in der unterirdischen Halle in die Messposition am Strahl. Der Austausch der beiden Detektoren muss dabei so schnell erfolgen, dass die Luminositätsverluste möglichst klein bleiben. Wenn man z. B. einen regelmäßigen Wech-

sel zwischen beiden Experimenten auf Zeitskalen von etwa monatslänge voraussetzt, erfordert dies ein Austauschen der Detektoren in einem Zeitrahmen von etwa einem Tag. In dieser Zeit muss der eine Detektor sicher abgekabelt und aus dem Strahl heraus bewegt werden, während der andere Detektor in die Strahlposition gefahren und dort wieder angeschlossen wird. Dies stellt schwierige Herausforderungen an das Design der Experimente, gerade im Hinblick auf Stabilität der Alignierung, Kalibrationsverfahren und technische Lösungen für das Bewegen der mehrere tausend Tonnen schweren Objekte.

Die Größe der unterirdischen Halle ist mit $36 \times 120 \text{ m}^2$ für zwei Detektoren ausgelegt. Es wird dabei angenommen, dass der Zusammenbau der Detektoren im wesentlichen in dedizierten Hallen an der Oberfläche stattfindet. Die vorkonfigurierten Detektorteile werden dann mit einem stationären Kran in die unterirdische Halle gebracht. Dort erfolgt dann nur noch der Zusammenbau der einzelnen großen Komponenten.

Studien zum strahlinduzierten Untergrund

Der für das Design der Detektoren relevante strahlinduzierte Untergrund am ILC wird seit Jahren in Simulationsstudien untersucht. Durch Änderungen im Design der Maschine, insbesondere bei den Strahlparametern und bei den Kreuzungswinkeln, müssen die Folgen für die Leistungsfähigkeit der Detektoren ständig neu überprüft werden.

Hauptuntergrund beim ILC werden die Elektron-Positron Paare sein, die aus Kollisionen mit Photonen der sogenannten Beamstrahlung entstehen. Diese hochenergetischen Photonen entstehen, wenn die sehr stark fokussierten ILC Teilchenpakete kollidieren. Die Elektron-Positron Paare aus der Beamstrahlung erzeugen signifikanten Untergrund in der Vorwärtsregion des Detektors. Diese Regionen werden deswegen entsprechend entworfen, um die Rückstreuung von Sekundärteilchen in das Spursystem des Detektors zu verhindern.

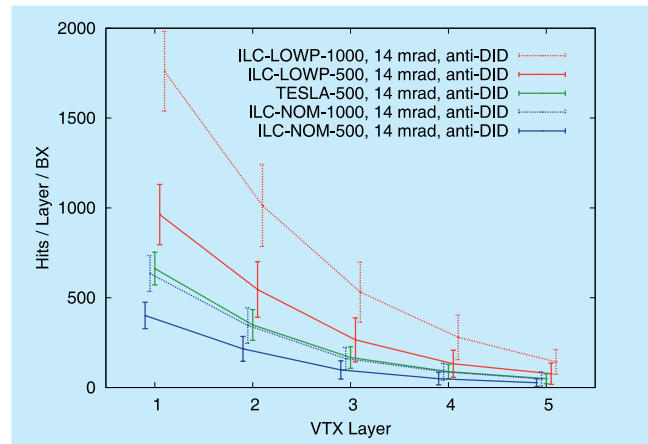


Abbildung 70: Zahl der Treffer auf den Lagen des Vertexdetektors für die nominellen und die LowP ILC Strahlparametersätze bei Schwerpunktsenergien von 500 und 100 GeV. Zum Vergleich sind auch die Zahlen für die TESLA Parameter bei 500 GeV dargestellt.

Die empfindlichste Detektorkomponente ist dabei der Vertexdetektor, dessen innerste Lage einen Abstand von nur 1.5 cm zum Wechselwirkungspunkt hat. Abbildung 70 zeigt als Ergebnis einer vollständigen Detektorsimulation die Zahl der Treffer auf den fünf Vertexdetektorlagen, die durch die Elektron-Positron Paare und die von ihnen induzierten Sekundärteilchen verursacht werden.

Die mit *LowP* bezeichneten Strahlparametersätze bezeichnen eine Option, bei der der ILC nur mit der Hälfte der nominellen RF-Versorgung ausgerüstet wird. Die Luminosität wird dann durch stärkeres Fokussieren der Strahlpakete erreicht. Dabei entstehen mehr Elektron-Positron Paare aus der Beamstrahlung, was zu einer deutlichen Erhöhung der Untergrundzahlen im Vertexdetektor führt.

Abbildung 71 zeigt ein weiteres Ergebnis der Untergrundsimulationen. In der zentralen Zeit-Projektionskammer (TPC) des LDC Detektors ist die radiale Verteilung der Treffer gegen die Zeit nach der Kollision zweier Strahlpakete dargestellt. Man erkennt einige Treffer, die unmittelbar nach der Kollision in der TPC auftreten. Dies sind Spuren, die von Paaren erzeugt werden, die vom Wechselwirkungspunkt kommend unter

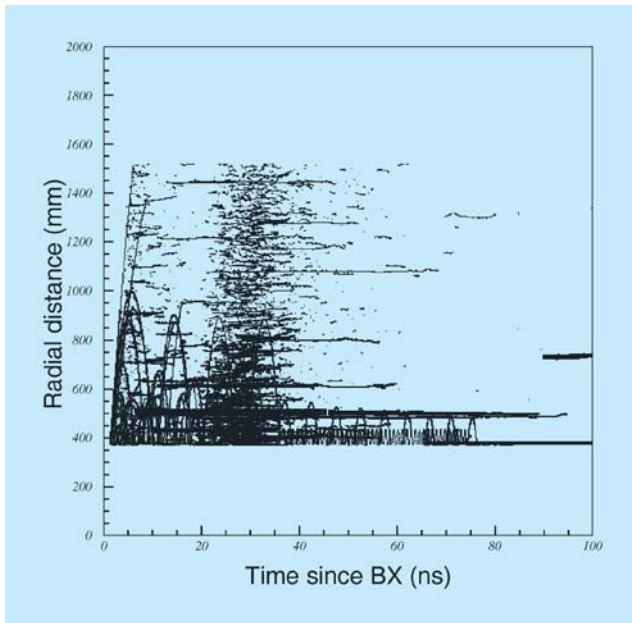


Abbildung 71: Radiale Verteilung der Treffer in der TPC aufgetragen gegen die Zeit nach der Kollision zweier Strahlpakete.

größeren Transversalimpulsen direkt in die TPC eintreten. Nach etwa 20 ns tritt eine deutliche Häufung von Spuren auf. Dies sind Spuren, die von rückgestreuten Photonen ausgelöst werden. Die Photonen entstehen in der Vorwärtsregion des LDC-Detektors und streuen in die TPC hinein. Einige Photonen können beim Passieren der TPC, beispielsweise durch den Compton-Effekt, in geladenen Teilchen konvertieren. Die erzeugten Elektronen haben sehr niedrige Energien und werden deshalb im hohen magnetischen Solenoidfeld auf horizontale Bahnen aufgewickelt. Man erkennt die horizontalen Spuren in der TPC sehr gut in der Abbildung.

Ebenfalls gut erkennbar ist, dass einige Spuren vergleichsweise spät nach den Teilchenkollisionen auftreten. Dies ist z. B. durch die Anregung und den späten Zerfall von Atomkernen im Detektormaterial zu erklären.

Detektorentwicklung für den ILC

Das geplante Experimentierprogramm am ILC soll von zwei Detektoren durchgeführt werden. Vier internationale Gruppen entwickeln im Moment Konzepte für diese Detektoren, die sich konzeptionell und technologisch stark unterscheiden. DESY ist an führender Stelle am LDC (*Large Detector Concept*) beteiligt. LDC versucht, einen optimierten Detektor zu entwickeln, der sehr stark die Rekonstruktion der Topologie der ILC Ereignisse betont. Dies bedeutet, dass neben dem bei allen Konzepten vorhandenen hochauflösenden Vertex Detektor ein Spurdetektor vorgesehen ist, der auf extreme Effizienz der Spurrekonstruktion optimiert ist, und sehr fein aufgeteilte Kalorimeter benötigt werden. DESY arbeitet an der Entwicklung von Pixeldetektoren, der zentralen Spurkammer, und verschiedenen Aspekten des Kalorimetersystems.

Pixeldetektoren

Im Berichtszeitraum wurden die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an Monolithischen Aktiven Pixeldetektoren (MAPS) für einen zukünftigen Linearbeschleuniger weiter ausgeweitet. Die zentralen Fragen, die in diesem Zusammenhang bearbeitet wurden sind:

- Wie können Detektoren mit minimalem Aufwand gekühlt werden?
- Ist es möglich Teile der Ausleseelektronik in der Pause zwischen Strahlpaketen auszuschalten?
- Wie verändern sich die Eigenschaften der Sensoren unter Bestrahlung?

Die Beantwortung dieser Fragen hat zum Ziel, in einigen Jahren einen Vertexdetektor mit bisher unerreichter Präzision bauen zu können. Die Arbeiten werden mit Sensoren durchgeführt, die am Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, Strassbourg entwickelt werden. Diese Sensoren vereinen aktives Material und Ausleseelektronik auf ein und demselben Silizium-Chip. Einige Ergebnisse dieser Untersuchungen werden im Folgenden diskutiert.

Bei Untersuchungen zur Kühlung geht man davon aus, dass die Sensoren eines zukünftigen Vertexdetektors bis zu einer Dicke von 30–50 μm gedünnt werden. Die Motivation dabei ist, den zu messenden Teilchen so wenig Material wie möglich in den Weg zu stellen. Allerdings produziert die auf den Chips integrierte Elektronik Wärme, die durch aktive Kühlung abgeführt werden muss. Um die Qualität des Detektors nicht zu kompromittieren muss diese Kühlung mit sehr wenig zusätzlichem Material auskommen. Es wurde eine Lösung entwickelt und untersucht, die mit einer Verdampfungskühlung und dem Kältemittel R134a in sehr dünnen Röhrchen ($d = 0.65 \text{ mm}$) arbeitet. Nach sorgfältiger Optimierung der Anlage konnte gezeigt werden, dass mit dieser Methode eine effektive Kühlung möglich ist, wie in Abbildung 72 gezeigt ist.

In einem supraleitenden Linearbeschleuniger erreicht der Arbeitszyklus weniger als 1%. Konkret bedeutet dies, dass auf eine Abfolge von Strahlpaketen eine Pause folgt, in der die Energie der Beschleunigungsstrecken erneuert werden kann. Das Problem der Kühlung des Vertexdetektors lässt sich verringern, wenn man wesentliche Teile der Elektronik in diesen Pausen abschaltet. Allerdings ist es nicht offensichtlich, dass stabiler Betrieb von Pixeldetektoren möglich ist, wenn diese 5–10 mal pro Sekunde für einen Zeitraum von 1 ms ein- und ausgeschaltet werden. Zur Untersuchung dieser Frage wurde die Ausleseelektronik für MAPS Detektoren derart verändert, dass sie mit einer Frequenz von 5 Hz geschaltet werden kann. Damit wurde

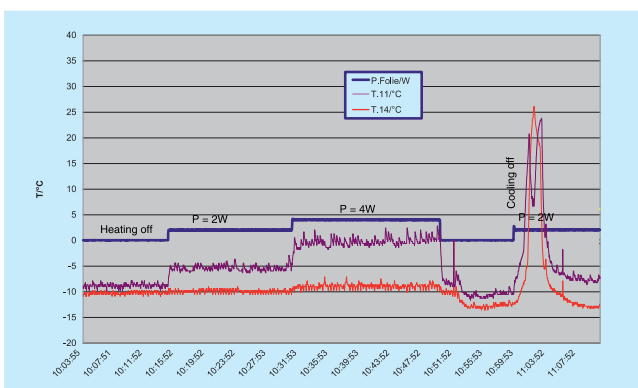


Abbildung 72: Temperatur eines gekühlten CMOS Chips mit und ohne Kühlung.

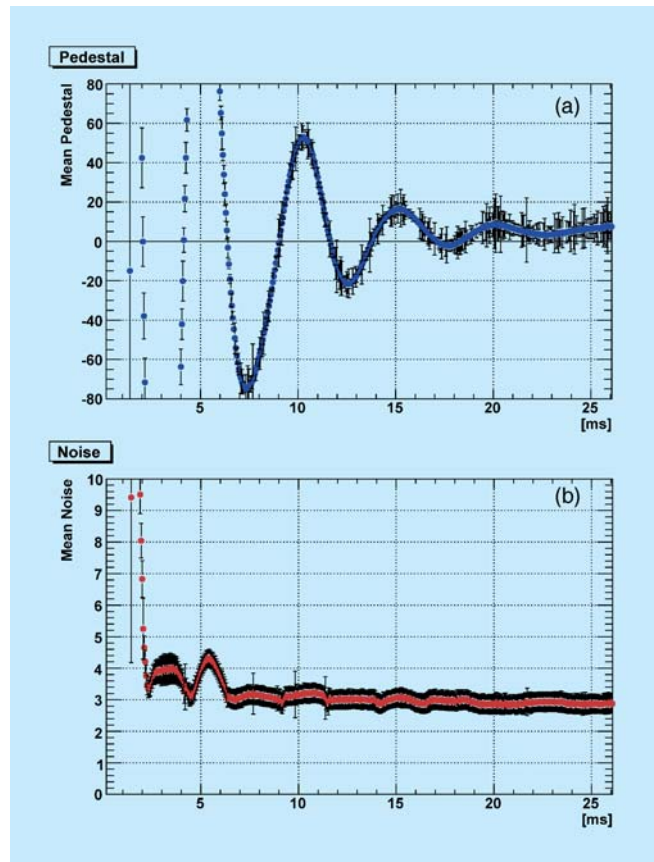


Abbildung 73: Pedestal (a) und Rauschen (b) eines MAPS Chips nach der Bestrahlung mit niederenergetischen Elektronen.

untersucht, wie lange man nach dem Einschalten warten muss, bis der Sensor stabil ist. Ein Ergebnis dieser Studien ist in Abbildung 73 dargestellt. Dort sieht man, dass das Pedestal (73a) des Sensors 20 ms lang nach dem Einschalten schwingt. Allerdings beruhigt sich das Rauschen (73b) bereits nach 1–2 ms auf ein Niveau, das mit dem bei ununterbrochenem Betrieb vergleichbar ist. Somit konnte gezeigt werden, dass MAPS Sensoren nur 1–2 ms vor dem Eintreffen eines Zuges von Strahlpaketen eingeschaltet werden müssen. Das bedeutet, dass sich auf diesem Wege die Abwärmeleistung eines Vertexdetektors an einem supraleitenden Linearbeschleuniger um einen Faktor 50–100 verringern lässt.

Schließlich wurde das Verhalten von MAPS Chips nach Bestrahlung mit hohen elektromagnetischen Dosen untersucht. Dabei wurde versucht, die Effekte der



Abbildung 74: Ein MAPS Chip während der Bestrahlung mit Elektronen bei der GSI in Darmstadt

Beamstrahlung, d. h. der niederenergetischen Elektronen und Positronen, zu simulieren. Entsprechend wurde ein MAPS Chip bei der GSI in Darmstadt mit Raten von 10^{13} Elektronen/cm² bei einer Energie von ca. 9 MeV bestrahlt und anschließend im 6 GeV/c Elektronenteststrahl bei DESY untersucht. Abbildung 74 zeigt den Chip während der Bestrahlung. Diese Untersuchung hat gezeigt, dass insbesondere das Rauschen nach Bestrahlung deutlich zunimmt, während die Signale recht stabil sind. Somit verschlechtert sich das Verhältnis von Signal zu Rauschen von 24 für einen unbestrahlten Chip zu 16 für den Chip nach Bestrahlung. Entsprechend verschlechtert sich auch die Ortsauflösung um etwa 30%. Der bestrahlte Chip wäre allerdings weiterhin, wenn auch mit etwas verschlechterten Eigenschaften, benutzbar. Hier soll noch hinzugefügt werden, dass die Strahlendosis bei dieser Untersuchung erheblich über der beim Betrieb eines Vertexdetektors zu erwartenden liegt.

Zeit-Projektions Kammer

Das LDC (*Large Detector Concept*) eines Detektors am ILC sieht als zentralen Spurdetektor eine Zeit-Projektionskammer (*Time Projection Chamber, TPC*) vor. Seit mehreren Jahren finden am DESY in enger Zusammenarbeit mit mehreren deutschen Universitäten

Entwicklungsarbeiten zu einer solchen Kammer statt. Die Anforderungen an Genauigkeit, Zuverlässigkeit und auch Preiswürdigkeit dieses Gerätes lassen den Einsatz am ILC von konventioneller Technologie der Auslese einer TPC mit einer Drahtkammer nicht zu. Stattdessen wird der Einsatz von *Micro Pattern Gas Detectors* (MPGD) intensiv studiert. Diese Detektoren, die Gasverstärkungselemente einer Größenordnung von einigen 10 μm aufweisen, versprechen, exzellente Auflösung mit großer Zuverlässigkeit und gleichzeitiger effizienter Produktion zu verbinden.

Am DESY werden *Gas Electron Multiplier* (GEM) als eine mögliche Option untersucht. Dazu wurde in den vergangenen Jahren eine Testkammer gebaut und in Betrieb genommen, über deren Parameter bereits in den letzten Jahresberichten berichtet wurde. Diese Kammer wurde im Jahre 2006 intensiven Tests an Teilchenstrahlen am DESY ausgesetzt.

Ein zentraler Parameter ist die Punktauflösung, die mit der Kammer erreicht werden kann. Messungen und systematischen Studien am Elektron Strahl am DESY und mit kosmischen Strahlen haben gezeigt, dass eine Auflösung von etwa 100 μm , weitgehend unabhängig von der Driftlänge, in einem magnetischen Feld von 4 Tesla erreichbar ist. Dies ist in Abbildung 75 gezeigt, in der die gemessene Punktauflösung senkrecht zur Drift-Richtung der Elektronen in der Kammer als Funktion der Driftlänge gezeigt wird. Die Analyse dieser Daten

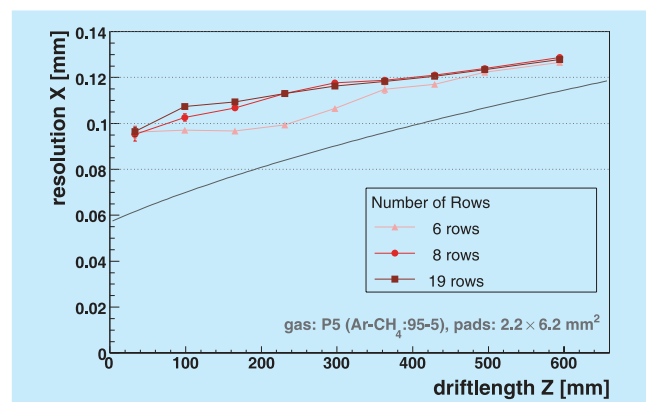


Abbildung 75: Gemessene Auflösung in der Prototyp TPC für verschieden viele Messpunkte entlang der Spur, als Funktion der Driftlänge.

wurde mit verschiedenen Methoden durchgeführt. Ein wesentlicher Bestandteil dabei ist die Optimierung der Größe der Auslesepads, die hinter der GEM Folie die Ladung aufsammeln und an die Ausleseelektronik weiterleiten. Die gezeigten Daten wurden mit 2 mm breiten Pads aufgezeichnet. Diese Pads sind bei 4 T Feldern zu groß, wie man zum Beispiel an der Tatsache sehen kann, dass die Auflösung bei sehr kleinen Abständen ansteigt statt weiter abzufallen. Dies ist dadurch bedingt, dass die Ladungswolke kleiner wird als die Pad Größe und damit keine präzise Ortsinformation mehr zur Verfügung steht. Messungen mit einer kleineren Auslesestruktur sind in Vorbereitung und werden im Laufe des Jahres 2007 durchgeführt.

Ein weiterer wichtiger Parameter ist die Doppelspurauflösung. Gerade bei den sehr hochenergetischen und jet-artigen Ereignissen am ILC ist es sehr wichtig, auch sehr dicht beieinanderliegende Spuren voneinander zu trennen. Eine systematische Studie der Doppelspurauflösung wurde mit Hilfe eines Laserstrahles durchgeführt. Hierzu wird ein UV-Laserstrahl auf einen Querschnitt von unter 100 μm fokussiert und in die Kammer eingeführt. Mit Hilfe eines Quarzprismas wird der Strahl in zwei Strahlen aufgespalten, die einen Winkel von 0.5° zueinander haben und in das aktive Driftvolumen gelenkt werden. Aus der Rekonstruktion des Winkels und des Abstandes der beiden Spuren kann dann eine sehr genaue Messung der Doppelspurauflösung der Kammer abgeleitet werden.

Im Rahmen des EUDET Programmes haben im Laufe des Jahres 2006 die vorbereitenden Arbeiten zur nächsten Generation eines TPC Prototyps begonnen. Im Rahmen der internationalen LC-TPC Kollaboration wird ein TPC Prototyp entwickelt, der mit ca. 80 cm Durchmesser deutlich größer ist als bisherige Prototypen. Mit dieser Kammer, die auf den auch im Rahmen des EUDET Programmes am DESY aufgebauten Magneten PCMag abgestimmt ist, sollen Fragen der großflächigen Installation einer GEM Auslese, der Kalibration und der Teilchenidentifikation angesprochen werden. DESY hat die Verantwortung für den Design und den Bau des Feldkäfigs übernommen. In enger Zusammenarbeit mit der Industrie wurde ein Design für den Feldkäfig entwickelt, welcher im Laufe des Jah-

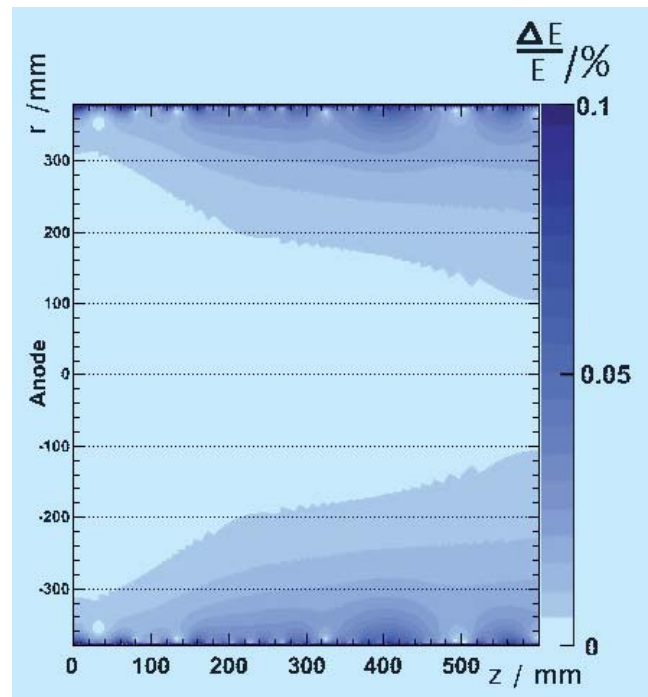


Abbildung 76: Simulierte Driftfeld Verzerrungen in der TPC, mit der Annahme eines realistischen Feldkäfigs.

res 2007 industriell gefertigt werden wird. Im Rahmen des Designs sind am DESY detaillierte Simulationen der mechanischen und elektrischen Eigenschaften des Feldkäfigs durchgeführt worden. In Abbildung 76 ist die Simulation des elektrischen Feldes in der Kammer für eine optimierte Feldkäfigstruktur gezeigt. Abweichungen vom idealen Feld sind kleiner als 10^{-3} .

Im Jahre 2007 werden im Rahmen der TPC Gruppe die Arbeiten mit dem kleinen Prototypen weitgehend zu einem Abschluss gebracht werden. Es ist geplant, die Ergebnisse der Einzelpunktauflösung und der Doppelspurauflösung zu publizieren. Im Laufe des Sommers 2007 wird der Feldkäfig am DESY eintreffen, ausgerüstet und in Betrieb genommen werden. Zusammen mit internationalen Partnern werden erste Messungen mit der neuen Kammer im Jahre 2008 erwartet, so dass Ergebnisse im Jahre 2009 vorliegen können. Diese Ergebnisse werden bei der Erstellung eines *Engineering Design Reports* für einen Detektor im Jahre 2010 eine wichtige Rolle spielen.

Kalorimeter

Das Kalorimeter spielt eine zentrale Rolle beim Detektor für den ILC. Am DESY werden intensive Entwicklungsarbeiten an einem hadronischen Kalorimeter durchgeführt. Diese Arbeiten sind in der internationalen CALICE Kollaboration eingebettet, einer Gruppe von mehr als 150 Physikern aus 13 Ländern. Das Hauptziel der Arbeiten ist die Entwicklung einer neuen Generation von Kalorimetern, die mit bisher unerreichter Granularität und Segmentation alle bisher gebauten Kalorimeter in den Schatten stellen sollen.

Das hadronische Kalorimeter basiert auf einem konventionellen Aufbau von Stahlabsorberplatten und Szintillatorplatten zur Auslese. Neu ist die Auslese der Szintillatorplatten, die aufgrund der Entwicklung kleiner, leistungsstarker Silizium basierender Photodetektoren direkt in die Szintillatorplatten integriert werden kann. Am DESY ist in den Jahren 2005 und 2006 ein großer Prototyp eines solchen hochgranularen Kalorimeters gebaut worden.

In vier Monaten zwischen Juni und Oktober 2006 wurde dieser Prototyp zusammen mit einem Prototypen eines elektromagnetischen Kalorimeters und einem Muon-Detektor in einem hadronischen Teststrahl am CERN ausführlich vermessen (siehe Abbildung 77).

Das Teststrahl Experiment hat zwei Hauptziele: die Detektor Technologie soll in einer großen Anwendung unter realistischen Bedingungen etabliert werden, und Daten über die Entwicklung hadronischer Schauer sollen mit diesem sehr granularen Kalorimeter aufgezeichnet und analysiert werden. Die Daten sollen dann verwendet werden, um einerseits die Modelle hadronischer Schauer zu überprüfen, andererseits, um *Particle Flow* Algorithmen basierend auf richtigen Daten entwickeln zu können. Fernziel der Aktivitäten ist es, ausreichend Daten und ausreichend Erfahrungen zu sammeln, um eine fundierte Optimierung eines Kalorimeters für den ILC durchführen zu können.

Während der Datennahme hat der CALICE Detektor mit mehr als 90%iger Effizienz Daten aufgezeichnet. Insgesamt hat die Kollaboration mehr als 65 Millionen Ereignisse aufgezeichnet (siehe Abbildung 78). Hadro-

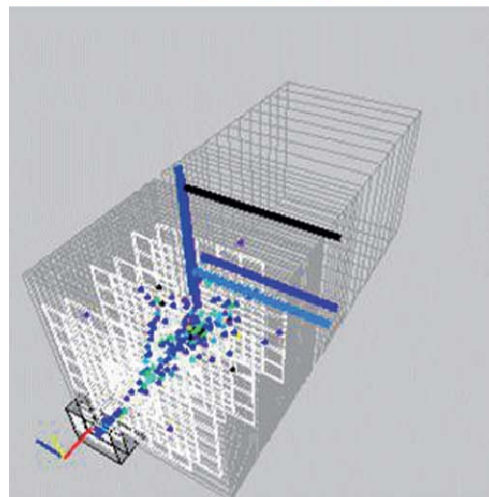
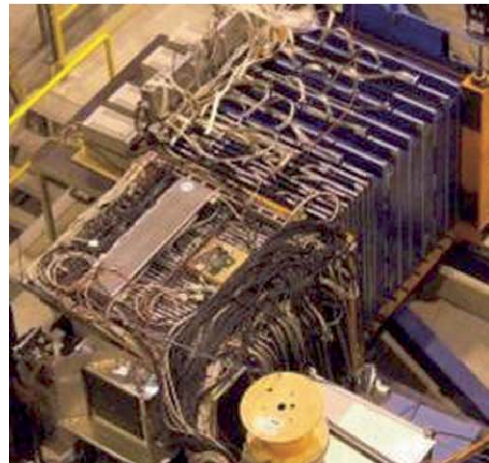
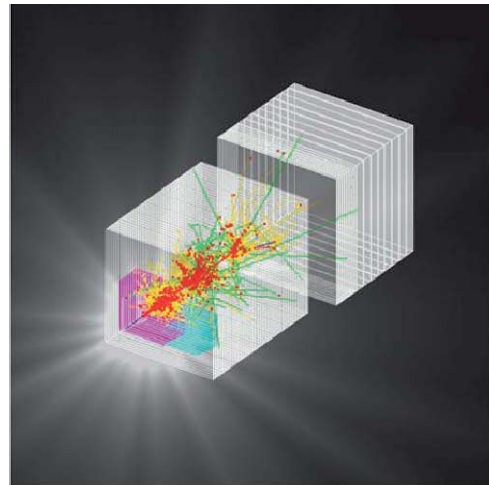


Abbildung 77: Oben: Simulierter Pionen Schauer im CALICE Experiment mit ECAL, HCAL und TCMT aktiv; Mitte: Photo des Teststrahl experimentes am CERN; Unten: Pion Ereignis im on-line Event Display.

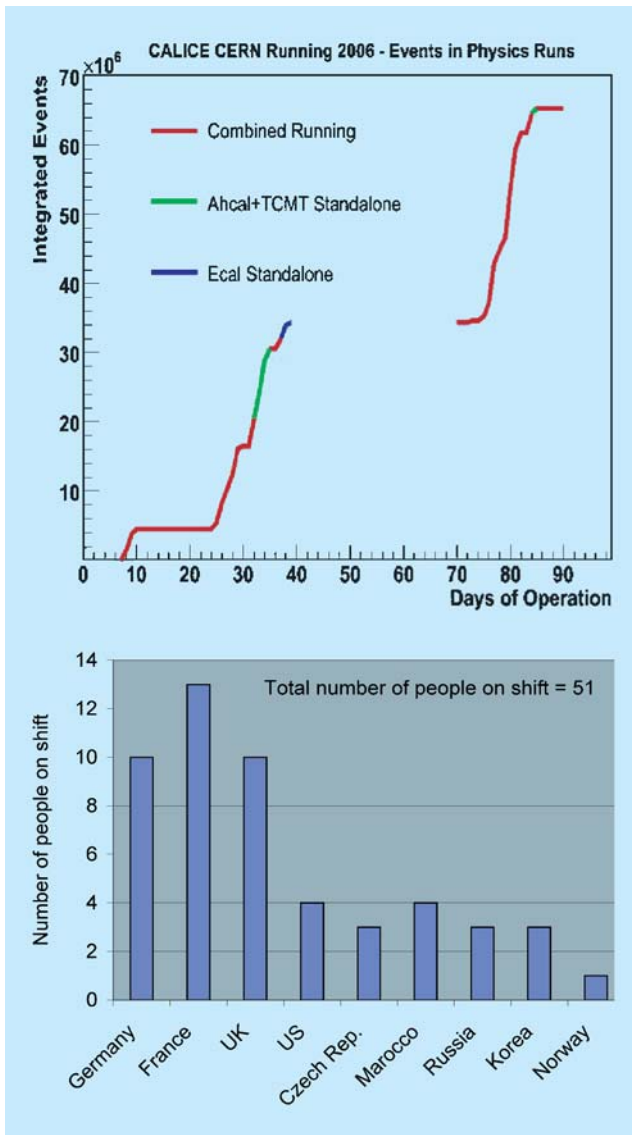


Abbildung 78: Oben: Entwicklung der Zahl der aufgezeichneten Ereignisse im Test Strahl Experiment, als Funktion der Zeit in der Periode Juli–November 2006. Unten: Plan der geleisteten Schichten der Mitglieder der CALICE Kollaboration während der verschiedenen Test Strahl Perioden.

nen und Muonen wurden mit verschiedenen Impulsen aufgezeichnet. Sowohl positiv als auch negativ geladene Teilchen bei Energien zwischen 6 und 45 GeV wurden untersucht. Aus technischen und Zeit Gründen konnten Daten nur unter Null Grad Einfallrichtung

aufgezeichnet werden. In einem zweiten Teststrahl Experiment im Jahre 2007 sollen Daten auch unter anderen Winkeln genommen werden.

Seit der Beendigung der Datennahme konzentriert sich die Kollaboration auf die Analyse der Daten. Ein wesentlicher Schritt war dabei die Kalibration der etwa 10000 Kalorimeter Zellen, die mit Hilfe elektromagnetischer Schauer im ECAL und im HCAL bewerkstelligt wurde. Eine detaillierte Analyse der hadronischen Schauer hat gerade begonnen.

Im Jahre 2007 wird das experimentelle Programm mit einem weiteren Experiment am CERN fortgesetzt. Der Detektor wird dann vollständig instrumentiert sein und auch in unterschiedlichen Positionen relativ zum Strahl positionierbar sein.

FCAL – Vorwärtskalorimeter

In der strahl nahen Region des geplanten ILC Detektors sind zwei Kalorimeter vorgesehen. Das BeamCal, welches direkt an der Strahlröhre anliegt und Polarwinkel von etwa 5 bis 30 mrad überdeckt, muss unter sehr hoher Strahlenbelastung funktionstüchtig bleiben. Elektronen und Positronen, die durch Beamstrahlung erzeugt werden, deponieren eine Dosis von etwa 10 MGy pro Jahr. Für die Physik am ILC ist es wichtig, hochenergetische einzelne Elektronen bis zu kleinsten Polarwinkeln zu erkennen, da diese einen Untergrund bei der Suche nach neuen Teilchen verursachen. Zu diesem Zweck muss das Kalorimeter kompakt sein und über feinstrukturierte Sensoren verfügen. Die Verteilung der Beamstrahlungspaare im Bereich des BeamCal soll zur Strahldiagnose und -korrektur genutzt werden. 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.

FCAL ist eine weltweite Kollaboration von 13 Instituten, welche sich das Ziel gesetzt hat, die Technologie für diese Kalorimeter zu entwickeln. Die europäischen

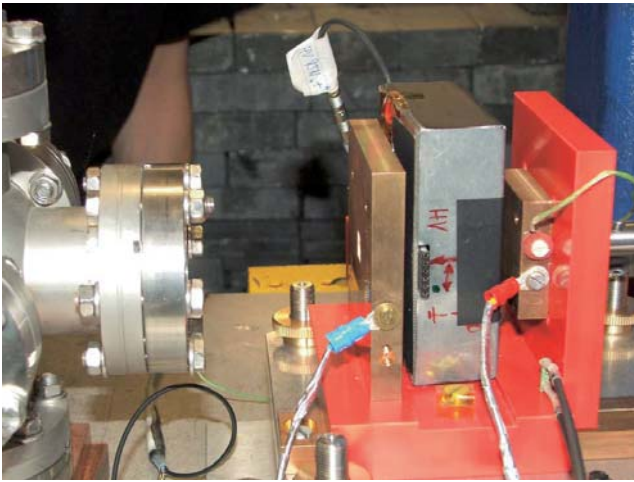


Abbildung 79: Messstand am S-DALINAC. Links befindet sich das Austrittsfenster des Elektronenstrahls. Nach rechts folgt ein Kollimator, die Box mit dem Sensor (Aufschrift HV) und der Strahlfänger. Mit letzterem wird der Elektronenstrom durch den Sensor gemessen.

Institute werden dabei vom Infrastrukturprogramm EU-DET der Europäischen Union unterstützt. Im Rahmen dieses Programms wurde im letzten Jahr die Ausrüstung für den Test der Strahlenhärte von Sensoren für das BeamCal entwickelt, aufgebaut und für Sensortests verwendet. In Abbildung 79 ist als Beispiel der Testaufbau am S-DALINAC Beschleuniger der TU Darmstadt gezeigt. Vermessen wurden Silizium- und Diamantsensoren, letztere bis zu einer Dosis von 7 MGy. Die Daten werden zurzeit analysiert.

Sensorstudien mit poly- und einkristallinen CVD Diamanten wurden im Rahmen von NoRHDia, eines ebenfalls von der Europäischen Union unterstützten Technologieprogramms, weiter vorangetrieben. Die Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut FAP ermöglichte auch die Untersuchung von speziell für BeamCal entwickelten Prototypen. Mit Partnern im JINR in Dubna wurden Prototypen von Gallium-Arsenid Sensoren in Auftrag gegeben. Die ersten Exemplare, wie in Abbildung 80 gezeigt, wurden 2006 geliefert und werden im Moment getestet.

Im Rahmen von EUROTeV wurde weiter an einem Konzept zur schnellen Luminositätsmessung gearbeitet. Letztere erlaubt innerhalb eines Zuges von Elektron-

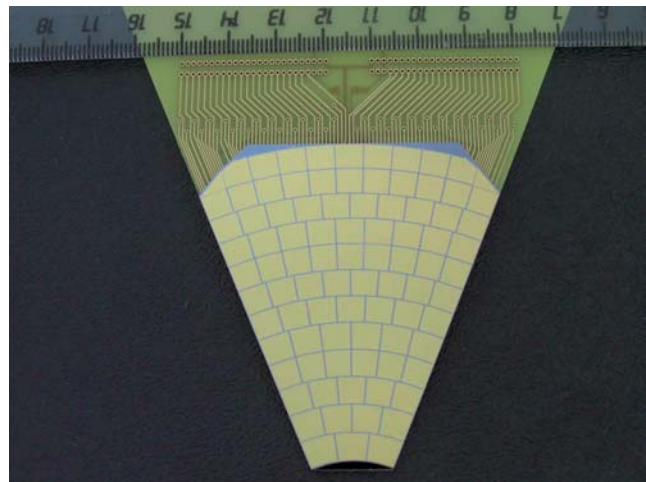


Abbildung 80: Ein Sensor aus Gallium-Arsenid für die mögliche Anwendung im BeamCal.

und Positronpaketen den Strahl so zu steuern, dass am Kollisionspunkt die maximale Luminosität erreicht wird.

Softwarearbeiten zum ILC

Software spielt bei der Entwicklung eines ILC Experimentierprogrammes eine wichtige Rolle. DESY hat wesentliche Arbeiten zur Entwicklung einer Software Umgebung am ILC beigetragen. Besonders erwähnt werden sollte hier die Entwicklung des LCIO Datenmodells und Speichersystemes, das inzwischen von fast der gesamten ILC Community akzeptiert worden ist. Dieses zentral unterstützte Datenmodell erleichtert den Austausch von Daten, und definiert die verschiedenen Bausteine, aus denen ein ILC Ereignis zusammengesetzt wird.

Im Berichtszeitraum sind die Entwicklungsarbeiten am LCIO Modell fortgeführt worden, haben sich aber vor allem auf Wartung beschränkt.

Wesentliche neue Entwicklungen hat es im Bereich der Analyse gegeben. Mit dem ebenfalls am DESY entwickelten MARLIN Program gibt es jetzt eine Software Umgebung, die, basierend auf LCIO, eine relativ einfache und modulare Struktur bereitstellt, in der Nutzer Rekonstruktionen und Analysesoftware entwickeln

können. MARLIN besteht aus einer relativ einfachen Core-Software, und vielen Anwenderpaketen, die verschiedene Funktionalitäten bereitstellen.

Der Schwerpunkt der Entwicklungen im Berichtszeitraum lag auf der Entwicklung eines Algorithmus zum Teilchenfluss (*Particle Flow*, PFA). PFA ist ein Ansatz, der eine deutlich bessere Rekonstruktion der ILC Ereignisse verspricht. Er beruht auf der zentralen Annahme, dass es möglich ist, einzelne Teilchen, geladene wie neutrale, im ILC Detektor zu rekonstruieren. Neben einer sehr leistungsfähigen Rekonstruktion geladener Teilchen, die vor allem im Spurdetektor stattfindet, beruht dies entscheidend auf der Rekonstruktion neutraler Teilchen im Kalorimeter.

Sorgfältige Studien haben begonnen, in denen die Möglichkeit einer solchen umfassenden Rekonstruktion im Kalorimeter untersucht wird. Die Granularität im Kalorimeter spielt hier eine wesentliche Rolle, zusammen mit der Entwicklung geeigneter Mustererkennungsalgorithmen, die im Kalorimeter effizient funktionieren.

DESY spielt auch weiterhin eine zentrale Rolle bei der Verwaltung der ILC Software. In diesem Jahr wurde in Zeuthen die Adaption des LCIO Projektes auf 64-bit Architekturen vollzogen. Desweiteren wurden weitere ILC-Softwareprojekte auf dem CVS Server installiert. Insgesamt sind es jetzt 13 Projekte (bbrtrack, brahms, calice, eutelescope, gear, ilcdcr, ilctools, lccd, marlin, marlinreco, marlintpc, merlin und simdet), die ihre Software-Entwicklung auf dem Server vornehmen.

EUDET

Anfang 2006 startete das EUDET-Projekt (www.eudet.org), das von der Europäischen Kommission gefördert wird und Entwicklungsarbeiten für Detektoren am ILC unterstützt. EUDET ist eine Initiative im 6. EU Forschungsrahmenprogramm, die insbesondere auf die Verbesserung von Infrastrukturen zur Detektorentwicklung abzielt. Für die ILC Detektorentwicklung werden mit Hilfe von EUDET Infrastrukturen aufgebaut und

verbessert, welche die in den nächsten Jahren notwendigen Experimente mit größeren Detektor-Prototypen erlauben. Alle Aktivitäten sind eingebettet in die geplanten Arbeiten der internationalen ILC Detektor R&D Kollaborationen.

Insgesamt sind 31 europäische Universitäten und Forschungsinstitute an EUDET beteiligt, mit DESY als koordinierendem Partner. Weiterhin gibt es über 20 Institute aus Europa und anderen Kontinenten, die als assoziierte Partner an dem Projekt beteiligt sind. Das Projekt ist auf 4 Jahre bis Ende 2009 angelegt und hat einen Gesamtumfang von über 21 Millionen Euro, von denen 7 Millionen von der EU beigetragen werden. Die EUDET-Kollaboration veranstaltete ein Kick-off Meeting im Februar am DESY und das erste Jahrestreffen im Oktober am MPI München mit jeweils mehr als 100 Teilnehmern. Alle im ersten Jahr gesteckten Ziele wurden erreicht.

Im Rahmen von EUDET ist es auch möglich europäische Gruppen zu fördern, die am DESY Teststrahl Experimente durchführen wollen, sowohl für ILC als auch andere Detektorprojekte. Nach Begutachtung eines Antrages können aus EU-Mitteln Reisen und Aufenthalt von Forschergruppen aus dem europäischen Ausland übernommen werden.

Die DESY bezogenen EUDET Aktivitäten sind bereits an anderer Stelle in diesem Bericht erwähnt worden.

Öffentlichkeitsarbeit bei FLC

Kommunikation und Outreach sind schon seit langem fester Bestandteil der Aufgaben der Gruppe FLC. Seit März werden diese Aufgaben von einer der vier ILC-Kommunikatoren übernommen, die für Pressearbeit und Kommunikation des ILC verantwortlich sind. Zu den Aufgaben gehört die wöchentliche Publikation von ILC NewsLine (einschließlich der Recherche, des Schreibens und Redigierens von Berichten), Bestimmung des Inhalts und Aktualisierung der Webseite www.linearcollider.org, Erstellung von Sonderpublikationen wie dem ILC-Flyer oder das RDR

Companion Document. Im Jahr 2006 haben die ILC-Kommunikatoren einen strategischen Kommunikationsplan ausgearbeitet und in weiten Teilen umgesetzt. Zurzeit findet ein Übergang statt, in dem die Gewichtung von interner Kommunikation auf externe Kommunikation verlagert wird.

Es besteht eine enge Zusammenarbeit mit der DESY PR-Abteilung. So wurde zum Beispiel eine Vortragsveranstaltung und Ausstellung im Rahmen des *Euroscience Open Forum* (ESOF) in München organisiert, die regen Zuspruch fanden. Mehr als 20 Journalisten nahmen an der Journalistenreise zum CERN zu dem Thema *Die deutschen Beiträge zum LHC* teil, organisiert von DESY PR/FLC und dem Max-Planck-Institut für Physik in München. Die vielen Artikel in regionalen und nationalen Zeitungen zeugen vom großen Interesse an technischen Themen auch in nicht technisch spezialisierten Medien. Auch bei der neuen DESY-Mitarbeiterzeitung *inForm* ist FLC fest eingebunden.

Zusammenfassung und Ausblick

Das ILC Projekt am DESY hat im Jahre 2006 wesentliche Fortschritte machen können. Die termingerechte Fertigstellung des *Reference Design Reports* für die Maschine und für das Experimentierprogramm am ILC ist durch wesentliche Beiträge von DESY Gruppen mit ermöglicht worden. Im Rahmen der ILC Projektgruppe werden Arbeiten in Hamburg und Zeuthen, und in verschiedenen Bereichen am DESY koordiniert. Regelmäßige Treffen der verschiedenen Fachgruppen miteinander stellen ein effizientes Arbeiten sicher.

Die Arbeiten am ILC profitieren wesentlich von der großen Nähe zum XFEL Projekt. Viele Synergie Effekte können hier ausgenutzt werden, und führen zu einer zentralen Rolle des DESY in verschiedenen Systemen des ILC. Besonders wichtig war im Berichtszeitraum die Inbetriebnahme des neuen Modul 6.

Detektorentwicklung in Hamburg konzentriert sich auf die Entwicklung der MAPS Technologie für einen Vertex Detektor, die Entwicklung einer TPC und eines hadronischen Kalorimeters für den ILC. Die Arbeiten werden wesentlich im Rahmen der Gruppe FLC und den ZEUS und H1 experimentellen Gruppen durchgeführt. In Zeuthen finden Arbeiten zur Entwicklung des FCAL statt. Physikstudien und Softwareentwicklungen werden in enger Kooperation zwischen beiden Standorten durchgeführt.

Im Jahre 2006 nahm die Emmy Noether Nachwuchsgruppe unter der Leitung von Frau Dr. Jenny List ihre Arbeit auf. Die Arbeiten zur Polarisationsmessung am ILC und die Untersuchungen zum Potential des ILC bei der Suche nach Dunkler Materie werden von dieser Gruppe durchgeführt. Die HGF Nachwuchsgruppe unter der Leitung von Frau Dr. Erika Garutti engagiert sich in der Entwicklung des hadronischen Kalorimeters und untersucht gleichzeitig Anwendungen der für das HCAL entwickelten Technologien z. B. in der Medizintechnologie.

Die nächsten Jahre werden wesentlich von einem Übergang von reinen R&D Studien zu Ingenieursstudien bestimmt sein. Die R&D Arbeiten werden bis zum Ende des Jahrzehntes ein vorläufiges Ergebnis erreicht haben. Parallel dazu werden die Vorbereitungen für einen *Engineering Design Report* der Maschine und des Detektors anlaufen.