Universität Hamburg

II. Institut für Experimentalphysik

Aufbau und erste Ergebnisse eines winkelsensitiven Triggers im Rahmen des HEGRA-Experimentes zum Nachweis von Gamma Ray Bursts im TeV-Bereich

Diplomarbeit

vorgelegt von

Sven Mildahn

Hamburg, März 1998

Inhaltsverzeichnis

Einleitung **1**

1 Das HEGRA-Luftschauerexperiment **3**
1.1 Der Luftschauer . . . 3
1.2 Der Aufbau des HEGRA-Experimentes . . . 4
1.3 Das Szintillationszählerfeld . . . 7
1.4 Die kosmische Strahlung . . . 9

2 Die Gamma Ray Bursts **11**
2.1 Das Compton Gamma Ray Observatory . . . 12
2.2 Das HETE-Experiment . . . 13
2.3 Allgemeine Eigenschaften der Gamma Ray Bursts . . . 14
2.3.1 Das zeitliche Verhalten . . . 14
2.3.2 Das spektrale Verhalten . . . 15
2.3.3 Das statistische Verhalten . . . 16
2.4 Modelle zum Entstehungsort von Gamma Ray Bursts . . . 16
2.4.1 Das Oort-Wolken Modell . . . 16
2.4.2 Das Modell vom ausgedehnten galaktischen Halo . . . 17
2.4.3 Das Modell vom kosmologischen Ursprung . . . 17
2.5 Neue Ergebnisse der GRB-Suche . . . 17
2.5.1 Das BeppoSAX-Experiment . . . 17
2.5.2 Die Messung von GRB970228 und GRB970508 und deren Interpretation . . . 18

3 Der gerichtete Trigger für das Szintillatorfeld **20**
3.1 Die technische Umsetzung des HASTs . . . 21

4 Die Software-Steuerung des gerichteten Triggers **22**
4.1 Die Programmier-Plattform 'LabVIEW' . . . 22
4.2 Die Anforderungen an die Software . . . 24
4.2.1 Die Verarbeitung der E-Mails . . . 24
4.2.2 Die Berechnung der Zeitverzögerungen . . . 24
4.2.3 Die Burst-Messung . . . 25

4.2.4 Das Protokoll . . . 25
4.3 Der Programmablauf . . . 25
4.3.1 Der Programmstart . . . 25
4.3.2 Der No-Burst-Modus . . . 28
4.3.3 Der Burst-Modus . . . 29
4.3.4 Der Old-Burst-Modus . . . 31
4.3.5 Der Untergrund-Modus . . . 32
4.3.6 Die interaktiven Möglichkeiten . . . 33
4.3.7 Die Dokumentation . . . 35
4.4 Überprüfung der Funktionsweise des HASTs . . . 35

5 Die Monte Carlo Untersuchungen 38
5.1 Die simulierten Schauer . . . 38
5.2 Die Energieschwelle . . . 39
5.3 Die Winkelauflösung . . . 41
5.4 Die Winkelakzeptanz . . . 42

6 Die Analyse der registrierten Burstdaten 45
6.1 Die Statistik der HAST-Bursts . . . 45
6.2 Das Analyseverfahren . . . 48
6.3 Die Ergebnisse der Burstanalyse . . . 50

Zusammenfassung 60

Anhang 62

A Burst Nr. 5644 62

B Burst Nr. 5645 66

C Burst Nr. 5697 70

D Burst Nr. 6119 74

E Burst Nr. 6124 78

Literaturverzeichnis 83

Danksagung 84

Einleitung

Auf der Suche nach Antworten auf die Fragen, woher wir kommen und wohin wir gehen, beschäftigt die Beobachtung des Weltalls die Menschheit seit Jahrtausenden. Doch werden zunächst meist mehr Fragen aufgeworfen als Antworten geliefert. So auch bei der Beobachtung von Gamma Ray Bursts (GRBs), die in den späten sechziger Jahren begann und zur Zeit von etwa einem Dutzend Satelliten und ca. 35 erdgebundenen Experimenten durchgeführt wird. Doch die Ausbeute an Informationen über GRBs ist verhältnismäßig gering. So ist weder geklärt, wie noch wo sie entstehen. Gamma Ray Bursts sind Strahlungsausbrüche, die zwischen einigen hundertstel Sekunden und ein paar Minuten andauern. In dieser kurzen Zeit werden enorme Energien freigesetzt, besonders wenn sie kosmologischen Ursprungs sein sollten. Die gemessenen γ-Energien liegen zwischen $1\,keV$ und $20\,GeV$. Bis zum heutigen Zeitpunkt ist es noch nicht gelungen, mit einem erdgebundenen Detektor einen Gamma Ray Burst im TeV-Bereich nachzuweisen ($1\,TeV = 10^{12}\,eV$). Bis Anfang 1997 konnten GRBs nur mit Satelliten-Experimenten wie BATSE[1] und COMPTEL[2] gemessen werden. Erst im Februar 1997 gelang es, den GRB970228 in verschiedenen Wellenlängen-Bereichen zu registrieren. Inzwischen wurden mehrere GRBs im Röntgen-, Radio- und optischen Bereich vermessen. Dieses gelang durch die schnelle Übermittlung der Burst-Koordinaten von einem Satelliten-Experiment (BeppoSAX) zu den erdgebundenen Teleskopen. In dieser Arbeit wird beschrieben, wie die durch BATSE und COMPTEL ermittelten Burst-Koordinaten dazu benutzt werden, die Szintillationszählermatrix des HEGRA[3]-Experimentes auf die GRB-Position auszurichten. Das HEGRA-Experiment besteht u.a. aus einem Feld von 243 Szintillationszählern. Die anderen Detektortypen spielen im Zusammenhang mit dieser Diplomarbeit keine Rolle.

Wenn ein hochenergetisches Photon in die Erdatmosphäre eintritt, finden Wechselwirkungen mit den Teilchen der Atmosphäre statt. Diese Wechselwirkungen sind in erster Linie Paar-Erzeugung und Bremsstrahlung. Dadurch produziert ein Primärteilchen eine große Anzahl von Sekundärteilchen, die als ein Luftschauer bezeichnet werden.

---

[1]The Burst and Transient Source Experiment

[2]The Imaging Compton Telescope

[3]High Energy Gamma Ray Astronomy

Die Sekundärteilchen bewegen sich, in einer Scheibe angeordnet, mit annähernd Lichtgeschwindigkeit auf die Erde zu. Die Sekundärteilchen können von dem Szintillationszählerfeld gemessen werden. So kann eine Richtungsbestimmung und eine Energie-Abschätzung des primären Teilchens erfolgen.

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es, durch den Einbau eines gerichteten Triggers, den wir HAST (**H**EGRA **A**ngle **S**ensitive **T**rigger) genannt haben, die normale 14er-Koinzidenz für das Szintillationszählerfeld mit einer Energieschwelle[4] von $12\,TeV$ durch eine 4er-Koinzidenz zu ersetzen, ohne die Triggerrate zu verändern. Dadurch ist es möglich, die Energieschwelle auf etwa $1,7\,TeV$ zu senken, was einen erstmaligen Nachweis von Gamma Ray Bursts im TeV-Bereich wahrscheinlicher werden läßt. Der Nachweis von Gamma Ray Bursts im TeV-Bereich wäre ein starkes Indiz für einen nicht kosmologischen Entstehungsort, denn extragalaktische TeV-Strahlung würde absorbiert werden. Daraus folgernd, wären einige Entstehungsszenarien auszuschließen.

Das HAST-Projekt haben wir (T. Prietz, S. Mildahn) in enger Zusammenarbeit durchgeführt. Die unterschiedlichen Schwerpunkte sind so verteilt, daß in der Diplomarbeit von T.Prietz [1], die Theorie zu den GRBs und die Hardware des HASTs, ausführlich beschrieben wird, während in dieser Diplomarbeit das Hauptaugenmerk auf die Entwicklung der Software für den HAST und auf erste Ergebnisse der HAST-Messungen gelegt wird. Die Analyse der HAST-Messungen bildet den Abschluß dieser Arbeit, doch zunächst wird das HEGRA-Luftschauerexperimentes beschrieben.

[4] 10%-Wert

Kapitel 1

Das HEGRA-Luftschauerexperiment

1.1 Der Luftschauer

Als einen Luftschauer bezeichnet man eine Kaskade von Sekundärteilchen in der Atmosphäre. Diese Sekundärteilchen entstehen dadurch, daß ein hochenergetisches Teilchen (Photon oder Hadron) in die Erdatmosphäre eindringt und mit einem Luftmolekül wechselwirkt. Die dabei entstehenden Teilchen können zerfallen oder erneut wechselwirken, so daß eine Kettenreaktion in Gang gesetzt wird und eine Vielzahl von Teilchen entsteht. Man unterscheidet zwischen elektromagnetischen und hadronischen Schauern aufgrund der unterschiedlichen Wechselwirkungen und der daraus folgenden unterschiedlichen Schauerentwicklungen.

- **Elektromagnetischer Schauer**: Ein photoninduzierter Schauer beginnt durch Paarbildung des Photons im Kernfeld eines Luftmoleküls. Das entstandene Elektron-Positron-Paar erzeugt durch Bremsstrahlung Photonen, die wiederum durch Paarbildung Elektronen und Positronen erzeugen. Die Anzahl der Teilchen erhöht sich und die mittlere Energie der Teilchen nimmt ab. Wenn die Energie der Teilchen soweit abgenommen hat ($< 81\,MeV$), daß ihre Energieverluste durch Ionisation, gegenüber denen durch Bremsstrahlung überwiegen, hat der Schauer sein Maximum erreicht und beginnt langsam auszusterben. Die beiden entscheidenden Größen für die longitudinale Entwicklung eines elektromagnetischen Schauers sind somit die Strahlungslänge der Elektronen in der Luft ($X_0 = 37,1\,g/cm^2$) und die Konversionslänge der Photonen ($9/7\,X_0$). Das bedeutet, daß selbst ein Schauer mit einer Energie des Primärteilchens von $1\,PeV$ bereits sein Maximum überschritten hat, wenn er das HEGRA-Feld erreicht.

- **Hadronischer Schauer**: Ein hadroninduzierter Schauer beginnt durch den Zusammenstoß eines Hadrons mit dem Kern eines Luftmoleküls. Dabei entstehen eine Vielzahl von Teilchen. Die meisten Teilchen sind Pionen. Die neutralen Pionen zerfallen in Photonen, die einen elektromagnetischen Subschauer erzeugen. Die geladenen Pionen können zerfallen oder weitere Wechselwirkungen eingehen.

Der Vergleich von elektromagnetischen Schauern und hadronischen Schauern ergibt, daß das Schauermaximum bei hadronischen Schauern tiefer liegt, außerdem ist die laterale Ausdehnung größer und ungleichmäßiger als bei elektromagnetischen Schauern [2].

Die Kaskade der Sekundärteilchen bewegt sich mit annähernd Lichtgeschwindigkeit und in einer Kegelfront angeordnet auf die Erde zu. Dabei beträgt die Kegelsteigung etwa $1,5\,Grad$. Die Kegelspitze ist der Punkt, an dem sich das Primärteilchen befinden würde, wenn es keine Wechselwirkungen erlitten hätte. Aufgrund der vielen Wechselwirkungen legen die Sekundärteilchen unterschiedlich lange Wegstrecken zurück, dadurch weist die Schauerfront Fluktuationen auf. Die Auswirkungen dieser Fluktuationen auf die Winkelakzeptanz des HASTs wird im Kapitel 5.4 anhand von Monte Carlo Simulationen untersucht.

1.2 Der Aufbau des HEGRA-Experimentes

Das HEGRA-Experiment besteht aus vier verschiedenen Detektortypen: Szintillationszähler, Weitwinkel-Tscherenkovlichtzähler (AIROBICC[1]), Geigertürme und abbildende atmosphärische Tscherenkovteleskope. Es befindet sich auf der kanarischen Insel La Palma ($28,8°$ nördl. Breite, $17,9°$ westl. Länge) $2200\,m$ über dem Meeresspiegel auf dem Roque de los Muchachos. Da die Teilchen in dieser Höhe nur einen Teil der Atmosphäre durchqueren müssen, sinkt die Energieschwelle für ihren Nachweis. Außerdem ist die klare Luft wichtig für die Tscherenkovlichtmessung. Die Anordnung der Komponenten ist der Abbildung 1.1 auf der nächsten Seite zu entnehmen.

- Das Szintillatorfeld besteht aus 243 Szintillationszählern, die auf eine Fläche von $180\,m \cdot 180\,m$ verteilt sind. Durch die Wechselwirkung eines geladenen Teilchens mit dem Szintillator wird Szintillationslicht erzeugt und durch einen oder zwei (je nach Bauart) Sekundärelektronenvervielfacher (SEV) registriert. Für eine ausführliche Beschreibung siehe Kapitel 1.3.

- Das AIROBICC-Feld besteht aus 77 Tscherenkovlichtdetektoren, die den Tscherenkovlichtkegel vermessen. Das Licht wird durch einen Winston-Konus-Spiegel auf einen speziell für diesen Zweck konstruierten SEV fokussiert [3].

[1] **AIR** shower **OB**servation with angle **I**ntegrating **C**erenkov **C**ounters

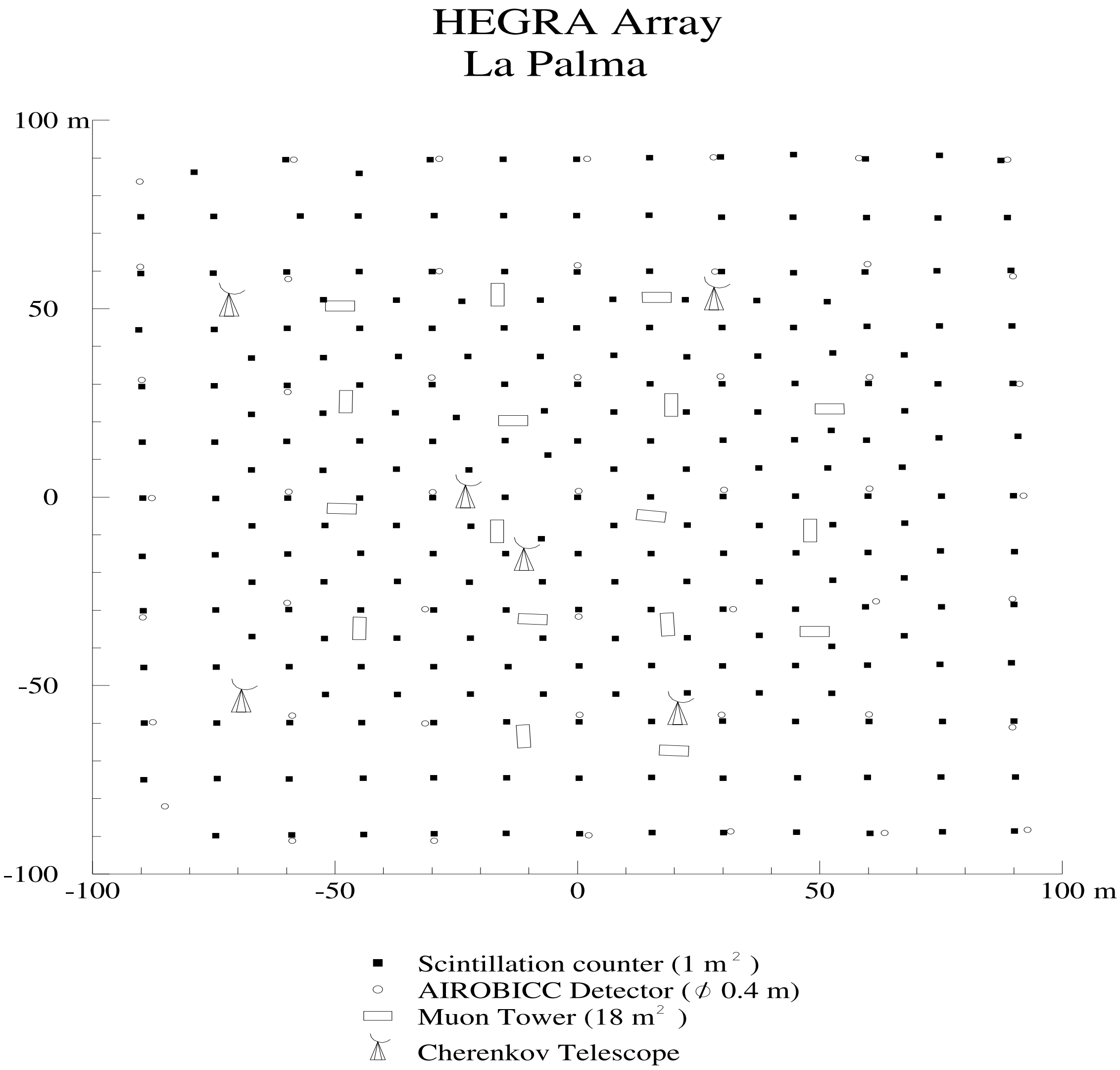

Abbildung 1.1: Skizze der Position der vier Detektortypen im HEGRA-Feld. Die Auslese-Elektronik ist in der Mitte des Feldes installiert.

- Das Feld der Geigertürme besteht aus 17 Detektoren mit einer sensitiven Gesamtfläche von $272\,m^2$. Die Türme bestehen aus 6 horizontalen Lagen von parallel angeordneten Geigerrohren. Unter den ersten beiden Lagen sind 9 Strahlungslängen Blei angebracht. Die beiden ersten Lagen geben Informationen über die Dichte der elektromagnetischen Komponente. Mit den restlichen Lagen ist die Identifikation und Richtungsbestimmung der Myonen möglich [4].

- Die 6 abbildende Tscherenkovteleskope lassen sich auf diskrete Objekte ausrichten. Das Tscherenkovlicht wird von einem Spiegel auf eine Kamera fokussiert, die aus vielen Sekundärelektronenvervielfachern besteht. Es handelt sich beim Teleskop(1) um einen Prototypen. Das Teleskop(2) wird den Abmessungen der baugleichen Teleskope(3-6) angeglichen, somit ist eine stereoskopische Beobachtung von Objekten möglich [5].

In der Mitte des Feldes befinden sich Container mit der Auslese-Elektronik und Arbeitsplätzen für das Schichtpersonal. Außer den Geigertürmen ist jeder der anderen drei Detektortypen in der Lage, einen Trigger zu liefern und dadurch die Auslese-Elektronik zu starten. Die Koinzidenzbedingungen für die einzelnen Komponenten sind jedoch unterschiedlich. So ist die Triggerbedingung für die Szintillationszähler größer gleich 14 Hütten. Dieses führt zu einer Triggerrate von ca. $12\,Hz$. Für AIROBICC ist die Triggerbedingung größer gleich 6 Zählern mit einer Rate von ca. $20\,Hz$. Das System der Teleskope triggert mit einer Rate von ca. $2\,Hz$. Die Teleskope sind ab einer Energie von $0,5\,TeV$ sensitiv, die AIROBICCs ab $15\,TeV$[2], die Szintillationszähler ab $12\,TeV$[3], jeweils bezogen auf die oben angegebenen Triggerbedingungen. Die Winkelauflösung beträgt für AIROBICC etwa $0,2\,Grad$ und für die Szintillationszähler etwa $0,9\,Grad$. Da sich die Energiebereiche zum Großteil überlagern, kann ein Luftschauer mit unterschiedlichen Detektoren vermessen werden, was natürlich ein Vorteil für die spätere Rekonstruktion darstellt, sowie eine Gamma-Hadron-Trennung erleichtert [6]. Außerdem ist es einfacher, systematische Fehler einer Komponente zu erkennen.

Die **Ziele** des HEGRA-Experimentes sind :

- Die Suche nach **Punktquellen** kosmischer γ-Strahlung.
- Die Messung des **Energiespektrums** und der **chemischen Komposition** der kosmischen Strahlung.
- Die Suche nach **Anisotropien** der kosmischen Strahlung.
- Die Suche nach **Gamma Ray Bursts** im TeV-Energiebereich.

[2] für senkrecht einfallende Schauer
[3] 10 %-Energieschwelle für senkrecht einfallende Schauer

An dem internationalen HEGRA-Experiment sind folgende Institute beteiligt :

- Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg
- Max-Planck-Institut für Physik, München
- Universität Hamburg
- Universität Kiel
- Universität Madrid, Spanien
- Universität Wuppertal
- Physikalisches Institut Yerevan, Armenien

1.3 Das Szintillationszählerfeld

Die Szintillationszähler-Matrix ist die Detektorkomponente des HEGRA-Experimentes, die vom HAST zur Messung von GRBs auf einen bestimmten Raumwinkelbereich sensitiv gemacht wird. Aufgrund der Tatsache, daß das Szintillationszählerfeld nach und nach erweitert wurde, gibt es drei etwas unterschiedliche Szintillationszähler-Modelle, die in Kiel, München und Hamburg hergestellt worden sind. Die Unterschiede in ihren Abmessungen und ihrer Anzahl von SEVs (ein oder zwei) sind aber ohne Konsequenzen für die Datennahme. Die nachfolgenden Abmessungen beziehen sich auf die Hamburger Zähler. Ein Szintillationszähler ist ein verzinktes Blechgehäuse mit den Maßen $1\,m \cdot 1\,m \cdot 0,7\,m$ mit einem lichtdichten Innenraum (siehe Abb. 1.2 auf der nächsten Seite). Im Inneren befindet sich, von oben nach unten betrachtet, eine Bleiplatte, eine Holzplatte, Szintillationsmaterial, ein Lichttrichter und ein oder zwei SEV.

Die $0,5\,mm$ ($\approx 0,9$ Strahlungslängen) dicke Bleischicht absorbiert Teilchen mit einer Energie von weniger als $6\,MeV$; diese sollen nicht berücksichtigt werden, da sie oftmals sehr verspätet den Detektor erreichen. Photonen mit einer Energie von mehr als $\approx 10\,MeV$ erzeugen durch Paarbildung im Blei Elektronen und Positronen, die im Szintillator registriert werden [4]. Die Bleischicht verändert die mittlere Anzahl der angesprochenen Zähler sowie die Energieschwelle nicht. Es werden nur die Zeitfluktuationen vermindert und somit eine bessere Richtungsrekonstruktion ermöglicht.

Die Zähler sind durch $150\,m$ lange Kabel mit der Datennahme verbunden. Da aufgrund von Temperaturschwankungen und Erneuerungen von Kabeln die exakten Längen nicht gegeben sind, werden diese durch regelmäßige Lichtpulserkalibrationen aktuell bestimmt. Das bedeutet, daß die in den Zählern installierten Leuchtdioden ein Signal liefern und die Zeit gemessen wird, bis dieses bei der Auslese-Elektronik ankommt. Dadurch läßt sich die Länge der Auslese-Kabel plus die der Lichtpulser-Kabel bestimmen.

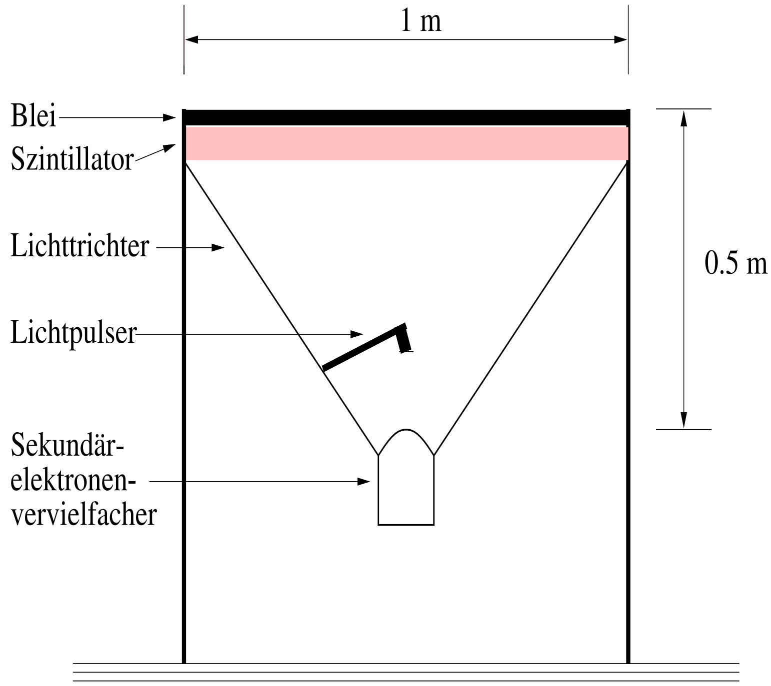

Abbildung 1.2: Skizze eines Szintillationszählers mit einem Sekundärelektronenvervielfältiger (Hamburger Zähler).

Damit die Datennahme ausgelöst wird ist es nötig, daß mindestens 14 Zähler innerhalb von 150 ns ein Signal liefern. Die SEV-Signale werden dann digitalisiert. Für jeden Zähler gibt es einen Diskriminator (constant fraction discriminator) und einen Zeit-Digital-Wandler (**T**ime **D**igital **C**onverter), die es ermöglichen, die Zeit zu bestimmen, bis ein Signal einen bestimmten Anteil seiner Amplitude erreicht hat, sowie einen Analog-Digital-Wandler (**A**nalog **D**igital **C**onverter), der die Höhe der Amplitude ermittelt.

Die Zeitauflösung eines Szintillatorzählers beträgt etwa 1 ns und ergibt sich aus seiner Geometrie [7, S.27f.] und der verwendeten Elektronik. Die Winkelauflösung des gesamten Szintillatorfeldes hängt nicht von der Auflösung der einzelnen Zähler ab, sondern in erster Linie von der Anzahl der Zähler, die ein Signal geliefert haben. Das ist darauf zurückzuführen, daß die Fluktuation der Schauerfront deutlich größer ist als die Zeitauflösung der Zähler.

Teilchen mit einer Mindestenergie von $\approx 3\,MeV$ (abhängig vom Szintillatormaterial) deponieren im Szintillator eine von ihrem Impuls nur schwach abhängige Energie, die proportional zur zurückgelegten Wegstrecke ist. Diese Teilchen nennt man minimalionisierende Teilchen. Da der zurückgelegte Weg eines Teilchens im Szintillator unter schrägem Einfallswinkel zunimmt, aber sich im gleichem Maße die sensitive Fläche verringert, kann man sagen, daß die deponierte Energie proportional zur Dichte der die Bleischicht verlassenden minimalionisierenden

Teilchen ist. Da man die SEV-Amplitude mit Hilfe des scharfen Einteilchenmaximums gut eichen kann, spricht man bei einer x-fachen Einteilchenamplitude von x registrierten Teilchen. Dies gilt natürlich nur, wenn über alle Zenitwinkel gemittelt wird. Die Amplitude eines Signals muß mindestens 30 Prozent der eines minimalionisierenden Teilchens betragen, damit der Zähler zum Auslösen der Datennahme beiträgt [8].

1.4 Die kosmische Strahlung

Die kosmische Strahlung ist im Zusammenhang mit dieser Arbeit nur insofern relevant, weil sie den Untergrund bei den HAST-Messungen bildet. Dennoch sollen die wichtigsten Erkenntnisse kurz Angesprochen werden. Das Spektrum der kosmischen Strahlung ist durch eine Vielzahl von Messungen gut bestimmt. So kann man den Fluß der kosmischen Strahlung in Abhängigkeit der Energie mit Hilfe des Potenzgesetzes 1.1 beschreiben:

$$\frac{d\Phi}{dE} \sim E^{-\gamma} \quad mit \quad \begin{cases} \gamma \approx 2,7 & \text{für} \quad E \leq 1PeV \\ \gamma \approx 3,0 & \text{für} \quad E > 1PeV \end{cases} \tag{1.1}$$

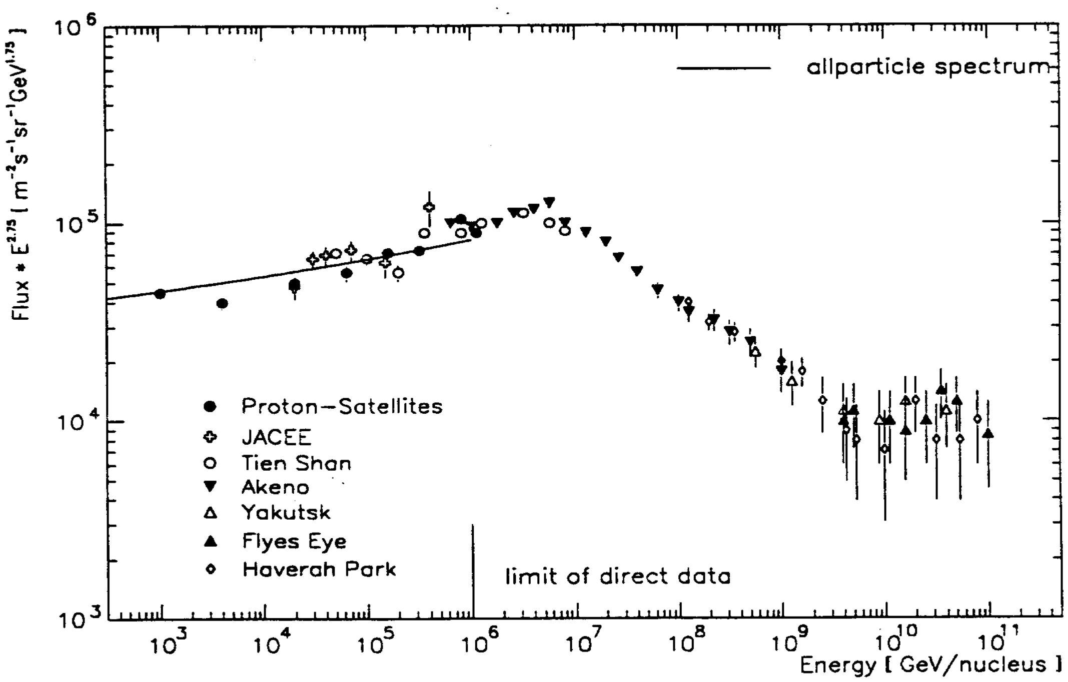

Abbildung 1.3: Der integrale Fluß der kosmischen Strahlung in Abhängigkeit zur Energie.

In Abbildung 1.3 auf der vorherigen Seite ist der Fluß der kosmischen Strahlung multipliziert mit $E^{2.75}$ dargestellt [9]. Es ist deutlich ein Abknicken des Spektrums bei etwa $1\,PeV$ zu erkennen, das sogenannte 'Knie', auf das hier nicht näher eingegangen werden soll, da dieser Energiebereich für die Gamma Ray Burst Untersuchung nicht relevant ist. So wurde in allen nachfolgenden Rechnungen $\gamma \approx 2,7$ angenommen.

Hochenergetische Photonen aus kosmischen Quellen können durch verschiedene Prozesse entstehen, wobei sie in der Regel als Sekundärprodukte bei der Entstehung von geladener kosmischer Strahlung auftreten [10]. Allerdings gelangen die Photonen nicht völlig ungestört bis zur Erde. So können sie durch Materie absorbiert werden oder durch Photon-Photon-Wechselwirkung verschwinden. Die Durchlässigkeit des Universums für Photonen hängt natürlich von ihrer Energie ab. Da aber die Photonendichte des Universum im infrarot Bereich nur unzureichend bekannt ist, ist es schwer, einen Transparenz-Faktor für die Photonen mit einer Energie zwischen $0,5\,TeV$ und $100\,TeV$ anzugeben. So ist man z.Zt. noch auf Schätzungen angewiesen. Im Energiebereich ab $100\,TeV$ finden nur Wechselwirkungen mit der 3K-Strahlung statt, und diese ist gut bekannt.

Kapitel 2

Die Gamma Ray Bursts

Die Geschichte der Erforschung der Gamma Ray Bursts begann vor mehr als zwanzig Jahren aus reinem Zufall. Die Amerikaner starteten Satelliten zur Beobachtung von Nukleartests, mit denen sie die emittierte Gammastrahlung messen konnten. Von diesen Satelliten wurden ein paar Sekunden andauernde Gammablitze gemessen. Es brauchte mehrere Jahre, bis man realisierte, daß dieses natürliche Erscheinungen sind. Im Jahr 1973 erschien eine Veröffentlichung von Klebesadel, Strong und Olson mit dem Titel 'Observations of gamma ray bursts of cosmic origin' [11]. Darin wird von sechzehn kurzen Ausbrüchen von Photonen im Energiebereich zwischen $0,2\,MeV$ und $1,5\,MeV$ in einer Zeitspanne von drei Jahren berichtet. Die Bursts dauerten zwischen weniger als $0,1\,sec$ und $30\,sec$ an. Allerdings wußte man zu diesem Zeitpunkt lediglich, daß die Bursts weder von der Erde noch von der Sonne kommen. Der Rest war Spekulation mit zum Teil recht abenteuerlichen Szenarien.

Ein wirklicher Fortschritt wurde erst im Jahr 1991 durch das 'Compton Gamma Ray Observatory' Experiment erzielt. Ein Detektor dieses Satelliten ist BATSE (Burst and Transient Source Experiment), der eine Beobachtung des gesamten Himmels im Energiebereich zwischen $30\,keV$ und $1,9\,MeV$ ermöglicht. Bis zum Dezember 1996 wurden von BATSE 1700 Bursts gemessen, und das bemerkenswerteste Ergebnis ist die isotrope Verteilung der Bursts, wodurch einige Theorien widerlegt werden konnten (siehe Abb. 2.2 auf Seite 16). Aber es gibt immer noch verschiedene sich widersprechende Modelle über die Entstehungsmechanismen und den Entstehungsort der Gamma Ray Bursts [12].

Bis zum Jahr 1996 wurden GRBs nur im Energieintervall von $1\,keV$ bis $20\,GeV$ registriert. Erst 1997 kam es zu einigen spektakulären Nachweisen in anderen Energiebereichen, diese werden im Kapitel 2.5 beschrieben. Zum Verständnis der GRBs ist es von Bedeutung, Gegenstücke im TeV-Bereich zu messen oder deren Existenz ausschließen zu können. Dazu soll das HAST-System seinen Beitrag leisten.

Die bisher gewonnenen Erkenntnisse und die drei populärsten Theorien sollen in diesem Kapitel vorgestellt werden. Zuvor soll aber das 'Compton Gamma Ray

Observatory' Experiment näher besprochen werden, da es für das HAST-System von besonderer Bedeutung ist.

2.1 Das Compton Gamma Ray Observatory

Das bislang wichtigste Experiment[1] zur Erforschung von Gamma Ray Bursts ist das Compton Gamma Ray Observatory (CGRO). Dies ist ein im April 1991 in einer Erdumlaufbahn stationierter Satellit, der vier Detektoren (BATSE, OSSE, COMPTEL und EGRET) beherbergt. Der Abbildung 2.1 ist deren Anordnung zu entnehmen. Die einzelnen Komponenten unterscheiden sich durch ihre Winkelauflösungen und den Energiebereichen, in denen sie sensitiv sind. So wird insgesamt ein Energiespektrum von $5\,keV$ bis $30\,GeV$ abgedeckt.

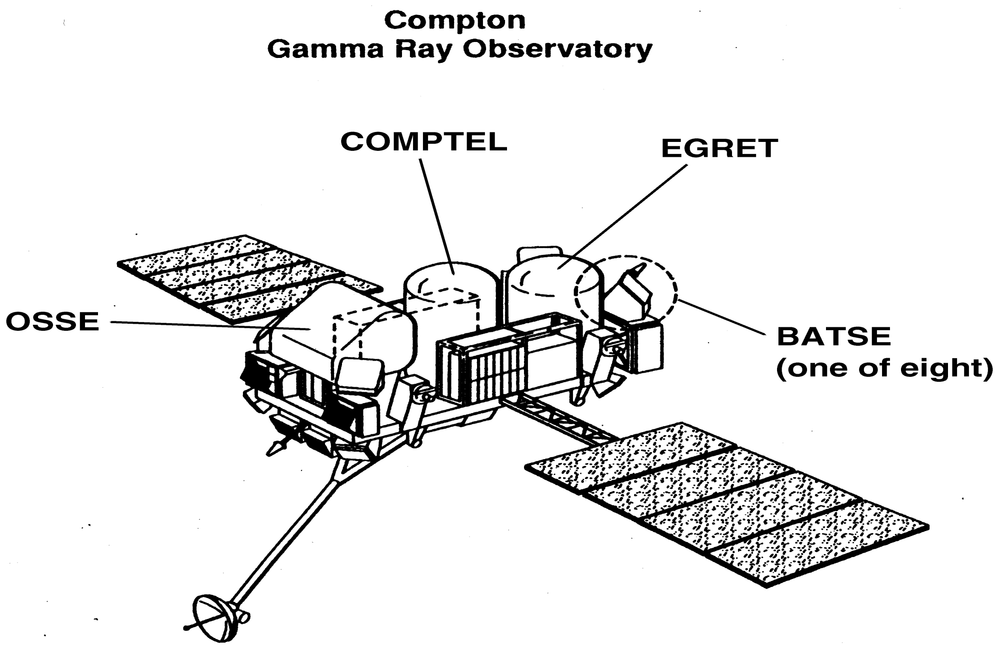

Abbildung 2.1: Skizze des Compton Gamma Ray Observatory mit seinen verschiedenen Detektor-Komponenten (BATSE,OSSE,COMPTEL und EGRET).

- Das **B**urst **a**nd **T**ransient **S**ource **E**xperiment (BATSE) [13] ist im Energieintervall von $5\,keV$ bis $2\,MeV$ sensitiv. Es deckt einen Raumwinkel von $4\,\pi$ ab und besitzt eine Energieschwelle von $10^{-7}\,ergs/cm^2$. Insgesamt besteht BATSE aus 8 Detektoren, die in den Ecken von CGRO angeordnet sind.

[1] Seit 1997 muß man das BeppoSAX-Experiment als mindestens gleich bedeutsam einschätzen, siehe Kapitel 2.5.

Die Triggerbedingung ist eine Koinzidenz von mindestens zwei Zählern. Die Winkelauflösung ist abhängig von der Zahl der registrierten Burstphotonen und liegt zwischen $1,6°$ und $13°$. BATSE ist die wichtigste der vier Komponenten des CGROs für den HAST. Von den 23 Datensätzen, die der HAST aufgenommen hat, wurden 22 von BATSE und nur einer von COMPTEL ausgelöst. Insgesamt hat BATSE bis Ende 1996 etwa 1700 Bursts registriert.

- Das Imaging **Comp**ton **Tel**escope (COMPTEL) [14] arbeitet in einem Energieintervall von $0,75\,MeV$ bis $30\,MeV$. Es besteht aus zwei Stufen. Die erste ist ein Flüssigszintillator, die zweite ein NaI-Kristall-Szintillator. Der sensitive Raumwinkelbereich ist $1\,sr$ mit einer Winkelauflösung von etwa $1°$. Von COMPTEL wurden bis jetzt etwa 25 Bursts gemessen.

- Das **E**nergetic **G**amma **R**ay **E**xperiment **T**elescope (EGRET) [15] deckt den hochenergetischen Bereich ab und ist sensitiv zwischen $20\,MeV$ und $30\,GeV$, mit einer Winkelauflösung von $0,5°$ für starke Quellen. Es deckt einen Raumwinkelbereich von $0,5\,sr$ ab.

- Das **O**riented **S**cintillation **S**pectrometer **E**xperiment (OSSE) [16] arbeitet im Energiebereich von $50\,keV$ bis $10\,MeV$. Es besteht aus vier Szintillatoren mit einem Gesichtsfeld von jeweils $3,8° \cdot 11,4°\,FWHM$[2].

Außer dem CGRO gibt es noch weitere im All stationierte Experimente zur Erforschung von GRBs. Eines davon ist der auf einer Sonnenumlaufbahn gebrachte ULYSSES-Satellit, welcher im Oktober 1990 gestartet wurde.

Aufgrund der schlechten Winkelauflösung von Satelliten-Experimenten liegt es nahe, die einzelnen Meßdaten miteinander zu kombinieren. Dieses geschieht durch das third **Inter**planetary **N**etwork (IPN). Dadurch ist es möglich, die Burstposition auf ein Ringsegment von $0,15°$ Breite genau zu bestimmen.

Durch das **BA**TSE **Co**ordinate **Di**stribution **Ne**twork (BACODINE) werden die vom CGRO gemessenen Burstdaten weltweit via Internet verbreitet. So gelangt auch der HAST im Idealfall bereits einige Sekunden nach dem Burstausbruch an die Burstkoordinaten. Es kann aber auch einige Minuten dauern.

2.2 Das HETE-Experiment

Im Oktober 1996 startete das HETE (**H**ight **E**nergy **T**ransient **E**xplorer) Experiment, welches der erste, speziell für die GRB-Suche in verschiedenen Wellenlängenbereichen konzipierte Satellit war. Doch leider mißglückte das Unternehmen und HETE konnte seinen Betrieb niemals aufnehmen. Der Grund dafür, daß an dieser Stelle trotzdem kurz auf HETE eingegangen werden soll, besteht

[2] Full Width Half Maximum

darin, daß dieses Experiment von großer Bedeutung für den HAST gewesen wäre.

HETE beherbergte drei Detektortypen, die zusammen einen Energiebereich von $500\,eV$ bis $1\,MeV$ abgedeckt hätten. Die Winkelauflösung wäre gegenüber BATSE deutlich verbessert worden und hätte etwa $1\,sr$ betragen [17]. Der größte Vorteil hätte aber darin bestanden, daß die Informationen über einen GRB und dessen Position den HAST bereits nach wenigen Sekunden erreicht hätte, da E-Mails[3] direkt von HETE verteilt worden wären und nicht den 'Umweg' über das BACODINE-Netzwerk hätten nehmen müssen. Da einige Bursts nur wenige Sekunden andauern, wäre die Wahrscheinlichkeit, spontane Emission zu messen, deutlich gestiegen.

2.3 Allgemeine Eigenschaften der Gamma Ray Bursts

Es ist zwar trotz aller ungeklärten Fragen bezüglich der GRBs unumstritten, daß es sich um eine eigene Klasse von Objekten handelt. Dennoch sind die Unterschiede zwischen einzelnen Bursts so groß, daß eindeutige Charakteristika schwer zu finden sind. Im folgendem sollen die drei wichtigsten Parameter besprochen werden. Dabei handelt es sich um das zeitliche, spektrale und statistische Verhalten der GRBs.

2.3.1 Das zeitliche Verhalten

Die Unterschiede im zeitlichen Verhalten der GRBs sind so gravierend, daß es mit Hilfe nur dieses Kriteriums kaum möglich wäre, sie einer gemeinsamen Klasse zuzuordnen. So variiert die Burstdauer über mehrere Größenordnungen und die Verteilung der Intensitätsmaxima ist von Burst zu Burst sehr unterschiedlich. Dennoch ist es unumgänglich, eine Einteilung vorzunehmen, um Korrelationen mit anderen Observablen zu erkennen und zu untersuchen. So wurden bezüglich der Form des zeitlichen Spektrums vier Klassen etabliert :

- Burstausbruch mit nur einem Maximum
- Burstausbruch mit mehreren Maxima
- Mehrere Burstausbrüche in direkter Folge
- Burstausbruch mit völlig ungeordneter Struktur

[3] ektronische Nachricht, die via Internet verbreitet wird

Für jede dieser vier Gruppen gibt es noch diverse Fein-Unterteilungen, die sich im wesentlichen auf die Anstiegs- und Abklingzeiten und auf gewisse Substrukturen beziehen. Insgesamt kann man sagen, daß mit steigender Energie die Burstdauer zunimmt. Außerdem sind die Anstiegsflanken in der Regel steiler als die Abstiegsflanken. Daraus schlossen Link [18] und Nemiroff [19], daß ein explosionsartiges Ereignis das wahrscheinlichste Szenario für die Burstentstehung ist.

Die Dauer eines Bursts liegt zwischen etwa $30\,ms$ und mehr als $1000\,s$. Allerdings ist es aufgrund der Untergrundstrahlung nicht möglich, den exakten Beginn und das Ende eines Bursts zu erkennen. So wird von der 'BATSE-Gruppe' die Burstdauer als der Zeitraum angegeben, in dem 90 % des Flusses nachgewiesen werden, wobei die ersten und letzten 5 % ignoriert werden. Der große Vorteil dieser Definition liegt darin, daß sie intensitätsunabhängig ist.

2.3.2 Das spektrale Verhalten

Die GRBs aufgrund ihrer spektralen Eigenschaften in eine oder mehrere Unterklassen einzuteilen ist ebenso schwierig wie anhand ihres zeitlichen Verhaltens. Aber es gibt einige Eckdaten, die für alle bis jetzt registrierten Bursts gültig sind. Die gemessenen Energieintervalle liegen zwischen $1\,keV$ und $20\,GeV$, wobei fast die gesamte Energie oberhalb von $50\,keV$ emittiert wird mit einem typischen Maximum bei einigen hundert keV [20].

Die allgemeine Beschreibung des Burstspektrums im Energiebereich von einigen keV bis zu einigen MeV gelang D. Band [20]. Das nach ihm benannte Modell hat folgendes Aussehen :

$$\frac{dN}{dE} = A\left(\frac{(\alpha-\beta)E_0}{100\,keV}\right)^{(\alpha-\beta)} exp(\beta-\alpha)\left(\frac{E}{100\,keV}\right)^{\beta} \quad \text{für} \quad E > (\alpha-\beta)E_0$$

$$\frac{dN}{dE} = A\left(\frac{E}{100\,keV}\right)^{\alpha} exp\left(\frac{-E}{E_0}\right) \quad \text{für} \quad E \leq (\alpha-\beta)E_0 \qquad (2.1)$$

α = spektraler Index für niedrige Energien A = Amplituden-Parameter
β = spektraler Index für hohe Energien E_0 = Trennenergie

Die vier Parameter variieren von Burst zu Burst. Typische Werte sind:
$\alpha = -1$, $\beta = -2$ und $E_0 = 200\,keV$. Durch das COMPTEL-Experiment wurde das Exponentialgesetz im Energiebereich von $1\,MeV$ bis $10\,MeV$ bestätigt, mit einen differentiellen spektralen Index zwischen $-1,6$ und $-2,8$.

An dieser Stelle soll nochmals darauf hingewiesen werden, daß bis zum heutigen Tage noch keine Bursts im TeV-Bereich gemessen wurden.

2.3.3 Das statistische Verhalten

Um zu ermitteln, wo die Entstehungsorte der GRBs liegen, stehen zwei meßbare Größen zur Verfügung. Zum einen die Winkelverteilung (Abb. 2.2), zum anderen die Intensitätsverteilung (Abb. 2.3). Die Winkelverteilung läßt sich je nach Experiment ziemlich präzise bestimmen. Die unbekannte Größe ist die Entfernung der GRBs. Um diese zu ermitteln, steht nur die Intensitätsverteilung zur Verfügung. Da die Entstehungmechanismen und die Wechselwirkungen der Photonen auf dem Weg zur Erde aber weitestgehend unbekannt sind, ist dieses ein nicht einfach zu lösendes Problem.

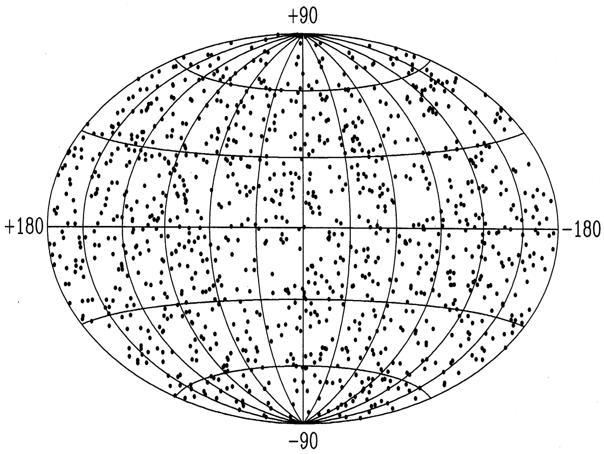

Abbildung 2.2: Die Positionen von 1122 GRBs aus dem BATSE 3B-Katalog in galaktischen Koordinaten.

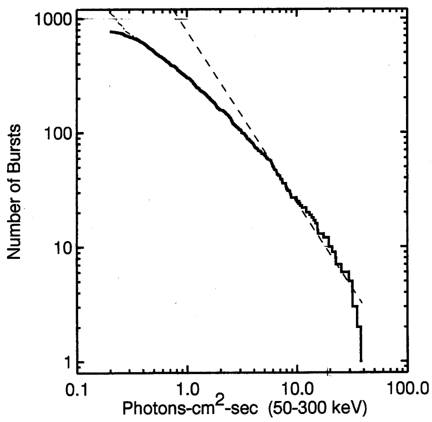

Abbildung 2.3: Integrale Intensitätsverteilung log N (>S) gegen log S von 772 GRBs aus dem BATSE 3B-Katalog.

2.4 Modelle zum Entstehungsort von Gamma Ray Bursts

Es gibt zwei große ungeklärte Fragen bezüglich der GRBs: Zum einen wie, zum anderen wo sie entstehen. Zum Entstehungsort gibt es zur Zeit drei mögliche Theorien. Diese sollen kurz vorgestellt werden.

2.4.1 Das Oort-Wolken Modell

Die Oort-Wolke befindet sich $0,05\,pc$ von der Erde entfernt. In der Oort-Wolke befinden sich Kometen, die durch Kollision miteinander, mit schwarzen Löchern oder mit Antimateriekometen die Ursache von GRBs sein könnten. Die freigesetzte Energie müßte bei diesem Modell etwa $10^{31}\,erg$ betragen.

2.4.2 Das Modell vom ausgedehnten galaktischen Halo

Der ausgedehnte galaktische Halo ist lediglich für die Erklärung von GRBs postuliert worden. Somit konnte seine Entfernung von der Erde, als auch seine Ausdehnung den Erfordernissen problemlos angepaßt werden. Aus der isotropen Verteilung der GRBs kann man einen minimalen Abstand zur Erde von etwa $110\,kpc$ bestimmen. Die maximale Entfernung von etwa $350\,kpc$ folgt aus der Überlegung, daß BATSE bis jetzt noch keinen Überschuß von GRBs aus der Richtung von M31 registrieren konnte (siehe Abbildung 2.2 auf der vorherigen Seite) [21]. Daraus folgt eine freizusetzende Energie von etwa $10^{42}\,erg$.

2.4.3 Das Modell vom kosmologischen Ursprung

Die dritte Möglichkeit ist, daß die GRBs kosmologischen Ursprungs sind. Dafür spricht die isotrope Verteilung, da dieses eine zwingende Bedingung für dieses Modell ist. Auch die inhomogene Intensitätsverteilung wäre kein Widerspruch zu dieser Annahme, da diese aufgrund von Rotverschiebungseffekten zustande kommen könnte. Die freigesetzte Energie müßte etwa $10^{52}\,erg$ betragen.

2.5 Neue Ergebnisse der GRB-Suche

Im vergangenem Jahr (1997) wurde in der GRB-Suche ein großer Schritt nach vorne getan. Durch die Registrierung von GRBs in anderen Wellenlängen-Bereichen sind wichtige neue Erkenntnisse gewonnen worden. Ermöglicht wurde dieses durch das Satellitenexperiment BeppoSax. Im nächsten Abschnitt wird das BeppoSAX-Experiment kurz vorgestellt. Im Anschluß daran wird ein Überblick über die Meßergebnisse und deren Interpretation gegeben.

2.5.1 Das BeppoSAX-Experiment

Der italienisch(ASI[4])- niederländische(NIVR[5]) Forschungssatellit BeppoSAX wurde am 30.04.96 von der ESA[6] in einer Erdumlaufbahn stationiert. BeppoSax ist im Röntgenbereich sensitiv und besteht aus verschiedenen Detektor-Komponenten, die sich in zwei Klassen einteilen lassen. Zum einen sind dieses die **N**arrow **F**ield **I**nstruments (NFI) zur Beobachtung von Punktquellen, zum anderen die Weitwinkel-Detektoren **W**ide **F**ield **C**ameras (WFC) und das **P**hoswich[7] **D**etector **S**ystem (PDS). Die NFIs weisen alle in die gleiche Richtung. Mit ihnen wird ein Energiebereich von $0,1\,keV$ bis $200\,keV$ abgedeckt. Die WFCs sind zwei

[4]Italian Space Agency
[5]Dutch Agency for Space Programs
[6]European Space Agency
[7]PHOsphor sandWICH

entgegengesetzt zu einander angebrachte Weitwinkelkameras, die eine 'Ganzhimmelbeobachtung' ermöglichen. Ihr sensitiver Energiebereich liegt zwischen $2\,keV$ und $28\,keV$. Das PDS ist für die GRB-Suche zuständig und besteht aus vier unabhängigen Szintillator-Detektoren. Es wird ein Raumwinkelbereich von $1,4\,\varnothing\,FWHM$ abgedeckt im Energieintervall von $15\,keV$ bis $300\,keV$. Der wahre Wert von BeppoSAX liegt im Zusammenspiel der verschiedenen Detektor-Komponenten und der schnellen Bestimmung und Veröffentlichung der Burst-Koordinaten, so daß andere Experimente in anderen Wellenlängen-Bereichen aktiv werden können. So wurde am 28.02.97 sowohl vom PDS als auch von den WFCs ein GRB registriert, und bereits acht Stunden später waren auch die NFIs auf seine Position ausgerichtet. Dadurch wurde zum erstenmal ein GRB im Röntgenbereich vermessen und dieses mit einer Richtungsgenauigkeit von $0,01\,Grad$ [22].

2.5.2 Die Messung von GRB970228 und GRB970508 und deren Interpretation

Der GRB970228 war der erste GRB, der in verschiedenen Wellenlängen-Bereichen registriert wurde. Acht Stunden nach der Registrierung durch die Weitwinkel-Detektoren von BeppoSAX wurden die NFIs auf die Burstposition ausgerichtet. Es wurde eine nicht katalogisierte Röntgenquelle (1SAXJ0501.7+1146) innerhalb des Richtungsfehlers entdeckt. Nach vier Tagen hat die Quelle um den Faktor 20 an Intensität verloren [22]. Auch optische Teleskope, wie z.B. das Hubble Weltraum Teleskop, konnten einige Tage später an dieser Position eine schwächer werdende Quelle messen.

Der GRB970508 wurde im Gamma-, Röntgen-, Radio- und optischen Bereich registriert. Es war der erste GRB, der aufgrund von Absoptionslinien eine Abschätzung seiner Entfernung ermöglichte. Im optischen Bereich wurden Emissions- und Absorptionslinien von $Mg\,II$ und $Fe\,II$ bei einer Rotverschiebung von $z \geq 0,835$ beobachtet. Außerdem läßt sich eine Obergrenze von $z \lesssim 2,3$ bestimmen [23]. Für detalliertere Informationen siehe [24] und [25].

Es soll nicht unerwähnt bleiben, daß nicht bei jedem GRB Strahlung im Röntgen- oder optischen Bereich gemessen wird. Beim GRB970111, der eine sechsmal höhere Intensität im Gamma-Bereich hatte als der GRB970228, konnte sechzehn Stunden später keine Röntgenstrahlung gemessen werden. Auch im optischen Bereich konnte keine abklingende Quelle beobachtet werden [26].

Die neuen Meßergebnisse haben große Auswirkung auf die Beantwortung der beiden fundamentalen Fragen der GRB-Forschung; wie und wo entstehen Gamma Ray Bursts? Bezüglich des Entstehungsortes hat der GRB970508 erste Antworten geliefert, zumal es zwei potentielle Galaxien gibt, die seine 'Heimat' sein könnten [27]. Zur Zeit geht man deshalb von einem kosmologischen Ursprungsort der GRBs aus. Allerdings kann erst durch eine deutlich größere Anzahl von Meßdaten die Frage geklärt werden, ob alle GRBs kosmologisch sind. Das Abkling-Verhalten und die verspätete Emission im Röntgen-, Radio und optischen Bereich liefert ein Indiz für den Entstehungmechanismus von GRBs. So wurde dieses durch das Modell vom 'relativistisch expandierenden Feuerballes' vorhergesagt.

Die beiden erwähnten GRBs waren leider nicht durch das HEGRA-Experiment zu beobachten, da sie sich außerhalb seines Blickfeldes befanden. Somit ist auch keine Observation durch den HAST möglich gewesen.

Kapitel 3

Der gerichtete Trigger für das Szintillatorfeld

In diesem Kapitel werden die Hardware-Komponenten des HASTs (**H**EGRA **A**ngle **S**ensitive **T**rigger) und deren Funktionsweise kurz vorgestellt.

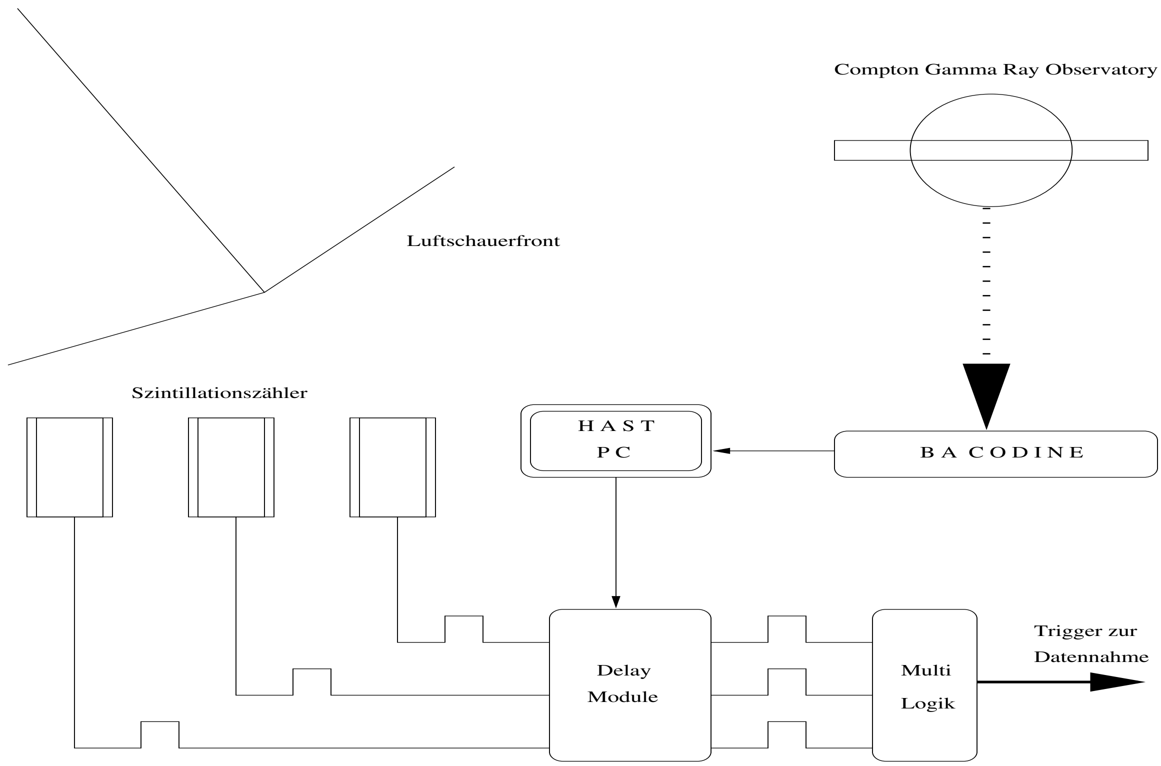

Abbildung 3.1: Prinzipskizze des HAST-Systems. Die Kabel von den Szintillationszählern zu den Verzögerungs-Modulen sind gleich lang. Die Skizze soll die unterschiedlichen Ankunftszeiten der Signale veranschaulichen.

Eine ausführliche Beschreibung ist in der Diplomarbeit von T. Prietz [1] enthalten. In seiner Arbeit wird auch näher auf die Datennahme und die Integration des HAST-Systems in die vorhandenen Gegebenheiten eingegangen.

Eine Übersicht über die prinzipielle Arbeitsweise des HAST-Systems liefert die Abbildung 3.1 auf der vorherigen Seite.

Die Aufgabe des HASTs besteht darin, den durch die Szintillationszählermatrix zu beobachtenden Himmelsbereich auf etwa $10\,Grad \cdot 10\,Grad$ einzuschränken und dadurch bei gleichbleibender Triggerrate die Triggerschwelle auf größer gleich 4 Szintillatorzähler zu senken. Um dieses zu realisieren ist es notwendig, das Signal von jedem Szintillatorzähler so zu verzögern, daß es in Koinzidenz mit den Signalen der anderen Zählern ist, wenn das Ereignis aus der zu beobachtenden Richtung gekommen ist. Außerdem müssen die Signale aufsummiert und mit einer eingestellten Schwelle verglichen werden.

3.1 Die technische Umsetzung des HASTs

Der HAST besteht aus 16 Leiterplatten (Delay-Boards), auf denen wiederum 16 Kanäle untergebracht sind. Somit können 256 logische Eingangssignale verarbeitet werden. Jedes Delay-Board besitzt einen Ausgangskanal, an dem das analoge Summensignal der 16 Kanäle anliegt. Die 16 Summensignale werden in der Multiplizitätslogik erneut aufsummiert. Wenn dieser Puls eine eingestellte Mindesthöhe übersteigt, wird ein Triggersignal an die Datennahme ausgegeben.

Die Signale der Szitillationszähler durchlaufen einen 'constant fraction discriminator' und gelangen dann zu den Eingangskanälen des HASTs. Auf den Delay-Boards befinden sich programmierbare Verzögerungsstufen (AD9501) mit einer Auflösung von 8 Bit und einer Schrittweite von $2\,ns$. Somit ergibt sich ein Zeitverzögerungs-Bereich von $0\,ns \ldots. 510\,ns$. Die Programmierung erfolgt über ein VME-Interface.

Die Summensignale der 16 Delay-Boards werden über gleichlange Kabel zur Multiplizitätslogik geführt und dort aufsummiert. Das Summensignal durchläuft einen Komparator, dessen Schwelle durch einen Digital-Analog-Converter (DAC AD588) eingestellt wird. Der DAC besitzt eine Auflösung von 8 Bit, und der Bereich, in dem die Triggerschwelle variiert werden kann, beträgt $0\,mV \ldots. 2550\,mV$ mit einer Schrittweite von $10\,mV$, wobei $700\,mV$ etwa einer 4 Hütten-Triggerbedingung entspricht [28].

Kapitel 4

Die Software-Steuerung des gerichteten Triggers

Nach den im vorigen Kapitel behandelten Hardware-Komponenten des HAST-Systems soll hier näher auf den PC und die dafür entwickelte Software eingegangen werden. Der PC stellt die Verbindung des HAST-Systems zur Außenwelt dar. Wie bereits erwähnt, werden die Informationen, ob und in welchem Winkelbereich der HAST aktiv werden soll, von BACODINE geliefert. Dieses geschieht in Form von E-Mails, die an einen sich beim HEGRA-Experiment befindenden Unix-Rechner gesendet und von dort mittels 'FTP' (**F**ile **T**ranfer **P**rotokoll) an den HAST-PC weitergeleitet werden.

Das Betriebssystem des PCs ist Windows 3.11 und die Steuersoftware wurde in 'G' geschrieben, welches eine grafisch orientierte Programmiersprache ist, die von dem Software-Paket 'LabVIEW' (**Lab**oratory **V**irtual **I**nstrument **W**orkbench) zur Verfügung gestellt wird. Das Programm, das den HAST steuert heißt 'Trig 6-1.vi'. Auf die Besonderheiten dieser Sprache soll hier nur kurz eingegangen werden. Es werden im folgenden die zu bearbeitenden Aufgaben des Programmes und deren Umsetzung besprochen.

4.1 Die Programmier-Plattform 'LabVIEW'

Der Hauptunterschied von LabVIEW zu anderen Programmiersprachen wie 'C' oder 'Fortran' besteht darin, daß eine graphisch orientierte Programmiersprache 'G' verwendet wird. Mit deren Hilfe werden die Programme als Block-Diagramme erstellt. Diese Block-Diagramme heißen 'VIs' (**V**irtual **I**nstruments). Mit jedem 'VI' ist ein interaktives 'Front Panel' verbunden, welches der Steuerung des Programmes und der Ausgabe von Daten dient. Außerdem kann jedes 'VI' wieder in ein anderes 'VI' eingebunden werden, was das erste 'VI' zu einem Unterprogramm, einem sogenannten 'subVI' macht.

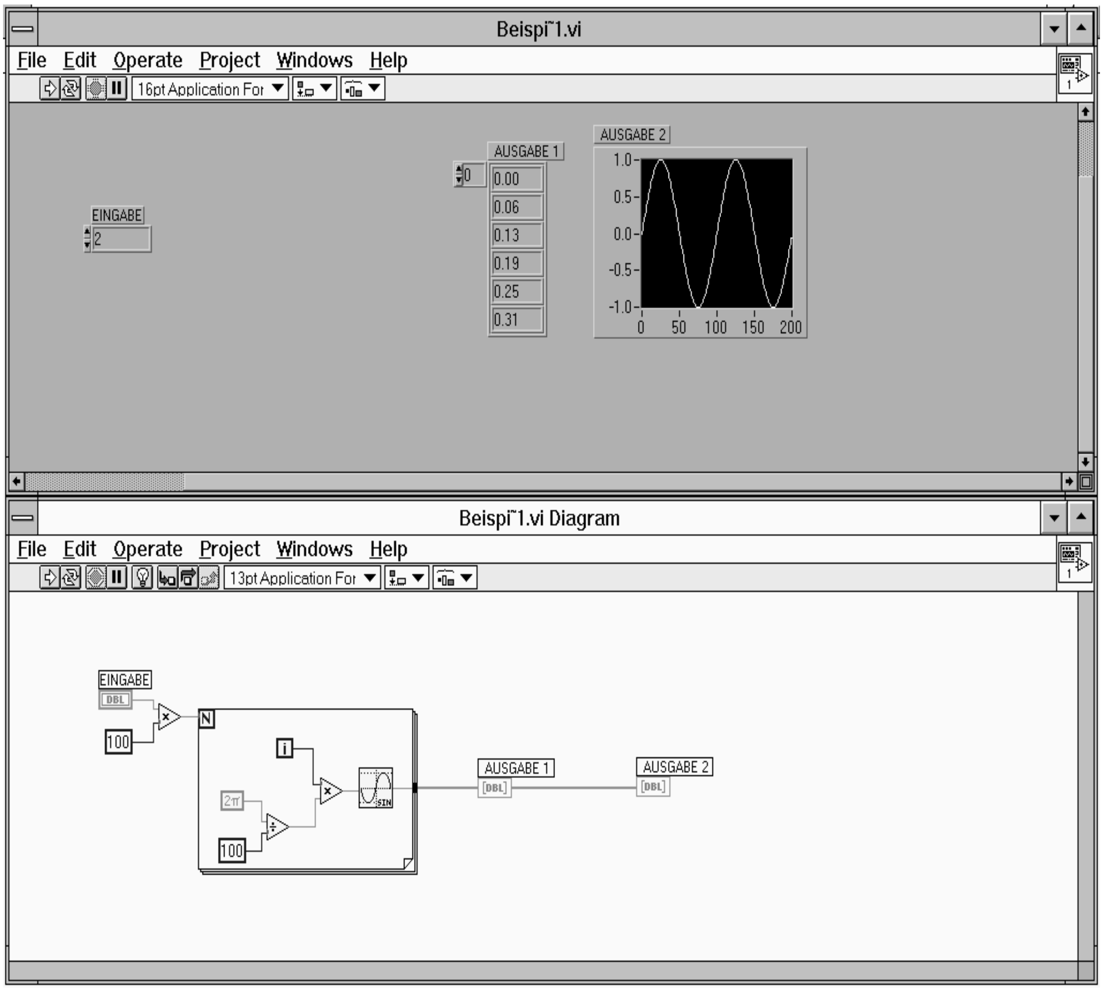

Abbildung 4.1: Dargestellt ist ein Beispielprogramm, das unter LabVIEW in der Programmiersprache 'G' erstellt wurde. In der oberen Hälfte ist das 'Front Panel', darunter das 'Blockdiagramm' zu sehen. Es erzeugt die Sinus-Funktion, mit einer von der Eingabe abhängenden Anzahl von Schwingungen.

Zur Veranschaulichung ist in Abbildung 4.1 ein kleines Beispielprogramm dargestellt mit Blockdiagramm und dem dazu gehörenden 'Front Panel'. Es erzeugt eine Abbildung der Funktion $sin(x)$. Die Anzahl der Schwingungen ist durch die Eingabe zu variieren. LabVIEW stellt die üblichen Anweisungen zur Verfügung, wie z.B. *For-Schleifen*, nur das Erscheinungsbild ist etwas anders. So wird die Anzahl der Durchläufe dadurch festgelegt, daß man das Icon [N] mit dem entsprechenden Wert verbindet. Die Verbindung erfolgt durch sogenannte 'Wires'[1]. Der Wert des aktuellen Durchlaufes steht im Icon [i]. Bis hierhin könnte man

[1]deutsch: Draht, Leitung

sich fragen, wo liegt nun der Vorteil. Ein großer Vorteil gegenüber anderen Programmiersprachen liegt in der einfachen und komfortablen Gestaltung der Bildschirmoberfläche. Außerdem werden dem Programmierer einige Aufgaben abgenommen, wie in dem Beispiel zu sehen ist, z.B. das Dimensionieren eines *Feldes*. Allerdings soll auch nicht unerwähnt bleiben, daß es bei komplexen Programmen zu Schwierigkeiten kommen kann. So führt das Verbinden der Elemente zu Platzproblemen, und darunter leidet die Übersichtlichkeit. Es sieht doch recht befremdlich aus, wenn sich viele 'Wires' auf engstem Raum befinden und sich auch noch überschneiden. Das Beispielprogramm zeigt natürlich nur einen Bruchteil der Möglichkeiten von LabVIEW. Aber ich hoffe, daß der Leser sich jetzt eine Vorstellung von der prinzipiellen Arbeitsweise machen kann.

4.2 Die Anforderungen an die Software

4.2.1 Die Verarbeitung der E-Mails

Es gibt zwei verschiedene Experimente, auf die der HAST reagiert: Das ist zum einen COMPTEL und zum anderen BATSE. Die E-Mails mit den Burst-Informationen werden durch den Netzwerkverbund BACODINE verschickt. Die E-Mails werden nicht vorsortiert, das heißt, daß zu einem Burst mehrere E-Mails auf dem PC ankommen können. Es werden Test-Mails und Mails ohne Richtungsangaben verschickt. Außerdem kommt es vor, daß zu ein und demselben Burst sowohl von BATSE als auch von COMPTEL eine E-Mail verschickt wird. Die Aufgabe der Software ist es, die brauchbaren von den unbrauchbaren E-Mails zu unterscheiden und zwischen BATSE- und COMPTEL-Mails eine bestimmte Priorität sicherzustellen. Da die COMPTEL-Mails eine genauere Richtungsinformation enthalten, sind sie in der Regel den BATSE-Mails vorzuziehen. Außerdem muß vor dem Start der Datennahme überprüft werden, ob sich der Burst innerhalb des Sichtfensters des HEGRA-Feldes befindet. Wenn nicht, soll bestimmt werden, ob und wann er es ist, so daß die Vermessung sofort aufgenommen werden kann, wenn der Burst in den zu akzeptierenden Raumwinkelbereich des Feldes eintritt. Die Bedingung ist, daß der Zenitwinkel kleiner $40\,Grad$ sein muß, da die Energieschwelle für größere Zenitwinkel zu hoch wäre.

4.2.2 Die Berechnung der Zeitverzögerungen

Die Grundidee des HAST-Aufbaus ist die, nur einen bestimmten Raumwinkelbereich des Himmels zu beobachten. Demzufolge muß für jede Hütte eine zeitliche Verzögerung ihres Zeitsignals in Abhängigkeit ihrer Position im Szintillatorzählerfeld berechnet und programmiert werden. Die Konstruktion der Hardware erlaubt eine maximale Verzögerung von $510\,ns$. Dieses bedeutet, daß es bei einem maximalen Zenitwinkel von $40\,Grad$ zu Konflikten kommen kann, da für bestimmte Azimutwinkelbereiche[2] die nötigen Zeitverzögerungen größer als 510 ns sein müßten. Siehe dazu Abschnitt 4.3.3.

4.2.3 Die Burst-Messung

Es sollen drei unterschiedliche, aufeinanderfolgende Messungen für einen Burst ermöglicht werden. Als erstes die eigentliche Burst-Messung, die im folgenden als 'Burst-Modus' bezeichnet werden soll. Sofern der Burst einen Zenitwinkel kleiner gleich 40 $Grad$ besitzt, soll die Datennahme gestartet und so lange fortgesetzt werden bis er einen Zenitwinkel von 40 $Grad$ übersteigt. Nach Beendigung des 'Burst-Modus' soll eine Untergrundmessung durchgeführt werden ('Background-Modus'). Dazu wird der HAST auf die gleichen lokalen Koordinaten wie bei der Burst-Messung eingestellt. Der dritte Modus ist der 'Old-Burst-Modus'. Damit ist eine Nachfolge-Messung gemeint, wenn der Burst das zweitemal in den zu akzeptierenden Zenitwinkelbereich eintritt, um eine verspätete Emission messen zu können.

4.2.4 Das Protokoll

Es sollen für die drei Modi Protokolle erstellt werden, in denen dokumentiert werden soll, zu welcher Zeit welche Koordinaten eingestellt waren. Außerdem auch, aus welchem Grund ein Modus beendet wurde. Ein möglicher Grund wäre z.B. ein manueller Abbruch. Außerdem sollen die empfangenden E-Mails abgespeichert werden. Damit ist eine spätere Analyse des GRBs und eine Rekonstruktion des zeitlichen Verlaufes einer Burst-Messung möglich.

4.3 Der Programmablauf

4.3.1 Der Programmstart

Der PC wurde so konfiguriert, daß das Programm 'Trig 6-1.vi' nach dem Einschalten automatisch geladen und gestartet wird. Aber bevor dieses geschieht, wird ein RAM-Drive installiert, welches ein vom RAM abgetrennter Speicherbereich ist, der wie ein Laufwerk bzw. eine Festplatte angesprochen werden kann. So können die E-Mails auf dem RAM-Drive abgespeichert werden, um die Festplatte zu schonen, da durch permanentes Auslesen überprüft werden soll, ob eine neue E-Mail angekommen ist. Das Programm startet damit, die Szintillatorzähler-Koordinaten und eine Datei, in der einige veränderbare Parameter festgelegt sind, einzulesen. Dabei handelt es sich um folgende acht Variablen :

[2]Das HEGRA-Feld ist nicht waagerecht.

(Variable 1) Der maximale Zenitwinkel, ab dem und bis zu dem ein Burst gemessen werden soll. Der eingestellte Wert beträgt 40 $Grad$.

(Variable 2) Der Zenitwinkel, der von einem neuen BATSE-Burst unterboten werden muß, um eine laufende, von BATSE initiierte Datennahme, abzubrechen. Wenn zusätzlich die Intensität des neuen Bursts höher ist. Der eingestellte Wert beträgt 30 $Grad$. Für COMPTEL-Bursts gilt dieses nicht, da sie prinzipiell nicht vorzeitig abgebrochen werden.

(Variable 3) Die Schwelle, die die Summe der Szintillatorzähler-Pulse in mV übersteigen muß, um einen Trigger zu liefern. Der eingestellte Wert beträgt 700 mV. Dieses entspricht etwa einer 4er-Koinzidenzbedingung.

(Variable 4) Dieser Wert legt fest, wieviele der ersten Positionen bei der Untergrundmessung länger gemessen werden sollen. Der eingestellte Wert beträgt 5. Das bedeutet, der Raumwinkelbereich, in dem sich der Burst in den ersten fünf Minuten befand, wird länger gemessen als der restliche Raumwinkelbereich. Wie lange steht im nächsten Parameter (5). Der Sinn dieser Einstell-Möglichkeit liegt darin, bei Bedarf eine höhere Untergrund-Statistik erhalten zu können.

(Variable 5) Dieser Wert legt fest, wie lange der Untergrund für eine der ersten längeren Positionen gemessen werden soll. Der eingestellte Wert ist 5 min.

(Variable 6) Dieser Wert legt fest, wie lange der Untergrund für die restlichen Raumwinkelbereiche gemessen werden soll. Der eingestellte Wert beträgt 60 sec. Dieses entspricht einem Zeitverhältnis von 1:1 zur Burst-Messung.

(Variable 7) Dieser Wert legt fest, innerhalb welcher Zenitwinkel-Grenzen der 'Old-Burst-Modus' laufen soll. Der eingestellte Wert ist 40 $Grad$.

(Variable 8) Dieser Wert legt fest, wie groß die maximale Zeitdifferenz zwischen der 'ersten' und der 'letzten' Hütte sein darf. Sie ist durch die Bauart des HAST-Triggers auf 510 ns beschränkt. Wenn sich aus der Position eines Bursts eine größere Differenz ergeben sollte, wird das Szintillatorfeld in maximal drei Bereiche aufgeteilt, so daß die maximale Differenz für jedes Feld kleiner als 510 ns ist (siehe Kapitel 4.3.3).

Der nächste Schritt ist das Lesen der E-Mail. Bei einem Neu-Start wird diese im Zweifelsfall veraltet sein. Die Entscheidung, ob eine neue E-Mail angekommen ist, wird nach zwei unterschiedlichen Kriterien getroffen. Von BATSE registrierte Bursts werden fortlaufend durchnumeriert. Diese Burstnummer ist das entscheidende Kriterium. Da BATSE zu einem Burst meist mehrere Mails verschickt, ist die Burstzeit ungeeignet. Für von COMPTEL gemessene Bursts existiert keine

Burstnummer. Somit ist hier die Burstzeit das Entscheidungskriterium. Da eine von einer COMPTEL-Burstmail gestartete Datennahme prinzipiell nicht von einer neuen Mail abgebrochen werden soll, wird eine eventuelle zweite E-Mail ignoriert. Diese Priorität ist sinnvoll, da COMPTEL die genauere Position liefert. Der prinzipielle Programmablauf ist der Abbildung 4.2 zu entnehmen. Der 'Old-Burst Modus' kann unterbunden werden, wenn AIROBICC läuft, um die Totzeit der Datennahme nicht zu vergrößern. Gleiches gilt für den 'Background-Modus', da die Untergrundmessung zu jedem passenden späteren Termin durchgeführt werden kann.

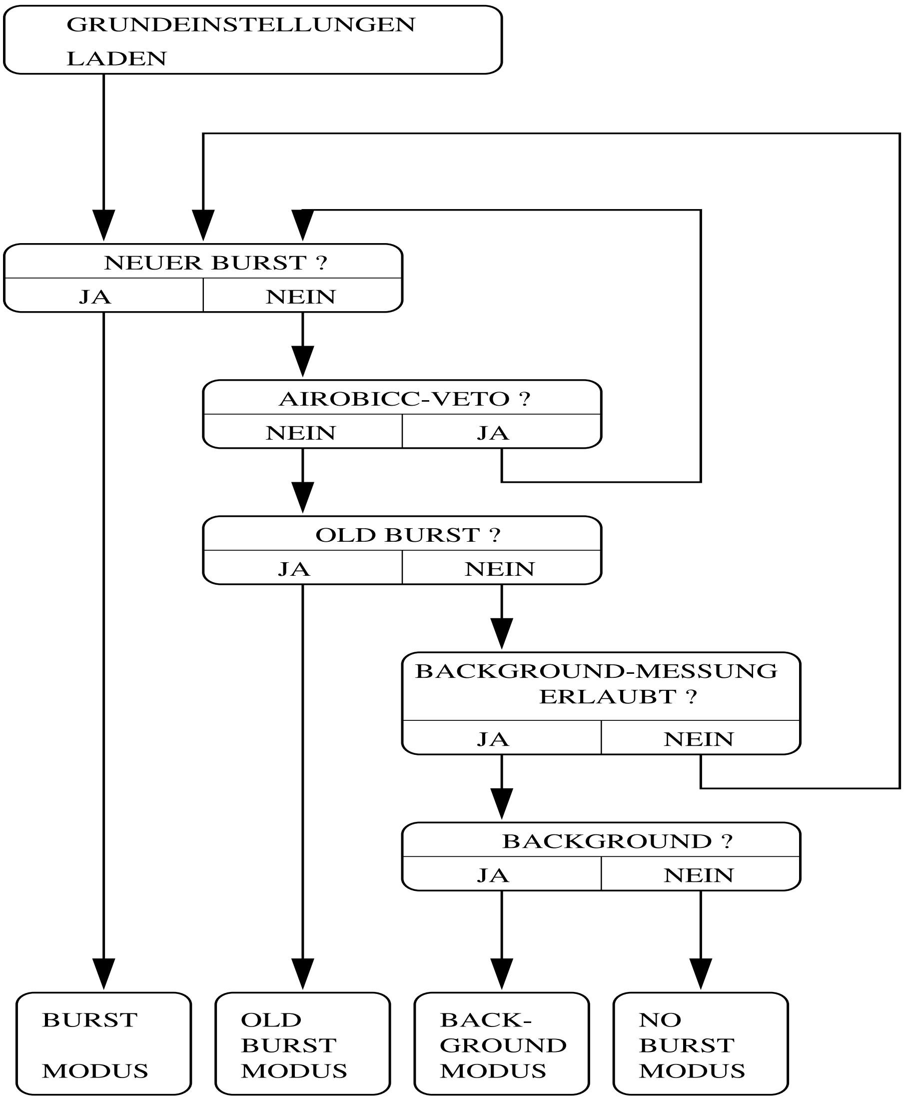

Abbildung 4.2: Flußdiagramm für den prinzipiellen Programmablauf. Nach dem Einlesen einiger fester Parameter geht das Programm in einen der vier Modi über.

4.3.2 Der No-Burst-Modus

Der 'No-Burst-Modus' ist der Programmzustand, bei dem der HAST-Trigger nicht aktiv ist. Das Programm überprüft permanent, ob eine neue E-Mail eingetroffen ist und wenn dieses nicht der Fall ist, ob ein alter Burst wieder aufgenommen oder eine Background-Messung gestartet oder fortgesetzt werden kann. Ferner ist nur in diesem Modus eine Veränderung der Triggerschwelle möglich, sowie das Beenden des gesamten Programmes. Der Ablauf ist in der Abbildung 4.3 nochmals veranschaulicht.

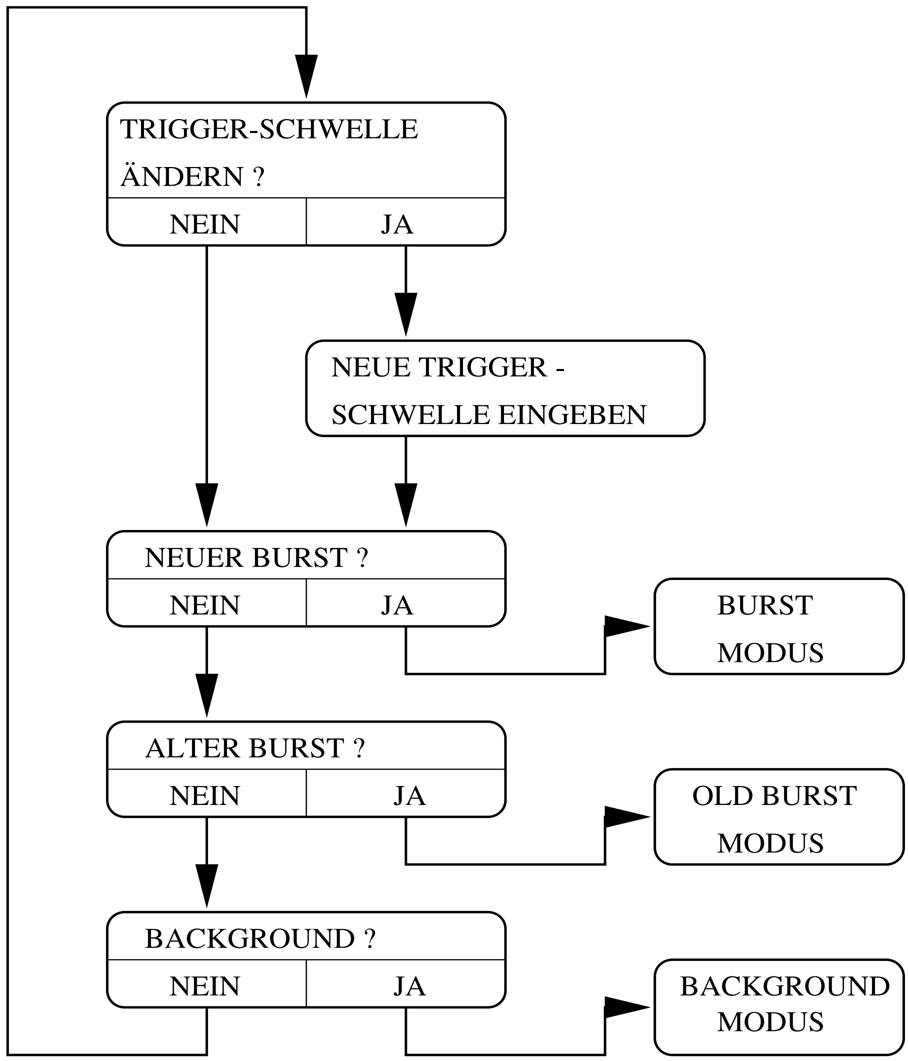

Abbildung 4.3: Flußdiagramm für den 'No-Burst-Modus'. In diesem Modus wird ständig überprüft ob eine neue Burst-Mail eingetroffen ist. Wenn dieses nicht der Fall sein sollte, wird geprüft ob eine 'Old-Burst'-Messung oder eine Untergrundmessung durchgeführt werden muß.

4.3.3 Der Burst-Modus

Wenn eine neue E-Mail eingetroffen ist und die nachfolgenden drei Bedingungen erfüllt sind, geht das Programm in den Burst-Modus über und berechnet die Zeitverzögerung für jeden Szintillationszähler.

- Der Burst muß ein neuer sein, d.h. die Burstnummer muß größer als die zuletzt gespeicherte oder, für COMPTEL-Bursts, von jüngerem Datum sein.

- Der Zenitwinkel des Bursts muß kleiner gleich 40 $Grad$ sein.

- Die HAST-Hardware muß eingeschaltet sein.

Die Zeitverzögerungen werden jede Minute neu berechnet, was einer Winkeländerung von etwa $0,1\,Grad$ entspricht. Wie bereits erwähnt, kann es unter bestimmten Einfallswinkeln zu einer größeren maximalen Zeitdifferenz zwischen zwei Zählern kommen als programmierbar wäre. Das in Abbildung 4.5 auf der nächsten Seite mit 'Feldaufteilung' bezeichnete Segment kontrolliert die maximale Differenz und bestimmt im Falle einer Überschreitung der 510 ns das ideale Feld d.h, die Konstellation in der die meisten Szintillationszähler innerhalb der 510 ns Spanne liegen. Dadurch kann es zu drei verschiedenen Feldaufteilungen kommen, die in der Abbildung 4.4 dargestellt sind.

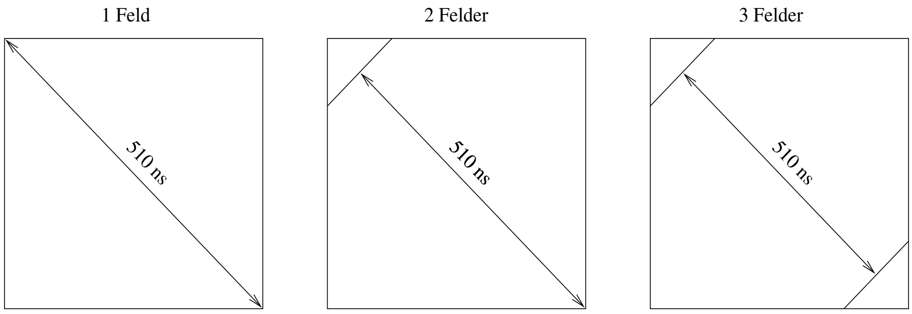

Abbildung 4.4: Dargestellt sind die drei möglichen Feldaufteilungen. In diesem Beispiel käme der Burst von 'oben links' oder 'unten rechts'. Es sind natürlich auch nichtsymmetrische Aufteilungen möglich, aber es bleibt immer bei maximal drei Feldern.

Außerdem wird alle 15 min die HAST-Triggerrate bestimmt. Immer wenn die Triggerschwelle überschritten wird, wird ein Bit in einem Register gesetzt und durch das Auslesen desselben wieder gelöscht. Durch ein 10sec andauerndes Lesen dieses Registers ist eine grobe Angabe der Triggerrate möglich. Dieses stellt eine zusätzliche Kontrollmöglichkeit der korrekten Funktionsweise des HASTs dar.

Das Programm bleibt solange in dem 'Burst-Modus', bis eine der drei nachfolgenden Abbruchbedingungen erfüllt ist.

- Der Burst hat einen Zenitwinkel von mehr als 40 $Grad$ erreicht.
- Es wird ein manueller Abbruch durchgeführt.
- Es gibt eine neue Burstmail, die dem bereits erwähnten Prioritätsprinzip zwischen COMPTEL- und BATSE-Mails genügt.

Nach Beendigung des 'Burst-Modus' startet in der Regel die Untergrundmessung, es sei denn, diese ist verboten oder es gibt eine neue Burst-Meldung.

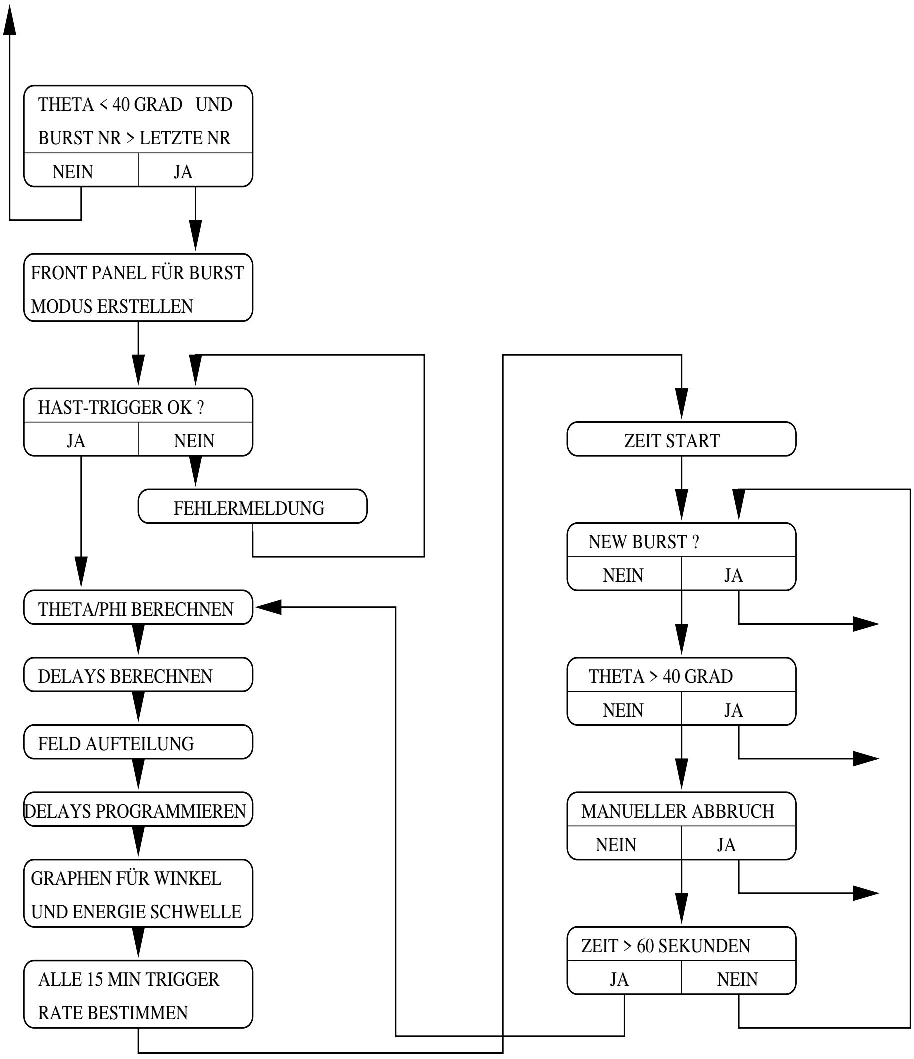

Abbildung 4.5: Flußdiagramm für den 'Burst-Modus'. Die Zeitverzögerungen werden berechnet und programmiert. Dieses geschiet jede Minute aufs Neue, bis eine der Abbruchbedingungen erfüllt ist.

4.3.4 Der Old-Burst-Modus

Der 'Old-Burst-Modus' ist vom Progammverlauf praktisch identisch mit dem 'Burst-Modus'.

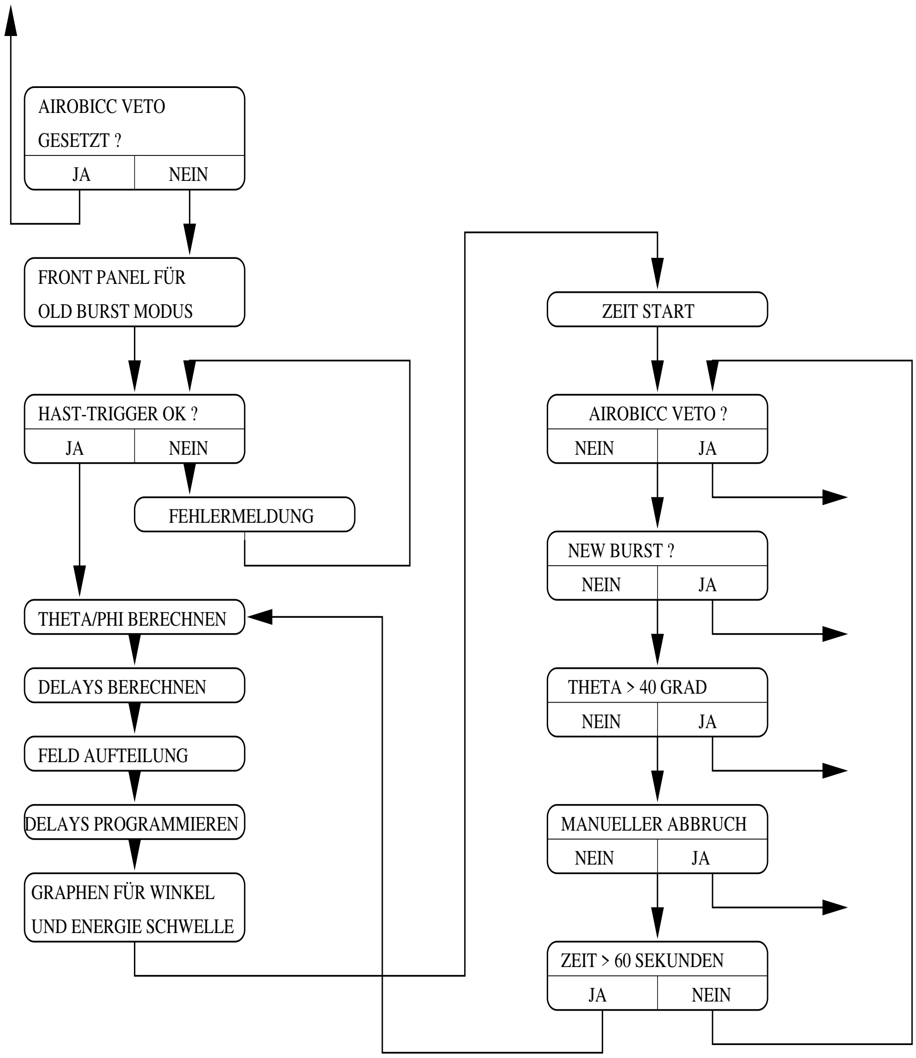

Abbildung 4.6: Flußdiagramm für den 'Old-Burst-Modus'. Ein bereits vermessener Burst wird bei seinem Wiedereintritt (Zenitwinkel kleiner 40 Grad) ein zweites Mal registriert. Dieser Modus wird sofort abgebrochen, wenn eine neue Burst-Meldung eintrifft.

Einer von zwei Unterschieden besteht in den Abbruchbedingungen, da der 'Old-Burst-Modus' natürlich sofort abgebrochen wird, wenn eine neue Burst-Mail eintrifft. Allerdings muß diese den Startbedingungen, wie unter 4.3.3 beschrieben wurde, genügen. Der andere Unterschied besteht darin, daß eine 'Old-Burst'-Messung verboten oder abgebrochen wird, wenn AIROBICC aktiv ist. Der prinzipielle Programmverlauf ist der Abbildung 4.6 auf der vorherigen Seite zu entnehmen.

4.3.5 Der Untergrund-Modus

Der 'Background-Modus' ist der Modus mit der geringsten Priorität.

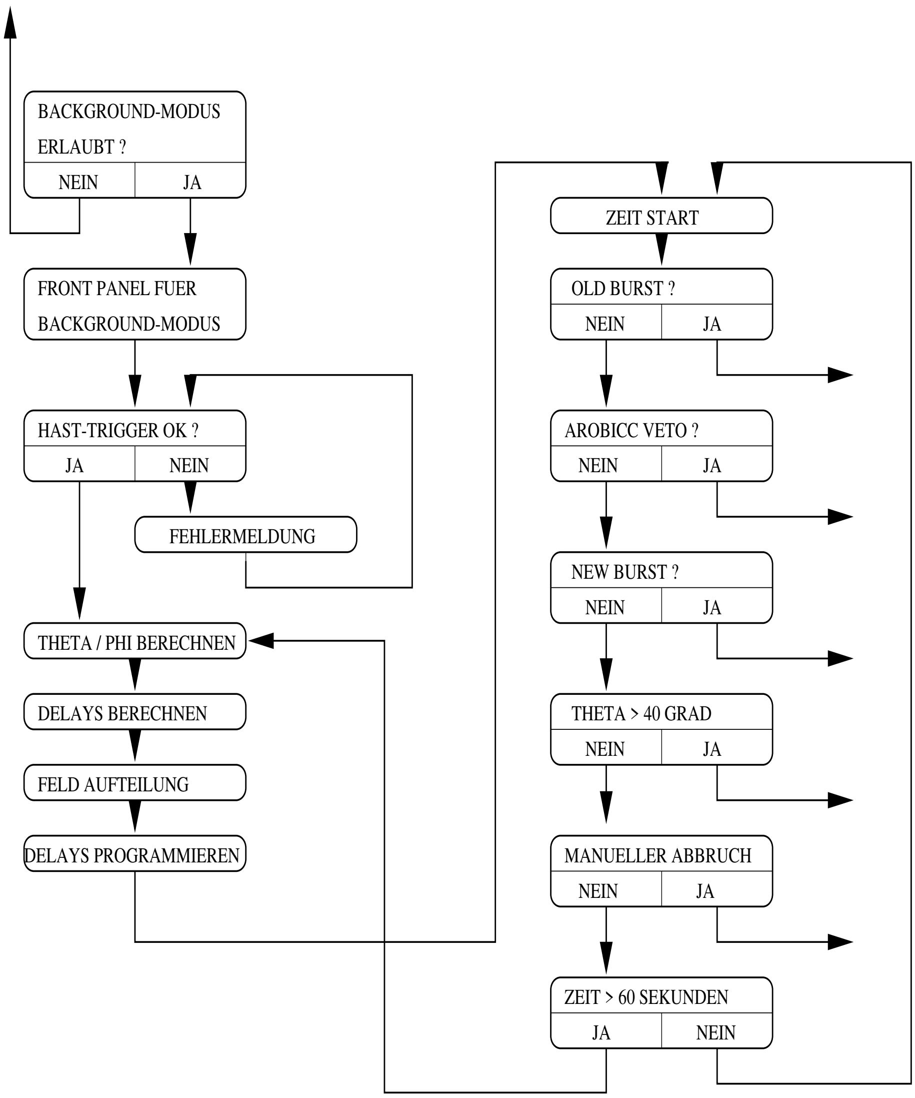

Abbildung 4.7: Flußdiagramm für den 'Background-Modus'. Es wird eine Untergrundmessung zu dem vorherigen GRB durchgeführt, die abgebrochen wird sobald eine neue Burst-Meldung eintrifft.

Das bedeutet, daß eine Untergrundmessung immer nur dann durchgeführt wird, wenn es keinen Burst gibt, kein alter Burst wieder aufgenommen werden soll und AIROBICC nicht läuft. Es ist auch nicht von Bedeutung, wann die Untergrundmessung vorgenommen wird, da sie sich auf lokale Koordinaten bezieht und somit zeitunabhängig ist. Der Ablauf des 'Background-Modus' ist in der Abbildung 4.7 auf der vorherigen Seite wiedergegeben.

4.3.6 Die interaktiven Möglichkeiten

Eine der Hauptanforderungen an das HAST-System ist ein 'stand alone'-Betrieb. Dieses ist weitgehend realisiert worden, mit der Ausnahme, daß zur Zeit noch die Untergrundmessungen manuell unterbunden werden müssen, wenn AIROBICC läuft. Es ist aber ein direkter Daten-Austausch zwischen dem HAST-PC und dem Datennahme-Computer (DAQ) in Arbeit, so daß in absehbarer Zeit keine Betreuung des HAST-Systems mehr nötig sein wird, da dann das eine Programm auf den Modus des anderen reagieren kann.

Dennoch gibt es Möglichkeiten, den Programmablauf zu beeinflussen, die aber auf das Nötigste beschränkt wurden. Die Haupteinflußmöglichkeit ist die der manuellen Beendigung der Modi. Außerdem ist es möglich, wenn sich das Programm im 'No-Burst-Modus' befindet, die Triggerschwelle zu verändern. Dieses ist sinnvoll, um Testläufe mit unterschiedlichen Triggerschwellen und somit Zählerkoinzidenzen durchführen zu können. Besonders mit der Aussicht einer schnelleren Datennahme, die kurz vor der Inbetriebnahme[3] steht, ist es von Interesse die Triggerschwelle zu senken. So könnte man sich vorstellen, den HAST mit einer 3er-Koinzidenz zu betreiben.

An dieser Stelle soll nicht unerwähnt bleiben, daß das Programm auch von Hamburg aus modifiziert werden kann. Zum einen kann es natürlich als Ganzes ersetzt werden, zum anderen, was das interessantere ist, durch Veränderung oder Austausch von einzelnen Segmenten ('subVIs').

Um eine etwas bessere Vorstellung davon zu bekommen, wie die Bildschirmoberfläche aussieht, ist in der Abbildung 4.8 auf der nächsten Seite das 'Front Panel' dargestellt. In der linken oberen Ecke ist der aktuelle Modus des HASTs angezeigt, rechts daneben Datum und Uhrzeit. Darunter, wie lange die HAST-Datennahme schon läuft und wie lange sie noch andauern wird, sowie die Triggerrate des HASTs. Ebenfalls ist dargestellt, ob die E-Mail von BATSE oder von COMPTEL verschickt wurde, sowie die Angabe, wann die Old-Burst-Messung gestartet wird. Dieses ist interessant für das Schichtpersonal, da es eventuell nötige Unterbrechungen der Datennahme darauf abstimmen kann. In der Mitte sind die Burstdaten angeordnet und links daneben die Schalter zum Beenden der laufenden Messung, als auch der Schalter zum Unterbinden von Untergrundmessungen.

[3] seit Herbst 1997 in Betrieb

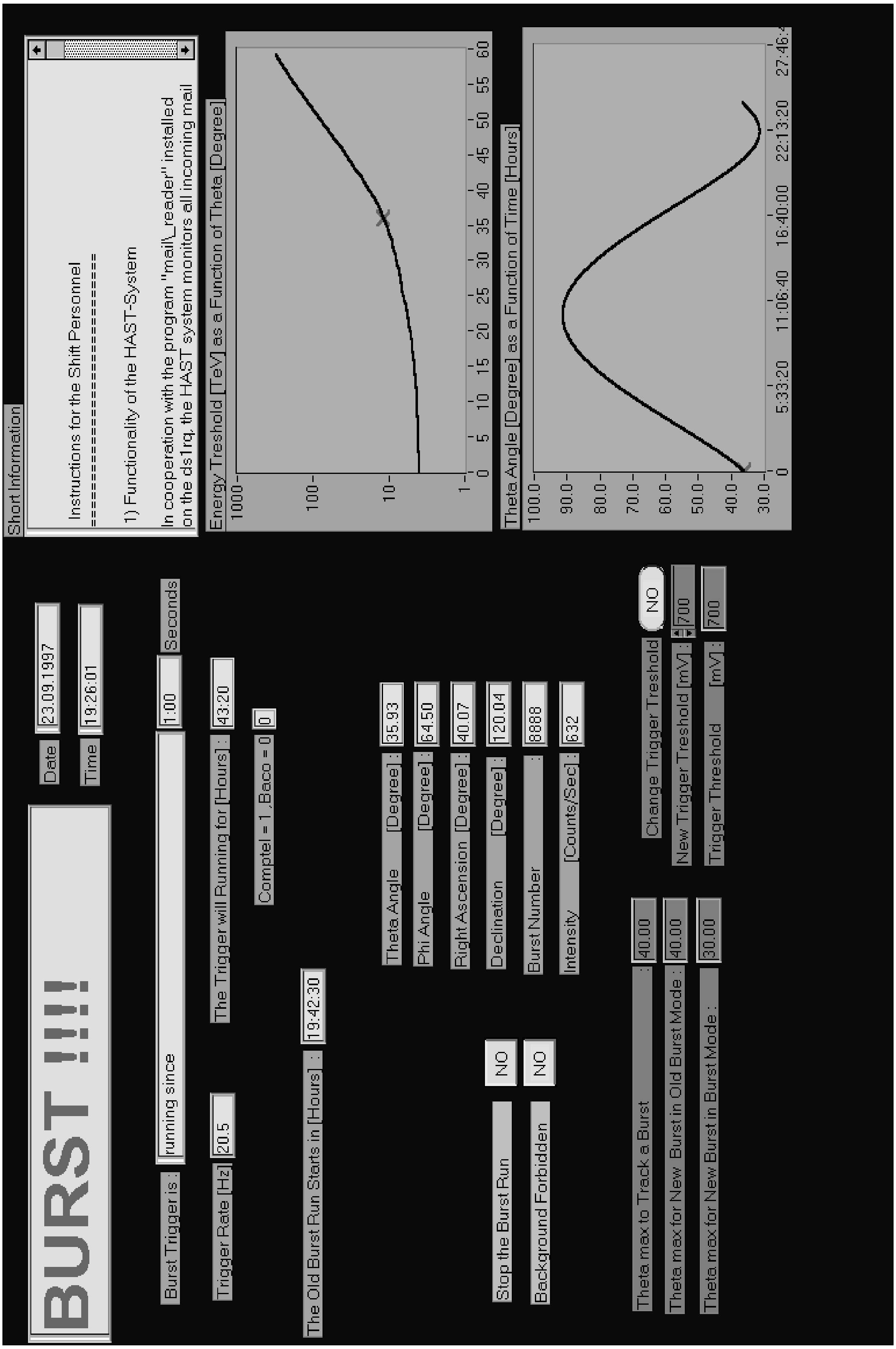

Abbildung 4.8: *Dargestellt ist die Bildschirmoberfläche des Hast-PCs. Es ist folgendes angegeben: in welchem Modus sich das Programm befindet, Daten zu dem aktuellen Burst, wie lange die Messung dauern wird und die Werte der verschiedenen Grundeinstellungen. Außerdem ist eine Kurzinformation für das Schichtpersonal integriert.*

Unten links kann man die eingestellten Werte für den Zenitwinkel und die Triggerschwelle ablesen. In der rechten oberen Ecke ist eine kurze Online-Hilfe für das Schichtpersonal, darunter zwei Graphen. Der erste zeigt die Energieschwellen-Entwicklung in Abhängigkeit des Zenitwinkels, der zweite den Zenitwinkelverlauf des Bursts in Abhängigkeit der Zeit. Die aktuelle Position des Bursts ist jeweils durch ein Kreuz gekennzeichnet.

4.3.7 Die Dokumentation

Es gibt drei verschiedene Protokolle, die den jeweiligen Modi zugeordnet sind. In diesen Protokollen werden die Burstdaten aufgezeichnet, wie Intensität, Nummer, Koordinaten und die Zeit der ersten Messung. Außerdem, wann der HAST anfing den Burst zu verfolgen, sowie zu jeder neuen Koordinaten-Berechnung Zeit und Triggerrate. Zudem werden die Original-Mails abgespeichert. Dadurch ist eine vollständige Dokumentation gewährleistet und somit die Rekonstruktion und Analyse der Burstdaten.

4.4 Überprüfung der Funktionsweise des HASTs an dem Beispiel des Datensatzes 4929

Die unterschiedlichen Trigger, die die Datennahme auslösen können, werden gespeichert, so daß man weiß, welche Triggerbedingung von einem Ereignis erfüllt worden ist. Die für die Burstanalyse relevanten Trigger sind :

A) Der HAST.

Das HAST-Triggerbit ist gesetzt, wenn die Summe der Pulse von mindestens drei Szintillatorzählern die Schwelle von $700\,mV$ übersteigen (siehe Hardware Beschreibung).

B) Der siebenfach runterskalierte Vierer-Trigger.

Das 4-fold-Triggerbit ist gesetzt, wenn mindestens vier Szintillatorzähler innerhalb von $150\,ns$ ein Signal erhalten. Die Datennahme wird allerdings nur jedes siebte Mal ausgelöst.

C) Der normale 14er-Szintillator-Trigger

Das Szintillator-Triggerbit ist gesetzt, wenn mindestens vierzehn Szintillatorzähler innerhalb von $150\,ns$ ein Signal erhalten.

Aufgrund der Tatsache, daß der HAST erst nachträglich in die Datennahme integriert wurde, kam es zu der Schwierigkeit, daß der HAST-Trigger 'zu spät kommt' um die Datennahme auszulösen und das HAST-Triggerbit zu setzen. Die Verzögerung der Signale der Szintillatorzähler kann bis zu 510 ns betragen, abhängig von der Richtung, auf die der HAST sensitiv ist. Dieses Problem wurde für die Auslösung der Datennahme, wie in [1] ausführlich beschrieben, gelöst. Allerdings für das Setzen des Triggerbits kommen diese Ereignisse mit großer Zeitverzögerung immer noch zu spät. Dies führt dazu, daß es Ereignisse ohne Triggerbit-Information gibt. Dieses sind aber eindeutig HAST-Trigger.

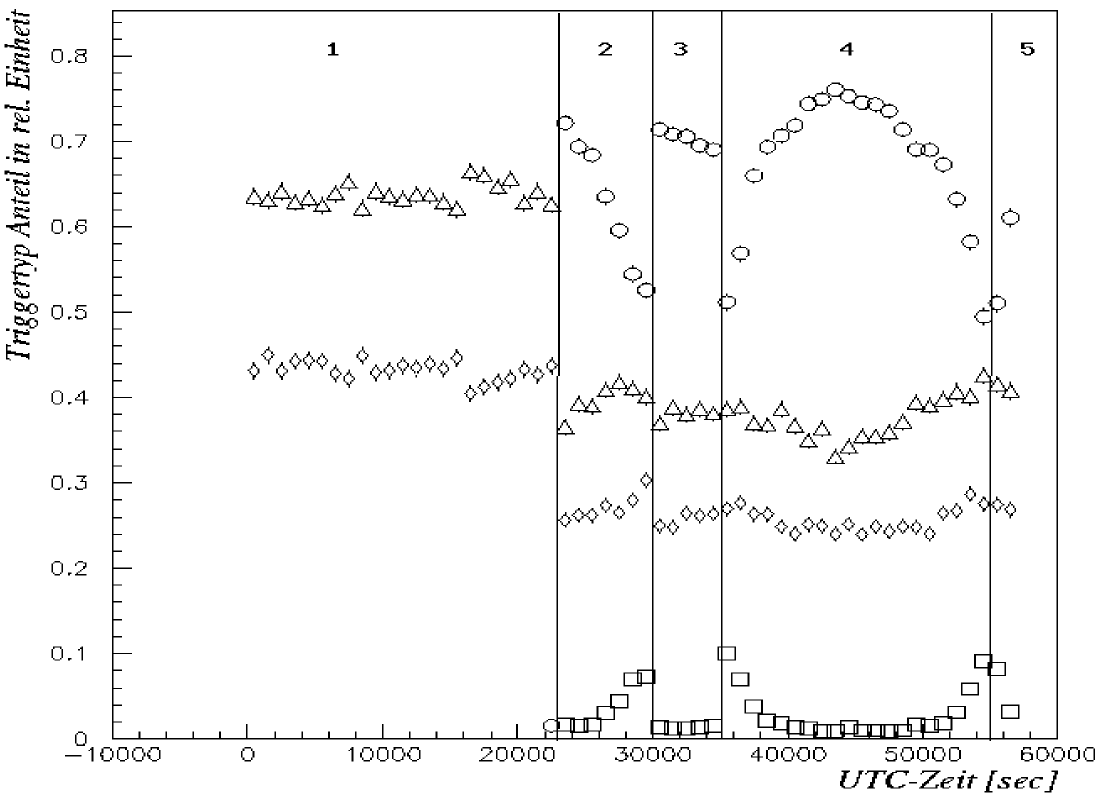

Abbildung 4.9: Der Anteil der verschiedenen Trigger für den Datensatz 4929. Bereich 1 kein HAST, Bereich 2 HAST im Burst-Modus, Bereich 3 HAST im Background-Modus, Bereich 4 HAST im Burst-Modus, Bereich5 HAST im Background-Modus.

△ = Szintillator Trigger (14-fach)	◊ = runterskalierter Vierfachtrigger
∘ = HAST	□ = kein Triggerbit gesetzt

Der Abbildung 4.9 auf der vorherigen Seite sind die Triggerbitinhalte für den Datensatz 4929 in Abhängigkeit der UTC-Sekunden zu entnehmen. Es sind verschiedene Modi der Datennahme zu erkennen. Bereich 1 spiegelt den normalen Tagesbetrieb wider. Es gibt nur runterskalierte Vierfach-Trigger und Szintillator-Trigger. Vor allem ist wichtig, daß es keine Triggerbits ohne Information gibt und diese nur im Zusammenhang mit dem HAST auftreten. Bei ca 22500 UTC-Sekunden im Bereich 2 gab es eine Burst-Mail und der HAST wurde aktiv. Der Burst war der von BATSE gemessene mit der Nummer 5644. Der Burst hatte am Anfang der Messung einen Zenitwinkel von $20,6\,^\circ$ und wurde bis zu einem Winkel von $40,0\,^\circ$ verfolgt. Dieses ist in dem Triggerbit-Verhalten sehr schön wieder zu erkennen. Der Anteil der HAST-Triggerbits nimmt mit der Zeit ab und die der ohne Informationen zu. Dieses ist ein vernünftiges Verhalten, denn die Akzeptanz des HASTs nimmt für größere Zenitwinkel ab und die Zeitverzögerungen zu, sodaß immer mehr Triggerbits ohne Informationen sind, da der HAST-Trigger zu spät ankommt, um das HAST-Triggerbit zu setzen. Im Bereich 3 ist der HAST im Background-Modus. Es ist gut zu erkennen, daß er am Anfang mit der gleichen Akzeptanz arbeitet wie beim Start des HASTs im Bereich 2, da er auf dem gleichen Zenitwinkel sensitiv ist. Außerdem ist gut zu erkennen, daß der Anteil der HAST-Trigger langsamer abnimmt als im Burst-Modus. Das ist dadurch zu erklären, daß der HAST im Background-Modus länger auf einer Position bleibt, um mehr Statistik zu gewinnen. Bei etwa 34500 UTC-Sekunden erhielt der HAST eine neue Burst-Mail von BATSE mit der Nummer 5645. Somit wurde der Background-Modus unterbrochen und der neue Burst verfolgt. Im Bereich 4 ist diese lange Burst-Messung zu erkennen, die mit $\theta = 33,2\,^\circ$ startet und durch ein Minimum von $\theta = 9,7\,^\circ$ geht bis zum Ende bei $\theta = 40,0\,^\circ$. Auch in diesem Bereich ist die Korrelation zwischen gesetzten HAST-Triggerbits und Triggerbits ohne Information gut zu erkennen. Nach der Beendigung der Messung des Burst Nr.5645 wurde die Untergrundmessung des Burst Nr.5644 fortgesetzt, allerdings bereits nach einigen Minuten manuell wieder abgebrochen. Anhand von Betrachtungen dieser Art konnte die korrekte Funktionsweise des HASTs und vor allem die Bedeutung von Triggerbits ohne Information gut überprüft und geklärt werden.

Kapitel 5

Die Monte Carlo Untersuchungen

Mit der Hilfe von Monte Carlo Simulationen wurde vor der Installation des HASTs untersucht, wie weit sich die Energieschwelle heruntersetzen läßt, ohne die Winkelauflösung entscheidend zu verschlechtern. Es zeigt sich, daß bei der später realisierten Koinzidenzbedingung von mindestens 4 Zählern, die ein Signal gesehen haben müssen, die 10 %-Energieschwelle von $12,4\,TeV$ auf $1,7\,TeV$ sinkt, mit einer tolerierbaren Verschlechterung der Winkelauflösung von $0,9\,Grad$ auf $2,8\,Grad$.

5.1 Die simulierten Schauer

Zur Untersuchung der wichtigsten Parameter des HAST-Triggers, wie Winkelauflösung, Energieschwelle und Winkelakzeptanz wurden rund 82.000 Schauer erzeugt. Das dazu verwendete Programm war 'fbrecons.v025'.

Die Schauer wurden in einem Energieintervall von $500\,GeV$ bis $3,2\,PeV$ generiert, wobei neunzig Prozent unterhalb $10\,TeV$ und fünfzig Prozent der simulierten Schauer unterhalb $1\,TeV$ liegen. Damit ist der Energiebereich, in dem der HAST sensitiv sein soll, gut abgedeckt. Der Abbildung 5.1 auf der nächsten Seite ist die relative Häufigkeit der simulierten Schauer und der Verlauf des natürlichen Energiespektrums zu entnehmen. Für die späteren Untersuchungen wurde das Energiespektrum der simulierten Schauer durch Gewichtung dem natürlichen Spektrum angepaßt. Außerdem wurde berücksichtigt, daß jeder Schauer mehrmals auf das HEGRA-Feld eingewürfelt wird, so lange, bis der Schauer zehn Trigger geliefert hat, bei maximal tausend Versuchen. Dieses Prinzip hat zwei Auswirkungen auf die nachfolgenden Untersuchungen. Zum einen muß bei der Energieschwellen-Berechnung jeder Schauer durch die Anzahl der Würfel-Versuche geteilt werden. Zum anderen darf z.B. bei der Fehlerberechnung nicht außer Acht gelassen werden, daß es sich nicht ausschließlich um unabhängige Schauer handelt, sondern daß bis zu zehn Schauer abhängig voneinander sind.

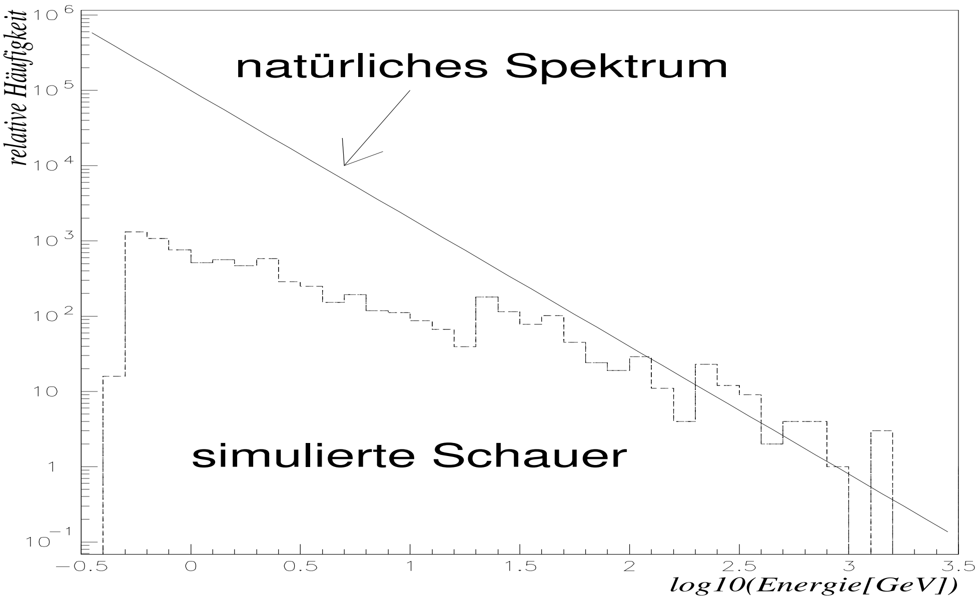

Abbildung 5.1: Dargestellt ist die Energieverteilung der simulierten Schauer und die des natürlichen Spektrums der kosmischen Strahlung.

5.2 Die Energieschwelle

Da es verschiedene Definitionen für die Energieschwelle gibt, sollen hier die drei am häufigsten verwendeten angegeben werden. Das sind der 10 %-Wert, der Median und der von H.Krawczynski eingeführte 'equi'-Wert [21]. Der 'equi'-Wert hat den Vorteil, daß aus ihm die Rate einfach berechnet werden kann. Es gilt :

$$Rate = K \cdot E_{equi}^{-1,7} \cdot Fläche \tag{5.1}$$

Dabei ist K eine von der Teilchensorte abhängige Konstante. Die Werte sind bei [29] nachzuschlagen. Mit der Fläche ist die geometrische Fläche gemeint, also in unserem Falle die des HEGRA-Feldes. In den nachfolgenden Betrachtungen wird als Triggerbedingung zum einen angenommen: genau x Hütten haben einen Trigger geliefert, zum anderen: $\geq x$ Hütten haben einen Trigger geliefert. In der Abbildung 5.2 auf der nächsten Seite sind die drei Energieschwellen in Abhängigkeit der Mindesthüttenanzahl, die einen Trigger geliefert haben, dargestellt. Die einzelnen Werte sind der Tabelle 5.1 auf der nächsten Seite zu entnehmen. Somit liegt die 10 %-Energieschwelle für den HAST, mit der Triggerbedingung von größer gleich vier Hütten, bei $1,7\,TeV$.

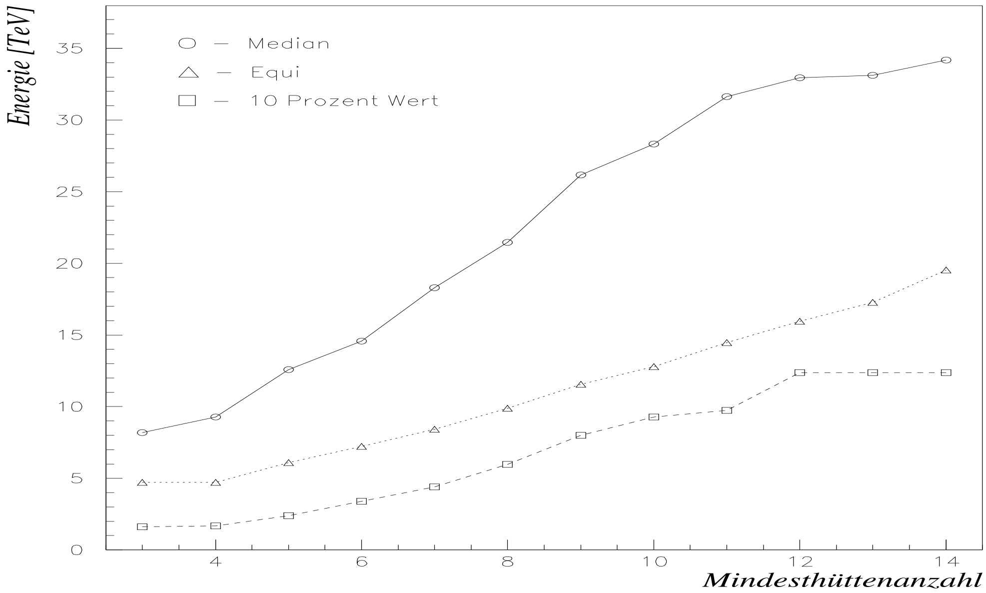

Abbildung 5.2: Dargestellt ist die Verteilung der drei Energieschwellen in Abhängigkeit der Mindestanzahl der Szintillationszähler, die angesprochen haben.

Mindest-hüttenanzahl	Energieschwelle [TeV]		
	10 %-Wert	Median	equi-Wert
3	1,6	8,2	4,7
4	**1,7**	**9,3**	**4,7**
5	2,4	12,6	6,1
6	3,4	14,6	7,2
7	4,4	18,3	8,4
8	6,0	21,4	9,9
9	8,0	26,2	11,6
10	9,3	28,3	12,8
11	9,7	31,6	14,5
12	12,4	32,9	16,0
13	12,4	33,1	17,3
14	12,4	34,2	19,5

Tabelle 5.1: Die Werte für die 10 %-, 50 %- und 'equi'-Energieschwelle mit den verschiedenen Triggerbedingungen.

5.3 Die Winkelauflösung

Neben der im vorigen Abschnitt behandelten Energieschwelle ist die Winkelauflösung die zweite wichtige Größe, von der die Qualität des HAST-Triggers bestimmt wird.

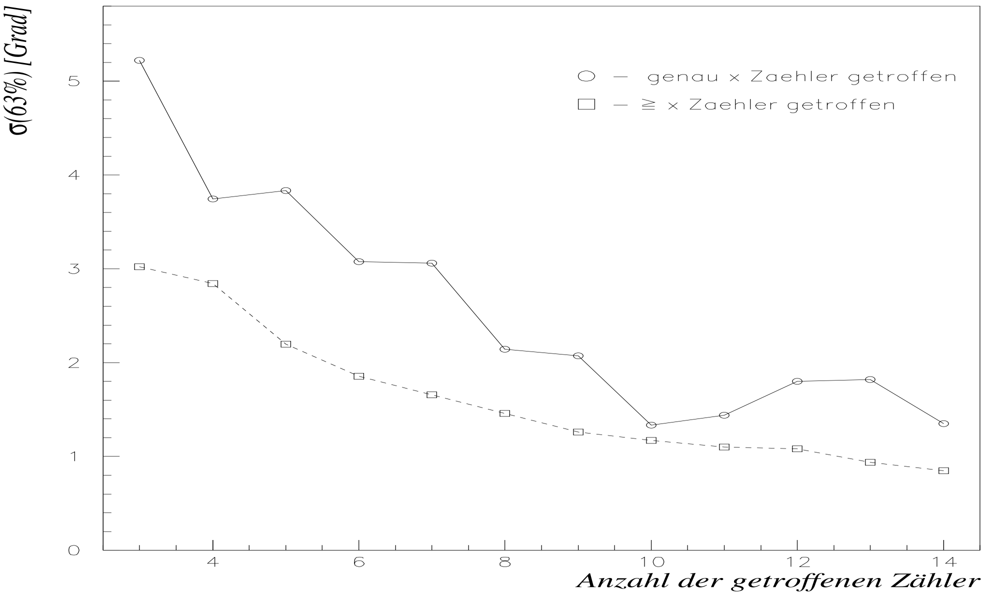

Abbildung 5.3: Dargestellt ist die Winkelauflösung, sowohl für eine Mindestanzahl von getroffenen Zählern, als auch für die genaue Anzahl.

Für die Güte der Winkelauflösung sind zwei Parameter entscheidend, zum einen die Bauart des Detektors und zum anderen die Anzahl der Detektoren, die ein Signal liefern. Da es für die GRB-Messung von entscheidender Bedeutung ist, die Energieschwelle so niedrig wie möglich zu halten, soll bereits eine 4 Hütten-Koinzidenz die Datennahme auslösen, anstelle von 14 Hütten, wie im bisherigen Experiment. Allerdings darf sich die Winkelauflösung nicht so stark verschlechtern, daß bei der Burstanalyse die Winkelintervalle so groß gewählt werden müßten, daß signifikante Überschüsse verschwänden.

In der Abbildung 5.3 sind die Winkelauflösungen, sowohl für die Triggerbedingungen von $\geq$ 3 Hütten bis $\geq$ 14 Hütten, als auch von genau 3 Hütten bis genau 14 Hütten dargestellt. Der HAST sollte so installiert werden, daß er eine 4 Hütten-Koinzidenz fordert, um einen Trigger zu liefern. In der Praxis zeigte sich, daß die meisten Trigger durch eine 5 Hütten-Koinzidenz geliefert werden [1].

Hüttenanzahl	$\sigma(63\%)$-Wert der Winkelauflösung mit mindestens x Hütten [Grad]	mit genau x Hütten [Grad]
3	3,0	5,2
4	**2,8**	**3,7**
5	2,2	3,8
6	1,9	3,1
7	1,7	3,1
8	1,5	2,1
9	1,3	2,1
10	1,2	1,3
11	1,1	1,4
12	1,1	1,8
13	0,9	1,8
14	0,9	1,4

Tabelle 5.2: Die Werte für die Winkelauflösung mit den verschiedenen Triggerbedingungen.

5.4 Die Winkelakzeptanz

Die Aufgabe des HASTs besteht bekanntlich darin, nur auf einen bestimmten Raumwinkelbereich sensitiv zu sein. Da die Schauerfront aber gewisse Zeitfluktuationen bezüglich einer angepaßten Ebene aufweist, ist es interessant zu wissen, wieviel Prozent der Schauer akzeptiert werden in Abhängigkeit von der Abweichung zu der eingestellten Beobachtungs-Position. Die Zeitfluktuationen sind in der Abbildung 5.4 auf der nächsten Seite dargestellt. Es ergibt sich ein Wert von $\sigma_{63\%} \approx 9\,ns$. Bei dieser Simulation[1] zur Winkelakzeptanz wurde ein 'idealer' HAST angenommen. Das heißt, daß der HAST immer einen Trigger liefert, wenn mindestens drei Hütten mit ihren berechneten Zeitverzögerungen innerhalb von einer zu bestimmenden Zeit (Zeitfenster) ein Teilchen registrieren. Dieses ist in der Praxis leider nicht der Fall. Eine Simulation mit einem 'realistischen' HAST ist in [1] beschrieben. Ziel dieser Voruntersuchung war es, das bestmögliche Zeitfenster zu bestimmen, ohne das genaue Verhalten der Hardware zu kennen.

[1] Die Triggerbedingung ist eine 3 Hütten-Koinzidenz und die simulierten Schauer kommen aus dem Zenit ($\theta = 0\,Grad$). Bei der Inbetriebnahme des HASTs zeigte sich, daß die 3er-Koinzidenz zu einer zu hohen Triggerrate führte.

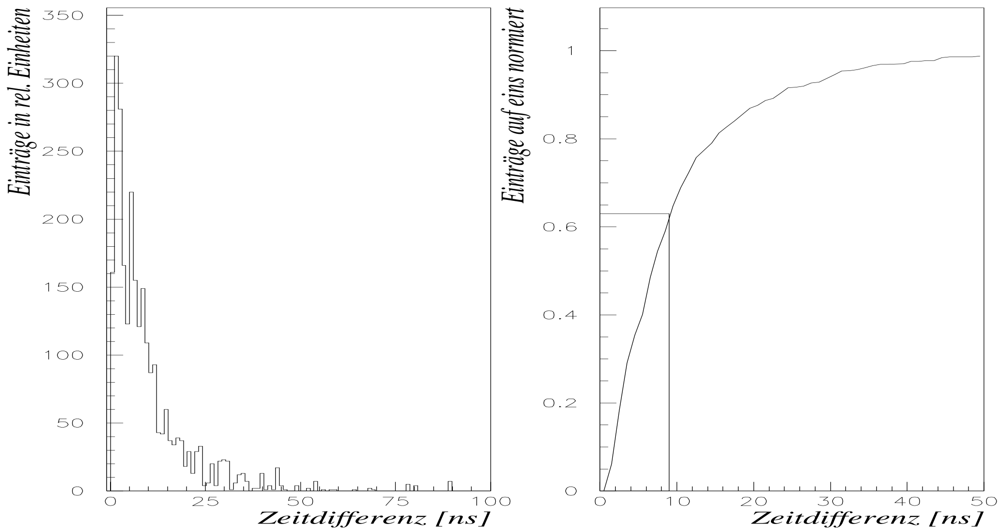

Abbildung 5.4: Links die Verteilung der Zeitdifferenzen zwischen erster und letzter Szintillatorhütte. Rechts die Verteilung aufintegriert und auf eins normiert, der $\sigma_{63\%}$*-Wert ist gekennzeichnet.*

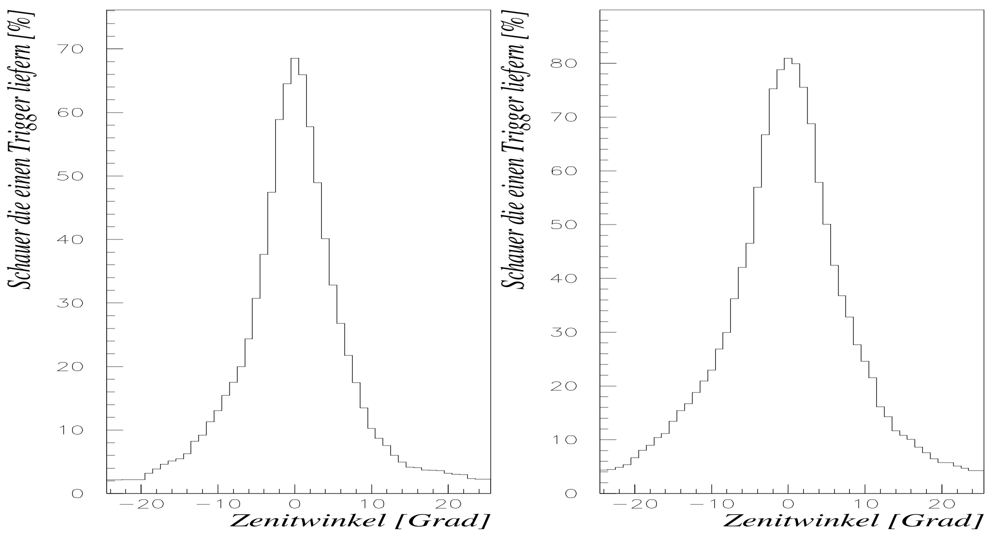

Abbildung 5.5: Links die Winkelakzeptanz mit einem $10\,ns$ *Zeitfenster. Rechts die Winkelakzeptanz mit einem* $15\,ns$ *Zeitfenster.*

Man möchte möglichst 100 Prozent der Schauer aus der eingestellten Richtung triggern und keine außerhalb eines $10\,Grad \cdot 10\,Grad$ Fensters. Da beides aber nicht möglich ist, gilt es die Größe des Zeitfensters so zu wählen, daß beide Forderungen möglichst gut erfüllt werden. Wir haben ein Zeitfenster mit der Größe von $10\,ns$ gewählt, da dieses der beste Kompromiß zu sein scheint. In der Abbildung 5.5 auf der vorherigen Seite ist die Winkelakzeptanz für ein $10\,ns$ und ein $15\,ns$ großes Zeitfenster dargestellt.

Kapitel 6

Die Analyse der registrierten Burstdaten

6.1 Die Statistik der HAST-Bursts

Von dem Zeitpunkt der Installation des HASTs im Oktober '96 bis zum April '97 wurden 23 Mails[1] aufgenommen. Der Tabelle 6.1 auf der nächsten Seite sind die wichtigsten Werte aller HAST-Datensätze zu entnehmen. Durch eine nachträgliche genauere Betrachtung lassen sich die 22 HAST-Datensätze in vier Gruppen einteilen. Es stellt sich heraus, daß es sich bei 18 Datensätzen um die Vermessung von GRBs handelt. Die angegebenen Nummern sind die, die BATSE den GRBs zuordnet.

(1) Die Datennahme lief nicht oder der HAST war ausgeschaltet[2].
(5711,5741,5744,5770)

(2) Der Zenitwinkel war beim Eintreffen der Burst-Mail größer als 40 $Grad$ und kam erst nach einigen Stunden in den sensitiven Bereich, sodaß der Burst vorüber war, bevor die Datennahme starten konnte.
(5678,5701,5708,5712,5718,5744,6115,6116,6122,6126,6130)

(3) Es handelt sich nicht um GRBs, sondern um Fluktuationen anderer Quellen.
(5741,6112,6116,6122)

(4) HAST-Datensätze, die unmittelbar nach Eintreffen der Burst-Mail aufgenommen wurden.
(5632,5644,5645,5697,6090,6119,6124)

[1] Von den 23 HAST-Datensätzen wurde einer von COMPTEL und 22 von BATSE ausgelöst. Der COMPTEL-Burst wurde analysiert und es ergaben sich keine signifikanten Überschüsse. Allerdings kam dieser Burst zu einem Zeitpunkt, als sich der HAST noch in der Testphase befand und somit soll den Ergebnissen hier keine weitere Beachtung geschenkt werden.

[2] Testmessungen und Installation neuer Komponenten

BATSE Nummer	Datum	Uhrzeit [UTC]	BATSE-Intensität [cnts]	Zeitdifferenz Burst-HAST [Std]	T90 [s]	Zenitwinkel beim Start [^{0}]	Old Burst/Background Messung
5632	15.10.96	16:08:44	1372	00:02:12	50	30,3 $\nearrow$	Ja / Ja
5644	26.10.96	06:11:50	8704	00:11:02	23	22,6 $\nearrow$	Ja / Ja
5645	26.10.96	09:43:50	1094	00:01:01	45	33,2 $\searrow$	Ja / Ja
5678[1]	19.11.96	07:24:04	14864	05:52:40	0,45	> 40,0	Nein / Ja
5697	26.11.96	06:43:20	3304	00:00:38	4	14,1 $\searrow$	Ja / Ja
5701	30.11.96	05:13:52	13168	05:03:53	12	> 40,0	Ja[2] / Ja[2]
5708[1]	08.12.96	09:14:46	1248	00:53:52	0,06	> 40,0	Ja / Ja
5711	12.12 96	04:07:56	4238	28:23:43[3]	18	4,2 $\nearrow$	Ja[1] / Ja
5712	13.12.96	12:33:44	2912	17:13:52	25	> 40,0	Ja / Ja
5718	18.12.96	19:35:32	496	04:32:44	10	> 40,0	Ja / Ja
5741[4]	03.01.97	16:44:46	736	00:11:17	–	20,6 $\searrow$	Ja / Ja
5744[4]	05.01.97	02:57:56	416	09:58:15	0,15	> 40,0	Ja / Ja
5770	10.01.97	23:12:52	493	5 Tage[3]	0,8	31,0 $\nearrow$	Ja[2] / Ja
6090	14.02.97	10:46:25	4624	00:06:15	10	39,5 $\searrow$	Nein / Ja
6112	03.03.97	11:37:57	832	00:10:43	–	33,8 $\searrow$	Ja / Ja
6115	06.03.97	02:47:39	2832	09:34:26	190	> 40,0	Nein / Ja
6116	06.03.97	16:15:41	208	15:50:31	–	> 40,0	Ja / Ja
6119	12.03.97	11:40:41	884	00:01:44	20	27,7 $\searrow$	Ja / Ja
6122	14.03.97	16:03:35	768	15:50:45	–	> 40,0	Ja / Ja
6124	15.03.97	15:40:54	4264	00:00:49	60	37,3 $\nearrow$	Nein / Ja
6126	16.03.97	16:29:39	384	12:19:01	–	> 40,0	Ja / Ja
6130	18.03.97	14:42:23	432	13:29:39	–	> 40,0	Ja / Ja[2]

[1]Soft Gamma Repeater [2]Die Datennahme wurden vorzeitig abgebrochen
[3]HAST war ausgeschaltet [4]Keine Datennahme

Tabelle 6.1: Die Daten von allen 22 durch BATSE initiierten HAST-Datensätzen. Die Zenitwinkelangaben '> 40,0' bedeutet, daß bei der Ankunft der Burst-Mail der Zenitwinkel größer als $40,0\,Grad$ *war und somit der HAST erst später anspringen konnte. Die Pfeile '$\nearrow$' und '$\searrow$' geben den Verlauf des Zenitwinkels an, also ob er nach dem Start größer oder kleiner wird.*

BATSE Nr.	5632	5644	5645	5678	5697	5701	5708	5711
Zeitdifferenz Burst-Mail [min]	00:04	10:35	00:04	09:45	00:05	10:05	09:40	00:05
Zeitdifferenz Mail-HAST [min]	02:08	00:27	00:57	——	00:33	——	——	——

BATSE Nr.	5712	5718	5741	5744	5770	6090	6112	6115
Zeitdifferenz Burst-Mail [min]	09:43	09:45	10:24	10:41	00:04	04:56	10:04	10:32
Zeitdifferenz Mail-HAST [min]	——	——	00:53	——	——	01:19	00:39	——

BATSE Nr.	6116	6119	6122	6124	6126	613		
Zeitdifferenz Burst-Mail [min]	09:42	00:04	09:53	00:04	10:20	09:47		
Zeitdifferenz Mail-HAST [min]	——	01:40	——	00:45	——	——		

Tabelle 6.2: Die Zeitdifferenzen, zum einen zwischen dem Burstausbruch und der Versendung der E-Mail, zum anderen zwischen der Versendung der E-Mail und dem Start des HASTs. Für Bursts, die nicht zu einem sofortigen Start des HASTs führten (Zenitwinkel $> 40\,Grad$*), hat der zweite Wert keine Bedeutung.*

Es bleiben sieben GRBs (siehe (4) auf Seite 45), von denen die fünf interessantesten näher betrachtet werden sollen. Dabei wurde der GRB Nr.5644 aufgrund seiner hohen Intensität ausgewählt. Das wichtigste Kriterium für die Selektion ist aber die Zeitdifferenz zwischen Registrierung des Bursts durch BATSE und Start des HASTs. Die vier GRBs mit der kleinsten Zeitdifferenz sind Nr.5645, Nr.5697, Nr.6119 und Nr.6124. Eine genauere Untersuchung dieser Zeitverzögerungen ergibt, daß die Burst-Mails bei dreiviertel der Fälle erst nach mehreren Minuten verschickt wurden. Außerdem vergeht im Mittel etwa eine Minute, bis die gesendete E-Mail den HAST erreicht. Die einzelnen Werte sind der Tabelle 6.2 auf der vorherigen Seite zu entnehmen. Ein Vergleich mit den T90-Zeiten[3] ergibt, daß bei diesen Bedingungen die Wahrscheinlichkeit, spontane TeV-Emission zu messen, sehr gering ist. Die Verteilung der T90-Zeiten aller Bursts aus dem BATSE 3B-Katalog zeigt, daß nur wenige GRBs länger als $100\,s$ andauern (siehe Abbildung 6.1). Dennoch ist es gelungen, bei dem Burst Nr.6124 ein Überlapp von $11\,sec$ zwischen HAST-Messung und T90-Zeit zu erhalten. An dieser Stelle sei nochmals das HETE-Experiment erwähnt, da die Zeitverzögerungen bei diesem vermieden worden wären. So hätte es eine Empfangstation direkt beim Experiment gegeben und es wäre der Weg über das Internet entfallen. Somit wäre die Wahrscheinlichkeit, spontane Emission zu messen, deutlich erhöht worden.

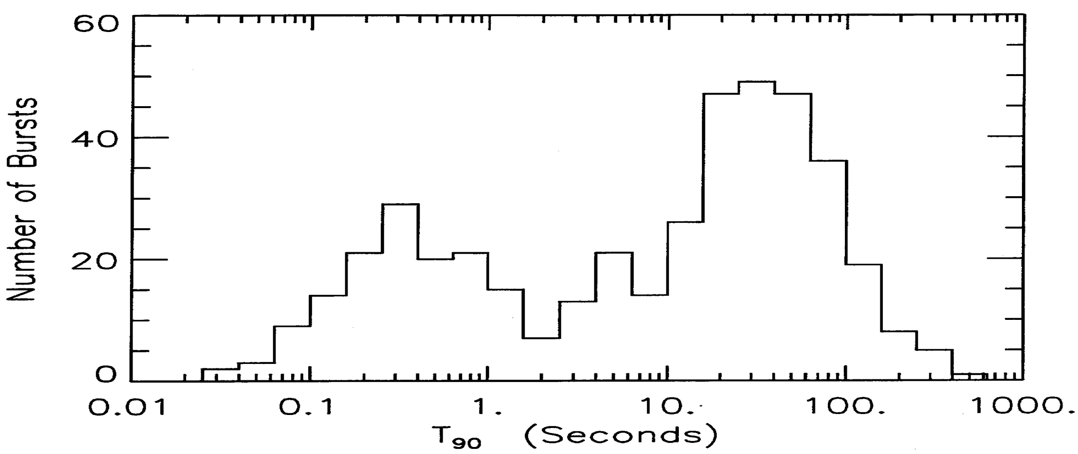

Abbildung 6.1: Dargestellt ist die Verteilung der T90-Zeiten aller GRBs aus dem BATSE 3B-Katalog.

Allerdings ist es durchaus sinnvoll, auch eine Langzeituntersuchung durchzuführen, da die T90-Zeiten nicht unbedingt auch Gültigkeit im hochenergetischen Bereich haben müssen. So wurde von 'EGRET' eine Emission im GeV-Bereich gemessen, die 5 Stunden nach der BATSE-Registrierung erfolgte.

[3]Die Zeit, in der 90% des Flusses des Bursts von BATSE gemessen wird.

6.2 Das Analyseverfahren

Auf die von BATSE gegebene wahrscheinlichste Position des Bursts wird ein Gitter von $5 \cdot 5$ Intervallen gelegt mit einer Größe von $0,64 \cdot 2,7° \cdot 2,0 = 3,456°$ in der Deklination und $3,456°/cos(Deklination)$ in Rektaszension. Die Intervallgröße ergibt sich aus: $optimales\,Intervall \cdot Winkelauflösung \cdot Intervallbreite$. Die Bestimmung des optimalen Intervalls ist in [21] ausführlich beschrieben. Für eine Langzeitanalyse ist ein sehr großer Untergrund anzunehmen, daraus ergibt sich der oben angegebene Wert für das optimale Intervall. Durch diese Intervalleinteilung ist die Richtungsungenauigkeit von BATSE ausreichend berücksichtigt. Damit ein Burst nicht zufällig auf der Grenze von zwei Intervallen liegt und somit die eventuell vorhandenen Überschüsse auf zwei oder gar vier Intervalle verteilt werden, wird das Gitter in drei Richtungen verschoben: Sowohl um eine halbe Intervallbreite in Deklination, in Rektaszension, als auch in beide Richtungen gleichzeitig (siehe Abbildung 6.2).

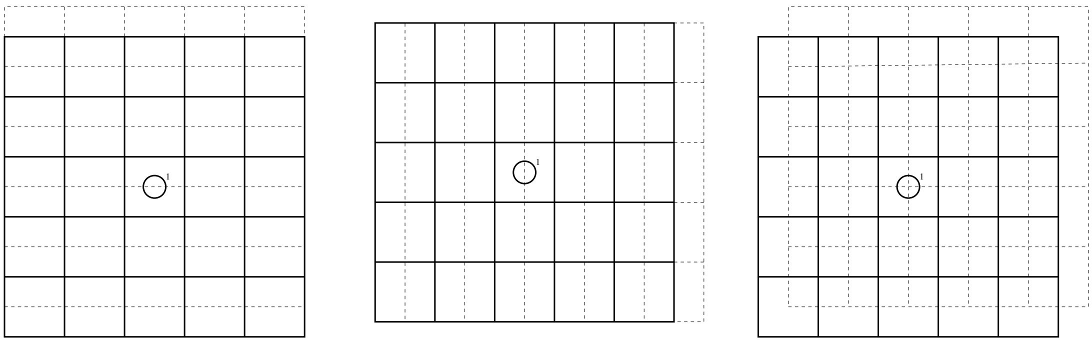

Abbildung 6.2: Dargestellt ist das Suchgitter (fett) und die drei verschobenen Suchgitter (dünn), sowie die wahrscheinlichste Burstposition (Kreis).

Ob man tatsächlich einen Burst gemessen hat, kann nicht absolut angegeben werden, sondern vielmehr als die Wahrscheinlichkeit dafür, daß die Meßergebnisse verträglich mit der Untergrundannahme sind. Diese Wahrscheinlichkeit, die Signifikanz, wird in Sigmas angegeben und nach der Formel von Li und Ma berechnet [30].

$$\sigma = \sqrt{2} \cdot \sqrt{N_Q \cdot \ln\left[\frac{1+\alpha}{\alpha} \cdot \frac{N_Q}{N_Q + N_U}\right] + N_U \cdot \ln\left[(1+\alpha) \cdot \frac{N_U}{N_Q + N_U}\right]} \tag{6.1}$$

N_Q = Quellenereignisse $\qquad$ N_U = Untergrundereignisse

α = Normierungsfaktor $\frac{N_Q gesamt}{N_U gesamt}$

Da der HAST nicht kontinuierlich mißt und auf wechselnden Himmelsbereichen sensitiv ist, kann man kein Mittel über einen langen Zeitraum als Untergrund verwenden. Um den Fehler in der Untergrundbestimmung zu verkleinern, werden zwei unabhängige Untergrundannahmen verwendet. Die eine ist die vom HAST vorgenommene Untergrundmessung, in der die Burstposition in lokalen Koordinaten noch einmal nachgemessen wird und man die Einträge direkt als erwarteten Untergrund annimmt. Die andere ist, den Mittelwert aus den acht benachbarten Intervallen zu bilden und diesen als Untergrund anzunehmen. Das hat den Vorteil, eine acht mal höhere Statistik zu erhalten. Es ist zu beachten, daß bei dieser Methode die Signifikanzen leicht in den positiven Bereich verschoben sind. Das ergibt sich daraus, daß sich die Burstposition meist in der Nähe des Maximums der Einträge befindet und somit die umliegenden Intervalle im Mittel weniger Einträge aufweisen. Dieses wird in den Abbildungen 6.3 und 6.4 auf der nächsten Seite veranschaulicht.

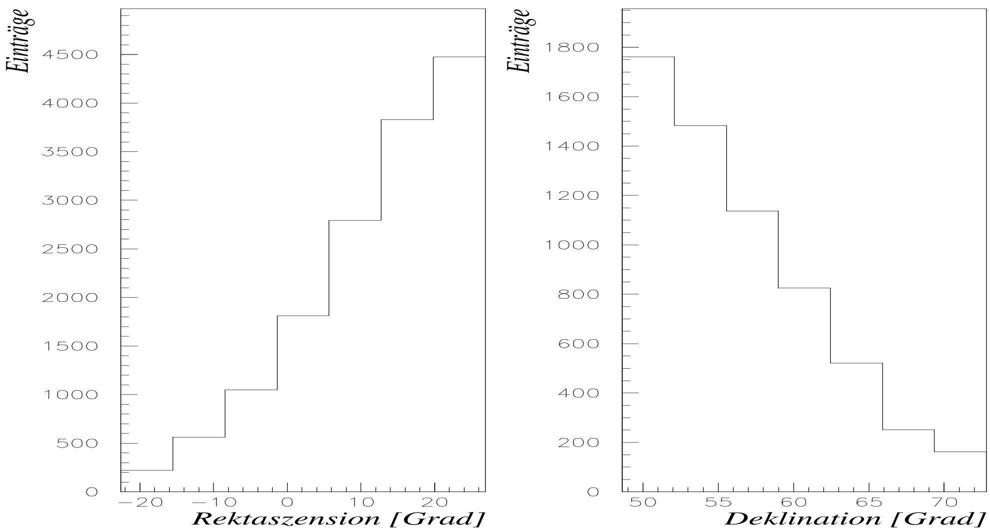

Abbildung 6.3: Dargestellt ist die Verteilung der Ereignisse in Himmelskoordinaten für den Burst Nr. 6124, die Burstposition ist das mittlere Intervall.

Wenn die Burstposition auf einer Flanke der Untergrundverteilung liegt, ist der Mittelwert der Signifikanzverteilung im Rahmen des statistischen Fehlers bei Null (siehe die Analyse des Bursts Nr. 6124). Wenn die Burstposition beim Maximum der Untergrundverteilung liegt, ist der Mittelwert der Signifikanzverteilung ins Positive verschoben (siehe Burst Nr. 5644, Nr. 5645, Nr. 5697 und Nr. 6119).

Für die Analyse wurden neben den Ereignissen, die einen HAST-Trigger ausgelöst haben, auch die berücksichtigt, die durch den runterskalierten Vierer-Trigger registriert wurden. Außerdem wurden Ereignisse ohne Triggerbit-Informa-

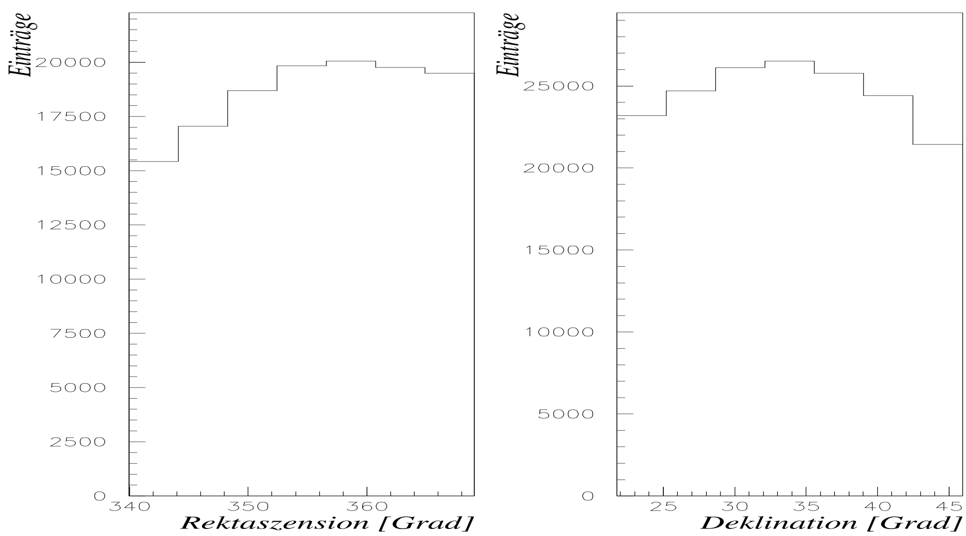

Abbildung 6.4: Dargestellt ist die Verteilung der Ereignisse in Himmelskoordinaten für den Burst Nr. 6119, die Burstposition ist das mittlere Intervall.

tion, die ebenfalls HAST-Trigger sind (siehe 4.4), verwendet. Es gibt keine weiteren Einschränkungen auf die Ereignis-Auswahl. Als Burstposition wurden nicht die ursprünglichen Positionen aus den Burst-Mails angenommen, sondern die von BATSE im nachhinein korrigierten. Zur Komplettierung der Analyse werden noch die oberen Flußgrenzen bestimmt. Durch die Verschiebung der Intervalle ergeben sich zu jedem GRB vier obere Flußgrenzen. Die Ergebnisse sind im nächsten Abschnitt wiedergegeben.

6.3 Die Ergebnisse der Burstanalyse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Analyse dargestellt. Die Burstkoordinaten und die sich daraus ergebende Intervalleinteilungen sind der Tabelle 6.3 auf Seite 53 zu entnehmen. Zu jedem der fünf Bursts wurde, wie im vorigen Kapitel besprochen, eine Analyse mit zwei voneinander unabhängigen Untergründen durchgeführt. So gibt es jeweils zwei Signifikanzverteilungen zu jedem Burst. In den Abbildungen 6.5, 6.6, 6.7, 6.8 und 6.9 sind diese dargestellt. Es ist zu erkennen, daß die Signifikanzen gaußförmig mit einer Breite von ≈ 1 um Null verteilt sind. Alle Werte liegen unterhalb von $3\,Sigma$. Es gibt also keine signifikanten Überschüsse.

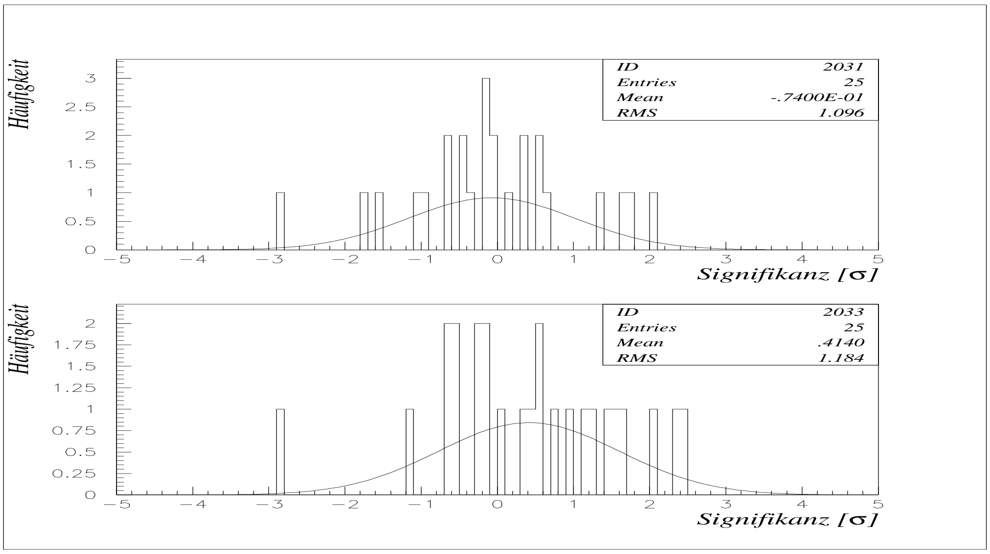

Abbildung 6.5: Verteilung der Signifikanzen vom GRB Nr. 5644. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht.

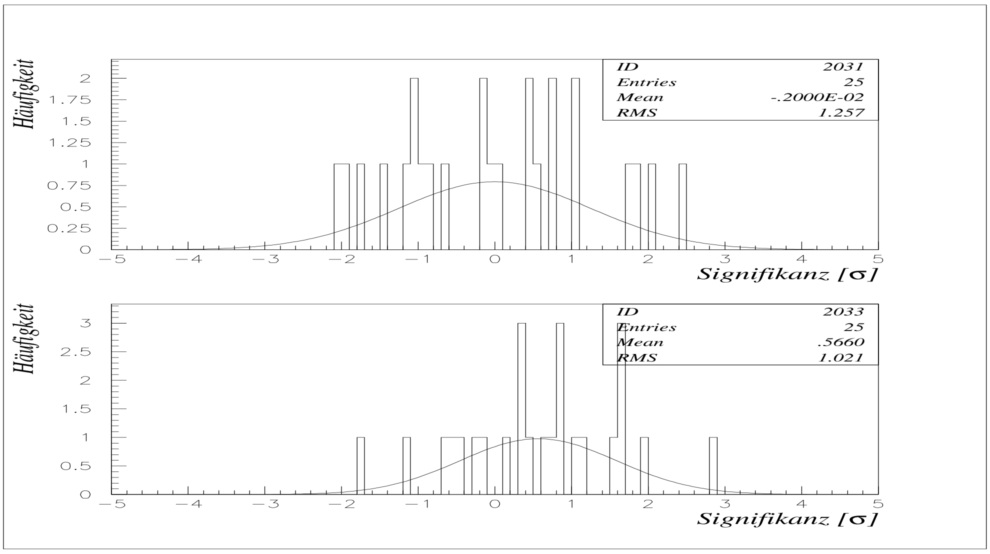

Abbildung 6.6: Verteilung der Signifikanzen vom GRB Nr. 5645. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht.

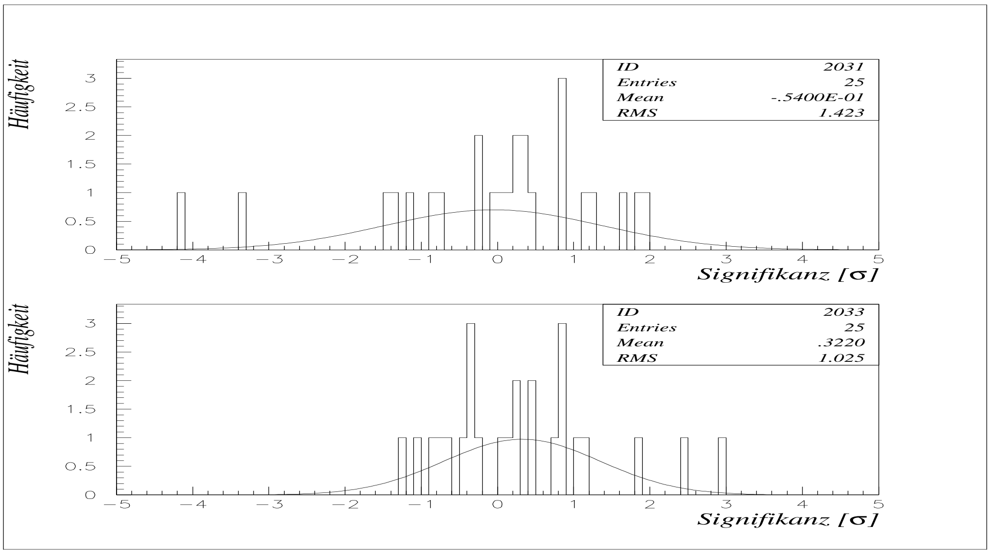

Abbildung 6.7: Verteilung der Signifikanzen vom GRB Nr. 5697. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht.

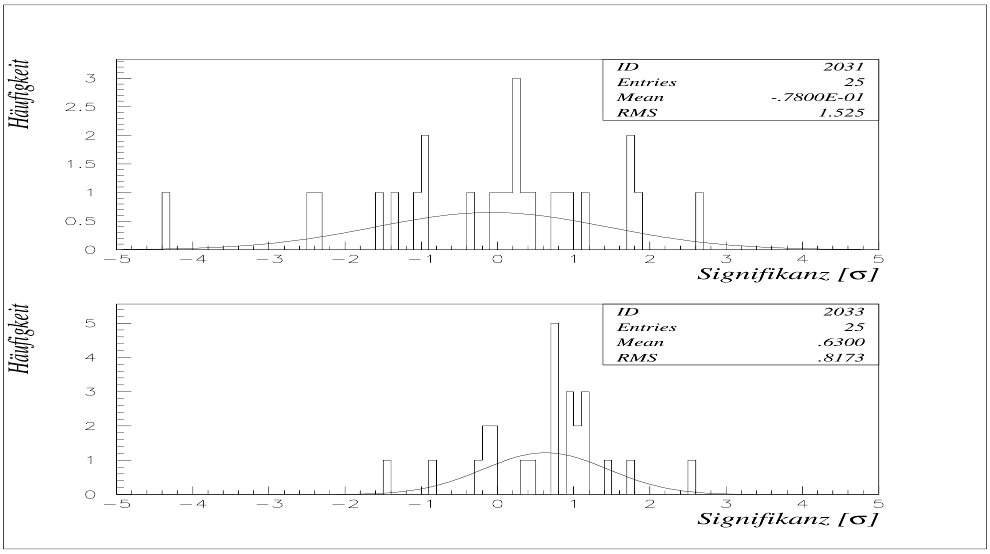

Abbildung 6.8: Verteilung der Signifikanzen vom GRB Nr. 6119. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht.

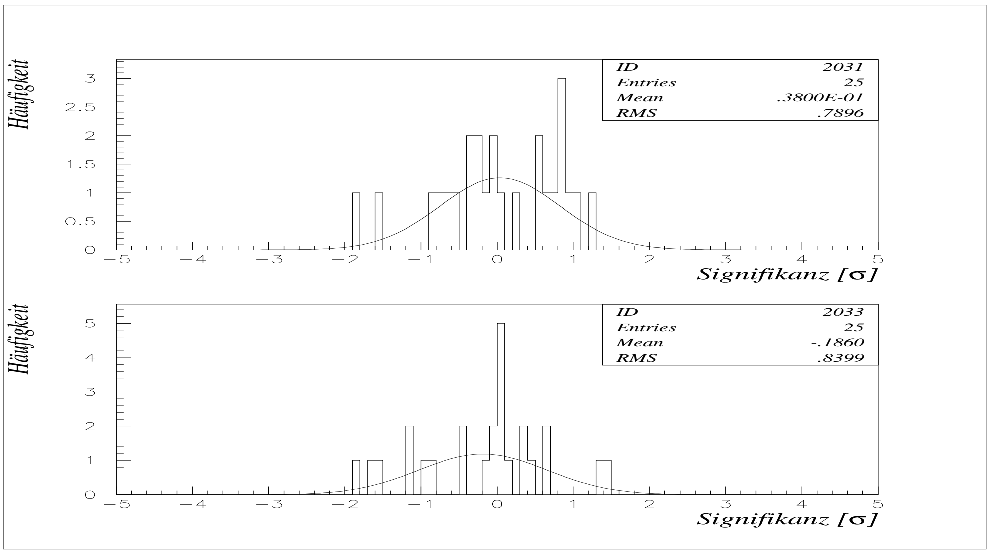

Abbildung 6.9: Verteilung der Signifikanzen vom GRB Nr. 6124. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht.

Burst-	ursprüngliche Position [$Grad$]		korrigierte Position [$Grad$]		Intervallgröße [$Grad$]	
nummer	Deklination	Rektaszension	Deklination	Rektaszension	Deklination	Rektaszension
5644	43,74	95,11	41,88	99,32	3,456	4,6418
5645	38,49	201,78	26,01	202,89	3,456	3,8455
5697	28,06	164,60	36,72	150,34	3,456	4,3116
6119	47,23	354,80	33,85	354,51	3,456	4,1614
6124	62,18	5,69	60,72	2,15	3,456	7,0664

Tabelle 6.3: Angegeben sind die Burstpositionen, zum einen die ursprünglichen wie sie in der Burst-Mail verschickt wurden, zum anderen die genaueren im nachhinein veröffentlichten. In den beiden rechten Spalten sind die aus den Burstpositionen errechneten Intervallgrößen angegeben.

Die genauen Signifikanzen pro Intervall sind den Abbbildungen 6.10, 6.11, 6.12, 6.13 und 6.14 zu entnehmen. Die Ergebnisse mit den verschobenen Suchgittern sind im Anhang (A-E) dargestellt. Die absolute Anzahl von Einträgen pro Intervall ist in der Tabelle 6.4 auf der nächsten Seite angegeben. Dabei handelt es sich um die Werte für das Intervall mit dem größten Sigma-Wert. Zum einen mit dem gemessenen Untergrund, zum anderen mit dem berechneten Umgebungs-Untergrund.

Burst-nummer	Einträge in das Intervall mit der größten Signifikanz			
	Quelle	Untergrund[1]	Quelle	Untergrund[2]
5644	657	575	345	284.75
5645	2351	2144	2351	2162.5
5697	465	413	914	790.63
6119	1665	1548	1699	1556.38
6124	89	76	66	50.75

[1]HAST-Untergrundmessung [2]Mittelwert der acht benachbarten Intervalle

Tabelle 6.4: Angegeben sind die Einträge in das Intervall mit der größten Signifikanz. Links für den durch die HAST-Messung bestimmten Untergrund. Rechts mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Quellen-Einträge unterscheiden sich, da es sich um verschiedene Intervalle handelt.

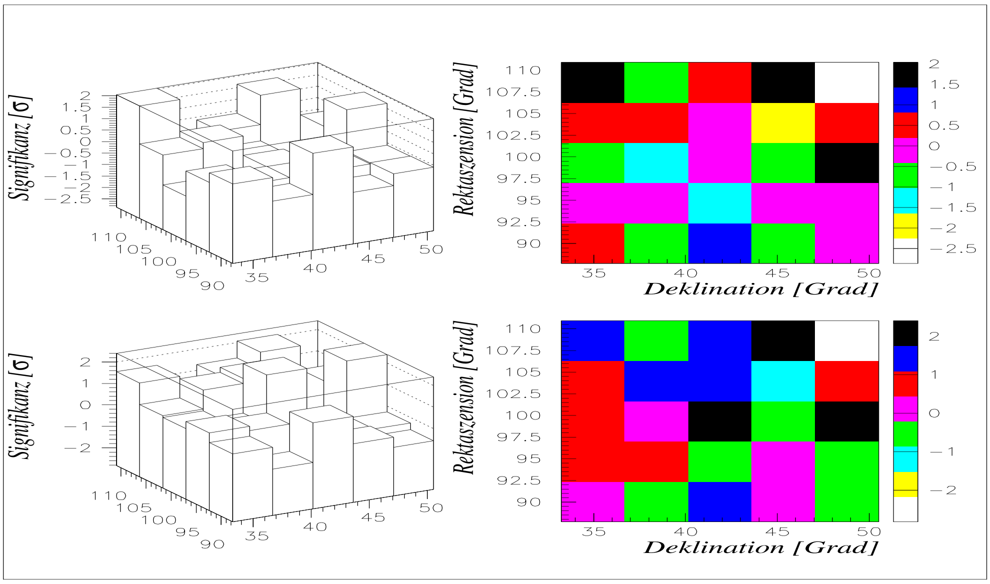

Abbildung 6.10: Signifikanz pro Intervall vom GRB Nr. 5644. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht.

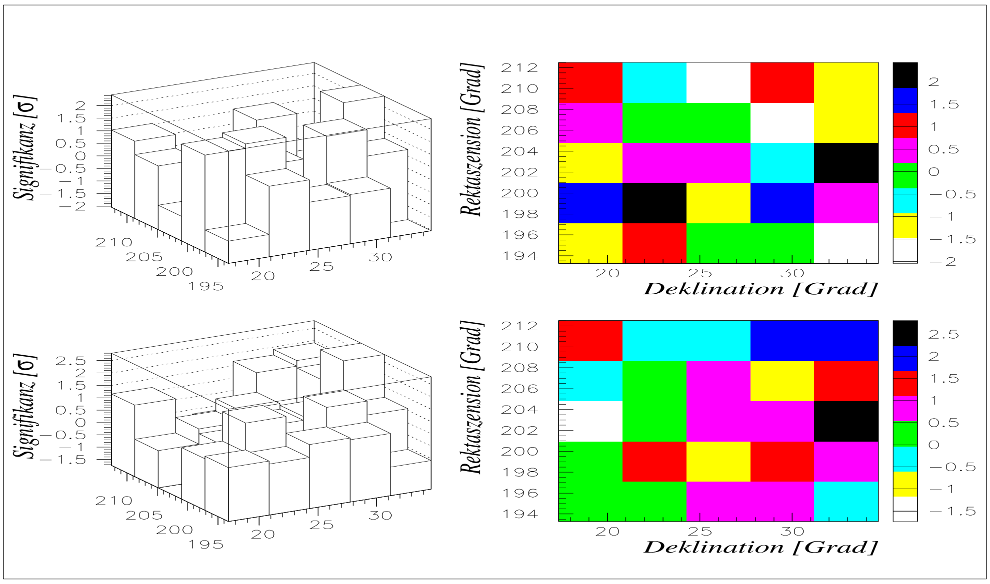

Abbildung 6.11: Signifikanz pro Intervall vom GRB Nr. 5645. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht.

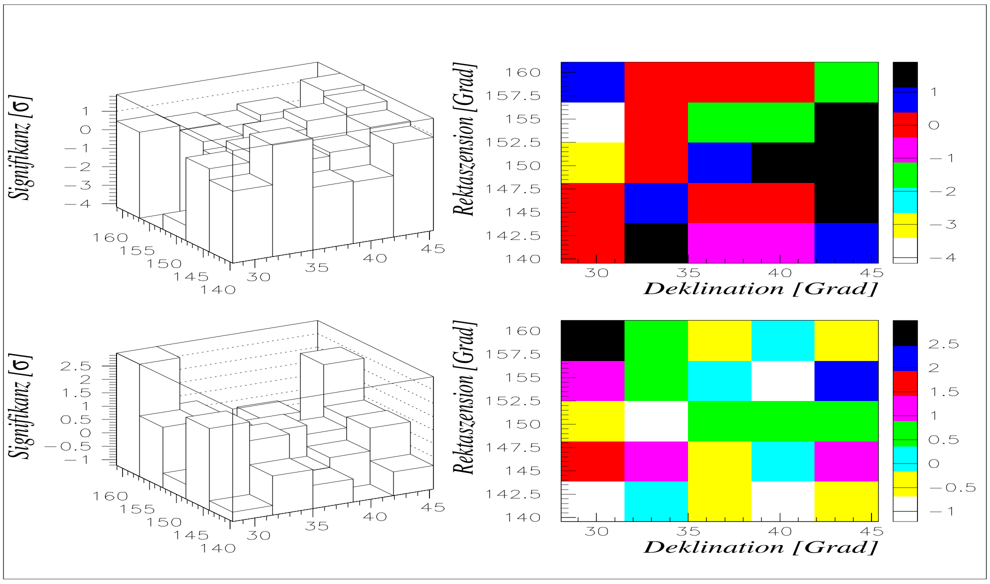

Abbildung 6.12: Signifikanz pro Intervall vom GRB Nr. 5697. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht.

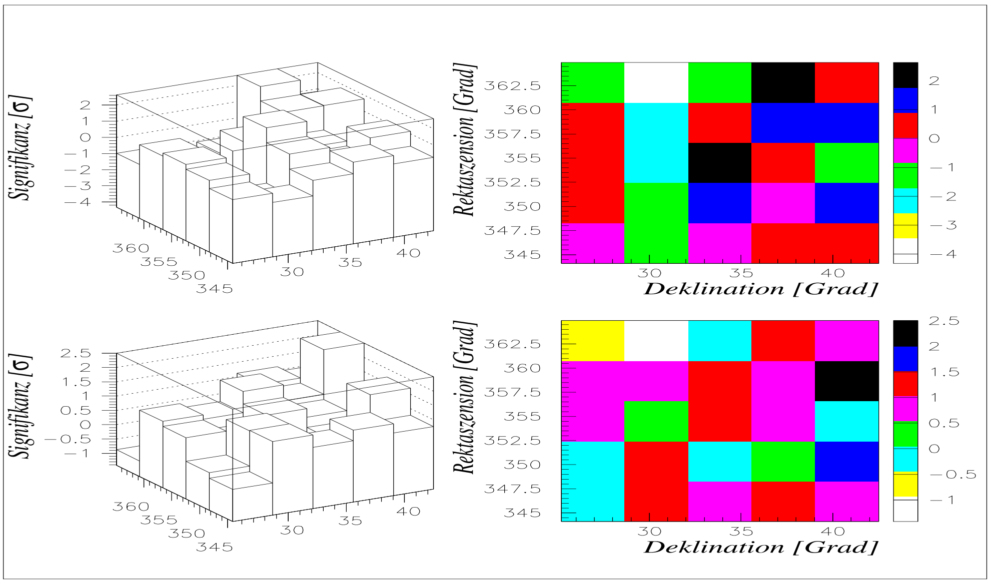

Abbildung 6.13: Signifikanz pro Intervall vom GRB Nr. 6119. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht.

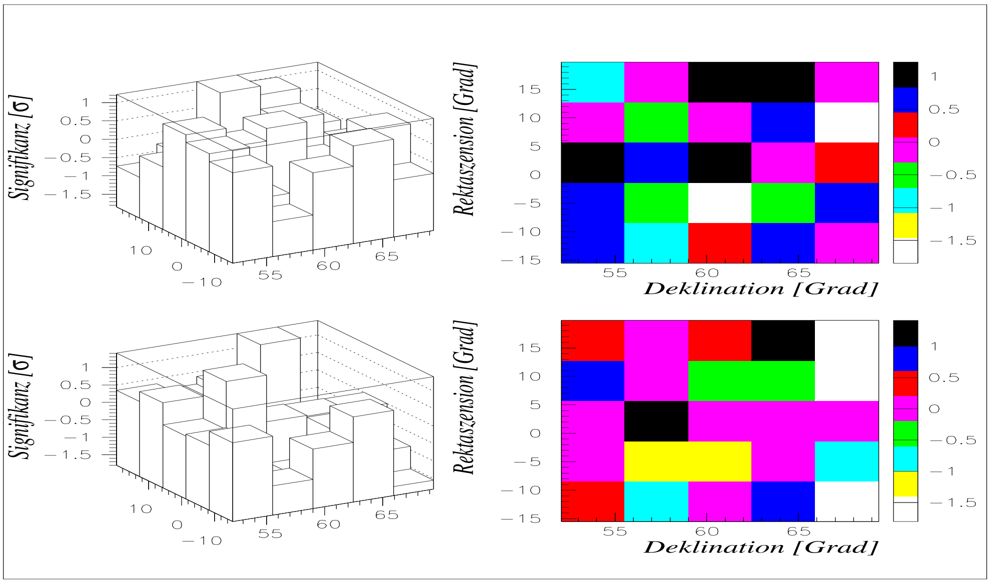

Abbildung 6.14: Signifikanz pro Intervall vom GRB Nr. 6124. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht.

Da wir kein signifikantes Signal gemessen haben, bleibt nur die Angabe von oberen Flußgrenzen. Da die Energieschwelle vom Zenitwinkel der einfallenden Teilchen abhängt, ist es zunächst erforderlich, den mittleren Zenitwinkel zu bestimmen. Die Werte sind der Tabelle 6.5 zu entnehmen. In Kapitel 5.2 (Gl. 5.1) ist beschrieben, wie sich aus der Rate die Energieschwelle E_{equi} bestimmen läßt. So erhält man eine Funktion, die noch auf die 10 %- Energieschwelle korrigiert werden muß. Diese Funktion ist in der Abbildung 6.15 dargestellt.

Burst-nummer	Zenitwinkelverlauf [Grad]	Mittelwert des Zenitwinkels [Grad]	Mittelwert der Energieschwelle[1] [TeV]	HAST-Datennahme [Stunden]
5644	20,56 - 31,35	26,10	3,6	01:06:55
5645	33,16 - 9,73 - 40,00	21,20	3,1	05:41:22
5697	14,10 - 0,71 - 2,07	6,40	2,4	01:13:35
6119	27,74 - 18,47 - 40,00	25,01	3,5	04:50:48
6124	37,32 - 40,00	38,63	7,1	00:33:54

[1]Es wurde der 10 Prozentwert der Energieschwelle für die Triggerbedingung von mindestens 4 Hütten, verwendet.

Tabelle 6.5: Angegeben sind die Zenitwinkelverläufe der fünf analysierten HAST-Datensätze, deren Mittelwerte, die sich daraus ergebene Energieschwellen, sowie die Dauer der HAST-Messungen.

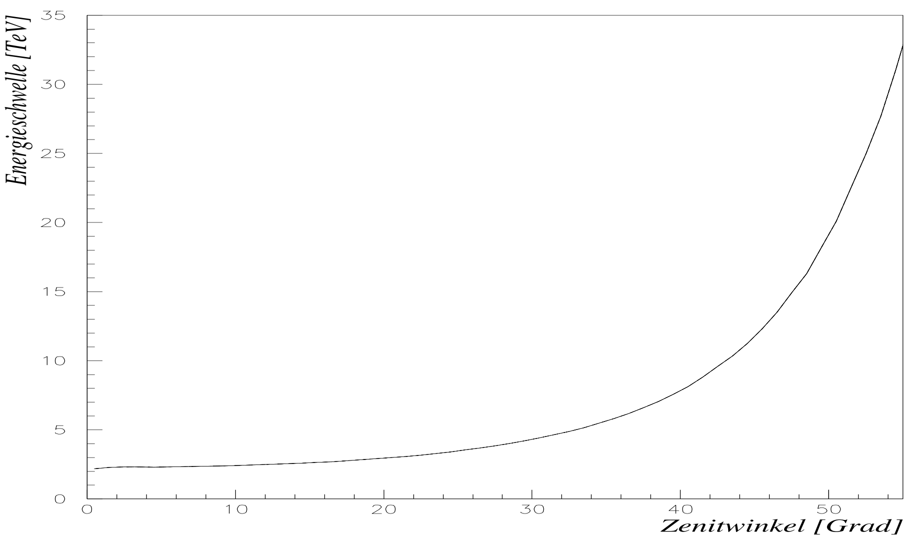

Abbildung 6.15: Dargestellt ist die 10 %-Energieschwelle in Abhängigkeit vom Zenitwinkel des einfallenden Luftschauers.

Daraus ergeben sich für die fünf analysierten Bursts mittlere Energieschwellen zwischen $2,4\,TeV$ und $7,1\,TeV$. Die ermittelten oberen Flußgrenzen sind der Tabelle 6.6 auf der nächsten Seite zu entnehmen. Sie liegen um eine Größenordnung unterhalb von denen, die H.Krawczynski [21] mit dem runterskalierten Vierer-Trigger ermittelt hat. Dieses liegt in erster Linie an der längeren Meßdauer, sowie daran, daß nicht nur jedes siebte Ereignis einen Trigger auslöst.

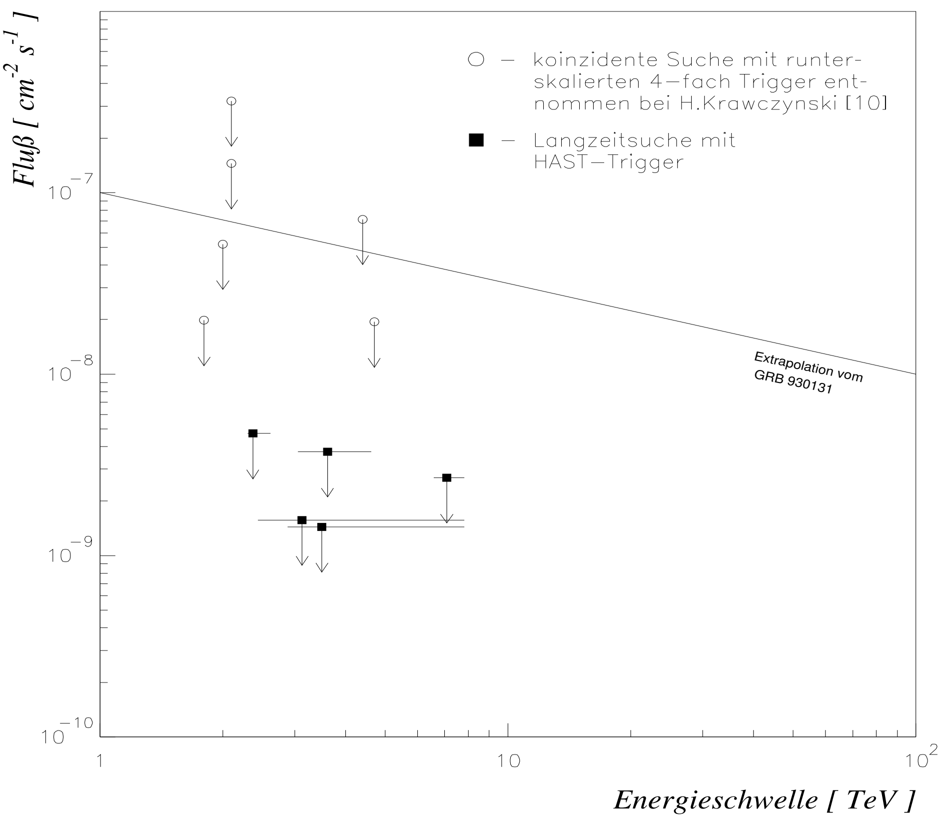

Abbildung 6.16: Dargestellt sind die oberen Grenzen des integralen Flusses, der untersuchten GRBs mit den HAST-Daten. Zum Vergleich sind die Ergebnisse aus der Dissertation von H.Krawczynski und die Extrapolation des GRB930131 in den TeV-Bereich dargestellt.

In Abbildung 6.16 sind die Ergebnisse der Flußobergrenzen dargestellt, wobei für jeden Burst der Höchste der vier ermittelten Werte eingetragen wurde. Die Breite der waagerechten Linien spiegelt den Zenitwinkelbereich wieder, in dem der Burst vermessen wurde. Diese wurden mit Hilfe der in Abbildung 6.15 auf der vorherigen Seite dargestellten Funktion in Energien umgerechnet. Der senkrechte Pfeil stellt den Mittelwert der durchlaufenen Zenitwinkel dar. Zum Vergleich ist

Burst-nummer	Fluß $[cm^{-2}s^{-1}]$			
	1	2	3	4
5644	$3,269 \cdot 10^{-9}$	$3,741 \cdot 10^{-9}$	$3,319 \cdot 10^{-9}$	$3,221 \cdot 10^{-9}$
5645	$1,573 \cdot 10^{-9}$	$1,500 \cdot 10^{-9}$	$1,371 \cdot 10^{-9}$	$1,443 \cdot 10^{-9}$
5697	$4,720 \cdot 10^{-9}$	$3,213 \cdot 10^{-9}$	$4,420 \cdot 10^{-9}$	$3,269 \cdot 10^{-9}$
6119	$1,440 \cdot 10^{-9}$	$1,294 \cdot 10^{-9}$	$1,248 \cdot 10^{-9}$	$1,249 \cdot 10^{-9}$
6124	$1,898 \cdot 10^{-9}$	$1,568 \cdot 10^{-9}$	$2,695 \cdot 10^{-9}$	$2,133 \cdot 10^{-9}$

Tabelle 6.6: Angegeben sind die oberen Flußgrenzen, wobei die Nummerierung von 1 - 4, auf die vier verschiedenen Suchgitter zurückzuführen ist. So ist : 1 die original Position, 2 um eine halbe Intervallbreite in Deklination verschoben, 3 um eine halbe Intervallbreite in Rektaszension verschoben und 4 in Deklination und in Rektaszension verschoben.

die Extrapolation des intensiven GRB930131 vom MeV in den TeV-Bereich eingezeichnet. Es ist zu erkennen, daß die vom HAST gemessenen Flußobergrenzen deutlich niedriger sind. Die physikalische Interpretation ist, daß die GRBs galaktischen Ursprunges sind und keine TeV-Photonen emittieren, oder die GRBs sind extragalaktischen Ursprunges und es findet eine Absorption im TeV-Bereich (durch die intergalaktische Strahlung) statt, bzw. es gibt keine TeV-Emission. Außerdem ist natürlich denkbar, daß der HAST nicht zur richtigen Zeit gemessen hat, da eine Emission im TeV-Bereich deutlich früher oder später stattgefunden haben könnte.

Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden der Aufbau und die ersten Ergebnisse eines winkelsensitiven Triggers (HAST) für das HEGRA-Experiment vorgestellt. Der HAST soll dazu dienen, zum erstenmal mit einem erdgebundenen Detektorfeld Gamma Ray Bursts (GRBs) im TeV-Bereich zu messen. Durch die Einschränkung des sensitiven Raumwinkelbereiches ist es möglich, bei gleichbleibender Triggerrate und somit gleichbleibender Totzeit der Datennahme, die Energieschwelle von $12\,TeV$ auf etwa $1,7\,TeV$ zu senken. Die dafür nötigen Richtungsinformationen bekommt der HAST von dem BATSE- und dem COMPTEL-Experiment durch E-Mails die via Internet verbreitet werden.

Es ist gelungen, den HAST in die vorhandene Datennahme zu integrieren, ohne die anderen Komponenten negativ zu beeinflussen. Während seines Betriebes, in dem Zeitraum vom 01.10.96 bis zum 20.03.97 arbeiteten sowohl die Hardware als auch die Software des HASTs einwandfrei. Es ist weitestgehend ein 'stand alone'-Betrieb realisiert worden. So ist die Kontrolle der korrekten Funktion sowie der Daten von Hamburg aus möglich.

Die Langzeitanalyse der Messungen ergab allerdings keine signifikanten Überschüsse von Photonen aus den eingestellten Burst-Positionen. Die ermittelten oberen Flußgrenzen liegen eine Größenordnung unterhalb der Werte von vergleichbaren Untersuchungen. Dadurch werden die Aussagen von [21] bestärkt, daß die GRBs entweder extragalaktischen Ursprunges sind oder ein Abbruch des Emissionsspektrums zwischen dem GeV- und dem TeV-Bereich vorliegt.

Ein nicht optimal zu lösendes Problem ist die Zeitdifferenz zwischen der Registrierung eines Bursts und der Aktivierung des HASTs. Diese ist von Burst zu Burst sehr unterschiedlich, aber im Mittel zu lang. Von den insgesamt 19 GRBs, die mit Hilfe des HASTs vermessen wurden, gab es drei, bei denen der HAST nach einer Minute oder schneller die Datennahme gestartet hat. Die Verzögerung ist auf die Verteilung der E-Mails zurückzuführen und liegt nicht am HAST-Aufbau. In diesem Zusammenhang war das Scheitern des HETE-Experimentes ein großer Verlust, da dieses eine schnellere und genauere Richtungsinformation ermöglicht hätte. Damit wäre die Wahrscheinlichkeit gestiegen, eventuell vorhandene spontane Emission im TeV-Bereich, zu registrieren.

Durch die Inbetriebnahme einer schnelleren Datennahme wurde inzwischen eine permanente Vier-Hütten-Koinzidenz-Bedingung für das Szintillatorfeld ermöglicht. Die zukünftigen Aufgaben des HASTs könnten darin bestehen eine Drei-Hütten-Triggerbedingung zu realisieren. Die neuesten Ergebnisse der GRB-Forschung durch BeppoSax und optische Teleskope bestärken allerdings die Theorie, daß die GRBs kosmologischen Ursprunges sind. Dieses bedeutet, daß eventuell emittierte TeV-Strahlung sehr wahrscheinlich durch Untergrundstrahlung absorbiert wird und somit eine Messung durch erdgebundene Detektoren unmöglich ist.

Anhang A

Burst Nr. 5644

Die nachfolgenden Abbildungen geben die Signifikanzen und Signifikanzverteilungen für den Burst Nr. 5644 mit einer Verschiebung der Burstposition wieder. Es wurde eine Verschiebung in Rektaszension (Abbildung A.4 auf Seite 64 und A.1), in Deklination (Abbildung A.5 auf Seite 64 und A.2 auf der nächsten Seite) und in Deklination und Rektaszension (Abbildung A.6 auf Seite 65 und A.3 auf der nächsten Seite) um eine halbe Intervall-Breite vorgenommen. Es bleibt festzustellen, daß es keine signifikanten Überschüsse gibt.

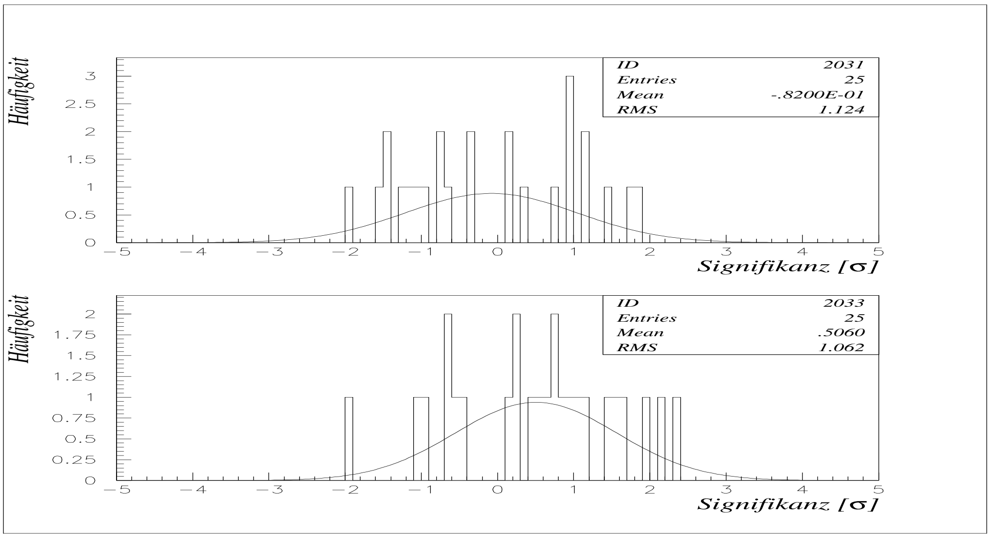

Abbildung A.1: Verteilung der Signifikanzen vom GRB Nr. 5644. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Rektaszension verschoben.

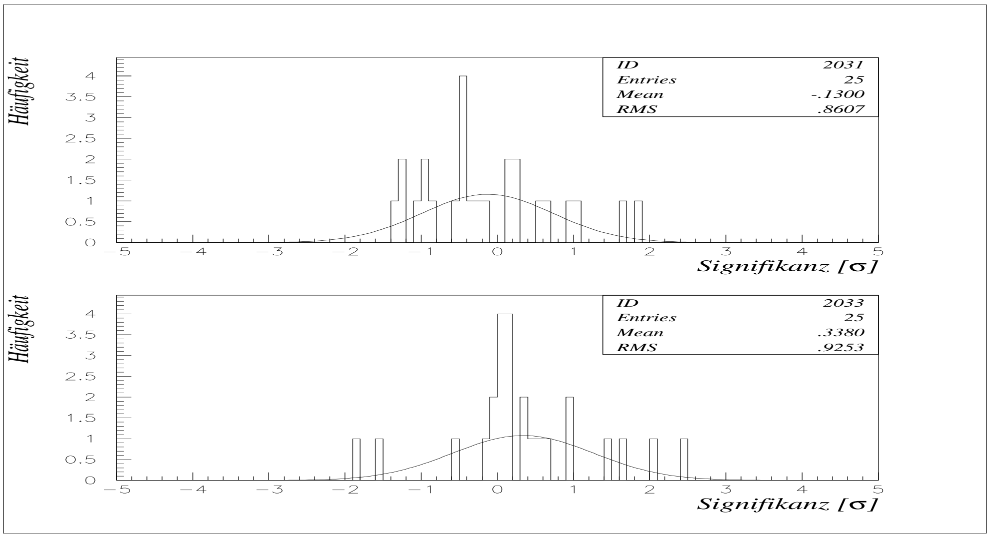

Abbildung A.2: Verteilung der Signifikanzen vom GRB Nr. 5644. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Deklination verschoben.

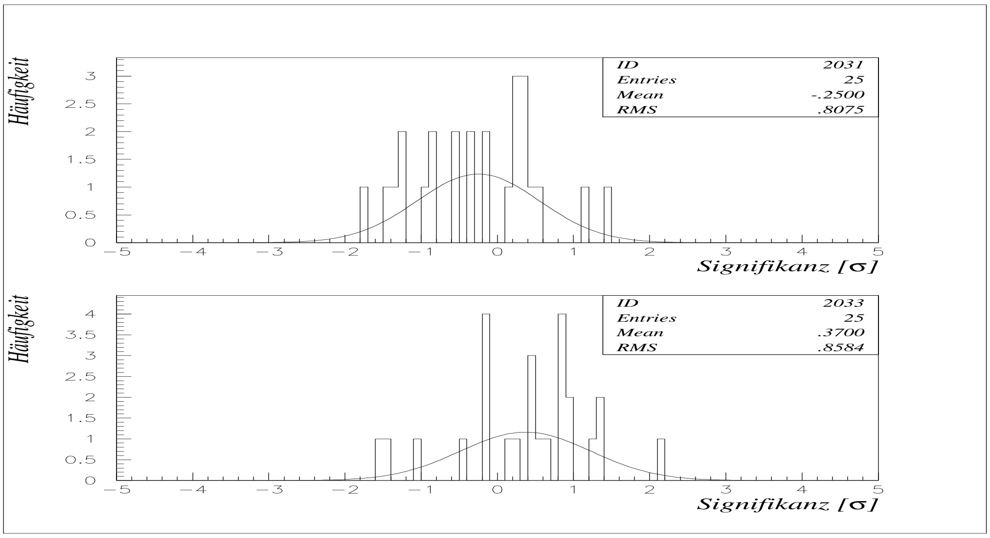

Abbildung A.3: Verteilung der Signifikanzen vom GRB Nr. 5644. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Deklination und Rektaszension verschoben.

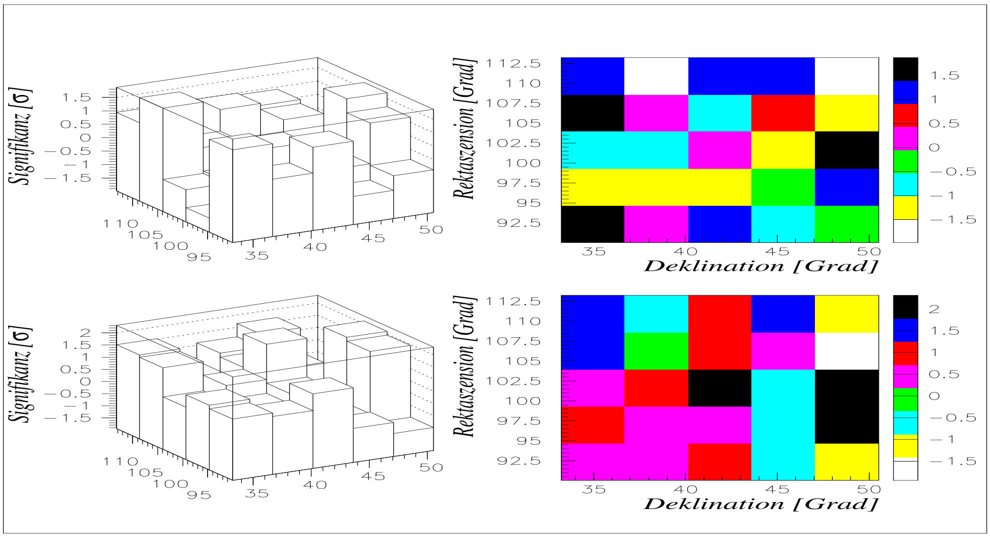

Abbildung A.4: Signifikanz pro Intervall vom GRB Nr. 5644. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Rektaszension verschoben.

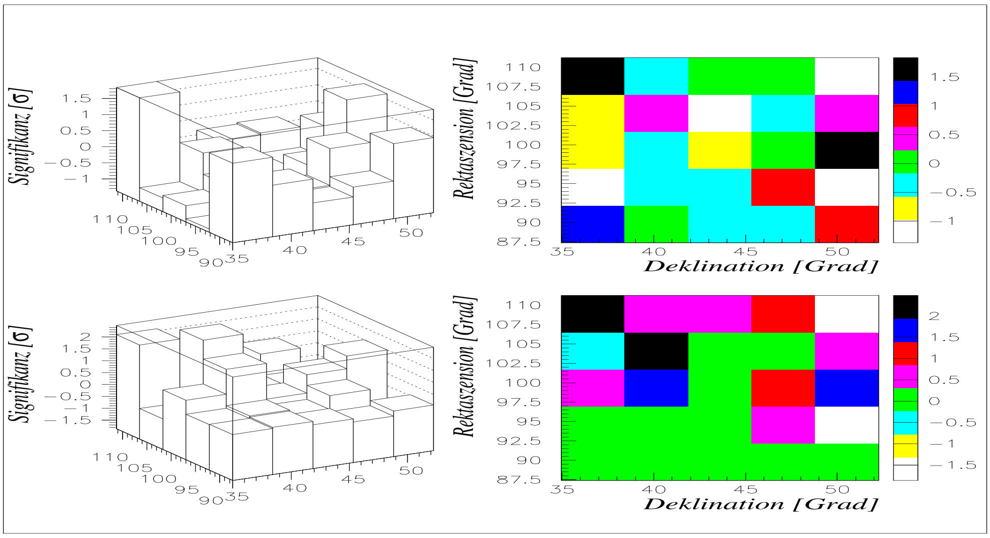

Abbildung A.5: Signifikanz pro Intervall vom GRB Nr. 5644. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Deklination verschoben.

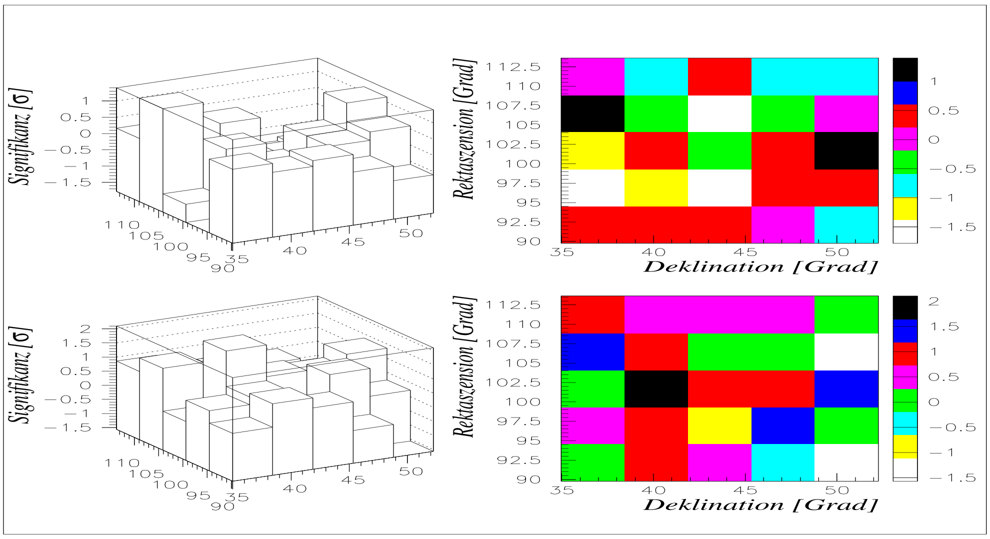

Abbildung A.6: Signifikanz pro Intervall vom GRB Nr. 5644. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Deklination und Rektaszension verschoben.

Anhang B

Burst Nr. 5645

Die nachfolgenden Abbildungen geben die Signifikanzen und Signifikanzverteilungen für den Burst Nr. 5645 mit einer Verschiebung der Burstposition wieder. Es wurde eine Verschiebung in Rektaszension (Abbildung B.4 auf Seite 68 und B.1), in Deklination (Abbildung B.5 auf Seite 68 und B.2 auf der nächsten Seite) und in Deklination und Rektaszension (Abbildung B.6 auf Seite 69 und B.3 auf der nächsten Seite) um eine halbe Intervall-Breite vorgenommen. Es bleibt festzustellen, daß es keine signifikanten Überschüsse gibt.

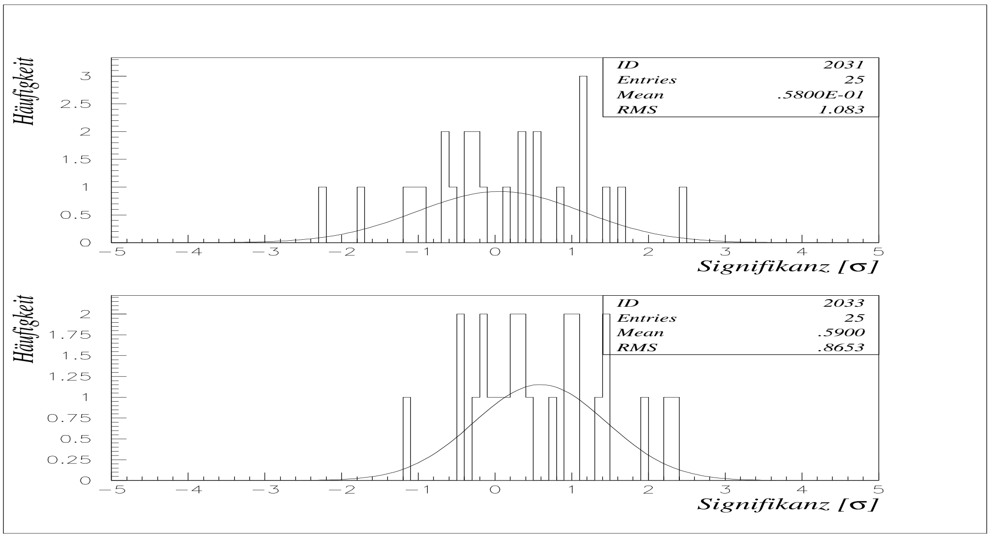

Abbildung B.1: Verteilung der Signifikanzen vom GRB Nr. 5645. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Rektaszension verschoben.

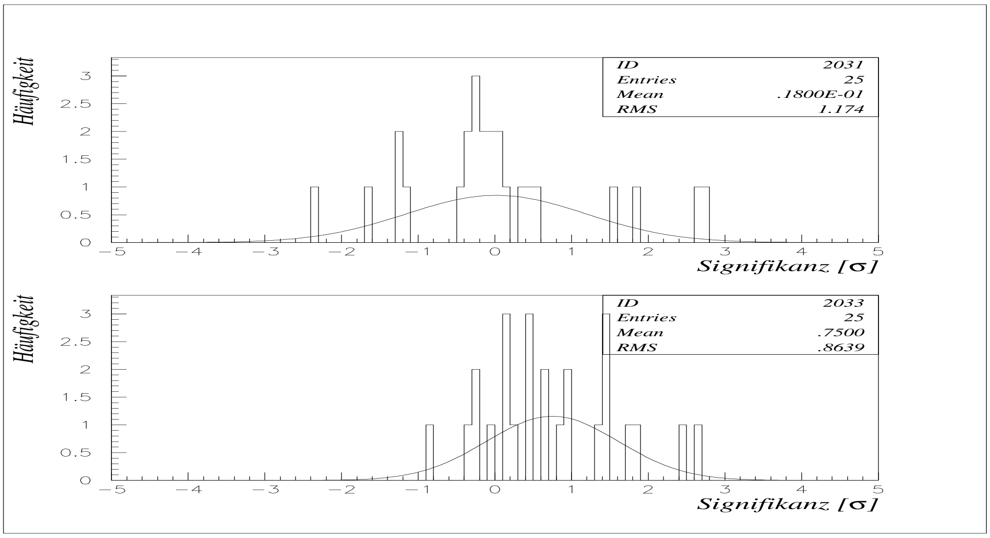

Abbildung B.2: Verteilung der Signifikanzen vom GRB Nr. 5645. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Deklination verschoben.

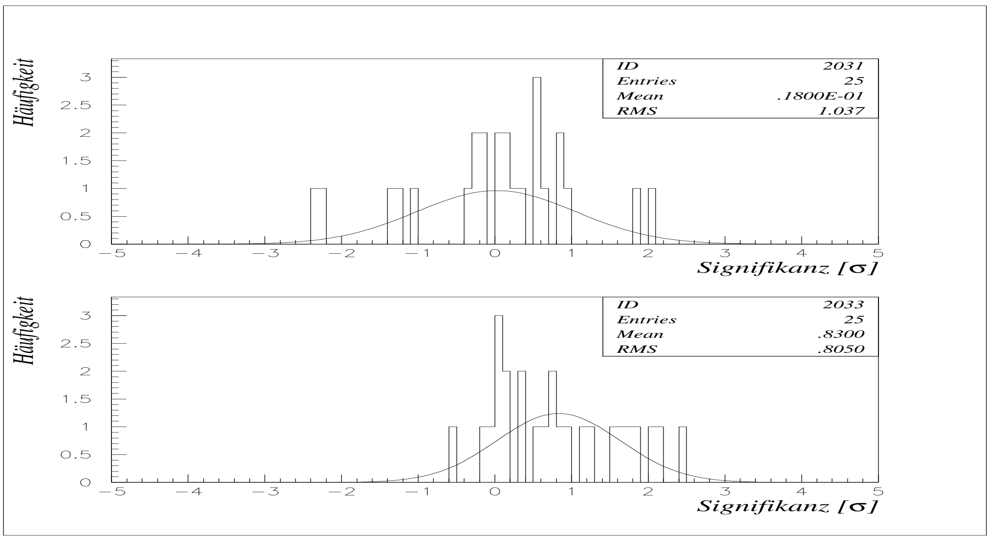

Abbildung B.3: Verteilung der Signifikanzen vom GRB Nr. 5645. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Deklination und Rektaszension verschoben.

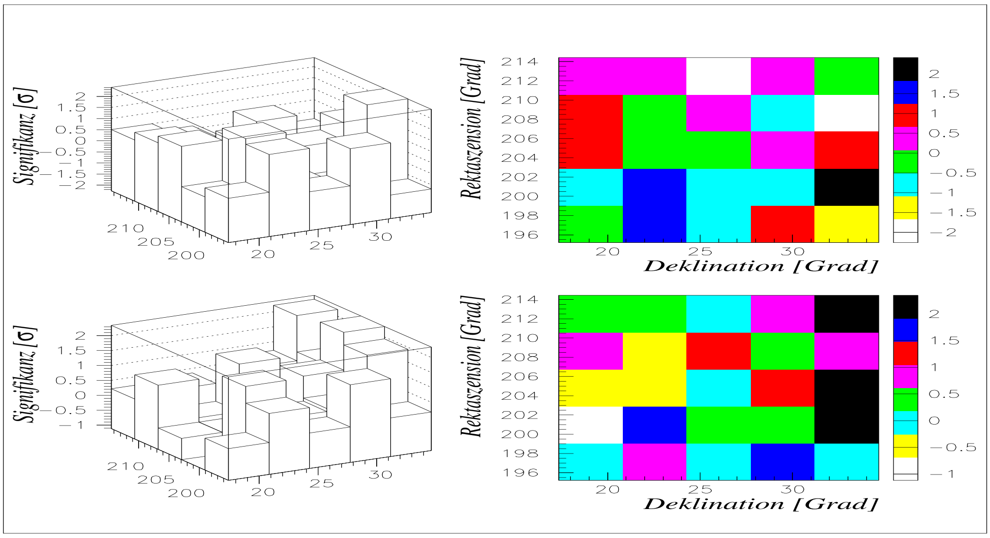

Abbildung B.4: Signifikanz pro Intervall vom GRB Nr. 5645. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Rektaszension verschoben.

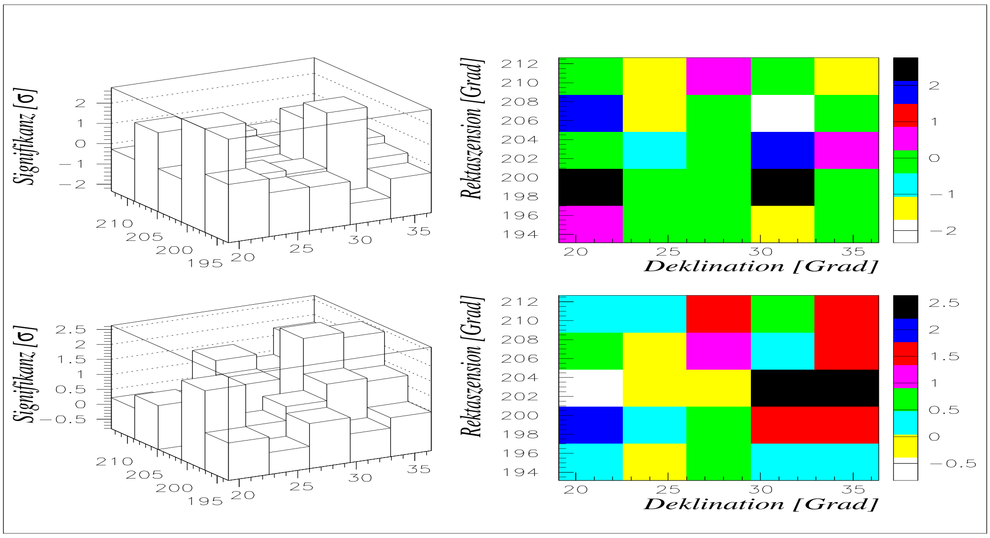

Abbildung B.5: Signifikanz pro Intervall vom GRB Nr. 5645. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Deklination verschoben.

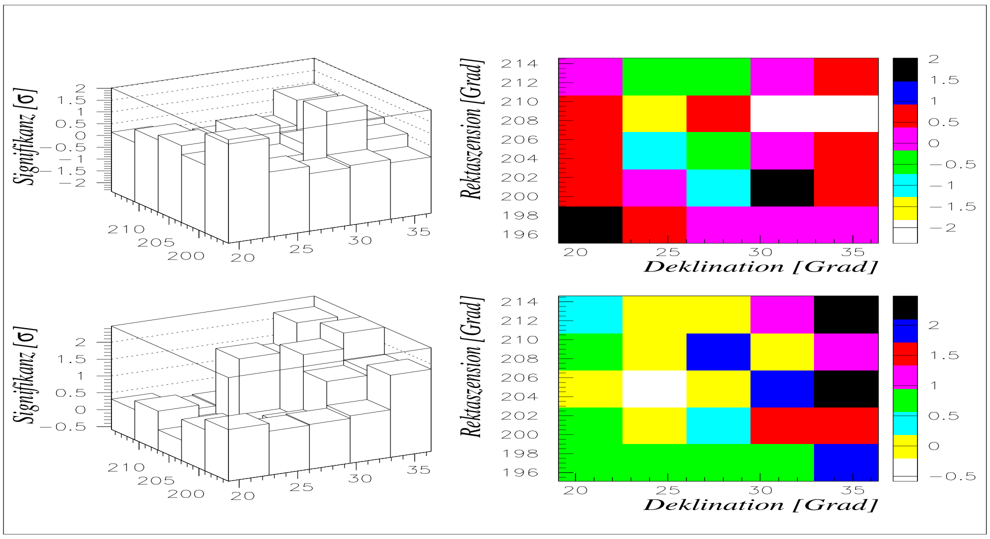

Abbildung B.6: Signifikanz pro Intervall vom GRB Nr. 5645. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Deklination und Rektaszension verschoben.

Anhang C

Burst Nr. 5697

Die nachfolgenden Abbildungen geben die Signifikanzen und Signifikanzverteilungen für den Burst Nr. 5697 mit einer Verschiebung der Burstposition wieder. Es wurde eine Verschiebung in Rektaszension (Abbildung C.4 auf Seite 72 und C.1), in Deklination (Abbildung C.5 auf Seite 72 und C.2 auf der nächsten Seite) und in Deklination und Rektaszension (Abbildung C.6 auf Seite 73 und C.3 auf der nächsten Seite) um eine halbe Intervall-Breite vorgenommen. Es bleibt festzustellen, daß es keine signifikanten Überschüsse gibt.

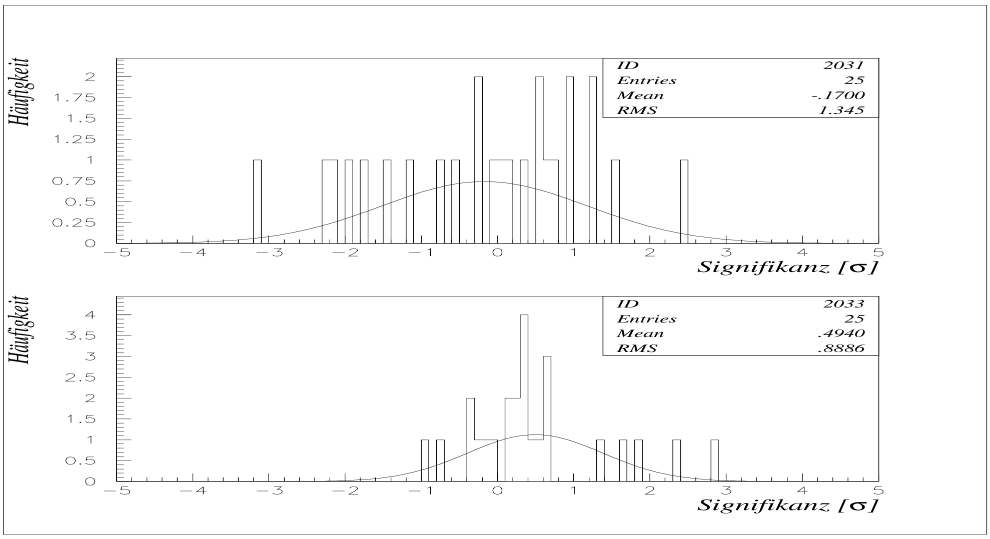

Abbildung C.1: Verteilung der Signifikanzen vom GRB Nr. 5697. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Rektaszension verschoben.

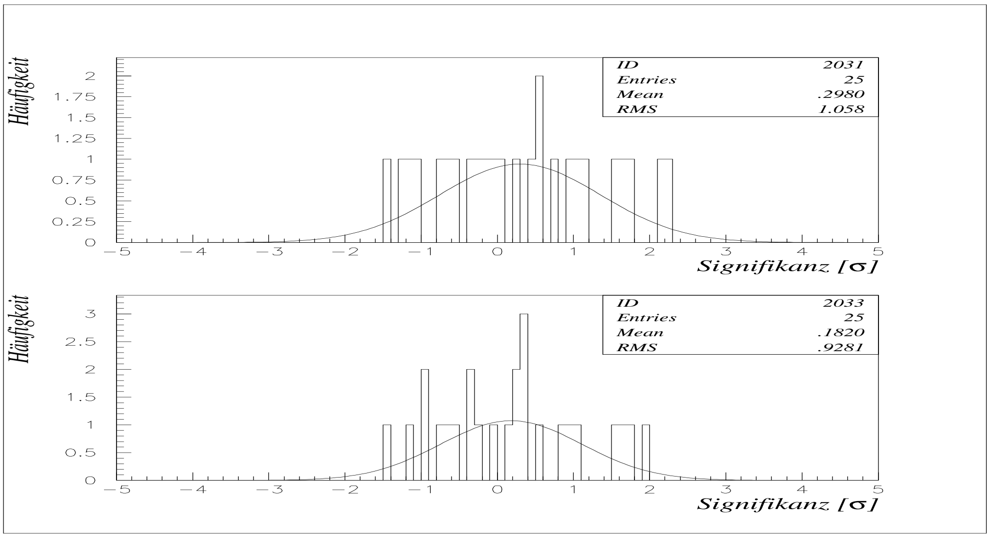

Abbildung C.2: Verteilung der Signifikanzen vom GRB Nr. 5697. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Deklination verschoben.

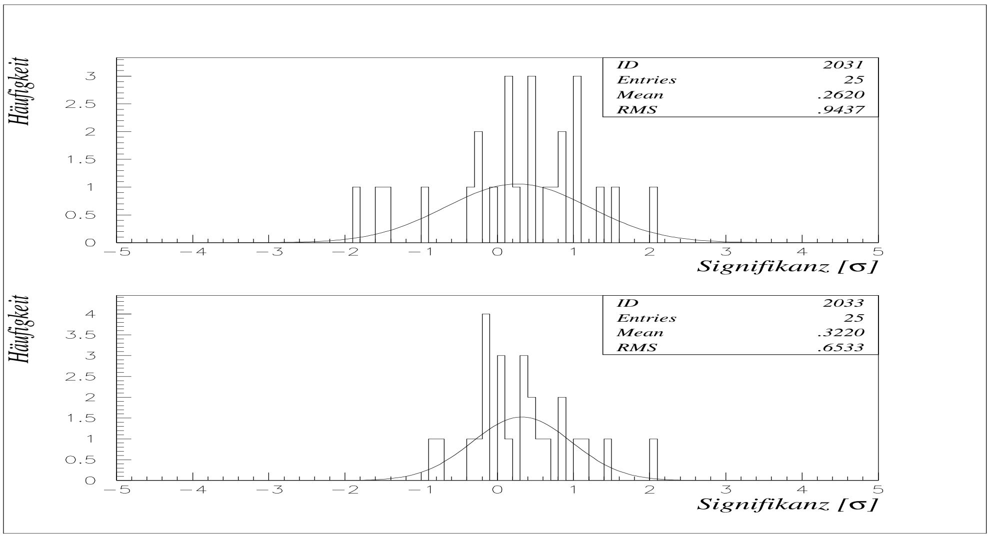

Abbildung C.3: Verteilung der Signifikanzen vom GRB Nr. 5697. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Deklination und Rektaszension verschoben.

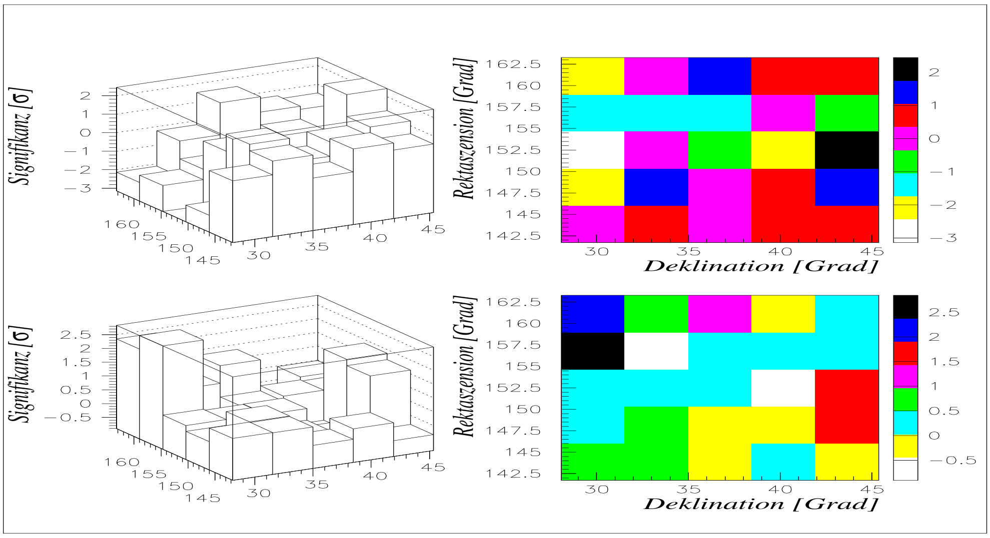

Abbildung C.4: Signifikanz pro Intervall vom GRB Nr. 5697. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Rektaszension verschoben.

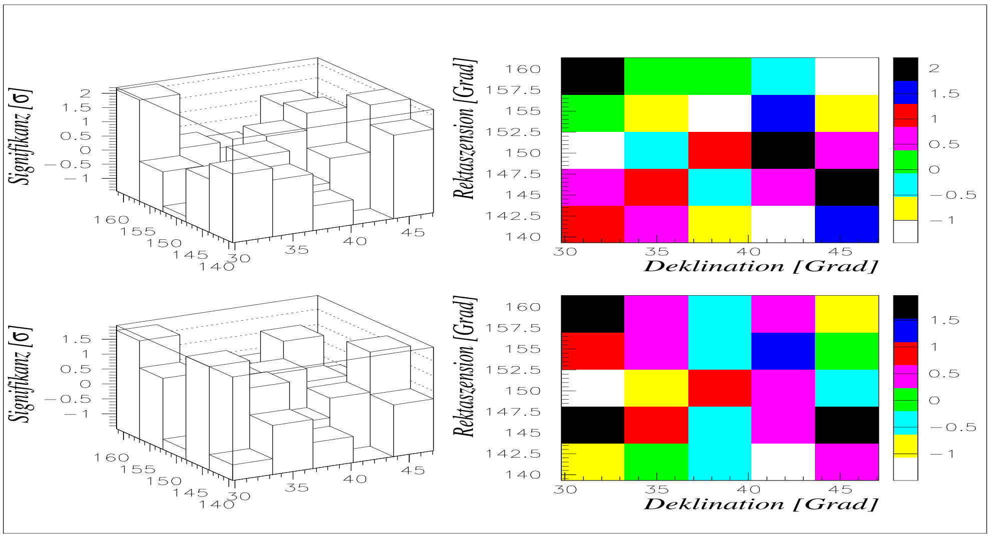

Abbildung C.5: Signifikanz pro Intervall vom GRB Nr. 5697. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Deklination verschoben.

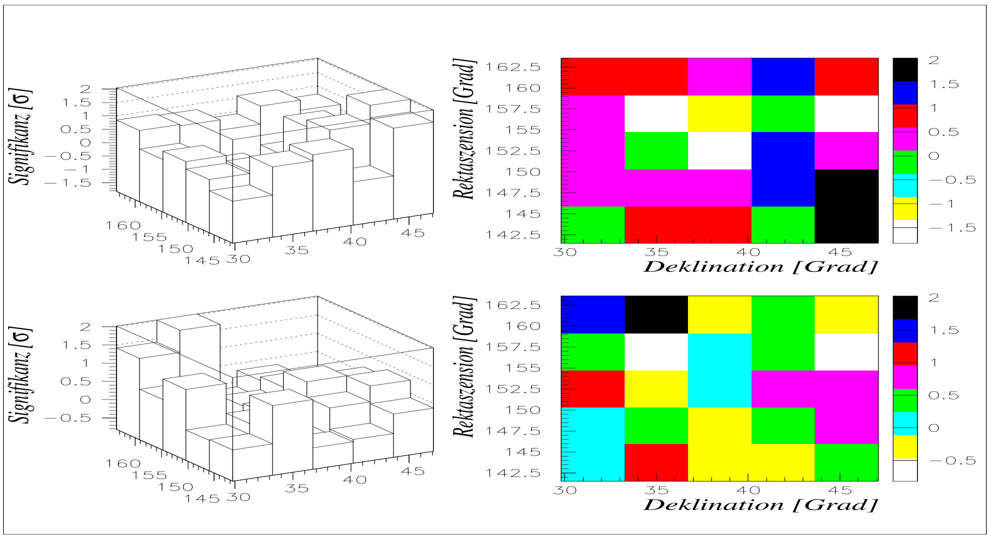

Abbildung C.6: Signifikanz pro Intervall vom GRB Nr. 5697. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Deklination und Rektaszension verschoben.

Anhang D

Burst Nr. 6119

Die nachfolgenden Abbildungen geben die Signifikanzen und Signifikanzverteilungen für den Burst Nr. 6119 mit einer Verschiebung der Burstposition wieder. Es wurde eine Verschiebung in Rektaszension (Abbildung D.4 auf Seite 76 und D.1), in Deklination (Abbildung D.5 auf Seite 76 und D.2 auf der nächsten Seite) und in Deklination und Rektaszension (Abbildung D.6 auf Seite 77 und D.3 auf der nächsten Seite) um eine halbe Intervall-Breite vorgenommen. Es bleibt festzustellen, daß es keine signifikanten Überschüsse gibt.

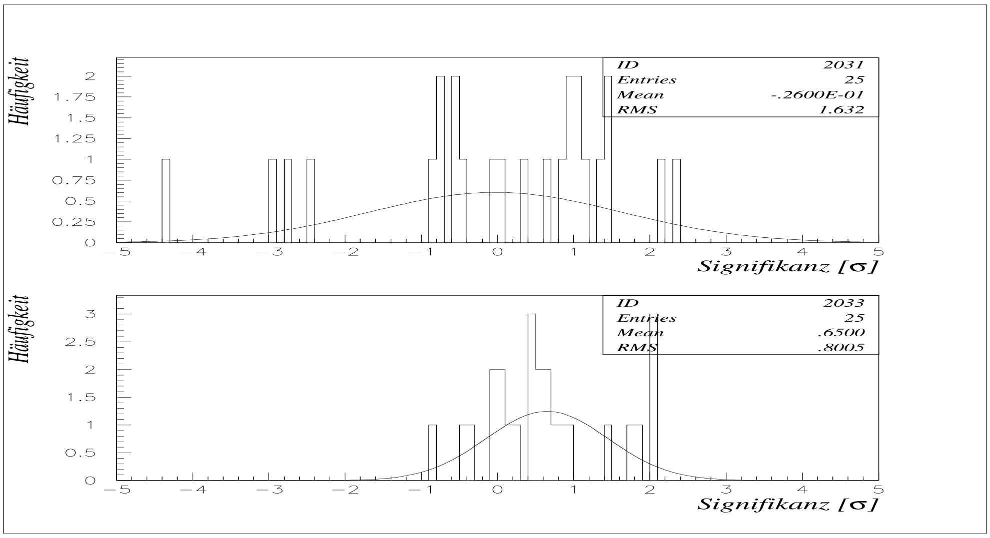

Abbildung D.1: Verteilung der Signifikanzen vom GRB Nr. 6119. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Rektaszension verschoben.

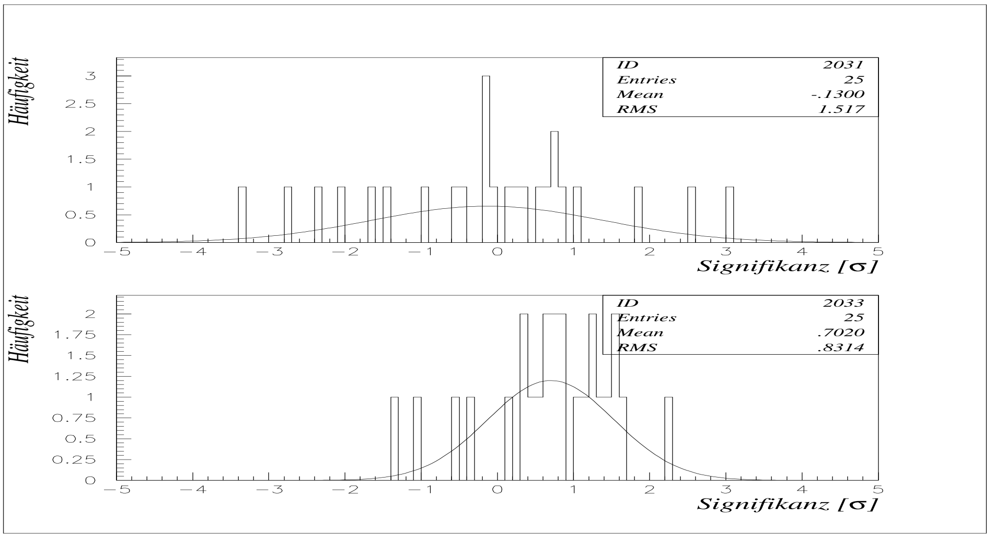

Abbildung D.2: Verteilung der Signifikanzen vom GRB Nr. 6119. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Deklination verschoben.

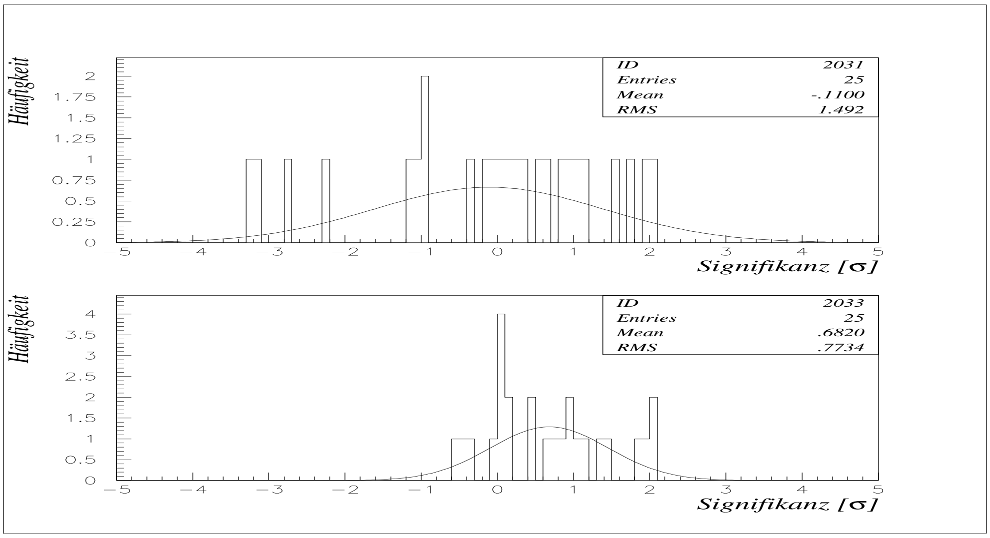

Abbildung D.3: Verteilung der Signifikanzen vom GRB Nr. 6119. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Deklination und Rektaszension verschoben.

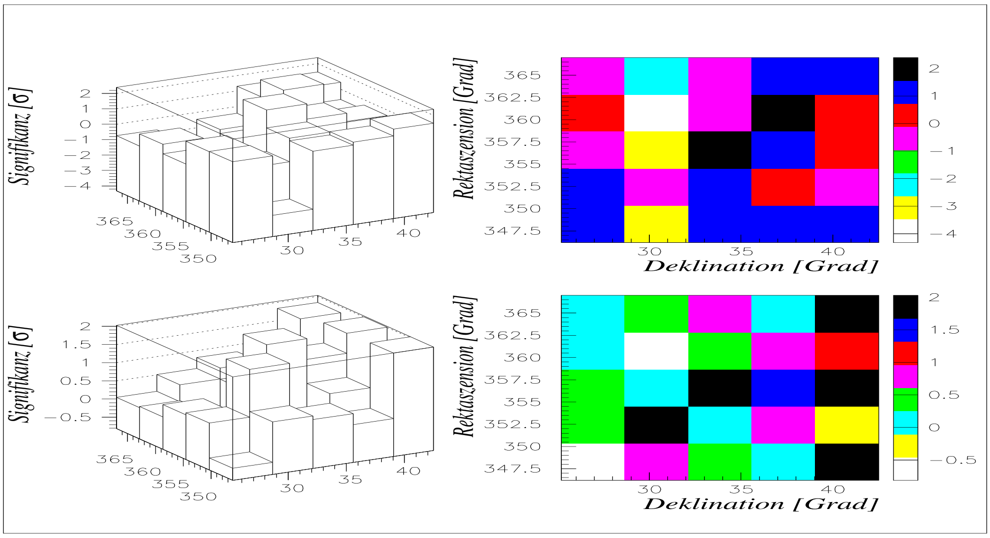

Abbildung D.4: Signifikanz pro Intervall vom GRB Nr. 6119. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Rektaszension verschoben.

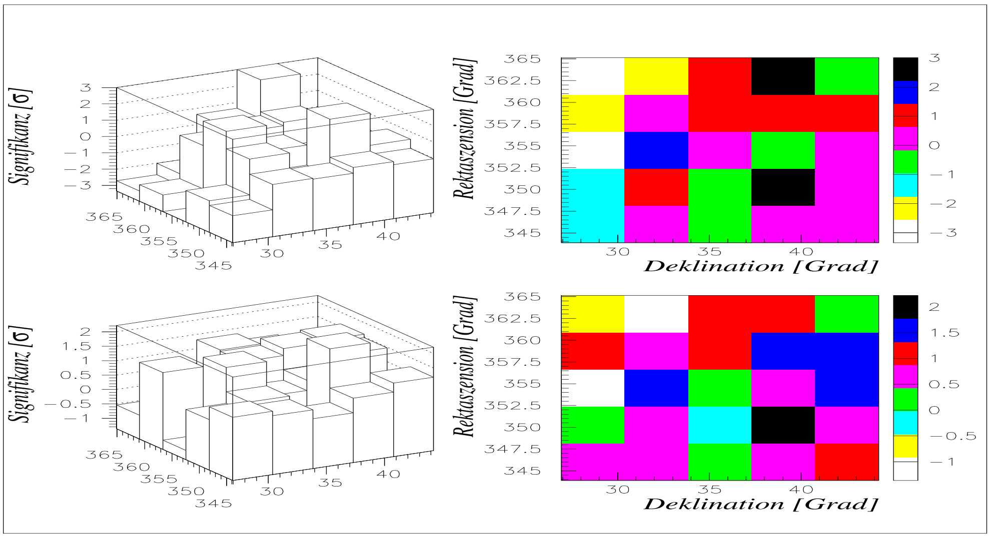

Abbildung D.5: Signifikanz pro Intervall vom GRB Nr. 6119. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Deklination verschoben.

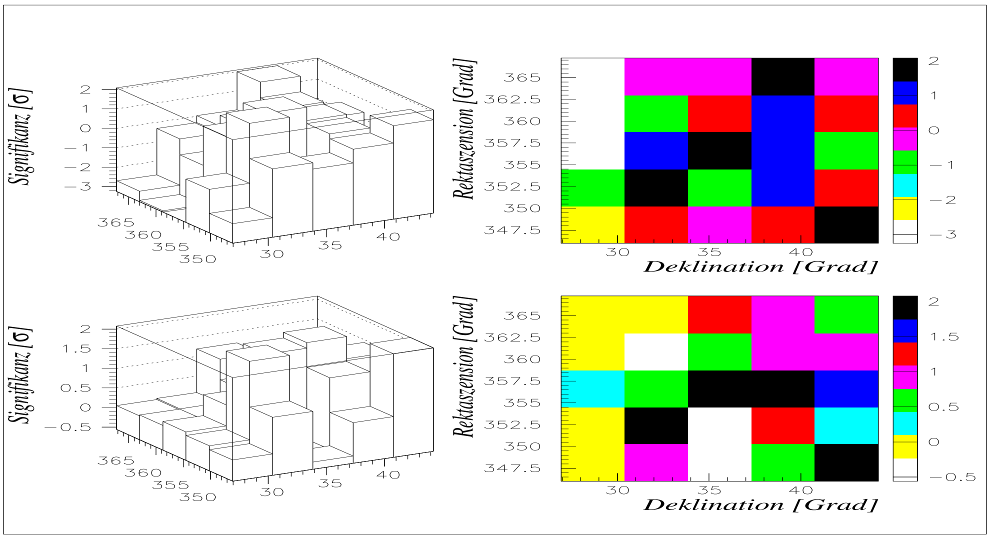

Abbildung D.6: Signifikanz pro Intervall vom GRB Nr. 6119. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Deklination und Rektaszension verschoben.

Anhang E

Burst Nr. 6124

Die nachfolgenden Abbildungen geben die Signifikanzen und Signifikanzverteilungen für den Burst Nr. 6124 mit einer Verschiebung der Burstposition wieder. Es wurde eine Verschiebung in Rektaszension (Abbildung E.4 auf Seite 80 und E.1), in Deklination (Abbildung E.5 auf Seite 80 und E.2 auf der nächsten Seite) und in Deklination und Rektaszension (Abbildung E.6 auf Seite 81 und E.3 auf der nächsten Seite) um eine halbe Intervall-Breite vorgenommen. Es bleibt festzustellen, daß es keine signifikanten Überschüsse gibt.

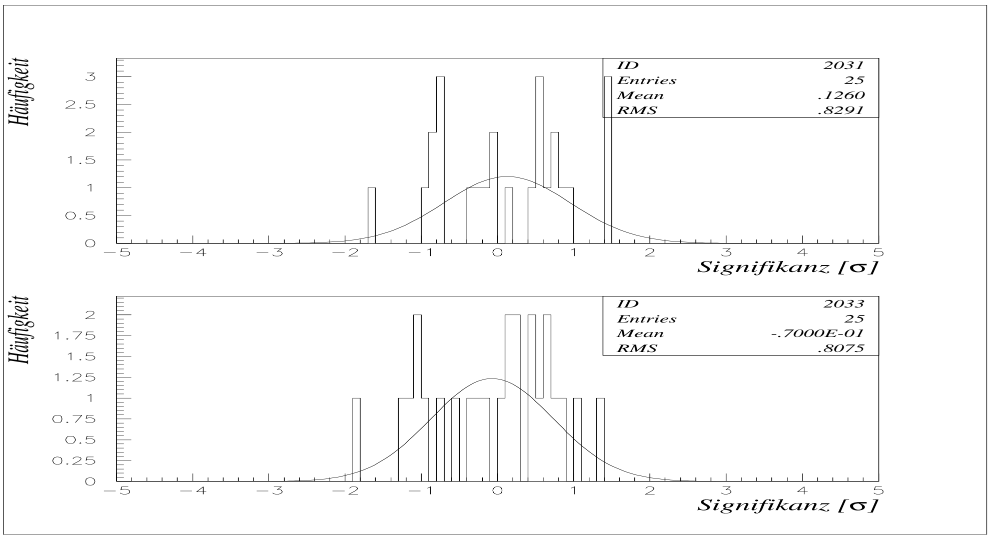

Abbildung E.1: Verteilung der Signifikanzen vom GRB Nr. 6124. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Rektaszension verschoben.

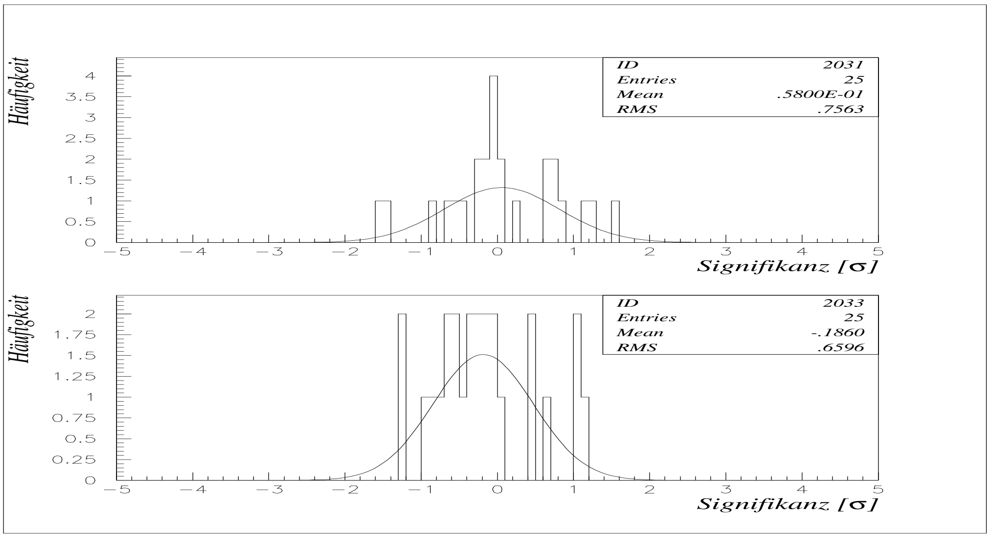

Abbildung E.2: Verteilung der Signifikanzen vom GRB Nr. 6124. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Deklination verschoben.

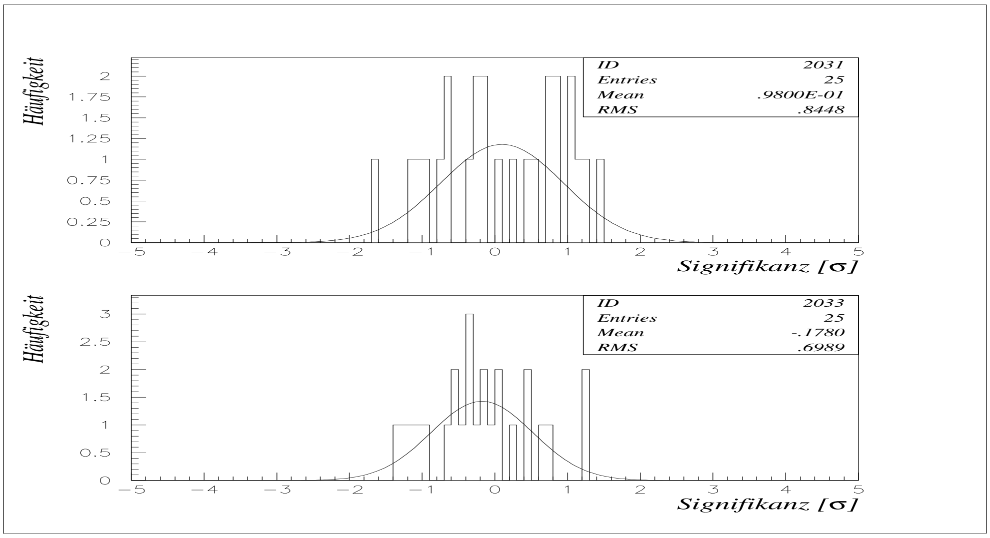

Abbildung E.3: Verteilung der Signifikanzen vom GRB Nr. 6124. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Deklination und Rektaszension verschoben.

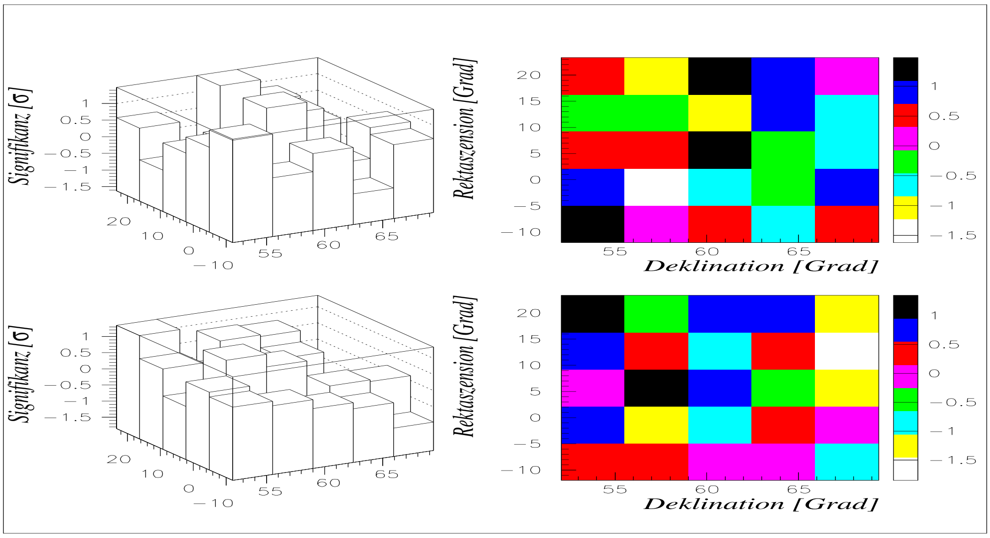

Abbildung E.4: Signifikanz pro Intervall vom GRB Nr. 6124. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Rektaszension verschoben.

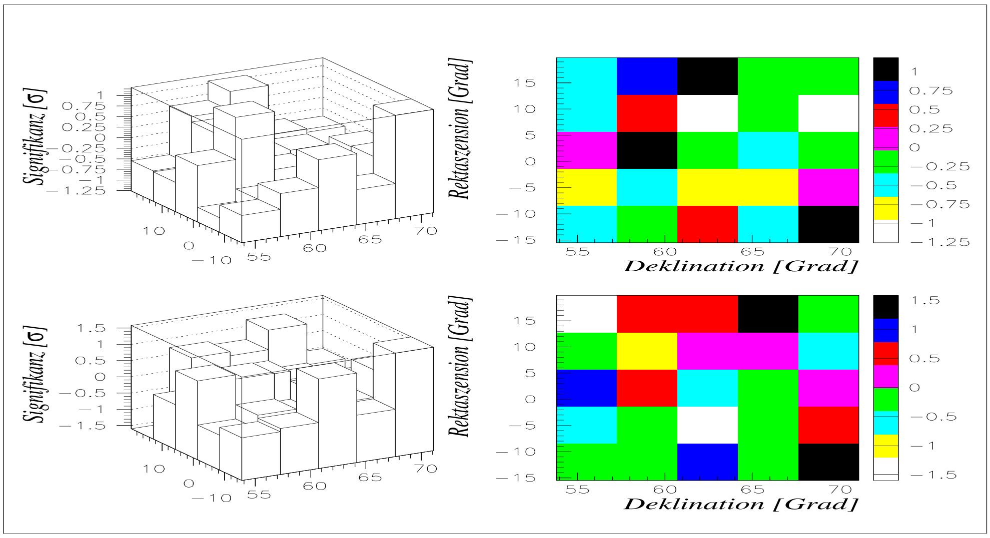

Abbildung E.5: Signifikanz pro Intervall vom GRB Nr. 6124. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Deklination verschoben.

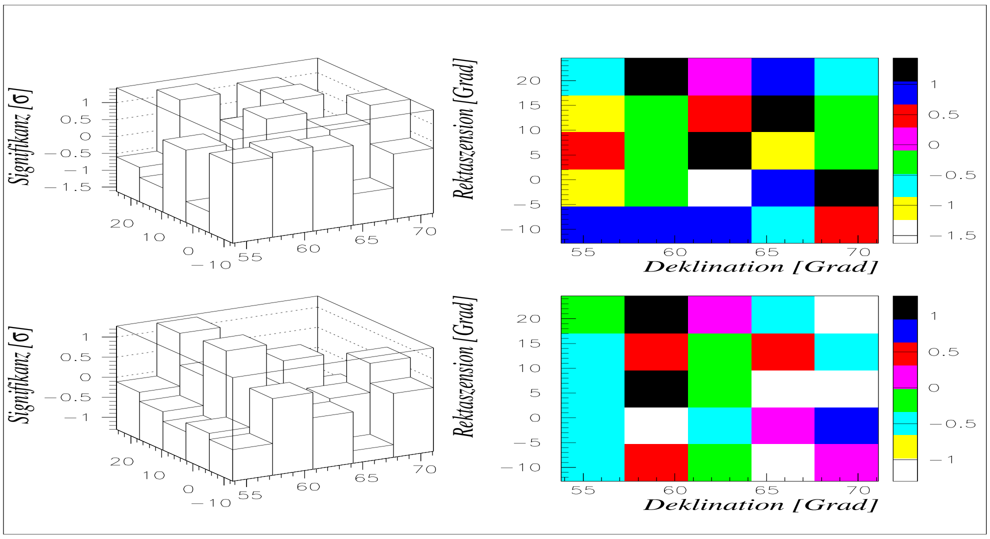

Abbildung E.6: Signifikanz pro Intervall vom GRB Nr. 6124. Oben mit dem Untergrund, der durch die HAST-Untergrundmessung bestimmt wurde, unten mit dem Untergrund, der dem Mittelwert der acht benachbarten Intervalle entspricht. Die Burstposition ist um eine halbe Intervall-Breite in der Deklination und Rektaszension verschoben.

Literaturverzeichnis

[1] Torsten Prietz. *HAST : Ein winkelsensitiver Trigger zur Suche nach Gamma Ray Bursts im Rahmen des HEGRA-Experimentes.* Diplomarbeit an der Universität Hamburg, 1998.

[2] Dietmar Dommenget. *Verbesserte Rekonstruktion des Zentrums eines Luftschauers für das HEGRA-Experiment.* Diplomarbeit an der Universität Hamburg, 1996.

[3] A. Karle et al. *Astropart. Phys. 3.* 321, 1995.

[4] D. Horns. *Untersuchung des Energiespektrums und der chemischen Zusammensetzung der kosmischen Primärstrahlung von* $3 \cdot 10^{14}\,eV$ *bis* $10^{16}\,eV$. Diplomarbeit an der Universität Hamburg, 1997.

[5] M. Kohnle et al. *Astropart. Phys. 5.* 119, 1996.

[6] Jürgen Prahl et al. *Search for the Crab Nebula and Mrk 421 with an Improved Sensitivity and a Lower Energy Threshold of the HEGRA Arrays.* 24. ICRC Rom, 1995.

[7] Reinhard Eckmann. *Simulation von elektromagnetischen Luftschauern der Energie 30 TeV und Untersuchung zur Richtungsbestimmung.* Diplomarbeit an der Universität Hamburg, 1991.

[8] H. Krawcynski. *Verbesserte Richtungsrekonstruktion von Luftschauern für ein Szintillatorfeld und Reanalyse eines Signals von Cygnus X-3.* Diplomarbeit an der Universität Hamburg, 1994.

[9] A. M. Hillas. *Cosmic Rays.* Pergamon Press, 1972.

[10] A. Karle. *Entwicklung eines neuartigen atmosphärischen Tscherenkovdetektors und Messung an hochenergetischer Kosmischer Strahlung zwischen 15 und 1000 TeV.* Max-Planck-Institut für Physik, 1994.

[11] R. A. Olson R. W. Klebesadel, I. B. Strong. *Astrophys. Journal Lett. 182.* L85, 1973.

[12] Martin J. Rees. *Gamma Ray Bursts : Challenges to relativistic astrophysics.* Institution of astronomy, Madingley Road, Cambridge, CB3 OHA, UK, 1997.

[13] C. A. Meegan et al. *Nature 355.* 143, 1992.

[14] W. N. Johnson. et al. *Astron. and Astrophys. Suppl. 97.* 21, 1993.

[15] D. J. Thompson et al. *Astrophys. Journal Suppl. 86.* 629, 1993.

[16] V. Schönfelder et al. *Astron. and Astrophys. Suppl. 120.* 13, 1996.

[17] Jean in 't Zand. *HETE.* Internet, 1995.

[18] Link et al. astro-ph/9601033, 1996.

[19] Nemiroff et al. *Duration Distribution of bright and dim BATSE GRBs.* astro-ph/9408063, 1994.

[20] D.Band et al. *Astrophys.Journal 413.* 281, 1993.

[21] H. Krawczynski. *Search for TeV Counterparts of GRB's with the HEGRA Detector.* Dissertation an der Universität Hamburg, 1997.

[22] P. Giommi L. A. Antonelli, F. Fiore. *The BeppoSAX Science Data Center.* Internet, 1997.

[23] D. E. Reichart. *The Redshift of GRB 970508.* astro-ph/9601033, 1996.

[24] M. R. Metzger et al. *Nature 387.* 878, 1997.

[25] M. R. Metzger et al. *IAU Circ.* 6676, 1997.

[26] E. Costa et al. *Discovery of the X-Ray Afterglow of the Gamma-Ray Burst of February 28 1997.* astro-ph/9706065, 1997.

[27] D. L. Band. *The Gamma-Ray Burst Mystery.* astro-ph/9712193, 1997.

[28] H. Riege R. van Staa, K. Geske. *HEGRA Angle Sensitive Trigger.* II. Institut für Experimentalphysik der Universität Hamburg, 1996.

[29] B. Wiebel. *WUB 94-08.* Universität Wuppertal, 1994.

[30] T. P. Li and Y. Q. Ma. *Astrophys.Journal 272.* 317, 1983.

Danksagung

Ich möchte mich bei Prof. Dr. Götz Heinzelmann dafür bedanken, daß er mir die Möglichkeit gegeben hat, diese Diplomarbeit durchzuführen. Insbesondere dafür, daß er es versteht, für eine sehr angenehme Arbeitsatmosphäre zu sorgen.

Außerdem gilt mein Dank dem gesamten HEGRA-Team, besonders meinen Kollegen in Hamburg, Matthias Albers, Dietmar Domenget, Volker Haustein, Dieter Horns, Henrik Krawczynski, Axel Lindner, Till Mundzeck, Jürgen Prahl, Michael Raabe, André Röhrig, Dirk Schmele, Kay Pätzold und Torsten Prietz für ihre Unterstützung und die spaßigen Stunden, die wir hatten.

Ferner möchte ich mich bei meinem Vater, Horst Mildahn, bedanken, der mir das Studium ermöglicht hat. Sowie bei Angela Johann, Werner Masuch und Oswald Pietzsch für das Korrekturlesen dieser Arbeit.

Last but not least gilt mein Dank dem TEB mit Heike Biskop, K. Geske, H. Riege, R. van Staa für die gute Zusammenarbeit und die Einführung in die Geheimnisse der Elektronik.

Ich versichere, daß ich diese Arbeit nur unter Zuhilfenahme der angegebenen Quellen und Hilfsmittel selbständig angefertigt habe.

Hamburg, im März 1998 Sven Mildahn