

# DESY Zeuthen

## Inhalt

Übersicht	149
Forschungsthemen DESY Zeuthen	151
Zentrale Dienste DESY Zeuthen	177

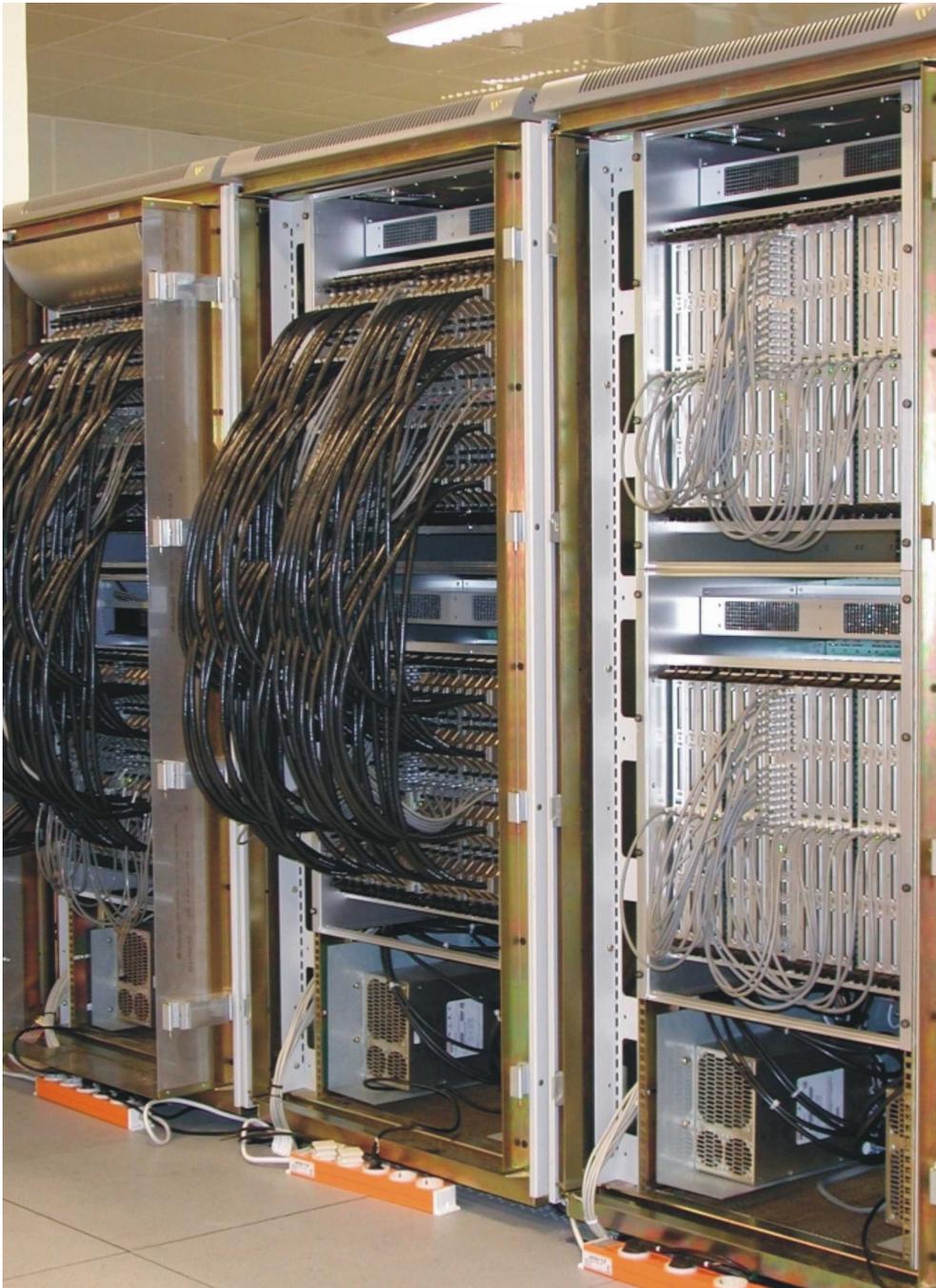


Abbildung 90: *Drei Rechner vom Typ APEmille, die zusammen pro Sekunde 400 Milliarden Gleitkomma-Operationen durchführen können.*

# Übersicht DESY Zeuthen

**Die im Forschungsbereich Zeuthen angesiedelten Themen sind zum Teil direkt an das HERA-Programm gekoppelt, andererseits aber auch typisch für den Standort Zeuthen. Die Aktivitäten, die der Vorbereitung des TESLA Projektes dienen, wurden im Berichtszeitraum weiter deutlich verstärkt.**

## HERA Physik

Am HERA-Programm arbeiten die Projektgruppen H1, HERMES, HERA-B und ZEUS und Mitarbeiter der Theoriegruppe.

Von der H1-Gruppe wurden Silizium-Detektoren zur Messung von unter kleinen Winkeln in Vorwärts- (FST) bzw. Rückwärtsrichtung (BST) erzeugten geladenen Teilchen fertig gestellt. Ein weiterer Detektor, der BST-Pad-Detektor, ermöglicht das Triggern von geladenen Teilchen. Die Gruppe hat sich aktiv an den Physikanalysen beteiligt, die zu wichtigen Resultaten bei der Messung der Gluonstrukturfunktion und der Bestimmung von  $\alpha_s$ , der Kopplungskonstanten der starken Wechselwirkung, führten.

Die HERMES-Gruppe hat im Berichtszeitraum mit den vorbereitenden Arbeiten für ein neues Detektorprojekt begonnen. Der „Recoil Detector“ gestattet die Vermessung der Spuren langsamer geladener Teilchen. Die Zeuthener Gruppe hat die Verantwortung für den aus Siliziumsensoren bestehenden Teildetektor übernommen. Eine gründliche Diskussion wichtiger Aspekte des HERMES Physikprogramms fand auf dem zusammen mit Zeuthener Theoretikern durchgeführten Workshop „Transverse Spin“ statt.

## L3

Mit dem Abschalten von LEP am CERN geht auch die sehr fruchtbare und produktive Zeit der L3 Gruppe

zu Ende. Die Gruppe hatte neben der Verantwortung im Experiment mit diversen Detektorkomponenten und Beiträgen zur Software auch großen Anteil an den physikalischen Analysen von L3. In Zeuthen wurden im Berichtszeitraum die Untersuchungen zur Higgs- und  $\tau$ -Physik fortgesetzt. Diese Arbeiten werden voraussichtlich im Jahr 2003 abgeschlossen.

Zeuthener Physiker haben sich auch an dem L3 Teilexperiment L3cosmics beteiligt, das die Messung des Energiespektrums kosmischer Myonen ermöglicht. Hierzu wurde der L3 Detektor zusätzlich mit großflächigen Szintillationszählern ausgerüstet. Vorläufige Ergebnisse zeigen, dass das Experiment gute Resultate liefert. Auch diese Analysen werden im Jahr 2003 abgeschlossen werden.

## Neutrino-Astrophysik

Im Berichtsjahr wurde der AMANDA Detektor, der das Eis des Südpols zum Nachweis hochenergetischer Neutrinowechselwirkungen verwendet, erfolgreich betrieben. Es wurden Ergebnisse zur Messgenauigkeit des Detektors, zu atmosphärischen Neutrinos, Neutrinos von Punktquellen sowie zur Suche nach magnetischen Monopolen und WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles) veröffentlicht. Um eine ausreichende Empfindlichkeit für hochenergetische kosmische Neutrinos zu erzielen, wird allerdings ein Detektor mit einem Volumen von  $1 \text{ km}^3$  benötigt. Ein entsprechender Vorschlag, IceCube, wurde von Physikern aus Belgien, Deutschland, Schweden und den USA ausgearbeitet und von den entsprechenden Komitees in den USA, die den Großteil des Experiments und die Forschungsstation am Südpol finanzieren, begutachtet und empfohlen. Basierend auf der Empfehlung des DESY-PRC (Physics Research Committee) hat das Direktorium die Teilnahme von DESY an IceCube entschieden.

### Entwicklung massiv paralleler Rechner für die Gittereichtheorie

Zur Lösung von Problemen der theoretischen Teilchenphysik im Rahmen der Gittereichtheorie werden Spezialrechner mit außerordentlicher Rechenleistung benötigt. Im Betriebsjahr wurde die Installation der APE-mille Rechner, die seit 1996 gemeinsam mit dem INFN (Italien) entwickelt werden, in Zeuthen abgeschlossen (Abb. 90). Somit stehen der Gittereichtheorie-Community seit Sommer 2001 im Rahmen des NIC (John-von-Neumann-Institut für Computing) 650 GFlops an Rechenleistung zu Verfügung. Allerdings kann damit nur etwa ein Drittel des in Deutschland vorhandenen Bedarfs gedeckt werden. Um auch in Zukunft den wachsenden Bedarf an Rechenzeit befriedigen zu können, wird seit 2000 zusammen mit dem INFN und Orsay (Frankreich) der Nachfolgerechner apeNEXT entwickelt. Ziel ist es, bis etwa Ende 2002 einen Prototyp mit einer Rechenleistung von 500 GFlops bei Serienproduktionskosten von 1 MFlop/0.5 Euro zu entwickeln. Auf dieser Basis ließe sich eine Installation von mehreren TFlops in den Jahren 2003/04 in Zeuthen realisieren.

### Arbeiten zum TESLA Projekt

Die Zeuthener Arbeiten zu TESLA haben zwei Schwerpunkte: Studien zur Physik und Detektor-

entwicklung und den Aufbau des Photoinjektor Teststands PITZ. Im Frühjahr 2001 wurde der Technical Design Report für den Linear-Collider TESLA fertig gestellt und in einem Wissenschaftlichen Kolloquium am DESY der Öffentlichkeit vorgestellt. Zeuthener Physiker haben im Rahmen des ECFA/DESY Workshops zum Beispiel an physikalischen Analysen zum Standardmodell Higgs-Boson und zur Top-Produktion, an Studien zur elektroschwachen Physik mit der GigaZ-Option des Linear-Colliders sowie an Software-Entwicklungen zur Detektor-Simulation und -Graphik mitgearbeitet. In der zweiten Jahreshälfte wurden in Zeuthen zwei weitere TESLA-Aktivitäten gestartet: Untersuchungen für ein Kalorimeter im Bereich der Maske sowie Arbeiten für einen Photon-Photon Collider bei TESLA.

Der Photoinjektor-Teststand PITZ in Zeuthen ist ein Test-Beschleuniger zur Entwicklung und Verbesserung lasergetriebener Hochfrequenz-Photoinjektoren. Nachdem im Jahr 2000 die Bauarbeiten abgeschlossen werden konnten, wurden im Berichtsjahr die Arbeiten an der benötigten Infrastruktur abgeschlossen und die Komponenten des Teststandes aufgebaut. Das vom Max-Born-Institut entwickelte Lasersystem ging im Oktober in Betrieb, während die Hochfrequenz-Versorgung seit September erprobt wird. In den Folgemonaten wurden das Klystron und die Hochfrequenz-Elektronenquelle konditioniert.

# Forschungsthemen DESY Zeuthen

## Experimente bei HERA

### Das H1-Experiment

#### Arbeiten zur Verbesserung des Detektors

Im Jahr 2001 wurden die umfangreichen Arbeiten zur Luminositätssteigerung am HERA-Beschleuniger abgeschlossen. Diese haben das Ziel, seltene Reaktionen, zum Beispiel solche mit hohem Impulsübertrag vom Elektron auf das Proton, nachzuweisen sowie viele der bereits beobachteten Prozesse, zum Beispiel die Erzeugung schwerer Quarks, mit größtmöglicher Präzision zu analysieren. Neben dem Umbau der Wechselwirkungszone waren dazu auch Veränderungen an den Detektoren notwendig.

Im Frühjahr 2001 wurden in Zeuthen drei Siliziumdetektoren fertig gestellt und in den H1-Detektor integriert: der Paddetektor und der Streifendetektor des BST (Backward Silicon Tracker) sowie der Streifendetektor des FST (Forward Silicon Tracker).

Der Paddetektor besteht aus 48 Si-Pad-Wafern, deren 1536 Signale mit einem in Zeuthen entwickelten, integrierten Schaltkreis (PRO-A) verstärkt und digitalisiert werden. Die Auslese erfolgt mittels programmierbarer Logikbausteine (FPGAs). Der Detektor dient mit seinen 384 parallel ausgelesenen, totzeitfreien Kanälen zum Triggern auf geladene Teilchen, die nahe der Strahlröhre in Richtung des Positronstrahls (rückwärts) gestreut werden. In den Studien zur Optimierung des Strahluntergrundes wurde der Detektor bereits als Monitor erfolgreich verwendet und seine Signale zum HERA-Kontrollraum übermittelt (Abb. 91).

Der BST und der FST Streifendetektor erlauben den Nachweis von Teilchen in Rückwärts- bzw. Vorwärts-

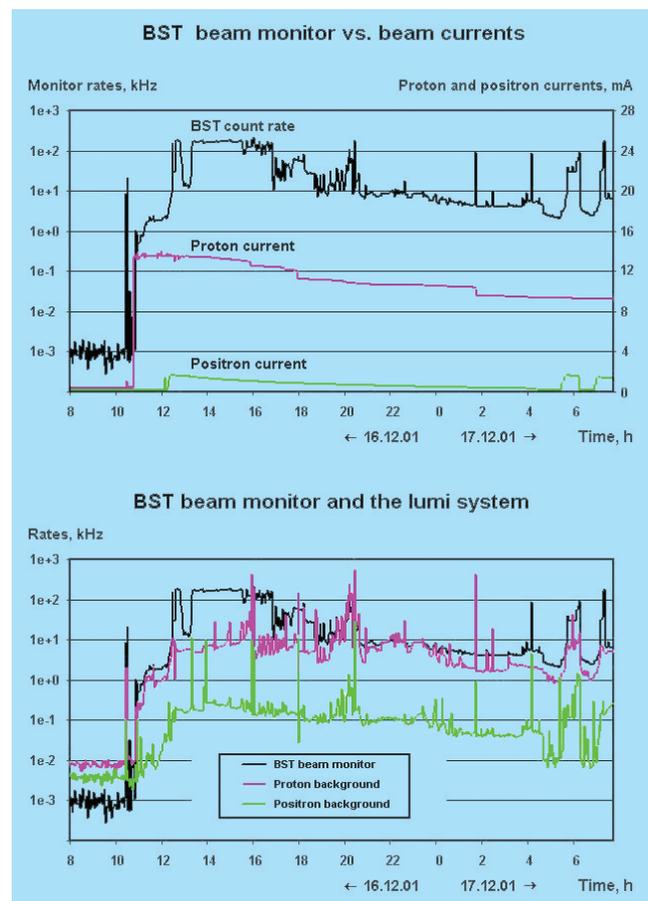


Abbildung 91: Zählrate des BST Paddetektors und die Proton- und Positronströme (in mA) sowie die Signale des Luminositätssystems als Funktion der Zeit.

richtung. Sie bestehen aus je 144 4-Zoll-Si-Wafern mit je 640, das heißt insgesamt je 92 160, Auslesekanälen. Die fertigen Detektormodule wurden vor dem Einbau getestet und hatten eine Effektivität von besser als 98% (für die neueren  $\varphi$ -Module) und von 95% (für die bereits mehrfach verwendeten r-Module). Für die Verarbeitung der Signale

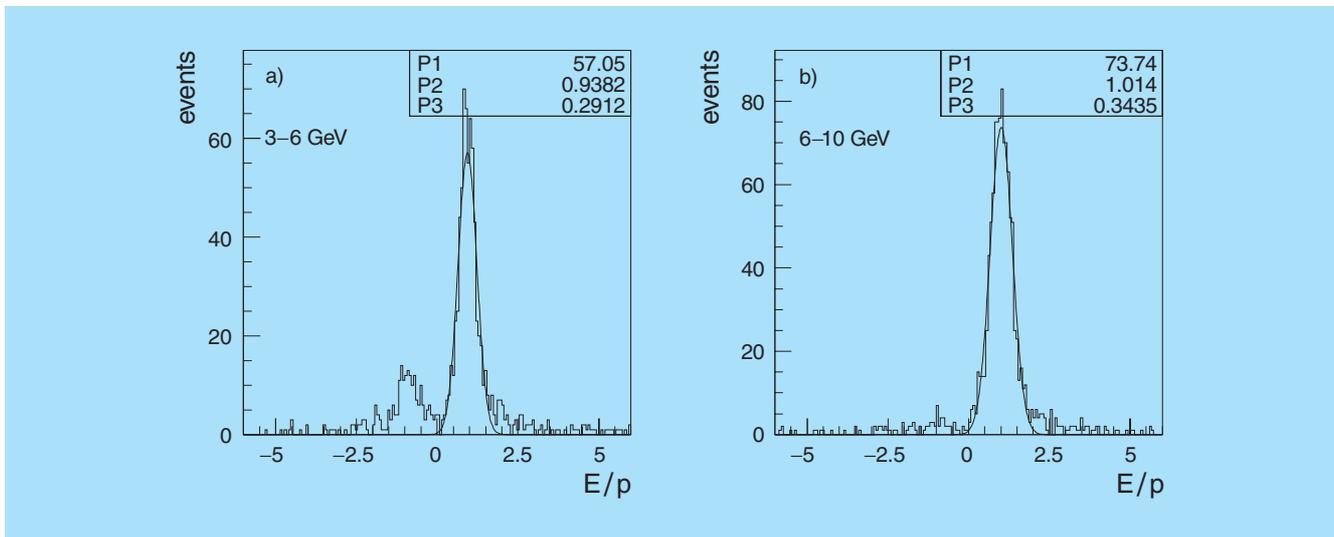


Abbildung 92: Verhältnis der Energie  $E$  (SPACAL) zum Impuls  $p$  (BST): a) der Beitrag von Hadronen mit falscher, hier negativer, Ladung wird gemessen und so das eigentliche Signal der tiefunelastischen Streuung extrahiert; b) die Impulsmessung des BST kontrolliert die Energieskala des SPACAL-Kalorimeters unterhalb von 10 GeV Positronenergie.

und die Steuerung der Detektoren werden speziell entwickelte Readout-Platinen und elektronische Module eingesetzt. Die Arbeiten zur Installation von BST und FST wurden Anfang 2002 abgeschlossen.

Für die Bestimmung der longitudinalen Strukturfunktion  $F_L$  ist es erforderlich, Positronen mit wenigen GeV Energie nachzuweisen. Zur Erkennung und Subtraktion des großen hadronischen Untergrundes in diesem Energiebereich dient die Messung des Impulses und des Ladungsvorzeichens im BST neben der Messung der Energie im nachfolgenden Kalorimeter SPACAL (Abb. 92).

Das Jahr 2001 wurde außerdem genutzt für eine umfangreiche Erneuerung von Komponenten des Vorwärts-Protonenspektrometers (FPS). Nachdem die erste Generation von Faserdetektoren seit 1995 im Einsatz war, mussten alle wichtigen opto-elektronischen Komponenten komplett ersetzt werden. Durch Alterung des Szintillators in den Faser- und Triggerdetektoren war die Nachweis-Effektivität merklich schlechter geworden. Der Prototyp einer neuen FPS-Station wurde im Jahre 2000 erfolgreich getestet. 2001 wurden die übrigen vertikalen und horizontalen Stationen mit neuen Baugruppen versehen. Die neue Generation der Stationen ist mit leistungsfähigeren Photomultipliern und

Faserdetektoren ausgerüstet, die im Falle des Verschleißes auch unkompliziert austauschbar sind. Beide vertikalen Stationen wurden im Herbst 2001 mit kosmischen Myonen getestet und die erwarteten Parameter für Effektivität und Ortsauflösung erreicht.

## Datenanalyse

Im Mittelpunkt der Analysearbeiten stand die Auswertung von Daten, die im Dezember 1999 mit dedizierten Triggern aufgenommen wurden, um mit dem 8-Ebenen-BST sowie dem SPACAL eine präzise Messung des inklusiven Wirkungsquerschnitts für tiefunelastische  $e p$  Streuung ( $ep \rightarrow eX$ ) bei 920 GeV Protonenergie und 27.5 GeV Positronenergie durchzuführen. Im Mittelpunkt dieser Arbeit standen die Überprüfung von Anfang 2001 publizierten Daten bei 820 GeV mit einer modifizierten Apparatur sowie die Erweiterung des Messbereichs zu kleinen Bjorken  $x$  bzw. großen Inelastizitäten  $y$  hin (siehe Kapitel H1, Seite 37ff.). Der Streuquerschnitt wurde mit etwa 2–3% Genauigkeit gemessen, und neue Daten für  $F_L$  wurden erhalten. Diese können durch Vorhersagen der QCD und des Dipolmodells beschrieben werden. Ein bemerkenswertes Resultat ist die Beobachtung, dass die aus dem

$Q^2$ -Verhalten von  $F_2$  berechnete Funktion  $F_L$  mit den Daten übereinstimmt. Das ist ein wichtiger Konsistenztest der QCD, der zukünftig mit noch genaueren  $F_L$ -Daten durchzuführen sein wird. Diese Resultate wurden auf den Konferenzen des Jahres 2001, in Bologna (DIS) und Budapest (EPS), präsentiert. In einer weiteren Arbeit wurde das Anwachsen der Strukturfunktion  $F_2$  bei kleinen  $x$  mit Hilfe der Ableitung  $d \ln F_2 / d \ln x$  untersucht. Dabei konnte wegen der großen Messgenauigkeit nachgewiesen werden, dass  $F_2$  wie  $x^{-\lambda}$  zu kleinen  $x$  hin anwächst, wobei  $\lambda$  nur von  $Q^2$  und nicht auch von  $x$  abhängt. Die beobachtete Stetigkeit dieses Verhaltens ist von großer Bedeutung für die theoretische Beschreibung des Bereiches großer Partondichten im Proton. Zur Analyse der Messung des Streuquerschnitts sowie zu umfangreichen Simulationsrechnungen wurde die PC Farm verwendet. Die Messungen der Strukturfunktionen  $F_2$  und  $F_L$  und die QCD-Analyse zur Bestimmung der Gluondichte bei kleinen  $x$  und der Kopplungskonstanten  $\alpha_s$  sind Bestandteile von zwei in Zeuthen entstandenen Dissertationen.

Im Jahr 2001 wurden die Analysen der Daten des Jahres 1996 abgeschlossen. Erste Ergebnisse der elastischen Erzeugung von  $\rho$ -Mesonen und tiefunelastischer Prozesse wurden auf der Europäischen Hochenergiekonferenz in Budapest gezeigt.

## Das HERA-B-Experiment

Das HERA-B-Experiment hatte im Jahr 2000 die erste längere Datennahme mit etwa 30 Millionen aufgezeichneten Ereignissen. Diese Daten wurden während der Umbauphase von HERA im Berichtsjahr analysiert, und es konnten wichtige Erfahrungen für das Verhalten des Detektors gewonnen werden. Die Betriebsunterbrechung von HERA wurde für die Reparatur und Verbesserung des Detektors genutzt, so dass der Detektor gegen Ende des Jahres in einem optimalen Zustand für die neue Datennahme bereit war. Das Programm für diese Datennahme ist, wie bereits im letzten Jahresbericht ausgeführt, neu definiert worden und wird sich vor allem auf die Messung des Wirkungsquerschnittes für die Produktion von Bottom-Quarks und Charmonium-Zuständen konzentrieren (siehe Kapitel HERA-B, Seite 81).

Die an HERA-B beteiligte Gruppe des Zeuthener Instituts hat, in enger Zusammenarbeit mit der Humboldt-Universität zu Berlin, Aufgaben und koordinierende Funktionen in folgenden Bereichen übernommen:

- Entwicklung, Bau und Betrieb des Äußeren Spurkammersystems „Outer Tracker“ (in Kollaboration mit DESY-Hamburg, VIK Dubna, NIKHEF Amsterdam, Tsinghua Universität und IHEP Beijing),
- Aufbau und Betrieb einer Prozessorfarm zur schnellen Rekonstruktion und Filterung von Ereignissen im Echtzeitbetrieb,
- Entwicklung des Physikprogramms,
- Software-Entwicklung und -Wartung:
  - Spurrekonstruktion, Alignment und Kalibration des Outer Tracker,
  - Analyse physikalischer Prozesse mit Daten und Simulationen.

## Äußerer Spurkammerdetektor

Im Folgenden werden die Zeuthen/Berlin-Aktivitäten im Rahmen des äußeren Spurkammerdetektors (Outer Tracker) dargestellt. Eine vollständigere Beschreibung findet sich im Kapitel HERA-B (Seite 77).

- Verbesserungen und Reparaturen:
 

Das im letzten Jahresbericht dargestellte Reparaturprogramm des Outer Tracker wurde im Berichtsjahr erfolgreich abgeschlossen. Das Ergebnis ist ein Detektor, der weniger hochspannungs- und rauschempfindlich ist. Beides verspricht höhere Nachweiswahrscheinlichkeiten und Auflösungen für die Rekonstruktion von Spuren geladener Teilchen. In die gleiche Richtung zielt die Entwicklung einer automatisierten Regelung der Gasverstärkung durch Nachfahren der Hochspannung, um den Einfluss von Parametern wie Temperatur, Druck und Gas Mischung auszugleichen.
- Untersuchungen zu Strahlenschäden in Driftzellen:
 

Im Berichtsjahr wurden die Untersuchungen über die Strahlenbelastbarkeit des Outer Tracker zumindest vorläufig abgeschlossen. Die Resultate sind auf dem internationalen „Aging Workshop“ im Oktober in Hamburg vorgetragen worden. Die Zeuthener HERA-B Gruppe beteiligte sich mit Beiträgen

zu den Untersuchungen des so genannten „Malter-Effekts“, der an den ersten Kammer-Prototypen beobachtet wurde, sowie mit Untersuchungen zu Beschädigungen der Goldbeschichtung der Anodendrähte, die von dem CF<sub>4</sub>-Anteil im Driftgas verursacht werden.

- Kontrolle der Datenqualität:  
Die Sicherung der Qualität der Daten des Outer Tracker während der Datennahme wird von einem Physiker der Zeuthener Gruppe organisiert.

### Prozessorfarm

Das Trigger- und Datenerfassungssystem des HERA-B Experimentes enthält in der vierten Stufe eine Linux-PC-Farm zur Ereignisrekonstruktion im Echtzeitbetrieb. Damit stehen rekonstruierte Ereignisse unmittelbar nach der Datenspeicherung für weitergehende Physikanalysen zur Verfügung. Die Farm besteht aus 100 PCs mit je zwei Intel Pentium-III/500 MHz Prozessoren, die in ein Fast-Ethernet Netzwerk integriert sind.

Im Jahr 2001 wurde die Farm während des HERA-Umbaus zur Reprozessierung der Daten aus der Datennahmeperiode 2000 benutzt. Dazu wurde innerhalb der Online-Umgebung ein System entwickelt, mit dem die Ereignisse auf die Farmknoten verteilt, die bearbeiteten Ereignisse wieder eingesammelt und schließlich auf einem Band archiviert werden. Mit diesem System können die gesamten Daten, die im Jahr 2000 genommen wurden (30 Millionen Ereignisse, entsprechend 5 Tbyte Daten), innerhalb von zwei Wochen reprozessiert werden. In Perioden der Datennahme kann das System durch die Schichtbesetzung genutzt werden, um bei Unterbrechungen Daten zu reprozessieren. Ein ähnliches System wurde für die Erzeugung von Monte Carlo-Ereignissen auf der Farm entwickelt.

Während der HERA-Abschaltung wurden die Farmknoten mit CAN-Bus-Karten ausgestattet, die in Zeuthen für die Überwachung und Steuerung der Hardware entwickelt und produziert worden sind. Mit dem System können die Knoten ferngesteuert an- und ausgeschaltet und zurückgesetzt werden, sowie die Temperaturen, Ventilatorgeschwindigkeiten, Spannungen und

Ströme kontrolliert werden. Das System ist an das zentrale „slow control“ System des HERA-B-Detektors gekoppelt.

### Software

Die Zeuthen/Berlin-Gruppe hat sich stark in der Arbeitsgruppe für die Rekonstruktion von Spuren geladener Teilchen im HERA-B-Detektor („Tracking Group“) engagiert. Das Programmpaket RANGER für die Spur-rekonstruktion im zentralen Spurensystem (Inner/Outer Tracker) wird in Zeuthen gewartet und aktualisiert.

Für den Outer Tracker wird das Alignment, die Kalibration der Orts-Driftzeit-Beziehung sowie die Bestimmung der Auflösungen und Effizienzen vor allem von der Zeuthen/Berlin-Gruppe durchgeführt, in vielen Bereichen in enger Zusammenarbeit mit der Gruppe aus Dubna.

Wie bisher wurde auch im Berichtsjahr das Simulationsprogramm von HERA-B, das auf den LUND-Generatoren zur Erzeugung physikalischer Prozesse und auf GEANT3 zur Detektorsimulation basiert, in Zeuthen gewartet und aktualisiert. Dazu gehört vor allem die fortlaufende Anpassung der für die Simulation benutzten Geometriedaten, die auch für die Rekonstruktion der realen Daten verwendet werden. Die Produktion simulierter Daten, die für die Analyse verschiedener Prozesse benötigt wurden, wurde sowohl in Zeuthen als auch in Berlin durchgeführt.

## Das HERMES-Experiment

### Detektorbetrieb und Datennahme

Die Zeuthener Gruppe hat innerhalb des HERMES-Experiments Verantwortung sowohl für den Betrieb von Detektorkomponenten als auch für das Gesamtexperiment übernommen. Sie stellt im Berichtszeitraum den Runkoordinator, den stellvertretenden Sprecher sowie den Technischen Koordinator des Experiments. Es findet eine kontinuierliche Betreuung der mit Beteiligung der Gruppe gebauten Hardware-Komponenten (Driftkammer einschließlich Gassystem, Photon-Detektoren

des RICH Detektors, Triggersystem) statt. Physiker der Gruppe sind aktiv an Entwicklung und Bau eines neuen Detektors („Recoil Detector“) beteiligt, mit dessen Hilfe rückwärts gestreute Targetfragmente vermessen werden sollen.

## Beiträge zur Physikanalyse

Beim Auftreffen eines im HERA-e Ring umlaufenden Elektrons (bzw. Positrons) auf den Kern eines Wasserstoffatoms des HERMES-Gastargets wird zunächst ein (virtuelles) Photon erzeugt. Aufgrund der Heisenbergschen Unschärferelation fluktuiert es kurzzeitig in ein Quark-Antiquark-Paar, welches in ein Vektormeson (beispielsweise ein  $\rho^0$ -Meson) übergeht. Dieses kann über seine Zerfälle in geladene Teilchen nachgewiesen werden. Untersuchungen ihres Erzeugungsmechanismus sind von großem Interesse, weil sehr verschiedene theoretische Modellvorstellungen diskutiert werden. Der HERMES-Energiebereich deckt gerade die Übergangsregion ab zwischen den theoretisch schwerer beschreibbaren Kernanregungen und Mesonaustauschprozessen auf der einen Seite, und den im Rahmen der (perturbativen) Quantenchromodynamik recht gut beschreibbaren Photon-Quark- bzw. Photon-Gluon-Wechselwirkungen auf der anderen Seite.

Der Vergleich mit HERMES-Daten kann deshalb wesentlichen Einfluss auf die Gültigkeit der verschiedenen Modelle haben. Es wurde festgestellt, dass der Erzeugungsquerschnitt für  $\rho^0$ -Mesonen abhängt von der relativen Orientierung der Drehimpulse der einlaufenden Teilchen. Die sich daraus ergebende Asymmetrie ist positiv für ein Wasserstoff-Target, während sie am Deuteron-Target mit Null verträglich ist. Die Abhängigkeit der Photon-Nukleon Asymmetrie von der Bjorken-Variablen  $x$  stimmt mit der Vorhersage des „Generalized Vector Meson Dominance“-Modells (GVMD) überein. Dies bedeutet einen Beitrag von „di-quark“-Austausch zur Erzeugung von Vektormesonen durch transversale Photonen.

Das  $J/\psi$ -Teilchen gehört zu den schweren Vektormesonen. Es ist der Grundzustand des gebundenen Systems von  $c$ - und  $\bar{c}$ -Quark. Seine im Vergleich zu  $\rho^0$ - und  $\phi$ -Mesonen hohe Masse von fast 3.1 GeV ist die Ursache dafür, dass es bei der HERMES-Schwerpunktsenergie von 7.2 GeV quasi „an der Schwelle“ erzeugt wird.

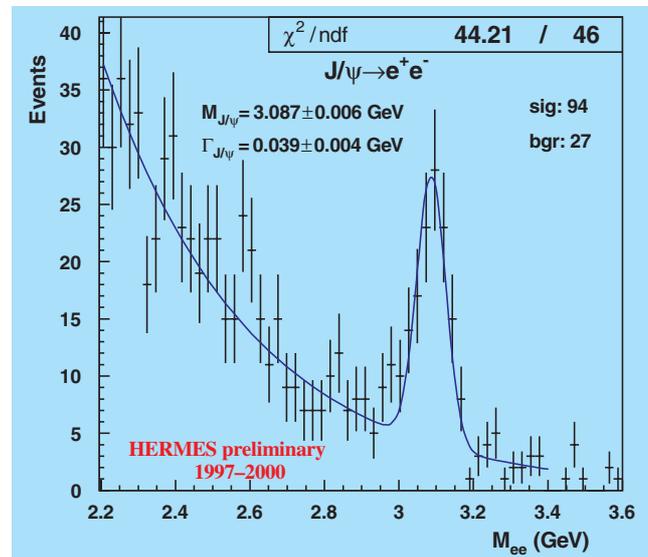


Abbildung 93: Verteilung der invarianten Masse  $M_{e^+e^-}$ . Die Fehlerbalken repräsentieren die statistischen Ungenauigkeiten. Masse und Breite des  $J/\psi$ -Mesons sind das Ergebnis einer Breit-Wigner-Anpassung (Kurve).

Dazu gibt es bisher nur sehr wenige Daten. Nach einer Gesamtanalyse aller (polarisierten und unpolarisierten) HERMES-Daten von quasi-reeller Photoerzeugung der Jahre 1997–2000 wurden sehr klare  $J/\psi$ -Signale in den Zerfallskanälen  $e^+e^-$  und  $\mu^+\mu^-$  separiert (Abb. 93). Monte Carlo-Generatoren für verschiedene Erzeugungsmechanismen erlauben Vergleiche der Formen von Verteilungen in Energie und Streuwinkel. Durch geeignete Anpassungen konnte bestätigt werden, dass etwa ein Drittel der bei HERMES erzeugten  $J/\psi$ -Mesonen unelastisch und zwei Drittel elastisch, das heißt diffraktiv, erzeugt werden. Dementsprechend wurden Erzeugungsquerschnitte berechnet, die gut im Bereich der erwarteten Werte liegen. Dies bildet die experimentelle Grundlage für weitergehende Untersuchungen, aus den  $J/\psi$ -Daten von HERMES Aussagen zur polarisierten Gluonverteilung zu erhalten. Diese wichtige Komponente der Nukleonstruktur konnte bisher nicht gemessen werden.

In Zusammenarbeit mit der Theorie-Gruppe wurde eine QCD-Analyse in niedrigster und nächstniedrigster Ordnung (LO und NLO) für alle verfügbaren Daten der polarisierten tiefunelastischen Lepton-Nukleon Streuung durchgeführt. Unter der Annahme von SU(3) Flavour-

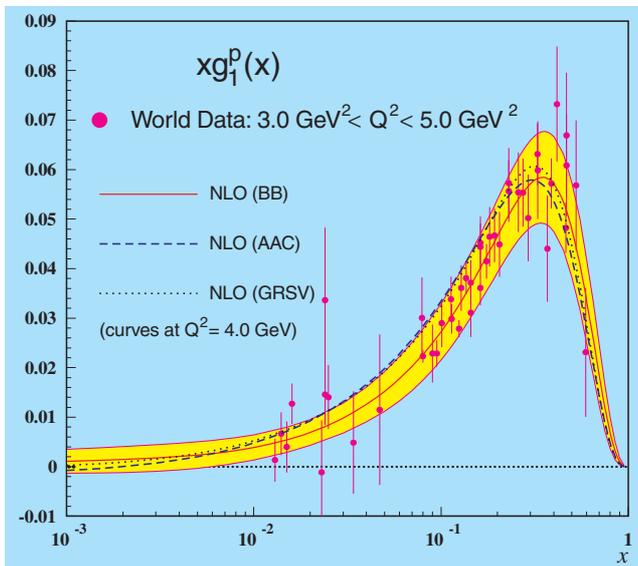


Abbildung 94: Die im Intervall  $3.0 \text{ GeV}^2 < Q^2 < 5.0 \text{ GeV}^2$  gemessene polarisierte Strukturfunktion  $xg_1^p$  als Funktion von Bjorken- $x$ . Die Fehlerbalken entsprechen der Summe der statistischen und systematischen Ungenauigkeiten (quadratisch addiert). Die durchgezogene Kurve zusammen mit dem grauen  $1 \sigma$  Fehlerband repräsentiert das Ergebnis unserer QCD-Analyse. Zum Vergleich sind auch die Resultate der QCD-Analyse der „Asymmetry Analysis Collaboration“ (AAC) (gestrichelte Kurve) und von Glück-Reya-Stratmann-Vogelsang (GRSV) (punktierte Kurve) gezeigt.

Symmetrie wurden neue Parametrisierungen der polarisierten Partonverteilungen  $\Delta u_v$ ,  $\Delta d_v$ ,  $\Delta \bar{q}$  und  $\Delta G$  und erstmalig auch Parametrisierungen der korrelierten  $1 \sigma$ -Fehlerbänder für die Verteilungen angegeben. Die gemessene polarisierte Strukturfunktion  $g_1^p$  wird durch diese Analyse sehr gut beschrieben (Abb. 94). Die Evolution der bei  $Q_0^2 = 4 \text{ GeV}^2$  bestimmten polarisierten Partonverteilungen zu  $Q^2$ -Werten bis zu  $10\,000 \text{ GeV}^2$  zeigte, dass  $\Delta G$  positiv bleibt, während  $\Delta \bar{q}$  die Tendenz eines Wechsels vom Negativen zum Positiven bei höherem  $Q^2$  und größerem  $x$  erkennen lässt.

Diese Analyse beinhaltete auch eine Bestimmung von  $\Lambda_{\text{QCD}}$ . Daraus ergab sich der Wert für die Kopplungskonstante der starken Wechselwirkung zu  $\alpha_s(M_Z^2) = 0.114^{+0.010}_{-0.008}$ . Dieser Wert stimmt im Rahmen der Fehler mit dem Weltmittelwert überein.

Transversale Nukleon-Polarisation erlaubt erstmalig die Messung der dritten fundamentalen Quarkverteilungsfunktion („Transversity“), die zur vollständigen Beschreibung der Nukleonstruktur in niedrigster Ordnung erforderlich ist. Da die HERMES-Messungen der Jahre 2002–03 vorwiegend mit transversal polarisiertem Target durchgeführt werden und auch am CERN (SMC) und BNL (RHIC-Spin) entsprechende Messungen in der Planung sind, war die Thematik des bei Zeuthen durchgeführten Workshops „Transverse Spin Physics“ von besonderem Interesse.

Physiker der Zeuthener Gruppe haben sich aktiv an der Ausarbeitung eines Vorschlags für ein mögliches Experiment zur polarisierten Elektron-Nukleon-Streuung unter Verwendung der Infrastruktur des geplanten TESLA-XFEL beteiligt. Dazu wurden sowohl die zukünftig wichtigen Physik-Schwerpunkte als auch konkrete Realisierungsmöglichkeiten zur Erreichung der notwendigen sehr hohen Luminosität diskutiert.

## Das L3-Experiment am CERN

L3 war eines der vier Experimente am Speicherring LEP im CERN; 12 Jahre lang registrierte der L3-Detektor Teilchen, die bei der Annihilation von Elektronen und Positronen entstehen. Bis zur Abschaltung des Speicherrings im November 2000 wurden mehr als  $5 \times 10^6$  Ereignisse bei Schwerpunktsenergien von 89 bis  $209 \text{ GeV}$  aufgezeichnet. Das Standardmodell der elektroschwachen Wechselwirkung wurde mit diesen Daten umfassend geprüft und sogar auf dem Niveau der Strahlungskorrekturen glanzvoll bestätigt. Dennoch gibt es berechtigte Zweifel am fundamentalen Charakter des Modells. Es wäre dann lediglich eine Näherung einer allgemeineren Theorie, die im derzeit verfügbaren Energiebereich gilt, zumal der „Schlussstein“ des Modells, das Higgs-Boson, bisher nicht gefunden wurde. Das Higgs-Boson ist die Folge der spontanen Symmetriebrechung, welche den Teilchen ihre Masse gibt und die Eichinvarianz des Modells garantiert. Auch in supersymmetrischen Modellen, in denen die bereits bekannten Teilchen durch supersymmetrische Partner ergänzt werden, um die starre Trennung zwischen Kräften und Teilchen aufzuheben, sind Higgs-Bosonen der Schlüssel zur Existenz von Teilchen mit Massen. Die

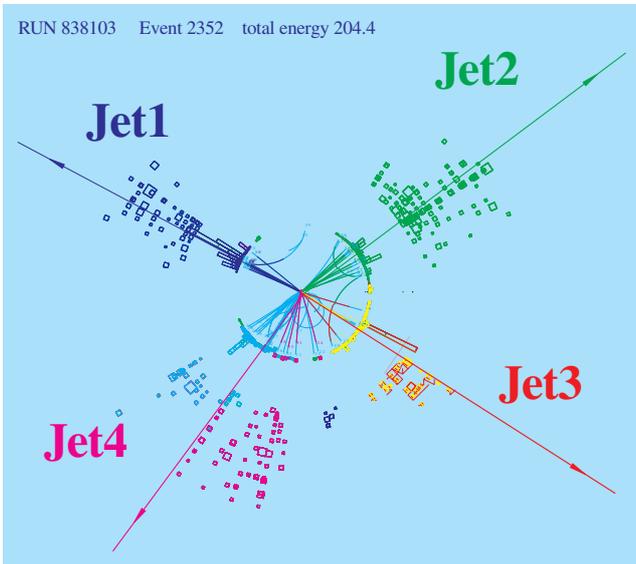


Abbildung 95: Ein Ereignis im L3-Detektor bei der Energie von 204 GeV, in welchem ein Higgs-Boson erzeugt worden sein könnte. Sowohl das assoziierte Z-Boson als auch das Higgs-Boson zerfallen in ein Quark-Antiquark Paar. Jedes Quark erzeugt einen Jet von Hadronen, welche in der Spurkammer und den Kalorimetern klar zu erkennen sind.

LEP-Messungen zusammen mit Ergebnissen von anderen Beschleuniger-Experimenten liefern zwingende Hinweise, dass das Higgs-Boson im Standardmodell eine Masse von  $88^{+53}_{-35}$  GeV hat, und dass die Higgs-Masse mit einem Konfidenzintervall von 95% kleiner als 196 GeV ist. Das heißt, es könnten einige wenige Ereignisse mit den LEP-Detektoren aufgezeichnet worden sein, in denen ein Higgs-Boson erzeugt wurde.

Über das Standardmodell hinaus gibt es Modelle, die auch ohne Higgs-Bosonen Teilchen mit Massen beschreiben können – dazu gehören beispielsweise einige Modelle mit zusätzlichen räumlichen Dimensionen, die auch die Gravitation in die Theorie einschließen. Wären solche Modelle in der Natur realisiert, müssten sich Differenzen zwischen erwarteten und gemessenen Resultaten feststellen lassen, und das möglicherweise schon bei Energien, die mit dem LEP-Beschleuniger erreicht wurden.

Die Zeuthener Arbeitsgruppe konzentrierte sich auf die Suche nach dem Higgs-Boson, auf die Messung des Wirkungsquerschnittes der paarweisen Produktion von

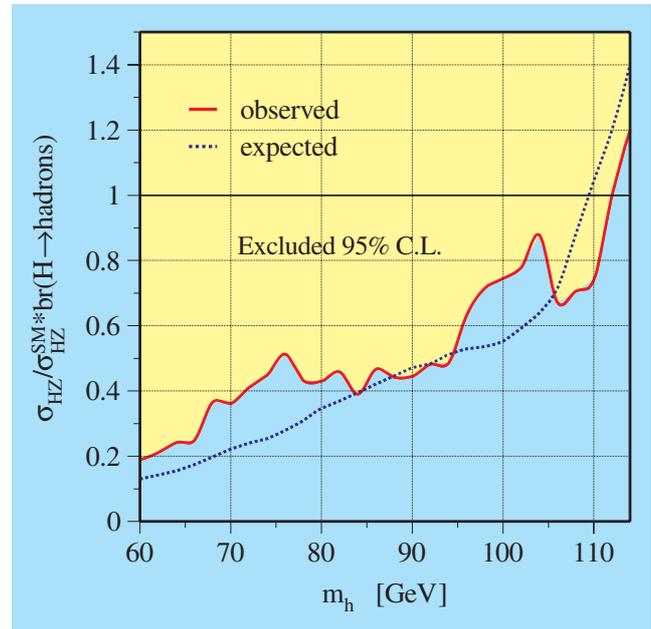


Abbildung 96: Die obere Grenze für den Wirkungsquerschnitt (normiert auf die Vorhersage des Standardmodells) der Higgs-Boson Erzeugung als Funktion der Higgs-Masse.

Z-Bosonen, auf die Suche nach Abweichungen von Vorhersagen des Standardmodells sowie auf die Suche nach supersymmetrischen Teilchen.

## Die Suche nach dem Higgs-Boson

Die Daten bei den höchsten je in  $e^+e^-$ -Reaktionen erreichten Energien um  $\sqrt{s} = 208$  GeV wurden nach der finalen Detektorkalibration nochmals nach dem Higgs-Boson abgesucht. Im Standardmodell werden Higgs-Bosonen  $h$  überwiegend gemeinsam mit dem Z-Boson erzeugt,  $e^+e^- \rightarrow hZ$ . Einige wenige Ereignisse, welche durch Higgs-Bosonen verursacht sein könnten, wurden auch gefunden, zum Beispiel das in Abbildung 95 gezeigte. Die Zahl dieser Ereignisse ist jedoch mit dem Untergrund verträglich. So konnte nur eine untere Grenze für die Masse des Higgs-Bosons von 112 GeV bestimmt werden. Die Suche nach dem Higgs-Boson wurde dann auf allgemeinere Modelle, wie das supersymmetrische oder Zwei-Dublett Modell, ausgedehnt,

welche auch die Paarproduktion von Higgs-Bosonen zulassen. Auch in diesen Ansätzen war die Suche negativ. So wurden weitgehend modellunabhängige Grenzen für den Wirkungsquerschnitt der Produktion von Higgs-Bosonen bestimmt (Abb. 96).

Die paarweise Erzeugung von Z Bosonen,  $e^+e^- \rightarrow ZZ$ , ist der Erzeugung von Higgs-Bosonen sehr ähnlich und liefert einen irreduziblen Untergrund. Daher ist die Messung von  $e^+e^- \rightarrow ZZ$  ein sehr wesentlicher Test des Detektors und der Analysetechniken, welche in der Suche nach dem Higgs-Boson verwendet werden. Weit mehr jedoch ist dieser Prozess, der im Standardmodell über den Austausch eines virtuellen Elektrons im t-Kanal beschrieben wird, als Test des Standardmodells bei hohen Energien von Bedeutung. Anomale Eichbosonen-Kopplungen, welche aus Physik jenseits des Standardmodells herrühren, können zusätzliche Beiträge zum Wirkungsquerschnitt liefern.

Die Messung des Wirkungsquerschnitts von  $e^+e^- \rightarrow ZZ$  erfolgte in allen möglichen Endzuständen. Das Ergebnis, dargestellt in Abbildung 97, ist in exzellenter Übereinstimmung mit der Vorhersage des Standardmodells. Die gleiche Feststellung gilt für den Subprozess  $e^+e^- \rightarrow ZZ \rightarrow b\bar{b}X$ .

### Abweichungen vom Standardmodell?

Bleibt die Suche nach neuen Prozessen und Teilchen erfolglos, kann ein Vergleich der Messung mit den Vorhersagen des Standardmodells mögliche Abweichungen aufgrund neuer physikalischer Phänomene aufzeigen.

Da die Wirkungsquerschnitte von Fermion-Paar-Endzuständen und Vorwärts-Rückwärts-Asymmetrien bei der Produktion von Lepton-Paaren bei den verfügbaren hohen Energien und Luminositäten mit Genauigkeiten im Prozentbereich gemessen wurden, können Abweichungen der Resultate von den Standardmodellvorhersagen relativ leicht sichtbar werden.

Bisher stimmten die Messungen der Wirkungsquerschnitte und der Vorwärts-Rückwärts-Asymmetrien sowie das Verhältnis der Wirkungsquerschnitte  $R_b = \sigma(e^+e^- \rightarrow b\bar{b})/\sigma(e^+e^- \rightarrow \text{Hadronen})$  im Rahmen der Messfehler mit den Vorhersagen des Standardmodells

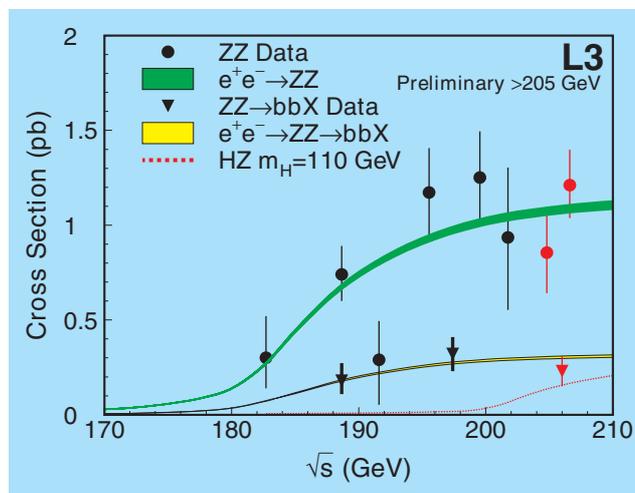


Abbildung 97: Die Wirkungsquerschnitte für die Prozesse  $e^+e^- \rightarrow ZZ$  und  $e^+e^- \rightarrow ZZ \rightarrow b\bar{b}X$ . Die gestrichelte Kurve zeigt die Erwartung für die Erzeugung von Higgs-Bosonen.

überein. Das bedeutet, dass neue Teilchen sehr schwer sein oder nur sehr schwach an Fermionen koppeln müssen, da sie praktisch nicht merklich zu den gemessenen Prozessen beitragen. Untere Grenzen für Massen bzw. obere für die Kopplungen von neuen Teilchen wie neutralen, schweren Z-Bosonen oder Leptoquarks wurden bestimmt. Ganz allgemein können diese Grenzen auch im Rahmen von 4-Fermion-Kontaktwechselwirkungen beschrieben werden, deren Wirksamkeit durch einen Parameter, die Energieskala  $\Lambda$ , erfasst wird. Näherungsweise kann man  $\Lambda$  als Verhältnis von Masse zu Kopplung betrachten. Die L3-Resultate zeigen, dass neue Prozesse bis zu einer Energieskala von 2 bis 20 TeV, je nach Wechselwirkungsmodell und Fermion-Endzustand der untersuchten Reaktion, ausgeschlossen sind. Im Rahmen einer allgemeineren Symmetrie, etwa  $E(6)$ , ergeben die Daten, abhängig vom Modell, untere Massengrenzen zwischen 275 GeV und 1.3 TeV für ein zusätzliches neutrales Eichboson  $Z'$ . Eine Kombination der Resultate aller vier LEP-Experimente schiebt diese unteren Grenzen auf Werte zwischen 430 GeV und 1.9 TeV.

Im Standardmodell werden die Teilchen als punktförmig angenommen. Sollten sie dennoch Substrukturen aufweisen, könnte sich das auch in messba-

ren Kontaktwechselwirkungen äußern. Dem Parameter  $\Lambda$  entsprechen bestimmte Teilchenradien. Der Radius von Leptonen ist kleiner als  $1.9 \times 10^{-19}$  m und der von Quarks kleiner als  $2 \times 10^{-19}$  m. Diese Teilchen sind daher im Rahmen unserer Messgenauigkeit punktförmig.

Falls Gravitonen in extra räumlichen Dimensionen existieren, können sie auch Fermion-Paar-Prozesse beeinflussen. Extra Dimensionen machen sich in unserer 3+1-dimensionalen Welt höchstens als eine spezielle Art von Kontaktwechselwirkung bemerkbar, die eine Projektion der zusätzlichen Dimensionen und ihrer fundamentalen Energieskala auf unsere bekannten Prozesse darstellt. Die Analysen zeigen, dass solche kompaktifizierten extra Dimensionen bis zu Energieskalen von 0.1 TeV nicht nachgewiesen werden können.

## Suche nach SUSY-Teilchen

Die Suche nach supersymmetrischen (SUSY) Partnern der Quarks und Leptonen konzentrierte sich auf R-Paritäts-verletzende Zerfälle. Die R-Parität ist eine additive Quantenzahl für supersymmetrische Teilchen, wobei auch Verletzungen der R-Parität zugelassen werden. Es wurde angenommen, dass die supersymmetrischen Teilchen paarweise unter Erhaltung der R-Parität erzeugt werden, dass aber bei deren Zerfall die R-Parität verletzt wird. Dabei wird entweder die Leptonenzahl oder die Baryonenzahl nicht erhalten. Damit ist immer nur eine der Kopplungen, welche R-Paritäts-verletzende Zerfälle erlauben, ungleich Null. Außerdem ist das leichteste supersymmetrische Teilchen nicht stabil und zerfällt in die bekannten Teilchen des Standardmodells. Gesucht wurde nach solchen Zerfällen in Endzuständen mit Leptonen, bestimmt durch die Kopplung  $\lambda_{ijk}$ , und in Endzuständen mit Hadronen mit der Kopplung  $\lambda''_{ijk}$ . Bei einer Kopplung größer als  $10^{-5}$  ließe sich der jeweilige Zerfall im Detektor beobachten.

Unter Berücksichtigung aller Daten von  $\sqrt{s} = 192\text{--}208$  GeV wurden untere Massengrenzen für Neutralinos ( $\tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_2^0, \tilde{\chi}_3^0$ ), Charginos ( $\tilde{\chi}_1^\pm$ ), rechtshändige skalare Leptonen ( $\tilde{\ell}_R$ ), Sneutrinos ( $\tilde{\nu}$ ) und skalare Quarks ( $\tilde{q}$ ) bestimmt:

$$M_{\tilde{\chi}_1^0} > 40 \text{ GeV}, M_{\tilde{\chi}_2^0} > 40 \text{ GeV}, M_{\tilde{\chi}_3^0} > 40 \text{ GeV}, \\ M_{\tilde{\chi}_1^\pm} > 103 \text{ GeV}, M_{\tilde{\ell}_R} > 83 \text{ GeV}, M_{\tilde{\nu}} > 149 \text{ GeV}.$$

Die Werte sind vergleichbar mit den bei L3 aus den R-Paritäts-erhaltenden Zerfällen erzielten Ergebnissen. In diesem Sinne sind die Massengrenzen für supersymmetrische Teilchen unabhängig von Annahmen über die Erhaltung der R-Parität.

## L3cosmics

Mit Hilfe des Myon-Spektrometers des L3-Detektors und eines  $200 \text{ m}^2$  großen zusätzlichen Szintillationsdetektors wurden in den Jahren 1999 und 2000 insgesamt 11 Milliarden Myonen aus Luftschauern mit Impulsen zwischen 20 und 2000 GeV/c vermessen. Im zweiten Jahr wurde dem Experiment ein Oberflächen-Schauerdetektor hinzugefügt, mit dessen Hilfe Richtung und Energie der Luftschauer bestimmt werden konnten. 33 Millionen Luftschauer wurden aufgezeichnet. Für etwa ein Drittel dieser Ereignisse wurden gleichzeitig ein oder mehrere Myonen im L3 Myon-Spektrometer registriert. Im Jahr 2001 wurden alle verfügbaren Daten weiter ausgewertet.

Hauptziel des Experiments ist die präzise Messung des Impulsspektrums der atmosphärischen Myonen und seine Abhängigkeit von der Ladung der Teilchen, und ihres Einfallswinkels. Das Spektrum wurde in diesem Jahr im Bereich von 40 bis 1000 GeV/c bestimmt. Der systematische Fehler wurde dabei auf 7.7% reduziert. Vorarbeiten zeigen, dass eine Halbierung dieses Wertes im nächsten Jahr möglich ist.

Die präzise Messung des Myonspektrums erlaubt Rückschlüsse über den Fluss atmosphärischer Neutrinos, dessen Kenntnis wichtig ist für die Bestimmung der Neutrino-Oszillationsparameter. Außerdem können Untergrundprozesse in vorhandenen und geplanten Neutrino-Teleskopen besser verstanden werden.

Mit Hilfe der Daten des Oberflächen-Schauerdetektors konnte in diesem Jahr erstmals das Myon-Spektrum in Abhängigkeit von der Energie der primären Luftschauer vermessen werden. Diese Ergebnisse werden mit Modellvorstellungen zur chemischen Zusammensetzung der kosmischen Strahlung verglichen. Es wird erwartet, Aussagen über die Änderung dieser Zusammensetzung mit wachsender Primärenergie machen zu können.

Die L3cosmics Datennahme erfolgte bei maximaler Aktivität der Sonne im elfjährigen Zyklus. Ein besonders starker „Solar Flare“ wurde am 14. Juli 2000 von Satelliten und Neutron-Monitoren auf der Erde beobachtet, was die Erzeugung von Protonen mit Energien bis zu einigen GeV bei diesem Prozess bestätigte. Analysen der Daten des L3cosmics Experiments ergaben keinen Hinweis darauf, dass Protonen noch höherer Energie erzeugt wurden.

## Neutrino-Astrophysik

Während die Neutrino-Astronomie bei niedrigen Energien durch die Beobachtung von solaren Neutrinos und von Neutrinos aus der Supernova 1987A wohl etabliert ist, steht der Nachweis von extraterrestrischen Neutrinos mit GeV oder TeV-Energien noch aus. Solche Neutrinos dürften zusammen mit hochenergetischen kosmischen Strahlen produziert werden, die zwar nachgewiesen wurden, deren Ursprung aber noch immer nicht geklärt ist. Im Gegensatz zu den geladenen kosmischen Strahlen behalten Neutrinos ihre Richtung bei; zudem können sie auch aus solchen Regionen des Kosmos zu uns dringen, die für Beobachtungen mit elektromagnetischen Wellen verborgen sind.

Unterirdische Detektoren haben sich als zu klein erwiesen, um die äußerst schwachen Flüsse von Neutrinos aus Aktiven Galaxien, Gamma Burstern oder binären Sternsystemen nachzuweisen. Das Fenster zu hohen Energien wird daher erst durch weit größere Anordnungen in offenem Wasser oder Eis geöffnet werden können. Neben der Suche nach extraterrestrischen Neutrinos widmen sich diese Detektoren so unterschiedlichen Feldern wie der Suche nach dunkler Materie oder nach magnetischen Monopolen, der Überwachung der Galaxis auf Supernova-Explosionen oder der Untersuchung von Neutrino-Oszillationen.

Die Neutrinoastrophysik-Gruppe in DESY-Zeuthen beteiligt sich an zwei Experimenten zum Nachweis hochenergetischer kosmischer Neutrinos. Das Schwergewicht der Aktivitäten liegt bei AMANDA, dem Neutrino-Teleskop am Südpol, und bei seinem Folgeprojekt, dem kubikkilometer-großen IceCube-Teleskop. Der zweite Detektor ist NT-200 im sibirischen Baikalsee. Durch ihre geographisch komplementäre Lage

ergänzen sich AMANDA und das Baikal-Experiment, die zur Zeit mit Abstand größten Neutrino-Teleskope. Die Rolle des kleineren NT-200 Detektors hat sich durch den Ausfall der bislang wichtigsten unterirdischen Neutrino-Teleskope – MACRO in Italien und Superkamiokande in Japan – entscheidend vergrößert.

Das hauptsächliche Nachweisprinzip von Teleskopen für hochenergetische Neutrinos besteht in der Registrierung und zweifelsfreien Identifizierung von aufwärtslaufenden Myonen. Nur Neutrinos können den Erdball durchqueren, und  $\nu_{\mu}$ s erzeugen in Wechselwirkungen über den geladenen Strom Myonen. Unterwasserteleskope bestehen aus einer gitterförmigen Anordnung von Photomultipliern (PM), mit deren Hilfe das Cherenkov-Licht der Myonen im Wasser registriert wird. Gemessen werden Ankunftszeit (mit einer Genauigkeit von 1–5 ns) und Stärke der Lichtsignale, woraus Richtung und Energie der Myonen rekonstruiert werden können.

Eine starke Hochenergie-Neutrinoquelle sind in der Atmosphäre erzeugte Neutrinos. Im Zentrum der ersten Analysen steht darum die effektive Identifizierung und korrekte Beschreibung atmosphärischer Neutrinos. Daran anschließend kann nach extraterrestrischen Ursprüngen, wie Neutrinos von Punktquellen, Neutrinos bei höchsten Energien oder Neutrinos in zeitlicher Korrelation mit Gamma Ray Bursts, gesucht werden. Beide Experimente, AMANDA und das Baikal-Experiment, haben nicht nur atmosphärische Neutrinos nachgewiesen, sondern auch die bisher besten oberen Grenzen für den Fluss extraterrestrischer, diffus einfallender Neutrinos gesetzt.

## AMANDA

Im Falle von AMANDA sind die Photomultiplier tief in dem 3 km dicken Eisschild, mit dem die Antarktis bedeckt ist, installiert. Die dazu notwendigen Löcher werden mit einem 80°C heißen Wasserstrahl in das Eis geschmolzen.

Der im Januar 2000 vollendete AMANDA-II Detektor besteht aus 19 Trossen („Strings“), von denen die ersten vier 1995/96 und die folgenden sechs 1996/97 installiert wurden. Dieser aus insgesamt 10 Strings und 302 PMs bestehende Detektor wird AMANDA-B10 genannt. 1998/99 folgten drei weitere, und ein Jahr darauf

schließlich sechs Strings. AMANDA-II hat eine effektive Fläche von 25 000 m<sup>2</sup> für 1 TeV-Myonen und ist damit etwa 25-mal so sensitiv wie die größten unterirdischen Neutrino-Detektoren. Die große Fläche bei hohen Energien wird erkauft mit „Blindheit“ bei niedrigen Energien; die Energieschwelle von AMANDA liegt bei etwa 50 GeV.

### Abschließende Resultate der 1997er Daten

Im vergangenen Jahr wurde die Analyse der 10<sup>9</sup> Ereignisse, die der B10-Detektor im Jahr 1997 über 170 Tage hinweg registriert hatte, abgeschlossen. Die erste und methodisch wichtigste Analyse betrifft den Nachweis atmosphärischer Neutrinos. Zwei unabhängige Analysen, die eine durchgeführt am DESY, die andere in Madison, kamen zu konsistenten Resultaten und fanden 223 bzw. 204 Neutrino-Kandidaten. Die Winkelverteilung der Myonspuren ist kompatibel mit der Erwartung für Wechselwirkungen atmosphärischer Neutrinos. Es werden keine Anzeichen für Punktquellen beobachtet.

Das wichtigste astrophysikalische Resultat ergibt sich aus der Suche nach diffus einfallenden, extraterrestrischen Neutrinos. Da das erwartete Energiespektrum härter ( $E^{-2}$ ) als jenes der atmosphärischen Neutrinos ( $E^{-3.7}$ ) ist, kann man aus der Nichtbeobachtung eines Überschusses von Neutrino-Ereignissen mit hoher Energiedeposition eine obere Grenze für den diffusen Fluss von Neutrinos aus Quellen mit einem  $E^{-2}$ -Spektrum ableiten. Die Grenze, die sich aus der in DESY durchgeführten Analyse ergibt, liegt mit  $dF/dE \cdot E^2 < 0.9 \times 10^{-6} \text{ GeV cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$  um einen Faktor zwei unter derjenigen oberen Grenze, welche die Beobachtung von Gamma-Strahlen in Bezug auf die zu erwartenden Neutrino-flüsse setzt (Abb. 98). Darüber hinaus werden einige konkrete Modelle für die Neutrino-Produktion in Aktiven Galaxien ausgeschlossen. Damit ist der erste Schritt der Neutrino-Astronomie aus dem eher methodischen Stadium in ein astrophysikalisch relevantes Gebiet getan.

Mit AMANDA-B10 wurde eine Reihe anderer Resultate gewonnen, darunter Obergrenzen für den Neutrino-fluss aus Punktquellen von im Mittel  $10^{-7} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (unter Annahme eines  $E^{-2}$  Spektrums und Normierung auf eine Schwellenenergie von 10 GeV) sowie für den kumulativen Neutrino-fluss von den 88 Gamma Ray

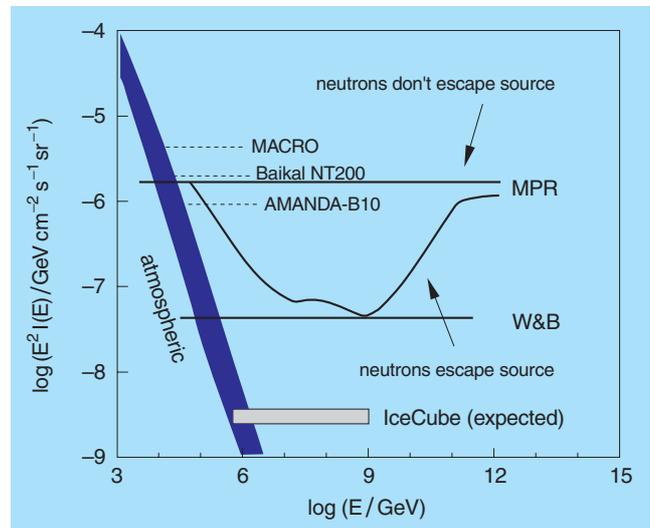


Abbildung 98: Experimentelle Obergrenzen für den Fluss extraterrestrischer Neutrinos mit einem  $E^{-2}$ -Spektrum im Vergleich zu Grenzen, die unter verschiedenen Annahmen aus dem gemessenen Spektrum kosmischer Strahlen abgeleitet wurden. Zum Vergleich ist das Spektrum atmosphärischer Neutrinos gezeigt.

Bursts, die 1997 von dem BATSE-Satelliten im keV- und MeV-Bereich identifiziert wurden, von  $dN/dE \cdot E^2 < 4 \times 10^{-4} \text{ TeV cm}^{-2}$ . Die Obergrenzen für relativistische magnetische Monopole, die sich durch sehr helle Spuren auszeichnen (8300-mal so starke Lichtabstrahlung wie ein minimal ionisierendes Myon) liegen bei  $0.62 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$  für  $\beta = v/c \approx 1$  und damit um einen Faktor 20 unter dem aus astrophysikalischen Überlegungen abgeleiteten so genannten Parker-Limit. Aus der Nichtbeobachtung eines Überschusses von Ereignissen aus der Richtung des Erdzentrums wurden obere Grenzen in Bezug auf die Akkumulation und anschließende Annihilation von supersymmetrischen „Dunkle Materie“-Teilchen in der Erde abgeleitet.

AMANDA kann wegen des Fehlens optischer Störsignale im Eis auch kleine Änderungen der Rauschraten der Photomultiplier registrieren. Erhöhungen der Rauschraten über einige Sekunden könnten durch viele niederenergetische Neutrino-Reaktionen infolge einer Supernova-Explosion in unserer Galaxis hervorgerufen werden. Gegenwärtig überwacht AMANDA fast 90% der Galaxis auf Supernovae.

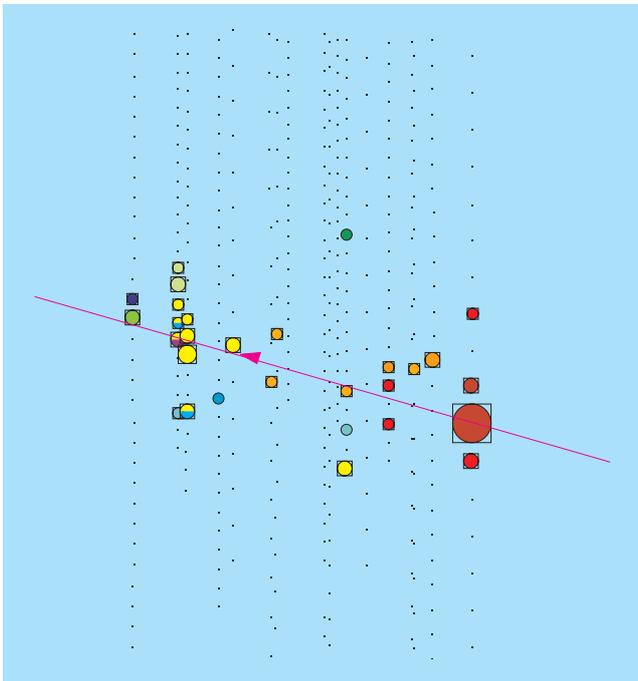


Abbildung 99: Ereignis-Display eines nahezu horizontalen Neutrino-Ereignisses in den Amanda-II-Daten des Jahres 2000.

Die gegenwärtige Bearbeitung der AMANDA-B10-Daten der Jahre 1998/99 wird unter anderem in Stockholm, Uppsala, Brüssel und Philadelphia durchgeführt.

## AMANDA-II

AMANDA-II mit seinen zusätzlichen neun äußeren Strings kann insbesondere Spuren nahezu horizontal einfallender Teilchen weit besser rekonstruieren als AMANDA-B10. Das führt zu einer verbesserten Winkelakzeptanz und drei bis vier Neutrino-Kandidaten pro Tag. Abbildung 99 zeigt ein nahezu horizontales Neutrino-Ereignis. Bisher sind von den Daten der Jahre 2000 und 2001 etwa 10% analysiert und jeweils knapp hundert Neutrino-Kandidaten separiert worden.

Die erwartete Sensitivität von AMANDA-II auf diffuse Flüsse beträgt  $dF/dE \cdot E^2 \sim 10^{-7} \text{ GeVcm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{sr}^{-1}$ , der minimal nachweisbare Fluss von Punktquellen oberhalb von 1 TeV wird zu  $5 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  berechnet, knapp unterhalb der Obergrenzen, die sich aus Gamma-Beobachtungen mit dem Milagro-Detektor (USA)

ergeben. Für Quellen mit einem Neutrino-zu-Gamma-Verhältnis größer als eins würde daher ein Nachweis in den Bereich des Möglichen rücken.

Die Monitorierung von AMANDA hat sich im Vergleich zu den Vorjahren wesentlich verbessert. Die Datennahme wird wochenweise auf die Institutionen verteilten Schichten kontinuierlich überwacht. Die Daten werden am Pol durch einen Online-Filter geschickt und danach rekonstruiert. Erste Neutrino-Kandidaten stehen damit im Prinzip wenige Tage nach ihrer Aufzeichnung zur Verfügung. Die Kollaboration hat sich jedoch entschlossen, die gesamte Analyse-Kette für AMANDA-II anhand von nur 20% der Daten zu entwickeln, um bei Schnitten auf die Datenqualität nicht durch Fluktuationen der endgültigen Datenmenge beeinflusst zu sein. Erste Grenzen aus der vollen Datenmenge werden darum frühestens Mitte 2002 zur Verfügung stehen. DESY ist für die volle Prozessierung der 2000er Daten zuständig und konzentriert sich auch bei der Analyse auf das Jahr 2000.

## IceCube

Vorhersagen für die Neutrino-Flüsse aus astrophysikalischen Quellen wie Aktiven Galaxien oder Gamma Ray Bursts legen Detektoren von der Größenordnung eines Kubikkilometers nahe. Die Sensitivitätsgrenze solcher Detektoren für diffuse Flüsse liegt mit  $dF/dE \cdot E^2 \sim 0.3 \times 10^{-8} \text{ GeVcm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{sr}^{-1}$  unterhalb des Waxman-Bahcall-Limits (Abb. 98). Punktquellen, deren Neutrino Flüsse zehnfach schwächer sind als die TeV-Gammaflüsse der Aktiven Galaxie Markarian-501, könnten identifiziert werden. Die Grenzen auf magnetische Monopole würden um einen Faktor hundert verbessert.

Der geplante IceCube-Detektor soll aus 4800 Photomultipliern an 80 Strings bestehen, bei 12 m Stringabstand und 16 m Abstand zwischen den PMs entlang eines Strings. AMANDA-II soll in IceCube integriert werden (Abb. 100).

Die PM-Information wird im optischen Modul digitalisiert und dann über ein elektrisches Kabel an die Oberfläche übertragen. Dieses Konzept wird Digitaler Optischer Modul (DOM) genannt. Die Kollaboration hat sich im März 2001 entschieden, den Weg der optischen Analogübertragung der Signale zugunsten des

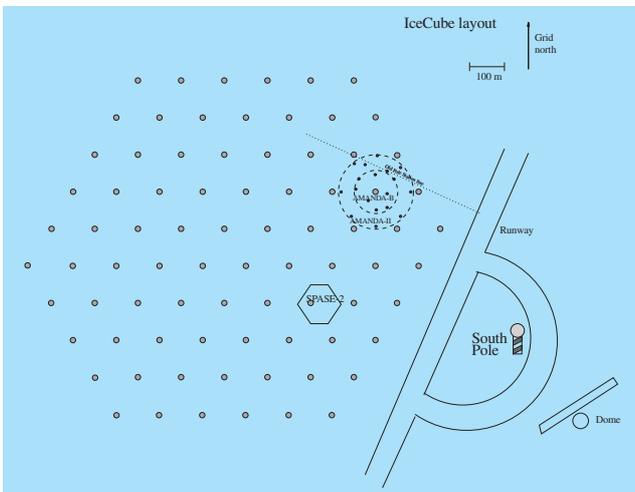


Abbildung 100: Draufsicht des IceCube Detektors. Rechts oben Amanda, rechts unten der Pol, die alte Polstation und die Landebahn. Der Maßstab neben dem Pfeil kennzeichnet 100 m.

DOM-Prinzips aufzugeben. Die entscheidenden Messungen hierfür wurden im Januar 2001 mit einigen der insgesamt 41 an String No. 18 installierten PMTs durchgeführt, für welche sowohl die optische Analogauslese wie auch die Digitalauslese möglich sind. Die vollständige Ausleseelektronik für all DOMs an String 18 wurde im Sommer und Herbst in Zeuthen gebaut und im Dezember 2001 erfolgreich am Pol installiert.

Das IceCube-Projekt wurde im Oktober einer letzten Begutachtung in den USA unterworfen („Hartill-Review“) und von dem Komitee nachdrücklich empfohlen. Eine Woche später empfahl auch das DESY Physics Research Committee die Teilnahme von DESY an IceCube. Das DESY-Direktorium folgte der Empfehlung des PRC. Der gegenwärtige Plan sieht vor, drei Strings in der Saison 2003/04 zu installieren. Diese Saison dient gleichzeitig als Technologietest für die neue Heißwasser-Bohranlage. In den Folgejahren sollen dann bis zu 16 Strings pro Jahr installiert werden, so dass der Detektor im Jahre 2009 fertig gestellt sein kann.

DESY Zeuthen wird im IceCube-Projekt folgende Aufgaben und Verantwortlichkeiten übernehmen:

- Montage und Tests von 1300 DOMs in Zeuthen in Zusammenarbeit und gemeinsam finanziert mit den Universitäten Mainz und Wuppertal,

- Entwicklung der DAQ für die Optischen Module,
- eines der zwei IceCube „Analysezentren“ für die Prozessierung der experimentellen und der Monte-Carlo-Daten,
- Beteiligung an der Software-Entwicklung für IceCube.

## Das Baikal-Experiment

Der Machbarkeitsbeweis für Neutrinooteleskope unter Wasser wurde durch das Baikal-Experiment erbracht. Im März/April 1993 wurde die weltweit erste Anordnung von 36 PMs an drei Trossen installiert und Myon-Spuren räumlich rekonstruiert. Mit diesem Detektor wurden auch die ersten zwei aufwärts laufenden Myonen und damit die ersten Neutrino-Kandidaten identifiziert. Seit 1998 umfasst das Baikal-Teleskop 192 Photomultiplier an acht Trossen (NT-200) und registriert durchschnittlich alle drei Tage ein Ereignis mit klarer Neutrino-Signatur. Die Energieschwelle liegt bei etwa 10 GeV. Mitarbeiter der Zeuthener Gruppe beteiligen sich aktiv an der Datenanalyse des Experiments.

Die Rolle des Baikal-Experimentes hat sich im letzten Jahr auf unvorhergesehene Weise verstärkt. Zum einen wurde im Sommer MACRO (Italien) mit seinen 700 m<sup>2</sup> effektiver Fläche planmäßig abgeschaltet, und im November verlor Superkamiokande, das Flaggschiff der Neutrino-Astronomie (1000 m<sup>2</sup> Fläche), durch einen Unfall etwa 2/3 seiner PMs und wird auf ein bis zwei Jahre außer Betrieb sein. Damit ist NT-200 gegenwärtig der einzige große Detektor auf der Nordhalbkugel. Die Fläche von NT-200 beträgt 2000 m<sup>2</sup> für 1 TeV-Myonen, im Vergleich zu wenigen hundert Quadratmetern der Untergrunddetektoren SNO, LVD, Soudan und Baksan.

Zum anderen hat sich herausgestellt, dass mit NT-200 eine Obergrenze für diffuse Neutrinos bestimmbar ist, die nur um etwa einen Faktor zwei schlechter ist als jene des viel größeren AMANDA-Detektors. Die Suchstrategie zielt nicht auf Myonen ab, die den Detektor durchqueren, sondern auf elektromagnetische oder hadronische Schauer in einem sehr großen Volumen unterhalb des Detektors. Dieses Volumen ist um ein Vielfaches größer als das geometrische Volumen des Detektors. Eine solche Strategie ist nur in Wasserdetektoren mit ihrer geringen Lichtstreuung, nicht

aber im antarktischen Eis möglich. Aus der Nichtbeobachtung von quasi-punktförmigen Ereignissen mit hoher Lichtemission „von unten“ konnte eine obere Grenze für den Fluss hochenergetischer, diffus eintreffender Neutrinos aus Quellen mit einem  $E^{-2}$ -Spektrum zu  $dF/dE \cdot E^2 < 1.9 \times 10^{-6} \text{ GeVcm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{sr}^{-1}$  abgeleitet werden (Abb. 98).

Die Kollaboration plant, in den nächsten zwei Jahren die Sensitivität auf diffuse Flüsse um einen Faktor vier zu verbessern. Das soll durch einen moderaten Ausbau um nur 22 PMs an drei Strings geschehen, die in einem Abstand von 70 Metern zu NT-200 angeordnet sind. Dieser NT200+ genannte Detektor wird zusammen mit AMANDA die Grenzen für diffus einfallende Neutrinos verbessern und als Kontroll-Experiment im Falle eines positiven Befundes bei AMANDA dienen können.

Ehe voraussichtlich im Jahre 2004 das ANTARES-Teleskop im Mittelmeer seinen vollen Betrieb aufnimmt, übernimmt daher das Baikal-Teleskop eine äußerst wichtige Rolle.

## Theoretische Elementarteilchenphysik

Theoretische Untersuchungen wurden auf den Gebieten der störungstheoretischen Quantenfeldtheorie des Standardmodells und dessen Erweiterungen, der Gittereichtheorie und allgemeiner Aspekte von Quantenfeldtheorien durchgeführt.

### Quantenchromodynamik

Perturbative Untersuchungen auf dem Gebiet der starken Wechselwirkung (QCD) befassten sich mit Fragestellungen der unpolarisierten und polarisierten tiefinelastischen Streuung. Im Bereich sehr kleiner Werte von Bjorken- $x$  werden neue dynamische Mechanismen vermutet, die zu einem Abfallen des Wachstums der Strukturfunktionen führen.

In einer ersten Analyse konnte gezeigt werden, dass dieser Effekt mit großer Wahrscheinlichkeit erst außerhalb des kinematischen Gebietes von HERA eintritt [DESY 01-007]. Neben den Screening-Termen wurden auch

Anti-Screening Beiträge gefunden. Eine Neuberechnung der anomalen Dimensionen der Transversalitäts-Strukturfunktion wurde mit verschiedenen Methoden vorgenommen, um Zweifel, die in der Literatur geäußert wurden, zu beseitigen [DESY 01-032].

Die Messung dieser Größe durch die HERMES-Kollaboration ist geplant. Eine Analyse aller verfügbaren Daten über Skalenverletzungen der polarisierten Strukturfunktion wurde in Zusammenarbeit mit Mitarbeitern der HERMES-Gruppe durchgeführt. Hierbei wurden erstmals Parametrisierungen der polarisierten Partondichten mit korrelierten Fehlern, für die es ebenso Parametrisierungen gibt, abgeleitet und die starke Kopplungskonstante  $\alpha_s$  bestimmt [DESY 01-107]. Sowohl in der unpolarisierten (H1, ZEUS) als auch in der polarisierten (HERMES) tiefinelastischen Streuung wird nach einer neuen Art der Korrelationsfunktionen, so genannter verallgemeinerter Partonverteilungen, gesucht. Sie können in Nicht-Vorwärts-Streuprozessen gemessen werden. Diese Korrelationsfunktionen eröffnen die Möglichkeit, den Bahndrehimpulsanteil der Quarks im Nukleon zu messen. Die Struktur des Streuquerschnittes und dessen Skalenverhalten wurden für den Fall zusätzlicher Mesonproduktion untersucht [DESY 01-108]. Die für die Nicht-Vorwärtsstreuung entwickelten Techniken der Lichtkegelentwicklung konnten erfolgreich auf den Prozess der inklusiven diffraktiven Streuung angewandt werden [DESY 01-072]. Dieser Formalismus gibt erstmalig eine konsequent feldtheoretische Beschreibung dieses Prozesses mit Hilfe der Operatorproduktentwicklung, die es erlaubt, über die bisher gefundene Twist-2 Faktorisierung auch systematisch Korrekturen höheren Twists zu behandeln. Mit ähnlichen Methoden wurden hadronische Zerfälle von B-Mesonen beschrieben [DESY 01-135]. QCD-Techniken wurden auf die Berechnung elektromagnetischer radiativer Korrekturen angewandt. Arbeiten zu Produktionseigenschaften von Leptoquarks an Hochenergiebeschleunigern wurden fortgesetzt.

### Elektroschwache Theorie

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt war die Berechnung von Vorhersagen für Prozesse an den Beschleunigern LEP und DAΦNE sowie für das Projekt Linear-Collider TESLA. Erwähnt seien das Studium der  $\nu\bar{\nu}\gamma$ -

Produktion bei LEP2 [hep-ph/0110371] sowie eine vergleichende Studie des Potentials von LHC und TESLA zur Suche nach flavour-verletzenden neutralen Top-Quark-Kopplungen [hep-ph/0102197]. Mehrere Beiträge aus der Arbeitsgruppe wurden für den physikalischen Teil des Technical Design Reports (TDR) des TESLA-Projekts erarbeitet [hep-ph/0106315].

Auch die Projekte zu Strahlungskorrekturen höherer Ordnung und allgemeineren Strukturuntersuchungen wurden intensiv weiterbearbeitet. Es wurde mit dem Aufbau eines Projektes zur systematischen Untersuchung von Korrekturen höherer Ordnung der Störungstheorie begonnen, das auf dem in Dubna und Bielefeld entwickelten Programm DIANA basiert und die effektive Berechnung von Observablen mit Beiträgen von vielen Feynman-Diagrammen ermöglicht. Eine der Anwendungen ist die Top-Quark-Paarproduktion, eine andere sind Multileg-Prozesse in der QCD.

Zum ersten Mal wurden die hadronischen Beiträge zum anomalen magnetischen Moment ( $g-2$ ) des Myons über die Adlerfunktion im Euklidischen ( $t$ -Kanal) berechnet [DESY 01-028]. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in der wesentlich zuverlässigeren Kontrolle des Gültigkeitsbereichs der perturbativen QCD. Präzise theoretische Voraussagen für das magnetische Moment ( $g-2$ ) des Myons sind durch das neue, wesentlich präzisere experimentelle Resultat aus Brookhaven zu Beginn dieses Jahres von höchstem Interesse. In diesem Zusammenhang wurden auch wesentlich verbesserte Berechnungen der Strahlungskorrekturen zur niederenergetischen Hadronproduktion bei DAΦNE veröffentlicht [DESY 00-163]. Die Ergebnisse werden mittlerweile von experimentellen Gruppen bei DAΦNE/Frascati und bei VEPP-2M/Novosibirsk zur Datenanalyse herangezogen.

Wichtige Ergebnisse zur Physik bei TESLA konnten in zwei verschiedenen Projekten erzielt werden: Zum einen konnten die Berechnungen zur Photonabstrahlung in der Vier-Fermion Produktion für massive Fermionen für alle Kanäle abgeschlossen werden [DESY 01-143]. Einzelne Kanäle weisen auf dem Born-Niveau über tausend Feynman-Diagramme auf. Entsprechend schwierig war es, numerisch zuverlässige und zugleich effiziente Computer-Programme zu entwickeln. Wesentlich aufwendiger war die erstmalige Berechnung der vollständigen bosonischen Zweischleifen-Korrekturen zu den Massen des W- und Z-Bosons

[DESY 01-067]. Dabei ging es um die Berechnung einiger tausend sehr komplizierter Feynman-Integrale. Die Korrekturen stellen sich als wesentlich heraus und können dazu beitragen, die indirekten Higgsmassenschranken zuverlässiger zu bestimmen. Eine weitere Untersuchung betraf die genauere Berechnung der effektiven Feinstrukturkonstanten bei TESLA-Energien [DESY 01-029]. Hier wurden auch grundsätzliche Probleme diskutiert, welche durch die nicht-Abelschen Beiträge (W-Paare) hervorgerufen werden. Die W Paarproduktion bei RHIC wurde untersucht [DESY 01-098].

## Gitter-Eichtheorie

Die ALPHA-Kollaboration untersuchte mittels ausgehnter numerischer Simulationen die Energieabhängigkeit der starken Kopplung in der QCD mit zwei masselosen Quarks [DESY 01-052]. Nach den bisherigen vorläufigen Ergebnissen sind die durch die Diskretisierung der Raum-Zeit eingeführten Fehler etwa von der erwarteten Größenordnung, und die erzielten Resultate sollten daher nahe am Kontinuumsverhalten liegen. Die perturbative Energieabhängigkeit wurde für große Werte der Energie bestätigt, während sich für Energien unterhalb von 1 GeV deutlich Abweichungen von der Störungstheorie ergeben.

In einer verwandten Studie, jedoch in der Theorie ohne dynamische Quarks, wurde die starke Kraft zwischen statischen Quarks im Abstandsbereich von 0.05 bis 0.7 fm berechnet. Es zeigte sich, dass die Kraft bis zu Abständen von ungefähr 0.25 fm durch Störungstheorie recht gut beschrieben wird. Die Bestätigung der Anwendbarkeit der Störungstheorie in diesem Fall ist von Bedeutung für die Vorhersage des Top-Antitop Wirkungsquerschnitts bei TESLA. In der Nähe der Produktionsschwelle lässt sich das Top-Antitop System als nichtrelativistisch betrachten. Seine Dynamik ist dann wesentlich durch das (perturbativ zu berechnende) Potential bestimmt.

Die Beschreibung schwerer Quarks ist auf dem Gitter mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Der naheliegende Zugang einer Entwicklung in  $1/M_{\text{Quark}}$  war bisher mit erheblichen perturbativen Unsicherheiten behaftet. Insbesondere kann bei perturbativer

Behandlung der Renormierung in vielen Fällen ein systematischer Kontinuumslimites nicht durchgeführt werden. Hier konnte ein konzeptioneller Fortschritt erzielt werden. Mit Hilfe einer neuen Strategie lässt sich das Problem komplett umgehen [DESY 01-140]. Anhand des Beispiels der Berechnung der b-Quarkmasse konnte demonstriert werden, dass sich die Strategie in numerischen Rechnungen erfolgreich umsetzen lässt.

## Allgemeine Feldtheorie

Die Untersuchungen von doppelt-periodischen Instantonen wurden weitergeführt und die „Monopol Konstituenten“ als „soft zero-modes“ der Nahm-Gleichung identifiziert.

Durch Inversion der symplektischen Form der  $SL(2, \mathbb{R})$ -Wess-Zumino-Novikov-Witten (WZNW)-Theorie wurden die chirale und anti-chirale „Poisson bracket algebra“ und daraus erstmals kausale „Poisson brackets“ für nicht-gleichzeitige physikalische Felder hergeleitet. Hamiltonreduktion erlaubte es, die entsprechenden Strukturen der zugehörigen Coset-Theorien, nämlich der Liouville-Theorie bzw. der  $SL(2, \mathbb{R})/U(1)$ -Modelle Schwarzer Löcher, zu deduzieren. Mit einem Moyal-Formalismus wurde eine für nicht-lineare Theorien neuartige Quantisierung der Liouville-Theorie realisiert, die eine natürliche Berechnung von Korrelationsfunktionen für geeichte WZNW-Theorien ermöglicht.

## Internationale Zusammenarbeit

Gegenwärtig arbeitet der Bereich Theorie in vier TMR-Netzwerken der Europäischen Union mit. Diese sind:

- EURODAPHNE: „High Precision Elementary Particle Physics at the  $\phi$  Factory DAΦNE“,
- Quantum Chromodynamics and the Deep Structure of Elementary Particles,
- Hadron Phenomenology from Lattice QCD,
- Particle Physics Phenomenology at High Energy Colliders.

Außerdem besteht ein INTAS Projekt: „Integrability in Statistical Physics and Quantum Field Theories“.

Die Zusammenarbeit mit dem JINR Dubna wurde auch in diesem Jahr durch die Heisenberg-Landau Stiftung unterstützt. Das Deutsch-Georgische Kooperationsprojekt Integration und Quantisierung nicht-nilpotenter geeichter Wess-Zumino-Novikov-Witten konformer Feldtheorien wurde von der DFG unterstützt.

Die ALPHA-Kollaboration, an der Wissenschaftler der Universitäten HU Berlin, Münster, Milano, Rom II und der Institute CERN, MPI München beteiligt sind, wird von Zeuthen aus koordiniert.

Es besteht eine enge Zusammenarbeit mit den Instituten für Theoretische Physik der Humboldt Universität Berlin und der Universitäten Leipzig und Bielefeld.

## APE Projekt / Entwicklung von Parallelrechnern

DESY stellt im Rahmen des John von Neumann Instituts für Computing (NIC), das gemeinsam mit dem Forschungszentrum Jülich betrieben wird, den Anwendern aus der Gittereichtheorie Rechenzeit auf speziellen Parallelrechnern vom Typ APE (Array Processor Experiment) zur Verfügung. Bei diesen Rechnern handelt es sich um massiv parallele Computer, die speziell für Rechnungen in der theoretischen Elementarteilchenphysik optimiert wurden. Diese Rechner werden in Zusammenarbeit mit Projektgruppen des INFN (Italien), Mitarbeitern der Theoriegruppe und der Forschergruppe Teilchenphysik des NIC entwickelt.

Im Dezember 2001 wurde am DESY Zeuthen die Installation der neuen Supercomputer vom Typ APEmille abgeschlossen. Die Installation umfasst über 1000 Prozessoren, die zusammen in jeder Sekunde mehr als 500 Milliarden Gleitkomma-Operationen durchführen können (Abb. 90). Verbunden sind sie durch ein leistungsfähiges Netzwerk. Der Zugang zu diesen Spezialrechnern ist realisiert durch ein Netzwerk von marktüblichen PCs, die mit dem Betriebssystem Linux operieren. Ungeachtet einiger Anlaufschwierigkeiten sind die Erfahrungen mit den neuen Systemen sehr positiv: Ähnlich wie die vorhergehende Rechnergeneration, APE100, zeichnet sich auch die APEmille durch hohe Stabilität aus.

Die enorme Rechenleistung, wie sie eine große APEmille Installation bietet, wird benötigt, um numerische Simulationen von Feldtheorien durchzuführen. Die Rechenzeit wird über das NIC der Forschung zur Verfügung gestellt. Aktuell sorgen vier internationale Forschungsk Kooperationen für eine hohe Auslastung dieser Computer. Von den Anwendern werden gewaltige Rechenleistungen benötigt. So bestand auf der Konferenz Lattice 2001 unter den Teilnehmern einer Podiumsdiskussion Einigkeit darüber, dass mittelfristig Supercomputer mit einer Rechenleistung von etwa 10 TFlops zur Verfügung stehen sollten. Langfristig benötigt die internationale Gittergemeinschaft Maschinen mit Rechenleistungen in der Größenordnung von 100 Tflops, um präzise Ergebnisse bei bestimmten Problemen in der QCD zu erreichen.

Um dieses Ziel tatsächlich zu erreichen, hat DESY im Jahr 2001 mit dem INFN und der Universität Paris-Sud eine Kooperationsvereinbarung geschlossen zur Entwicklung des Nachfolgesystems apeNEXT. Bis Ende 2001 wurde das Design aller wichtigen Komponenten dieses neuen Supercomputers fertig gestellt. Das Hauptaugenmerk der bisherigen Entwicklungsarbeit galt dem neuen Prozessor. Im Unterschied zu APEmille wurden alle wesentlichen Funktionen in einem Chip zusammengefasst. Entsprechend aufwendig gestaltete sich die Überprüfung der Leistungsfähigkeit und der korrekten Funktionalität des neuen Prozessors.

An dieser Arbeit war die Zeuthener APE-Gruppe maßgeblich beteiligt. Gleich 16 dieser Prozessoren werden beim neuen Rechner auf ein einzelnes Board platziert, um weiterhin eine sehr kompakte Bauweise zu ermöglichen. Anders als beim Vorgänger werden bei apeNEXT nicht mehr alle Prozessoren strikt im gleichen Takt die gleichen Operationen ausführen. Vielmehr wird ihre Arbeit nur noch von Zeit zu Zeit beim Austausch von Daten synchronisiert. Nachdem mit dem Abschluss des Designs ein weiterer Meilenstein erreicht wurde, ist das nächste große Ziel die Inbetriebnahme des ersten Prototyprechners zum Jahresende 2002.

## NIC bei DESY Zeuthen

DESY Zeuthen beherbergt seit Oktober 2000 die Forschergruppe Elementarteilchenphysik des John von Neumann Instituts für Computing (NIC). Das NIC ist

eine Einrichtung, die gemeinsam vom Forschungszentrum Jülich und DESY getragen wird und die Forschern, die sich mit wissenschaftlichem Rechnen befassen und insbesondere numerische Simulationen durchführen, die hierfür notwendige Rechenleistung zur Verfügung stellt.

Das NIC unterhält außerdem Forschungsgruppen, die in den Bereichen Elementarteilchenphysik und Vielteilchenphysik arbeiten.

Das Forschungsprogramm der NIC-Gruppe konzentriert sich auf Untersuchungen in der Quantenchromodynamik (QCD) als dem allgemein akzeptierten Modell der starken Wechselwirkung. Ziel der Forschung ist es, mittels ab initio Rechnungen Vorhersagen aus der QCD abzuleiten, ohne auf zusätzliche Approximationen oder Annahmen zurückgreifen zu müssen.

Die Forschungsaktivitäten der NIC-Gruppe sind recht vielfältig und umfassen die Entwicklung von innovativen theoretischen Konzepten, die Verbesserung von Algorithmen und die Entwicklung von speziellen Höchstleistungsrechnern. Erst das Zusammenspiel dieser drei Aspekte kann schließlich erwarten lassen, präzise Vorhersagen der QCD zu bekommen und damit Interpretationen der Experimente zu leisten. Dabei erleben wir im Moment einen Umbruch in der Gittereichtheorie: die Physiker gehen mehr und mehr dazu über, die bisher meist verwendete Valenzquark-Approximation hinter sich zu lassen und in der vollen Theorie zu arbeiten, was wegen des enormen Mehraufwandes an Rechenzeit erst durch die jetzige Rechnergeneration ermöglicht wird.

## Forschungsschwerpunkte

Fundamentale Parameter der QCD:

Die QCD ist auf dem Niveau der Quarkfelder durch ihre Parameter, die Kopplungskonstante und die Quarkmassen, gegeben. Bei der Bestimmung dieser fundamentalen Größen wurden erste Schritte unternommen, um die Rechnungen in der vollen Theorie vorzunehmen. Dies bedeutet einen qualitativen Fortschritt. Rechnungen wurden von der ALPHA- und der QCDSF-Kollaboration durchgeführt.

Chiral invariante Formulierungen der QCD:

Lange Zeit waren die wichtige chirale Symmetrie der masselosen QCD und das Gitter unvereinbar. Erst seit

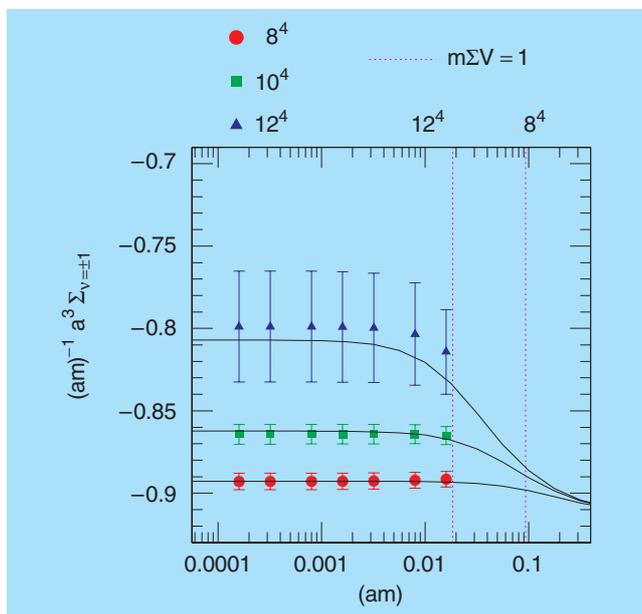


Abbildung 101: Das skalare Kondensat als Funktion der Quarkmasse, berechnet in unterschiedlichen Volumina. Die durchgezogene Linie ist die analytische Vorhersage aus der chiralen Störungstheorie.

relativ kurzer Zeit ist bekannt, wie die chirale Symmetrie auf dem Gitter realisiert werden kann. Die NIC-Gruppe beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit chiral invarianten Formulierungen der QCD. So gelang es, auf dem Gitter das Phänomen der spontanen chiralen Symmetriebrechung zu demonstrieren und ein nicht-perturbativ renormiertes skalares Kondensat zu berechnen (Abb. 101). Allerdings bleiben diese Rechnungen zur Zeit auf die Valenzquark-Approximation beschränkt.

#### Strukturfunktionen und Hadron-Spektrum:

Die mit dem experimentellen Physikprogramm von DESY eng verknüpfte Untersuchung von Strukturfunktionen auf dem Gitter wird innerhalb der NIC-Gruppe mit zwei unterschiedlichen, sich gegenseitig ergänzenden Zugängen durchgeführt. Es erweist sich hierbei, dass Ergebnisse, etwa der mittlere Impuls in einem Nukleon für einen Twist-2 nicht-singulett Operator, in der „quenched“ Approximation nur sehr schwer mit experimentellen Daten zu vereinbaren sind. Die QCDSF-Kollaboration hat sich intensiv mit der Berechnung des Hadron-Massenspektrums beschäftigt. Besondere Aufmerksamkeit wurde den Formfaktoren sowie Mo-

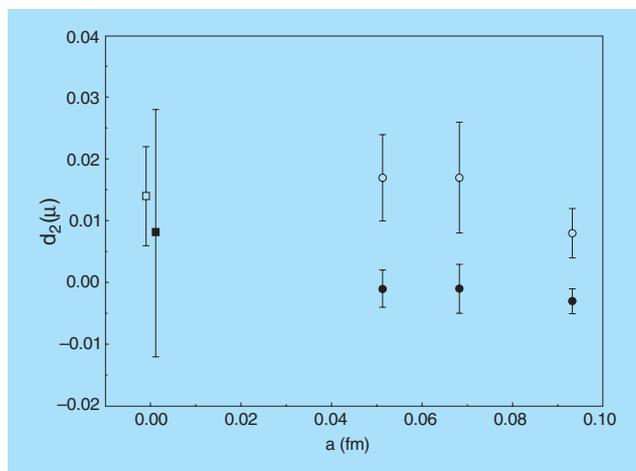


Abbildung 102: Die Strukturfunktion  $d_2$ . Offene Symbole repräsentieren das Proton, volle Symbole das Neutron. Die Werte bei  $a = 0$  stellen die experimentell gemessenen Werte dar.

menten von polarisierten und unpolarisierten Strukturfunktionen des Nukleons gewidmet (Abb. 102) [hep-lat/0012010, DESY 00-144, 153, 168, 01-110, 169]. Die Rechnungen werden seit kurzem auch auf Konfigurationen ausgedehnt, die in der vollen Theorie mit dynamischen Quarks gewonnen wurden. Dies geschah in enger Zusammenarbeit mit der britischen UKQCD-Kollaboration.

#### Confinement, Monopole und Topologie:

Es wird allgemein vermutet, dass Phänomene wie „Confinement“ und chirale Symmetriebrechung eng korreliert sind mit topologischen Strukturen der Eichfeldkonfigurationen (Instantonen, Monopole). Die NIC-Gruppe und hier insbesondere QCDSF hat traditionell ein Interesse an Untersuchungen der chiralen Symmetriebrechung und dem Confinement-Problem [DESY 00-161]. Erste Untersuchungen zeigen deutliche Unterschiede zwischen der QCD in der Valenzquark-Approximation und der vollen Theorie [DESY 01-209, 211]. Durch exakte Ungleichungen für Erwartungswerte von Wilsonschleifen konnte, im Gegensatz zu einer herkömmlichen naiven Betrachtungsweise, gezeigt werden, dass man Vortizes von beliebiger Dicke benötigt, um ein lineares Quarkpotential zu erzeugen [DESY 01-208, 210].

Präzisionsstudien von zwei- und dreidimensionalen Spinmodellen:

Niedrig-dimensionale Spinmodelle haben eine eigenständige Relevanz im Rahmen der Statistischen Physik. Die NIC Gruppe hat sich mit hochpräzisen Rechnungen in Spinmodellen beschäftigt und kritische Exponenten mit hoher, bisher unerreichter Genauigkeit bestimmt [DESY 01-074, 154, 156, 193].

QCD bei endlicher Temperatur:

Durch den Einsatz neuer statistischer Methoden kann eine Spektralanalyse vorgenommen werden, bei der die Temperaturabhängigkeit von hadronischen Parametern durch Veränderungen der Spektralverteilung sichtbar wird. Erste vorläufige Untersuchungen ergaben Hinweise auf mögliche Modifikationen bereits unterhalb der Temperatur des erwarteten Phasenübergangs zum Quark-Gluon Plasma. Selbst bei sehr hohen, experimentell erreichbaren Temperaturen wurden Abweichungen vom Verhalten freier Quarks und Gluonen beobachtet [DESY 01-153, 175].

Algorithmenverbesserung:

Simulationen mit dynamischen Quarks stellen für die Gittereichtheorie die große Herausforderung in den nächsten Jahren dar. Die Suche nach besseren Algorithmen wird deshalb ständig weitergeführt und die NIC-Gruppe beteiligt sich intensiv an diesen Studien. Im vergangenen Jahr wurde ein Vorschlag entwickelt, der das Potential besitzt, die Algorithmen insbesondere in Simulationen bei kleiner Quarkmasse zu beschleunigen [DESY 01-103, 155]. Bisher erzielte Ergebnisse legen nahe, dass zumindest ein Faktor zwei an Geschwindigkeit gegenüber herkömmlichen Algorithmen möglich ist.

Rechnerentwicklung:

Die NIC-Gruppe beteiligt sich an der Entwicklung, der Installation und dem Betrieb von speziell auf Anwendungen in der QCD ausgerichteten APE Rechnern. Für eine detailliertere Diskussion dieser massiv parallelen Systeme siehe den Bericht der APE Gruppe (Seite 166).

Neben den in Eigenbau entwickelten APE-Rechnern versucht die NIC-Gruppe, Erfahrung mit handelsüblichen PC-Clustersystemen zu gewinnen. Dazu wird in Zeuthen ein 16 Knoten System mit Intel Dual Xeon 1.7 GHz Prozessoren und schnellem Myrinet 2000 Kommunikationsnetzwerk aufgebaut. Ver-

schiedene Physik-Applikationen werden es erlauben herauszufinden, ob solche Systeme tatsächlich für Gittereichtheorie-Rechnungen geeignet sind.

## Internationale Zusammenarbeit

Forscher der NIC-Gruppe sind beteiligt an der ALPHA- und der QCDSF-Kollaboration, die europaweit vernetzt sind. Es gibt zudem enge Zusammenarbeiten mit Gruppen am CERN, in Rom und Marseille.

Die NIC-Gruppe ist momentan an zwei europäischen Projekten beteiligt:

- „Hadron Physics and Vacuum Structure from Lattice QCD“:  
Die Gruppe ist Koordinator dieses durch die Alexander-von-Humboldt-Stiftung, das Landau und das INTAS Programm geförderten Projekts, das der Zusammenarbeit und dem wissenschaftlichen Austausch mit Ländern aus Osteuropa (Polen, Russland und Bulgarien) dient.
- „Hadron Phenomenology from Lattice QCD“:  
Dieses Netzwerk dient der Förderung der Gitterphysik auf europäischer Ebene. Es wird ein besonderes Augenmerk auf die Studentenausbildung gelegt.

## Arbeiten zum TESLA-Projekt

Die Arbeiten zu TESLA haben drei Schwerpunkte :

- Studien zur Physik und Detektorentwicklung,
- Entwicklung von Diagnose-Elementen für die TESLA Test Facility (TTF),
- Aufbau eines Photoinjektor-Teststandes.

## Physik und Detektor bei TESLA

Im Frühjahr 2001 wurde der Technical Design Report (TDR) für den Linear-Collider TESLA fertig gestellt und der Öffentlichkeit vorgestellt. Zeuthener Physiker haben sehr aktiv hierzu beigetragen. Folgende Studien zum TDR wurden in Zeuthen durchgeführt:

- Physikalische Analysen zum Higgs-Boson des Standardmodells und zur Top-Quark Erzeugung im Energiebereich von 300 bis 500 GeV. Zum Beispiel wurde gezeigt, dass Spin und Parität des Higgs-Bosons eindeutig bei TESLA gemessen werden können.
- Studien der zwei-Fermion Produktion bei hohen Energien und Interpretation im Rahmen von Physik jenseits des Standardmodells,
- Studie von Stop- und Sbottom-Produktion im Rahmen supersymmetrischer Modelle,
- die Messung der Top-Yukawa Kopplung bei 500 und 800 GeV, basierend auf der Option hoher Luminosität von TESLA,
- Studien zur elektroschwachen Physik mit der „GigaZ“ Option des Linear-Colliders,
- Software-Entwicklungen zu den Detektorsimulationsprogrammen BRAHMS und SIMDET,
- Entwicklung eines Detektor-Grafik Programms,
- Untersuchungen zur Optimierung der Spurrekonstruktion geladener Teilchen unter besonderer Berücksichtigung des Vorwärtsbereichs,
- Energieunschärfe des Strahls mit Hilfe von Bhabha-Streuung,
- Untersuchungen zur Messung der Strahlpolarisation,
- Abschätzung des Myon-Untergrundes im Detektor und Möglichkeiten seiner Unterdrückung.

Die Physikstudien werden auch nach Beendigung des TDR fortgesetzt. Im Rahmen dieser Studien sind Zeuthener Physiker als Koordinatoren der Arbeitsgruppe „Electroweak Interactions“ innerhalb der ECFA/DESY Workshopserie und in der Weltstudie beteiligt.

Nach Abschluss des TDR wurden in Zeuthen zwei weitere Aktivitäten in Zusammenhang mit TESLA begonnen: die Entwicklung eines Kalorimeters im Bereich der Strahlmaske des TESLA-Detektors sowie Arbeiten für einen Photon-Collider bei TESLA.

Gemeinsam mit dem Institut für Kernphysik der Staatsuniversität Moskau wurden weitere Untersuchungen zur Auslotung der physikalischen Möglichkeiten eines  $e^+e^-$ -Linear-Colliders im Energiebereich von 0.5 bis

1 TeV durchgeführt. Insbesondere wurde das Potenzial der einfachen Top-Quark Erzeugung zur Bestimmung der Eigenschaften des Top-Quarks in Abhängigkeit vom Anfangszustand ( $e^+e^-$ ,  $e^-e^-$ ,  $e^- \gamma$  oder  $\gamma\gamma$ ) untersucht.

Die Analysen zur Messung des Verzweigungsverhältnisses vom Higgs-Boson des Standardmodells in zwei Photonen,  $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$ , wurden abgeschlossen und publiziert. Mit der Annahme von  $1 \text{ ab}^{-1}$  integrierter Luminosität und geeignet gewählten  $e^+e^-$ -Polarisationszuständen ist  $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$  mit einem Fehler von 10% messbar.

### Untersuchung zur Instrumentierung der Strahlmaske des TESLA-Detektors

Im Berichtszeitraum wurden Arbeiten begonnen mit dem Ziel, eine optimale Lösung für die Instrumentierung im Bereich der Strahlmaske des TESLA-Detektors zu finden. Dies schließt sowohl Hardware-Arbeiten als auch Monte Carlo-Studien ein. Wie aus Abbildung 103 hervorgeht, sind im Bereich der Maske zwei Kalorimeter mit unterschiedlichen Funktionen und möglicherweise unterschiedlichen Technologien untergebracht. Mit dem Kleinwinkel-Detektor (LAT) soll mittels Kleinwinkel-Bhabhastreuung die Luminosität von TESLA präzise gemessen werden. Das Kleinwinkel-Kalorimeter (LCAL) befindet sich bereits so dicht am Strahl, dass es von einer großen Menge niederenergetischer Elektronen und Positronen aus der Beamstrahlung getroffen wird (etwa 20 TeV pro Kollision). Mit Monte Carlo-Studien konnte gezeigt werden, dass trotz dieses enormen Untergrundes Hoffnung besteht, einzelne hochenergetische Elektronen, wie sie zum Beispiel in Zwei-Photon-Streuung entstehen, nachzuweisen.

Erste Studien zu den möglichen Technologien wurden begonnen und sollen mit Prototypfertigungen und Testmessungen fortgesetzt werden.

### Arbeiten für den Photon-Collider

Im TESLA TDR wird die mögliche Realisierung eines Photon-Colliders diskutiert. Zur Erzeugung des hochenergetischen Photonenstrahls wird ein Laser einige Millimeter vor dem Wechselwirkungspunkt mit

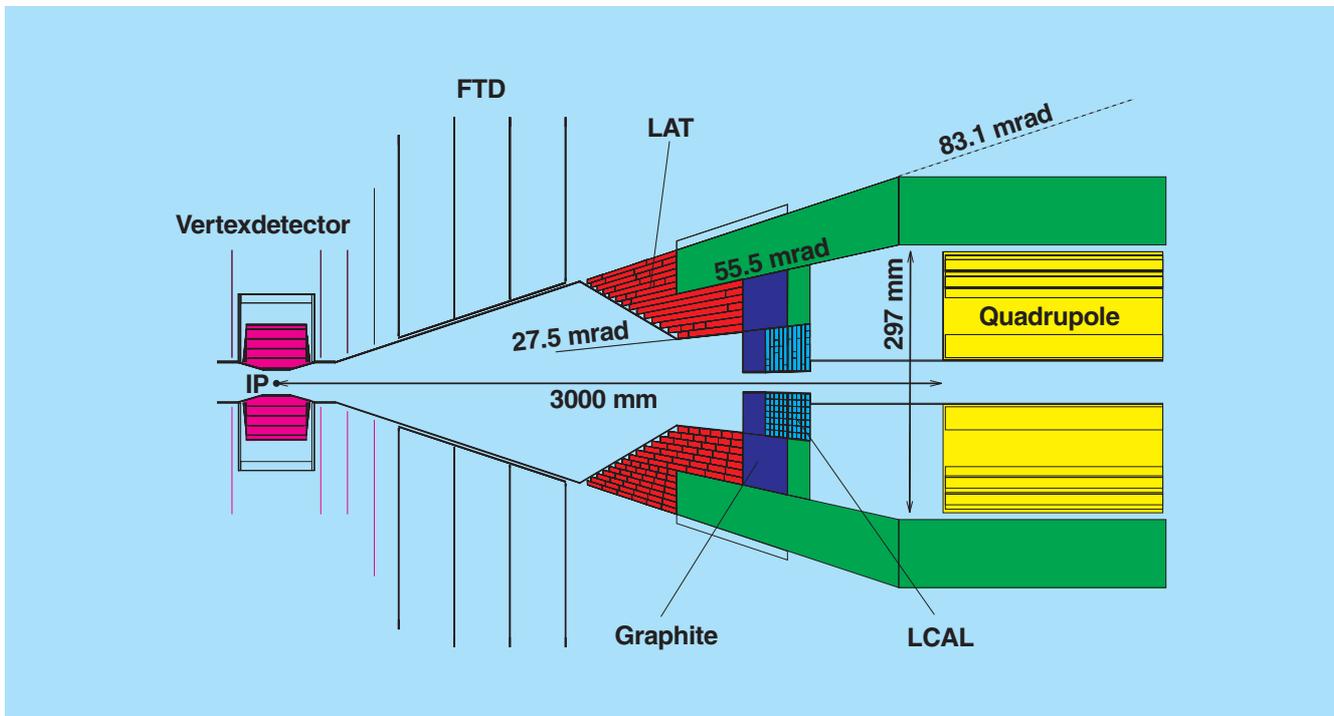


Abbildung 103: Die vorgeschlagene Maske im Vorwärtsbereich des TESLA-Detektors.

dem Elektronenstrahl zur Kollision gebracht. Durch Compton-Streuung werden dann Photonen mit maximal 80% der Elektronenergie erzeugt, die im Wechselwirkungspunkt kollidieren. Dieser Prozess ist in Abbildung 104 skizziert. Im Anhang des TDR wurde die prinzipielle Möglichkeit dieses Colliders aufgezeigt und eine vorläufige physikalische Motivation gegeben. In den nächsten zwei Jahren sollen nun die technische Machbarkeit und die physikalische Motivation genauer untersucht werden.

Das vielleicht schwierigste Problem beim Photon-Collider ist der Bau des benötigten Lasers. Um eine hohe Luminosität zu erhalten, benötigt man Laserpulse von etwa 5 J Energie, einer Pulslänge von 1–2 ps und einer Wiederholfrequenz von etwa 10 kHz, angepasst an die Pulsstruktur von TESLA. Die Laserleistung kann um etwa einen Faktor 100 reduziert werden, wenn man den Laserpuls in einem Resonator hoher Güte speichert. Ein solcher Resonator soll nun in Zusammenarbeit zwischen dem Max-Born-Institut (Berlin) und DESY-Zeuthen entwickelt werden. In diesem Jahr wurden erste Vorstudien begonnen.

Zeuthener Physiker beteiligen sich auch an den Physik-Studien zum Photon-Collider. Der wohl interessanteste Prozess beim Photon-Collider ist die Higgs-Boson Produktion. Wenn ein leichtes Higgs-Boson existiert, so ist der Prozess  $\gamma\gamma \rightarrow H b\bar{b}$  messbar, und die Rate ist proportional zur photonischen Partialbreite des Higgs-Bosons. Da die Higgs-Kopplung ans Photon nur über Schleifendiagramme erfolgt, ist diese Größe besonders sensitiv auf neue Physik. Eine detaillierte Studie zur Higgs-Boson Produktion unter besonderer Berücksichtigung der Detektoreffekte wurde in Zeuthen begonnen.

## Entwicklung von Diagnose-Elementen

Für die 1.57 GHz Cavity-Monitore in den Beschleunigungsmodulen bei TTF wurden drei weitere Elektronik-Module, basierend auf dem am weitesten entwickelten Modul, aufgebaut, vermessen und für den Einsatz bei TTF vorbereitet. Die erzielten Resultate waren zufriedenstellend, so dass drei weitere Module für die zweite Ausbaustufe von TTF-FEL in Vorbereitung sind.

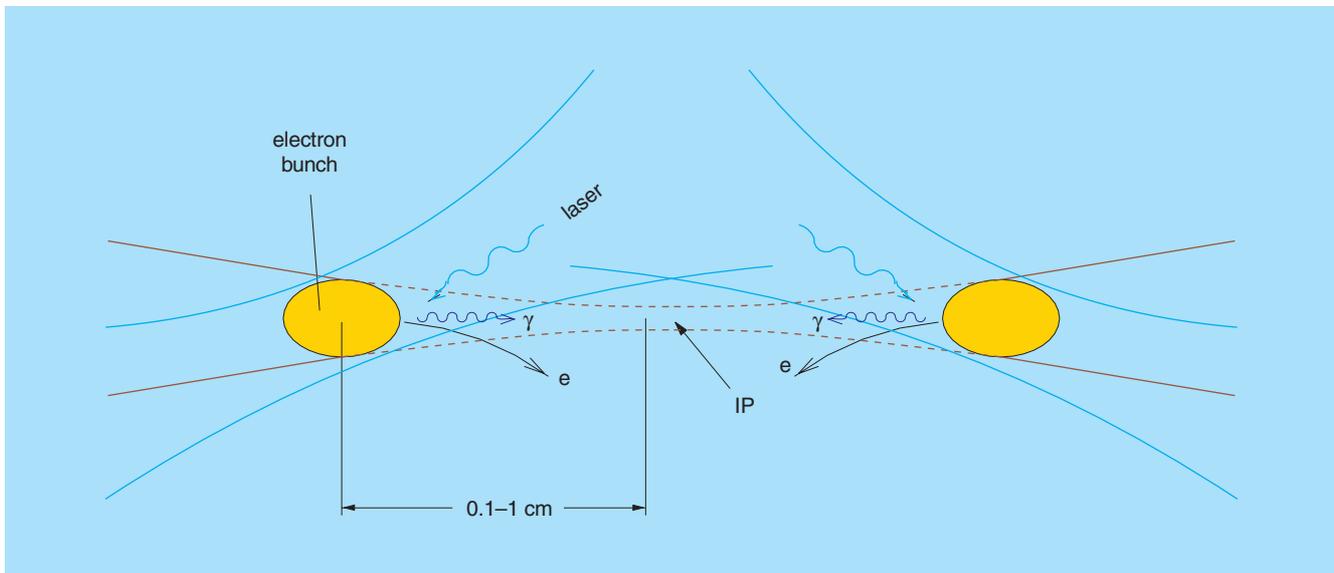


Abbildung 104: Prinzip der Erzeugung hochenergetischer Photonen im Photon-Collider.

Die 12 GHz Cavity-Strahllagemonitore in den Diagnostik-Stationen zwischen den Undulatormodulen der TTF wurden getestet. Dabei zeigte sich, dass die Resonanzfrequenzen der Resonatoren zum Teil erheblich (bis zu 96 MHz) vom Sollwert von 12.025 GHz abweichen. Die Ursache dafür ist in der Schwierigkeit zu sehen, den Durchmesser des Resonators mit einer Genauigkeit besser als 5  $\mu\text{m}$  zu fertigen. Für zwei der vier Monitore wurden akzeptable Abweichungen gefunden, so dass nur für diese ein guter Frequenzarbeitspunkt existiert, und somit eine hinreichend genaue Strahlkoordinatenbestimmung möglich ist. Ausgehend von ersten systematischen Untersuchungen an diesen beiden Monitoren musste zum Beispiel nach auftretender Sättigung bei Strahl Ladungen von mehr als 2 nC und relativ großen Unterschieden in den vier Kanälen eines Monitors eine Überarbeitung der Analogelektronik im Sommer 2001 vorgenommen werden. Es ist vorgesehen, den neuen Dynamikbereich der Elektronik und die Auflösung der Monitore zu bestimmen.

Nach Einsatz der Elektronik mit asynchroner Dioden-Demodulation für die so genannten Wellenleitermonitore im dritten Undulator wurde festgestellt, dass ein Signal-Rausch-Abstand von 40 dB eine akzeptable Strahlauflösung ermöglicht, aber die Übertragungsfunktion der 1 GHz-Verstärkung nur in einem

relativ kleinen Bereich der Bunchladung linear verläuft. Messungen im Einzelbunchbetrieb bei Festhalten der Bunchladung (mit Variation von nicht mehr als 20%) lieferten eine Ortsauflösung von 15–20  $\mu\text{m}$ . Dieser Wert liegt nahe der Erwartung von 10  $\mu\text{m}$  allein vom Signal-Rausch-Verhältnis der Analogelektronik. Variiert jedoch die Bunchladung über einen größeren Bereich, so wird eine Ortsabhängigkeit der Auflösung beobachtet. Die Untersuchungen dieses Effekts sowie die Ausarbeitung und der Test möglicher Korrekturverfahren konnten im Berichtszeitraum noch nicht abgeschlossen werden.

Ein neuer Typ von Wirescanner für die nächste Phase von TTF-FEL wurde in Zeuthen entwickelt, gefertigt und zu Testzwecken im November eingebaut. Die hohen Anforderungen an kinematische Eigenschaften wie Positionsgenauigkeit und große Geschwindigkeit bei minimaler Beschleunigung sind durch Anwendung eines Kehrwindespindelantriebs verwirklicht worden.

## Photoinjektor-Teststand

Der Photoinjektor-Teststand in Zeuthen (PITZ) ist eine neue Beschleunigeranlage bei DESY zur Entwicklung

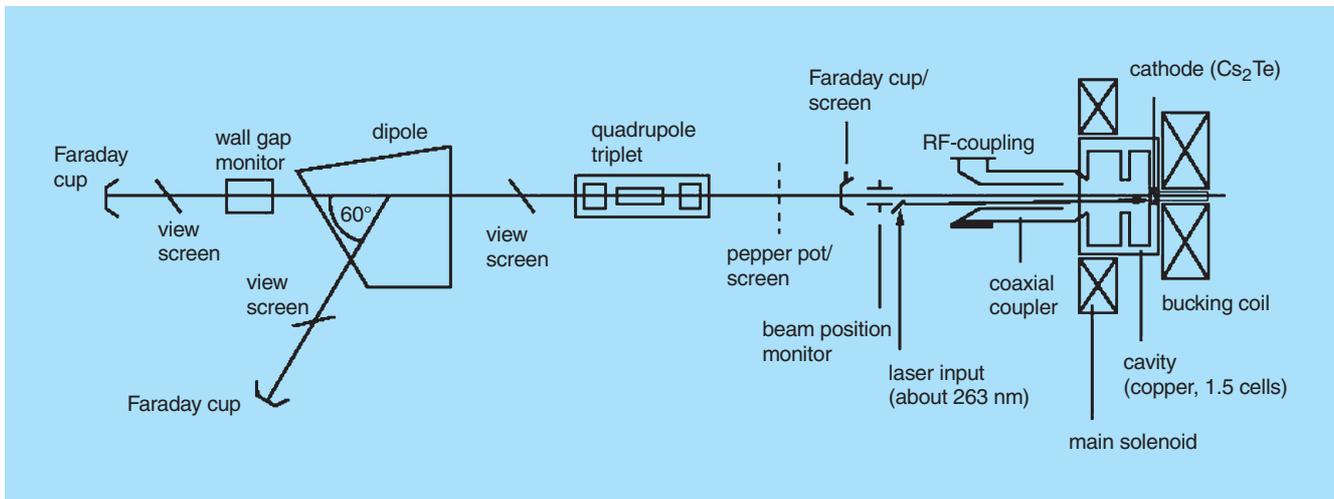


Abbildung 105: *Prinzipische Skizze des Photoinjektor-Teststandes mit Solenoid und Kompensationsmagnet, dem HF-Resonator und dem koaxialen HF-Einkoppler, der Lasereinkopplung und der Diagnosesektion zur Strahl-, Emittanz- und Ladungsmessung.*

und Verbesserung von lasergetriebenen Hochfrequenz-Photoinjektoren. Diese Elektronenquellen gestatten es, hohe Elektronen-Phasenraumdichten zu erzeugen, wobei die Elektronenpakete extrem kleine Länge und Emittanz besitzen. Damit spielen sie eine entscheidende Rolle für die nächste Generation von Linearbeschleunigern sowie für die Entwicklung von Freielektronen Lasern (FEL). Abbildung 105 zeigt ein Schema des Teststandes. Das Projekt wird aus dem Vernetzungsfond der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) gefördert und wird mit den Partnern Max-Born-Institut (MBI, Berlin), der Berliner Elektronenspeicherring-Gesellschaft für Synchrotronstrahlung (BESSY) und der Arbeitsgruppe „Theorie Elektromagnetischer Felder“ der Technischen Universität Darmstadt durchgeführt.

Das Ziel des Photoinjektor-Teststandes ist die Erzeugung von Elektronenstrahlen mit einer mittleren Ladung pro Elektronenpaket (etwa 1 nC) bei sehr kleiner transversaler Emittanz ( $1 \pi$  mm mrad) und ausreichend kleiner longitudinaler Emittanz (einige 10 keV mm). Um das Projektziel zu erreichen, sind detaillierte Untersuchungen der Prozesse bei der Erzeugung, Beschleunigung und Formung der Elektronenpakete nötig. Dies erfordert ein detailliertes Experimentierprogramm zur Bestimmung der Elektronenstrahlparameter im Wech-

selspiel mit Simulationsrechnungen. Der Aufbau eines kompletten Teststandes für Photoinjektoren ermöglicht die Optimierung aller Teilkomponenten und ist auch Voraussetzung, um Elektronenstrahlen höchster Strahlqualität zu erzeugen. Erste Aufgabe nach der Inbetriebnahme der Testanlage ist die Weiterentwicklung der existierenden  $e^-$ -Quelle, so dass diese am VUV FEL bei TTF eingesetzt werden kann.

Die Installation des Hochfrequenzsystems, bestehend aus Klystron, Pulstransformer und Modulator, wurde im März 2001 abgeschlossen. Daran schlossen sich Arbeiten zur Elektronik, Software und Mechanik für die Hochfrequenzversorgung und -regelung an, ebenso für die verschiedenen Interlocksysteme, das Vakuumsystem, das Beschleunigerkontrollsystem, das Laserstrahltransportsystem und für die Diagnose des Elektronenstrahls. Einige Komponenten mussten neu entworfen bzw. Anlagenteilen der TTF nachgebaut werden. Dabei waren insbesondere für das Hochfrequenzsystem Neuentwicklungen der Kontrollelektronik notwendig, die für das TESLA-Projekt von großem Nutzen sein werden.

Im Mai 2001 wurde die Betriebsgenehmigung für den Photoinjektor-Teststand erteilt. Im Jahr 2001 wurde in Zusammenarbeit mit dem INRNE Sofia ein

komplexes Emittanz-Messsystem entwickelt und gebaut. Daneben wurden Studien zur Bunchlängenbestimmung der Elektronen betrieben, die auf einem Cherenkov-Strahler basieren. Als Basismaterial wird hierbei neben verschiedenen Quarzen auch Aerogel erwogen. Detaillierte Untersuchungen zum Verhalten von Aerogel im Vakuum sowie Brechungszahlmessungen dieses Materials als Funktion des Umgebungsdruckes dienen Tauglichkeitstests. Zwischen Mai und Oktober 2001 fand die Installation des Lasersystems vom MBI statt. Im Anschluss daran wurde das Laserstrahl-Transportsystem adjustiert. Im September 2001 konnte die Hochfrequenz-Versorgung erstmalig in Betrieb gesetzt werden, in den folgenden Monaten wurde das Klystron konditioniert, und im Dezember konnte mit der Konditionierung der Hochfrequenz-Elektronenquelle (Kavität) begonnen werden.

## Experimente Support

Ein breites Spektrum an Serviceleistungen konnte trotz personeller Veränderungen und Umorganisation innerhalb der Gruppe wie im vorangegangenen Jahr den Projektgruppen zur Verfügung gestellt werden:

- Betreuung technischer Geräte (Kopierer, Projektoren, Kameras),
- Kopieren, Binden und Bereitstellen von Dokumentationen,
- Verwaltung der Dosimeter,
- Unterstützung bei der Erstellung und Zusammenfassung wissenschaftlicher Berichte und Referenzlisten,
- Datenbankarbeiten, Grafik- und Bildbearbeitungen,
- Aktualisierung und Wartung des Fotoarchivs,
- Mitwirkung bei der Aktualisierung der Webseiten,
- Betreuung zahlreicher ausländischer Gäste,
- Durchführung von Fertigungsprozessen, Routine-messungen und Aufarbeitung von Analysedaten.

Im Bereich Bilderzeugung und -verarbeitung wurde die Ausstattung durch eine hochwertige digitale Kamera erweitert. Damit ist das schnelle Ver- bzw. Einarbeiten hochwertiger digitaler Bilder bei der Dokumentation

von Fertigungsprozessen, Baumaßnahmen, Installationen und Veranstaltungen möglich. Neben der fotografischen Archivierung wird aber auch beim Erstellen von wissenschaftlichen Publikationen sowie von Informationsmaterial, Postern und Plakaten für die Öffentlichkeitsarbeit die Bedeutung der Grafik- und Bildbearbeitung in der Gruppe deutlich.

Neben diesen technischen und grafischen Serviceaufgaben ist die Organisation von wissenschaftlichen Veranstaltungen eine wesentliche Aufgabe der Gruppe. Im Vorfeld sind Aktivitäten wie Plakatgestaltung, Planung von Unterkünften und Rahmenprogramm sowie Information der Teilnehmer erforderlich. Während der Veranstaltungen unterstützt die Gruppe EXPS die Organisatoren bei der Registrierung der Teilnehmer, Erstellung und Pflege von Datenbanken sowie der Dokumentation der Vorträge.

Bei Veranstaltungen wie der Ausbildungsbörse im Oktober 2001 im Landkreis Dahme-Spreewald oder der Weiterbildung für Physiklehrer in Zeuthen am Ende des Berichtszeitraumes wurde Informationsmaterial zur Verfügung gestellt. Die aktive und öffentlichkeitswirksame Zusammenarbeit mit und an Schulen wird durch die Einladung zum Tag der Wirtschaft und Wissenschaft im Humboldt-Gymnasium Eichwalde im Oktober 2001 sowie zahlreiche Besuche von Schülergruppen am Standort Zeuthen deutlich.

Durch Vorträge und Laborbesichtigungen wurde auch anderen interessierten Gruppen, wie zum Beispiel Studenten, die Möglichkeit gegeben, die Forschungsbereiche der Elementarteilchenphysik näher kennen zu lernen. Durch das Bereitstellen von Text- und Bildmaterial unterstützt die Gruppe die Präsentation der Forschungsvorhaben bei DESY Zeuthen.

Im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit waren die Koordination und Mitarbeit an der Ausstellung „TESLA – Licht der Zukunft“, die ab Januar 2002 in Berlin im Automobil Forum stattfindet, ein sehr wesentlicher und großer Aufgabenbereich im Berichtsjahr. In Zusammenarbeit mit vielen Wissenschaftlern und externen Agenturen wird das Ausstellungskonzept mit zahlreichen Exponaten, Postertafeln, Vorträgen, Führungen und Veranstaltungen für bestimmte Zielgruppen realisiert. Einzelaufgaben wie Absprachen der Werbemaßnahmen für diese Veranstaltung im Vorfeld und

koordinative Tätigkeiten, zum Beispiel bei der Ausstellungsbetreuung und der Anmeldung von Besuchergruppen, gehören ebenso zum Arbeitsbereich wie das Mitwirken bei der Umsetzung des Gesamtkonzeptes.

## Konferenzen und Workshops

Gruppen aus Zeuthen waren in diesem Jahr an der Organisation von fünf internationalen Konferenzen beteiligt:

- Topical Workshop on Transverse Spin Physics, Juli 2001, Zeuthen, 70 Teilnehmer. Die Konferenz wurde gemeinsam von der Theoriegruppe und der HERMES-Gruppe bei DESY organisiert mit Unterstützung durch die Gruppe Experimente Support, die auch die Proceedings zusammengestellt und gestaltet hat.
- 19th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2001), August 2001, Berlin, 400 Teilnehmer aus über 30 Ländern. Die Konferenz wurde gemeinsam von der Theoriegruppe, NIC/DESY, der Humboldt-Universität Berlin, der FU Berlin und dem Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik in Berlin organisiert, unterstützt durch die Gruppe Experimente Support. In einer öffentlichen Panel-Diskussion wurden Anforderun-

gen an künftige Supercomputer präzisiert. Eine Pressekonferenz sorgte für ein Echo in der lokalen und überregionalen Presse, der Allgemeinheit verständliche Abendvorträge weckten die Aufmerksamkeit einer breiteren Öffentlichkeit.

- 27th International Cosmic Ray Conference (ICRC 2001), August 2001, Hamburg, 861 Teilnehmer aus 46 Ländern. DESY hat diese Konferenz unter anderem durch Bereitstellung von Rechentechnik unterstützt, die beteiligte Neutrinoastrophysik-Gruppe führte anschließend in Zeuthen einen zweitägigen internationalen Workshop zu methodischen Fragen von Hochenergie-Neutrinooteleskopen durch.
- QCD and the Deep Structure of Elementary Particles (QCDNET 2001), September 2001, Weimar, 80 Teilnehmer. Die Konferenz wurde gemeinsam von der Theoriegruppe und der Universität Hamburg organisiert, unterstützt von der Gruppe Experimente Support.

Mit Beteiligung der Neutrinoastrophysik-Gruppe fanden in Zeuthen statt:

- Das 2. Treffen der deutschen Astroteilchenphysiker, Dezember 2000.
- Der Workshop Astroteilchenphysik in Deutschland, Status und Perspektiven 2001, Juni 2001. Dieser wurde organisatorisch von der Gruppe Experimente Support unterstützt.

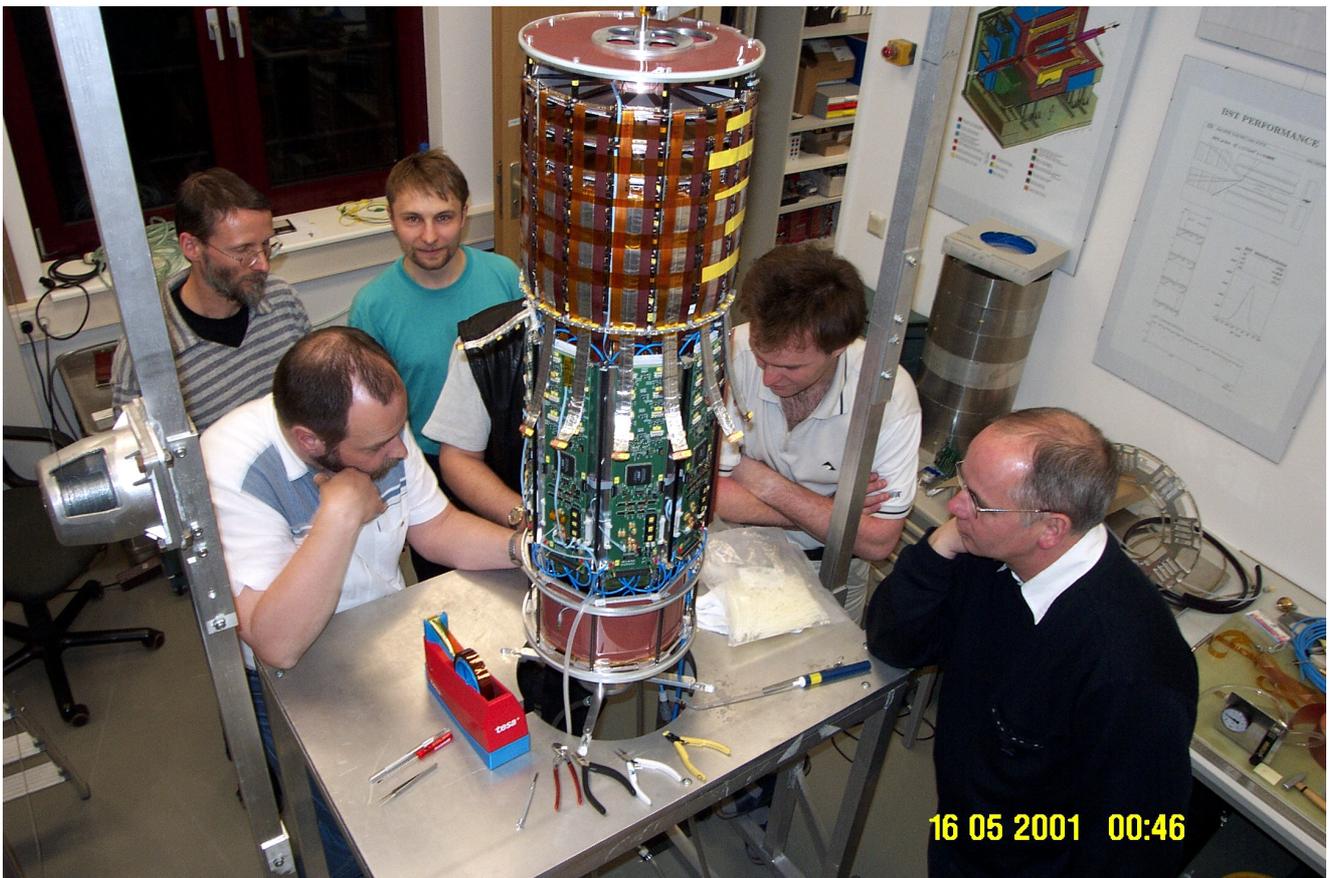


Abbildung 106: Der Backward-Silicon-Tracker (BST) des H1-Detektors bei der Probemontage im Labor in DESY Zeuthen.

# Zentrale Dienste DESY Zeuthen

Im Bereich „Zentrale Dienste“ (Z-Bereich) sind die Gruppen „Datenverarbeitung“, „Mechanik“, „Elektronik“ und „Technische Infrastruktur“ zusammengefasst. Diese Gruppen erbringen im Wesentlichen die notwendigen Service-Leistungen für den F-Bereich von DESY Zeuthen.

Die Gruppe „Datenverarbeitung“ stellt die erforderliche Rechenleistung und die Infrastruktur zur Verfügung, damit die in den Experimenten gewonnenen Daten ausgewertet werden können. Zusätzlich leistet die Gruppe „Datenverarbeitung“ eigene Beiträge zum Thema „paralleles Rechnen“.

Die Gruppen „Mechanik“ und „Elektronik“ unterstützen die experimentellen Gruppen beim Aufbau und Betrieb neuer Detektoren bzw. ihrer Komponenten. Alle drei Gruppen waren am weiteren Aufbau und der Inbetriebnahme des Photoinjektor-Teststandes in Zeuthen (PITZ) beteiligt.

Die Gruppe „Technische Infrastruktur“ konzentrierte sich im Berichtszeitraum ebenfalls auf den Aufbau der Infrastruktur für PITZ. Des Weiteren standen kleinere Ausbau- und werterhaltende Maßnahmen sowie die Aufrechterhaltung des laufenden Betriebs in DESY Zeuthen im Mittelpunkt.

## Gruppe Datenverarbeitung

Die Aktivitäten der Gruppe Datenverarbeitung (DV) im Berichtszeitraum waren von Bemühungen zur Konsolidierung der in den Vorjahren begonnenen Umstellung der Rechenleistung auf PC-basierte Systeme geprägt. Daneben standen die weitere Erhöhung der Rechenleistung im Bereich Parallelrechner (APE1000), die Verbesserung der lokalen Netzwerkstruktur und der Umbau der IT-Infrastruktur im Mittelpunkt der Arbeiten der zentralen Datenverarbeitung in DESY Zeuthen.

## IT-Infrastruktur

Am DESY Zeuthen gibt es etwa 600 registrierte Benutzer, von denen rund 150–170 täglich aktiv tätig sind. Für die einzelnen Forschungsgruppen und CAD-Anwendungen wird die erforderliche Rechenkapazität aus Kosten- und Effektivitätsgründen vornehmlich über eine PC-Farm sowie dedizierte Workgroup-Server/Workstations bereitgestellt. Die in den vergangenen Jahren aufgebauten PC-Farmen wurden im Berichtszeitraum zu einer Farm zusammengefasst und die Kapazität der Farm auf 90 Dual-Pentium Systeme erhöht. Auch der Tape-Roboter wurde ausgebaut, so dass jetzt eine Gesamtkapazität von 22 TB (unkomprimiert) zur Verfügung steht.

Gegenwärtig werden im Netzwerk 12 Fileserver mit einer Gesamtkapazität von etwa 12 TB, der Tape-Roboter, etwa 30 Compute- und Workgroup-Server, die PC-Farm sowie rund 300 Linux/Windows NT-basierte Desktop-PCs betrieben. Es wird angestrebt, im kommenden Jahr die noch verbliebenen rund 40 X-Terminals durch Desktop-PCs zu ersetzen.

Die Benutzer- und Datenfilesystems werden per AFS und NFS von den File-Servern verteilt. Zur Verbesserung der Verfügbarkeit werden die Benutzerverzeichnisse zum großen Teil über ausfallsichere Hardware-RAID-Systeme mit einer Gesamtkapazität von 170 GB zur Verfügung gestellt. Die Nutzung der Rechenkapazitäten der Compute-Server, PC-Farm sowie bestimmter Workgroup-Server erfolgt seit Juli 2001 über das aus Codine/GRD hervorgegangene Open Source Batchsystem Sun Grid Engine (SGEE).

Das Backup von Fileverzeichnissen erfolgt automatisiert unter Verwendung von Legato Networker und dem Tape-Roboter. Als strategische Betriebssysteme werden Solaris, Linux und Windows NT zentral unterstützt, daneben kommt noch für bestimmte Anwendungen HP-UX zum Einsatz.

Das Zentrum für paralleles Rechnen am DESY ist als Teil des „John von Neumann Instituts für Computing“ (NIC) verantwortlich für die Entwicklung, die Installation und den Einsatz massiv paralleler Rechnersysteme für die Bearbeitung besonders rechenintensiver Probleme in der Elementarteilchenphysik. Von der Gruppe DV werden verschiedene Servicedienste für das Zentrum geleistet, unter anderem Hilfe bei der Installation neuer Systeme, die Netzwerkanbindung und die Bereitstellung von Fileservern. Im Herbst wurde unter Mithilfe der Gruppe DV die Beschaffung eines auf 16-Knoten XEON-P4 basierten PC-Clusters inklusive eines schnellen Myrinet-Netzwerkes eingeleitet.

### Entwicklungsschwerpunkte

Im Berichtszeitraum konzentrierten sich die Aktivitäten der Gruppe DV schwerpunktmäßig auf folgende Themen:

- Infrastrukturelle Maßnahmen:
  - Erweiterung der unterbrechungsfreien Stromversorgungsanlage (USV) von 80 kVA auf 200 kVA bei gleichzeitiger Erneuerung der gesamten Strom-einspeisung/verteilung im Rechenzentrum,
  - Erweiterung der Klima-Anlage von 80 kW auf 140 kW Kühlleistung,
- Verbesserung der Internet-Anbindung durch die Inbetriebnahme eines 34 Mbit/s GWIN-Anschlusses,
- Konsequente Verbesserung der lokalen Netzwerkinfrastruktur (Leistung, Ausfallsicherheit, Erhöhung der Anschlusskapazität mit GigabitEthernet-Ports im zentralen sowie mit 10/100 Mbit/s Ethernet-Ports im Access-Bereich),
- Bedarfsgerechter Ausbau der Rechenkapazität:
  - Erweiterung der PC-Farm um 50 Dual-Pentium III basierte Nodes,
  - Erweiterung der APE-Installation um vier APE-mille-Systeme mit einer Gesamtleistung von 500 GFlops,
  - Ausbau der Plattenspeicherkapazität auf nunmehr insgesamt 12 TB,
  - Erweiterung des Robotersystems auf vier LTO-Laufwerke sowie 190 Stellplätze für LTO-Kassetten,

- konsequente Verbesserung der Arbeitsplatzausstattung durch die Bereitstellung von 90 Linux/NT-basierten Desktopsystemen einschließlich erforderlicher Softwarekomponenten, zum Teil als Ersatz für veraltete X-Terminals und Desktopsysteme,
- stabile Versorgung der Benutzer mit Diensten, unter anderem Mail-Service, Web-Service, Druckservice, Software-Support,
- weitere Umsetzung von Konzepten zur Rechner- und Netzwerksicherheit sowie zur Schaffung von Softwarewerkzeugen zur signifikanten Reduzierung des Aufwandes bezüglich der Systemadministration von Unix/NT-Systemen,
- Mitarbeit bei den Experimenten und beim Photoinjektor Teststand PITZ durch Softwareentwicklung und Bereitstellung von Hardware.

Zur Sicherstellung eines stabilen Rechenbetriebes waren infrastrukturelle Maßnahmen zu realisieren. Diese stellten im Berichtszeitraum zugleich einen investiven Schwerpunkt dar. Aufgrund der in den letzten Jahren installierten Gerätesysteme sowie der weiteren Planungen waren die Leistungsreserven bezüglich Spannungsversorgung und Kühlleistung erschöpft. Daher wurden die Erweiterung der USV-Anlage auf 200 kVA, die Neuinstallation der Stromspeisung und -verteilung sowie die abgestimmte Erweiterung der Klimaanlage auf 140 kW Kühlleistung, ausbaubar auf 200 kW, erforderlich.

Das von der zentralen Datenverarbeitung angestrebte hohe Maß an Sicherheit im Computing-Umfeld kann nur durch ein ständiges Arbeiten an der Schließung von erkannten Sicherheitslücken erreicht werden. Diesem Ziel dienen auch die stete Analyse der zum Internet hin angebotenen Dienste sowie die Blockierung aller nicht benötigten Verbindungen durch Portfilterung auf den zentralen Routern. Der Betrieb der vom DFN zertifizierten „Certificate Authority“ (CA) stellt einen weiteren Schritt zur Erhöhung der Rechnersicherheit dar. Mit Hilfe der vom CA ausgestellten Zertifikate werden sichere Verbindungen über ungesicherte Netzstrukturen erzeugt, die unter anderem bei den SSL/TLS-fähigen Mail- und Web-Servern genutzt werden.

Die Absicherung einer angemessenen IT-Sicherheit wird auch künftig ein Schwerpunkt der Arbeit sein.

Die im Jahre 2000 begonnene Einführung des Verzeichnisdienstes für Mail-Adressen (LDAP) wurde im Berichtszeitraum abgeschlossen und allen Nutzern zur Verfügung gestellt.

Zur Aufrechterhaltung der Stabilität und Sicherheit aller Netzdienste muss die zugrunde liegende Software kontinuierlich auf einem aktuellen Stand gehalten werden. Zur Verbesserung ihrer Verfügbarkeit wurde zum Ende des Berichtszeitraumes mit der Migration der Software auf ausfallsichere Serversysteme (redundante Netzteile/Lüfter, gespiegelte Systemplatten, integrierte Error-Recovery Features) begonnen.

Im Windows NT-Bereich arbeiten Zeuthener und Hamburger Mitarbeiter zusammen in der Windows NT-Projektgruppe an der Weiterentwicklung der NT-Infrastruktur und dem sicheren Betrieb der gemeinsamen Domäne. Die Aktivitäten richteten sich unter anderem auf die Umstellung des Software-Tools zur Bereitstellung von Anwendungssoftware (neue Netinstall-Version) und die zentrale Bereitstellung und ständige Aktualisierung der Antivirensoftware. Um die Verfügbarkeit und Sicherheit der Bereitstellung von Anwendungssoftware und Benutzerverzeichnissen zu erhöhen, wurde in Zeuthen der zentrale Fileserver durch eine Cluster-Lösung ersetzt.

## Beteiligung an den Experimenten

Mehrere Mitarbeiter der Gruppe DV haben auch bei den Experimenten Photoinjektor Teststand Zeuthen (PITZ), H1 und TTF Beiträge geleistet, beispielweise durch die Entwicklung von Software zum Kontrollsystem, zur Datenerfassung und zur Vorverarbeitung (DAQ- und Trigger-Systeme).

## Gruppe Mechanik

Die Gruppe Mechanik besteht aus der Konstruktion (Ingenieure, Technische Zeichnerinnen), der Zentralen Mechanischen Werkstatt und der Zentralen Mechanischen Lehrwerkstatt. Die Aufgabe der Gruppe ist es, die experimentellen Gruppen bei der Realisierung ihrer Vorhaben zu unterstützen. Dies erfolgt durch:

- Erarbeitung konzeptioneller Entwürfe,
- Konstruktion und Fertigung von Einzelteilen und Baugruppen,
- Bau komplexer Geräte und deren Installation am Experiment bzw. Beschleuniger,
- Durchführung technologischer Versuche,
- Dokumentationen.

Hauptwerkzeug für die Konstruktion ist das CAD-Programm I-DEAS, mit dessen Hilfe es möglich ist, auch komplexe Aufgabenstellungen zu bearbeiten und die entstandenen Daten mit externen Gruppen auszutauschen.

Im Berichtszeitraum wurde an folgenden Projekten gearbeitet:

### Photoinjektor (PITZ)

Den größten Anteil der Arbeiten der Gruppe Mechanik bildete das Engagement am mechanischen Aufbau und an der vakuumtechnischen Betreuung des Photoinjektors. Im einzelnen wurden folgende Beiträge geleistet:

- Konstruktion und Fertigung
  - einer modularen Bleiabschirmung für das 5MW-Klystron,
  - eines Emittanz-Mess-Systems,
  - des Laserstrahl-Führungssystems,
  - des Streakkameralicht-Führungssystems,
  - einer Tuningvorrichtung für den Gun-Prototyp 1,
- Konstruktionsarbeiten für den Gun-Prototyp 3
- Schrittweise Komplettierung des Vakuumsystems am Teststand,
- Vermessung und Justierung der installierten Gun-Prototyp 2 und von Diagnosekomponenten,
- Besuch von Schulungen zur Vakuumphysik und Vakuumtechnik,
- weiterer Ausbau des Vakuumlabor.

Neben diesen an bestimmte Komponenten der Anlage gebundene Aktivitäten fiel ein erheblicher Anteil der

Arbeitszeit der Mitarbeiter der Gruppe Mechanik auf die Betreuung der Anlage, sei es bei der Mithilfe an komplizierten Montagearbeiten oder bei Arbeiten zur Wartung des Photoinjektors.

### H1-Experiment

Forward Silicon Tracker (FST) und Backward Silicon Tracker (BST3) wurden nahezu parallel in Zeuthen aufgebaut, justiert und vermessen (Abb. 106). Zur Kühlung der Repeater-Elektronik wurde erstmals eine Wasserkühlung eingesetzt.

Zwei neue Transport- und Einbauvorrichtungen nahmen die Detektoren auf. Im April und Mai erfolgten die Installation und der erfolgreiche Test der Detektoren am HERA-Beschleuniger. Alle Spannungs- und Signalleitungen sowie Wasser- und Stickstoffzuführungen des FST wurden über den Kontaktring auf der unzugänglichen Seite im Kryostaten verbunden. Die z-Kammer (COZ) wurde unverändert im Zentral-Detektor von H1 installiert.

### HERA Luminositäts-Upgrade

Als Beitrag zum Luminositäts-Upgrade wurde nach Vorarbeiten von ZEUS gemeinsam mit der Gruppe MDI ein Kollimator für die Experimente ZEUS und H1 entwickelt, konstruiert und gebaut. Dieser dient zur Absorption von Synchrotronstrahlung im Randbereich des Strahles innerhalb der GO-Magnete und des Vertex. Er ist definiert verfahrbar. Der Kollimator ist mit einem ebenfalls neu entworfenen Zwischenstück verbunden, das den Versatz der Magnete bei der Umstellung der Maschine von Positron- auf Elektron-Betrieb ermöglicht. Die Fertigung der Komponenten erfolgte in den mechanischen Werkstätten in Hamburg und Zeuthen (Abb. 107).

### Strahlrohrkomponenten

Für die TESLA Test-Facility (TTF) ist ein Bypass von etwa 100m Länge vorgesehen. Für diesen hat DESY Zeuthen die Konstruktion, einen Teil der Fertigung der Vakuumstrecke und die Fertigung der gesamten

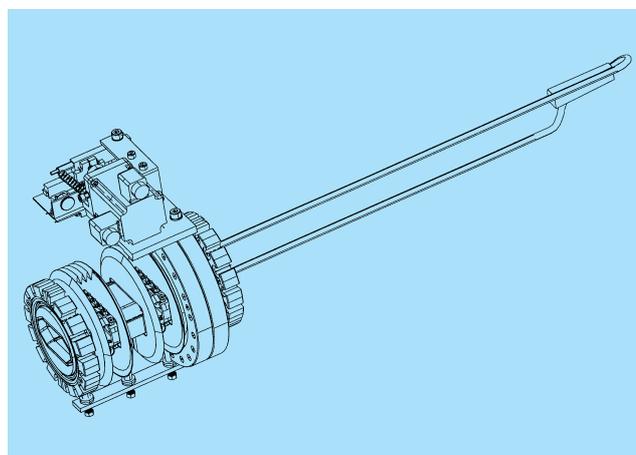


Abbildung 107: Der im Rahmen des Luminositäts-Upgrade-Programms in DESY Zeuthen konstruierte und gebaute Klappkollimator.

Stützmechanik für Magnete und Vakuumkomponenten übernommen. Für die vorgegebene Magnetanordnung (Strahloptik) wurde in Abstimmung mit den Gruppen MPY und MVP die Vakuumstrecke entworfen. Die Konstruktion der einzelnen Strahlrohrabschnitte sowie der Pumpkammern und Ausgleichsbälge wird bis Jahresende abgeschlossen sein. Die Konstruktion von zwei großen Dipolkammern hat begonnen. Es sind Entwürfe für die Stützmechanik (Gestelle für Dipole, Quadrupole, Steerer mit Stellelementen) sowie für die Halterung an der Tunnelwand erarbeitet worden. Diese werden jetzt konstruktiv bearbeitet.

### Mechanische Werkstatt

Die oben genannten Arbeiten wurden im Wesentlichen in der Mechanischen Werkstatt (ZMW) realisiert. Etwa 23% der Kapazität wurden für den PITZ erbracht, für H1 etwa 15% und für TTF-relevante Aufträge etwa 8%. Um zukünftig in DESY Zeuthen UHV-Bauteile und -Komponenten fertigen zu können, was die Arbeitsbereiche Schweißen, Reinigen, Reinraummontage, Lecksuche und Massenspektroskopie umfasst, wurden Umbauarbeiten für die Erweiterung der ZMW begonnen.

## Mechanische Lehrwerkstatt

In der Mechanischen Lehrwerkstatt (ZMLW) werden in den vier Lehrjahren jeweils drei Auszubildende betreut. Die Prüfungen wurden mit guten und sehr guten Noten bestanden. Zwei Azubis nahmen an der Auszubildenden-Börse im Königswusterhausen und Lübben teil. Acht Schüler erhielten die Möglichkeit, ein Schülerpraktikum zu absolvieren.

## Gruppe Elektronik

In der Gruppe Elektronik sind die Bereiche Elektronikentwicklung, Zentrale Elektronikwerkstatt und die Zentrale Elektronik Lehrwerkstatt zusammengefasst. Im Berichtszeitraum hat die Gruppe Elektronik, entsprechend ihrer Aufgabenstellung, die Forschungsgruppen in DESY Zeuthen bei Entwurf, Aufbau und Betrieb der elektronischen Instrumentierung unterstützt. Die Mitarbeit am Aufbau des Photoinjektor Teststandes (PITZ) stand dabei im Mittelpunkt der Aktivitäten.

Außerdem wurden die methodischen Arbeiten zu Technologien einer schnellen Datenübertragung und Datenauslese für das AMANDA-Experiment weitergeführt.

Die folgenden größeren Projekte wurden bearbeitet:

### Photoinjektor

Für den PITZ wurden folgende Leistungen erbracht:

- Realisierung der Verkabelung von Modulator und Klystron,
- Änderung der HV-Power Supply für den in Zeuthen eingesetzten Modulator Typ,
- Planung und Aufbau des Waveguide-Systems,
- Installation von Waveguide, Circulator, Loads und Fenstern in gasdichter Ausführung,
- Installation und Inbetriebnahme der Sparkdetektoren,
- Installation, Inbetriebnahme und Justierung der RF-Leckdetektoren,

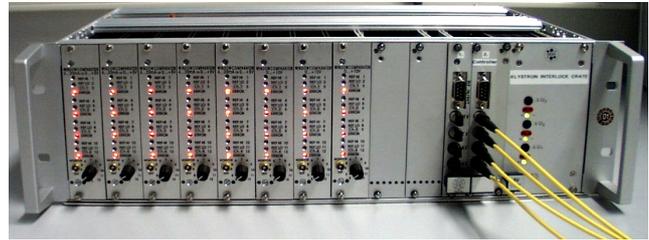


Abbildung 108: Von der Gruppe Elektronik entwickeltes Klystron-Interlock für den Photoinjektor.

- Entwurf, Aufbau und Inbetriebnahme des Klystron- und RF-Interlocksystems,
- Einfahren des Prototyps des neuen Modulators im Zusammenspiel mit dem Leistungs-Impuls-Trafo,
- Aufbau und Test des Personen-, Laser- und Gun-Interlocks für PITZ (Abb. 108),
- Programmierung und Inbetriebnahme einer SPS S7-300 für die Lasersteuerung,
- Aufbau und Programmierung des Beam-Inhibit-Systemes mit einer SPS S7-300,
- Aufbau und Test der Motorsteuerung und weiterer Zusatzmodule für den Micromover des PITZ-Solenoids,
- Design und Aufbau des Masteroszillators für PITZ.

Es ist zum Ende des Berichtszeitraumes gelungen, die Anlage teilweise in Betrieb zu nehmen und mit dem Konditionierungsprogramm zu beginnen.

Es erfolgten

- die TÜV-Teilabnahme,
- die HV-Konditionierung des 5MW Klystrons,
- die RF-Konditionierung des 5MW Klystrons,
- der Testbetrieb des RF-Gesamtsystems.

### TESLA Test Facility (TTF)

Acht Elektronik-Module, jeweils bestehend aus Down-converter und Dioden-Demodulator für die Wave Guide (WG)-Monitore wurden in TTF eingebaut und eingemessen. Bei den anschließenden Untersuchungen

zum Problem der ladungsabhängigen Strahllagemessung mittels realer Messungen mit den WG-Monitoren an der TTF ergab sich, dass die ermittelte Strahlablage nicht unabhängig von der Strahlladung ist. Berechnungen entsprechend dem WG-Monitormodell führten zu einer Strahlladungsabhängigkeit der Strahlage, wenn die linearen (bzw. linearisierten) Übertragungsfunktionen einen oder mehrere OFFSET aufweisen. Unterschiedliche SLOPE dagegen bewirken eine Verfälschung des absoluten Ablagewertes. Für den Modellfall kann durch eine Korrektur-Transformation der Messwerte die Ladungsunabhängigkeit erreicht werden. Aus den daraus folgenden Untersuchungen zum möglichen Einsatz eines I/Q-Demodulators ergab sich, dass eine Verbesserung des Dynamik- und S/N-Verhaltens der Monitorelektronik durch den Einsatz eines I/Q-Demodulators möglich ist. Die Entwicklung eines solchen Demodulators ist vorgesehen.

Des Weiteren erfolgte eine Überarbeitung der 12 GHz Cavity-Monitor-Elektronik durch Modifizierung der Verstärker sowie eine Anpassung der 12 GHz-Filter bzgl. der Mittenfrequenz. Es wurde etwa gleiches Übertragungsverhalten in den einzelnen Kanälen erreicht.

## AMANDA

Für das Experiment AMANDA wurde ein programmierbarer TDC entworfen und gebaut. Zur typischen Anwendung des TDC gehört unter anderem die Rauschanalyse von Photovervielfachern. Für das Interface zwischen Digitalem Optischem Modul und PC (DOMCOM) wurde ein Redesign durchgeführt und umfangreiche Testsoftware entwickelt. Ein Mitarbeiter der Gruppe Elektronik übernahm den Aufbau und die Inbetriebnahme von 50 DOMCOMs am Südpol.

Für das Zukunftsprojekt IceCube wurden Design-Varianten für einen DOM-Hub mit PCI-Interface sowie für ein Redesign des Digitalen Optischen Modules ausgearbeitet.

## H1-Experiment

Die Arbeiten konzentrierten sich hier auf Upgrade-Vorhaben für den Forward/Backward Silicon Tracker

(FST/BST). Dafür wurden zahlreiche Systemlösungen entwickelt und eingesetzt.

Am Entwurf von TriggerCard und MasterCard wurde mitgearbeitet. Es erfolgte eine Kalibrierung der PAD-Detektoren im Strahl. An der Konzeption einer Rohdaten-Auslese für die zweite Trigger-Stufe sowie der Slow Control Funktionen, besonders für den PAD-Detektor, wurde mitgearbeitet. Nach Fertigstellung wurden die Module Pad Repeater, Flex-Adapter, PDS3 und NIM-Fanout getestet und in Betrieb genommen. Nach Montage von FST und BST (unter anderem Kleben und Bonden der Hybride) in DESY Zeuthen erfolgte der Einbau von FST und BST in den H1-Detektor in Hamburg.

## Elektronik Werkstatt

Von der Elektronik Werkstatt (ZEW) wurde neben der Fertigung von Leiterplatten und Baugruppen für die laufenden Experimente eine Vielzahl zusätzlicher Aufgaben übernommen, hauptsächlich für den Photoinjektor. Durch die Anschaffung eines programmierbaren, automatischen Schablonendruckers wurde das Bedrucken von Leiterplatten mit Lötpaste im Fine Pitch Bereich möglich, was zu einer Kostenreduzierung führt. Zwei Mitglieder der ZEW wurden zur Unterstützung der AMANDA-Aktivitäten für zusätzliche Bestückungs- und Lötarbeiten an der Universität Stockholm eingesetzt.

Ein großer Anteil von den in der Werkstatt angefallenen Arbeiten wurde von den fünf Auszubildenden, die sich in der Fachausbildung befinden, geleistet.

Die von der Werkstatt ausgeführten Arbeiten verteilten sich wie folgt auf die einzelnen Experimente: PITZ 32%, H1 27%, AMANDA 10%, HERA-B 5%, übrige 26%.

## Technische Infrastruktur

Von der Gruppe Technische Infrastruktur wurden die umfangreichen Bauarbeiten für den Photoinjektor fortgesetzt. Dabei verlagerte sich das Hauptaufgabenge-



Abbildung 109: Die Kühlanlage des Photoinjektors. Die Anlage erlaubt es, die Temperatur der RF-Gun auf  $0.10^{\circ}\text{C}$  zu stabilisieren.

biet von den reinen Baumaßnahmen zum Aufbau der Infrastruktur für den Teststand. Dazu gehören Kühl- und Wassersysteme, Lüftung, Klimatisierung sowie Elektro-, Heizungs- und Sanitäranlagen (Abb. 109).

Nachdem die baulichen Anlagen für den Photoinjektor fertig gestellt waren, wurden die Außenanlagen um diesen Komplex herum instand gesetzt.

Im Rechenzentrum musste eine neue Klimaanlage eingebaut werden, um die Kühlleistung den neuen Anforderungen anzupassen. Ebenfalls erneuert wurde die unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlage (USV),

zeitgleich mit der Erneuerung der gesamten Strom-einspeisung im Rechenzentrum.

Um in DESY Zeuthen zukünftig auch Vakuumbauteile bearbeiten zu können, wurde mit dem Umbau von Teilen der alten Werkstatt und der Schlosserei begonnen. Im Zuge dieser Umbauarbeiten wurden auch Dach und Fassade des gesamten Gebäudes saniert.

Der zweite Aufgabenschwerpunkt der Gruppe ist die Aufrechterhaltung des laufenden Betriebes, dazu gehören unter anderem Energieversorgung, Heizung, Zu- und Abwasser, Klimatisierung und Telefon.