

# Forschungsthemen DESY Zeuthen

## Experimente bei HERA

### Das H1-Experiment

#### Inbetriebnahme der Backward und Forward Silicon Tracker BST und FST

Während der HERA-Betriebsunterbrechung 2000–2001 wurden die Silizium-Spurdetektoren FST und BST mit ihren insgesamt 184 320 Auslesekanälen im

Vorwärts- und Rückwärtsbereich um das Strahlrohr herum neu installiert. Mit der Inbetriebnahme von HERA II wurden diese Detektoren in die Auslese des H1-Experiments integriert. Dazu waren neue Prozessorkarten und, in Zusammenarbeit mit dem Rutherford Laboratory und der Universität Prag, umfangreiche Arbeiten zur Anpassung der Ausleseelektronik sowie der experimentnahen Software erforderlich.

Mit der Stabilisierung des HERA-Betriebs gelang es schnell, Hits und Spuren im FST zu rekonstruieren. Das Signal-zu-Rausch-Verhältnis der neuen FST-

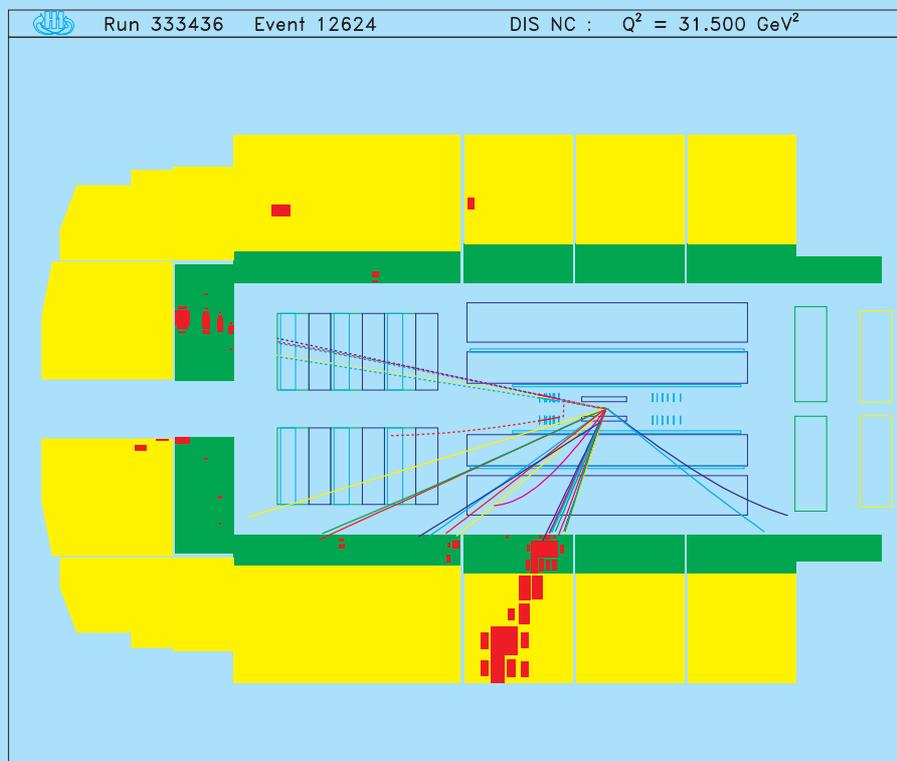


Abbildung 83: *Lepton-Proton-Streuung mit hohem Viererimpuls-Übertrag im H1-Experiment. Das gestreute Positron wird im FST rekonstruiert, nachdem es aufschauert.*

Detektoren liegt bei über 30 und führt zu einer hohen Effektivität der Detektoren. Abbildung 83 zeigt eine Lepton-Proton-Streuung bei hohem Viererimpuls-Übertrag, deren gestreutes Positron im FST rekonstruiert wird. Durch Rekonstruktion strahlnaher, fast horizontaler Spuren leistete der FST auch bei der Suche nach Untergrundquellen außerhalb des H1 Detektors gute Dienste.

Die präzise Messung der Strukturfunktionen  $F_2$  und  $F_L$  sowie der Charm-Strukturfunktion  $F_2^c$  erfordert eine Impulsmessung geladener Teilchen im Rückwärtsbereich. Dazu wurde der Austausch der BST-Detektoren der ersten Generation gegen den Detektortyp vorbereitet, der sich im FST hervorragend bewährt hat.

Nach dem Einbau einer neuen Magnetoptik zur Erhöhung der Luminosität für die Experimente H1 und ZEUS zeigte sich, dass der Strahlungs-Untergrund zu hoch ist, um die sensitiven Detektoren bei hohen Strahl-

strömen betreiben zu können. Diese schwierige Situation erforderte detaillierte Studien des Untergrundes in Abhängigkeit von Strahlströmen, Vakuum, Temperaturen usw.

Die BST Pad Triggerdetektoren wurden zu einem präzisen Instrument des Strahlungsmonitorings zum Schutz des H1-Experiments wie auch zur Diagnose der Strahljustierung für HERA ausgebaut. Abbildung 84 zeigt die vom BST Pad Detektor gemessene Untergrund-Rate pro Tag im Herbst 2002. Dies führte zu konzeptionellen Änderungen der Auslese der installierten Triggerdetektoren, um neben dem Strahlungsmonitoring die eigentliche Triggerfunktion für das H1-Experiment weiterhin zu gewährleisten.

Der FST wurde zur Messung des Vakuum-Druckprofils bis zu 5 m in Positronstrahlrichtung benutzt. In den Zeiten erfolgreichen Luminositätsbetriebs wurden BST und FST ausgelesen und der Pad-Detektor als Triggerdetektor seiner eigentlichen Bestimmung entsprechend eingefahren. Während des HERA Betriebs kam es mehrfach zu Strahlverlusten (Abb. 84) in die nahe am Strahlrohr befindliche BST Elektronik. Es ist geplant, diese Elektronik während der kommenden HERA-Betriebsunterbrechung zu ersetzen.

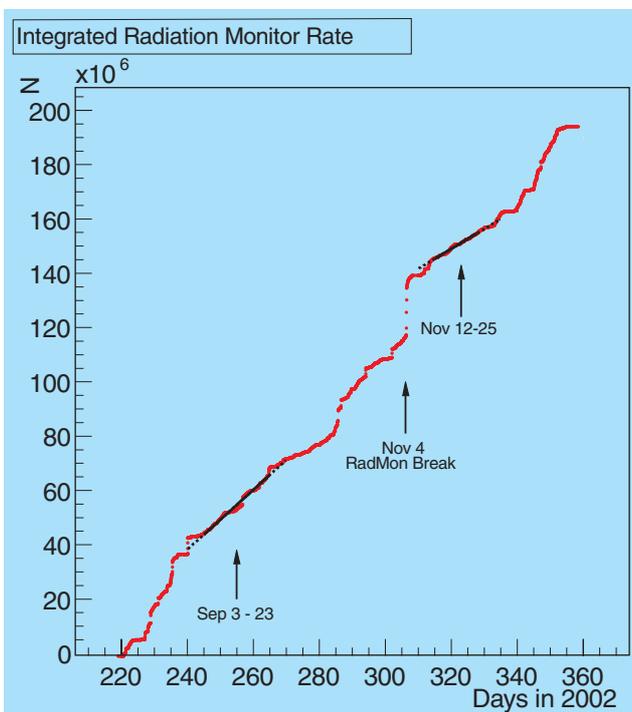


Abbildung 84: Vom BST Pad Detektor gemessene Untergrund-Rate pro Tag im Herbst 2002. Auffällig ist die hohe Strahlungsbelastung während eines HERA-Strahlverlustes am 4.11.2002, bei der ein Teil der BST-Elektronik zerstört wurde.

### Das Forward Proton Spektrometer FPS

Die Stationen des „Forward Proton Spektrometers“ FPS wurden mit neuen Faserdetektoren ausgerüstet. Der Einbau der vertikalen Stationen erfolgte im Januar 2002, während die strahlenexponierten horizontalen Stationen erst bei stabilen Strahlbedingungen installiert werden können. Mit den vertikalen Stationen wurden Daten zur Optimierung der Detektoreffektivität genommen.

Die Rekonstruktions- und Simulationsprogramme wurden an die neue Detektorgeometrie angepasst. Diese modifizierten Programme können auch für die Bearbeitung der Daten des zukünftigen „Very Forward Proton Spektrometers“ VFPS benutzt werden, das in der HERA-Betriebsunterbrechung im kommenden Frühjahr installiert werden soll. Mit den Daten der Jahre 1999 und 2000 wird die Analyse der diffraktiven Proton-Strukturfunktion fortgesetzt. Da im gesamten Jahr 2002

die Strahlbedingungen bei HERA II instabil waren, konnten mit dem FPS keine Daten für eine Physikanalyse aufgezeichnet werden.

### Physikalische Analyse

Im Zentrum der physikalischen Analyse im Jahre 2002 stand die Auswertung von Daten aus dem Sommer 2000, bei denen der Vertex um +70 cm verschoben war. Damit wurde der Akzeptanzbereich von Impulsüberträgen  $Q^2$  von etwa  $2 \text{ GeV}^2$  bis zu kleinen Werten von etwa  $0.5 \text{ GeV}^2$  erweitert. Das erlaubte erstmalig, eine Präzisionsmessung des inklusiven Streuquerschnitts mit bis zu 3% Genauigkeit im Übergangsbereich von tiefunelastischer Streuung zum nicht-perturbativen Bereich durchzuführen. Neben dem SPACAL-Kalorimeter wurde in dieser Analyse der BST als wichtiges Nachweisgerät benutzt, und zwar zur Messung des Polarwinkels der gestreuten Positronen, zur Rekonstruktion des Ereignisvertex sowie zur Unterdrückung von neutralem Teilchenuntergrund. Die Analyse wurde bei den internationalen Konferenzen DIS02 in Cracow sowie in Amsterdam sehr interessiert aufgenommen, da mit diesen Daten die Abhängigkeit der Protonstrukturfunktion  $F_2$  von Bjorken- $x$  bei  $Q^2$  um  $1 \text{ GeV}^2$  erstmalig genau vermessen wurde.

Im Rahmen der experimentellen Arbeiten zur Protonstruktur bei kleinen  $x$  wurde ein Modell entwickelt und numerisch geprüft, das die Nukleonstruktur aus fraktalen Strukturen erklärt und zu einer klaren Beschreibung der Partondichten im Proton führt.

Mit den umfangreichen Daten der Jahre 1999/2000 soll die Messgenauigkeit der Strukturfunktionen  $F_2$  und  $F_L$  und damit der Kopplungskonstanten der starken Wechselwirkung weiter verbessert werden. Dazu wurden mit Physikern der Universitäten in Dortmund, Prag und Podgorica gemeinsame Analyse- und Simulationsarbeiten durchgeführt.

### Das HERA-B Experiment

Die an HERA-B beteiligte Gruppe des Zeuthener Instituts und der Humboldt-Universität zu Berlin hat in den Bereichen, in denen sie bereits an Entwicklung und Aufbau beteiligt war, Aufgaben weitergeführt, die zum

Betrieb des Detektors und zur Qualitätssicherung der Daten notwendig sind. Zusätzlich wurde das Engagement in der Datenanalyse verstärkt. Die wesentlichen Aktivitäten sind:

- Betrieb und Kalibration des Spurkammersystems „Outer Tracker“,
- Ausbau und Betrieb der Prozessorfarmen (2. und 4. Level),
- Software-Entwicklung und -Wartung: Spurrekonstruktion, Alignment und Kalibration des Outer Tracker, Detektorsimulation,
- Datenanalyse.

### Outer Tracker

**Kalibration und Alignment:** Die Software für die Kalibration der Orts-Driftzeit-Beziehung, das Alignment und die Bestimmung der toten oder verrauschten Driftzellen wurde weiterentwickelt und auf die neuen Daten angewandt. In allen Bereichen sind Verbesserungen gegenüber den Daten von 2000 offensichtlich. Die Offline-Analyse der Nachweiswahrscheinlichkeiten in den PC-Superlagen des Outer Tracker ergibt für die Zellen mit 5 und 10 mm Durchmesser Werte von 95% und 98%. Die Ortsauflösung der Driftzellen beträgt etwa  $35 \mu\text{m}$ .

**Sicherung und Kontrolle der Datenqualität:** Zur Online-Kontrolle der Qualität der Outer Tracker-Daten wurden verschiedene Histogramme in das System integriert. Sie erlauben der Schichtbesatzung die Überprüfung der Funktion des Outer Tracker-Detektors, der Qualität der Datennahme und der rekonstruierten Spuren. Im Berichtsjahr wurde auch ein Monitorsystem fertig gestellt, mit dem die Verstärkung in den Driftzellen durch eine automatische Regelung der Hochspannung innerhalb von 5% konstant gehalten wird.

### Prozessorfarm

Die Datennahme und die Datenarchivierung des HERA-B Experiments wurden im Jahr 2002 erweitert, um die beschränkte Strahlzeit optimal zu nutzen. In einem Betriebsmodus mit vielen Unterbrechungen, wie er in diesem Jahr vorherrschte, ist eine maximale

Aufzeichnungsrate wesentlich, während die volle Rekonstruktion in den Pausen erfolgen kann. In Erweiterung des ursprünglichen Konzeptes können jetzt die beiden Online-Farmen (2. und 4. Level) zum Offline-Prozessieren von Daten und bei Unterbrechung der Datennahme für Monte Carlo-Simulationen effektiv genutzt werden.

Bei dem Standardtrigger, der zwei Leptonen verlangt, wird bei 5 MHz Targetrate eine Ausgaberate von etwa 100 Hz erreicht. Für Proton-Kern-Wechselwirkungen wurde eine Ausgaberate von 1.2 kHz bei einer Ereignisgröße von 40 kB (komprimiert) erreicht. Mit diesem System können etwa 4 Millionen derartige Ereignisse pro Stunde aufgezeichnet werden.

### Software

**Spurrekonstruktion:** Das Programmpaket RANGER für die Spurrekonstruktion im zentralen Spurensystem (Inner/Outer Tracker) wird in Zeuthen gewartet und aktualisiert. Das Verhalten bezüglich Auflösungen und Effizienzen wurde in Simulationen und mit realen Daten studiert. Teilweise war eine Anpassung an eine neue Detektorgeometrie notwendig. Wichtige Untersuchungen galten dem Matching von Spursegmenten, die im Siliziumdetektor vor dem Magneten und in den Spurkammern hinter dem Magneten gefunden werden. Für das Matching und die Verwerfung von falschen Kombinationen wurden Standardprozeduren definiert und deren Effizienz für spezielle Fälle, wie zum Beispiel für den Kanal  $\psi' \rightarrow J/\psi \pi \pi$ , der in Zeuthen auch analysiert wird, bewertet. In einer detaillierten Studie wurden die Impuls- und Winkelauflösungen des HERA-B Detektors bestimmt.

**Datenanalyse:** In Zeuthen sollen hauptsächlich Beiträge zur Produktion von Charmonium-Zuständen in Proton-Kern-Reaktionen untersucht werden. Mit den bis Ende des Jahres aufgezeichneten Daten wurde die Analyse leptonisch zerfallender  $J/\psi$ -Mesonen aus verschiedenen Produktions- und Zerfallsprozessen begonnen. Speziell wurden  $\psi'$ -Zerfälle mit einem  $J/\psi$  im Endzustand analysiert. Daneben werden Analysen von Minimum-Bias-Daten durchgeführt, die unter anderem auch der Kontrolle der Datenqualität dienen.

**Simulation:** Das Simulationsprogramm von HERA-B wurde in Zeuthen gewartet und aktualisiert. Dazu ge-

hört die fortlaufende Anpassung der für die Simulation benutzten Geometriedaten, die auch für die Rekonstruktion der realen Daten verwendet werden.

## Das HERMES-Experiment

### Tief-virtuelle Compton Streuung

Das HERMES-Experiment widmet sich der Antwort auf die fundamentale Frage, wie sich der Drehimpuls des Nukleons, also des Protons oder des Neutrons, aus den Drehimpulsen seiner Bestandteile, der Partonen (Quarks und Gluonen) zusammensetzt. Der Schwerpunkt dieser Arbeit bei HERMES war zunächst die detaillierte Bestimmung des Beitrags der Eigendrehimpulse dieser Teilchen. Schon aus früheren, ähnlich gearteten Experimenten war bekannt, dass dieser Beitrag nicht den gesamten Drehimpuls des Nukleons erklären kann.

Ein weiterer wichtiger Baustein in diesem Drehimpuls-Puzzle ist der Bahndrehimpuls der Quarks und Gluonen im Nukleon. Dieser konnte jedoch weder mit den bisherigen Messungen bestimmt werden, noch war er in der auf polarisierten und unpolarisierten Partonverteilungen beruhenden theoretischen Beschreibung dieser Messungen berücksichtigt. Erst in den letzten Jahren hat sich in der Form von Generalisierten Partonverteilungen (GPDs) ein theoretisches Gerüst entwickelt, das diesen Aspekt des Nukleon-Drehimpulses aufgreift. Sowohl die bisher bekannten Partonverteilungen als auch die Formfaktoren des Nukleons sind Spezialfälle der GPDs. Eine sehr direkte Anwendung finden diese GPDs in Prozessen, bei denen genau ein Teilchen, wie zum Beispiel ein Pion oder ein Photon, erzeugt wird. Dieser Prozess, die Erzeugung eines Photons durch Streuung von hochenergetischen Elektronen am Proton, wird tief-virtuelle Compton Streuung (DVCS) genannt. GPD-basierte Modelle machen Vorhersagen sowohl über die Häufigkeit dieser Prozesse als auch über dabei auftretende Asymmetrien in den Winkelverteilungen der erzeugten Teilchen, die bei HERMES gemessen werden.

Erste Resultate zur Asymmetrie, die im DVCS-Prozess bei Messungen mit polarisierten Elektronenstrahlen entsteht, wurden bereits im letzten Jahr veröffentlicht.

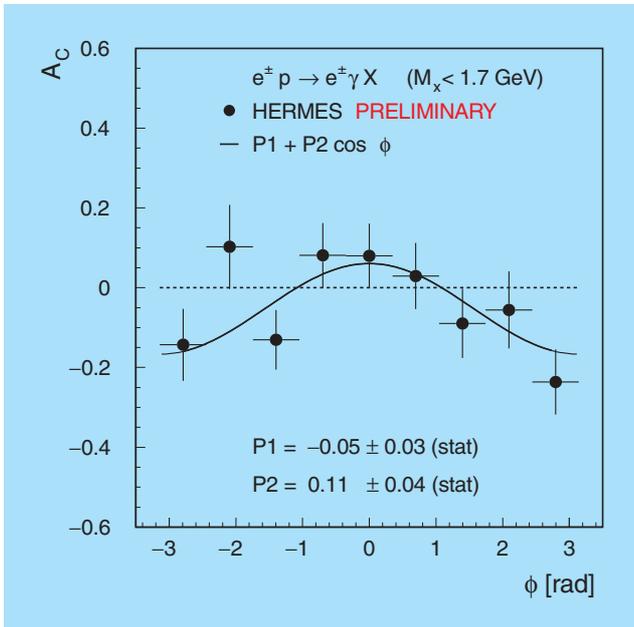


Abbildung 85: Vorläufiges Ergebnis zur Asymmetrie im DVCS-Prozess bei Vergleich von Positron- und Elektronendaten in Abhängigkeit vom azimutalen Teilchenerzeugungswinkel  $\phi$ .

Unter federführender Beteiligung Zeuthener Wissenschaftler sind erste vorläufige Resultate für die Asymmetrie hinzugekommen, die bei dem Vergleich der Erzeugungsraten bei Verwendung von Positronen bzw. Elektronen entsteht (Abb. 85), eine Messung, die in dieser Form bislang nur beim HERMES-Experiment möglich ist. Wie schon bei der Strahl-Polaritätsasymmetrie, so wurde auch hier ein deutliches Signal festgestellt, dessen grundlegende Struktur sehr gut mit den theoretischen Erwartungen übereinstimmt. Des Weiteren wurde die Untersuchung dieses Asymmetrie-Typs auf DVCS-Prozesse an schwereren Kernen (wie zum Beispiel Neon) erweitert. Die dabei gefundene Asymmetrie (Abb. 86) ist mit der am Proton vergleichbar. Die theoretische Beschreibung der dabei zu erwartenden Unterschiede steht am Beginn einer möglicherweise vielversprechenden Entwicklung.

### Silizium-Detektor

In Hinblick auf die Messung des DVCS-Prozesses und ähnlicher exklusiver Prozesse wird der „Recoil Detektor“ entwickelt, in dem die bislang nicht gemessenen

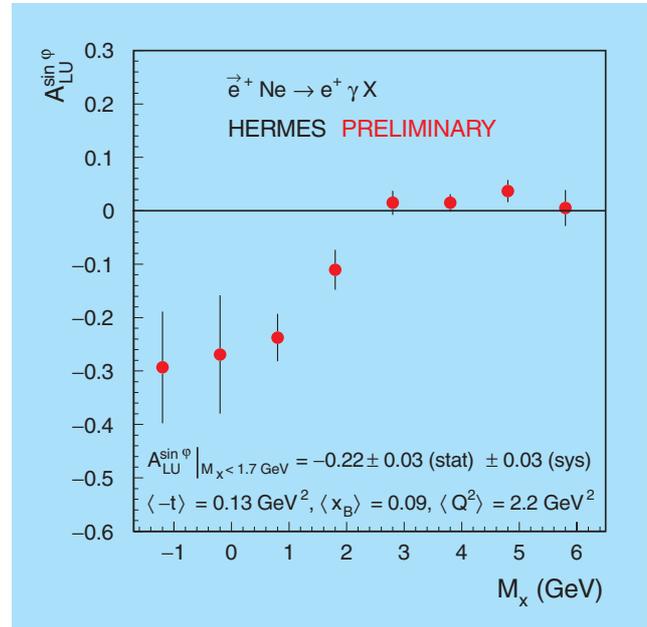


Abbildung 86: Vorläufiges Ergebnis zur Asymmetrie im DVCS-Prozess bei Streuung von polarisierten Positronen am Neon, in Abhängigkeit von der berechneten Gesamtmasse  $M_x$  der nicht detektierten Teilchen.

Rückstoß-Protonen gemessen werden sollen. Er ist als mehrlagiger Detektor ausgelegt, der um das HERMES Gastarget herum gebaut wird, welches vom Elektronenstrahl des HERA-Speicherrings durchlaufen wird. Physiker der Zeuthener Gruppe sind aktiv an der Entwicklung der innersten zwei Lagen dieses Recoil-Detektors, des Silizium-Detektors, beteiligt.

Auf der Suche nach der für den Silizium-Detektor am besten geeigneten Ausleseelektronik wurden umfangreiche Studien an zwei verschiedenen Auslesechips (APC und HELIX) durchgeführt. Aus den Tests ergab sich, dass der HELIX Chip den gestellten Anforderungen besser entspricht. Zusätzlich wurde eine neuartige Methode der Ladungsteilung zur Erweiterung des dynamischen Bereichs untersucht, die es ermöglicht, Protonen in einem großen Energiebereich nachzuweisen. In Laborstudien wurde die prinzipielle Funktionsweise der Ladungsteilung demonstriert.

Nach Abschluss dieser Vorstudien wurde ein erstes Prototypmodul für den Silizium-Detektor hergestellt (Abb. 87) und im Elektronenstrahl am DESY II getestet. Diese Studien belegen, dass das Konzept der Ladungs-

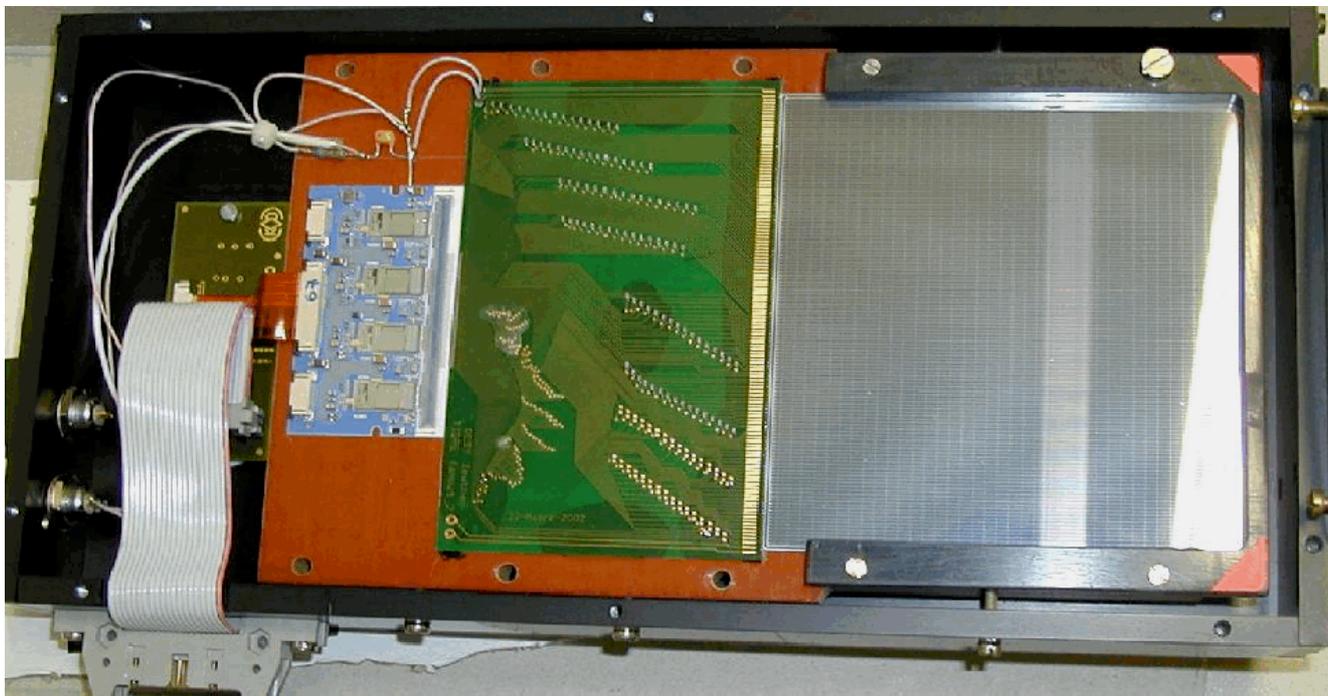


Abbildung 87: Foto des ersten Prototypmoduls des Silizium-Detektors für das „Recoil Projekt“.

teilung auch unter realen Bedingungen gute Ergebnisse liefert. Dabei wurden Teilchen detektiert, die im Silizium eine Ladung von bis zu 400 fC freisetzen. Beim Durchgang minimal ionisierender Teilchen wurde ein zufrieden stellendes Signal-zu-Rausch-Verhältnis von 6.5 gemessen.

## Das L3-Experiment am CERN

L3 war eines der vier Experimente am Speicherring LEP im CERN. Über 12 Jahre lang registrierte der L3-Detektor Teilchen, die bei der Annihilation von Elektronen und Positronen entstehen, bis der Speicherring im November 2000 abgeschaltet wurde. Zuletzt wurden von LEP Energien von 209 GeV erreicht. Die Auswertung der enormen Datenfülle ist noch nicht vollständig abgeschlossen. Auch an der Interpretation der Ergebnisse wird noch gearbeitet.

Die Arbeit der L3-Gruppe von DESY Zeuthen konzentrierte sich im Jahre 2002 auf die Fertigstellung der

Analysen zur Higgs-Suche, der Suche nach supersymmetrischen Teilchen und auf Tests des Standardmodells. Neben der Auswertung der mit dem L3-Detektor aufgezeichneten Daten waren Zeuthener Physiker an der Kombination der Resultate aller vier LEP-Experimente beteiligt. Zum einen erreicht man mit der im Vergleich zum Einzelexperiment vierfachen Statistik eine höhere Sensitivität bei der Suche nach neuen Effekten, zum anderen ist für kommende Experimente vor allem das gemeinsame Resultat der bei LEP durchgeführten Messungen interessant.

## Die Suche nach dem Higgs-Boson

Die Suche nach dem Higgs-Boson, welches den Eichbosonen und Fermionen Masse verleiht, wurde ausgedehnt auf supersymmetrische Szenarien und Zweidubletts von Higgs Feldern. Dabei werden insgesamt fünf Higgs-Teilchen erwartet. Ein wichtiger neuer Parameter ist in diesen Modellen das Verhältnis der Vakuumenergieerwartungswerte der Higgs-Felder,  $\tan \beta$ .

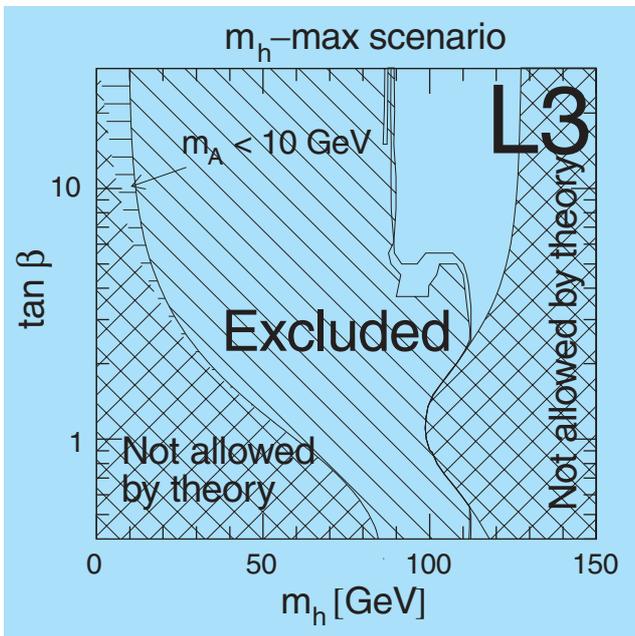


Abbildung 88: Grenzen an die Parameter  $\tan\beta$  und  $m_h$  eines minimalen supersymmetrischen Standardmodells, in dem maximale Massenwerte für das leichteste Higgs-Boson erreicht werden ( $m_h$ -max Szenario).

Ein Signal wurde nicht gefunden, so dass nur Grenzen an bestimmte Parameter der Modelle gesetzt werden konnten. Diese werden in Abbildung 88 für eine Version des minimalen supersymmetrischen Standardmodells gezeigt, in dem maximale Massenwerte für das leichteste Higgs-Boson erreicht werden ( $m_h$ -max Szenario). Unabhängig von den Modell-Parametern wurden untere Massengrenzen für zwei neutrale Higgs-Bosonen,  $h$  und  $A$ , zu  $m_h > 84.5$  GeV und  $m_A > 86.3$  GeV gesetzt. Im Rahmen der Zwei-Dublett Modelle wurden Grenzen für Kopplungen zwischen  $Z$ - und Higgs-Bosonen sowie Grenzen für die Massen geladener Higgs-Bosonen bestimmt.

Der Prozess  $e^+e^- \rightarrow Zh \rightarrow Z\gamma\gamma$  ist im Standardmodell nicht direkt, sondern nur über Loops geladener  $W$ -Bosonen und Top-Quarks möglich. Entsprechend gering ist die Wahrscheinlichkeit dieses Prozesses. In einigen Modellen kann er jedoch bei entsprechender Parameterwahl häufig auftreten. So koppeln in fermiophoben Zwei-Higgs-Dublett Modellen des Typs I alle Fermionen an das gleiche skalare Higgs-Feld, so dass alle Kopplungen der Fermionen an Higgs-Bosonen

gleichermaßen unterdrückt werden können. Derartige Higgs-Bosonen zerfallen vorzugsweise in Bosonen.

Zum Vergleich der möglichen Modelle wurde ein „Benchmark-Modell“ definiert, in dem der Wirkungsquerschnitt für die Produktion von Higgs-Bosonen dem des Standardmodells entspricht, das Higgs-Boson aber in Bosonen zerfällt, vornehmlich  $h \rightarrow \gamma\gamma$  für Higgs-Massen unter 90 GeV bzw.  $h \rightarrow WW^*, ZZ^*$  für größere Higgs-Massen. Die L3-Kollaboration suchte im Energiebereich 189–209 GeV nach dem Prozess  $e^+e^- \rightarrow hZ \rightarrow \gamma\gamma Z$ . Es wurden keine fermiophoben Higgs-Bosonen beobachtet. Deshalb wurden Grenzen für das Zerfallsverhältnis von Higgs-Bosonen in zwei Photonen in Abhängigkeit von der Higgs-Masse abgeleitet. Falls solche Higgs-Bosonen existieren, sind sie schwerer als 105.4 GeV (95% C.L.).

## Z-Paar-Produktion

Die Analysen zur Produktion von  $Z$ -Boson-Paaren wurden fertig gestellt. Neue Resultate zur Kopplung von drei Eichbosonen,  $ZZZ$  and  $\gamma ZZ$ , stimmen mit den Vorhersagen des Standardmodells überein.

## Suche nach supersymmetrischen Teilchen

Die Suche nach supersymmetrischen (SUSY) Teilchen wurde im Berichtsjahr in der LEP SUSY Arbeitsgruppe mit der Kombination der Daten aller vier LEP-Experimente fortgesetzt. Die Zeuthener Gruppe beteiligte sich vor allem an der Suche nach SUSY-Teilchen, bei deren Zerfällen die  $R$ -Parität nicht erhalten wird. In diesen Modellen zerfallen alle SUSY-Teilchen, auch das leichteste, in Standard-Teilchen. Für die Analysen wurde angenommen, dass der Zerfall skalarer Leptonen nur über das leichteste SUSY-Teilchen möglich ist. Da keine Zerfälle von SUSY-Teilchen beobachtet wurden, wurden untere Grenzen für die geladenen skalaren Leptonen und Neutrinos bestimmt. Sie liegen bei 99 GeV für die skalaren Elektron-Neutrinos und bei 85 GeV für die skalaren Myon-Neutrinos. Ein skalares  $\tau$ -Lepton, das  $R$ -paritätsverletzend zerfällt, muss schwerer als 96 GeV sein, wie in Abbildung 89 illustriert. Mit Paritätserhaltung sinkt diese Grenze um 3 GeV.

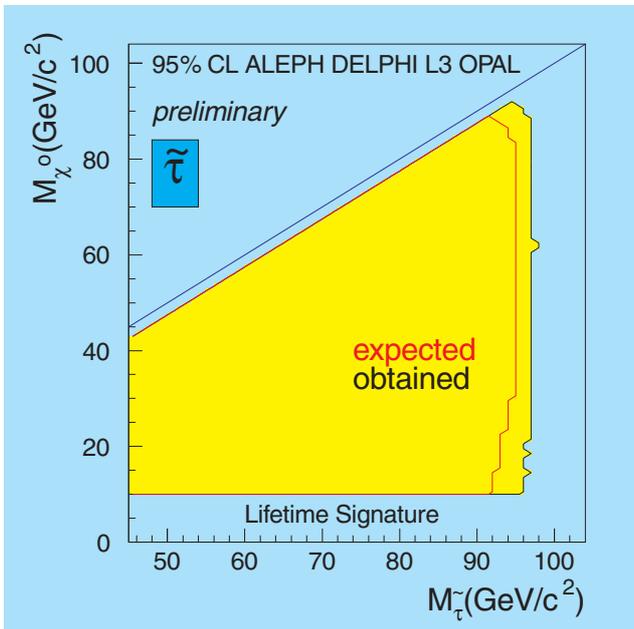


Abbildung 89: Massenlimit  $M_{\tau^0}$  für R-paritätsverletzende Zerfälle eines skalaren  $\tau$ -Leptons aus der Kombination der Daten aller vier LEP-Experimente.

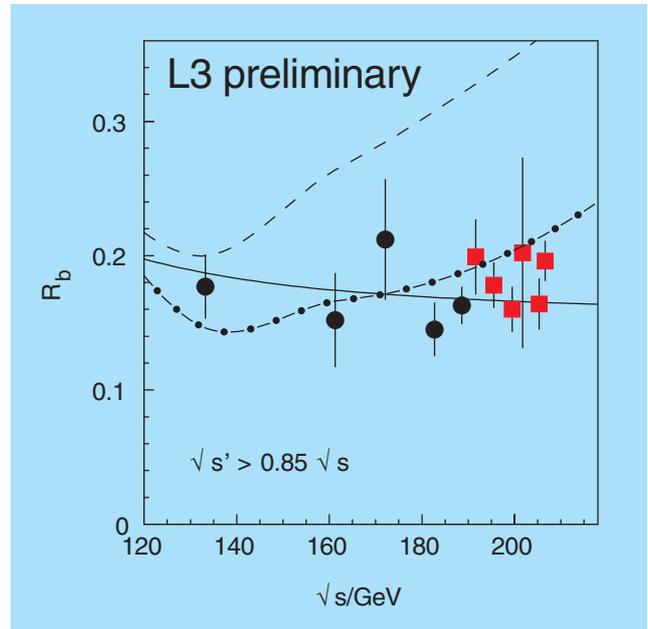


Abbildung 90: Das Verhältnis  $R_b$  von Kopplungsstärke und Masse neuer Austauscheteilchen für  $b\bar{b}$ -Endzustände bei LEP.

## Suche nach Abweichungen vom Standardmodell

Werden keine neuen Teilchen oder Prozesse beobachtet, können Abweichungen der Messergebnisse von den Standardmodell-Vorhersagen Hinweise auf neue physikalische Phänomene geben.

Aufgrund der hohen Luminosität am LEP-Beschleuniger wurden die Wirkungsquerschnitte und Vorwärts-Rückwärts-Asymmetrien für die Produktion von Fermion-Paaren auch bei hohen Energien mit Genauigkeiten im Prozentbereich gemessen. Die Kombination der Resultate aller Experimente erhöht die Genauigkeit fast um einen Faktor 2 und vergrößert die Empfindlichkeit für neue Physik.

Die Analyse der kombinierten Fermion-Paar-Endzustände ergab sowohl bei L3 als auch bei LEP insgesamt keine signifikanten Abweichungen von den Vorhersagen des Standardmodells. Deshalb wurden Grenzen bestimmt, jenseits derer neue physikalische Effekte die durchgeführten Messungen nicht beeinflussen. Auch ohne konkrete Annahmen über die Natur

neuer Wechselwirkungen können diese bis zu einer Energieskala zwischen 2 TeV und 25 TeV ausgeschlossen werden, je nachdem, welche Fermion-Endzustände und welche allgemeinen Modelle man betrachtet. Diese Massenskala entspricht vereinfacht dem Verhältnis von Kopplungsstärke und Masse neuer Austauscheteilchen. Die Resultate sind in Abbildung 90 am Beispiel für  $b\bar{b}$ -Endzustände veranschaulicht. Alle Ergebnisse sind gleichbedeutend damit, dass keine Substruktur der Fermionen nachgewiesen werden konnte.

## L3+COSMICS

Im L3+Cosmics-Experiment wurden in den Jahren 1999 und 2000 insgesamt 11 Milliarden Myonen aus Luftschauern registriert. Das Ziel ist eine Präzisionsmessung des Impulsspektrums atmosphärischer Myonen. Um dies zu erreichen, standen im Jahr 2002 umfangreiche Untersuchungen zur Systematik des Experiments im Vordergrund. Es gelang, den Gesamtfehler der Messung auf 3.5% zu verringern. Die jetzigen Ergebnisse wurden mit Modellvoraussagen

von Luftschauer-Entwicklungen verglichen. Es ergaben sich Abweichungen, die theoretisch bisher unverstanden sind und weitere Analysen erfordern.

Die L3+Cosmics Daten erlauben, aus der Rekonstruktion des Mondschattens in der geometrischen Verteilung von Myonen auf der Erdoberfläche Rückschlüsse auf das Verhältnis primärer kosmischer Antiprotonen zu Protonen bei hohen Energien zu ziehen. Die Beobachtung des Schattens für Protonen mit einer Signifikanz von acht Standardabweichungen führt zu einer oberen Grenze dieses Verhältnisses von  $\approx 0.1$ .

## Neutrino-Astrophysik

Die Neutrino-Astrophysik bei niedrigen Energien hat mit dem Nachweis von Neutrinos von der Sonne und aus der Supernova 1987A spektakuläre Erfolge gefeiert. Raymond Davis jr. und Masatoshi Koshiba (der auch bei DESY gearbeitet hat) wurden dafür in diesem Jahr mit der Verleihung des Physik-Nobelpreises geehrt. Die Neutrino-Astrophysik bei hohen Energien – 1 TeV und darüber – widmet sich gänzlich anderen Phänomenen als jenen im keV- und MeV-Bereich. Sie interessiert sich vorzugsweise für die Beschleunigung von geladenen Teilchen in Stoßwellen und in starken variablen Magnetfeldern und die dabei abgestrahlten Neutrinos. Die beiden Energiefenster (keV-MeV und TeV-PeV) sind etwa so weit voneinander entfernt wie Radiowellen und sichtbares Licht oder sichtbares Licht und Gamma-Strahlen. Die extremen Entfernungen, in denen sich die entsprechenden Objekte wie etwa Doppelsternsysteme oder aktive Galaxien befinden, werden nur unzulänglich durch den mit der Energie wachsenden Wirkungsquerschnitt der Neutrinos wettgemacht. Darum müssen entsprechende Detektoren sehr groß sein, so dass sie nicht mehr unterirdisch, sondern nur in offenen Gewässern oder in Gletschereis gebaut werden können.

Die Neutrino-Astrophysik-Gruppe in DESY-Zeuthen beteiligt sich an zwei derartigen Experimenten. 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. AMANDA und NT-200 sind die zur Zeit

mit Abstand größten Neutrino-Teleskope. Sie ergänzen sich durch ihre geographisch komplementäre Lage und durch die unterschiedlichen Eigenschaften von Wasser und Eis – mit den damit verbundenen spezifischen methodischen Besonderheiten.

Das hauptsächliche Nachweisprinzip von Teleskopen für hochenergetische Neutrinos besteht in der Registrierung und klaren Identifizierung von aufwärts laufenden Myonen. Nur Neutrinos können den Erdball durchqueren und erzeugen, im Falle von Wechselwirkungen über den geladenen Strom, Myonen. Unterwasserteleskope bestehen aus einer gitterförmigen Anordnung von Photomultipliern (PMs), mit deren Hilfe das Cherenkov-Licht der Myonen registriert wird. Gemessen werden Ankunftszeit (mit einer Genauigkeit von 1–5 ns) und Stärke der Lichtsignale, woraus Richtung und Energie der Myonen rekonstruiert werden.

## AMANDA

Im Falle von AMANDA sind die PMs tief in dem 3 km dicken Eisschild der Antarktis eingefroren. Der im Januar 2000 vollendete AMANDA-II Detektor besteht aus 19 Trossen („Strings“), die über fünf Jahre hinweg installiert wurden. 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. Mit seinen zusätzlichen neun äußeren Strings kann er insbesondere Spuren nahe dem Horizont weit besser rekonstruieren als AMANDA-B10, die 1997 vollendete Ausbaustufe mit zehn Strings. Das führt zu einer verbesserten Winkelakzeptanz und etwa drei Neutrino-Kandidaten pro Tag.

Nachdem die Analyse der im Jahre 1997 mit AMANDA-B10 genommenen Daten abgeschlossen ist, stand im laufenden Jahr die Analyse der 1998, 1999 und 2000 genommenen Daten im Vordergrund. Die Daten aller drei Jahre wurden vollständig aufbereitet – das heißt gefiltert, nachgeeicht, rekonstruiert – und danach in verschiedene interessante Ereignisklassen für Neutrino-Kandidaten aufgeteilt. Erste Physikresultate liegen bisher für drei Analysen vor: für die Suche nach Punktquellen, für die Suche nach Neutrinos, die mit Gamma Ray Bursts (GRB) korreliert sind, und für das Studium des Energiespektrums der Neutrinos. Die GRB-Analyse

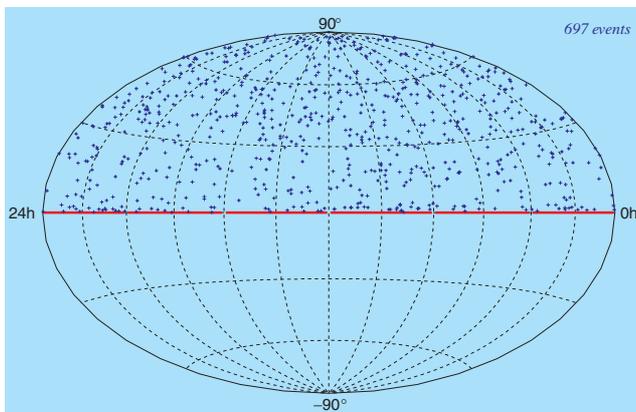


Abbildung 91: Himmelskarte von 697 Neutrino-Ereignissen, die mit AMANDA im Jahr 2000 identifiziert wurden.

umfasst die Jahre 1997–2000, die beiden anderen Studien nutzen die 2000er Daten. Die Analysen wurden in Zeuthen (Punktquellen), in Madison (GRB) und in Wuppertal (Energiespektrum) durchgeführt.

Abbildung 91 zeigt die Himmelskarte von 697 Neutrino-Ereignissen, die aus den Daten des Jahres 2000 gefiltert wurden. Abbildung 92 zeigt die Grenzen an den Myonfluss, die sich aus der Analyse der Himmelskarte ergeben. Die mit den 2000er AMANDA-Daten für den Nordhimmel erhaltenen Grenzen liegen unter jenen, die MACRO und Superkamiokande für den Südhimmel erhalten haben. AMANDA-II hat einen fast doppelt so großen Durchmesser wie AMANDA-B10. Daher ergibt sich eine wesentlich bessere Sensitivität am Horizont. Die Abbildung zeigt auch die Grenzen, die von der Analyse aller zwischen 1997 und 2002 genommenen Daten erwartet werden. Man sieht, dass unter anderem ein Modell für die Neutrino-Erzeugungsgalaxis in Mikroquasaren, in diesem Fall für SS-433, das bekannteste derartige Objekt in unserer Galaxis, getestet werden kann.

Bei der GRB-Analyse wird nach Koinzidenzen von Neutrino-Ereignissen mit Bursts gesucht, die durch den BATSE-Detektor an Bord des „Gamma Ray Observatory“ (GRO) registriert wurden. BATSE hat bis Mai 2000 Daten genommen. Die Suchfenster sind sechs Minuten lang, eine Minute vor und fünf Minuten nach dem BATSE Burst. Aus der Analyse der Jahre 1997, 1999 und 2000 ergibt sich eine Fluss-Grenze, die nur noch

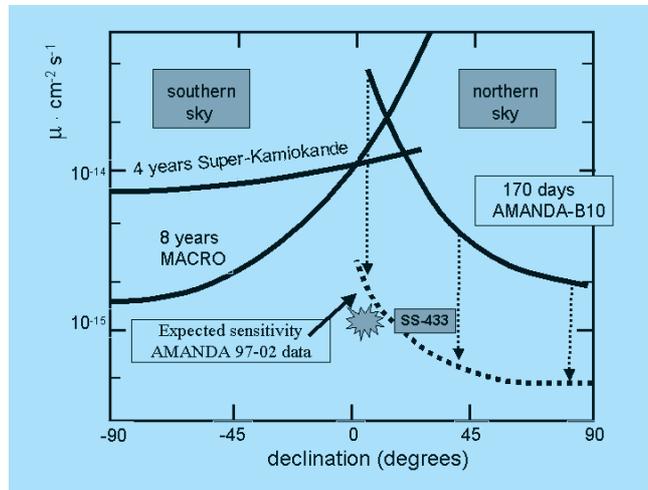


Abbildung 92: Flussgrenzen für Myonen, die von Neutrinos aus Punktquellen stammen. Die über viele Jahre gewonnenen Grenzen von Untergrund-Detektoren auf der Nordhalbkugel und jene aus den 2000er Daten von AMANDA ergänzen sich geografisch, bei etwa gleichem Sensitivitäts-Niveau.

etwa um einen Faktor 10 über der Modellvorhersage von Waxmann und Bahcall liegt. Dieses Modell dient als Standard-Vergleich für GRB-Sensitivitäten. Andere, optimistischere Modelle, zum Beispiel das von Halzen und Hooper, werden schon jetzt ausgeschlossen.

Fortschritte wurden bei der Rekonstruktion der Myon-Energie gemacht, hier vor allen Dingen durch Verbesserung des Eismodells und der Beschreibung des Myon-Energieverlustes. Abbildung 93 zeigt den Neutrino-Fluss als Funktion der Neutrino-Energie. Das Neutrino-Spektrum wurde durch Faltung aus dem Spektrum der rekonstruierten Myon-Energien gewonnen. Die AMANDA-Analyse dehnt den Bereich der bisher besten Daten, die mit dem Frejus-Detektor vor mehr als zehn Jahren gewonnen wurden, um mehr als eine Größenordnung in der Energie aus. Da keine Abweichung vom vorhergesagten Spektrum für atmosphärische Neutrinos ( $E^{-3.7}$ -Verhalten) beobachtet wird, kann man eine obere Grenze für den diffusen Fluss von Neutrinos aus Quellen mit einem  $E^{-2}$ -Spektrum ableiten. Sie liegt mit  $dF/dE \cdot E^2 (E > 40 \text{ TeV}) < 0.15 \cdot 10^{-6} \text{ GeV cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$  um einen Faktor 2 unter derjenigen oberen Grenze, welche sich aus den 1997er Daten ergab. Eine andere Suche nach einem Überschuss diffus einfallender, energetischer Neutrinos (Madison) nutzt

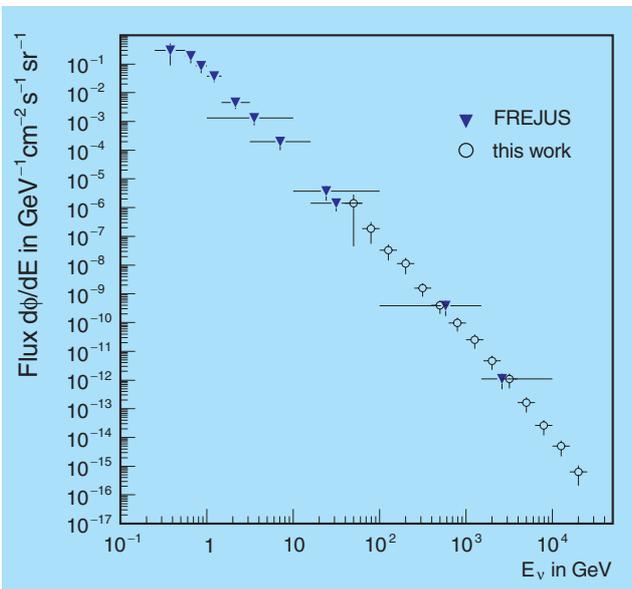


Abbildung 93: *Energiespektrum für eine annähernd reine Gesamtheit von Neutrinos, die im Jahr 2000 mit AMANDA registriert wurden.*

vereinfachend die Anzahl der getroffenen Photomultiplier als Maß der Energiedeposition und kommt zu einer ähnlichen Grenze.

AMANDA setzt mit diesen drei Ergebnissen die ersten Schritte der Neutrino-Astronomie aus dem eher methodischen Stadium in ein astrophysikalisch relevantes Gebiet fort.

Weitere Analysen der 2000er Daten befinden sich in einem vorläufigen Zustand, zum Beispiel die Suche nach hochenergetischen Kaskadenereignissen (DESY), die Suche nach Neutrinobursts ohne eine Begleitung durch GRBs (DESY) oder die Suche nach Neutrinos aus WIMP-Annihilationen in der Sonne oder im Erdzentrum (Schweden und Belgien).

Das Monitoring von AMANDA verläuft problemlos. 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. Das aktuelle „Neutrino of the Day“ kann unter [http://butler.physik.uni-mainz.de/~becka/daily\\_nus/](http://butler.physik.uni-mainz.de/~becka/daily_nus/) betrachtet werden.

In der kommenden Saison werden alle Kanäle von AMANDA mit Flash-ADCs ausgerüstet. DESY hat sich hierbei durch den Kauf von FADCs und durch die Entwicklung von Analyse-Software beteiligt. DESY hat außerdem einen GPS Verteiler-Modul entwickelt, der es erlaubt, alle AMANDA-Komponenten einheitlich mit den Signalen eines GPS-Gebers anzusteuern.

## IceCube

Der geplante IceCube-Detektor soll aus 4800 PMs an 80 Strings bestehen, bei 125 m Stringabstand und 16 m Abstand zwischen den PMs entlang eines Strings. AMANDA-II soll in IceCube integriert werden. Der gegenwärtige Plan sieht vor, mindestens vier, maximal acht Strings in der Saison 2004/05 zu installieren. In den Folgejahren sollen dann bis zu 16 Strings pro Jahr installiert werden, so dass der Detektor im Jahre 2010 fertig gestellt sein kann.

DESY Zeuthen wird im IceCube-Projekt folgende Schwerpunktaufgaben übernehmen:

- In Zusammenarbeit mit den Universitäten Mainz und Wuppertal werden in Zeuthen 1300 optische Module montiert und getestet. Die Test- und Montagestände wurden in diesem Jahr entworfen.
- Die PM-Information wird im optischen Modul digitalisiert und dann über elektrisches Kabel an die Oberfläche übertragen. Dieses Konzept wird DOM (Digitaler Optischer Modul) genannt. Die vollständige Ausleselektronik für 40 Test-DOMs an dem AMANDA String Nr. 18 wurde 2001 in Zeuthen gebaut und erfolgreich am Pol installiert. DESY Zeuthen ist verantwortlich für die Entwicklung des Empfangsteils der IceCube DOMs an der Oberfläche. Dieser Modul ist gegenwärtig in der Endphase der Entwicklung.
- DESY Zeuthen wird als europäisches Zentrum für die Massenprozessierung von experimentellen wie auch von Monte Carlo-Daten und als deutsches Analysezentrum dienen.
- DESY Zeuthen wird sich an der Software-Entwicklung für IceCube beteiligen.

Eine für IceCube neue Idee ist der Einsatz von akustischen Detektoren, die auf hochenergetische Kaskadenereignisse sensitiv sind. Elektromagnetische Kaskaden

in Eis haben eine Länge von 5–10 m und einen Durchmesser von etwa 10 cm. Bei hohen Energien reicht die Energiedeposition durch Ionisation aus, um das Medium merklich aufzuheizen, was zu einer akustischen Stoßwelle mit Frequenzen im Bereich von 10–50 kHz führt. Die Abklinglänge beträgt mehrere Kilometer – im Vergleich zu maximal hundert Metern für sichtbares Licht. Ein genügend großes Primärsignal vorausgesetzt, kann man darum mit dieser Methode Neutrinoereaktionen über sehr große Distanzen nachweisen.

Akustische Detektoren wurden auch für existierende und geplante Unterwasser-Neutrinooteleskope vorgeschlagen. Entsprechende methodische Untersuchungen wurden mit Tiefsee-tauglichen Hydrophonen durchgeführt. Da diese Technik im Eis nicht anwendbar ist, wurde bei DESY Zeuthen im vergangenen Jahr mit der Entwicklung von akustischen Empfängern begonnen, die direkt an die Glaskugeln der optischen Module gekoppelt werden können. Erste Messungen an einem Eisblock in einer Kühltruhe im Labor ergaben hohe Empfindlichkeiten für akustische Signale, die mechanisch, elektrisch – mittels Piezo-Elementen – und mit einem Laser im Eis erzeugt wurden.

Im nächsten Jahr werden die bei DESY entwickelten Sensoren in Zusammenarbeit mit der Universität Uppsala am dortigen Beschleuniger getestet werden. Ein hochintensiver Strahl von 180 MeV Protonen wird in wenigen Mikrosekunden in einem Eisblock gestoppt. Intensität und Geometrie des Strahls lassen sich variieren und erlauben einen umfassenden Test der Eigenschaften der akustischen Empfänger. Diese Eigenschaften werden in einem Simulationsprogramm benutzt, um die Nachweiswahrscheinlichkeit des IceCube-Detektors für Neutrino-induzierte Kaskaden bestimmter Energie zu ermitteln.

## Das Baikal-Experiment

Das Baikal-Teleskop NT-200 umfasst 192 Photomultiplier an acht Trossen und registriert durchschnittlich alle drei Tage ein Ereignis mit klarer Neutrino-Signatur. Die Energieschwelle liegt bei etwa 10 GeV.

NT-200 ist das sensitivste Teleskop für hochenergetische Neutrinos auf der Nordhalbkugel. Diese Situation

wird sich nicht ändern, bis im Jahre 2004/05 ANTARES im Mittelmeer seine Arbeit aufnimmt. Für die Suchen nach transienten Quellen, die eventuell 2004 nicht mehr in einem „high-state“ sind, oder nach Neutrinos aus Gamma Ray Bursts ist der Baikal-Detektor daher in den nächsten drei Jahren sehr wichtig.

Für die Untersuchung des diffusen Flusses ist es nicht von Bedeutung, auf welcher Hemisphäre sich der Detektor befindet. Zum anderen hat sich aber herausgestellt, dass mit NT-200 eine Obergrenze für diffuse Neutrinos bestimmbar ist, die nur um etwa einen Faktor 2 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

$$dF/dE \cdot E^2 < 0.95 \cdot 10^{-6} \text{ GeVcm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{sr}^{-1}$$

abgeleitet werden. Diese Grenze basiert auf der Analyse der Daten der Jahre 1996, 1998 und 1999.

In den nächsten zwei Jahren plant die Kollaboration, 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 Kontrollexperiment im Falle eines positiven Befundes bei AMANDA dienen können.

## Theoretische Elementarteilchenphysik

Theoretische Untersuchungen wurden auf den Gebieten der störungstheoretischen Quantenfeldtheorie des Standardmodells, der Gitter-Eichtheorie und allgemeiner Aspekte von Quantenfeldtheorien durchgeführt.

## Quantenchromodynamik

Perturbative Untersuchungen auf dem Gebiet der starken Wechselwirkung (QCD) befassten sich mit Fragestellungen aus dem Bereich der unpolarisierten und polarisierten tiefunelastischen Streuung.

Die Analyse der polarisierten tiefunelastischen Welt-daten wurde fortgesetzt [hep-ph/0203155, 0206286]. Im Vergleich mit unabhängigen Messungen semi-inklusive Kanäle zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung mit den aus inklusiven Daten bestimmten Parton-Verteilungsfunktionen.

Mit Techniken, die für die Nicht-Vorwärtsstreuung entwickelt worden sind, wurde die Struktur des diffraktiven Streuprozesses für polarisierte Lepton-Hadron-Streuung untersucht und dessen Skalar-Verhalten berechnet. Es besteht auch in diesem Fall eine Wandzura-Wilczek Relation zwischen den beiden Strukturfunktionen  $g_1$  und  $g_2$ . Für große diffraktive Impulsüberträge ergeben sich acht Strukturfunktionen [DESY 02-011]. Eine erste Messung dieses Prozesses wird im COMPASS-Experiment (CERN) erwartet. Die Targetmassen-Korrekturen zu diesem Prozess wurden untersucht.

Im Rahmen des störungstheoretischen Zugangs zur QCD wurde für die Strukturfunktion der tiefunelastischen Streuung die Berechnung der anomalen Dimensionen zu drei Schleifen in Angriff genommen. Diese Korrekturen in nächst-nächst-führender Ordnung (NNLO) sind sehr wichtig, um hinreichend genaue theoretische Vorhersagen für die zu erwartende experimentelle Präzision der HERA-Experimente H1 und ZEUS zu haben, insbesondere für eine Präzisionsmessung und Präzisionsanalyse der Kopplungskonstanten der starken Wechselwirkung  $\alpha_s$ . Als erster Schritt in diese Richtung wurden die fermionischen Beiträge zu den Nicht-Singulett-Strukturfunktionen  $F_2$  und  $F_L$  berechnet [DESY 02-128].

Eine wichtige physikalische Größe für zukünftige Tests der QCD an Hochenergie-Linearbeschleunigern ist der 3-Jet-Wirkungsquerschnitt für die  $e^+e^-$ -Annihilation. Gegenwärtig wird diese Größe durch verschiedene Gruppen berechnet. Hierbei ist die Entwicklung verschiedener neuer Technologien zur Berechnung von Schleifen-Integralen von Bedeutung. Die fermioni-

schen Beiträge zu den NNLO Korrekturen wurden berechnet [hep-ph/0210009, 0211156].

Weiterhin wurden QCD Zweischleifen-Korrekturen zum Streuprozess  $gg \rightarrow \gamma\gamma$ , einem Hintergrundprozess zur Produktion des Higgs-Bosons an Hadron-Beschleunigern, berechnet [DESY 02-202].

QED-Korrekturen höherer Ordnung wurden mit Hilfe von QCD-Techniken systematisch untersucht. Es wurden vollständige analytische Resultate für die Flavor-Nicht-Singulett und Singulett-Beiträge zur Lösung der Evolutionsgleichungen für das Elektron (Positron)-Photon System zu  $O(\alpha(\ln(S/m_e^2))^5)$  im Falle der unpolarisierten und polarisierten Streuung berechnet [DESY 02-016, hep-ph/0206286]. Diese Korrekturen haben universellen Charakter und sind sowohl in der  $ep$ - als auch in der  $e^+e^-$ -Streuung bei hohen Energien von Bedeutung. Für die tiefunelastische  $ep$ -Streuung wurden wichtige QED-Korrekturen auf dem Zweischleifen-Niveau berechnet [DESY 02-193].

## Elektroschwache Theorie

Im Hinblick auf TESLA ist ein genaues Verständnis der wichtigsten Standardprozesse wichtig. Dies erfordert eine Berechnung der Strahlungskorrekturen bei wesentlich höheren Anforderungen (höhere Energie, komplexere Endzustände, höhere Genauigkeit). Hier wurde eine langfristige Planung entwickelt, um die wesentlichen Probleme schrittweise zu lösen, und es wurden weitere Fortschritte erzielt: So wurde der analytische Teil der Berechnung der Higgs-Produktion in  $e^+e^- \rightarrow \bar{\nu}_e \nu_e H$  angeschlossen und neue Tools zur numerischen Auswertung ausgearbeitet [DESY 02-210]. Die erste vollständige Zweischleifen-Berechnung der Pol-Massen der W- und Z-Bosonen im Standardmodell steht vor dem Abschluss [DESY 02-156]. Hier konnten wichtige konzeptionelle Fragen im Zusammenhang mit der Renormierung von instabilen Teilchen erstmals durch konkrete Berechnung auf dem Zweischleifen-Niveau geklärt werden.

Durch neue präzisere experimentelle Ergebnisse zum anomalen magnetischen Moment des Myons entsteht wiederum die Frage, ob die Abweichung zwischen Theorie und Experiment auf Physik jenseits des Standardmodells hinweist. Zur Klärung der Signifikanz geht

es dabei im Wesentlichen um eine Verbesserung der theoretischen Voraussagen hadronischer Effekte. Hier kommen einerseits neue theoretische Ansätze zur Anwendung, andererseits werden bessere Daten niederenergetischer Wirkungsquerschnitte benötigt. Es wurde untersucht, wie man hier die systematischen Fehler weiter reduzieren kann [DESY 02-155].

Die Untersuchungen der elektroschwachen Korrekturen zur Top-Paarzeugung bei TESLA wurden fortgesetzt und in Zusammenarbeit mit anderen Forschergruppen mit gründlichen numerischen Vergleichen zu einem vorläufigen Abschluss gebracht. Die Resultate sind in zwei Publikationen dokumentiert [hep-ph/0202109, 0203220].

Berechnungen der virtuellen Zweischleifen-Korrekturen zur Bhabha-Streuung, wie sie bei TESLA im geplanten Vorwärtskalorimeter zu beobachten sein wird, wurden begonnen. Erste Teilresultate über die Beiträge der so genannten faktorisierten Feynman-Diagramme sind in analytischer Form bestimmt worden [hep-ph/0211167, 0210180].

Untersuchungen zur Resummation von Sudakov-Logarithmen in der elektroschwachen Theorie wurden durchgeführt [hep-ph/0209100].

### Gitter-Eichtheorie

Die von DESY Zeuthen koordinierte ALPHA Kollaboration dehnte ihre Berechnung der Energieabhängigkeit der fundamentalen Größen in der QCD auf die renormierten Quarkmassen aus [DESY 02-125]. Hier wurden erste vielversprechende Resultate mit der perturbativen Renormierungsgruppe verglichen. Gleichzeitig wurde die bereits veröffentlichte Energieabhängigkeit der starken Kopplung weiter präzisiert [DESY 02-124]. Effekte endlichen Volumens spielen in der numerischen Behandlung der QCD eine (meist störende) wichtige Rolle. Für den Fall der Pion-Massen wurde eine analytische Berechnung mittels der chiralen Störungstheorie begonnen [DESY 02-131]. Die Behandlung schwerer Quarks in der Gittereichtheorie wurde weiter vorangetrieben [DESY 02-130] und der in Zeuthen neu entwickelte Zugang der nichtperturbativen „Heavy Quark Effective Theory“ wurde insbesondere auf der Tagung „Lattice 2002“ in Boston vorgetragen [DESY 02-130].

Weitere Arbeiten befassten sich mit der Eichfixierung in Gittereichtheorien [DESY 02-121], dem Vergleich von Gitterresultaten mit chiraler Störungstheorie [DESY 02-121, 160] und der Untersuchung der Universalität in der reinen Gluodynamik [DESY 02-129].

### Allgemeine Feldtheorie

Eine einheitliche Behandlung von Wess-Zumino-Novikov-Witten (WZNW)-Modellen und ihrer möglichen Eichungen („Cosets“) hat neue Wege zu deren Interpretation und zur Lösung von Problemen eröffnet. Für die periodischen  $SL(2, \mathbb{R})$ -Theorien wurde die noch ausstehende Quantisierung der kanonischen Nullmoden auf der Halbebene ihres Phasenraumes am Beispiel der Liouville-Theorie durchgeführt. Das Resultat ist jedoch anwendbar für die ganze Klasse der  $SL(2, \mathbb{R})$ -Theorien. Es wurde insbesondere die Frage nach der Selbstadjungiertheit der Nullmoden-Operatoren im Hilbert-Raum positiv beantwortet. Das ist eine Voraussetzung zur Berechnung physikalischer Korrelationsfunktionen dieser in vielfacher Anwendung vorkommenden  $SL(2, \mathbb{R})$ -Theorien. Überraschenderweise wurden durch die von uns ausschließlich benutzten Operatormethoden Resultate bestätigt und begründet, die durch Anwendung von Methoden der Wegintegration heuristisch in die Diskussion gebracht worden waren. Damit eröffnet sich ein neuer Weg zur Berechnung von Korrelationsfunktionen von WZNW-Theorien.

### Internationale Zusammenarbeit und Drittmittel-Projekte

Im Berichtszeitraum arbeitete der Bereich Theorie in fünf TMR-Netzwerken der Europäischen Union mit. Dies sind:

- EURODAPHNE,
- Quantum Chromodynamics and the Deep Structure of Elementary Particles,
- Hadron Phenomenology from Lattice QCD,
- Particle Physics Phenomenology at High Energy Colliders,

- EURIDICE: European Investigations on DAPHNE and other International Collider Experiments using Effective Theories of Colors and Flavours from the Phi to the Upsilon.

Das Deutsch-Georgische Kooperationsprojekt „Integration und Quantisierung nicht-nilpotenter geeichter Wess-Zumino-Novikov-Witten konformer Feldtheorien“ wurde von der DFG unterstützt.

Die Gruppe ist am INTAS-Projekt „Integrability in Statistical Physics and Quantum Field Theories“ beteiligt.

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

Es besteht eine enge Zusammenarbeit der Theoriegruppe mit Instituten für Theoretische Physik am Harish Chandra Research Institute Allahabad/IND, dem NIKHEF, Amsterdam/NL, der Humboldt Universität zu Berlin und den Universitäten Bielefeld, Cottbus, Leiden und Leipzig.

Der Bereich Theorie ist am Graduiertenkolleg „Strukturuntersuchungen, Präzisionstests und Erweiterungen des Standardmodells der Elementarteilchenphysik“ (HU Berlin, FU Berlin, DESY Zeuthen, TU Dresden, MPI Potsdam) beteiligt.

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft hat den Sonderforschungsbereich/Transregio „Computergestützte Theoretische Teilchenphysik“ mit Projektbeginn am 1.1. 2003 genehmigt. Beteiligt sind Gruppen der RWTH Aachen, der HU Berlin, der TU Karlsruhe und die Theoriegruppe von DESY Zeuthen.

## APE Projekt/Entwicklung von Parallelrechnern

Die starke Wechselwirkung zwischen Elementarteilchen wird durch eine Feldtheorie, die Quantenchromodynamik (QCD), beschrieben. Deren nichtlineare Grundgleichungen lassen sich jedoch (noch) nicht analytisch lösen. Daher stellen numerische Simulationen

auf einem diskretisierten Raumzeit-Gitter die wichtigste Möglichkeit dar, die Theorie quantitativ zu überprüfen und die Größen genau zu berechnen, die für die Interpretation von experimentellen Messungen benötigt werden.

Im Januar 2002 hat in Zeuthen die letzte Ausbaustufe der neuen Supercomputer vom Typ APEmille den Produktionsbetrieb aufgenommen. Dieser massiv parallele Spezialrechner ist speziell für Rechnungen in der Gitter-QCD optimiert und wurde in einer Zusammenarbeit von DESY mit dem Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) in Italien entwickelt.

Die jetzige Installation umfasst über 1000 Prozessoren, die zusammen mehr als 500 Milliarden Gleitkomma-Operationen pro Sekunde durchführen können. Der Datenaustausch zwischen den Prozessoren erfolgt über ein leistungsfähiges synchrones Netzwerk. Ein Verbund von 32 marktüblichen PCs, die mit dem Betriebssystem Linux operieren, ermöglicht den Zugriff auf die Rechner. Ähnlich wie die vorhergehende Rechnergeneration APE100 haben sich die APEmille Systeme inzwischen als sehr stabil erwiesen und zeichnen sich durch moderaten Betriebs- und Wartungsaufwand aus. Der Betrieb der APE-Rechner wird gemeinsam von Mitarbeitern der APE-, NIC- und DV-Gruppe gewährleistet. Die Rechenzeit wird von DESY über das John von Neumann Institut für Computing (NIC) der Forschung zur Verfügung gestellt.

Die große Rechenleistung von APEmille wird jedoch in Zukunft nicht mehr ausreichen, um international konkurrenzfähige Großforschungsprojekte in der Gitter-QCD durchführen und detaillierte quantitative Vorhersagen von Messgrößen der QCD machen zu können. Für diese Projekte sind Rechenleistungen von einigen 10 Tflops erforderlich. Daher wird in Zusammenarbeit zwischen INFN, DESY/NIC und der Université Paris Sud ein Nachfolgesystem, apeNEXT, entwickelt.

Bei dem neuen Supercomputer werden alle wesentlichen Funktionen, wie Arithmetik, Programmkontrolle und Kommunikation, auf einem einzigen ASIC Chip integriert. Dies ermöglicht eine kompaktere Bauweise mit 16 Prozessoren pro Board. Eine wesentliche Architekturveränderung gegenüber APEmille besteht darin, dass die einzelnen apeNEXT-Prozessoren unabhängig arbeiten können. Der Prozessor ist so konstruiert, dass

Kommunikation und arithmetische Operationen gleichzeitig ausgeführt werden können und die Synchronisation zwischen den Knoten automatisch beim Datenaustausch erfolgt. Dadurch sind Systeme mit mehr Knoten und höherer Effizienz realisierbar.

Nachdem Anfang 2002 das Design aller wichtigen Komponenten von apeNEXT vorlag, konzentrierten sich die Anstrengungen der beteiligten Wissenschaftler auf die sehr komplexen Tests zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit und der korrekten Funktionalität des neuen Prozessors. Neben der Entwicklung der Compiler war die Zeuthener APE-Gruppe auch an diesen Arbeiten maßgeblich beteiligt.

Das ehrgeizige Ziel der apeNEXT Kollaboration ist es, trotz der Verzögerungen bei der endgültigen Optimierung und Fertigung des Chips bis Mitte nächsten Jahres größere Prototyp-Systeme (1 crate 400 Gflops Rechenleistung) aufzubauen und in Betrieb zu nehmen.

## NIC bei DESY Zeuthen

Das John von Neumann Institut für Computing (NIC) wird gemeinsam vom Forschungszentrum Jülich und von DESY getragen. Das NIC stellt Forschern, die sich mit wissenschaftlichem Rechnen befassen und insbesondere numerische Simulationen durchführen, die hierfür notwendige Rechenleistung zur Verfügung.

Die Forschergruppe Elementarteilchenphysik des NIC ist am DESY Zeuthen beheimatet. Das Forschungsprogramm der NIC-Theorie-Gruppe konzentriert sich auf Untersuchungen in der Quantenchromodynamik 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 oder Annahmen zurückgreifen zu müssen. Die Hauptmethode sind „Computerexperimente“, bei denen in sehr aufwändigen numerischen Simulationen physikalische Größen berechnet werden, die mit dem Experiment vergleichbar sind. Dabei werden nur die Gleichungen des zugrunde liegenden physikalischen Modells herangezogen, so dass eine direkte und zweifelsfreie Überprüfung eines gegebenen physikalischen Modells vorgenommen werden kann.

## Forschungsergebnisse

Ein viel versprechender Fortschritt konnte in der Algorithmus-Entwicklung erzielt werden. In einer detaillierten Studie wurde der so genannte Hasenbusch-Algorithmus ausführlich getestet. Dabei erweist es sich, dass man mehr als einen Faktor zwei an Effizienz gegenüber herkömmlichen Algorithmen erzielen kann, wie sie etwa in groß angelegten Simulationen der britischen UKQCD oder der japanischen CP-PACS Kollaborationen verwendet werden. Für kleine Werte von Quarkmassen lassen Vergleiche mit neueren Simulationen bei Verwendung des modifizierten Fermion-Algorithmus sogar eine Verbesserung um etwa einen Faktor zehn erwarten.

Die QCD ist auf dem Niveau der Quarkfelder durch ihre Parameter, die Kopplungskonstante und die Quarkmassen, gegeben. Diese fundamentalen Größen können auf dem Gitter berechnet werden. Erste Ergebnisse für diese extrem wichtigen Parameter in der vollen Theorie liegen vor. Allerdings können momentan noch keine direkten Vergleiche mit experimentell gemessenen Werten dieser Parameter vorgenommen werden, da ein numerisch sehr aufwändig zu berechnendes Glied in der Kette, die physikalische Skala, bisher noch nicht bestimmt werden konnte.

Chiral invariante Formulierungen der QCD auf dem Gitter nehmen einen immer breiteren Raum in Simulationen der Gitter-QCD ein. Diese Formulierungen werden insbesondere im Bereich sehr kleiner Quarkmassen wichtig. In den letzten Jahren konnte die analytische Grundlage im Rahmen der chiralen Störungstheorie geschaffen werden, um die numerisch gewonnenen Daten interpretieren zu können. Erste Simulationsergebnisse, die mit den theoretischen Vorhersagen der chiralen Störungstheorie konfrontiert werden können, wurden produziert, und in Kürze wird eine Analyse vorliegen. Die Forschungsaktivitäten zu den chiral invarianten Formulierungen der Gitter-QCD sind von großer Wichtigkeit, um die Extrapolation numerisch erzielter Ergebnisse, die bei unphysikalischen Werten von Quarkmassen gewonnen werden, zum physikalischen Punkt vorzunehmen.

Berechnungen des Hadron-Spektrums und von Strukturfunktionen sind Beispiele, bei denen Gitterrechnun-

gen direkt mit dem Experiment vergleichbar sind und die einen unmittelbaren Test der QCD liefern können. Beide Aspekte werden innerhalb der QCDSF-Kollaboration verfolgt. Unabhängig und mit einem alternativen Zugang beschäftigt sich auch die Zeuthen-Rom (ZeRo)-Kollaboration mit der Untersuchung der Spinstruktur von Hadronen. Im Berichtsjahr konnten auf diesem Feld Fortschritte im Verständnis des chiralen Limes erzielt werden. Außerdem werden erste Ergebnisse in der vollen Theorie gewonnen. Diese zeigen überraschenderweise keinen Unterschied zu den in der Valenzquark-Approximation gewonnenen Resultaten. Der Grund ist vermutlich, dass die Simulationen immer noch bei großen, unphysikalischen Werten der Quarkmasse durchgeführt werden. Simulationen bei kleineren Quarkmassen, die Rechenleistung im Teraflopbereich benötigen, sind sicher eines der Themen der nächsten Jahre.

Es wird allgemein vermutet, dass Phänomene wie „Confinement“ und chirale Symmetriebrechung eng mit topologischen Strukturen der Eichfeldkonfigurationen (Instantonen, Monopole) korreliert sind. Die Untersuchung dieser topologischen Strukturen könnte eine Erklärung dieser physikalischen Phänomene liefern und damit zu einem besseren Verständnis der QCD führen. Erste Untersuchungen zeigen deutliche Unterschiede zwischen der QCD in der Valenzquark-Approximation und der vollen Theorie.

Durch den Einsatz neuer statistischer Methoden kann eine Spektralanalyse der auf dem Gitter berechneten Korrelationsfunktionen vorgenommen werden. Dadurch kann die Temperaturabhängigkeit von hadronischen Parametern durch Veränderungen der Spektralverteilung sichtbar gemacht werden. Diese Methode wurde erfolgreich in der Physik bei nicht-verschwindender Temperatur eingesetzt. Als Ergebnis konnten zum ersten Mal Dilepton- und Photon-Raten bestimmt werden, die unmittelbar für Experimente wie etwa am RHIC von Relevanz sind.

Weitere Themen der NIC-Gruppe waren Hochpräzisionsstudien von niedrig-dimensionalen Spinmodellen. So wurden dort die Korrekturen endlicher Temperatur in zweidimensionalen integralen Modellen untersucht. Die Bestimmung der Effekte des QCD-Strings auf Polyakov-Schleifen-Korrelationsfunktionen tragen zum Verständnis der QCD bei großen Abständen bei.

Diese Frage, die momentan intensiv in der Literatur diskutiert wird, ist auch ein Gegenstand des Forschungsprogramms der NIC-Gruppe.

## Rechnerentwicklung

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 ausgerichteten APE (Array Processor Experiment) Rechnern.

Von der NIC-Gruppe wurde auch ein PC-Cluster genutzt. Auf diesem System konnte die oben geschilderte Algorithmusuntersuchung durchgeführt werden. Das System arbeitete stabil, und es hat sich gezeigt, dass solche Rechner ideal dazu geeignet sind, Projekte zu rechnen, die etwas außerhalb der „mainstream“ Produktionsrechnungen für langfristige Projekte liegen.

## 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 Zusammenarbeiten mit Gruppen am CERN und in Rom und Marseille.

Die QCDSF-Kollaboration unterhält enge Verbindungen mit der britischen UKQCD-Kollaboration und mit der Lattice Hadron Physics Collaboration (LHPC) am Jefferson Lab.

Die NIC-Gruppe ist an drei internationalen Netzwerken beteiligt:

- INTAS Project: Hadron Physics and Vacuum Structure from Lattice QCD,
- EU Network: Hadron Phenomenology from Lattice QCD,
- EURIDICE: European Investigations on DAPHNE and other International Collider Experiments using

Effective Theories of Colors and Flavours from the Phi to the Upsilon.

Sie ist außerdem an zwei nationalen, von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützten Projekten beteiligt.

Das erste Projekt ist ein Sonderforschungsbereich/Transregio „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-Gruppe von DESY Zeuthen. Der SFB umfasst die Teilbereiche Störungstheoretische Methoden und Gittersimulationen in der Quantenfeldtheorie, Vorhersagen für Hochenergieereaktionen und Schwere Quarks und Flavour Physik. Der SFB/TR ist in dieser Form weltweit einmalig, da er Störungstheorie, Phänomenologie und Gitterrechnungen zusammenbringt, um gemeinsam in einer transregionalen Zusammenarbeit grundlegende physikalische Fragen zu beantworten und die Interpretation von Hochpräzisionsdaten zukünftiger Beschleuniger zu ermöglichen.

Das zweite Projekt ist die DFG-Forschergruppe „Gitter-Hadronen-Phänomenologie“. An dieser Forschergruppe beteiligen sich die Universitäten Regensburg, HU Berlin und Leipzig sowie das MPI in München und das NIC/DESY Zeuthen. Das Physikprogramm beinhaltet Hadron-Phänomenologie, Gitterfeldtheorie inklusive Algorithmenentwicklung, Gitterstörungstheorie und Renormierung, Operatorproduktentwicklung (OPE), Renormaloneffekte und Physik der Potenzkorrekturen, Heavy Quark Effective Theories (HQET), B-Physik und Physik des QCD Vakuums: Instantonen, Monopole und Confinement.

Im Januar 2002 trafen sich Repräsentanten der deutschen Gittergemeinschaft in Zeuthen, um Möglichkeiten zu diskutieren, die Gitter-Aktivitäten in Deutschland zu bündeln und zu koordinieren. Es wurde beschlossen, sich zu einem Lattice Forum „LATFOR“ der deutschen Gittergemeinschaft mit Assoziation von Österreich (Graz, Wien) und der Schweiz (Bern) zusammenzuschließen. Die Koordination des LATFOR hat zur Zeit das NIC. Von LATFOR wird ein Vorschlag für einen Multi-Teraflops-Rechner für die Gittertheorie ausgearbeitet, dem das anspruchsvolle und ehrgeizige Physikprogramm der deutschen Gittergemeinschaft zugrunde liegt.

## Arbeiten zum TESLA-Projekt

### Physik und Detektor bei TESLA

DESY Zeuthen beteiligt sich weiterhin stark an den Vorstudien zur Physik und zum Detektor bei TESLA. Schwerpunkt der Arbeiten sind Studien zu einem Photon-Collider bei TESLA und Entwicklungen für ein Kalorimeter direkt am Strahlrohr als instrumentierte Maske. Diese Arbeiten werden im Folgenden näher beschrieben.

Im Rahmen des ECFA/DESY Workshops wurden jedoch noch einige andere Arbeiten durchgeführt. Diese waren:

- Physikalische Analysen zum Standardmodell Higgs-Boson und zur Top-Quark Erzeugung im Energiebereich von 300–500 GeV,
- Studien der zwei-Fermion Produktion bei hohen Energien und Interpretation im Rahmen neuer Physik,
- Untersuchung von Stop- und Sbottom-Produktion im Rahmen supersymmetrischer Modelle,
- Pflege der Detektor-Simulationsprogramme BRAHMS und SIMDET,
- Untersuchungen zur Messung der Strahlpolarisation,
- Koordination der Arbeitsgruppe zur elektroschwachen Physik in der ECFA/DESY Studie.

### Arbeiten für den Photon-Collider

Im Prinzip besteht die Möglichkeit, TESLA um einen  $\gamma\gamma$ -Collider zu erweitern, indem man die Strahlen kurz vor dem Wechselwirkungspunkt mit einem Laserstrahl kollidiert. Durch Compton-Streuung werden dann Photonen mit maximal 80% der Strahlenergie erzeugt, die im Wechselwirkungspunkt kollidieren. In Zeuthen werden die Machbarkeit sowie die physikalische Motivation dieses Projekts untersucht.

Wenn ein leichtes Higgs-Boson  $H$  existiert, ist der Wirkungsquerschnitt des Prozesses  $\gamma\gamma \rightarrow H \rightarrow b\bar{b}$  groß genug, dass er zur Messung der partiellen Zerfallsbreite

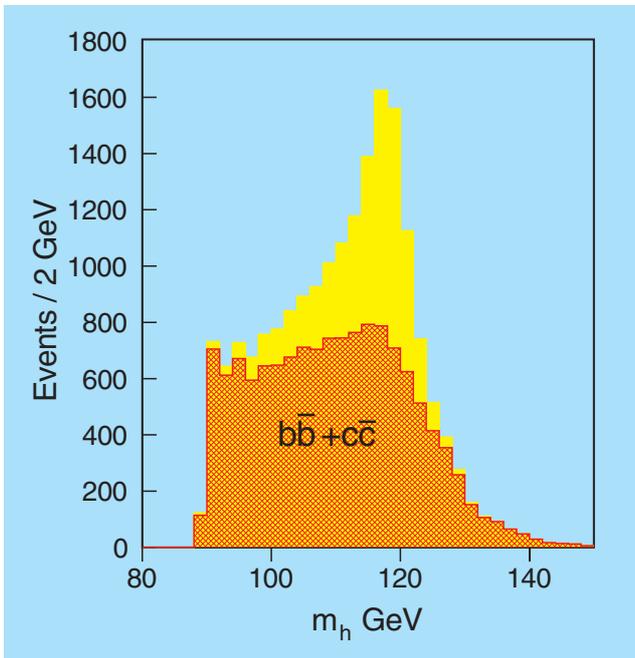


Abbildung 94: Das simulierte invariante Higgs-Massenspektrum  $m_h$  an einem  $\gamma\gamma$ -Collider unter Berücksichtigung von Detektor und Untergrund.

des Higgs-Bosons in zwei Photonen genutzt werden kann. Die Messung dieser Zerfallsbreite ist sehr wichtig, da der Zerfall des Higgs-Bosons in zwei Photonen über Schleifendiagramme verläuft und der Prozess daher sehr sensitiv auf Physik jenseits des Standardmodells ist. In Zeuthen wird dieser Prozess detailliert simuliert unter Berücksichtigung aller Detektor- und

Untergrund-Einflüsse, so dass eine mögliche Messgenauigkeit zuverlässig abgeschätzt werden kann. Abbildung 94 zeigt das simulierte invariante Massenspektrum unter Berücksichtigung von Detektor und Untergrund.

Eine mögliche Erweiterung des Standardmodells ist die Supersymmetrie. Falls es supersymmetrische Teilchen im Energiebereich von TESLA gibt, ist die Produktionsrate im  $\gamma\gamma$ -Modus höher als im  $e^+e^-$ -Modus. Es ist daher sinnvoll zu untersuchen, in welchem Modus Zerfallsparameter der supersymmetrischen Teilchen besser gemessen werden können. Erste Untersuchungen in diese Richtung haben in Zeuthen begonnen.

Wenn kein leichtes Higgs-Boson existiert, erwartet man, aus Messungen der Eichboson-Selbstkopplung Rückschlüsse auf den Mechanismus der elektroschwachen Symmetriebrechung ziehen zu können. Auch die Produktionsrate von Eichbosonen ist im  $\gamma\gamma$ -Modus wesentlich höher. Detaillierte Studien zu den Prozessen  $e\gamma \rightarrow \nu W^-$  und  $\gamma\gamma \rightarrow W^+W^-$  haben begonnen, wobei erste Ergebnisse darauf hindeuten, dass die erreichbare Genauigkeit im  $e^+e^-$ -Modus wesentlich höher ist.

Durch die Aufweitung des Elektronenstrahls in der Kollision mit dem Laser treffen viel mehr Strahlteilchen den Detektor im Bereich um das Strahlrohr. Durch Rückstreuung führt dies zu einem erheblich höheren Untergrund niederenergetischer Photonen im gesamten Detektor. Durch den Entwurf einer geeigneten Maske um das Strahlrohr konnte dieser Untergrund auf ähnliche Werte wie in  $e^+e^-$  reduziert werden. Abbildung 95

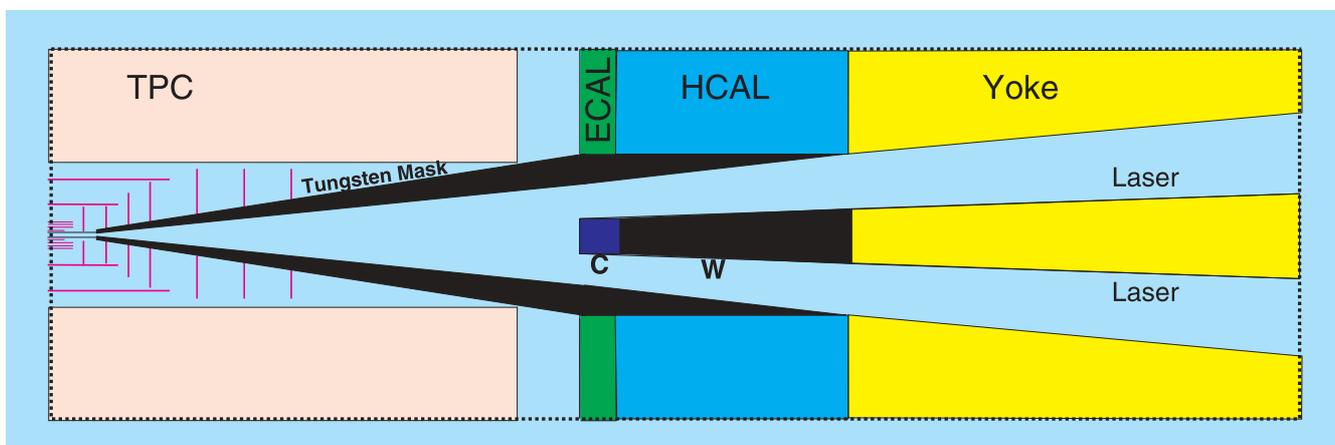


Abbildung 95: Skizze des inneren Bereichs eines Detektors für einen  $\gamma\gamma$ -Collider.

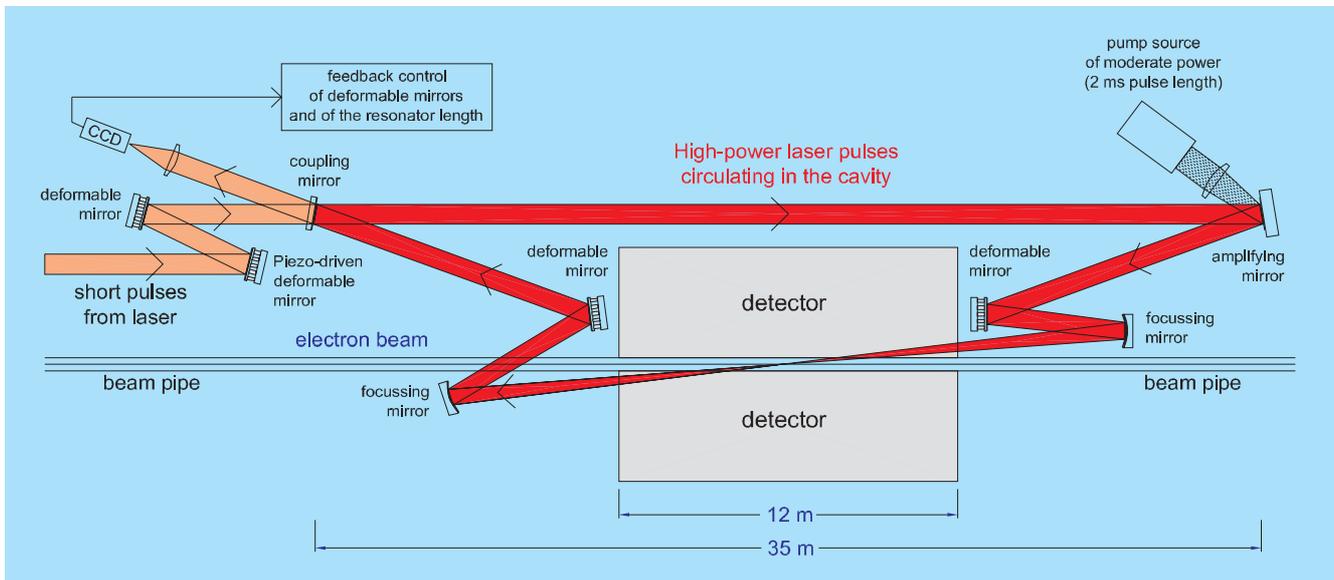


Abbildung 96: Vom Max-Born-Institut Berlin vorgeschlagener Laser-Ring-Resonator für einen  $\gamma\gamma$ -Collider.

zeigt eine Skizze des inneren Bereichs des Detektors für den  $\gamma\gamma$ -Collider.

Das schwierigste Problem beim  $\gamma\gamma$ -Collider ist der Bau des Hochleistungslasers. Für die Kollision mit den Elektronenpaketen werden Laserpulse von etwa 5 J Energie, ein bis zwei Pikosekunden Dauer und der Zeitstruktur des Beschleunigers gebraucht. Das Max-Born-Institut (Berlin) hat vorgeschlagen, die Laserenergie in einem Ringresonator zu speichern, um so die Anforderungen an den Laser um etwa einen Faktor 100 zu verringern. Der vorgeschlagene Resonator ist in Abbildung 96 gezeigt. In Kollaboration mit dem Max Born Institut wird ein Entwurf des Resonators erarbeitet.

### Instrumentierung der Strahlmaske des TESLA-Detektors

Eingegliedert in die DESY Aktivitäten zur Entwicklung eines Teilchendetektors für TESLA versucht die Zeuthener Gruppe, eine optimale Instrumentierung des extremen Vorwärts- und Rückwärtsbereiches zu finden.

Es handelt sich dabei um den Bereich unmittelbar um das Strahlrohr, vor den Magneten des „Final Focus“.

Mit jedem Schuss von TESLA wird eine große Menge an so genannter Beam-Strahlung erzeugt werden, die zu einer Energiedeposition von mehreren zehn TeV in diesem Bereich führen wird, und zwar vornehmlich durch Elektronen und Positronen aus Paarbildung (Abb. 97). Dies macht die Instrumentierung dieses Bereiches zu einer großen experimentellen Herausforderung.

Die Detektoren in diesem Bereich haben eine Reihe von Aufgaben zu erfüllen:

- Abschirmung des Hauptdetektors gegen Rückstreuung aus dem Bereich des Strahlrohres,
- Vermessung der Beam-Strahlung und Analyse in Bezug auf Strahlparameter zur Optimierung der Luminosität,
- präzise Messung der Luminosität über Bhabha-Streuung,
- Identifikation hochenergetischer Elektronen und Positronen mit Streuwinkeln bis ans Strahlrohr.

Mittels Simulation konnte gezeigt werden, dass der Nachweis hochenergetischer Elektronen und Positronen mit Streuwinkeln von wenigen mrad möglich ist (Abb. 98). Auch im Bereich der Strahlidiagnose wurden große Fortschritte erzielt.

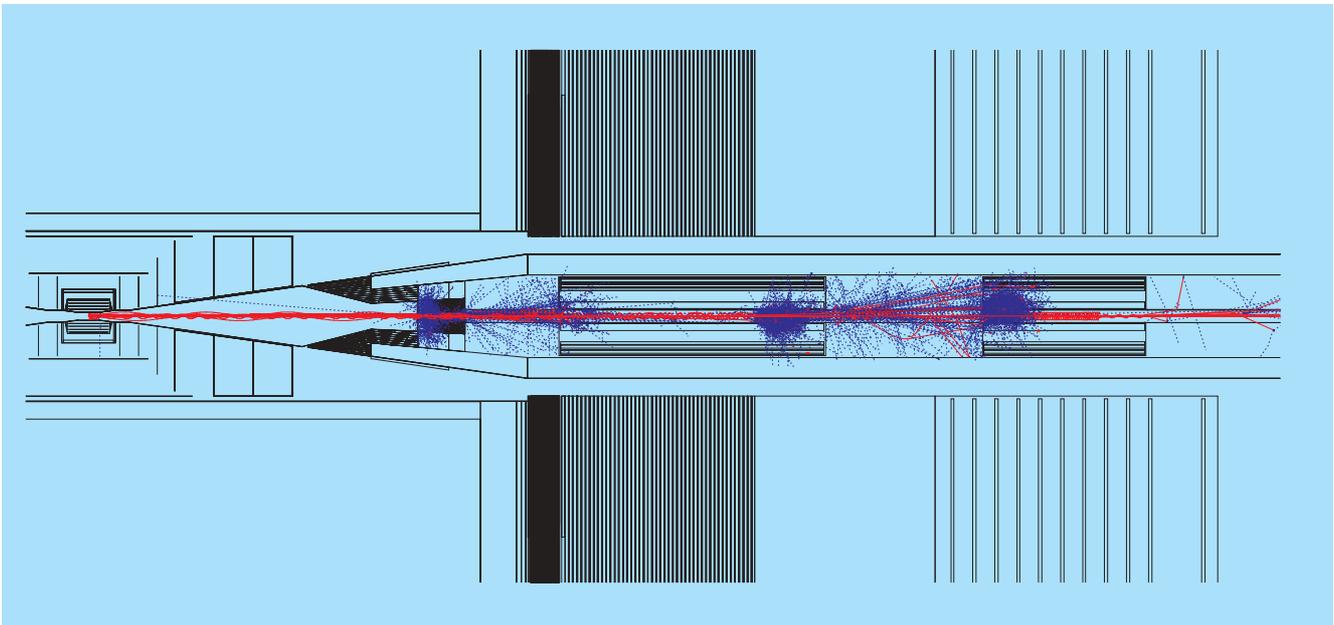


Abbildung 97: Computersimulation eines Bruchteiles der Beam-Strahlung einer TESLA-Kollision.

Zwei Kalorimeter sind in diesem Bereich vorgesehen: Das äußere Kalorimeter mit der Luminositätsmessung als Hauptaufgabe soll als Silizium-Wolfram Sandwich-Kalorimeter realisiert werden. Beim inneren Kalorimeter, das von der Beam-Strahlung getroffen wird, ist die Frage der technischen Realisierung offen. Zwei Hardware Projekte wurden gestartet, um die beiden interessantesten Lösungsansätze näher zu untersuchen. Hierbei handelt es sich um ein Diamant-Wolfram Sandwich-Kalorimeter oder ein Kristall-Kalorimeter

mit Faserauslese. Der Vorteil der Diamant-Wolfram Lösung wäre ein minimaler Moliere-Radius (kompakte Schauer), hohe Granularität und große Strahlenhärte. Allerdings stellen Diamant-Sensoren experimentelles Neuland dar.

Auf Initiative der Zeuthener TESLA-Detektor Gruppe hat sich eine internationale Kollaboration gebildet, die im Laufe von 2 Jahren einen ersten Designentwurf erarbeiten will und insbesondere die Frage der optimalen Technologie angehen wird. Ein entsprechender Experimentierorschlag wurde im November vom PRC positiv begutachtet.

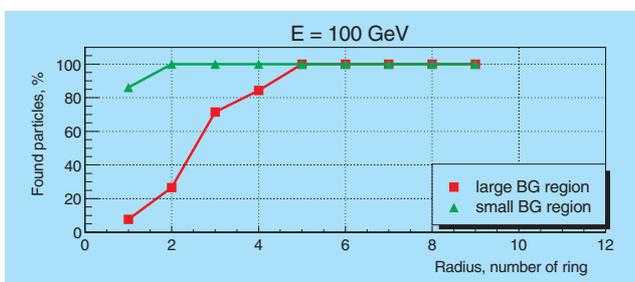


Abbildung 98: Nachweiswahrscheinlichkeit von 100 GeV Elektronen im innersten Kalorimeter unter Berücksichtigung des Beam-Strahlungs-Untergrundes (Simulation).

## TESLA-Diagnose

Die Arbeiten der TESLA-Gruppe im Berichtszeitraum 2002 umfassten Untersuchungen zu bei der TESLA Test Facility TTF eingebauten Strahlung-Monitoren, die Entwicklung neuartiger Monitore für das Zukunftsprojekt TESLA sowie Studien zur Physik bei TESLA, die Weiterführung des Programmpakets SIMDET und Abschätzungen von Myon-Untergrundraten bei CLIC.

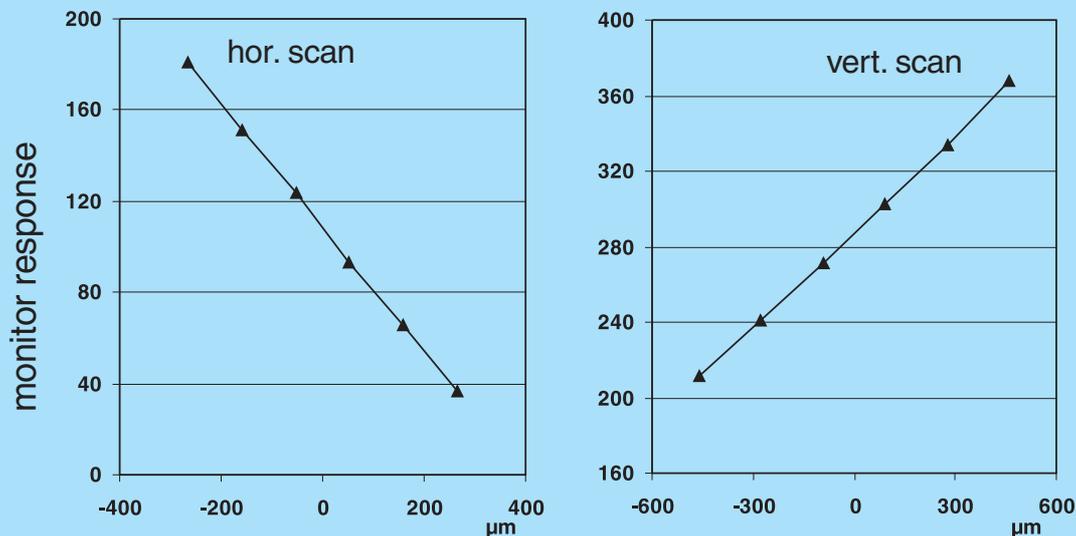


Abbildung 99: Horizontale und vertikale Ablagen für einen der Cavity-Monitore zwischen TTF-FEL Undulatormodulen.

Für die 1.57 GHz Cavity-Monitore in den Beschleunigungsmodulen von TTF wurde weitere Elektronik unter Berücksichtigung der Erfahrungen vorangegangener aufgebaut. Insbesondere konnten frühere Schwingungseffekte in Verstärkerstufen vermieden werden. Damit ist gewährleistet, dass in der zweiten Ausbaustufe von TTF für alle Cavity-Monitore Elektroniken guter Qualität bereitstehen.

Von den vier 12 GHz Cavity-Monitoren in den Diagnostik-Stationen zwischen den Undulatormodulen bei TTF-FEL1 war bekannt, dass deren Resonanzfrequenzen für die Ablagebestimmung von der Sollfrequenz erheblich abweichen. Daher wurden zwei der vier Monitore, für die diese Abweichungen noch tolerabel waren, für systematische Messungen ausgewählt. Für diese Monitore wurden Strahlpositionsmessungen für Strahlströme im Bereich von 0.5–3.0 nC durchgeführt. Die Strahlposition wurde dabei systematisch in der Ebene transversal zum Strahl variiert. Innerhalb der gewählten Ablagebereiche wurde Signal-Linearität mit wachsendem Strahlstrom beobachtet. Die Ortsauflösung der Monitore wurde zu einigen  $\mu\text{m}$  in x- und y-Richtung ermittelt (Abb. 99). Die Entwicklungsarbeiten an diesen

Monitoren werden wegen der geschilderten Schwierigkeiten eingestellt.

Ein Vorteil dieser Art von Monitoren ist der hohe Signalpegel, der eine derartig gute Ortsauflösung ermöglicht. Als Nachteil erwies sich die Einhaltung sehr kleiner Toleranzen (von einigen  $\mu\text{m}$ ), um Zeitunsicherheiten in der I-Q-Modulation unterhalb einer notwendigen Schranke zu halten.

### Wirescanner

In Gemeinschaftsarbeit zwischen dem HASYLAB und DESY Zeuthen wurde ein Wirescanner für den Freielektronen Laser FEL an TTF2 entwickelt. Ein Prototyp des Wirescanners wurde im November 2001 bei TTF1 eingebaut und ein Jahr lang erfolgreich betrieben. Ein mit dem Draht verbundenes hochauflösendes Messsystem gestattet es, im Fast- und Slow-Modus das Profil und die Position des Strahls genau zu bestimmen. Durch eine Referenzierung der Einbaulage ist eine absolute Strahlagebestimmung von 20–30  $\mu\text{m}$  am Ort des Wirescanners möglich (Abb. 100).



Abbildung 100: Prototyp eines Wirecanners für TTF.

Ausgehend von der Idee, die Strahlenergie bei TESLA mit Hilfe eines Magnetspektrometers vor dem Wechselwirkungspunkt zu messen, wurde in Zusammenarbeit mit der TU Berlin ein spezieller Strahlage-Monitor mit extrem hoher Ortsauflösung für Einzelpaketmessungen entwickelt. Durch Einbringen eines (Doppel-T-) Schlitzes in eine Cavität und Auskopplung des untergrundfreien Ablagesignals über Wellenleiter scheint es möglich, eine Auflösung im Bereich von  $0.2 \mu\text{m}$  zu erreichen. Ein erster Prototyp wurde gefertigt (Abb. 101), und erste Messungen bestätigen die theoretischen Erwartungen.

Gemeinsam mit dem Institut für Kernphysik der Staatsuniversität Moskau wurden weitere Untersuchungen zur Auslotung des physikalischen Potenzials eines  $e^+e^-$  Linear-Colliders im Energiebereich von 0.5 bis 1 TeV durchgeführt. In Berichtsjahr konzentrierten sich die Studien auf das Finden der besten Möglichkeit, das Verzweungsverhältnis des Higgs-Bosons in ein Z-Boson und ein Photon in den Beschleunigeroptionen  $e^+e^-$ ,  $e\gamma$  und  $\gamma\gamma$  zu messen, sowie auf eine Detailstudie zur Messung der  $HZ\gamma$ -Kopplung im WW-Fusionsprozess  $e^+e^- \rightarrow \nu\bar{\nu}H \rightarrow \nu\bar{\nu}Z\gamma$  bei einer Schwerpunktsenergie von 500 GeV. Mit der Annahme von  $1 \text{ ab}^{-1}$  integrierter Luminosität und geeignet gewählten  $e^+e^-$ -Polarisationszuständen ist die  $HZ\gamma$ -Kopplung mit einem relativen Fehler von 8–14% für  $M_H = 120\text{--}160 \text{ GeV}$  messbar. Die Ergebnisse dieser Analysen sind als DESY Preprints oder LC Notes bzw. als Konferenzbeiträge zusammengefasst.



Abbildung 101: Neuartiger Monitor mit extrem guter Ortsauflösung für das Energiespektrometer bei TESLA.

Darüber hinaus wurde das schnelle Detektor-Simulationsprogramm SIMDET auf die im Technischen Design Report von TESLA beschriebenen Detektorkomponenten angepasst. Weitere Optionen wie die Bereitstellung der Kovarianzmatrix für geladene Teilchen und  $dE/dx$  Informationen wurden hinzugefügt. Das überarbeitete Programm steht seit Sommer 2002 als Version 4 zur Verfügung.

Abschätzungen zur Myon-Untergrundrate in einem hypothetischen Detektor am 3–5 TeV Linear-Collider CLIC (CERN) wurden abgeschlossen und waren Bestandteil von Konferenzbeiträgen.

## Photoinjektor-Teststand

Der Photoinjektor-Teststand bei DESY Zeuthen (PITZ) ist eine Beschleunigeranlage zur Entwicklung und Erforschung von Hochfrequenz-Photoinjektoren (Abb. 102). Diese komplexe Art der Elektronenquellen produziert Elektronenpakete extrem kleiner Emittanz und Länge, wie sie für den Betrieb von Freie-Elektronen Lasern (FEL) und zukünftigen Linearbeschleunigern benötigt wird. Nach rund zweijähriger Bauzeit der Anlage konnten am 13. Januar 2002 am Photoinjektor-Teststand erstmals Elektronen durch Photoemission erzeugt und nachgewiesen werden (Abb. 103). Die offizielle Inbetriebnahme des Photoinjektor-Teststandes erfolgte schließlich am 30. Januar 2002 während der



Abbildung 102: Ansicht des Photoinjektor-Teststandes bei DESY Zeuthen (PITZ).

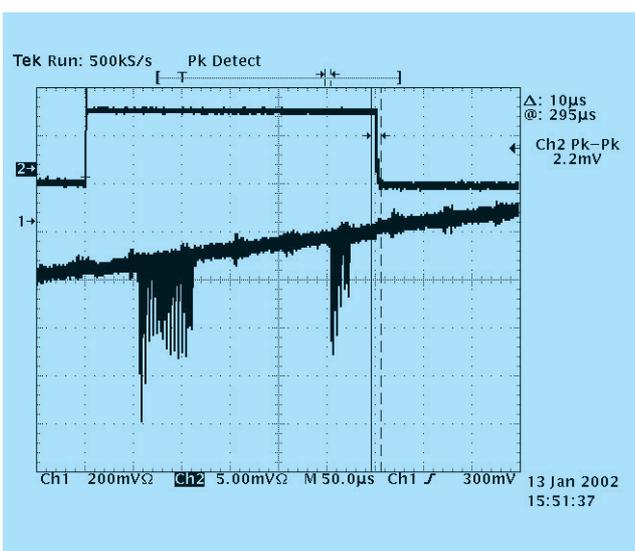


Abbildung 103: Erste Photoelektronen bei PITZ, beobachtet am 13.1.2002.

Feierlichkeiten des Fest-Kolloquiums zum zehnjährigen Bestehen von DESY Zeuthen im Beisein der Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg, Frau Prof. Wanka.

Mit dem Photoinjektor-Teststand bei DESY Zeuthen sollen verschiedene Elektronenquellen sowohl für den TTF-FEL2 und den TESLA-XFEL als auch für den großen TESLA-Linearbeschleuniger entwickelt und optimiert werden.

Nach der offiziellen Inbetriebnahme war die weitere Arbeit am Photoinjektor-Teststand bestimmt durch mehrwöchige kontinuierliche Betriebsphasen im 24 Stunden Schichtbetrieb und weitere Ausbauphasen der Anlage. Während der Konditionierungsarbeit im Frühjahr konnte bereits die in die Kavität eingespeiste Hochfrequenzleistung schrittweise auf etwa 2 MW bei Hochfrequenz-Pulslängen von 400  $\mu$ s und einer Wie-

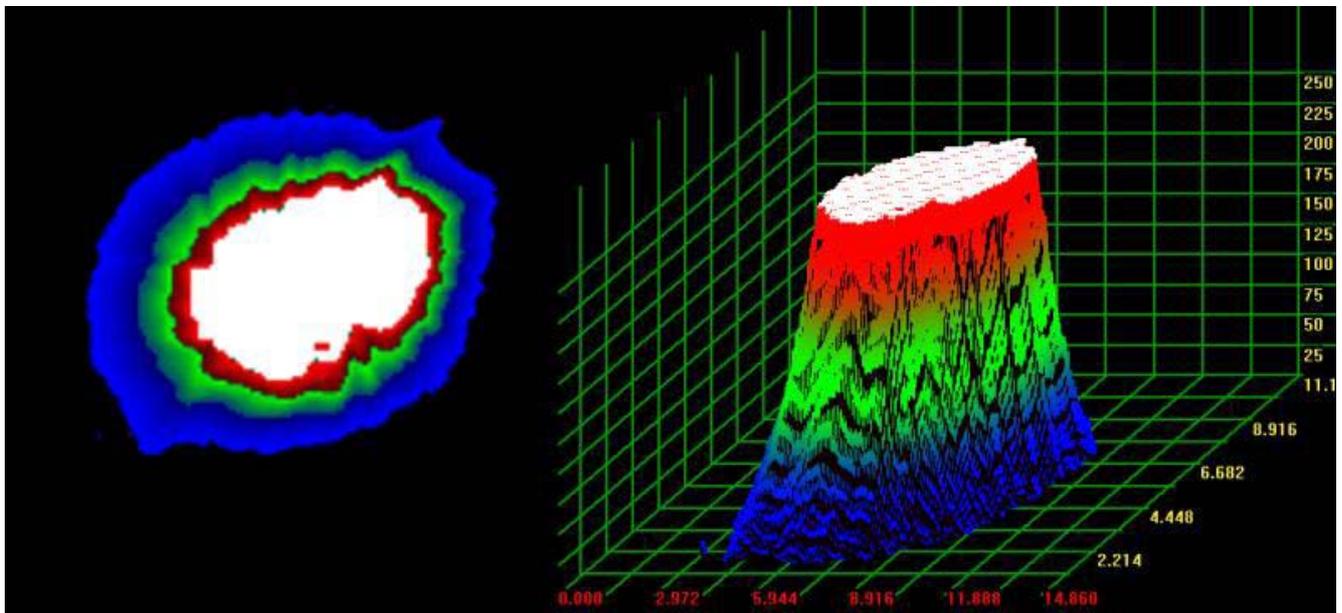


Abbildung 104: Messung des Strahldurchmessers, vermessen in der PITZ-Diagnose-Sektion im Sommer.

derholrate von 5 Hz gesteigert werden. Dieser Betriebsphase schlossen sich weitere Installationen bzw. Modifikationen an, wie Arbeiten zur Elektronik, Software und Mechanik für die Hochfrequenzversorgung und -regelung und deren Interlocksystem sowie Tätigkeiten im Zusammenhang mit dem Vakuum- und Kontrollsystem sowie dem Laserstrahltransportsystem und den Diagnosekomponenten zur Vermessung des Elektronenstrahls. Im Laufe des Jahres wurde die Hochfrequenzversorgung, bestehend aus Klystron, Pulstransformer und Modulator, weiter ausgebaut und vollständig konditioniert, das heißt 5 MW Ausgangsleistung mit Hochfrequenz-Pulslängen von 1 ms bei der Wiederholrate von 10 Hz erreicht. Außerdem wurde eine Wasserregelung der Kavität zur Stabilisierung der Resonanzfrequenz auch bei hohen mittleren Leistungen in Betrieb genommen. In der anschließenden Betriebsphase wurden die Diagnosekomponenten des Photoinjektor-Teststandes Schritt für Schritt in Betrieb genommen, so dass bereits auf der EPAC Konferenz 2002 in Paris erste Ergebnisse des Experimentierprogramms zur Bestimmung der Elektronenstrahl-Parameter vorgestellt werden konnten.

Um das Projektziel zu verfolgen, Elektronenstrahlen mit einer mittleren Ladung pro Elektronenpaket von

1 nC bei möglichst kleinen transversalen und longitudinalen Emittanzen zu produzieren, mussten ausgiebige Justierungen am Laserstrahltransportsystem sowie an den Fokussierungsmagneten durchgeführt werden. Das Experimentierprogramm im Sommer erlaubte erstmalig detaillierte Untersuchungen der Prozesse bei der Erzeugung, Beschleunigung, Formung und Vermessung der Elektronenpakete. Abbildung 104 zeigt eine Messung des Strahldurchmessers, vermessen in der Diagnose-Sektion im Sommer 2002. Die Ergebnisse konnten im September auf der FEL 2002 Konferenz in Argonne vorgestellt werden.

Im Herbst wurde mit dem Umbau der Diagnosesektion begonnen, durch den die Modularität und Flexibilität der Strahlvermessung deutlich erhöht wird. Inzwischen hatte sich aus Simulationsrechnungen ergeben, dass eine neue Position des Fokussierungsmagneten, der die Kavität umgibt, bei der Anwendung für TTF-FEL2 wichtig ist, um bessere Elektronenstrahl-Eigenschaften zu erhalten. Aus diesem Grunde musste die Kavität aus der Anlage demontiert und deren Kühlsystem derart modifiziert werden, dass die longitudinale Verschiebung des Fokussierungsmagneten mechanisch erlaubt ist. Parallel dazu wurde am Bau eines Messsystems zur Bunchlängenbestimmung der Elektronen gearbeitet.

tet, das auf einem Cherenkov-Strahler basiert. Die Umbautätigkeiten konnten im November weitestgehend abgeschlossen werden.

Die Wiederinbetriebnahme erfolgte im Dezember mit der Konditionierung der Kavität, bei der schließlich bei Pulslängen von  $100\ \mu\text{s}$  Leistungen in der Kavität von mehr als 3 MW erreicht wurden. Geplant ist, die Charakterisierung der Elektronenquelle im kommenden Jahr pünktlich für den Einbau bei TTF-FEL2 abzuschließen.

Neben diesen Aufgaben wurde im Laufe des Jahres ein Konzept für das weitere wissenschaftliche Programm von den Kooperationspartnern erarbeitet, das unter anderem dem „Machine Advisory Committee“ MAC vorgelegt wird. Ziel dieses Konzeptes ist die Untersuchung und Optimierung des Prinzips zur Erhaltung kleinster Emittanzen in den ersten Beschleunigungselementen mit Hilfe einer Booster-Kavität. Darüber hinaus wird in dem Konzept die Weiterentwicklung aller Komponenten für die Erzeugung kleinster Emittanzen angestrebt. Im Zusammenhang damit wurde mit dem Aufbau einer zweiten Hochfrequenzversorgung begonnen. Außerdem ist eine vorläufige Version einer Booster-Kavität, eine bereits am Fermilab benutzte 9-zellige normalleitende Kupferkavität, in Zeuthen eingetroffen.

Das Zeuthener Projekt wurde auch im Jahr 2002 aus dem Vernetzungsfond der Helmholtz-Gemeinschaft-Deutscher-Forschungszentren (HGF) in Kooperation mit BESSY (Berlin), MBI (Berlin) und der TEMF der TU-Darmstadt gefördert. Weiterhin besteht eine gute Zusammenarbeit mit INFN Milano, INR Troitsk, INRNE Sofia und YERPHI Yerevan.

## Experimente-Support

Im Berichtsjahr lag der Schwerpunkt der Arbeiten in der Mitgestaltung und Organisation von populärwissenschaftlichen und wissenschaftlichen Veranstaltungen.

Im Vorfeld wurden Aufgaben wie Plakat- und Webseitengestaltung sowie deren Pflege im weiteren Verlauf übernommen. Bei allen Veranstaltungen lagen die Organisation von Unterkünften, Verpflegung, Anmeldung, Informationsmaterial, Rahmenprogramm und weiteren



Abbildung 105: Während der Pressekonferenz zur Eröffnung der TESLA-Ausstellung im VW-Forum Unter den Linden in Berlin erläutert der Vorsitzende des DESY-Direktoriums, Prof. A. Wagner, die TESLA-Kavitäten, die das Herzstück des TESLA-Beschleunigers darstellen.

organisatorischen Aufgaben, die für einen reibungslosen Ablauf notwendig sind, innerhalb des Experimente-Supports. Bei der Durchführung unterstützte die Gruppe die Organisatoren bei Registrierung der Teilnehmer, Erstellung und Pflege von Datenbanken sowie der Dokumentation und Archivierung der Vorträge.

Ein Höhepunkt der Öffentlichkeitsarbeit war die Gestaltung und Organisation der Ausstellung „TESLA – Licht der Zukunft“, die vom 16.01. bis 17.02. 2002 in Berlin im Automobil Forum Unter den Linden stattfand (Abb. 105). Die Ausstellung informierte anschau-

lich mit Hilfe von Modellen, Originalteilen, Ausstellungstafeln und Computeranimationen über das bei DESY geplante internationale Großforschungsprojekt TESLA. Die Schwerpunkte der Ausstellung waren die Themen TESLA – das Projekt, der Beschleuniger, Teilchenphysik mit TESLA und Röntgenlaser und ihre Anwendungen. Dem Besucher wurde „Physik zum Anfassen“ durch Hands-on-Exponate sowie vertiefendes Wissen durch Wissensinseln und zusätzliches Informationsmaterial geboten. Die permanente Betreuung der Ausstellung durch Wissenschaftler und Physikstudenten war ein wesentlicher Beitrag zum Erfolg, sie standen für Fragen zur Verfügung und boten mehrmals täglich Führungen an.

Neben den zweimal wöchentlich stattfindenden Schülertagen gab es weitere Veranstaltungen während des Ausstellungszeitraumes, die unterschiedliche Zielgruppen über das Projekt TESLA informierten:

- Pressefrühstück,
- Eröffnungsveranstaltung,
- NDR-Wissenschaftsforum,
- Treffen von Mitgliedern der TESLA-Kollaboration mit in Berlin akkreditierten Wissenschaftsattachés,
- Abendveranstaltung zum zehnjährigen Jubiläum DESY Zeuthen,
- Lange Nacht der Museen (Abb. 106),
- Tag der Wissenschaft mit Vorträgen für Wissenschaftler aus allen Bereichen der Forschung.

Während des gesamten Ausstellungszeitraums kamen 22 000 Besucher, darunter mehr als 70 Schulklassen, in die Ausstellung und waren vom Erlebnis „Physik“ fasziniert. Die Resonanz bei Besuchern sowie in Presse und Fernsehen war sehr positiv.

Die Erarbeitung des Konzeptes und die Umsetzung erfolgten in sehr enger Zusammenarbeit von DESY-Mitarbeitern in Hamburg und Zeuthen. Absprachen für Werbemaßnahmen, Organisation der Ausstellungsbetreuung und der Anmeldungen von Besuchergruppen sowie die Unterstützung bei der Durchführung der Veranstaltungen lagen ebenso in der Verantwortung der Gruppe Experimente-Support wie das Mitwirken bei der Umsetzung des Gesamtkonzeptes bis hin zum Auf- und Abbau.



Abbildung 106: Am 02.02.2002 strömten etwa 6000 Besucher während der Langen Nacht der Museen in die Ausstellung, um Physik und Live-Musik – R. Brinkmann und Six in a Bar – auf der Bühne zu erleben.

Auch im Jahr 2002 wurde die aktive und öffentlichkeitswirksame Zusammenarbeit mit Schulen und anderen Ausbildungsstätten durch die vielen Besuche von Schüler- und Studentengruppen am Standort Zeuthen deutlich. Am 26. Oktober kamen viele interessierte Besucher, um sich bei Vorträgen und Führungen durch die Werkstätten und die Labors über die Arbeit bei DESY zu informieren und die Forschungsbereiche der Elementarteilchenphysik näher kennen zu lernen.

Bei Veranstaltungen wie dem Brandenburgtag im September in Neuruppin, der Auszeichnung der zwei Jahrgangsbesten im Beruf Industriemechaniker im Oktober, der Teilnahme an der Ausbildungsbörse des Landkreises Dahme-Spreewald im November in Lübben sowie der Weiterbildung für Physiklehrer in Zeuthen am Ende des Berichtszeitraumes wurden Poster bzw. Informationsmaterial bereitgestellt.

Durch das Erstellen von Text- und Bildmaterial sowie die Aufarbeitung und Zusammenfassung wissenschaftlicher Analysedaten, Berichte und Referenzlisten unterstützte die Gruppe die Präsentation der Forschungsvorhaben bei DESY Zeuthen. Anfang Mai präsentierte DESY Zeuthen sein Forschungsprofil am Stand des Landkreises Dahme-Spreewald auf der Internationalen Luftfahrtausstellung in Berlin Schönefeld, Ende Juni 2002 beim Tag der Wissenschaft des Landes Brandenburg in Potsdam.

Durch die Teilnahme an Treffen des Landesvereins außeruniversitärer Forschungseinrichtungen LAUF e.V., bei dem auch DESY Mitglied ist, wurde der Erfahrungsaustausch mit anderen Einrichtungen erhöht. Neben der gemeinsamen Gestaltung einer Imagebroschüre und der gemeinsamen Webseiten werden Veranstaltungen vorbereitet für das Jahr 2003, welches offiziell das „Jahr der Wissenschaften“ in Brandenburg ist.

Eine bedeutende Aufgabe lag in der Gestaltung des gesamten Grafik- und Bildmaterials für die Studie „Teilchenphysik in Deutschland – Status und Perspektiven“, die im November 2002 vom Komitee der Elementarteilchenphysik KET herausgegeben wurde.

Auch weiterhin konnte das breite Spektrum an Serviceleistungen zur Verfügung gestellt werden. Ein wesentlicher Bereich ist hierbei die Betreuung der ausländischen Gäste während ihres Aufenthaltes in Zeuthen. Dazu zählen aber auch neben den Kopieraufträgen, dem Fertigen von Bindungen für Dokumentationen und Veröffentlichungen, der Verwaltung der Dosimeter und des Fotoarchivs die Betreuung technischer Geräte (Kopierer, Projektoren, Kameras) sowie die Inbetriebnahme und Wartung von Exponaten.

## Konferenzen und Workshops

Gruppen aus Zeuthen waren in diesem Jahr an der Organisation folgender internationaler Konferenzen und Workshops beteiligt:

- APE Tutorial @ DESY Zeuthen, Februar 2002, Zeuthen:  
Das Tutorial wurde ausgerichtet vom NIC mit Unterstützung der Gruppe Experimente-Support. 35 Studenten aus Deutschland, Frankreich und Großbritannien nahmen teil, um sich in die Gitterfeldtheorie und die APEmille-Programmierung einführen zu lassen.
  - Workshop on Light Quark Phenomenology and Kaon Physics, April 2002, Zeuthen:  
Der Workshop wurde ausgerichtet im Rahmen des EU-Networks „Hadron Phenomenology from Lattice QCD“ mit Beteiligung des NIC und der Gruppe Experimente-Support. Die überaus positive Bewertung des Netzwerkes verdeutlicht, welches Engagement in das Netzwerk gesteckt wurde.
  - 35th International Symposium Ahrenshoop, August 2002, Wernsdorf/D:  
Die Konferenz wurde gemeinsam von der Theoriegruppe und der Humboldt Universität Berlin organisiert.
  - 6th International Symposium on Radiative Corrections: Application of Quantum Field Theory to Phenomenology – RADCOR 2002 and 6th Zeuthen Workshop on Elementary Particle Theory: Loops and Legs in Quantum Field Theory, September 2002, Kloster Banz/D:  
Die Konferenz hatte 110 Teilnehmer und wurde von der Theoriegruppe gemeinsam mit der Universität Karlsruhe und dem MPI München organisiert, unterstützt durch die Gruppe Experimente-Support, die auch die Proceedings zusammengestellt und bis zum fertigen Drucklayout mit gestaltet hat.
- Folgende Tagungen und Workshops wurden bei DESY Zeuthen mit wesentlicher Unterstützung der Gruppe Experimente-Support durchgeführt:
- HERA-Seminar, Januar 2002,
  - Kohärente Synchrotronstrahlung, Januar 2002,
  - Festkolloquium mit Vorträgen anlässlich des 10-jährigen Jubiläums von DESY Zeuthen, Januar 2002,
  - Graduiertenkolleg der Universität Hamburg, März und Oktober 2002,
  - HEP-Jamboree, Mai 2002,
  - AMANDA Workshops on Software, Analysis and Simulation, Oktober 2002.