

# Abschlussbericht DAAD-Stipendium „Rise in North America“ 2009

Armin Burgmeier

7. Dezember 2009

## Zusammenfassung

Im Rahmen des „Rise in North America“-Programms war ich für 3 Monate an einem Forschungsprojekt in den USA beteiligt. Konkret war ich am Physics Department an der Duke University in Durham, North Carolina. Ich arbeitete in der High Energy Physics Neutrino Group die sich experimentell mit Neutrinophysik beschäftigt.

Der Bericht ist in einen allgemeinen (Abschnitte 1 bis 6) und einen fachlichen Teil (Abschnitt 7) gegliedert. Als kleinen Disclaimer möchte ich hier noch anmerken, dass sich alle Angaben auf den Zeitraum beziehen zu dem ich in Amerika war (Juli bis Oktober 2009). Es kann natürlich sein dass sich Preise und andere Begebenheiten im Laufe der Zeit geändert haben.

## 1 Vorbereitung

Nach Bestätigung des DAADs und/oder der Gastinstitution ist die nächste Hürde immer noch in Deutschland zu nehmen. Die Entscheidung zwischen F- und J-Visum wurde mir vom DAAD abgenommen; ich bin mit einem J-1-Visum in die USA eingereist. Da ich die folgenden zwei Jahre mein Diplom in Deutschland abzuschließen gedenke stellte mich die Zwei-Jahres-Klausel vor keine Probleme.

Ein weiterer Vorteil des J-Visums ist, dass man damit eine Social Security Number (SSN) beantragen kann. Man braucht diese zwar nicht notwendigerweise (da ich nur drei Monate dort war habe ich keine beantragt), aber es kann einem vor allem Dinge die vertraglich geregelt werden (Handyverträge, Automietung) einfacher machen.

Der erste Schritt, ohne den gar nichts geht, ist das Formular DS-2019. Dieses wird nach der Zusage von der Gasthochschule zugeschickt. Dazu braucht diese allerdings bereits die Reisepassnummer, sodass man sich zügig darum kümmern sollte wenn man noch keinen hat (die Beantragung dauert in der Regel drei bis vier Wochen).

Für das Visum muss man dann zu einer amerikanischen Botschaft; ich war in Frankfurt am Main. Den Termin dort kann man im Internet<sup>1</sup> (gegen eine mit Kreditkarte zu entrichtende Gebühr) oder telefonisch (1,86 € pro Minute) machen. Auf der Internetseite kann man dann auch die Formulare DS-156, DS-157 und DS-158 ausfüllen die man zur Botschaft mitbringen muss. Man kann diese aber auch so herunterladen und von Hand ausfüllen. Ebenfalls verlangt wird ein Passbild das bestimmte Formate und Kriterien erfüllen muss, die Fotogeschäfte wissen darüber aber Bescheid.

Weiter muss eine Visabearbeitungsgebühr in Höhe von zur Zeit 107,42 € bei der Firma Roskos & Meier OHG (die Bestätigung ist zur Botschaft mitzubringen) und eine SEVIS-Gebühr (\$180 für ein J-1 Visum, am einfachsten mit Kreditkarte zu zahlen), von der ebenfalls ein Zahlungsbeleg verlangt wird, bezahlt werden. Es wird bereits am Eingang der Botschaft geprüft dass man alle Dokumente und keine elektronischen Geräte dabei hat (Handy, USB-Stick etc. im Auto oder daheim lassen).

Der Aufenthalt in der Botschaft ist dann im wesentlichen eine Geduldssprobe. Beim „Interview“ wurde ich gefragt, wer meinen Aufenthalt finanziert und was ich vorhabe wenn er vorüber ist. Vermutlich wollen sie da nur sicherstellen, dass man selbst derjenige ist der man vorgibt zu sein. Eine Woche später hatte ich den Reisepass mit Visum im Briefkasten.

Eine andere Sache die sich lohnt ist, sich auf die Mailing-Liste<sup>2</sup> des „Duke International House“ zu setzen. Dort werden regelmäßig Wohnungs-/Mitbewohnersuche, Mitfahrgelegenheiten and andere Angebote gepostet.

---

<sup>1</sup><http://www.usvisa-germany.com>

<sup>2</sup><http://ihouse.studentaffairs.duke.edu/forms/lists/intlhouse>

## 2 Ankunft

Ich habe den Flug etwa einen Monat vor Abflug gebucht und bin mit US Airways von Frankfurt über Philadelphia nach Durham geflogen. Die Ankunft war etwa um 5pm Ortszeit. Am Flughafen RDU wurde ich dann wie vorher vereinbart von Roger Wendell (einem Postdoc in der Neutrino-Physik-Gruppe in der ich arbeitete) abgeholt.

Beim Abholen sollte man sich nicht auf sein Handy verlassen wenn man sich nicht sicher ist dass es in den USA auch funktioniert - ich hatte mich auf der Homepage meines Providers (Vodafone) davon überzeugt dass Roaming aus den USA in meinem Tarif enthalten ist; das änderte aber nichts daran, dass das Handy in Amerika schlicht keinen Empfang hatte.

## 3 Wohnen

Die meisten Studenten wohnen in sog. Apartment Communities in Durham. Das sind quasi viele ähnlich aussehende Gebäude auf einem Haufen die von einem Betreiber vermietet werden. Ansprechpartner findet man im „Leasing Office“, das meist ausgeschildert ist. Dort geht man dann auch hin um die monatliche Miete zu zahlen (falls nicht anderweitig geregelt). Dabei sollte man früh genug darauf Acht geben welche Zahlungsmittel akzeptiert werden. Bei mir war Bargeld nicht erwünscht, ich habe mit Checks gezahlt.

Zur Wohnungssuche gibt es mehrere Ansätze. Man kann zwar nach der Ankunft erst einmal eine temporäre Unterkunft (Ho(s)tel) beziehen während man sich vor Ort nach etwas passendem umschaut. Neben der Tatsache dass das relativ teuer ist wollte ich mich nach der Ankunft auch nicht massig Zeit mit Wohnungssuchen verbringen, daher habe ich mich lieber im voraus darum gekümmert.

Wer maximal sechs Monate in Durham bleibt, dem bietet das International House eine kostengünstige und vor allem unkomplizierte Unterkunft an<sup>3</sup>. Dabei kann man sich seine(n) Mitbewohner(in) allerdings nicht aussuchen. Die Duke bietet ihren Studenten auch an, in Wohnanlagen auf dem Campus zu wohnen. Dazu war ich allerdings nicht befugt, da ich nicht an der Uni eingeschrieben war. Weitere Informationen gibt es auf der Webseite des International House<sup>4</sup>. Ebenfalls lohnt es sich, sich bei Duke Community Housing<sup>5</sup> umzuschauen.

Ich habe allerdings ein Angebot auf der Mailing-Liste des International House angenommen: Jemand musste sein Apartment vorzeitig verlassen und hat daher dann den Mietvertrag auf mich umgeschrieben. Auch die Verlängerung um noch einen Monat stellte kein Problem dar - ich musste nur aufpassen dass ich 60 Tage vor Auszug über meine Absichten Bescheid gebe. Die Wohnung war bis auf ein paar Sachen die mir die Vermieterin geliehen (und am Ende geschenkt) hat unmöbliert, allerdings wird man hier auch schnell auf der Mailing-Liste oder z.B. im SuperTarget, der bequem mit der Buslinie 412 zu erreichen ist, fündig. Die Sachen lassen sich gegen Ende des Aufenthalts dann ebenfalls über besagte Liste wieder loswerden.

Ein paar andere Sachen waren auch ein wenig komplizierter als wenn ich ein Apartment des I-House genommen hätte: Zum einen musste ich mich selbst um die Stromversorgung kümmern. Dazu galt es den Energiekonzern Duke Energy (der außer dem Namen nichts mit der Universität zu tun hat) anzurufen. Da ich keine SSN hatte musste ich z.B. meine Existenz notariell bestätigen lassen bevor mein Apartment mit Strom versorgt werden konnte. Auch ein Security Deposit von \$200 musste ich zahlen. Zum anderen konnte mir das Security Deposit für das Apartment selbst (\$300) nicht am Tag des Auszugs erstattet werden, da ich bereits am morgen den Rückflug angetreten bin und das Geld nicht vor der Nachuntersuchung der Wohnung (zu der ich die Schlüssel bereits zurückgegeben haben musste) zurückgegeben werden konnte. Da ich zu der Nachuntersuchung nicht anwesend sein musste konnte der Check aber einfach an einen meiner Freunde ausgehändigt werden der mir das Geld dann zukommen ließ.

---

<sup>3</sup>Hierzu sollte man sich direkt an das I-House wenden, siehe <http://ihouse.studentaffairs.duke.edu/word/scholarschecklist.pdf>

<sup>4</sup><http://rlhs.studentaffairs.duke.edu>

<sup>5</sup><http://www.communityhousing.duke.edu>

## 4 Finanzielles

Wie man sieht lohnt es sich vor allem nach der Ankunft einigermaßen bei Kasse zu sein. Ich hatte hierzu \$700 an Traveller Checks dabei (die in allen größeren Geschäften akzeptiert wurden, sonst kann man sie sich auch auszahlen lassen). Meine Bank (Sparda-Bank Baden-Württemberg) hat 1% an Gebühren dafür verlangt. Verglichen damit, dass bei Auslandseinsätzen und Bargeldverfügungen mit der Kreditkarte eine ähnliche Gebühr erhoben wird hat man dadurch jedoch keinen großen finanziellen Nachteil.

Stichwort Kreditkarte. Ich habe von meiner Bank eine Kreditkarte mit einem Limit von 500 € pro Monat erhalten das sich unter anderem weil meine Eltern und ich langjährige Kunden der Bank sind auf 1000 € erhöhen lies. Zu sagen ist, dass 500 € nicht ausreichen wenn man neben den Lebenshaltungskosten noch ein bisschen was von Amerika sehen will. Wenn man auch die Miete mit Karte zahlt kann es auch schon mit 1000 € knapp werden. Das kommt natürlich immer auch ein bisschen auf den Wechselkurs an der zu meiner Zeit etwa bei \$1.4 pro 1 € lag.

Wer den Luxus einer Kreditkarte bei der eigenen Bank nicht in Anspruch nehmen kann, kann sich nach unabhängigen Angeboten, die es von einigen Institutionen wie MLP, gerade für Studenten gibt, umschaun. Zwei Deutsche die ich in Amerika getroffen habe hatten von comdirect eine Debit Card bei der Transaktionen sofort vom Konto abgebucht werden, die aber ansonsten wie eine Kreditkarte genutzt werden kann. Diese Debit Cards sind sonst vor allem in den USA auch weit verbreitet. Da ich keines dieser Angebote wahrgenommen habe kann ich allerdings keine genaueren Angaben dazu machen.

Die Kreditkarte ist in Amerika sehr hilfreich, da quasi überall jeder noch so kleine Betrag damit bezahlt werden kann. Im nächstgelegenen Supermarkt (Kroger, gut mit dem LaSalle Loop-Bus zu erreichen) wurde bei Barzahlung Rausgeld sogar nur auf den Dollar genau (abgerundet) gegeben - wohl ein Zeichen dafür, dass bargeldloser Geldverkehr bevorzugt wird.

Allerdings gibt es dennoch einige Situationen für die es gut ist, ein amerikanisches Bankkonto zu haben. Zum Beispiel um Checks zu schreiben, was gerade bei privaten Transaktionen sinnvoll sein kann, da man hier mit der Kreditkarte nicht weit kommt. Auch wird so beim Einlösen von Checks keine zusätzliche Gebühr erhoben, und man kann sich einfach von Deutschland aus größere Geldsummen überweisen lassen und dann ohne zusätzliche Gebühr davon Gebrauch machen. Ich habe ein Konto bei der Wachovia eröffnet. Das war reichlich unkompliziert und auch ohne SSN kein Problem. Ich habe diese Bank gewählt, da sie nur relativ geringe Gebühren für eingehende Auslandsüberweisungen erhebt und zwei Filialen in Campusnähe hat (eine im Duke Hospital, die andere östlich vom East Campus beim Erwin Mill Building wo die Erwin Road in die Ninth Street übergeht). Von der Bank hatte ich dann auch eine solche Debit Card - die ich übrigens auch prima in Deutschland noch einsetzen kann um an das verbliebene Geld auf dem Konto heranzukommen.

## 5 Handy

Wie vorher bereits beschrieben hat mein deutsches Handy in Amerika nicht funktioniert. Einzelne SIM-Karten sind äußerst schwer bis gar nicht zu bekommen, also habe ich mich für ein neues Handy entschieden. Hier hat man die Wahl zwischen Prepaid oder Vertrag. Letzterer ist langfristig vermutlich günstiger, hat sich für die drei Monate die ich in Amerika war aber nicht gelohnt.

Ein Prepaid-Handy kann man einfach im Supermarkt kaufen (ich war im SuperTarget) - dabei muss man nicht mehr als \$30 ausgeben - ich habe im Endeffekt nur \$ 15 gezahlt, da ich sowieso nicht mehr Funktionalität als Telefonieren und SMS schreiben brauchte. Mein Anbieter war dann TracFone. Im Vergleich zu anderen zwar relativ teuer (wie teuer genau kommt dann darauf an mit welchen Tarifen man Geld auf das Handy lädt, es dürfte bei mir so auf zwischen 10 bis 20 Cent pro Minute rausgelaufen sein). Der Vorteil ist jedoch, dass das Tarifsysteem unkompliziert ist (zum Beispiel werden SMS einfach als 0.3 Minuten abgerechnet), und dass man (sogar ohne Aufpreis!) Ferngespräche führen kann.

Auch noch zu Erwähnen ist an der Stelle, dass man in Amerika auch für eingehende Telefongespräche und entgegengenommene Kurznachrichten genausoviel zahlen muss wie für ausgehende.

## 6 Freizeit

Die Duke University bietet ihren Studenten eine Menge an Freizeitmöglichkeiten, aber Durham als Stadt ist relativ langweilig. Auf dem Campus der Duke University gibt es einiges zu sehen (die Chapel, die Sarah P. Duke Gardens oder das Nasher Museum of Art). Ansonsten findet man vor allem in der Nähe des East Campus einige Bars und Cafes. Dabei ist es wichtig immer den Reisepass dabeizuhaben, da man sonst nicht hereingelassen wird. Manche Bars akzeptieren nicht einmal den deutschen Personalausweis oder Führerschein. Dass Alkohol erst an Leute ab 21 Jahren verkauft werden darf wird rigoros kontrolliert. Das gleiche gilt beim Erwerb von Alkohol in Supermärkten.

Wer gerne schwimmt, dem kann ich den Eno Quarry empfehlen: Im Nordwesten gelegen befindet sich ein sehr malerischer Baggersee mitten im Wald, in der Nähe des Eno River State Parks. Man kommt mit der DATA-Buslinie 11 bis zur Sparger Road von wo aus man ihn zu Fuß in etwa 40 bis 45 Minuten erreichen kann. Nach der Autobahnbrücke biegt man links ab bis man an einen Parkplatz kommt wo ein Weg in den Wald führt, dann ist es nochmal etwa eine Meile zum See.

**Bus** Allgemein ist es nicht leicht ohne Auto heranzukommen. Es gibt im wesentlichen drei Bussysteme in Durham: Zum einen die Busse der Duke University, die man kostenlos benutzen kann, die aber nicht viel mehr als nur den Campus bedienen. Eine Ausnahme stellt der Robertson-Bus dar, der zwischen Duke und der Universität UNC in der Nachbarstadt Chapel Hill pendelt. Chapel Hill ist allgemein schöner als Durham und hat auch mehr Nightlife zu bieten, ist also allemal einen Besuch wert. Dann gibt es die DATA-Busse (Durham Area Transit Authority), die im wesentlichen Durham abdecken. Man kommt damit zwar gut innerhalb von Durham herum, allerdings führen die meisten Routen über einen Zwischenstop am zentralen Busbahnhof (Durham Station), was die Reisezeit zum Teil höher macht als sie sein könnte. Eine Einzelfahrt kostet \$1. Zu guter letzt gibt es die TTA-Busse (Triangle Transit Authority) die auch etwas weiter fahren. Mit Umsteigen kommt man sogar nach Raleigh, der Hauptstadt North Carolinas. Eine Einzelfahrt kostet hier \$2. Die TTA-Busse verkehren allerdings nicht sonntags. Im Internet<sup>6</sup> gibt es einen Routenplaner der die DATA- und TTA-Buslinien kennt.



Abbildung 1: Eno Quarry

Nach Raleigh zu kommen ist mit dem Zug jedoch angenehmer (wenn auch teurer). Jeweils zwei Mal am Tag fahren von Durham aus Züge in Richtung New York bzw. Charlotte.

**Auto** Will man weiter weg kommt man jedoch nur schwer um ein Auto herum. Zum Mieten eines Autos kann ich besonders Enterprise Rent-a-Car empfehlen. Die Firma bietet über das Wochenende vergünstigte Tarife an. Wir haben insgesamt (mit allen Versicherungsoptionen) zwischen \$170 und \$180 für drei Tage gezahlt - aufgeteilt auf drei oder vier Personen ist das absolut bezahlbar.

Das Mieten kann man direkt auf der Webseite von Enterprise<sup>7</sup> vornehmen. Die beeindruckenden Leistungen waren dann aber, dass wir, obwohl wir „nur“ das günstigste Angebot reserviert haben, am Ende ein Mittelklasse-Modell zur Verfügung gestellt bekamen (und das nicht nur einmalig). Auch als wir einmal einen zweiten Fahrer angemeldet hatten wurde auf die normalerweise erforderliche Zusatzgebühr verzichtet. Weiterhin ist es möglich, nach der Reservierung bei der Firma anzurufen um am Tag an dem man das Auto erhält kostenlos abgeholt und zu ihrer Filiale gebracht zu werden. Genauso bringen sie einen nach der Rückgabe des Autos auch wieder nach Hause oder an die Duke.

<sup>6</sup><http://www.gotriangle.org>

<sup>7</sup><http://www.enterprise.com>



Abbildung 2: Der Carolinian im Bahnhof von Raleigh

man oft gemeinsam genutzte Abbiegestreifen in der Mitte der Fahrbahn die durch zwei entgegengesetzte Pfeile gekennzeichnet sind. Sie dürfen für beide Fahrtrichtungen zum Linksabbiegen genutzt werden um den nachfolgenden Verkehr nicht zu behindern. Beim Benutzen ist natürlich insofern Vorsicht angesagt als dass der Streifen auch von entgegenkommenden Fahrzeugen genutzt werden kann.

Als Ausflugsziele kann ich besonders die Great Smoky Mountains im Westen von North Carolina empfehlen (gerade im späten September/frühen Oktober wenn die Bäume ihre Blätter färben - aber in der Zeit zahlt man für Unterkunft dann locker mal ein Vielfaches von dem was man sonst zahlen würde). Auch die Outer Banks an der Ostküste sind sehenswert - hier haben die Gebrüder Wright ihren berühmten ersten kontrollierten Motorflug durchgeführt.

**Unterkunft** Eine preiswerte Möglichkeit zur Unterkunft sind sog. Red Roof Inns. Das sind über ganz Amerika verteilte Gasthäuser. Die Reservierung kann bequem im Internet<sup>8</sup> vorgenommen werden, man kann noch sehr spät am Tag (bis 22:00 Uhr und später) einchecken und auch bis 16:00 Uhr am Anreisetag die Reservierung noch kostenfrei zurücknehmen. Zu viert zahlt man zwischen \$70 und \$80 Dollar pro Nacht insgesamt. Die Zimmer sind nicht sonderlich geräumig und man teilt sich jeweils zu zweit ein Bett, hat aber ein privates Badezimmer.



Abbildung 3: Die Great Smokies Anfang September

## 7 Fachliches

Ich habe mich im Rahmen meines Forschungspraktikums insbesondere mit Supernova-Neutrinos beschäftigt.

### 7.1 Supernovae und Neutrinos

Am Ende ihres Lebens explodieren massereiche Sterne in einer Supernova. Dabei wird die meiste freiwerdende Energie in Form von Neutrinos abgestrahlt (und das einige Stunden bevor sichtbares Licht abgestrahlt wird). Neutrinos sind ungeladene Elementarteilchen, die daher lediglich schwach wechselwirken. Es ist möglich,

<sup>8</sup><http://www.redroof.com>

Neutrinos auf der Erde nachzuweisen, zum Beispiel im japanischen Super-Kamiokande-Experiment, oder bei IceCube in der Antarktis.

Es gibt drei verschiedene Arten von Neutrinos, die man mit  $\nu_e$  (Elektron-Neutrinos),  $\nu_\mu$  (Myon-Neutrinos) und  $\nu_\tau$  (Tauon-Neutrinos) bezeichnet. Zu jedem Neutrino gehört auch noch ein Anti-Neutrino ( $\bar{\nu}_e, \bar{\nu}_\mu, \bar{\nu}_\tau$ ), das die gleichen Eigenschaften hat wie das entsprechende Neutrino, aber umgekehrte Leptonzahl.

Im Standardmodell der Elementarteilchenphysik haben Neutrinos keine Masse, jedoch konnte man im Experiment Neutrino-Oszillation beobachten, d.h. dass sich Neutrinos einer Sorte in eine andere umwandeln können. Dies lässt sich in der Theorie nur erklären wenn Neutrinos doch eine (sehr kleine) Masse besitzen. Neutrino-Physik ist daher insofern besonders interessant, da sie ein erster experimenteller Befund dafür ist, dass es Physik jenseits des Standardmodells gibt.

Die genauen Neutrinomassen sind nicht bekannt (die Oszillation hängt nur von den quadratischen Massedifferenzen  $\Delta m_{12}^2 := m_2^2 - m_1^2$  ab, daher kennt man lediglich die Massenunterschiede). Die genaue Bestimmung der (Elektron-)Neutrinomasse ist Gegenstand aktueller Untersuchungen, zum Beispiel mit dem KATRIN-Experiment hier in Karlsruhe.

Supernova-Explosionen innerhalb unserer Galaxis finden allerdings nur sehr selten statt (man geht von zwei bis drei Explosionen pro Jahrhundert aus, die aber nicht alle sichtbar sind). Die letzte fand 1987 in der Großen Magellanschen Wolke statt, etwa 50,000 pc<sup>9</sup> von der Sonne entfernt.

## 7.2 Super-Kamiokandes Sensitivität auf Supernova-Neutrinos

In den ersten zwei bis drei Wochen habe ich mich damit beschäftigt, wie gut der japanische Super-Kamiokande-Detektor Supernova-Neutrinos nachweisen kann. Super-Kamiokande ist ein sogenannter Wasser-Cherenkov-Detektor der im Untergrund bei Hida in Japan steht. Er besteht im wesentlichen aus einem 50000 t fassenden Wassertank mit über 11000 Photomultipliern an der Wand, der Decke und dem Boden. Mit den Photomultipliern wird sogenanntes Cherenkov-Licht registriert, das schnelle geladene Teilchen aussehenden wenn sie das Wasser im Tank durchqueren. Neutrinos sind zwar keine geladenen Teilchen, und man kann sie daher im Detektor nicht direkt sehen, allerdings können sie mit den Wassermolekülen reagieren und dabei ein Elektron oder Positron<sup>10</sup> ausstoßen, welches dann Cherenkov-Licht aussendet. Die häufigsten Reaktionen sind der inverse Beta-Zerfall  $p + \bar{\nu}_e \rightarrow n + e^+$  und elastische Streuung  $\nu_e + e^- \rightarrow \nu_e + e^-$ . Bei der elastischen Streuung überträgt das Neutrino Energie auf das Elektron so dass es schnell genug wird um Cherenkov-Strahlung auszusenden.

Der Hintergrund meiner Arbeit war in der gemeinsamen Suche nach Supernovae mit sowohl Neutrino- als auch Gravitationswellendetektoren begründet. Gravitationswellen sind ein noch nicht nachgewiesenes aber von der allgemeinen Relativitätstheorie vorhergesagtes Phänomen, das Verzerrungen der Raumzeit beschreibt, die sich wellenartig und mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Sie entstehen wann immer massive Objekte beschleunigt werden. Gravitationswellen die in unserem Sonnensystem entstehen sind aber zu schwach um beobachtet zu werden. Bei einer Supernovaexplosion erwartet man allerdings viel stärkere Wellen die man hofft nachweisen zu können.

Die Idee ist nun, Neutrino- und Gravitationswellensignale zu kombinieren, insbesondere wenn man nahe an der Detektionsschwelle ist. Zum Beispiel kann es passieren, dass man zwei Neutrinos innerhalb kurzer

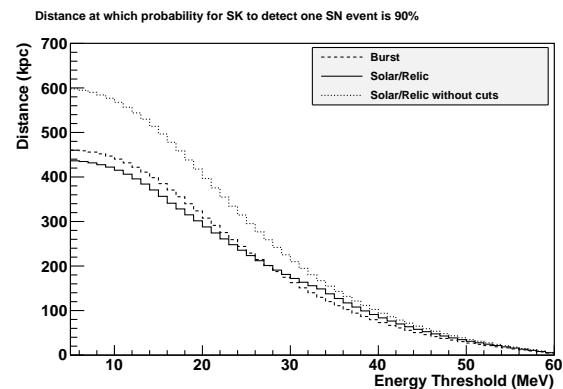


Abbildung 4: Für verschiedene Sets von Cuts ist hier aufgetragen, bei welchen Entfernungen man noch zu 90% Wahrscheinlichkeit ein Neutrino-Ereignis im Super-Kamiokande-Detektor sieht.

<sup>9</sup>1 pc = 3,26 Lichtjahre = 3,086 · 10<sup>13</sup> km

<sup>10</sup>Das Positron, geschrieben als  $e^+$ , ist das Antiteilchen des Elektrons, das bis auf Ladung und Leptonzahl die gleichen Eigenschaften hat

Zeit in einem Detektor sieht. Das kann ein Hinweis auf eine entfernte Supernova sein, allerdings ist es auch nicht ausgeschlossen, dass einfach zufällig zwei Neutrinos aus anderen Quellen (von der Sonne, oder auch von Atomkraftwerken) in kurzem Abstand detektiert wurden (so genannte Untergrundereignisse). Wann man im gleichen Zeitraum aber ein Gravitationswellensignal sieht, dann kann man viel eher davon ausgehen, dass man tatsächlich eine Supernova gesehen hat. Umgekehrt ist es so, dass man im Gravitationswellendetektor ein Ereignis sehen kann welches ein schwaches Signal aber genauso gut andere Fluktuationen sein könnte. In dem Fall hilft es, wenn man gleichzeitig ein Signal im Neutrinodetektor sieht (man spricht dann auch von *Koinzidenz*).

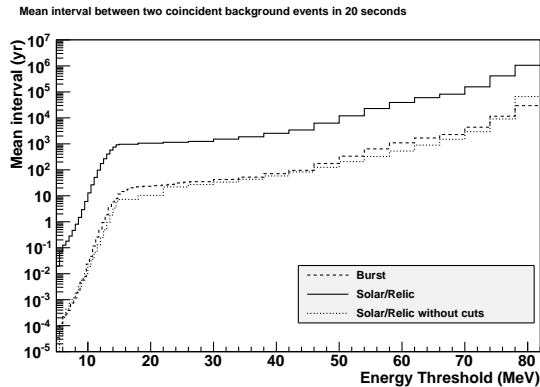


Abbildung 5: Hier sieht man für die gleichen Cuts aufgetragen, wieviele Jahre man zwischen zwei Ereignissen erwartet die zufällig gerade in einem Abstand von 20s auftreten und somit als Supernova-Signal gedeutet werden könnten.

man zum Beispiel alle Ereignisse die aus der Richtung der Sonne kommen, da die Sonne zwar Neutrinos produziert, man hier aber an Supernova-Neutrinos interessiert ist.

Dabei habe ich insbesondere gelernt mit dem Analysetool ROOT<sup>11</sup> umzugehen das in der Hochenergiephysik oft verwendet wird. Aufgrund meiner Vorkenntnisse in der Programmiersprache C++ hatte ich damit keine großen Schwierigkeiten.

Nach etwa zweieinhalb Wochen habe ich dann einen Bericht<sup>12</sup> eingeschrieben den meine Betreuerin, Dr. Scholberg, der Gruppe zukommen lies, die sich mit der Koinzidenzmessung von Neutrino- und Gravitationswellensignalen beschäftigt. Die Idee ist dass die anderen beteiligten Experimente eine ähnliche Analyse anfertigen sodass man danach zum Beispiel einen geeigneten Energieschwellwert für alle Experimente festlegen kann.

### 7.3 Richtungsinformation aus Neutrinooszillation

In der restlichen Zeit habe ich daran gearbeitet, herauszufinden, inwiefern es möglich ist, aus dem Neutrinooszillations-Signal zu extrahieren aus welcher Richtung die Neutrinos kommen und damit in welcher Richtung die Supernova liegt.

Die Supernova-Neutrinos, die an der Erde ankommen haben eine gewisse Energieabhängigkeit, das heißt es werden mehr Neutrinos mit einer gewissen Energie ausgestoßen als mit einer anderen. Diese Verteilung nennt man auch gerne (Energie)spektrum. Die Berechnung desselben ist sehr aufwendig und setzt ein Modell voraus, das beschreibt wie die Supernova-Explosion im einzelnen zustandekommt. Zur Zeit akzeptiert ist das Garching-Modell, das für Elektron-Antineutrinos zu dem in Abbildung 6 gezeigten Spektrum führt. Je höher die Kurve bei einer gewissen Energie (gemessen in MeV<sup>13</sup>) ist, desto mehr Neutrinos dieser Energie werden

Meine Aufgabe war nun, anhand von öffentlich zugänglichen Daten zu untersuchen, wie gut Super-Kamiokande Supernova-Neutrinos detektieren kann. Die Untersuchung ist insbesondere zur Wahl geeigneter Parameter für Koinzidenzanalysen (wie oben beschrieben) gedacht. Insbesondere interessant ist dabei die Abhängigkeit der Signal- und Untergrundzählraten von einem Energie-Schwellwert. Die Idee dabei ist, dass man nur Neutrinos zählt, deren Energie über einem gewissen Schwellwert liegt, da die meisten Untergrundereignisse niedrige Energie haben. Bei einem zu hohen Schwellwert filtert man dann aber auch zu viele Signalereignisse, sodass der ideale Wert mit dem besten Signal-zu-Untergrund-Verhältnis irgendwo in der Mitte liegt.

Konkret habe ich untersucht wie sich Signal- und Untergrundraten abhängig vom Energieschwellwert verhalten, jeweils für drei verschiedene Sets von anderen Cuts die in den Veröffentlichungen angewandt wurden, die ich meiner Analyse zugrundegelegt habe. Beim „Solar Direction Cut“ verwirft

<sup>11</sup><http://root.cern.ch>

<sup>12</sup>Der Bericht ist auch unter <http://phy.duke.edu/~ab260/sn-report.pdf> erhältlich

<sup>13</sup>1 eV ist die Energie die ein Elektron beim Durchlaufen einer Potentialdifferenz von 1 V gewinnt. Es gilt  $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

von der Supernova freigesetzt. Wir haben uns hier nur auf Elektron-Antineutrinos beschränkt, da diese durch inversen Betazerfall am einfachsten nachzuweisen sind. Etwa 88 % aller Ereignisse in einem Neutrino-Detektor basieren auf dieser Reaktion.

Für die anderen beiden Neutrino-Arten sieht das Spektrum leicht anders aus, die Kurve ist etwas nach rechts verschoben, das heißt die mittlere Energie ist etwas größer. Es kann nun vorkommen, dass die Neutrinos auf dem Weg von der Supernova zum Detektor eine Strecke durch die Erde hindurch zurücklegen müssen. Da die Neutrinos nur sehr schwach wechselwirken stellt sie das vor kein Hindernis, die meisten gelangen ohne weiteres durch die Erde hindurch. Allerdings tritt wegen der Dichteänderungen in der Erde (der Erdkern ist dichter als der Erdmantel, und der Erdmantel ist dichter als die Erdkruste) der sogenannte *MSW-Effekt* auf. Dieser sorgt für zusätzliche Neutrino-Oszillationen. Würde man also ein Spektrum wie in Abbildung 6 messen wenn die Neutrinos direkt vom Himmel kommen, so erhält man eine Mischung aus diesem und dem Spektrum der Myon- bzw. Tauon-Neutrinos wenn sie vorher durch die Erdmaterie hindurchpropagieren. Die genaue Mischung hängt dann davon ab, wieviel Strecke durch die Erde sie zurücklegen. Es kann vorkommen, dass sie die Erde quasi nur „streifen“, dass sie den kompletten Erddurchmesser durchwandern, oder auch alle Möglichkeiten dazwischen. Abbildung 7 zeigt den Fall für einen Abstand von 6000 km<sup>14</sup>.

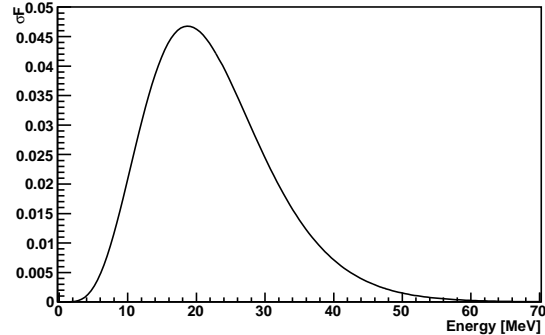


Abbildung 6: Das Energiespektrum der Elektron-Antineutrinos

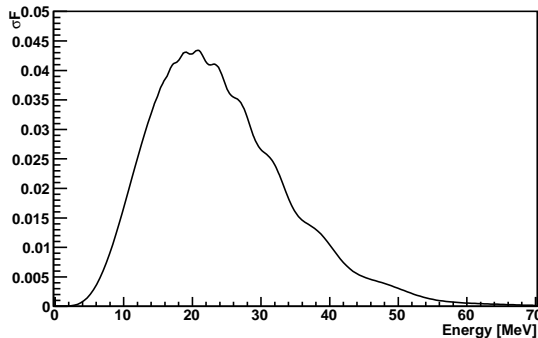


Abbildung 7: Das Energiespektrum der Elektron-Antineutrinos wenn sie vorher 6000 km durch Erdmaterie propagiert sind.

Wie man sieht treten dabei kleine Schwankungen auf. Die Abstände zwischen den einzelnen kleinen Hügeln ist nun abhängig von der Strecke, die die Neutrinos durch die Erde zurücklegen. Wenn man nun also in der Lage ist, nach einer Supernova-Explosion dieses Spektrum sehr genau auszumessen, dann kann man durch die Abstände zwischen den Hügeln darauf zurückschließen, wo die Neutrinos hergekommen sind. Das ist zwar nicht eindeutig, denn es bleibt ein ganzer Kreisring übrig auf dem die Entfernung die gleiche ist. Wenn zum Beispiel einen Detektor am Südpol<sup>15</sup> hat, dann können die Neutrinos bei einer Länge, die dem Abstand vom Pol zum Äquator entspricht, überall am Äquator in die Erde eingetreten sein, ohne dass man herausfinden kann an welcher Stelle genau. Verwendet man die gleiche Methode allerdings noch bei einem zweiten Neutrino-detektor, dann erhält man zwei solche Kreisringe die sich nur noch in zwei Punkten schneiden: Dann

hat man die Position der Supernova schon auf zwei Möglichkeiten eingeschränkt. Bei einem dritten Detektor kennt man die Position eindeutig.

Um den Abstand dieser kleinen Erhebungen zu bestimmen kann man die Fourier-Transformation benutzen. Genau genommen wird sie auf das inverse Energiespektrum angewandt das entsteht wenn man das Spektrum in Abhängigkeit von  $y = 12,5/E$  plottet. Abbildung 8 zeigt das Ergebnis wenn man die Methode auf 3000 km, 6000 km, 9000 km und 12000 km anwendet. Es ergibt sich ein einziger Peak, dessen Position (in der Fourier-Komponenten  $k$ ) von dem Abstand der kleinen Hügel im ursprünglichen Spektrum abhängt.

<sup>14</sup>Zum Vergleich: Der Erddurchmesser beträgt etwa 12742 km

<sup>15</sup>Es gibt tatsächlich solch einen Detektor: IceCube. Er ist allerdings nicht in der Lage das Spektrum zu rekonstruieren, kann also nicht für diese Methode verwendet werden.



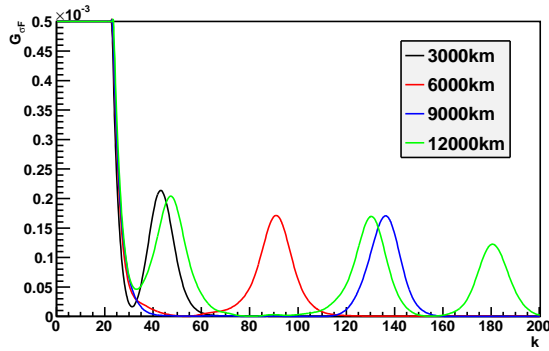


Abbildung 8: Die Fouriertransformierte des inversen Energiespektrums für vier verschiedene Längen, die die Neutrinos durch die Erde zurücklegen.

einem Detektor der noch etwas größer ist als Super-Kamiokande und einem Abstand der Supernova von 5 kpc. Dies stellt einen äußerst optimistischen (aber realistischen) Fall dar. Ein zweites Problem liegt in der Energieauflösung der Neutrino-Detektoren: Die Energie eines Neutrinos muss sehr genau bekannt sein um die kleinen Schwankungen sehen zu können. Es stellt sich heraus, dass Wasser-Cherenkov-Detektoren wie Super-Kamiokande eine zu schlechte Energieauflösung haben, also die Energie nicht genau genug bestimmen können. Desweiteren haben Wasser-Cherenkov-Detektoren die Möglichkeit, die Position einer Supernova durch Prozesse der elastischen Streuung (siehe Abschnitt 7.2) zu bestimmen, da hier das Elektron bevorzugt in die gleiche Richtung abgestrahlt wird wie die, aus der das Neutrino kommt.

Sogenannte Szintillationsdetektoren haben eine fünf bis sechs mal bessere Energieauflösung, allerdings existieren bisher nur sehr kleine Detektoren dieser Art (der größte, KamLAND, hat eine Masse von 1000 Tonnen als Detektormaterial - zum Vergleich: Super-Kamiokande verwendet 50000 Tonnen). Das liegt daran, dass Wasser-Cherenkov-Detektoren Wasser als Detektormaterial verwenden welches sehr günstig zu erhalten ist, was auf Szintillatoren nicht zutrifft. Jedoch existiert der Vorschlag, einen 50000-Tonnen Szintillationsdetektor namens LENA in Finnland zu bauen. Ein solcher Detektor könnte für die hier vorgestellte Methode verwendet werden. Szintillationsdetektoren sind auch nicht anderweitig in der Lage, die Richtung der Supernova zu bestimmen. Gerade wenn also kein Wasser-Cherenkov-Detektor zum Zeitpunkt einer Supernova am Laufen ist könnte diese Methode die einzige Möglichkeit sein, herauszufinden, wo die Supernova stattfand.

Konkret habe ich nun die Ereignisse von sehr vielen Supernovae in einem Detektor simuliert. Dazu habe ich eine Verteilung wie in Abbildung 7 dargestellt zugrunde gelegt und eine gewisse Anzahl Ereignisse erzeugt die dieser Verteilung folgen. Jedes Ereignis wurde mit einer gaußschen Zufallsvariable verschmiert um der endlichen Energieauflösung des Detektors gerecht zu werden. Auf dem Ergebnis wurde die Fouriertransformation durchgeführt und mit Hilfe eines Algorithmus die Position des Peaks bestimmt. Das ganze habe ich viele Male für alle Längen  $L$  zwis-

Auffällig ist zum einen dass man bei kleinen Abständen ( $< 2000$  km) keinen Peak mehr sehen wird, da er im sogenannten low- $k$ -Peak untergeht - das ist links im Bild wo alle Kurven steil ansteigen. Das liegt daran, dass, wenn die Neutrinos nicht, oder nur kurz, durch die Erde hindurchgehen auch keinen weiteren Oszillationen unterworfen sind, die es erlauben würden auf ihre Richtung rückzuschließen. Zum anderen sieht man für große Abstände (12000 km) mehr als einen Peak. Das sind zusätzliche Effekte, die auftreten, wenn die Neutrinos den sehr dichten Erdkern passieren.

In der Praxis gibt es jedoch eine Menge Effekte, die die Qualität der Analyse einschränken. Zum einen muss man sehr viele Ereignisse messen um die kleinen Abweichungen im Spektrum überhaupt sehen zu können. Ab etwa 60000 Ereignissen erhält man ein akzeptables Spektrum. Das entspricht

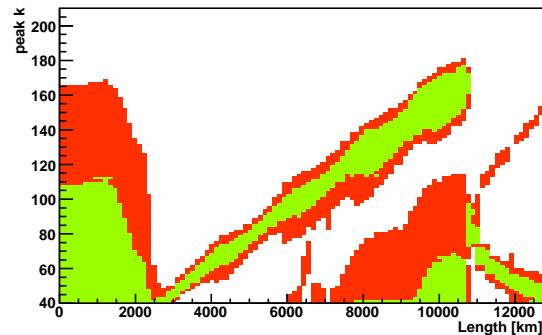


Abbildung 9: Die Neyman-Konstruktion für einen Szintillationsdetektor bei 60000 Ereignissen. Nach Messung eines  $k$ -Wertes kann man in diesem Bild eine horizontale Gerade auf der zugehörigen Höhe durchlegen. Die Supernova kommt dann zu einer Wahrscheinlichkeit von 68 % (grün) bzw. 90 % (rot) aus einem der Bereiche die zu den  $L$ -Werten gehören, bei denen diese Gerade den grünen bzw. den roten oder den grünen Bereich berührt.

chen 0 km und 12742 km, was gerade dem Erddurchmesser entspricht, durchgeführt. Daraus ergibt sich eine Verteilung der gemessenen Peak-Position für jedes  $L$ . Tritt nun tatsächlich eine Supernova auf, so misst man daraus genau ein  $k$ -Wert für jeden Detektor. Anhand dieser Verteilung kann man dann schauen, welches  $L$  und damit welche Richtung aus der die Supernova kommt dazu passt.

Für die genaue Auswertung um auf die Richtung der Supernova zu kommen wurde die sog. *Neyman-Konstruktion* durchgeführt, wie in Abbildung 9 gezeigt. Damit werden Bereiche im Weltraum bestimmt in denen die Supernova mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit, zum Beispiel 90 %, gelegen hat. Wie man sieht ergeben sich dadurch Mehrdeutigkeiten, die durch die Verwendung der gleichen Methode an mehreren Detektoren aufgehoben werden können. Dazu müssen natürlich jedoch mehrere hinreichend große Detektoren vorhanden sein.

Wie man genau auf diese Neyman-Konstruktion kommt wird dann allerdings schnell sehr technisch und hilft auch nicht dabei weiter die Idee des Verfahrens zu verstehen, daher verzichte ich hier auf eine weitere Beschreibung. Wer dennoch an weiteren Details interessiert ist, dem sei geraten sich die Veröffentlichung „Obtaining supernova directional information using the neutrino matter oscillation pattern“, die als Resultat dieser Arbeit entstanden ist, anzusehen. Sie ist auf <http://arxiv.org> erhältlich wenn man zum Beispiel nach „0910.3174“ sucht. Sie soll auch in der Zeitschrift „Physical Review D“ der APS (American Physical Society) erscheinen.

Methodisch habe ich wieder sehr viel mit ROOT gearbeitet. Ich habe anfangs auch Mathematica genutzt, allerdings hat sich schnell herausgestellt, dass es zu langsam in der Ausführung ist um die vielen Berechnungen durchzuführen. Ich habe auch viel über Statistik und Likelihood-Methoden gelernt um die Konfidenzintervalle genau zu bestimmen.

## 8 Fazit

Ich wurde sehr gut betreut. Auch wenn Dr. Scholberg drei oder vier Wochen nicht an der Duke war, so war sie doch immer per eMail zu erreichen. Das hat sich insofern als vorteilhaft herausgestellt, als dass man später auch vorherige Diskussionen und deren Ergebnisse nochmal nachlesen kann. Und ansonsten waren auch immer andere Ansprechpartner wie Roger oder einer der graduate students anwesend.

Inbesondere hat mich auch beeindruckt wie an amerikanischen Universitäten auch undergraduate students an Forschungsprojekten beteiligt werden. Das vermisse ich ein wenig in Deutschland, wo man oft vor der Diplomarbeit überhaupt nichts in diese Richtung mitbekommt. Vielleicht ändert sich das jetzt etwas mit dem Bachelor-Master-System.

Das Praktikum hat mich in der Auffassung bestärkt, später auch als Physiker in der Forschung arbeiten zu wollen. Ich finde es unheimlich spannend, der Natur ihre Geheimnisse zu entlocken.

Ich habe auch die Gelegenheit genutzt zum Anfang des Herbstsemesters eine Vorlesung über Teilchenphysik zu besuchen. Wo bei uns oft mehr oder weniger strikt zwischen theoretischer und experimenteller Physik getrennt wird wurde in diesem Kurs beides vermittelt, wodurch man gerade gut Brücken von der Theorie zum Experiment schlagen kann. Etwas gewöhnungsbedürftig fand ich die Voraussetzung, dass man mit einem bestimmten Buch arbeiten muss und die eher etwas verschulte Form der Veranstaltung. Hier bevorzuge ich die eher freiere Form des Studiums an deutschen Hochschulen. Nichtsdestrotz wird den Studenten an der Duke und wohl auch sonst in den USA mehr abverlangt als in einer typischen Hauptdiplomsveranstaltung in Deutschland.