

Astroteilchenphysik

Gruppenleiter: S. Schlenstedt

Die Neutrinoastrophysik-Gruppe in Zeuthen arbeitet in Projekten an zwei Standorten: am Südpol und am Baikalsee. Das Schwergewicht der Aktivitäten liegt bei AMANDA, dem Neutrino-teleskop am Südpol und bei seinem Folgeprojekt, dem IceCube-Teleskop. Der andere Detektor ist NT200+ im sibirischen Baikalsee. Das Nachweisprinzip dieser Teleskope besteht in der Registrierung und klaren Identifizierung von aufwärts fliegenden Myonen oder von isolierten Teilenschauern (*Kaskaden*). Die Teleskope bestehen aus einer gitterförmigen Anordnung von Photoröhren (PMs), mit deren Hilfe das Cherenkov-Licht der Teilchen registriert wird. Gemessen werden Ankunftszeit (mit einer Genauigkeit von 1–5 ns) und Stärke der Lichtsignale, woraus Richtung und Energie der Teilchen rekonstruiert werden können. Die Kollaborationen AMANDA und IceCube haben sich im März 2005 zu einer gemeinsamen Kollaboration *IceCube* zusammengeslossen, mit C. Spiering (DESY) als gegenwärtigem Sprecher.

Das Baikal-Experiment

Der Machbarkeitbeweis für Neutrino-teleskope unter Wasser wurde durch das Baikal-Experiment erbracht. Das 1998 in Betrieb genommene Baikal-Teleskop NT200 umfasst 192 Photomultiplier an 8 Trossen.

Im März/April 2005 wurde die Anlage um drei auf einem 100 m-Radius liegende Trossen zum Teleskop NT200+ erweitert. Dieser 200 m hohe Detektor hat ein geometrisches Volumen von mehr als 5 M Ton-

nen. Die optimierte Vergrößerung der Anzahl der PMs um 15% erhöht die Sensitivität auf hochenergetische Teilchen-Kaskaden um einen Faktor 4. Die Suchstrategie für Kaskaden zielt auf elektromagnetische oder hadronische Schauer in einem sehr großen Volumen unterhalb des NT200-Detektors ab, wobei Lokalisation und Energiemessung der Schauer wegen der geringen Lichtstreuung im Baikal schon mit einer geringen Zahl von PMs möglich ist. Die im Jahr 2005 aus den Daten der Jahre 1998-2002 abgeleitete obere Grenze für den Fluss hochenergetischer, diffus eintreffender Neutrinos aus Quellen mit einem E^{-2} -Spektrum wurde zu $dF/dE \cdot E^2 < 0.8 \cdot 10^{-6} \text{ GeV cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ bestimmt und ist in Übereinstimmung mit dem ersten von AMANDA publizierten Limit. Mit NT200 wurde außerdem die derzeit niedrigste Grenze für den Fluss relativistischer magnetischer Monopole bestimmt.

Ein DESY-Beitrag zu NT200+ bestand in Bau und Installation eines Unterwasser-Lasermoduls. Die Nanosekunden-Impulse dieses Lasers dienen der Zeiteichung der PMs an den drei neuen Strings. Darüber hinaus wurde die Datenübertragung zum Ufer modernisiert, um den erhöhten Datenfluss zu ermöglichen. Dazu wurden erstmalig embedded PCs und Netzwerk-Komponenten unter Wasser installiert. Auch an dieser Entwicklung war die DESY-Gruppe federführend beteiligt. Schließlich wird mit Hilfe von DESY die Satelliten-Kommunikation zwischen dem Uferzentrum und Europa durch Installation einer Breitband-Verbindung verbessert. Für die nächsten zwei Jahre wird NT200+ das größte Neutrino-teleskop auf der Nordhalbkugel sein, ehe es voraussichtlich durch ANTARES im Mittelmeer überholt wird.

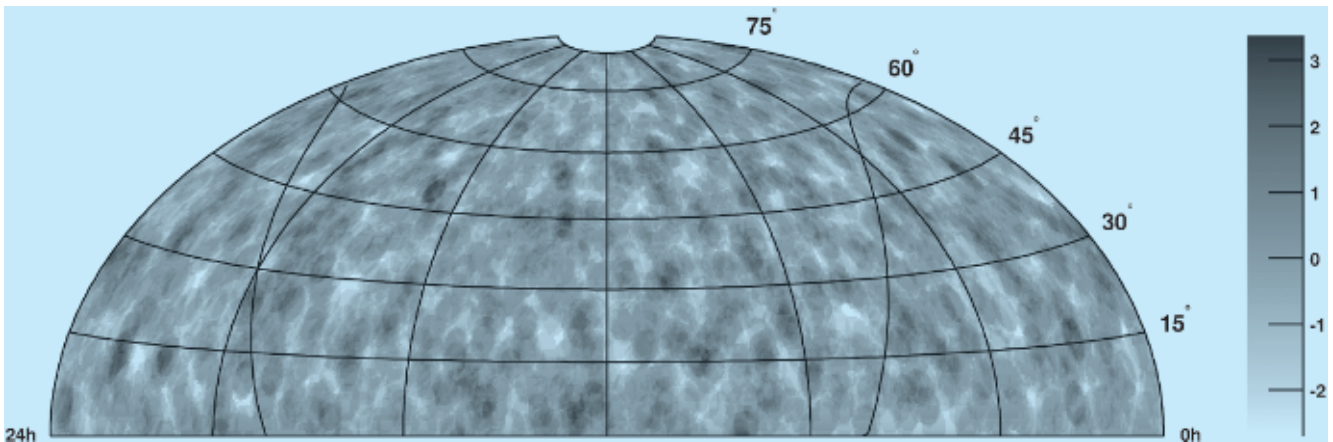


Abbildung 59: Himmelskarte der Signifikanz für punktuellenartige Emission. Es liegt keine Abweichung von der Erwartung einer reinen Untergrundmessung vor.

AMANDA

Der AMANDA-II Detektor besteht aus 19 Strings. AMANDA-II hat eine effektive Fläche von 25000 m^2 für 1-TeV-Myonen und ist damit etwa 25-mal so sensitiv wie die bisher größten unterirdischen Neutrino-Detektoren.

Die Hauptaktivität der DESY-Gruppe war die Suche nach Myon-Neutrinos aus extraterrestrischen Punktquellen. Die Daten der Jahre 2000-2003 waren 2004 in DESY prozessiert und gefiltert worden. Abbildung 59 zeigt die Himmelskarte der Signifikanz der insgesamt 3229 registrierten Neutrinos.

Sie ist kompatibel mit der Annahme, dass es sich um in der Erdatmosphäre erzeugte Neutrinos handelt. Die abgeleitete Grenze für den differentiellen Fluss von Myon-Neutrinos aus Punktquellen (gemittelt über die nördliche Hemisphäre) beträgt $dF/dE \cdot E^2 \sim 2 \cdot 10^{-7} \text{ GeV cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$. Bei der Analyse wurde besonders auf den so genannten Multi-Messenger-Aspekt Wert gelegt, d. h. die Korrelation der Neutrinodaten zu Daten, die mit Gamma oder Röntgenteleskopen genommen wurden. Dabei wurde eine interessante (obwohl statistisch nicht signifikante) Koinzidenz beobachtet. Es wurden drei potentielle Quellen, die gelegentliche Gamma- oder Radio-Ausbrüche zeigen, vorbestimmt. Aus der Richtung der einen, dem Blazar 1ES 1959+650,

wurden über vier Jahre 5 Neutrinos registriert, davon 3 innerhalb von 90 Tagen. In diesem Zeitraum zeigte das Objekt starke Gamma-Ausbrüche, und zwei der Neutrinos lagen sehr dicht an deren Maxima. Interessanterweise handelte es sich bei einem dieser Gamma-Ausbrüche um einen so genannten Orphan-Flare, der nicht durch erhöhte Röntgenaktivität begleitet wurde. Solche Prozesse sind besonders gute Kandidaten für die Emission von Neutrinos.

Aus der Vielzahl weiterer Ergebnisse, die mit AMANDA im Jahr 2005 erhalten wurden, soll die Suche nach Myonen erwähnt werden, die von Neutrinos aus der Annihilation von WIMPs (Weak Interacting Massive Particles – Kandidaten für die dunkle Materie) in der Sonne entstanden sind. 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 der Sonne beträgt $2.5 \cdot 10^3 \text{ km}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$ und schließt damit ähnlich viele SUSY-Modelle aus, wie direkte Suchmethoden, die Wechselwirkungen der WIMPs selbst nachzuweisen versuchen.

Die wichtigsten AMANDA-Aktivitäten der DESY Gruppe neben der Analyse bestanden in der Zeitkalibration des Detektors und der Erstellung und Installation eines online Filters am Pol. Weiterhin wurden

die Daten, die im Jahre 2004 am Pol aufgezeichnet wurden, mit Hilfe von am DESY entwickelten Qualitätskriterien neu gefiltert und der Kollaboration zur Verfügung gestellt. Damit liegen Daten von fünf Jahren in einem einheitlichen Schema als Standard-Datensatz vor. Mit Hilfe dieser Daten wurden im Vergleich zu simulierten Datensätzen die absolute und effektive PM Empfindlichkeit bestimmt.

IceCube

Der IceCube-Detektor soll aus 4800 PMs an 80 Trossen (*Strings*) bestehen, bei 125 m Stringabstand und 17 m Abstand zwischen den PMs entlang eines Strings. Die PMs sind in einer Tiefe von 1.45–2.45 km in dem 3 km dicken antarktischen Eisschild installiert. Das Vorläuferteleskop AMANDA-II wird in IceCube integriert. Die PM-Information von IceCube wird im optischen Modul digitalisiert und dann über elektrische Kabel an die Oberfläche übertragen. Dieses Konzept wird DOM (Digitaler Optischer Modul) genannt. IceCube wird ergänzt durch einen Luftschauerdetektor IceTop, der aus 160 großen Tanks, die mit Eis gefüllt sind, besteht. Beim Durchgang von Teilchen aus Luftschauern wird Cherenkov-Licht erzeugt. Für IceTop werden weitere 360 PMs hergestellt.

Die Saison 2004/05 diente als erster voller Technologietest für die neue Heißwasser-Bohranlage. Nach Überwindung von Anlaufschwierigkeiten beim Bohrvorgang wurde erfolgreich ein erster IceCube-String mit 60 DOMs installiert. Alle DOMs arbeiten einwandfrei. Außerdem wurden 8 IceTop-Tanks installiert; auch diese zeigen das geplante Verhalten. Mit IceCube und IceTop wurden über das ganze Jahr 2005 Daten genommen. Schon wenige Wochen nachdem die DOMs von IceCube eingefroren waren und der gesamte String ausgelesen wurde, konnten die ersten Ergebnisse zum Verhalten des Detektors präsentiert werden. In praktisch allen Parametern wurden die vorgegebenen Forderungen überboten, z. B. für die Zeitauflösung etwa 3 ns (statt 5 ns) oder einer Rauschrate von typisch 700 Hz. Eine Zeitschriftenveröffentlichung zum technischen Verhalten des Detektors ist in Vorbereitung. Abbildung 60

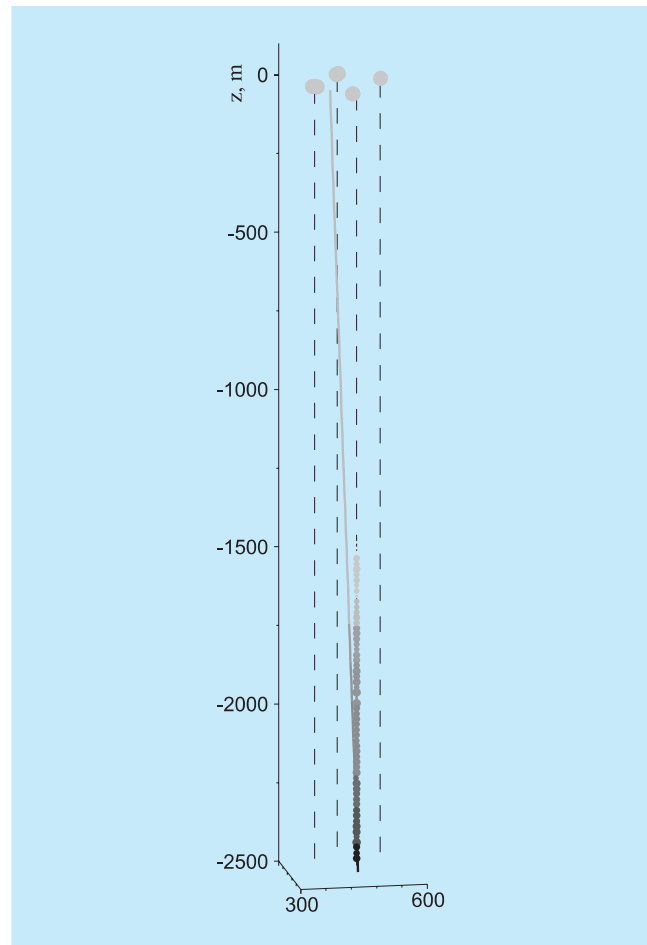


Abbildung 60: Ein atmosphärisches Myon im IceCube Teleskop, das zeitgleich mit einem Schauer auf der Eis-Oberfläche eintraf (sichtbar in den IceTop-Detektoren). Die gestrichelten Linien zeigen die Strings. Die Graustufen entsprechen den unterschiedlichen Ankunftszeiten der Signale.

zeigt eines der etwa 50 Millionen registrierten physikalischen Ereignisse: ein von oben nach unten laufendes Myon, das mit dem IceCube-String registriert wurde und aus einem Luftschauer stammt, der parallel mit IceTop aufgezeichnet wurde. Der Plan für die Saison 2005/06 sieht die Installation von bis zu 10 Strings vor, in den Folgejahren 14–16 Strings, so dass der Detektor im Jahre 2010/2011 fertig gestellt sein kann.

DESY hat 2005 die folgenden Aufgaben innerhalb des IceCube Projekts erfüllt:

- Nach 60 DOMs im Jahr 2004 wurden in 2005 160 DOMs montiert und getestet.
- Für alle innerhalb der Kollaboration gefertigten etwa 1000 DOMs wurde magnetische Abschirmungen bereitgestellt (in Zusammenarbeit mit dem ITEP Moskau).
- Die Massenproduktion des von DESY entwickelten Empfangsteils der DOMs an der Oberfläche (DOR – Digital Optical module Readout) wurde begonnen und nach Finanzierung der Partner-Universitäten durch die Verbundforschung an die Universitäten Mainz und Wuppertal übergeben. Darüber hinaus wurde mehrere Elektronikarten zur Zeitsynchronisation von AMANDA und Ice-Cube entwickelt und gebaut.
- Der Universität Dortmund wurde technische Hilfe bei der Spezifikation und beim Test der PMT-Hochspannung geleistet.
- Die Entwicklung der Rekonstruktionssoftware der Kollaboration wurde koordiniert. Es wurde Software geschrieben, die im Jahre 2006 am Südpol im online-Filter eingesetzt werden wird.
- Für den IceTop Detektor wurde Monitoring-Software entwickelt.
- Es wurden Simulations-Datensätze auf dem Computer-Cluster erzeugt, die zur Verifikation der Rekonstruktions-Algorithmen verwendet wurden.
- Es wurde ein Test-Detektor vorbereitet und gebaut, mit dem am Südpol in-situ Untersuchungen durchgeführt werden sollen, die zeigen, ob Neutrinos im Südpoleis durch akustische Signale nachzuweisen sind.

DESY arbeitet seit mehreren Jahren an einer Studie zum akustischen Neutrinonachweis im Südpol-Eis. Die Materialeigenschaften von Eis lassen erwarten, dass Neutrino-Wechselwirkungen etwa zehnmal stärkere Signale als im Wasser erzeugen und einen geringen Untergrund haben. Die DESY Gruppe hat zu Simulationsrechnungen beigetragen, die zeigen, dass ein $\sim 100 \text{ km}^3$

Detektor aus akustischen und Radio-Sensoren die Ice-Cube umgeben, gute Möglichkeiten hätte, mehr als 10 Neutrino-Ereignisse pro Jahr zu messen, die aus Wechselwirkungen von höchstenergetischen kosmischen Protonen mit Photonen der 2.7 K Hintergrundstrahlung stammen.

Da keine kommerziellen akustischen Sensoren für feste Materialien wie Eis existieren, hat die Zeuthener Gruppe solche *Glaziophone* entwickelt. Kalibrationsmessungen in Wasser und Eis zeigen, dass die Glaziophone ein bis zu 50-fach besseres Signal zu Untergrund-Verhältnis als kommerzielle Hydrophone besitzen.

In der Kollaboration wird der Test von drei Strings mit je sieben akustischen Stationen aus Sensoren und Transmittern im Eis am Südpol für die Saison 2006/07 vorbereitet.

Weitere Ereignisse und Aktivitäten

Im November 2005 wurde der Antrag auf Einrichtung einer HGF-Hochschulnachwuchsgruppe genehmigt, die von DESY und der HGF finanziert wird (Leitung Dr. E. Bernardini). Diese Gruppe wird sich auf das Gebiet der *multi-messenger* Analyse konzentrieren, wobei eine besonders enge Zusammenarbeit mit der MAGIC-Kollaboration angestrebt wird. Die Nachwuchsgruppe ist personell eng mit der DESY-Analyse-Gruppe verknüpft und erweitert das physikalische Spektrum der DESY Gruppe. Frau Bernardini ist gegenwärtig Ko-Leiterin der Punktquellen-Arbeitsgruppe in IceCube. Mit Unterstützung von DESY und der IceCube-Kollaboration gelang es darüber hinaus einer Nachwuchsforscherin ein Emmy-Noether-Stipendium zu erhalten: Dr. E. Resconi, die zuvor über ein Marie-Curie-Fellowship ins DESY eingebunden war und jetzt eine Gruppe am MPI Heidelberg aufbaut. Auch mit dieser Gruppe wird DESY eng zusammenarbeiten.

Die Anbindung des DESY an regionale Hochschulen wurde in zwei ersten Schritten erfolgreich umgesetzt: Prof. H. Kolanoski, Humboldt-Universität Berlin und

DESY, ist seit Ende 2004 Mitglied der IceCube Gruppe. Die HGF-Nachwuchsgruppe stellte eine weitere Verzahnung mit der HUB dar.

Die DESY-Astroteilchengruppe führte im Jahr 2005 drei sehr erfolgreiche Veranstaltungen durch. Auf dem internationalen ARENA Workshop (90 Teilnehmer) im Mai wurden neue Technologien zum Nachweis von Neutrinos vorgestellt und diskutiert, vom Radio- und Akustik-Nachweis bis zum Nachweis über Luftschauer.

Im September wurde das Treffen *Astroteilchenphysik in Deutschland* in Zeuthen durchgeführt (200 Teilnehmer). Dabei wurde ein vollständiger Überblick über alle Projekte auf diesem Gebiet gegeben, an denen deutsche Institutionen beteiligt sind. An dieses Treffen schloss sich ein Workshop von fünfzig Teilnehmern zu multi-messenger Methoden an, auf dem erste konkrete Schritte zur Zusammenarbeit zwischen Experimenten, die unterschiedliche Informationsträger benutzen, diskutiert wurden.