

## Bereich FH

**Zeuthener Projektgruppen nehmen aktiv am Betrieb und der physikalischen Auswertung der HERA Experimente H1, HERMES und HERA-B teil. Die Berichte über ihre Aktivitäten sind jeweils Bestandteile der Experimentberichte im Abschnitt „Bereich Forschung Hochenergiephysik“ dieses Jahresberichtes. Entsprechend werden auch die vielfältigen Aktivitäten der Zeuthener LC Gruppe im gemeinsamen Bericht dargestellt.**

### Neutrino-Astrophysik

Während Astronomen in den letzten Jahrzehnten durch die Nutzung immer neuer Wellenlängenbereiche der elektromagnetischen Strahlung das Verständnis des Universums revolutioniert haben, ist das Beobachtungsfenster der Neutrinoastrophysik gerade erst dabei, geöffnet zu werden. Die Sonne und die Supernova 1987A sind die einzigen Objekte, die bisher mit Neutrindetektoren beobachtet wurden. Die entsprechenden Neutrino-Energien liegen im Bereich von keV und MeV. Die Neutrinoastrophysik bei hohen Energien – 100 GeV und darüber – widmet sich gänzlich anderen Phänomenen. Sie interessiert sich vorzugsweise für die Beschleunigung von geladenen Teilchen an Stoßwellen und in starken variablen Magnetfeldern und die dabei abgestrahlten Neutrinos. Die extremen Entfernungen, in denen sich die entsprechenden Objekte wie etwa Doppelsternsysteme oder Aktive Galaxien befinden, werden nicht durch den mit der Energie wachsenden Wirkungsquerschnitt der Neutrinos kompensiert. Darum müssen die entsprechenden Detektoren sehr groß sein, so dass sie nicht mehr unterirdisch, sondern nur in offenen Gewässern oder in Gletschereis gebaut werden können.

Die Neutrinoastrophysik-Gruppe in Zeuthen arbeitet in Projekten an zwei Standorten. Das Schwergewicht der

Aktivitäten liegt bei AMANDA, dem Neutrino-Teleskop am Südpol, und bei seinem Folgeprojekt, dem IceCube-Teleskop. Der zweite Detektor ist NT-200 im sibirischen Baikalsee. AMANDA und NT-200 sind die zurzeit mit Abstand größten Neutrino-Teleskope. Durch ihre geographisch komplementäre Lage und die unterschiedliche Methodik ergänzen sie sich.

Im März 2004 fand eine Begutachtung des Programms Astroteilchenphysik in der Helmholtz-Gemeinschaft statt. Die DESY-Aktivitäten in Baikal, AMANDA und IceCube und das physikalische Potential des Gebietes wurden dabei sehr hoch eingestuft. Die beiden wichtigsten Empfehlungen der Gutachterkommission waren a) die Personalausstattung der Gruppe zu erhöhen, damit sie ihre herausragende Rolle bei der Physikanalyse auch in IceCube halten kann, und b) engere Verbindungen zu Universitäten herzustellen. Diese Empfehlungen konnten bis zum Ende des Berichtszeitraumes teilweise umgesetzt werden.

Das hauptsächliche Nachweisprinzip von Teleskopen für hochenergetische Neutrinos besteht in der Registrierung und klaren Identifizierung von aufwärts laufenden Myonen oder von isolierten Teilchenschauern („Kaskaden“). Unterwasser- bzw. Untereisteleskope bestehen aus einer gitterförmigen Anordnung von Photomultipliern (PMTs), mit deren Hilfe das Cherenkov-Licht der Teilchen registriert wird. Gemessen werden die Ankunftszeiten (mit einer Genauigkeit von 1–5 ns) und die Stärke der Lichtsignale, woraus Richtung und Energie der Neutrinos rekonstruiert werden können.

### AMANDA

Die PMTs von AMANDA sind tief in dem 3 km dicken antarktischen Eisschild installiert. Der AMANDA-II Detektor besteht aus 19 Trossen und nimmt seit dem Jahr 2000 Daten. AMANDA-II hat eine effektive Flä-

che von  $25000\text{ m}^2$  für 1 TeV Myonen und ist damit etwa 25mal sensitiver als die größten unterirdischen Neutrino-Detektoren.

Im Jahr 2004 wurde in Zeuthen die Prozessierung aller Daten, die in den Jahren 2000–2003 genommen wurden, abgeschlossen. Das gereinigte und gefilterte Datenmaterial für aufwärts laufende Myonen umfasst 3329 Ereignisse (siehe Abb. 95). Es erlaubt neben der in Zeuthen durchgeführten Suche nach Punktquellen eine Vielzahl von anderen Analysen. Dazu zählen das Studium von in der Atmosphäre erzeugten Neutrinos, die Suche nach einem diffus einfallenden Fluss hochenergetischer Neutrinos und die Suche nach Neutrinos aus der Annihilation dunkler Materie.

**Suche nach Punktquellen:** Die mittlere Grenze für den Fluss von Myon-Neutrinos aus extraterrestrischen Punktquellen (Daten der Jahre 2000–2003, gemittelt über die nördliche Hemisphäre) beträgt  $dF/dE \cdot E^2 \sim 0.6 \cdot 10^{-7} \text{ GeV cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Diese aktuelle Messung verbessert das für die Daten des Jahres 2000 veröffentlichte Limit um einen Faktor 3.5. Damit können realistische Vorhersagen für Neutrinoflüsse von Mikroquasaren getestet werden. Für den bekanntesten Mikroquasar, SS-433, werden 2 Ereignisse bei 4.5 erwarteten Untergrundeignissen beobachtet und resultieren in einer oberen Grenze von etwa der gleichen Größe wie die existierende Flussvorhersage (4 Ereignisse). Eine Korrelationsanalyse der Himmelskarte, die auf viele schwache, als Einzelquellen nicht nachweisbare Objekte sensitiv sein kann, gab keinen Signal-Hinweis. Außer der auf gleichmäßig emittierende Quellen optimierten Suche wurden verschiedene Suchstrategien für variable Quellen durchgeführt. Hierbei wurde insbesondere von der Information, die Gamma-Teleskope im TeV-Bereich gesammelt haben, Gebrauch gemacht (Multi-Wavelength-Ansatz). Die stärkste Andeutung einer solchen Koinzidenz ergab sich für das Objekt ES1959-650, das im Frühjahr 2002 im Gamma- und Röntgenbereich starke Ausbrüche zeigte. Zwei der AMANDA Neutrino-Ereignisse fallen mit diesen Ausbrüchen zusammen, die Auswertung der statistischen Signifikanz des Effekts ist jedoch noch nicht abgeschlossen. Bei ES1959-650 handelt es sich um einen Blazar – eine Aktive Galaxie, deren Jet annähernd auf uns zeigt.

**Suche nach diffusen Quellen:** Die Grenze für den diffusen extraterrestrischen Fluss hochenergetischer Neu-

trinos, wurde mit drei Analysen, die auf verschiedene Energiebereiche bzw. Neutrinosorten optimiert sind, auf  $dF/dE \cdot E^2 \sim 7\text{--}10 \cdot 10^{-7} \text{ GeV cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$  verbessert, bezogen auf den Fluss aller drei Neutrintypen.

**Suche nach Dunkler Materie:** Hierbei wird nach Myonen, die von Neutrinos aus der Annihilation von WIMPs (Weak Interacting Massive Particles – Kandidaten für die dunkle Materie) im Erdinnern oder in der Sonne entstanden sind, gesucht. Grenzen an den Fluss solcher Myonen schränken die Anzahl von supersymmetrischen (SUSY) Modellen ein, die die dunkle Materie durch Neutralinos, die leichtesten SUSY-Teilchen, erklären. Das AMANDA Limit für solche Myonen aus dem Erdzentrum wurde 2004 um einen Faktor 3, auf  $0.3 \cdot 10^3 \text{ km}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$ , verbessert. Wegen der großen Masse der Sonne und wegen ihrer Spin-Komposition engt das zehnmal schwächere AMANDA Limit für neutrino-induzierte Myonen aus der Richtung der Sonne von  $3 \cdot 10^3 \text{ km}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$  aber in stärkerem Maße SUSY Modelle ein, als jenes für Myonen aus dem Erdinneren, und es kann durchaus mit direkten Suchmethoden konkurrieren.

Ein weiterer Schwerpunkt der DESY Gruppe lag auf dem Gebiet der Softwareentwicklung. Die Arbeiten an dem Upgrade der AMANDA Rekonstruktionssoftware wurden im Wesentlichen abgeschlossen. Die neue Software-Version ist objektorientiert, umfasst mehr Optionen, ist komfortabler und schneller. Eine Online-Version ist in der Saison 2003/04 am Pol installiert worden. Die Software steht inzwischen für die Datenanalyse zur Verfügung.

## IceCube

Vorhersagen für die Neutrino-Flüsse aus astrophysikalischen Objekten wie aktiven Galaxien oder Gamma Ray Bursts legen Detektoren von der Größenordnung eines Kubikkilometers nahe. Sie würden die Sensitivität von AMANDA, je nach Physik-Kanal, um einen Faktor 30–100 verbessern.

Der IceCube-Detektor soll aus 4800 PMs an 80 Trossen bestehen, bei 125 m Trossenabstand und 16 m Abstand zwischen den PMs entlang einer Trosse. AMANDA-II soll in IceCube integriert werden. IceCube wird ergänzt durch den Luftschauer-Detektor IceTop. IceTop

besteht aus großen Tanks, die mit Eis gefüllt sind. Beim Durchgang aus Luftschauern wird Cherenkov-Licht erzeugt. Für IceTop werden weitere 360 PMs benötigt. Die PM-Signale von IceCube und IceTop wird im optischen Modul digitalisiert und dann über elektrisches Kabel an die Oberfläche übertragen. Dieses Konzept wird DOM (Digitaler Optischer Modul) genannt. Der Plan sieht vor, bis zu 4 Trossen in der Saison 2004/05 zu installieren. Diese Saison dient gleichzeitig als Technologietest für die neue Heißwasser-Bohranlage. In den Folgejahren sollen dann bis zu 18 Trossen pro Jahr installiert werden, so dass der Detektor im Jahre 2009 fertig gestellt sein kann.

Die Zeuthener Gruppe hat im IceCube-Projekt folgende Schwerpunktaufgaben übernommen:

- In Zusammenarbeit mit den Universitäten in Mainz und Wuppertal werden in Zeuthen 1300 DOMs montiert und getestet.
- Bereitstellung von magnetischen Abschirmungen für alle 5200 Module (in Zusammenarbeit mit dem ITEP Moskau).
- Entwicklung des Empfangsteiles der DOMs an der Oberfläche (DOR – Digital Optical module Read-out).
- Europäisches Zentrum für die Massenprozessierung von experimentellen wie auch von Monte Carlo Daten.
- Deutsches Analysezentrum.
- Beteiligung an der Software-Entwicklung für IceCube.
- Entwicklung von Wave-Length-Shiftern zur Erhöhung der Sensitivität der optischen Module im UV-Bereich.
- Untersuchung der Möglichkeit, höchstenergetische Neutrinos durch akustische Methoden nachzuweisen.

Nach der Fertigstellung des DOM-Produktions- und Test-Labors im ersten Halbjahr 2004 begannen Bau und Erprobung erster optischer Module. Im Rahmen der Kollaborationsvereinbarungen wurden ab Juli 60 DOMs in Zeuthen produziert. Verzögerungen bei der Anlieferung von wichtigen Komponenten aus den USA führten dazu, dass nur zwei Drittel dieser Module in zwei vierzehntägigen Zyklen im Kühlraum bei  $-45^{\circ}\text{C}$



Abbildung 96: *IceCube: optischer Modul nach der Montage in Zeuthen.*

ausführlich getestet werden konnten. 28 Module wurden danach zum Südpol geliefert und werden dort an den ersten vier Strings, die im Januar 2005 im Eis versenkt werden, montiert. Abb. 96 zeigt einen in Zeuthen gebauten DOM.

Neben DESY beteiligen sich auch Gruppen aus Madison/USA und Stockholm/Schweden an der Modulfertigung. Im Jahr 2004 ist es gelungen, eine einheitliche Technologie bei Herstellung und Test der DOMs in allen drei Labors einzuführen und gleiche Qualitätsstandards zu sichern. Die dabei gewonnenen Erfahrungen erlauben eine Verdreifachung der Produktion im nächsten Jahr.

Die Arbeiten zur DOR-Card werden weiter unten auf Seite 167 zusammengefasst. Neben der Entwicklung der DOR-Card wurde die Universität Dortmund zeitweilig bei den Arbeiten zur IceCube-Hochspannung unterstützt.

Auf den Rechnern des PC-Clusters der Gruppe wurden neben AMANDA Rekonstruktions- und Simulationaufgaben auch 50% der IceCube Simulationen der Kollaboration ausgeführt. Es wurden Ereignisse des IceCube Detektors für die geplanten Konfigurationen der Jahre 2005, 2006 und 2010 generiert, wobei der AMANDA Detektor berücksichtigt wurde. Diese Daten werden sowohl für die AMANDA-IceCube Integration als auch für die Rekonstruktion benötigt. Eine weitere Aktivität ist die Vorbereitung der Klassifizierung und des Zugriffs auf die Daten mit Hilfe von GRID-Tools. Diese Arbeiten wurden in enger Zusammenarbeit

mit der IT-Gruppe ausgeführt. Diskussionen mit unseren Partnern an der Universität von Wisconsin haben begonnen.

Der akustische Nachweis von Teilchenschauern aus Neutrino-Reaktionen soll den optischen Nachweis bei Energien oberhalb  $\sim 100$  PeV ergänzen. Im Jahr 2003 waren in Zeuthen verschiedene piezoelektrische Sensoren, Transmitter und Signalfilter entwickelt worden. Nach ersten Messungen am 180 MeV Protonbeschleuniger in Uppsala im Jahre 2003 wurde der akustische Effekt von Teilchenschauern im März 2004 weit detaillierter am selben Beschleuniger verifiziert. Dabei wurden die geladenen Teilchen in einem PeV Schauer durch eine entsprechend hohe Zahl von Beam-Protonen simuliert. Inzwischen hat die IceCube-Kollaboration eine Arbeitsgruppe für zukünftige Technologien ins Leben gerufen, die einen Vorschlag ausarbeiten soll, welcher möglicherweise in der Saison 2005/06 zu einem in-situ-Test der Methode am Südpol führt.

### Das Baikal Experiment

Das Baikal Teleskop NT-200 besteht aus 192 Photomultipliern an 8 Trossen und nimmt seit 1998 Daten. Obwohl viel kleiner als AMANDA, erreicht das NT-200 für einige Untersuchungen annähernd gute Sensitivitäten und kann daher wichtige, mit teilweise komplementären Suchstrategien erhaltene Ergebnisse liefern. Die Suchstrategie für Kaskaden z. B. zielt nicht auf Ereignisse im Detektor selbst ab, sondern auf elektromagnetische oder hadronische Schauer in einem sehr großen Volumen unterhalb 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 konnte aus den über fünf Jahre genommenen Daten (April 1998 bis Februar 2003) eine verbesserte obere Grenze für den Fluss hochenergetischer, diffus eintreffender Neutrinos aus Quellen mit einem  $E^{-2}$ -Spektrum zu  $dF/dE \cdot E^2 < 0.8 \cdot 10^{-6} \text{ GeV cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$  abgeleitet werden, vergleichbar zu den AMANDA Daten für ein Jahr. Bei der Richtungsrekonstruktion von Myon-Neutrinos kann NT-200 jedoch nicht mit der Sensitivität von AMANDA konkurrieren. Den 3329 Ereignissen von AMANDA (4 Jahre) stehen 372 Ereignisse von NT-200 (5 Jahre)

gegenüber. Andererseits ist NT-200 das sensitivste Neutrino-teleskop auf der Nordhalbkugel und kann, im Gegensatz zu AMANDA, auch das galaktische Zentrum sehen. 2004 wurden auch die Ausschlussgrenzen für relativistische Monopole und Neutrinos aus der Anihilation dunkler Materie deutlich verbessert.

Im Jahr 2005 plant die Kollaboration eine signifikante Verbesserung der Empfindlichkeit des Teleskops (um einen Faktor 4 für höchste Energien) durch eine moderate Erweiterung um 32 PMs an drei Trossen, die in einem Abstand von 70 Metern zu NT-200 angeordnet sind. Im April 2004 wurde ein Testbetrieb mit zwei der drei Trossen durchgeführt. Der Zeuthener Beitrag zu diesem NT200+ genannten Detektor besteht zum einen in einem Unterwasser-Lasermodul zur Zeiteichung der PMs an den drei neuen Trossen. Darüber hinaus wurde im März 2004 die Datenübertragung zum Ufer umgestellt auf moderne DSL-Modems und ein PC-Netzwerk, das erstmalig unter Wasser arbeitet, und erlaubt nun einen erhöhten Datenfluss von über 1 Mbit/s.

An dieser Entwicklung ist die DESY-Gruppe maßgeblich beteiligt, ebenso wie an der Möglichkeit eines Remote Control der gesamten Anlage. Im März 2004 wurde auch eines der vier Uferkabel ausgewechselt, die nach z. T. über zehnjährigen Betrieb durch Elektronkorrosion ausgefallen waren. Unweit des Baikal Experiments wird im Tunka-Tal ein Luftschauerdetektor betrieben, der aus 29 nach oben gerichteten Photomultipliern besteht. DESY hat vor einigen Jahren einen Teil der PMs samt optischer Auslese und FADCs beigetragen. Mit dem TUNKA-Detektor wurden Energiespektrum und chemische Zusammensetzung der kosmischen Strahlung im Energiebereich  $10^{14}$ – $10^{16}$  eV in einer zu SPASE-AMANDA oder zu dem Karlsruher Experiment KASKADE komplementären Art gemessen.

### Theoretische Elementarteilchenphysik

Theoretische Untersuchungen wurden auf den Gebieten der störungstheoretischen Quantenfeldtheorie des Standardmodells und der Gitter-Eichtheorie durchgeführt. Die Arbeitsgruppe hat zudem Beiträge zur Weiterentwicklung der Rechner der APE-Familie geleistet.



## Quantenchromodynamik

Perturbative Untersuchungen auf dem Gebiet der starken Wechselwirkung (QCD) befassten sich mit Fragestellungen aus dem Bereich der unpolarisierten und polarisierten tief-inelastischen Streuung. Die Zielstellung ist dabei, theoretische Vorhersagen mit höchstmöglicher Genauigkeit zu machen, um die starke Kopplungskonstante  $\alpha_s(M_Z^2)$  und die Partonverteilungen des Nukleons aus den tief-inelastischen Daten von HERA und anderer Experimente präzise zu bestimmen. Diese Fragen sind nicht nur grundsätzlich von Interesse bei der Untersuchung der Protonstruktur, sondern darüber hinaus wichtig für das Verständnis von harten Streuprozessen an zukünftigen Hadronbeschleunigern, wie dem LHC.

Ein wichtiger Teil in der theoretischen Vorhersage sind dabei die Drei-Schleifen non-singlet und singlet anomalen Dimensionen in der QCD, deren Berechnung

in diesem Jahr abgeschlossen werden konnte [DESY 04-047, 04-060]. In Abbildung 97 sind die singlet anomalen Dimensionen  $\gamma_{qq}$  und  $\gamma_{gg}$  als Funktionen des Mellin-Momentes  $N$  in einer Entwicklung in der starken Kopplungskonstante  $\alpha_s$  dargestellt, wobei die Stabilität der störungstheoretischen Entwicklung deutlich wird. Das 16. Moment der non-singlet Wilson-Koeffizienten und anomalen Dimensionen in  $\mathcal{O}(\alpha_s^3)$  wurde störungstheoretisch berechnet [DESY 04-120]. Hierdurch wurde ein wichtiger, nicht-trivialer Test für die vollständige Berechnung der betreffenden Größen bereitgestellt.

Die Komplexität der Terme, die zur störungstheoretischen Beschreibung der Evolution von Strukturfunktionen notwendig sind, nimmt mit höherer Ordnung in der Kopplungskonstanten bei Verwendung von Standard-Verfahren sehr stark zu. Vereinfachungen sind sowohl aus Gründen der mathematischen als auch der numerischen Darstellung der betreffenden Größen wünschens-

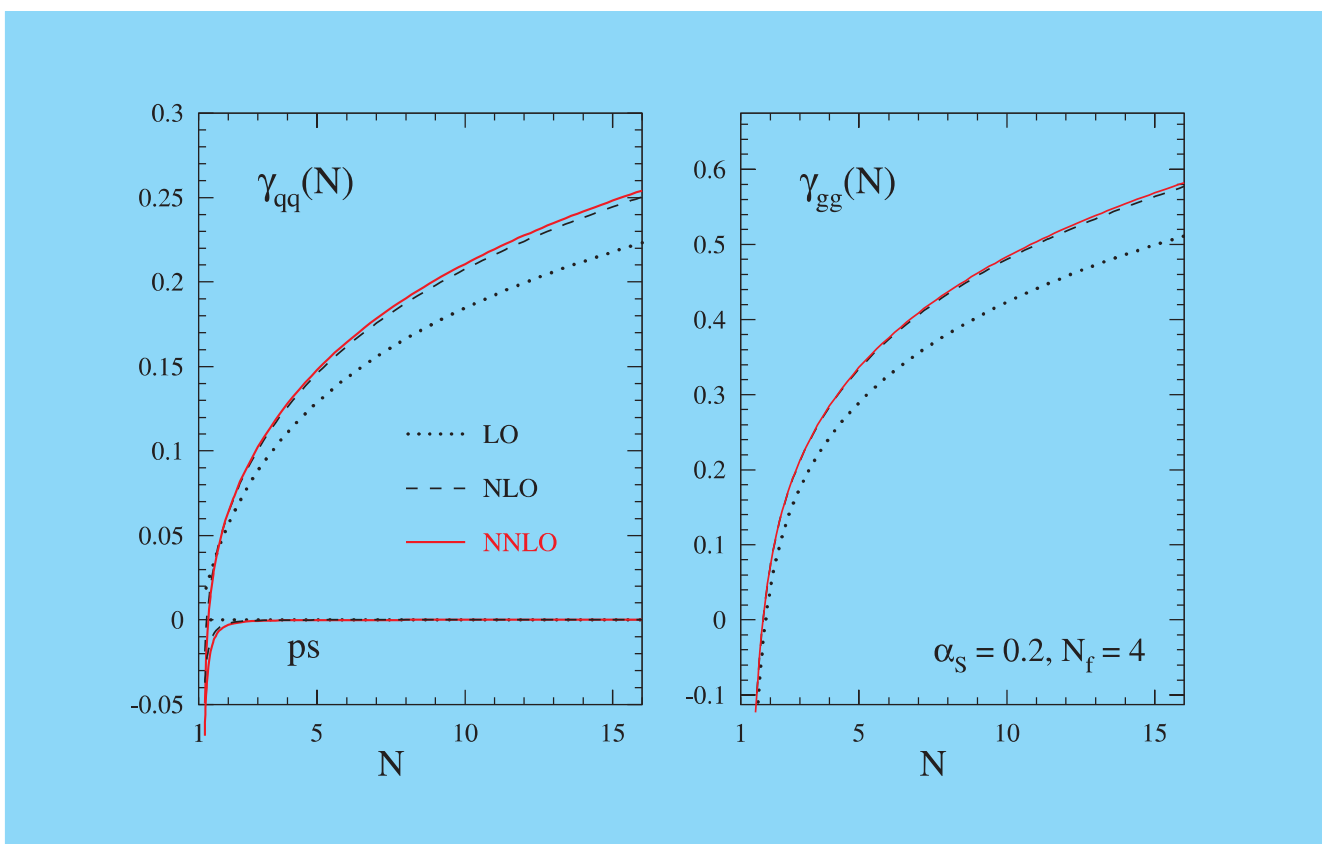


Abbildung 97: Die singlet anomalen Dimensionen  $\gamma_{qq}(\alpha_s, N)$  und  $\gamma_{gg}(\alpha_s, N)$ .

wert. Im Falle der anomalen Dimensionen und masselosen QCD Wilson-Koeffizienten werden Vereinfachungen durch Verwendung der Shuffle-Algebra der harmonischen Summen und struktureller Beziehungen zwischen den erzeugenden Funktionen von Mellin-Transformierten erreicht [DESY 04-114, 04-115].

Es wurde gezeigt, dass die Twist-2 Wilson-Koeffizienten der masselosen QCD auf dem 2-Schleifen Niveau sowohl für die unpolarisierte und polarisierte tief-inelastische Streuung, den unpolarisierten und polarisierten Drell-Yan Prozess, die Produktion skalarer und pseudo-skalarer Higgs-Bosonen in hadronischen Reaktionen im Limit schwerer Massen und der verschiedenen zeitartigen unpolarisierten und polarisierten Fragmentationsfunktionen durch nur fünf Basis-Funktionen darstellbar sind. Untersuchungen für analoge Reduktionen auf dem 3-Schleifen Niveau wurden durchgeführt.

Für die longitudinale Strukturfunktion  $F_L$  wurden die 3-Schleifen Wilsonkoeffizienten berechnet, so dass auch für diese Observable theoretische Vorhersagen mit hinreichender Genauigkeit zur Verfügung stehen [DESY 04-210]. Für die Welt-Daten der unpolarisierten tief-inelastischen Streuung wurde eine flavor non-singlet QCD-Analyse zu  $\mathcal{O}(\alpha_s^3)$  durchgeführt [DESY 04-113]. Zu Vergleichszwecken mit Berechnungen auf dem Gitter wurden einige niedrige Momente der non-singlet Operatoren mit korrelierten Fehlern berechnet.

Faktorisierungsschema-invariante flavor-singlet Evolutionsgleichungen für Observablen der tief-inelastischen Streuung wurden auf dem Niveau der 3-Schleifen Korrektur abgeleitet [DESY 04-218]. Es wurden Untersuchungen zur Beschreibung der tief-inelastischen diffraktiven Streuung unter Einschluss finiter Impulsüberträge an das Nukleon, sowie Berechnungen anomaler Dimensionen höheren Twist durchgeführt.

Die 2-Schleifen Helizitätsamplituden für Quark-Quark Streuung in der QCD und Gluino-Gluino Streuung in supersymmetrischen Yang-Mills Theorien wurden berechnet [DESY 04-061, 04-152]. Die Abhängigkeit der starken Kopplungskonstanten  $\alpha_s$  von der Energieskala wurde zu 4-Schleifen in der Störungstheorie berechnet. Dieses Ergebnis war schon seit einigen Jahren in der Literatur bekannt, allerdings nie von einer unabhängigen

Rechnung geprüft worden, was bei derart komplexen Rechnungen sehr wichtig ist [DESY 04-223].

Am ILC-Projekt könnte das Studium von Higgs-Bosonen in der Photon-Photon-Produktion von großem Interesse sein. Die Vorhersage der QCD-Zweiloopkorrektur zum Higgszerfall in zwei Photonen wurde berechnet [hep-ph/0401090].

## Theorie der elektroschwachen Wechselwirkungen

Die Untersuchungen zur elektroschwachen Theorie konzentrierten sich auf Präzisionsberechnungen von Observablen bei hochenergetischen Beschleunigerexperimenten und auf die Schaffung geeigneter Tools dafür. Das Projekt zur vollständigen Berechnung von Zweiloopkorrekturen zur Fermionpaarproduktion am ILC wurde fortgesetzt [hep-ph/0404213]. Die Berechnung fermionischer Zweiloopkorrekturen zum effektiven Mischungswinkel der elektroschwachen Theorie wurde abgeschlossen und in das Z-Boson-Analyseprogramm ZFITTER integriert. Neue Schranken für die Masse des noch hypothetischen Higgs-Bosons konnten abgeleitet werden [hep-ph/0409142, 0408207, 0407317].

Für die Beschleunigerprojekte ILC und CLIC wurden Programmpakete zur automatisierten Berechnung der Fermionpaar-Produktionswirkungsquerschnitte und der Higgsstrahlung entwickelt und Studien mit numerischen Vorhersagen angefertigt [hep-ph/0407149, 0409011, 0409034, 0410110, 0412047, 041225, 0407071]. Die universellen QED Korrekturen für polarisierte Elektron-Streuung wurden zu  $\mathcal{O}(\alpha \ln(Q^2/m_e^2))^5$  berechnet, und es wurde die Resummation der universellen polarisierten Singlet-Korrektur  $\mathcal{O}(\alpha \ln^2(z))^1$  durchgeführt [hep-ph/0409289]. Die virtuellen Zweiloopkorrekturen zur Bhabhastreuung wurden erstmals vollständig klassifiziert und einige skalare Masterintegrale vom Vertex- und Boxtyp analytisch berechnet [hep-ph/0406203, 0409017, 0412164].

Die Verwendbarkeit von neueren Softwarepaketen für die Suche nach minimalen Basen (Gröbnerbasen) skalarer Masterintegrale für Zweiloopkorrekturen in massiven Theorien wurde demonstriert am Fall der elektroschwachen Zweipunktfunktion [hep-ph/0403253].

## Gitter-Eichtheorie

Die nicht-perturbative Untersuchung der „Heavy Quark Effective Theory“ wurde fortgesetzt. Observablen in der effektiven Theorie und in der QCD wurden im Kontinuumslimit der quenched Approximation berechnet. Im Zusammenspiel mit der präzisen Berechnung der Massenabhängigkeiten in der perturbativen QCD im SFB/TR-9 konnte so die Gültigkeit der effektiven Theorie im Detail überprüft werden [hep-ph/0407227]. Eine erste Berechnung der führenden Potenzkorrekturen zeigt eine ermutigende statistische Genauigkeit [hep-lat/0409058].

Die Berechnung der Energieabhängigkeit der starken Kopplung in der QCD mit zwei aktiven Quarks wurde abgeschlossen [hep-lat/0411025]. Somit konnte auch eine erste Abschätzung des QCD Lambdaparameters in der 2-Flavourtheorie angegeben werden, die frei von störungstheoretischen Unsicherheiten und Modellannahmen ist. Der Lambdaparameter zeigt eine unerwartet geringe Abhängigkeit von der Zahl der Quarkflavours sowie innerhalb der momentanen Unsicherheiten eine Übereinstimmung mit den aus Hochenergieexperimenten, insbesondere bei HERA, extrahierten Werten. Die Formulierung der fermionischen Wirkung auf dem Gitter wurde in einem 2-dimensionalen Modell untersucht [hep-lat/0411022, 0406027].

## Internationale Zusammenarbeit und Drittmittel-Projekte

Im Berichtszeitraum arbeitete der Bereich Theorie in zwei TMR-Netzwerken der Europäischen Union mit. Dies sind: 1) Particle Physics Phenomenology at High Energy Colliders und 2) EURIDICE: European Investigations on Dafne and other International Collider Experiments using Effective Theories of Colors and Flavours from the Phi to the Upsilon.

Es besteht eine enge Zusammenarbeit der Theoriegruppe mit Instituten für Theoretische Physik am Harish Chandra Research Institute Allahabad/IN, dem KEK Tsukuba/J, dem NIKHEF Amsterdam/NL, der Humboldt Universität Berlin, den Universitäten Bielefeld, Cottbus, Hiroshima/J, Leiden/NL, Leipzig, Katowice/PL und Shanghai/CN. An der Universität Potsdam

wird eine Vorlesung zur Elementarteilchen-Theorie gehalten. Der Bereich Theorie ist am Graduiertenkolleg „Strukturuntersuchungen, Präzisionstests und Erweiterungen des Standardmodells der Elementarteilchenphysik“ (HU Berlin, FU Berlin, TU Dresden und MPI Potsdam) beteiligt.

Im Sonderforschungsbereich/Transregio SFB/TR-09 „Computergestützte Theoretische Teilchenphysik“ besteht Zusammenarbeit von Gruppen aus der RWTH Aachen, der HU Berlin und der TU Karlsruhe.

## APE Projekt/Entwicklung von Parallelrechnern

Quantitative Berechnungen im Rahmen der QCD sind sehr schwierig und meist nicht analytisch durchführbar. Um die erforderliche enorme Rechenleistung für QCD-Simulationen auf einem diskretisierten Raum-Zeit Gitter auf effiziente Weise bereitzustellen, werden von theoretischen Physikern in verschiedenen internationalen Projekten Spezialrechner entwickelt, die für diese Anwendungen optimiert sind. In Europa begannen solche Entwicklungen Mitte der 80er Jahre im Rahmen des APE Projektes (Array Processor Experiment) am Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) in Italien. Seit 1996 beteiligen sich auch Mitglieder der Theoriegruppe in Zeuthen sowie der Forschergruppe Elementarteilchenphysik des John von Neumann-Institute for Computing (NIC) intensiv an diesen Entwicklungsarbeiten. Die Rechner der letzten Generation, APEmille, laufen in Zeuthen mit einer Installation von über 1000 Prozessoren in einem stabilen Produktionsbetrieb. Die beachtliche Rechenleistung von zusammen mehr als 500 Gigaflops stellt DESY über das NIC Wissenschaftlern aus Deutschland und dem europäischen Ausland zur Verfügung.

Da die Rechenleistung der APEmille in Zukunft nicht mehr ausreichen wird, um international konkurrenzfähige Großforschungsprojekte durchführen zu können, arbeitet die APE Projektgruppe seit 2001 in Zusammenarbeit mit dem INFN und der Université Paris Sud an der Entwicklung der neuen Rechnergeneration apeNEXT. Eine wichtige Verbesserung der Architektur von apeNEXT besteht darin, dass die gesamte Funktionalität eines Rechenknotens, einschließlich Schnittstellen zum externen Speicher und zum Kommunikati-



Abbildung 98: Steckkarte eines apeNEXT Knotens mit Prozessor Chip und 256 MByte Speicher. Ein solches Modul hat 1.6 Gflops nominale Rechenleistung bei einer Leistungsaufnahme von weniger als 7 W.

onsnetzwerk, auf einem einzigen ASIC Chip integriert ist (Abb. 98). Das dreidimensionale Netzwerk verfügt über eine sehr große Bandbreite und extrem niedrige Latenzzeit (ca. 100 ns). Eine wichtige Eigenschaft der Netzwerkmodule ist, dass sie unabhängig vom restlichen Prozessor arbeiten. Nach fast dreijährigen Entwicklungsarbeiten am Prozessorchip konnte die Kollaboration im Jahr 2004 die ersten Exemplare in Betrieb nehmen und testen. Im Sommer wurden zwei größere Prototypsysteme mit je 64 Prozessoren und 100 Gflops nominale Rechenleistung aufgebaut. Diese wurden mit vollständigen Anwenderprogrammen aus der Physik im Langzeitbetrieb getestet und verifiziert. Daneben wurden einzelne Boards für Entwicklung und Test der System Software eingesetzt.

Nach Abschluss der Chip-Entwicklung wurden dieses Jahr die Aktivitäten wieder verstärkt auf die Entwicklung der System-Software konzentriert. Dazu gehören insbesondere die Compiler, Optimierer sowie Teile des Betriebssystems. Ein wichtiger Fortschritt für die Softwareumgebung der apeNEXT ist die Entwicklung eines C-Compilers. Weitere Herausforderungen stehen beim Betriebssystem an, wo erstmals komplexe Systemroutinen auf dem APE-Prozessor selbst implementiert werden. Bislang wurden solche Operationen vom Vorrechner – im Fall von APEmille sind dies Linux PCs – weitgehend alleine durchgeführt.

Im Jahr 2005 wird ein großes Prototypsystem, jeweils anteilig finanziert durch das INFN und DESY, mit 1024 Knoten und 1.6 Tflops nominale Rechenleistung aufgebaut. DESY plant den Aufbau eines 3 Tflops Systems, der hierzu notwendige Beschaffungsvorgang wurde initiiert.

## NIC

Das John von Neumann-Institut for Computing (NIC) ist eine gemeinschaftliche Gründung des Forschungszentrums Jülich und der Stiftung Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY zur Förderung der supercomputergestützten naturwissenschaftlich-technischen Forschung und Entwicklung. Das NIC stellt Forschern, die sich mit dem wissenschaftlichen Rechnen im Höchstleistungsbereich befassen, die hierzu nötige Rechenleistung zur Verfügung. Dies geschieht am Forschungszentrum Jülich durch den Einsatz von „General Purpose“ Maschinen (zur Zeit ein IBM Regatta System) und in Zeuthen durch Spezialrechner des Typs APE (Array Processor Experiment). Diese Spezialrechner sind auf die Bedürfnisse von numerischen Simulationen in der theoretischen Teilchenphysik zugeschnitten. Dabei werden beide Rechnertypen von den Physikern in einer symbiotischen Weise benutzt, indem verschiedene Aspekte eines Problems auf dem jeweils dazu am besten geeigneten Rechner gelöst werden.

Ein anderer Aspekt des John von Neumann-Instituts sind die NIC Forschergruppen, Komplexe Systeme (in Jülich) und Teilchenphysik (in Zeuthen). Das Physikprogramm der NIC-Forschergruppe Teilchenphysik konzentriert sich hauptsächlich auf Untersuchungen in der Quantenchromodynamik (QCD) als dem allgemein akzeptierten Modell der starken Wechselwirkung. Das Ziel der Forschung ist, mittels ab-initio Rechnungen Vorhersagen aus der QCD abzuleiten, ohne auf zusätzliche Approximationen, Annahmen oder Modelle zurückgreifen zu müssen. Es gibt zahlreiche Beispiele, wo nicht-perturbative Verfahren zum Einsatz kommen müssen, um solche zweifelsfreien Vorhersagen zu machen und damit zu einem stringenten Test der QCD kommen zu können (siehe Abb. 99): der Wert der starken Kopplung bei großen Abständen, die Massen der Quarks, Formfaktoren, Matrixelemente von hadronischen und elektroschwachen Operatoren, Momente



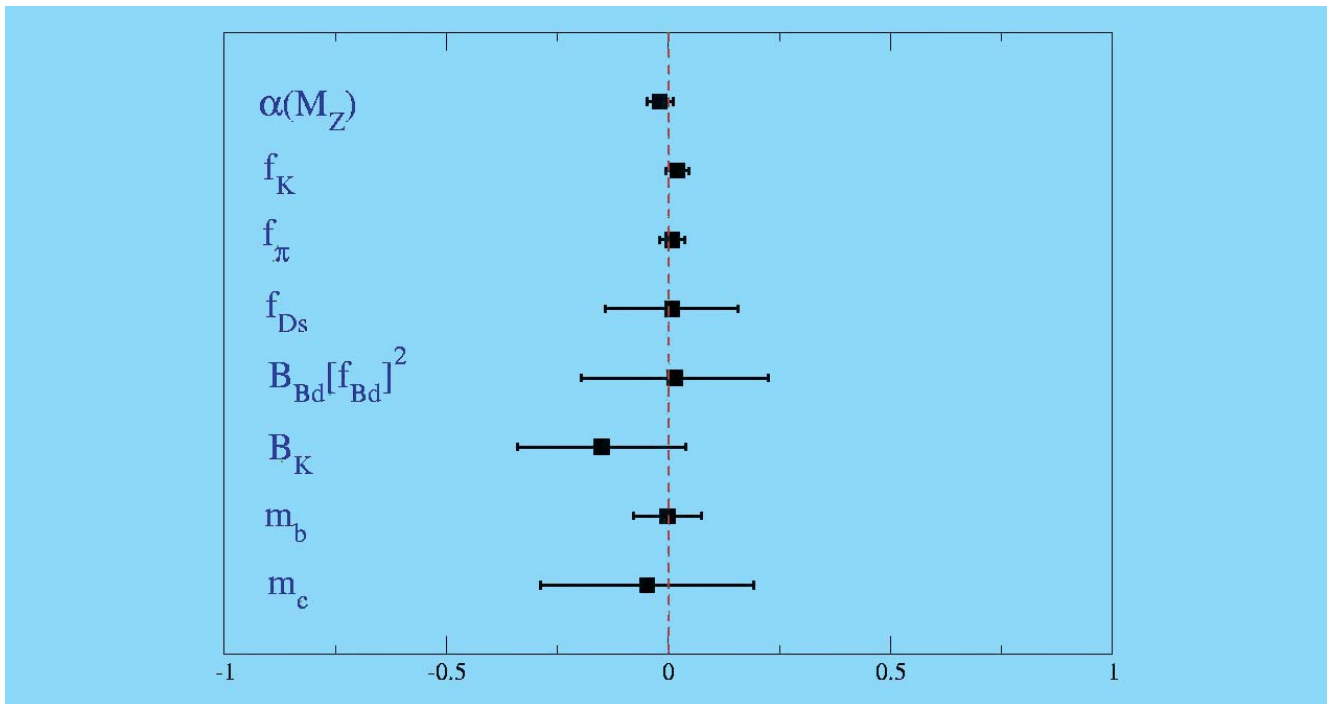


Abbildung 99: Auf der Abszisse sind die relativen Abweichungen zwischen dem experimentell gemessenen und dem aus Gittersimulationen bestimmten Wert der angegebenen physikalischen Observablen dargestellt. Die Fehlerbalken entsprechen der Kombination aus experimentellen und Simulationsfehlern. Es werden nur solche Gitter-Größen berücksichtigt, die im Particle Data Book zitiert werden.

von Partonverteilungsfunktionen, Fermion-Kondensate als Ordnungsparameter von Phasenübergängen, Eigenschaften des frühen Universums und von kompakten Neutronensternen.

Die NIC Forschergruppe ist an den sehr aufwändigen, numerischen Simulationen von dynamischen Quarks intensiv beteiligt. Mit den Methoden der Gitterfeldtheorie kann einerseits ein besseres Verständnis der QCD als einer Quantenfeldtheorie gewonnen werden. Andererseits können bei auftretenden Diskrepanzen zwischen den theoretischen Vorhersagen und den experimentellen Daten Hinweise auf eine Physik jenseits des Standardmodells der Elementarteilchenphysik gefunden werden.

Erst in letzter Zeit wurden zwei von Frezzotti und Rossi, bzw. Ginsparg, Wilson und Neuberger aufgestellte Formulierungen der Gitter-QCD gefunden, die es erlauben, Simulationen auch bei kleinen Werten der Quarkmasse vorzunehmen. Dies sind die so genannten

„Overlap-Fermionen“, die zudem zu einer exakten chiralen Symmetrie auf dem Gitter führen, und die „Twisted Mass“ Fermionen, die das Infrarot-Verhalten der Theorie regularisieren. Beide Formulierungen werden in der NIC Gruppe intensiv benutzt und bei den Twisted Mass Fermionen hat die Gruppe, in Zusammenarbeit mit Kollegen der Hamburger Theoriegruppe, Pionierarbeit geleistet. So wurde z. B. eine überraschende Phasenstruktur der Gitter-QCD gefunden, die herkömmliche Vorstellungen eines kontinuierlichen Überganges mit verschwindender Pionmasse revidierte.

Einer der Erfinder der Twisted Mass Fermionen, Prof. G. Rossi, verbrachte seine Zeit als Humboldt-Preisträger in der NIC Forschergruppe.

Die Fortschritte bei den Gitter-Formulierungen der QCD setzen die Mitglieder der NIC-Forschergruppe nun in die Lage, ernsthafte Rechnungen mit dynamischen Quarks durchzuführen. Erste Ergebnisse, wie Renormierungsfaktoren für Operatoren, wie sie

zu der Bestimmung von Momenten der Partonverteilungsfunktionen gebraucht werden, und Matrixelemente liegen vor. Diese Rechnungen brauchen allerdings noch eine Untersuchung der systematischen Fehler (Kontinuum- und chirale Extrapolation, Effekte des endlichen Volumens, nicht-perturbative Renormierung), bevor konklusive Aussagen gemacht werden können.

Weitere Aktivitäten der NIC-Gruppe waren der Vergleich von Twisted Mass Fermionen und Overlap Fermionen. Hier konnte nachgewiesen werden, dass die Twisted Mass Fermionen einen Faktor 10–40 weniger Rechenzeit benötigen als Overlap Fermionen, was sie sehr attraktiv für dynamische Simulationen machen. Untersuchungen des Spektrums von staggered Fermionen, dem Skalierungsverhalten verschiedener Wirkungen im Schwingermodell, der Deconfinement-Phasenübergang in der SU(2)-Eichtheorie und die Algorithmenentwicklung für dynamische Overlap-Fermionen stellen weitere Forschungsfelder der NIC-Gruppe dar.

Der enorme Rechenbedarf, der bei Simulationen dynamischer Quarks besteht, ist nur durch den Einsatz höchstleistungsfähiger Rechner zu erzielen. Die NIC Gruppe beteiligt sich an der Entwicklung, der Installation und dem Betrieb von speziell auf Anwendungen in der QCD zugeschnittenen APE-Rechnern (siehe auch Seite 161).

Ein wichtiger Teil der Aktivitäten in diesem Jahr war der Aufbau eines Lattice Data-Grids. Diese Grid-Infrastruktur erlaubt es, mit Hilfe von Grid-Technologie Konfigurationen zu speichern und zwischen verschiedenen Kollaborationen an unterschiedlichen Plätzen auszutauschen. Der Grid-Prototyp konnte im Rahmen eines Deutsch-Japanischen Workshops in Zeuthen erfolgreich vorgeführt werden. Er ist Teil des weltweiten International Lattice Data Grid (ILDG) und wird in Deutschland dem Lattice Forum der deutschen Gitterphysiker zur Verfügung gestellt.

### Internationale Zusammenarbeit

Die NIC Gruppe ist an mehreren internationalen Kollaborationen beteiligt. Sie ist involviert in der ALPHA-Kollaboration, die europaweit vernetzt ist. Es gibt zudem enge Zusammenarbeit mit der Theorie-Gruppe

in Rom II (Tor Vergata) in Form der Zeuthen-Rom (ZeRo) Kollaboration. Die QCDSF Kollaboration unterhält enge Verbindungen mit der britischen UKQCD Kollaboration und mit der Lattice Hadron Physics Collaboration (LHPC) am Jefferson Lab. Sie arbeitet zudem eng mit der Universität in Regensburg zusammen. Die XLF-Kollaboration ist eine Kollaboration mit der Freien Universität, der Humboldt Universität und Zeuthen. Die NIC Gruppe ist an zwei nationalen von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützten Projekten beteiligt: Das erste Projekt ist ein Sonderforschungsbereich/Transregio SFB/TR9-03 Computergestützte theoretische Teilchenphysik. Dieses Projekt ist auf 3 × 4 Jahre ausgelegt und vereinigt die Universitäten Karlsruhe, Aachen und HU Berlin sowie die NIC und Theorie Gruppen des DESY in Zeuthen.

Das zweite Projekt ist die DFG Forschergruppe Gitter-Hadronen-Phänomenologie <http://www-cgi.uni-regensburg.de/~sow10631/fogu/>. An dieser Forschergruppe beteiligen sich die Universitäten Regensburg, HU Berlin und Leipzig sowie das MPI in München und das NIC in Zeuthen. Die NIC Gruppe ist außerdem an zwei Europäischen Projekten beteiligt:

**Euridice:** European Investigations on Dafne and other International Collider Experiments using Effective Theories of Colors and Flavours from the Phi to the Upsilon (<http://www.lnf.infn.it/theory/rtn/>). In diesem europäisch angelegten Projekt werden theoretische Weiterentwicklungen von effektiven Feldtheorien, chirale Störungstheorie, QED, Entwicklungen in einer großen Anzahl von Farben sowie Gitterfeldtheorie vorangetrieben.

**I3HP:** Dies ist ein Infrastruktur Projekt für Hadronen und Kernphysik im Rahmen des 6. Rahmenprogramms der EU. Schwerpunkt ist die Untersuchung der Spinstruktur der Hadronen. Im NIC liegt die Koordination des Gitterteiles (I3HP-Lat).

### Weitere NIC Aktivitäten

**LATFOR:** Das Lattice Forum (LATFOR) der deutschen Gittergemeinschaft mit Assoziation von Österreich und Schweiz ist mittlerweile ein fester Bestandteil der deutschen Gittereichtheorie. Es wird vom NIC koordiniert und hat als Aufgabe, die Gitter-Aktivitäten zu bündeln und zu koordinieren. Das LATFOR hat bereits

mehrere Workshops organisiert, auf denen sowohl das Physikprogramm in Deutschland als auch der Bedarf an Rechenleistung diskutiert wurde.

**ILDG:** Eine weitere Aktivität, an dem das NIC beteiligt ist, ist das ILDG (International Lattice Data Grid). Dies ist eine Initiative, um international ein Gridsystem aufzubauen, das es erlaubt, Konfigurationen einfach auszutauschen und zu analysieren. Das ILDG erlaubt so eine wesentlich effizientere Verwendung dieser teuren Rohdaten aus den Simulationen. Besonders vorangetrieben wurde im Jahr 2004 die Middleware für das LDG. Dies ist in erster Linie dem am DESY mitentwickelten d-Cache System zu verdanken. Das NIC, in enger Zusammenarbeit mit Kollegen des Hamburger und Zeuthener Rechenzentrums, ist auch an der Middleware working group des ILDG beteiligt.

## Workshops und Konferenzen

Das NIC hat sich an der Organisation des sehr erfolgreichen Deutsch-Japanischen Workshops in Zeuthen beteiligt. Im Rahmen dieses Workshops richtete das NIC einen LATFOR Workshop aus, bei dem die zukünftige Strategie der deutschen Gitterphysiker intensiv diskutiert wurde.

## Elektronik

In der Gruppe Elektronik sind die Bereiche Elektronikentwicklung, Elektronikwerkstatt und die Elektronik-Lehrwerkstatt zusammengefasst. Wie schon in den vergangenen Jahren lagen die Schwerpunkte bei den Aktivitäten für PITZ, TTF2, VUV-FEL, XFEL sowie IceCube.

### Photoinjektorteststand (PITZ)

Ein stabiler Betrieb von PITZ, der Aufbau und die Inbetriebnahme des zweiten RF-Systems sowie Untersuchungen zur Erhöhung der Repetition Rate des existierenden RF-Systems, in Hinblick auf die Anforderungen an den geplanten XFEL, standen im Mittelpunkt der Arbeiten im Jahr 2004. Wichtige Arbeitsergebnisse sind:

- Gewährleistung eines sicheren Betriebes der Anlage während der gesamten Testzeiten.
- Abschluss der Inbetriebnahme des Zweiten RF-Systems (siehe Abbildung 100) mit einem 5 MW Klystron und Anschluss desselben an den TESLA-Booster von PITZ.
- Intensive Untersuchungen an der Steuerung und Elektronik der RF-Station haben gezeigt, dass es möglich ist, die RF-Anlage mit einer Repetition Rate von bis zu 150 Hz zu betreiben. Es wurde ermittelt, welche Komponenten in Zukunft modifiziert werden müssen, um einen stabilen Dauerbetrieb der RF-Anlage bei 150 Hz und bei nomineller Leistung zu gewährleisten. Auch im kommenden Jahr werden diese Untersuchungen weitergeführt.

Weitere Aktivitäten sind:

- Laufende Beteiligung an Testmessungen bei PITZ (insbesondere Tuning und Vermessung des TESLA-Boosters, HF-Konditionierung am Teststand),
- Betreuung des Kontrollsystems bei PITZ (Hardware),
- Ausbau der Diagnosesysteme,
- Aufbau und Inbetriebnahme des technischen Interlocks für den TESLA-Booster,
- Erweiterungen an den Laser-Inhibit und Beam-Inhibit Systemen,
- ein kompletter Neuaufbau der Remote-Steuerung für die Laser-Beamline.

## TTF2

### Beam Position Monitore (BPM)

Die Elektronikgruppe und die Elektronikwerkstatt haben einen wesentlichen Beitrag zur Implementierung der neuen TTF2-BPM-Elektronik geleistet:

- Abschluss des Mainboard-Designs und Fertigung von 220 Stück Mainboard für TTF2-Button-Monitore (100 Stück) sowie Stripline-Monitore für TTF2 (80 Stück) und HERA (30 Stück). Alle Mainboards sind auf Funktionsfähigkeit geprüft und vorkonfiguriert.



Abbildung 100: Aufbau der 2. RF-Station.

- Abschluss des Filter-Designs und Fertigung von 160 Stück Eingangfilter für TTF2-Stripline-Monitore und 60 Stück Eingangfilter für HERA-Monitore. Abgleich aller Filter.
- Entwicklung eines Taktverteilers (1 Input, 12 Output) und Integration in das Slot-0 Board. Fertigung von 20 Stück Slot-0 Boards und Prüfung deren Funktionsfähigkeit.
- IP-Module (IP-UNI-XILINX) für das TTF2 Timing-system (ca. 100 Module) basierend auf der Hardware des IP-UNI-XILINX – Implementierung der Logik für:
  - 8-Channel Delay Timer,
  - Event Clock Generator,
  - Repetition Rate Generator.

Die Inbetriebnahme aller Monitorelektroniken erfolgt im eingebauten Zustand mittels eines PCs. Dabei wird der gepufferte I2C-Bus vom PC auf die einzelnen Slot-0 Karten jedes BPM-Crates verteilt. Hierzu wurde ein I2C-Multiplexer (1 Input, 16 Output) entwickelt und aufgebaut und die erforderliche Testsoftware erstellt. Die Schnittstelle I2C/VME wird durch IP-Module realisiert. Dazu sowie für weitere Anwendungen bei TTF2 wurden folgende IP-Module entwickelt und produziert:

- I2C-Fernsteuerung für die BPM-Elektronik (15 Module).

### Weiterentwicklungen der HF Systeme

Gemeinsam mit der Gruppe PITZ und MHF-p haben Mitarbeiter der Gruppe Elektronik Vorversuche unternommen, um die Wiederholfrequenz des HF-Systems zu erhöhen. Darüber hinaus wurde im Rahmen eines F&E Vertrages mit der BTU Cottbus begonnen, das Problem einer flexiblen (lösbaren) HV-Verbindung (150 KV/150 A-DC Impuls) zwischen Impulstrafo und Klystron-Tank als Variante für den Tunneleinbau für den XFEL zu untersuchen. Alle erforderlichen Komponenten wurden beschafft und es wurde ein Testsze-



nario abgestimmt, um Anfang 2005 eine solche Verbindung im Hochspannungsprüffeld des Lehrstuhls für Hochspannungstechnik intensiv zu testen.

## Interlock für TTF2 und XFEL

Gemeinsam mit der Gruppe MHF-p konnte nach intensiven Diskussionen die Erarbeitung des Dokumentes „The TTF2/XFEL Klystron Interlock: Requirements and Implementation“ abgeschlossen werden. Abbildung 101 zeigt den Aufbau des Interlocks und des Controllers. Ein Prototyp des neuen TTF2/XFEL Interlock Crates wurde aufgebaut und mit dem Test der erforderlichen Firmware begonnen. Parallel dazu wurde mit der Entwicklung der Software für die Anbindung an das DOOCS Controlsystem (TINE-Server) begonnen.

Ebenso wurden alle für eine Integration des neuen Interlocks in das vorhandene RF-System nöti-

gen Unterlagen (Schaltpläne und Verdrahtungslisten) erstellt und die erforderlichen Adapter (Patch-Panel) entwickelt.

## AMANDA/IceCube

### Digitales Optisches Receiverboard DOR (DOM Readout) Rev. 0

In Zusammenarbeit mit LBNL Berkeley wurde das Kommunikations-Protokoll überarbeitet. Es ist nun wesentlich robuster, da es ein durch Software gesteuertes Retransmit unterstützt. Durch Einbindung einer 32 Bit Checksumme wurde der Kommunikationsteil verbessert. Außerdem wurde eine automatische Signalpegel-Adaption implementiert.

32 DOR Rev. 0 Karten wurden in der Elektronikwerkstatt produziert und werden dieses Jahr am Südpol bei IceCube zum Einsatz kommen. Etwa 100 weitere Module sind in den USA unter Regie des LBNL hergestellt worden und werden an verschiedenen Testplätzen (Wisconsin, Uppsala, Zeuthen) zum Testen der bereits produzierten DOMs verwendet.

### DOR Rev. 1

Da DOR Rev. 0 nur 4 DOMs auslesen kann, wurde das DOR-Design überarbeitet mit dem Ziel, ein Interface für 8 DOMs zu implementieren. Somit genügt ein DOM Hub (19"/4U Industrie PC + 8 DOR Rev. 1) zur Auslese eines kompletten IceCube Strings (60 DOMs).

Ein neu entwickelter Power-Switch erlaubt das störungsfreie Schalten der 96 V-DOM-Betriebsspannung für ein Leitungspaar, während auf dem benachbarten Leitungspaar kommuniziert wird.

15 DOR Rev. 1 Module wurden bisher extern produziert. In einem Testsetup sind 45 DOMs mit Hilfe von 8 DOR Rev. 1 Boards erfolgreich getestet worden.

## Weitere Aktivitäten

Zu den weiteren Aktivitäten der Elektronikgruppe im vergangenen Jahr gehörten:

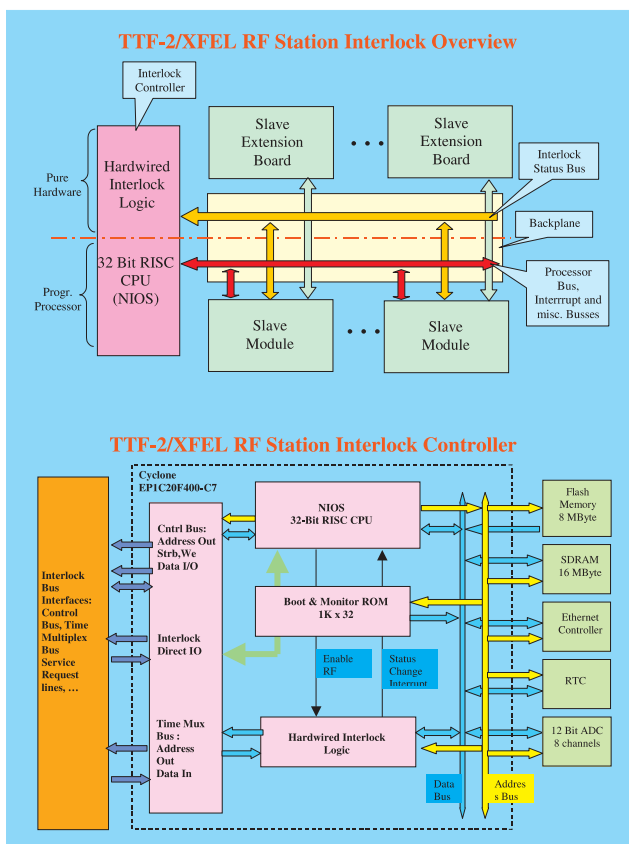


Abbildung 101: Blockschaltbild des TTF2/XFEL Interlocks.

- Aufbau und Test von akustischen Sensoren, des dazugehörigen DAQ Interfaces und der Test von Modulen zur Ansteuerung von keramischen Transmittern mit Hochspannung,
- Aufbau und Test kompakter Myondetektoren mit RS232-Interface (für PR-Aufgaben des Institutes),
- Entwicklung eines Neutronendetektors für PITZ/VUV-FEL mit RS232-Interface sowie Upgrade desselben mit Ethernetinterface,
- Für die APE-1000 Anlage wurde ein Remote Control Modul entworfen (Hard- und Firmware), getestet und in die APE-Racks eingebaut.
- Mitarbeit bei der Erarbeitung von Konzepten für die Reparatur bzw. für den strahlungsharten Neuaufbau von H1 FST und BST,
- Entwicklungsarbeiten für die Ansteuerung von MicroMovern für eine Justierplattform für die Undulatoren des geplanten XFEL.

### Elektronikwerkstatt

PITZ, die Elektronik für verschiedene HF- und Interlocksysteme sowie die Fertigung der BPM-Elektronik haben 2004 den Hauptteil der Arbeiten ausgemacht. Besonders hervorzuheben ist der kurze Arbeitsweg zwischen den Entwicklern und der Werkstatt. So können schnell Muster und Prototypen hergestellt und ausgiebig getestet werden bevor eine Großserie in die externe Fertigung gegeben wird. Ein großer Anteil von den in der Werkstatt angefallenen Arbeiten wurde von den Auszubildenden, die sich in der Fachausbildung befinden, geleistet.

### Datenverarbeitung

Die Aufgaben der zentralen Datenverarbeitung bestehen in der zielgerichteten Bereitstellung von Diensten, Rechen- und Datenspeicherkapazität zur optimalen Unterstützung der wissenschaftlichen Forschungsgruppen, den Gruppen der technischen Infrastruktur und der Verwaltung. Um diese Dienste und Ressourcen bedarfsgerecht anbieten zu können, gibt es eine kontinuierliche und enge Zusammenarbeit mit diesen Gruppen.

Es wurden die folgenden Dienste bereitgestellt:

- Arbeitsplatz-Rechner und zentrale Rechner- und Massenspeichersysteme,
- System- und Anwendungssoftware und Software-Entwicklungswerkzeuge,
- Datennetze, Sprach- und Videodienste,
- Informationssysteme und -dienste,
- Sicherheitsdienste,
- Betreuung der Telefonanlage.

### IT-Infrastruktur

In Zeuthen gibt es ca. 650 registrierte Benutzer, für die alle IT-Dienste von der DV-Gruppe zentral zur Verfügung gestellt werden.

Im Jahre 2004 wurden die Rechen- und Massenspeicherkapazität entsprechend den gestiegenen Anforderungen insbesondere aus den Gruppen AMANDA/IceCube, Theorie/NIC, Photo-Injektor-Teststand und Linear Collider weiter ausgebaut. Die globale Batch-Computer-Farm (Abb. 102) wurde um weitere 50 Dual-CPU XEON-Server ergänzt. Zusätzlich wurden 15 64-Bit Systeme basierend auf einer Dual-Opteron Architektur installiert und in Betrieb genommen. Der Zugang zu der Farm erfolgt über das Batchsystem Sun Gridengine Enterprise Edition (SGEEE, Open Source). Die Bereitstellung der Massenspeicherressourcen erfolgt über 15 Disk-Fileserver auf RAID-Basis und einen Taperoboter mit DLT- und LTO-Laufwerken. Die Benutzer- und Datenfilessysteme werden per AFS, NFS und Samba von den File-Servern verteilt. Aufgrund der zahlreichen Vorteile des AFS im Bereich der Datenspeicherung wurde der Filespace im Berichtszeitraum auf 22 TByte erweitert. Das Backup von Fileverzeichnissen erfolgt automatisiert unter Verwendung von Legato Networker und des Tape-Roboters. Als strategische Betriebssysteme werden Solaris, Linux sowie Windows XP zentral unterstützt.

Weiterhin werden von der DV-Gruppe ca. 300 auf Linux/Windows basierende Desktop PCs und SUN Workstations betrieben, die auf die Arbeitsplätze und Experimentinstallationen verteilt sind. Die Ausstattung der Arbeitsplätze wurde auch 2004 weiter verbessert.



Abbildung 102: *Batch-Computer-Farm.*

Das Zentrum für paralleles Rechnen am DESY ist als Teil des John von Neumann Institut for Computing (NIC) verantwortlich für die Planung, die Installation und den Einsatz massiv paralleler Rechnersysteme für die Bearbeitung besonders rechenintensiver Probleme in der theoretischen Elementarteilchenphysik. Mit der gegenwärtigen Installation von Parallelrechnern des Typs APEmille werden erfolgreich Großprojekte auf dem Gebiet der Gittereichtheorien bearbeitet. Zusätzlich stehen für die Bearbeitung dieser Probleme zwei PC-Cluster zur Verfügung. Das bereits existierende Cluster, bestehend aus 16 dualen 1.7 GHz XEON-P4 Knotenrechnern und einem auf Myrinet2000 basierten Netzwerk, wurde 2004 um ein 64-Bit Dual-Opteron (2.4 GHz) Cluster ergänzt, welches aus 8 Knoten und einem Infiniband-Netzwerk besteht.

**Linux:** Der Übergang zur neuen Linux-Version DESY-Linux5 (DL5), basierend auf der SuSE Linux 8.2

Distribution, wurde 2004 für alle Desktop-PCs und Server abgeschlossen. Zukünftig wird die zur RedHat Enterprise3 kompatible Distribution „Scientific Linux“ DESY-weit als strategische Linux-Plattform verwendet werden. Ende 2004 wurden erste Systeme installiert und erfolgreich getestet. Damit wurde die Voraussetzung für eine Anfang 2005 beginnende Migration zu Scientific Linux geschaffen. Im Rahmen der verstärkten Einführung von 64-Bit Compute-Servern wurde ebenfalls die Systemumgebung einschließlich der Linux-Betriebssystembasis und des automatischen Systemmanagements in Richtung 64-Bit-Kompatibilität erweitert.

**WindowsXP:** Die Zeuthener Mitarbeiter aus dem Bereich Windows-Betriebssysteme haben aktiv am Projekt zum Aufbau der grundlegenden Domain-Infrastruktur (AD-Struktur, Serverstruktur, Dienste) mitgearbeitet. Diese Arbeiten wurden erfolgreich abgeschlossen. Darüber hinaus wurde die Migration der Nutzer in die neue Windows Domäne erfolgreich weitergeführt. Weitere Schwerpunkte waren die Erweiterung der Windows Terminal Services, der Installationservice (RIS und CD), die plattformübergreifende Systemintegration und der Anti-Virus-Support.

**Solaris:** Zahlreiche Server wurden durch moderne Systeme ersetzt. Der Übergang aller Server auf Solaris 8 wurde abgeschlossen. Der Photoinjektor-Teststand Zeuthen (PITZ) betreibt das Solaris System als Desktops und spezielle VME Rechner, die von DV betreut werden. Im Jahr 2004 fand auch auf diesen Systemen ein Übergang zu Solaris 8 statt. Intel Solaris Systeme wurden durch Sparc Systeme ersetzt, womit eine Plattformbereinigung durchgeführt wurde.

**E-Mail-Dienste:** Die E-Mail-Dienste wurden weiter verbessert. Insbesondere konnte durch die Optimierung der Konfiguration des SPAM-Filters und die Einführung neuer Verfahren zur SPAM-Markierung eine signifikante Reduzierung der dem einzelnen Nutzer unmittelbar zugestellten SPAM-e-Mails erreicht werden.

**Systeme:** Im Rahmen der Nutzerbetreuung innerhalb des UCO (User Consulting Office) wurde der Request Tracker an das System in Hamburg angepasst. Der Übergang zur DESY-weiten Registry wurde vorbereitet. Dazu wurde die Zeuthener Gruppenstruktur in der Registry angepasst und die über einen Plattformadapter realisierte Anbindung der lokalen Account-, Gruppen-



und Ressourcenverwaltung an die neue Registry fertig gestellt und im Dezember in Betrieb genommen.

Weiterhin wurde durch die DV-Gruppe der SAP-Betrieb in Zeuthen, die inhaltliche SAP-Wartung, die Entwicklung der DESY-Anpassungen/Hilfen und der DESY-weite Support für den Internet Transaction Server (ITS) sichergestellt.

**Anwendungen:** Für die störungstheoretische Berechnung des 16. Moments der NS-Strukturfunktionen mit dem Formelmanipulationsprogramm Form wurde für die Theoriegruppe in einer speziellen Konfiguration zwei Computerserver direkt an einen 4 TByte RAID-Server angeschlossen und die Langzeitrechnungen mehrere Monate betreut. Entsprechend den Anforderungen aus den Gruppen wurden für mehrere Applikationen und Softwarewerkzeuge 64-Bit-Versionen bereitgestellt.

**Grid:** Gemeinsam mit dem NIC und der IT-Gruppe in Hamburg wurde im Rahmen des deutsch-japanischen Symposiums „Towards Precision Physics from Lattice QCD Simulated on Tera-Flops Computers“ vom 25. bis 29. November 2004 ein Prototyp des regionalen Datengrids für die im Lattice Forum (LATFOR) zusammengeschlossenen Forschergruppen vorgestellt. Innerhalb des so genannten LDGs (LATFOR Data Grids) werden auf Supercomputern generierte verteilte Eichfeldkonfigurationen den am Lattice Forum beteiligten Forschergruppen für die Analyse zur Verfügung gestellt. Das LDG basiert auf der LCG-2 (LHC Computing Grid) Software, in der die Daten über dCache-basierte Storage-Elemente verteilt werden. Zurzeit stellen das DESY, das Zuse Informationszentrum Berlin (ZIB) und das Zentralinstitut für Angewandte Mathematik (ZAM) am FZ Jülich Daten für das LDG bereit. Die Daten sind entsprechend ihres physikalischen Inhaltes über semantisch orientierte Anfragen an einen Metadatenkatalog verfügbar. Das LATFOR Data Grid ist Teil der weltweiten Initiative „International Lattice Data Grid“ (ILDG), innerhalb derer im Rahmen eines Grid-of-Grids Konzeptes der Zugriff auf die Eichkonfigurationen der lokalen Datengrids über Webservices erfolgen soll.

**Netzwerk:** Die Bandbreite des externen Internet-Anschlusses (GWIN) wurde im Berichtszeitraum von 34 auf 155 Mbit/s erhöht und die lokale Netzwerkinfrastruktur bedarfsgerecht erweitert. Insbesondere

wurden weitere Server über GBit-Ethernet-Anschlüsse vernetzt. Darüber hinaus wurde die Infrastruktur im Bereich des Consolen-Managements erweitert. Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde eine Netzwerk-Monitoring-Infrastruktur für Zeuthen aufgebaut, die eine im Vergleich zu den bisherigen Werkzeugen bessere Informationsmöglichkeit über das Netzwerkverhalten bereitstellt. Weiterhin wurde ein SNMP-basiertes Managementtool zur Standortbestimmung von am Netzwerk angeschlossenen Geräten auf Basis ihrer Hardware- und IP-Adresse und des Anschlussporters an Netzwerkgeräten (Switch-Port) eingeführt.

**Beteiligung an Projekten:** Mehrere Mitarbeiter der zentralen Datenverarbeitung sind an den Projekten PITZ und TTF2 mit der Bereitsstellung und dem Betrieb von Rechentechnik sowie an der Entwicklung von Software zum Control-System, zur Datenerfassung und Vorverarbeitung (DAQ- und Trigger-Systeme) aktiv beteiligt. Im Rahmen des APE-Projektes wurden Entwicklungsaufgaben im APEmille-Host-System und Wartungsaufgaben bei einigen Hardwarekomponenten an den APEmille-Rechnern übernommen.

## Experimente Support

Im Berichtsjahr fanden folgende Tagungen und Workshops mit Unterstützung im organisatorischen Bereich aus dem Experimente Support in Zeuthen statt:

- TESLA Collaboration Meeting, 21.–23. Januar 2004,
- Meeting on BPM-based Beam Energy Spectrometer, 5.–6. April 2004,
- DESY Workshop on Elementary Particle Theory Loops and Legs in Quantum Field Theory, 25.–30. April 2004, Zinnowitz,
- IV. Workshop, Instrumentation of the Forward Region of a Linear Collider Detector, 26.–28. August 2004,
- German-Japanese Symposium „Towards Precision Physics from Lattice QCD Simulated on Tera-Flops Computers“ and LATFOR Meeting, 25.–29. November 2004,
- Verschiedene kleinere Treffen von Kollaborationen und Graduiertenkollegs.





Abbildung 103: Schülerinnen entdecken die Faszination der Physik im neuen Schülerlabor *physik.begreifen*.

Die öffentlichkeitswirksame Zusammenarbeit mit Schulen und anderen Ausbildungsstätten wurde durch Besuche von Schüler- und Studentengruppen sowie weiteren interessierten Besuchergruppen am Standort Zeuthen deutlich. Die Durchführung des Zukunftstages für Mädchen und Jungen wurde organisiert.

Eine neue Anforderung im Berichtsjahr war das Schülerlabor *physik.begreifen.zeuthen@desy.de* am Standort in Zeuthen, das im Mai 2004 eröffnet werden konnte. Das Labor bietet Schulklassen der Jahrgangsstufen 4–10 die Möglichkeit, einen Tag lang selber zu experimentieren (Abb. 103). Bis zum Jahresende nutzten mehr als 1300 Schülerinnen und Schüler aus Berlin und Brandenburg die Gelegenheit, an den Experimentierplätzen zum Thema Vakuum unter fachlicher und pädagogischer Betreuung zu erleben, wie spannend Physik sein kann. Zudem erhielten die Schüler einen Einblick in die DESY-Forschung. Neben den Betreuungen der Schulklassen im Labor war das Team von *physik.begreifen* mit einem Informationsstand auf dem Berliner MNU-Kongress an der TU Berlin und auf dem Wissenschaftsmarkt des Brandenburgtages in Eberswalde vertreten. Ein regelmäßiger Informationsaustausch findet bei Treffen an außerschulischen Lernorten der Region Berlin-Brandenburg statt.

Eine wesentliche Aufgabe der Gruppe in 2004 war die Vorbereitung, Koordinierung und Durchführung des Ta-



Abbildung 104: Tag der offenen Tür bei DESY in Zeuthen: Sich informieren, Fragen stellen, staunen.

ges der offenen Tür, gemeinsam mit den Forschungsgruppen. Am Sonntag, dem 16. Mai 2004, nahmen über 800 Besucher das Angebot wahr, sich bei DESY in Zeuthen in einem vielfältigen Programm für Groß und Klein über aktuelle Themen aus Forschung, Arbeit & Lehre zu informieren (Abb. 104).

Weitere öffentlichkeitsrelevante Veranstaltungen, an deren Vorbereitung und Durchführung die Gruppe mitgewirkt hat, waren:

- 4. Lange Nacht der Wissenschaften, 12. Juni 2004, Berlin und Potsdam. DESY präsentierte seine Forschungsarbeiten an diesem Abend gemeinsam mit der Humboldt Universität zu Berlin am Standort in Adlershof.
- Ausstellung Raumfahrt – Traumfahrt, 18. Juni–29. August 2004, Automobilforum Unter den Linden, Berlin, Präsentation der Forschung auf dem Gebiet der Astrophysik des DESY.
- Beim EuroScience Open Forum 2004 vom 25.–28. August in Stockholm wurden Beiträge für die Ausstellung „From Cloud Chambers to Linear Accelerators“ geliefert.
- Bei der Langen Nacht der Sterne 2004 am 18. September präsentierte DESY das Thema Astrophysik an der URANIA in Berlin.
- 5. Tag der Wissenschaft und Forschung des Landes Brandenburg in Frankfurt (Oder) am 10. November.

Durch das Bereitstellen von Text- und Bildmaterial sowie die Aufarbeitung und Zusammenfassung wissenschaftlicher Daten und Berichte unterstützte die Gruppe die Präsentation der Forschungsvorhaben sowohl bei fachspezifischen Veranstaltungen als auch bei der Außendarstellung. Neben den ständigen Aufgaben bei Veranstaltungen, im Grafik- und Bildbearbeitungsbereich sowie bei den Serviceleistungen (Kopier- und Bindaufgaben, Verwaltung der Dosimeter und des Fotoarchivs, Betreuung technischer Geräte) beteiligt sich die Gruppe nun auch direkt an technischen Projekten

der Forschergruppen. 2 Mitarbeiter der Gruppe Experimente Support unterstützen das IceCube Projekt bei der Produktion der DOMs, Betreuung von Testplätzen, -messungen sowie durch Übernahme von organisatorischen Tätigkeiten.

Ausländische Gäste werden während eines DESY-Aufenthaltes bei Fragen und administrativen Angelegenheiten (Kontakte zu Ausländerbehörden, Einwohnermeldeämtern, Botschaften und Ministerien) unterstützt.