Fakultät für Physik und Astronomie

Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg

Diplomarbeit
im Studiengang Physik

vorgelegt von
Martin Herter
aus Blaubeuren

1997

Untersuchung der Variabilität von Gamma-Quellen

Die Diplomarbeit wurde von Martin Herter ausgeführt an der
Landessternwarte Heidelberg-Königstuhl
unter der Betreuung von

Herrn Priv.–Doz. Dr. Stefan Wagner

Zusammenfassung

Blazare sind eine Unterklasse der Aktiven Galaktischen Kerne (AGN). Sie zeigen starke optische Polarisation und Variabilität auf Zeitskalen von Jahren bis zu wenigen Stunden über einen weiten Frequenzbereich.

In der vorliegenden Arbeit werden die Blazare PKS 0528+134, 3C 454.3 und CTA 102 und die beiden Pulsare Crab und Geminga auf Kurzzeitvariabilität im Gammabereich (E_γ >100 MeV) untersucht. Es soll festgestellt werden, ob Blazare auch in ruhigen Zuständen Variabilität auf Zeitskalen von größenordnungsmäßig einem Tag zeigen. Alle Daten stammen vom EGRET-Teleskop (Energetic Gamma-Ray Experiment Telescope).

Die fünf Quellen wurden mit der Methode der Maximum Likelihood analysiert. Es zeigte sich, daß trotz einiger Schwierigkeiten eine Analyse in Eintagesintervallen möglich war. Eine Analyse der Lichtkurven durch Strukturfunktionen soll charakteristische Variabilitätszeitskalen aufzeigen.

Der Blazar 3C 454.3 zeigt Variabilitat auf Zeitskalen von einem bis drei Tagen. Bei PKS 0528+134 können die Variabilitätszeitskalen auf einen Zeitraum von einem bis zehn Tagen eingeschränkt werden. Für CTA 102 kann keine Variabilität auf kurzen Zeitskalen nachgewiesen werden. Die Strukturfunktionen von Crab und Geminga zeigen deutliche Unterschiede. Im Gegensatz zu Crab zeigt Geminga eine Tendenz zu Variabilität auf Zeitskalen von zehn oder mehr Tagen.

Die kleinen Gammaphotonenzahlen beschränken die Aussagekraft der Ergebnisse. Dieses Problem läßt sich nur durch empfindlichere Instrumente beheben.

Abstract

Blazars are a subset of Active Galactic Nuclei (AGN). They show strong polarisation in the optical and variability on timescales of years down to hours over a wide frequency range.

In this diploma thesis the blazars PKS 0528+134, 3C 454.3 and CTA 102 and the pulsars Crab and Geminga are examined for short-time variability in the γ-ray regime (E_γ >100 MeV). The aim is to investigate wether blazars show variability on timescales of approximately one day even during low-flux periods. All data are obtained from the Energetic Gamma-Ray Experiment Telescope (EGRET).

The five sources were analysed using the method of maximum likelihood. In spite of certain difficulties it turned out to be possible to make this analysis with maps of a temporal binning of one day. A light-curve analysis based on structure functions is meant to uncover characteristic timescales of variability.

The Blazar 3C 454.3 shows variability on a timescale of on to three days, with PKS 0528+134 the variability could be limited to be of the order of one to ten days. CTA 102 does not show this sort of short-time variability. The structure functions of Crab and Geminga show significant differences. Unlike Crab, Geminga might display variability on timescales of ten days or more.

The whole analysing method suffers from bad statistics due to low γ-photon counts. Only more sensitive instruments can mend this problem.

„ . . . mehr Licht ! “

Goethe

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung **5**

1 Einführung **11**

1.1 Aktive Galaktische Kerne 11

1.1.1 Klassifikation der AGN 11

1.1.2 Das Standardmodell für AGN 13

1.1.3 Blazare 15

1.1.4 Intraday-Variabilität 15

1.2 Motivation 17

2 Das EGRET-Instrument **18**

2.1 Erste Messungen im Gammabereich 18

2.2 Das EGRET-Teleskop 18

3 Die Maximum Likelihood-Methode **24**

3.1 Definition der Likelihood 24

3.2 Das Gammaemissions-Modell 25

3.3 Ermittelung der Gamma-Modellparameter 27

3.4 Der Likelihood-Quotienten-Test 28

4 Auswahl der Objekte **30**

5 Datenanalyse **32**

5.1 Analyse von PKS 0528+134, Crab und Geminga 32

5.2 Datenmaterial 32

5.3 Beobachtungsperioden und Zeitintervalle 34

5.4 Erstellung der Gamma-Lichtkurven 35

5.4.1 Freie Hintergrundparameter und festgehaltene Quellpositionen 38

5.4.2 Freie Hintergrundparameter und freie Quellpositionen . . 44

5.4.3 Weitere Analysemethoden 50

5.4.4 Vergleich der verschiedenen Likelihood-Analyseverfahren . 51

5.4.5 Test auf Hintergrundeinflüsse 55

5.5 Untersuchung auf fehlerhafte Flußwerte 59

5.6 Lichtkurven aus Ein- und Zweitagesintervallen 61

5.7 Analyse von 3C 454.3 und CTA 102 67

5.8 Korrelationen verschiedener Parameter 72

6 Variabilität der untersuchten Quellen **76**
6.1 Variabilität in einzelnen Beobachtungsperioden 76
6.2 Variabilität im gesamten Beobachtungszeitraum 77
6.2.1 Strukturfunktionen 81
6.3 Verteilung der Signifikanzwerte dS 83

7 Ergebnisse und Diskussion **88**
7.1 PKS 0528+134 88
7.2 3C 454.3 92
7.3 CTA 102 93
7.4 Crab 94
7.5 Geminga 95
7.6 Zusammenfassung der Ergebnisse 96

Literaturverzeichnis **100**

A Lichtkurven **103**

B Likelihood-Ergebnistabellen **117**

C Strukturfunktionen **136**

Kapitel 1

Einführung

1.1 Aktive Galaktische Kerne

Die Zahl der Galaxien im Universum wird auf ungefähr 100 Milliarden geschätzt. Galaxien sind Sternsysteme, die größenordnungsmäßig 100 Milliarden Sterne enthalten, die durch die Gravitation aneinander gebunden sind und um das Zentrum der Galaxie rotieren.
Der amerikanische Astronom Edwin Hubble klassifizierte 1926 die Galaxien anhand ihrer morphologischen Gestalt. Er teilte die Galaxien in verschiedene Grundtypen ein: elliptische, linsenförmige und Spiralgalaxien. Die Spiralsysteme wurden unterteilt in normale Spiralen und Balkenspiralen. Als weitere Klasse wurden die irregulären Galaxien eingeführt, die aufgrund ihres Aussehens keinem der drei anderen Grundtypen zugeordnet werden konnten. Diese vier Grundtypen wurden je nach Gestalt in weitere Unterklassen aufgeteilt.

Die Leuchtkraft von gewöhnlichen Galaxien kann durch die Summe der Leuchtkräfte der in ihr enthaltenen Sterne erklärt werden. Neben diesen Galaxien gibt es einen kleinen Anteil von 1–3% von Galaxien, deren Leuchtkräfte so hoch sind, daß sie nicht ausschließlich durch gewöhnliche stellare Prozesse erzeugt werden können. Diese Galaxien werden als aktive Galaxien oder auch Aktive Galaktische Kerne (*engl.* active galactic nuclei, abgekürzt AGN) bezeichnet. Die Emission von AGN ist breitbandig und reicht vom langwelligen Radiobereich (100 MHz) bis in den Röntgen- und Gammabereich.

1.1.1 Klassifikation der AGN

AGN werden in eine Vielzahl von Klassen unterteilt. Es existieren verschiedene Klassifikationskriterien wie zum Beispiel spektrale Eigenschaften, Polarisations- und Variabilitätseigenschaften oder Klassifizierung aufgrund von Beobachtungen in bestimmten Wellenlängenbereichen. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal sind verschieden hohe Leuchtkräfte der AGN und die Frage, ob die dominante zentrale Leuchtkraft thermischen oder nichtthermischen Ursprungs ist (Bregman 1990).
Im folgenden soll ein kurzer Überblick über verschiedene AGN-Klassen gegeben werden (Woltjer 1990; Camenzind 1995):

- Seyfert-Galaxien zeigen im allgemeinen keine starke Radiostrahlung. Ihre dominante Leuchtkraft ist thermischen Ursprungs. Seyfert-Galaxien sind in der Regel Spiralgalaxien. Sie sind charakterisiert durch einen hellen Kern und hochangeregte Emissionslinien. Man unterscheidet Seyfert 1- und Seyfert 2-Galaxien. Seyfert 1-Galaxien zeigen in ihrem Spektrum breite erlaubte Emissionslinien, hauptsächlich Wasserstofflinien, und schmale verbotenen Linien wie zum Beispiel Linien des zweifach ionisierten Sauerstoffs. Bei Seyfert 2-Galaxien sind erlaubte und verbotene Linien ungefähr gleich breit. Die Breite der Emissionslinien gibt Hinweise auf ihren Ursprungsort.

- LINERS (low ionization nuclear emission regions) sind Emissionslinien-Galaxien mit geringer Kernleuchtkraft. Sie sind charakterisiert durch starke Linien von schwach ionisierten Elementen wie Sauerstoff oder Schwefel. LINERS haben, verglichen mit anderen AGN, eine geringe Leuchtkraft und bilden das energiearme Ende der AGN.

- In Starburst-Galaxien wird die Linienemission nicht durch die Kernregion, sondern durch Photoionisation in heißen OB-Sternen verursacht. In kurzen Zeiträumen werden sehr viele junge, massereiche Sterne gebildet. Aufgrund von Staubemission aus Sternentstehungsgebieten sind Starburst-Galaxien auch im Ferninfraroten sehr hell. Ein möglicher Grund für hohe Sternbildungsraten ist das Verschmelzen von Galaxien.

- Radiogalaxien sind gegenüber anderen Galaxien durch starke Radioemission charakterisiert. Die Muttergalaxien von Radioquellen scheinen eher elliptische als Spiralgalaxien zu sein. Die Radiostrahlung stammt aus großräumigen Gebieten, den sogenannten Radio-Lobes, mit typischen Ausdehnungen von einigen hundert Kiloparsec. Bei höheren Frequenzen wird ein kompakter Kern sichtbar, der wahrscheinlich mit dem Kern der Muttergalaxie identisch ist.

- Quasare erscheinen im Optischen als punktförmige Objekte. Das optische Bild ist dominiert von einem bläulichen, unaufgelösten Kern mit starken, breiten Emissionslinien. Quasare sind sehr leuchtkräftige Objekte mit zum Teil sehr großen Rotverschiebungen von $z > 4$. Man kann sie unterteilen in radioleise und radiolaute Quasare. Radioleise Quasare haben nur eine sehr geringe Radioemission. Sie sind $10 - 30$ mal häufiger als radiolaute Quasare.

  Radiolaute Quasare haben eine hohe Leuchtkraft im Radiobereich, vergleichbar mit der von starken Radiogalaxien. Sie können weiter unterteilt werden in folgende Unterklassen (Urry & Padovani 1995):

  - OVVs (Optically Violently Variables) zeigen eine sehr schnelle Variabilität im Optischen auf Zeitskalen von zum Teil weniger als einem Tag.

  - HPQs (Highly Polarized Quasars) weisen eine hohe Polarisation (Polarisationsgrad P>3%) auf, die zeitlich variiert.

  - FSRQs (Flat Spectrum Radio Quasars) sind Quasare mit einem flachen Radiospektrum. Ein flaches Radiospektrum bedeutet, daß für den Spektralindex im Radiobereich α_r gilt: $\alpha_r > -0.5$ für $S_\nu \propto \nu^{\alpha_r}$. S_ν ist hierbei die Flußdichte bei der Frequenz ν.

- BL Lac-Objekte sind nach dem ersten entdeckten Mitglied dieser Klasse benannt, einem Objekt, daß bei seiner Entdeckung für einen variablen Stern gehalten wurde. Es bekam deshalb entsprechend der Nomenklatur für variable Sterne den Namen BL Lac, wobei Lac für Lacerta (*lat.* Eidechse) steht, der Sternkonstellation, in der das Objekt entdeckt wurde. Im Jahr 1968 wurde BL Lac als eine kompakte Radioquelle identifiziert. BL Lac-Objekte haben ähnliche Eigenschaften wie radiolaute Quasare. Der Hauptunterschied ist, daß BL Lac-Objekte nur sehr schwache oder keine optischen Emissions- und Absorptionslinien aufweisen. Sie sind in allen Wellenlängenbereichen zeitlich stark variabel.
  BL Lac-Objekte und die oben beschriebenen OVVs und HPQs werden zusammengefaßt zur Gruppe der Blazare.

1.1.2 Das Standardmodell für AGN

Das zentrale Problem bei der Erklärung der Physik der AGN ist die enorme Energieabstrahlung dieser Objekte. Diese Energie kann über längere Zeiträume nicht durch Kernverschmelzungsprozesse in Sternen freigesetzt werden, bei der weniger als 1% der Materie in Energie umgewandelt wird. Aus heutiger Sicht kommt als Energiequelle nur gravitative Energie in Betracht, bei der bis zu 20% der Ruheenergie der Materie in Strahlung umgewandelt werden können. (Camenzind 1995).
Das Standardmodell für AGN geht von der Existenz eines massereichen Schwarzen Loches mit einer Masse von $10^6 - 10^9$ $M_\odot$ aus, das sich im Zentrum der Muttergalaxie befindet (Camenzind 1995). Das umgebende Gas wird vom Schwarzen Loch angezogen. Es strömt aufgrund seines Drehimpulses spiralförmig auf das Schwarze Loch ein und bildet eine Akkretionsscheibe, bevor es hineingezogen wird. Diese einige 10^5K heiße Scheibe emittiert thermische Strahlung vom Ultravioletten bis zum Röntgenbereich.
An die Akkretionsscheibe schließt sich nach außen eine turbulente Gasscheibe an, die aus einzelnen Molekülwolken besteht. Ihre Ausdehnung beträgt einige hundert Parsec. Im inneren Bereich von einigen Parsec ist die Struktur aufgebläht und bildet den sogenannten molekularen Torus, weil hier die Rotationsgeschwindigkeiten mit den turbulenten Geschwindigkeiten vergleichbar werden. Die turbulente Gasscheibe strahlt überwiegend im Infraroten. Sie liefert auch den Materienachschub für die innere Akkretionsscheibe.
Oberhalb und unterhalb der Akkretionsscheibe befinden sich ionisierte Gaswolken. Die Emissionslinien dieser Wolken sind sehr breit, das Gebiet wird deshalb Broad Line Region (BLR) genannt. Weiter außen schließt sich die Narrow Line Region (NLR) an, deren Emissionsspektrum schmale Linien zeigt.
Die Akkretionsscheibe ist der Ursprung von relativistischen Jets, die Längen von einigen 100 kpc erreichen und senkrecht zur Scheibe ausströmen. Diese

Jets sind über starke Magnetfelder in der Akkretionsscheibe verankert. Relativistische Elektronen bewegen sich entlang der Magnetfeldlinien innerhalb des Jets und emittieren Synchrotron-Strahlung. Die Photonen dieser Strahlung erreichen durch inverse Compton-Streuung an relativistischen Elektronen Energien, die bis in den Röntgen- und Gammabereich reichen.
Eine schematische Darstellung eines AGN zeigt die Abbildung 1.1.

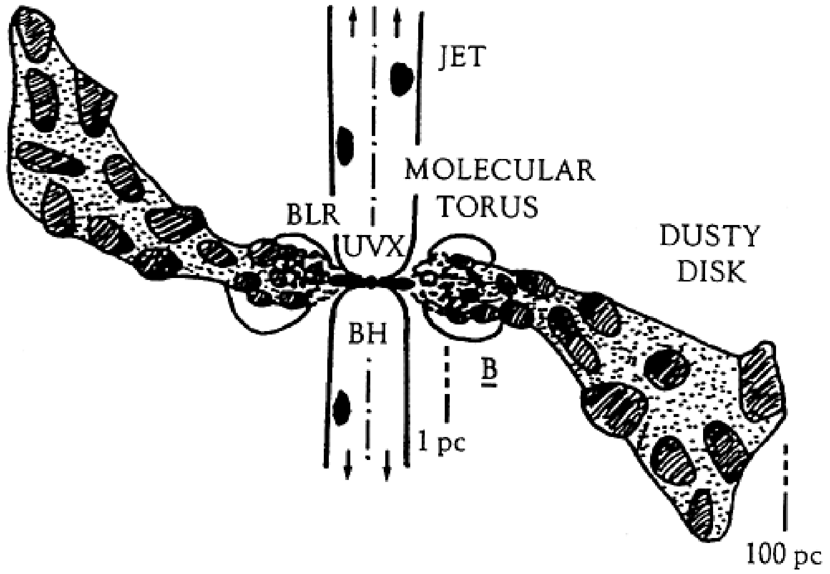


Abbildung 1.1: Schematische Darstellung eines AGN, BH: Schwarzes Loch, UVX: Scheibenemission im fernen UV, Abbildung aus Camenzind (1995).

Bei Betrachtung des Standardmodells für AGN stellt sich die Frage, wie die unterschiedlichen AGN-Klassen erklärt werden können. Ein Ansatz ist, die unterschiedlichen Klassen in einem vereinheitlichten Schema zu erklären, das die beobachteten Unterschiede auf ein geometrisches Phänomen zurückführt. Danach werden die verschiedenen Erscheinungsformen der AGN dadurch erklärt, daß man je nach Winkel zwischen der Sichtlinie des Beobachters und der Ausrichtung der Jetachse einen anderen Teilbereich des aktiven Kerns sieht (Woltjer 1990).
Ist der Winkel zwischen Jetachse und Sichtlinie annähernd null, sieht man die schnelle Variabilität von Blazaren. Bei größerem Winkel erhält man das charakteristische Aussehen eines Radioquasars. Der zentrale Bereich des AGN ist dabei noch nicht durch den Molekültorus verdeckt. Stehen Sichtlinie und Achse des AGN annähernd senkrecht zueinander, ist der Kernbereich verdeckt. Man blickt auf den Molekültorus und sieht eine Radiogalaxie. Bei radioleisen Objekten ohne Jetstruktur erhält man bei kleinen Winkeln radioleise Quasare und Seyfert 1-Galaxien, bei großen Winkeln und verdecktem Kernbereich Seyfert 2-Galaxien.

1.1.3 Blazare

In der vorliegenden Arbeit soll die Variabilität von AGN im Gammabereich untersucht werden. Da alle im Gammabereich detektierten AGN eines oder mehrere Merkmale der AGN-Unterklasse der Blazare aufweisen, sollen hier die Eigenschaften dieser Objekte zusammengefaßt werden.
Ein AGN ist definiert als Blazar, falls folgende Eigenschaften zutreffen (Camenzind 1995):

- starke optische Polarisation (P>3%)
- schnelle optische Variabilität auf Zeitskalen von Tagen und weniger
- flaches, variables Radiokontinuum

Zur Gruppe der Blazare gehören, wie bereits erwähnt, die BL Lac-Objekte sowie die OVVs und HPQs. Blazare werden der Klasse der nichtthermische Quellen zugeordnet (Camenzind 1995).
Die Kontinuumsemission von Blazaren stammt aus einem relativistischen Jet. Die Existenz relativistischer Geschwindigkeiten in Jets wird durch die VLBI-Beobachtungen von Radioemissionsknoten in Blazaren gestützt, die sich mit scheinbarer Überlichtgeschwindigkeit bewegen (Vermeulen & Cohen 1994).
Die dominanten Emissionsmechanismen in Blazaren sind mit größter Wahrscheinlichkeit zum einen Synchrotronstrahlung vom Radio- bis zum weichen Röntgenbereich und zum anderen Strahlung aufgrund inverser Compton-Streuung, die vom harten Röntgen- bis zum Gammabereich reicht (Sambruna et al. 1996). Neben diesen Emissionsmechanismen werden noch andere Modelle diskutiert, wie zum Beispiel nukleonische Kaskadenmodelle (Mannheim & Biermann, 1992) oder Penrose-Prozesse (Leiter 1980).

1.1.4 Intraday-Variabilität

Schnelle zeitliche Variabilität ist eines der bezeichnendsten Charakteristika von Blazaren. Sie wird bei Blazaren in allen Frequenzbereichen vom Radio- bis in den Gammabereich beobachtet. Die Zeitskalen der Variabilität reichen von Jahren bis zu weniger als einem Tag. Der Radius der emittierenden Region ist dabei aus Kausalitätsgründen auf $r \leq c\Delta t$ begrenzt, wobei r der Radius, c die Lichtgeschwindigkeit und Δt die Zeitskala der Variationen ist.
Als Intraday-Variabilität (IDV) bezeichnet man schnelle Variationen auf Zeitskalen von einem Tag und weniger (Wagner & Witzel 1995a). Bei Angabe von Zeitskalen muß die Rotverschiebung z der Quellen mitberücksichtigt werden, weil sich quellintrinsische und beobachtete Zeitskalen unterscheiden. Für die Zeitskalen im Bezugssystem der Quelle gilt: $\Delta t_{Quelle} = \Delta t_{Beob.}/(1+z)$. Dies bedeutet, daß bei rotverschobenen Quellen die intrinsischen Variationen auf Zeitskalen stattfinden, die um einen Faktor $(1+z)$ kürzer sind als die vom Beobachter gemessenen.
Neben dem Einfluß der Rotverschiebung auf die Variabilitätszeitskala ist noch ein weiterer Effekt zu berücksichtigen. Aus der Leuchtkraft und der Entfernung kann die Helligkeitstemperatur einer Quelle bestimmt werden. Die

Helligkeitstemperatur ist die Oberflächentemperatur eines Schwarzen Körpers und beschreibt die Flächenhelligkeit der Quelle. Der Quelldurchmesser und die Variabilitätszeitskalen implizieren Helligkeitstemperaturen, die weit über dem Invers-Compton-Limit von $\sim 10^{12}$ K liegen, das bei Synchrotronquellen nicht überschritten werden darf (Blandford 1990). Höhere Helligkeitstemperaturen würden zu rascher Kühlung durch Invers-Compton-Effekte führen. Bei Blazaren wurden im Radiobereich jedoch Helligkeitstemperaturen von 10^{19} K bei schnellen Variationen auf Zeitskalen von wenigen Stunden bei Frequenzen von einigen GHz ermittelt (Quirrenbach et al. 1992).
Dieses Problem konnte von Rees (1967) gelöst werden. Unter der Annahme, daß sich die Synchrotronquelle mit relativistischer Geschwindigkeit auf den Beobachter zubewegt, werden die Zeitskalen der Variabilität im System des Beobachters um den Dopplerfaktor D verkürzt:

$$D = \frac{1}{\gamma(1 - \beta \cos \Theta)}$$

Hierbei ist Θ der Winkel zwischen der Bewegungsrichtung der Synchrotronquelle und der Sichtlinie des Beobachters, $\beta = v_{Quelle}/c$ und der Lorentzfaktor $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$.
Unter Berücksichtigung der Rotverschiebung gilt für die Zeitskalen in den Systemen von Beobachter und Quelle folgende Beziehung:

$$\Delta t_{Beob.} = \Delta t_{Quelle}(1 - \beta \cos \Theta)(1 + z)$$

Für genügend hohe relativistische Geschwindigkeiten v_{Quelle} der Synchrotronquelle und Bewegung in Richtung des Beobachters sind also die quellintrinsischen Zeitskalen Δt_{Quelle} länger als die beobachteten Zeitskalen $\Delta t_{Beob.}$.
Für die Helligkeitstemperatur T der Quelle erhält man folgende Transformation in das System des Beobachters:

$$T_{Beob.} = D^3 T_{Quelle}$$

Die Helligkeitstemperatur im System der Quelle ist also um einen Faktor D^{-3} niedriger als im System des Beobachters.

Das Variabilitätsverhalten von Blazaren auf kurzen Zeitskalen in den verschiedenen Frequenzbereichen ist zusammenfassend beschrieben bei Wagner & Witzel (1995a).
Multifrequenzkampagnen ergaben, daß es zwischen verschiedenen Frequenzbereichen Korrelationen im Intraday-Variabilitätsverhalten gibt. Ein Beispiel ist der Blazar S5 0716+714 (Wagner et al. 1996). Es wurden drei Radio- und drei optische Frequenzbänder miteinander verglichen, sowie UV- und Röntgendaten. Besonders enge Korrelationen wurden zwischen dem Optischem und dem Radiobereich gefunden. Mit den Ergebnissen aus solchen Multifrequenzkampagnen können verschiedene AGN-Strahlungsmodelle getestet werden. Durch Untersuchung der Intraday-Variabilität erhält man neue Erkenntnisse über die räumliche Lage und Ausdehnung der Emissionsgebiete und damit über den Aufbau der AGN.

1.2 Motivation

Mit dem Start des Compton Gamma-Ray Observatory (CGRO) im Jahre 1991 eröffneten sich neue Möglichkeiten für die Gammaastronomie. Der neue Satellit ist um eine Größenordnung empfindlicher als vorhergehende Gamma-Satelliten. Er macht zum ersten Mal Variabilitätsuntersuchungen bei AGN auf Zeitskalen von Monaten, Wochen und weniger im Gammabereich möglich. Dies war mit den früheren Instrumenten aufgrund schlechter Winkelauflösung und geringer Empfindlichkeit nicht durchführbar.
Untersuchungen im Gammabereich ergaben, daß Blazare auf Zeitskalen von Monaten und Wochen variabel sind. Eine Übersicht über das Variabilitätsverhalten auf diesen Zeitskalen gibt von Montigny et al. (1995).
In manchen Fällen waren Blazare im Gammabereich so hell, daß Variabilität auf Zeitskalen von wenigen Tagen festgestellt werden konnte (Kniffen et al. 1993; Hunter et al. 1993; Hartman et al. 1993; Mattox et al. 1993).
Gleichzeitige Beobachtungen von hellen Flares im Optischen und Gammabereich zeigten in einigen Fällen Korrelationen im Variabilitätsverhalten (Wagner et al. 1995b). Teilweise wurden bei hellen Flares Variabilitäts-Zeitskalen im Gammabereich von weniger als einem Tag beobachtet (Mattox et al. 1997; Wagner et al. 1995c).

In dieser Diplomarbeit soll eine Auswahl von Blazaren systematisch auf Intraday-Variabilität untersucht werden. Das Hauptproblem hierbei ist die geringe Photonenausbeute im Gammabereich. Die bis jetzt erhaltenen Variabilitäts-Zeitskalen von Blazaren von einigen Tagen und weniger wurden ausschließlich in Zeiträumen ermittelt, in denen sich die betreffenden Quellen im Gammabereich in einem besonders hellen Flare-Zustand befanden. Die Photonenzählrate war deshalb vergleichsweise hoch und eine Untersuchung auf Zeitskalen von wenigen Tagen leichter möglich.
Eine Auswahl von Blazaren wird über einen Zeitraum von mehreren Jahren mit allen vorhandenen Daten auf IDV untersucht. Es soll festgestellt werden, ob auch in ruhigen Zuständen IDV nachgewiesen werden kann. Die gängigen Gamma-Analysemethoden sollen darauf getestet werden, ob sie auch bei den sehr geringen Photonenzahlen in den untersuchten kurzen Zeitintervallen noch anwendbar sind und aussagekräftige Ergebnisse liefern.
Ist IDV im Gammabereich bei Blazaren ein regelmäßig auftauchendes Phänomen, erlaubt dies zusätzliche räumliche Beschränkungen der gammaemittierenden Gebiete in AGN. Außerdem können dann Korrelationen im IDV-Verhalten zwischen Gamma- und anderen Frequenzbereichen untersucht werden, auch wenn die Gammaquelle in einem ruhigen Zustand ist. Dies gibt weiteren Aufschluß über den Aufbau der AGN.

Kapitel 2

Das EGRET-Instrument

2.1 Erste Messungen im Gammabereich

Hochenergetische Gammastrahlung im Energiebereich von MeV und GeV kann von der Erdoberfläche aus nicht direkt beobachtet werden. Die Erdatmosphäre absorbiert den größten Teil der kosmischen Gammastrahlung. Außerdem erzeugt die geladene kosmische Strahlung durch Wechselwirkung mit der Atmosphäre einen hohen sekundären Gammahintergrund. Zur Messung kosmischer Gammastrahlung werden deshalb Stratosphärenballone und Satelliten benötigt. Wegen der geringen Photonenzahl, die von Gammaquellen erhalten wird, sind Meßzeiten in der Größenordnung von mehreren Tagen oder große empfindliche Flächen nötig. Ballone mit einer typischen Meßdauer von einem Tag sind deswegen nur zur Messung der stärksten Gammaquellen geeignet.
Die ersten Satellitenmessungen wurden von OSO-3 in den Jahren 1967 und 1968 durchgeführt. Er besaß einen Szintillationsdetektor und entdeckte, daß die galaktische Scheibe eine starke Quelle hochenergetischer Gammastrahlung ist. Seine Winkelauflösung betrug lediglich ungefähr 25°. Die nachfolgenden Funkenkammerteleskope an Bord der Satelliten SAS-2 (1972-1973) und COS-B (1975-1982) hatten eine Winkelauflösung von wenigen Grad und waren im Energiebereich über 35 MeV empfindlich. Sie waren in der Lage, die Verteilung der diffusen galaktischen Emission zu messen und Punktquellen zu detektieren. Der Quasar 3C 273 wurde von COS-B als einzige extragalaktische Quelle entdeckt. Die bereits in Ballonexperimenten erfolgte Detektion des Crab-Pulsars wurde bestätigt und zwei neue galaktische Quellen, die beiden Pulsare Geminga und Vela, wurden von SAS 2 entdeckt.
Um den Gammahimmel weiter zu erforschen, wurde das Compton Gamma-Ray Observatory (CGRO) gebaut.

2.2 Das EGRET-Teleskop

Das Energetic Gamma-Ray Experiment Telescope (EGRET) ist eines von vier Instrumenten des Compton Gamma-Ray Observatory . Dieser Satellit wurde am 5. April 1991 von der Raumfähre Atlantis in eine Erdumlaufbahn gebracht. Alle vier Instrumente sind für Beobachtungen im Gammabereich ausgelegt, allerdings in unterschiedlichen Energiebereichen. Die anderen drei Instrumente neben EGRET sind im einzelnen:

- BATSE (Burst and Transient Source Experiment) : Das Instrument besteht aus acht großflächigen Natrium-Jodid-Detektoren, zwei an jeder Ecke der Plattform. Sein Gesichtsfeld umfaßt den gesamten Himmel. Sein Energiebereich liegt zwischen 30 keV und 2 MeV. BATSE ist ausgelegt auf die Detektion von sogenannten Gamma Ray Bursts und Sonnenflares.
- OSSE (Orientied Scintillation Spectroscopy Experiment) : Es besteht aus vier NaJ-Detektoren, die individuell ausgerichtet werden können. Sein Energiebereich umfaßt 100 keV bis 10 MeV, sein Gesichtsfeld $3,8° \times 11,4°$.
- COMPTEL (Compton Telescope) : Bei COMPTEL handelt es sich um ein abbildendes Gamma-Teleskop. Sein Gesichtsfeld umfaßt ungefähr 1 Steradian. Der Gamma-Nachweis erfolgt in einem Flüssig-Szintillator mit nachfolgendem NaJ-Detektor. Mit COMPTEL wurde die erste Himmelsdurchmusterung im Energiebereich von 1 bis 30 MeV durchgeführt.

Der Aufbau des Compton Gamma-Ray Observatory ist in Abbildung 2.1 dargestellt.

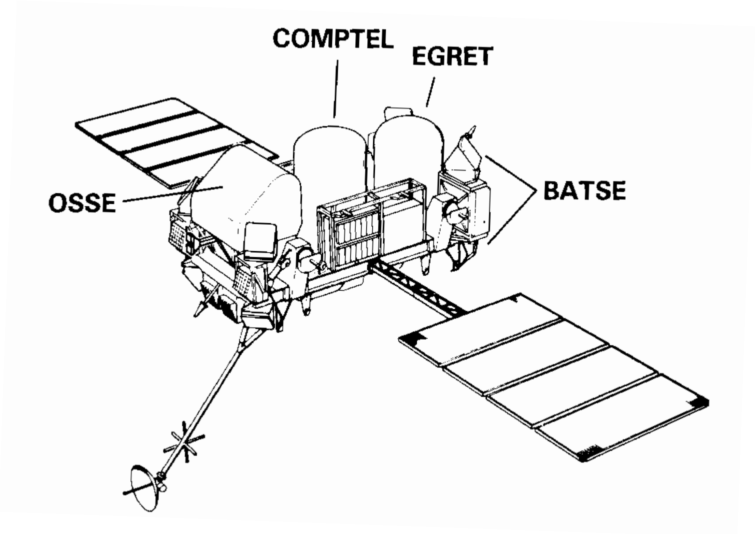


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung des CGRO-Satelliten, Abbildung aus Kanbach et al. (1988).

Alle Daten, die in der vorliegenden Arbeit analysiert wurden, wurden von EGRET aufgenommen. Deshalb soll hier der Aufbau und die Funktionsweise von EGRET dargestellt werden.
Das Gamma-Teleskop EGRET ist, wie seine Vorgänger SAS-2 und COS-B, ein Funkenkammerteleskop. Die eintreffenden hochenergetischen Gamma-Photonen werden durch Elektron-Positron-Paarbildung nachgewiesen. Die vier Hauptkomponenten von EGRET sind (Kanbach et al. 1988) :

- ein Antikoinzidenz-Zähler zur Identifizierung von geladenen Teilchen der kosmischen Strahlung,
- eine Funkenkammer zur Erzeugung von Elektron-Positron-Paaren und zur Spurerkennung und Richtungsbestimmung dieser Teilchen,
- ein Flugzeitsystem, das der Erkennung von Elektron-Positron-Paaren mit der richtigen Flugrichtung dient und die Funkenkammerhochspannung zum richtigen Zeitpunkt auslöst,
- ein Natrium-Jodid-Szintillationszähler zur Energiemessung der dort absorbierten Elektron-Positron-Paare.

Der Aufbau des EGRET-Teleskops ist in der Abbildung 2.2 zu sehen.

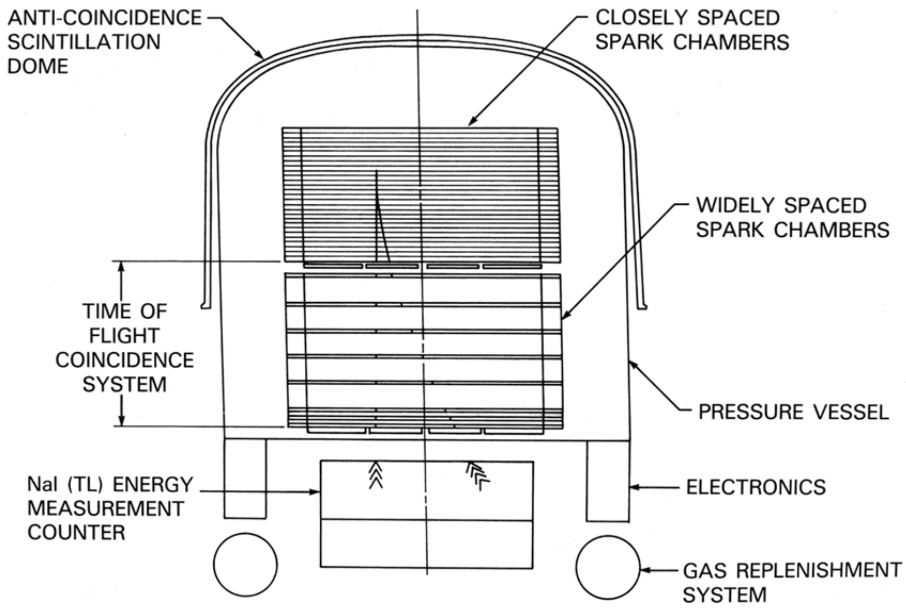


Abbildung 2.2: Schematischer Aufbau des EGRET-Teleskops, Abbildung aus Kanbach et al. (1988).

Der Antikoinzidenz-Zähler besteht aus dem Plastik-Szintillationsmaterial NE 110. Am unteren Rand des kuppelförmigen Zählers befinden sich 24 Photomultiplier, die das von durchgehenden geladenen Teilchen erzeugte Szintillationslicht nachweisen.

Den oberen Teil der Funkenkammer bilden 28 Funkenkammer-Elemente, die durch Tantalfolien von 90 μm Dicke voneinander getrennt sind. In diesen Tantalfolien werden die eintreffenden Gammaphotonen durch Paarbildung in Elektron-Positron-Paare umgewandelt. Die Dicke einer Tantalfolie entspricht 0.02 Strahlungslängen. Die Gesamtdicke der Konversionsfolien beträgt also

ungefähr 0.54 Strahlungslängen. Die Effektivität der Konversion von Gammaphotonen in Elektron-Positron-Paare beträgt bei einer Photonenenergie von 100 MeV ungefähr 30 %. Jedes Funkenkammerelement besteht aus zwei Ebenen, die aus jeweils 992 Funkenkammerdrähten aufgebaut sind und kreuzweise zueinander angeordnet sind. Die obere Funkenkammer hat ein Volumen von ungefähr $80 \times 80 \times 45$ cm^3.
Die Funkenkammern sind mit einem stark isolierenden Gasgemisch gefüllt. Das Gemisch besteht aus Neon, Argon und Ethan. Der Gasdruck beträgt 1.1 bar. Beim Durchgang von geladenen Teilchen werden die Gasatome entlang der Teilchenbahn durch Stoßionisation ionisiert (Povh et al. 1994). Die dabei freigesetzten Primärelektronen driften bei angelegter Hochspannung zu den Anodendrähten. In der Nähe dieser dünnen Drähte ist die elektrische Feldstärke sehr hoch. Die Elektronen werden dadurch so stark beschleunigt, daß sie ihrerseits ionisierend wirken. Eine Ladungslawine entsteht, die zu einem meßbaren Spannungsimpuls am Funkenkammerdraht führt. Das sukzessive Ansprechen der aufeinanderfolgenden gekreuzten Drahtlagen ermöglicht eine Positionsbestimmung des Teilchens. Die Ankunftszeit und Amplitude des Spannungspulses werden ebenfalls registriert.
Die Zusammensetzung des Gasgemisches verändert sich mit der Zeit durch chemische Veränderung der organischen Verbindung Ethan. Dies hat Auswirkungen auf die Nachweiseffizienz der Funkenkammer. Das Gasgemisch kann deswegen während der Missionsdauer fünfmal aus einem Gasnachfüllsystem ersetzt werden.

Unterhalb der oberen Funkenkammer befindet sich das Flugzeitsystem. Es besteht aus einem oberen und unteren Szintillationsdetektor mit einem Abstand von 60 cm, die den Durchgang von geladenen Teilchen nachweisen. Diese beiden Detektoren messen die Flugzeit eines durchgehenden Teilchens. Aus der Flugzeit können Rückschlüsse auf ihre Flugrichtung gezogen werden. Wenn der Antikoinzidenz-Zähler nicht angesprochen hat und die Flugrichtung stimmt, also abwärts zum Natrium-Jodid-Detektor gerichtet ist, wird die Funkenkammer-Hochspannung getriggert und das Ereignis aufgenommen.
Die beiden Detektoren des Flugzeitsystems sind aus jeweils 16 Teildetektoren aufgebaut, die in einer 4×4-Struktur angeordnet sind. Die Teildetektoren der beiden Ebenen können auf verschiedene Weise zusammengeschaltet werden, um bestimmte Himmelsbereiche aus dem Gesichtsfeld von EGRET ausblenden zu können. EGRET ist bei einer gegebenen Schaltung nur noch in den Richtungen sensibel, in denen die durchgehenden Teilchen in beiden Teildetektoren ein Signal auslösen. Trifft ein Teilchen auf einen ausgeschalteten Teildetektor, wird die Funkenkammer vom Flugzeitsystem nicht getriggert. Dies wird eingesetzt, um störende Hintergrundeinflüsse wie zum Beispiel die Erdatmosphäre beim Durchgang der Erde durch das EGRET-Gesichtsfeld zu eliminieren.
Zwischen den beiden Flugzeit-Detektoren befindet sich eine zweite Funkenkammer. Sie besteht aus sechs Funkenkammer-Elementen, die allerdings einen größeren Abstand voneinander haben als in der oberen Funkenkammer. Diese Funkenkammer dient der genaueren Spurbestimmung der Elektron-Positron-Paare.

Eine weitere wichtige Komponente von EGRET ist ein mit Thallium (Tl) dotierter NaJ-Kristall zur Energiemessung der absorbierten Elektronen und Positronen. In der NaJ(Tl)-Kalorimetermaterie erzeugen die geladenen Teilchen durch sukzessive Bremsstrahlung und Paarbildung eine Kaskade von Sekundärteilchen, die ein meßbares Lichtsignal liefern. Dieses Szintillationslicht wird mit 16 Photomultipliern gemessen. Das Volumen des NaJ-Kristalls beträgt $77 \times 77 \times 20$ cm^3. Seine Dicke von 20 cm entspricht ungefähr 8 Strahlungslängen und ermöglicht somit die Messung von Energien bis zu einigen 10 GeV. Da die Elektronen und Positronen im Idealfall vollständig im NaJ-Kristall absorbiert werden, wird der Kristall auch als TASC (Total Absorption Spectrometer Crystal) bezeichnet.

Zur Bestimmung der Einfallsrichtung der Photonen wird die Winkelhalbierende der Spuren von Elektron und Positron in der Funkenkammer bestimmt. Die Genauigkeit der Richtungsbestimmung hängt von einigen technischen und physikalischen Faktoren ab:

- Die Kinematik des Paarbildungsprozesses ist nicht vollständig meßbar. Der Kernrückstoß der an der Paarbildung beteiligten Atomkerne in den Konversionsfolien ist unbekannt. Außerdem kann die Aufteilung der kinetischen Energie zwischen Elektron und Positron nur aus der Streucharakteristik der Teilchen abgeschätzt werden.

- Kleinwinkelstreuung an den Tantalfolien verändert die ursprüngliche Richtung der Elektron-Positron-Paare. Dieser Effekt kommt besonders bei niedrigen Energien zur Geltung, wenn man sich der unteren Grenze des EGRET-Energiebereichs nähert.

- Die räumliche Auflösung der Funkenkammern ist begrenzt, was zu Ausleseungenauigkeiten führt.

Die Energieauflösung des NaJ-Detektors ist durch folgende Faktoren begrenzt:

- Die Energie des einfallenden Photons wird beim Paarbildungsprozeß nicht vollständig auf das Elektron-Positron-Paar übertragen (Impulsübertrag auf den beteiligten Atomkern).

- Die Elektronen und Positronen verlieren durch Streuprozesse und Ionisation von Gasmolekülen Energie auf ihrem Weg zum Kalorimeter.

- Abhängig vom Einfallswinkel und der Energie des Photons kann es vorkommen, daß nicht beide, sondern nur ein Teilchen im Kalorimeter absorbiert wird.

- Bei hohen Energien über einigen GeV werden die Elektronen und Positronen nicht mehr vollständig im NaJ-Detektor absorbiert, was zur Verschlechterung der Energieauflösung in diesem Energiebereich führt.

Neben diesen Beschränkungen für die Winkel- und Energieauflösung spielen noch andere Faktoren eine Rolle, die eine experimentelle Kalibrierung des EGRET-Teleskops nötig machten (von Montigny 1993; Thompson et al. 1993). Die Leistungsfähigkeit der Funkenkammer und die Qualität der Software zur automatischen Spurerkennung und Spurmessung mußten getestet werden. Die Effizienz des Flugzeitsystems zur Zurückweisung von geladenen Teilchen mit falscher Flugrichtung wurde untersucht und die Effizienz des Antikoinzidenzzählers wurde getestet. Der Hauptteil der Kalibrierungsmessungen wurde 1986 am SLAC (Stanford Linear Accelerator Center) durchgeführt.

Zusammenfassend sollen die wichtigsten instrumentellen Eigenschaften von EGRET dargestellt werden (von Montigny 1993) :

- Der Energiebereich liegt zwischen 30 MeV und 30 GeV.
- Die Energieauflösung beträgt ungefähr 20%.
- Das Gesichtsfeld von EGRET hat einen Öffnungswinkel von ungefähr 40°. Innerhalb dieses Öffnungswinkels ist der Betrag der effektiven Fläche größer als 50% des Maximalwertes der effektiven Fläche in Blickrichtung des Teleskops.
- Die Zeitauflösung beträgt 0.1 Millisekunden.
- EGRET hat eine Winkelauflösung von 5–10 Bogenminuten.
- Die effektive Fläche beträgt ungefähr 1000 cm^2 bei 150 MeV, annähernd 1500 cm^2 bei 0.5 bis 1 GeV und fällt bei höheren Energien bis auf ungefähr 700 cm^2 bei 10 GeV ab. Die effektive Fläche ist am größten, wenn das beobachtete Objekt auf der Instrumentenachse liegt und fällt auf ungefähr 50% ab, wenn der Winkelabstand zur Achse 18° beträgt (von Montigny, 1995).
- EGRET hat einen sehr kleinen instrumentellen Hintergrund. Kalibrierungstests haben gezeigt, daß dieser Hintergrund um mindestens eine Größenordnung kleiner ist als die extragalaktische diffuse Strahlung (von Montigny 1995).

Kapitel 3

Die Maximum Likelihood-Methode

Zur Untersuchung von Gammaquellen auf Kurzzeitvariabilität müssen die Flußwerte dieser Quellen bestimmt werden. Das EGRET-Funkenkammerteleskop mißt die Anzahl und die Richtung der eintreffenden Photonen, aus denen die Flüsse ermittelt werden.
Bei der Berechnung der Flußwerte von Gammaquellen müssen einige Faktoren berücksichtigt werden. Die Photonenzählrate im Gammabereich ist sehr gering, von der Größenordnung ein Photon pro Stunde bei einer Punktquelle. Außerdem stammt ein großer Anteil der von EGRET gemessenen Photonen nicht von der zu untersuchenden Quelle, sondern aus der galaktischen und extragalaktischen Gammahintergrundstrahlung. Der Anteil des Hintergrundes liegt bei Quellen, die in der Nähe der galaktischen Ebene liegen ($|b| < 10°$), im Bereich von ungefähr 70 bis 100 Photonen pro Tag . Bei Quellen, die auf höheren galaktischen Breiten ($|b| > 10°$) liegen, stammen etwa 40 Photonen pro Tag aus dem Hintergrund. In beiden Fällen liegt bei schwachen Gammaquellen die Anzahl der Quellphotonen dagegen im Bereich von einigen wenigen Photonen pro Tag, bis zu ungefähr 100 Photonen pro Tag bei den hellsten Gammaquellen. Ein weiteres Problem ist die begrenzte Ortsauflösung der EGRET-Funkenkammer. Aufgrund dieser Probleme wird ein Modell des Gammahimmels entwickelt, das den gesamten Gammahimmel mit Punktquellen und Hintergrundstrahlung möglichst genau wiedergibt. Das Gamma-Modell wird mit den gemessenen Daten verglichen, um Aussagen über Flußwerte und Quellpositionen machen zu können. Die Methode, mit der dieser Vergleich gezogen wird, ist die nachfolgend beschriebene statistische Methode der Maximum Likelihood.

3.1 Definition der Likelihood

Die Maximum Likelihood-Methode wird angewendet zur Analyse der Gammadaten, die vom EGRET-Instrument aufgenommen wurden. Die Anwendung dieser Methode ist sinnvoll wegen der geringen Anzahl von Photonen im Gammabereich und wegen der Ausdehnung der EGRET-Punktverbreiterungsfunktion (*engl.* point spread function, abgekürzt PSF). Die Likelihood gibt die

Wahrscheinlichkeit an, daß ein bestimmtes Gammaemissions-Modell mit den gemessenen Daten übereinstimmt.
Die Likelihood-Analyse basiert auf Photonen-Zählratenkarten, die den Himmel in Bildpunkten (*engl.* Pixel) von 0.5° Kantenlänge darstellen.

Der Begriff der Likelihood wurde von Fisher (1925) eingeführt und ist folgendermaßen definiert:

$$L = \prod_{ij} p_{ij}$$

wobei für p_{ij} gilt:

$$p_{ij} = \frac{\theta_{ij}^{n_{ij}} e^{-\theta_{ij}}}{n_{ij}!}$$

Die Poissonwahrscheinlichkeit p_{ij} gibt die Wahrscheinlichkeit an, n_{ij} Photonen im Pixel ij zu finden, wenn die Anzahl der durch ein bestimmtes Modell vorhergesagten Photonen gerade θ_{ij} entspricht.
Um die nachfolgenden Rechnungen zu vereinfachen, speziell die Ableitungen der Likelihood nach verschiedenen Parametern, wird in der Regel der natürliche Logarithmus der Likelihood L betrachtet:

$$lnL = \sum_{ij} ln(p_{ij})$$

Nach Einsetzen des Terms für p_{ij} erhält man:

$$lnL = \sum_{ij} n_{ij} ln(\theta_{ij}) - \sum_{ij} \theta_{ij} - \sum ln(n_{ij}!)$$

Weil der letzte Term modellunabhängig ist, kann er vernachlässigt werden, man erhält also:

$$lnL = \sum_{ij} n_{ij} ln(\theta_{ij}) - \sum_{ij} \theta_{ij} \tag{3.1}$$

3.2 Das Gammaemissions-Modell

Die dominierende Strahlung im Energiebereich von EGRET ist die galaktische diffuse Strahlung. Diese diffuse Gammastrahlung wird vor allem von Elektronen und Protonen der kosmischen Strahlung verursacht, die mit dem interstellaren Medium wechselwirken. Die hauptsächlichen Prozesse hierbei sind Bremsstrahlung, Kern-Kern-Prozesse und, von geringerer Bedeutung, Invers-Compton-Wechselwirkungen mit niederenergetischen Photonen. Einen weiteren Beitrag zur diffusen Gamma-Hintergrundstrahlung liefern unaufgelöste Punktquellen.
Die Bestimmung der Flußwerte von Punktquellen ist stark von der Modellierung der galaktischen diffusen Gammastrahlung abhängig. Zur Beschreibung der diffusen Strahlung wird ein Modell von Hunter et al. (1996) verwendet, das für galaktische Breiten von $|b| < 10°$ gültig ist. Dieses Modell beschreibt die diffuse Strahlung auf globaler Ebene, lokal ist die Güte des Modells an einigen Stellen begrenzt.

Für höhere galaktische Breiten ($|b| > 10°$) wird eine diffuse Strahlungsvorhersage für hohe galaktische Breiten von Sreekumar et al. (1997) angewandt. Diese Vorhersage beruht auf EGRET-Messungen und beinhaltet neben einem inhomogenen, diffusen galaktischen Anteil auch einen isotropen diffusen Term für die extragalaktische Gammastrahlung, der bei der Analyse auf gleiche Weise berücksichtigt werden muß. Dieser extragalaktische Anteil wurde durch Subtraktion des galaktischen diffusen Anteils erhalten. In der so erhaltenen extragalaktischen Emission werden keine großräumigen Anisotropien beobachtet. Die wahrscheinlichste Erklärung für die extragalaktische Gammaemission ist Gammastrahlung von nicht aufgelösten Blazaren.

Die Güte des diffusen galaktischen Strahlungsmodells hängt von der Kenntnis des Beitrags von Punktquellen zum galaktischen Gammahintergrund ab. Um den Punktquellenbeitrag zur diffusen Hintergrundstrahlung zu bestimmen, wird aber ein diffuses galaktisches Strahlungsmodell benötigt. Da das diffuse Strahlungsmodell und die Bestimmung des Punktquellenbeitrags zum Hintergrund voneinander abhängen, ist das diffuse galaktische Strahlungsmodell fehlerbehaftet. Die Größe der Fehler ist schwer abzuschätzen.
Um den Einfluß dieser Fehler möglichst gering zu halten, wird der Logarithmus der Likelihood lnL nur für Pixel innerhalb eines festen Radius um die zu untersuchende Quelle berechnet. Im Energiebereich E > 100 MeV beträgt dieser Radius 15° (Mattox et al. 1996). So geht nur die Form des Modells innerhalb dieses Kreises mit 15° Radius in die Punktquellenanalyse ein.
Innerhalb dieses Kreises wird das galaktische diffuse Strahlungsmodell mit einem multiplikativen Hintergrund-Anpassungsparameter g_m skaliert, der mit Hilfe der Maximum Likelihood-Methode abgeschätzt wird. Der isotrope extragalaktische Beitrag wird mit einem weiteren Parameter g_b angepaßt, dessen Wert ebenfalls durch Anwendung der Likelihood-Methode ermittelt wird. Dieses Vorgehen verhindert, daß größere Fehler im Hintergrundmodell in die Likelihoodanalyse der Punktquellen eingehen.
Die Bestimmung der Gamma-Modellparameter g_m und g_b mittels der Likelihood-Methode wird im nächsten Abschnitt dargestellt.

Die Karte der vorausgesagten diffusen galaktischen Emission wird mit den Belichtungswerten für jedes Pixel ij multipliziert, man erhält die ideale Photonenzahlvorhersage G_{kl}. Unter der Belichtung versteht man das Produkt aus Beobachtungszeit T und der empfindlichen Fläche des EGRET-Teleskops. Die Photonenzahl-Vorhersage G_{kl} wird mit der Punktverbreiterungsfunktion gefaltet:

$$G_{ij} = \frac{\sum_{kl} G_{kl} PSF(D_{ijkl})}{\sum_{kl} PSF(D_{ijkl})}$$

D_{ijkl} ist dabei der Winkel zwischen Pixel ij und Pixel kl.
Die gesamte Modellvorhersage θ_{ij} für die Zahl der Photonen im Pixel ij ist gegeben durch folgenden Ausdruck (Mattox et al. 1996):

$$\theta_{ij} = g_m G_{ij} + g_b \times 10^{-5} \times E_{ij} + c_a PSF(\alpha_a, \delta_a, i, j) + \sum_k c_k PSF(\alpha_k, \delta_k, i, j) \quad (3.2)$$

Der erste Term enthält den Beitrag der diffusen galaktischen Emission. Für den Hintergrund-Parameter g_m wird der Wert eins erwartet, falls das galaktische diffuse Strahlungsmodell richtig ist. Andernfalls weicht g_m nach oben oder unten ab.
Der zweite Term enthält den Beitrag des diffusen, isotropen extragalaktischen Gammahintergrunds g_b, der mit der Belichtung E_{ij} multipliziert wird, um die Photonenanzahl zu erhalten. Der Faktor 10^{-5} dient der Normierung. Der Beitrag des diffusen, isotropen Gammahintergrunds ist von dieser Größenordnung.
Der Wert c_a im dritten Term gibt die Photonenzahl der Quelle an der Position α_a, δ_a an, für welche die Hintergrundparameter und der Flußwert abgeschätzt werden sollen.
Im vierten Term gibt c_k die feste Photonenzahl für die Quelle an der Position α_k, δ_k an. Es handelt sich hierbei um Quellen mit festgehaltenen Photonenzahlen und festen Positionen, für die in der Likelihoodanalyse keine Werte ermittelt werden sollen. Sie beeinflussen aber mit ihren Punktverbreiterungsfunktionen die Werte für diejenige Quelle, für die die Hintergrundparameter und der Flußwert ermittelt werden. $PSF(\alpha, \delta, i, j)$ ist der Anteil der Punktverbreiterungsfunktion an der Position α, δ , welcher im Pixel ij liegt.

3.3 Ermittelung der Gamma-Modellparameter

Mit Hilfe der Maximum Likelihood-Methode werden gleichzeitig drei Parameter ermittelt, die beiden Hintergrundparameter g_m und g_b und die Photonenzahl c_a. Diese drei Werte werden zusammengefaßt zum Vektor $\vec{\Lambda}$ (Mattox et al. 1996).
Die Maximum Likelihood-Methode benutzt eine Extremwert-Untersuchung. Die Wahl der Parameter g_m, g_b und c_a ist dann am besten getroffen, wenn die Likelihood maximal wird. Diesen Maximalwert erhält man durch Nullsetzen des Ableitungsvektors $\vec{D}$. Die Komponenten des Vektors $\vec{D}$ sind gegeben durch:

$$D_i \equiv \frac{\partial lnL}{\partial \Lambda_i}$$

Mit Gleichung (3.1) und (3.2) erhält man für die einzelnen Komponenten des Ableitungsvektors $\vec{D}$:

$$D_1 = \frac{\partial lnL}{\partial g_m} = \sum_{ij} G_{ij}(\frac{n_{ij}}{\theta_{ij}} - 1)$$

$$D_2 = \frac{\partial lnL}{\partial g_b} = \sum_{ij} 10^{-5} E_{ij}(\frac{n_{ij}}{\theta_{ij}} - 1)$$

$$D_3 = \frac{\partial lnL}{\partial c_a} = \sum_{ij} PSF(\alpha_a, \delta_a, i, j)(\frac{n_{ij}}{\theta_{ij}} - 1)$$

Die Bestimmung der drei Parameter wird erreicht durch ein Newton-Raphson-Iterationsverfahren (Edwards 1972). Diese Iteration besteht aus aufeinanderfolgenden Modellschätzungen $\vec{\Lambda}_{n+1} = \vec{\Lambda}_n + H^{-1}\vec{D}$.

Hierbei ist H die Hessematrix:

$$H_{ij} \equiv -\frac{\partial^2 lnL}{\partial\Lambda_i \partial\Lambda_j}$$

Das Newton-Raphson-Iterationsverfahren konvergiert innerhalb weniger Iterationen.

3.4 Der Likelihood-Quotienten-Test

Eine weitere Anwendung der Likelihood-Methode ist der Likelihood-Quotienten-Test (Neyman & Pearson 1928). Dieses Verfahren wird benutzt, um Hypothesen zu testen.

Bei der Analyse der EGRET-Daten wird der Likelihood-Quotienten-Test verwendet, um die Signifikanz von EGRET-Quelldetektionen zu ermitteln und Quellpositionen zu optimieren. Dabei werden zwei Hypothesen aufgestellt und miteinander verglichen.

Bei der Signifikanzbestimmung ist die Nullhypothese, daß sich an der betrachteten Position keine Punktquelle befindet. Die Alternativhypothese beinhaltet die gegensätzliche Aussage, daß sich dort eine Punktquelle befindet. Nach dem oben beschriebenen Verfahren werden c_a für die Alternativhypothese sowie g_m und g_b für beide Hypothesen ermittelt. Desweiteren werden die Werte für den Logarithmus der Likelihood lnL_0 und lnL_1 für die Null- und Alternativhypothese bestimmt.

Der Likelihood-Quotient ist gegeben durch die Likelihood der Nullhypothese dividiert durch die Likelihood der Alternativhypothese. Der Logarithmus des Likelihood-Quotienten ist $lnL_0 - lnL_1$.

Das Theorem von Wilks (Wilks 1938) führt zum Begriff der Teststatistik, die folgendermaßen definiert ist:

$$T_s \equiv -2(lnL_0 - lnL_1)$$

Wilks (1938) zeigte, daß der mit -2 multiplizierte natürliche Logarithmus des Likelihood-Quotienten einer χ^2-Verteilung folgt mit $p - r$ Freiheitsgraden, abgesehen von Termen der Ordnung $1/\sqrt{N}$. Dabei ist p die Gesamtzahl der Parameter, die ermittelt werden sollen und r die Anzahl der Parameter, die durch die Nullhypothese festgelegt sind. N ist bei einem Experiment, das Photonen zählt, die Anzahl der Photonen, die Informationen über die untersuchten Parameter enthalten (Cash 1979). Wegen der breiten Punktverbreiterungsfunktion von EGRET ist die Zahl N nicht gut definiert. Ein vernünftiger Wert für N ist die Anzahl der Photonen innerhalb des ungefähr doppelten Winkels θ_{68} um die betrachtete Position (Mattox et al. 1996). Der Winkel θ_{68} ist der halbe Öffnungswinkel eines Kegels, der 68% der eintreffenden Photonen einer Punktquelle bei einer bestimmten Energie enthält. Der energieabhängige Wert des Winkels θ_{68} wurde durch Kalibrierungsmessungen (Thompson et al. 1993) ermittelt: $\theta_{68} = 5.85°[E_\gamma/100\,\mathrm{MeV}]^{-0.534}$. Typische Werte von N liegen zwischen einigen wenigen Photonen und ungefähr 100 Photonen je nach Helligkeit der Quelle.

Von Wilks (1938) wurde weiterhin gezeigt, daß die Signifikanz einer Detektion in Einheiten von σ gerade der Wurzel des Teststatistikwertes T_s entspricht. Die Signifikanz einer EGRET-Quelldetektion ist eine wichtige Größe. Sie ist zum Beispiel ein Maß dafür, ob bei der Suche nach Punktquellen vom Nachweis einer Quelle ausgegangen werden kann, oder ob es sich um eine statistische Schwankung im Hintergrund handelt.

Kapitel 4

Auswahl der Objekte

In der vorliegenden Arbeit wurden fünf Quellen auf Kurzzeitvariabilität im Gammabereich untersucht, drei Blazare und zwei Pulsare.
Die erste Quelle war der auch im Gammabereich aktive Blazar PKS 0528+134. Diese Quelle ist ein radiolauter Quasar mit einer Rotverschiebung $z = 2.07$ (Hunter et al. 1993). Sie ist im Radiobereich auf Zeitskalen von Jahren variabel (Aller et al. 1985; Zang et al. 1994) und im Optischen nur eine schwache Quelle mit einer scheinbaren Helligkeit $m_v \approx 20$ (Wall & Peacock 1985).
Eine weitere der untersuchten Quellen war der Crab-Pulsar. Beim Crab-Pulsar handelt es sich um einen Neutronenstern mit einer Rotationsdauer im Millisekundenbereich. Er emittiert Strahlung nicht nur im Radiobereich, wodurch er entdeckt wurde, sondern auch im Optischen, Ultravioletten, Röntgen- und Gammabereich.
Die dritte betrachtete Quelle war Geminga, ein weiterer Pulsar, der im Gammabereich sehr stark emittiert. Geminga wurde 1972 vom Satelliten SAS-2 entdeckt. Die Rotationsperiode von Geminga wurde zu 237 ms bestimmt (Halpern & Holt 1992).
Die Auswahl dieser drei Quellen erfolgte aus mehreren Gründen. Der Blazar PKS 0528+134 ist im Gammabereich einer der hellsten AGN mit einem mittleren Fluß von 92×10^{-8} Photonen cm^{-2} s^{-1}. Dieser Flußwert und auch die nachfolgend genannten Werte der anderen Quellen wurden dem 2. EGRET-Katalog entnommen, der Daten aus dem Zeitraum von April 1991 bis September 1993 enthält (Thompson et al. 1995). Die beiden Pulsare Crab und Geminga sind zusammen mit dem hier nicht untersuchten Vela-Pulsar die hellsten konstanten Gammaquellen am gesamten Himmel mit mittleren Flüssen von 226×10^{-8} Photonen cm^{-2} s^{-1} für Crab und 366×10^{-8} Photonen cm^{-2} s^{-1} für Geminga.
Pulsare werden auf Zeitskalen von Tagen bis Jahren als nichtvariable Objekte angesehen; sie sollten also auf diesen Zeitskalen keine Helligkeitsschwankungen zeigen. Aus diesem Grund wurden die beiden Pulsare Crab und Geminga als Referenzobjekte für die Güte der Kurzzeitvariabilitätsuntersuchung von PKS 0528+134 herangezogen.
Wegen der verglichen mit anderen Quellen hohen Flußdichten sind diese drei Quellen besonders geeignet zur Untersuchung auf Kurzzeitvariabilität auf Zeit-

skalen von einem Tag. Sie weisen nämlich in diesen kurzen Zeitintervallen gegenüber schwächeren Quellen eine vergleichsweise gute Photonenstatistik auf. Ein weiterer Vorteil ist, daß die drei hellen Gammaquellen in derselben EGRET-Karte enthalten sind und deshalb eine gleichzeitige Analyse der Quellen möglich ist.

Neben diesen drei Quellen wurden noch zwei weitere relativ helle Gammaquellen untersucht. Eine Quelle war 3C 454.3 (PKS 2251+158) mit einem mittleren Fluß von 81×10^{-8} Photonen cm^{-2} s^{-1}. Der Blazar 3C 454.3 hat eine Rotverschiebung von $z = 0.859$ (Hartman et al. 1993). Er gehört zur Klasse der OVV-Quasare und HPQs. Er zeigt eine Polarisation von typischerweise 3% (Moore & Stockmann 1981; Smith et al. 1988). Man beobachtete eine Variabilität der Polarisation mit maximalen Werten von 15-20% (Angel & Stockman 1980). VLBI-Beobachtungen zeigten zwei schwach aufgelöste Komponenten, die nur ungefähr sechs Millibogensekunden voneinander getrennt waren, aber sehr unterschiedliche Radiospektren aufwiesen (Charlot 1991).
Die fünfte Quelle war CTA 102 (PKS 2230+114) mit einem mittleren Fluß von 28×10^{-8} Photonen cm^{-2} s^{-1} . Die Rotverschiebung beträgt $z = 1.037$ (Schmidt 1965). Die optische lineare Polarisation ist hoch, sie beträgt bis zu 11% (Moore & Stockmann 1981). Der Blazar CTA 102 gehört wie 3C 454.3 zur Klasse der HPQs.

Kapitel 5

Datenanalyse

5.1 Analyse von PKS 0528+134, Crab und Geminga

Im folgenden soll zunächst auf die Analyse der drei Quellen PKS 0528+134, Crab und Geminga eingegangen werden. Diese drei Quellen liegen nur einige Grad voneinander entfernt in Richtung des antigalaktischen Zentrums. Sie können, da sie innerhalb derselben EGRET-Karte liegen, gleichzeitig analysiert werden. Außerdem ist es sinnvoll, das Analyseverfahren zuerst an diesen drei hellen Quellen zu testen, bevor die beiden schwächeren Gammaquellen 3C 454.3 und CTA 102 analysiert werden.
Die galaktischen Koordinaten von PKS 0528+134, Crab und Geminga sind in Tabelle 5.1 aufgelistet. Die Koordinaten wurden dem 2. EGRET-Katalog entnommen, der die von EGRET entdeckten Gammaquellen enthält (Thompson et al. 1995). Neben den Koordinaten sind auch die EGRET-Bezeichnungen der drei Quellen angegeben.

Tabelle 5.1: EGRET-Namen und galaktische Koordinaten von PKS 0528+134, Crab und Geminga

Quelle	EGRET-Name	l/°	b/°
PKS 0528+134	2EG J0531+1324	191.37	-11.01
Crab	2EG J0534+2158	184.56	-5.78
Geminga	2EG J0633+1745	195.13	4.27

5.2 Datenmaterial

Der Ausgangspunkt für die Variabilitätsuntersuchungen waren Photonenzählratenkarten. Die benutzten Karten umfassen einen Himmelsauschnitt von 60° x 60°. Diese Größe des Kartenausschnittes ist durch das Gesichtsfeld des EGRET-Teleskops bestimmt.
Neben den Photonenkarten wurden als zweite wichtige Eingabegröße die Belichtungskarten (*engl.* exposure map) verwendet. Diese Karten beinhalten sowohl

die Belichtungszeit als auch die unterschiedliche Nachweisempfindlichkeit von EGRET in Abhängigkeit von der Blickrichtung des Instruments. In gewissem Sinne kann man die Belichtungskarten des EGRET-Instruments mit Flatfieldaufnahmen bei der Reduktion von optischen Daten vergleichen. In beiden Fällen gehen instrumentelle Größen wie zum Beispiel Nachweisempfindlichkeiten in Abhängigkeit vom Ort der Detektion im Instrument ein.
Alle Untersuchungen wurden im EGRET-Energiebereich E > 100 MeV durchgeführt. Dieser Energiebereich ist am günstigsten bezüglich der Photonenausbeute in den betrachteten kurzen Zeitintervallen. Außerdem bleiben damit auch die sehr breiten Punktverbreiterungsfunktionen bei kleineren Energien unberücksichtigt.
Ein Beispiel für eine geglättete Photonenkarte und eine Belichtungskarte ist in den Abbildungen 5.1 und 5.2 zu sehen.

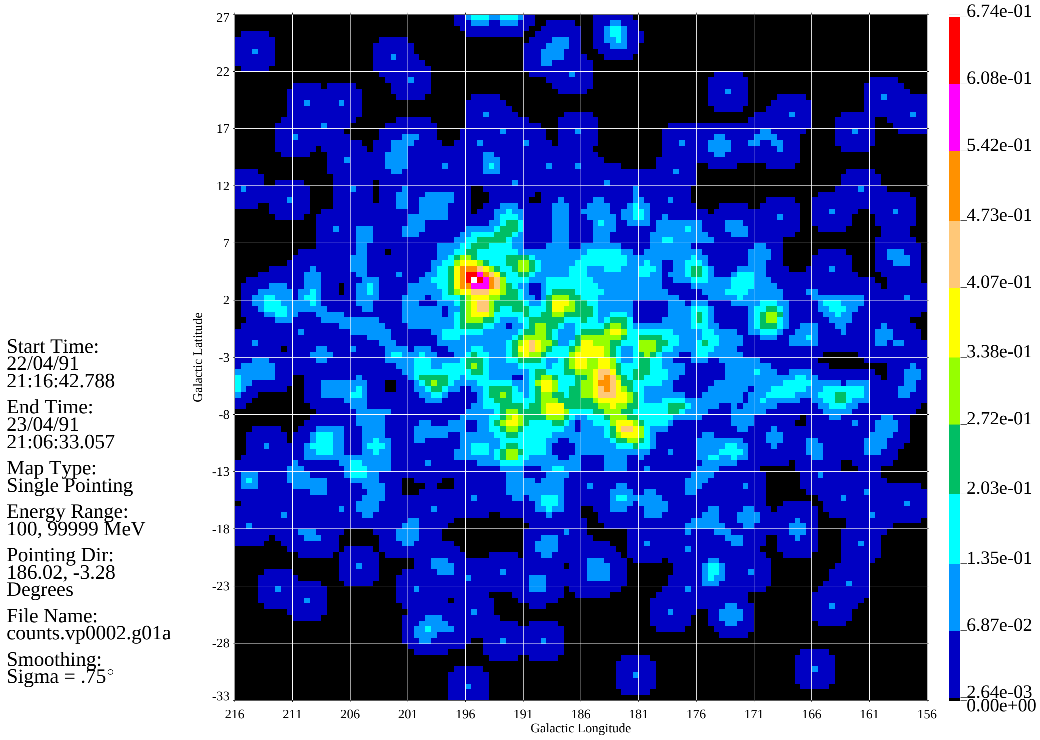


Abbildung 5.1: Beobachtungsperiode 0.2 : geglättete Photonenzählratenkarte für das Zeitintervall vom 22.04.-23.04.1991

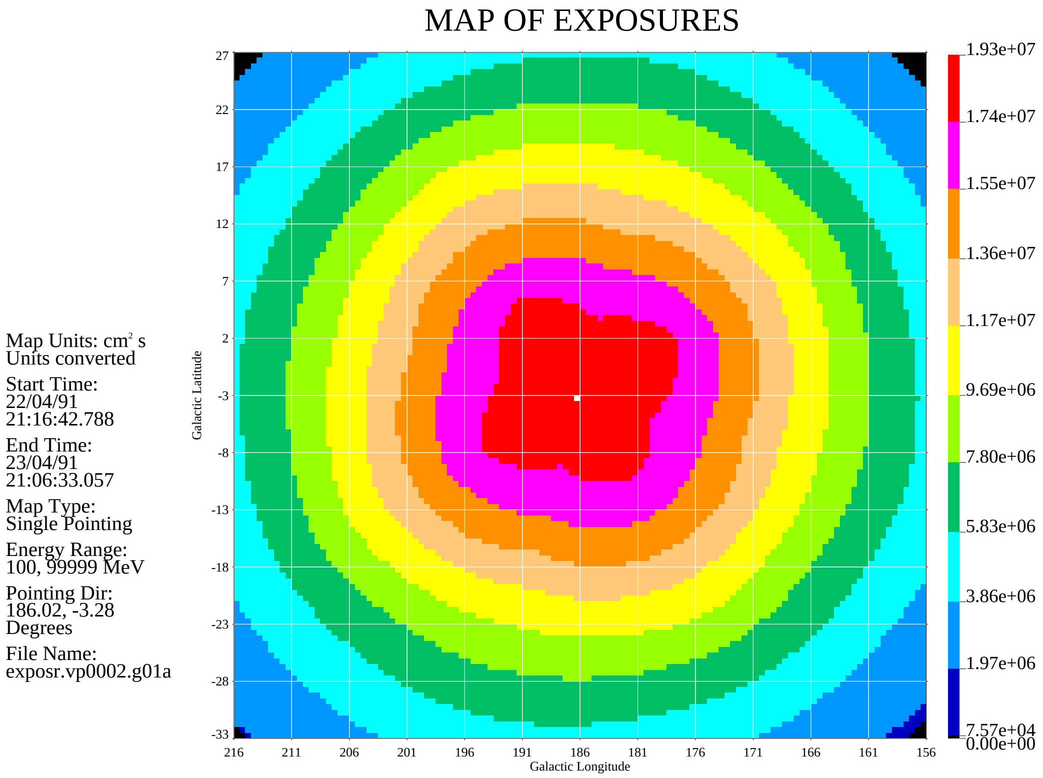


Abbildung 5.2: Beobachtungsperiode 0.2 : Belichtungskarte für das Zeitintervall vom 22.04.-23.04.1991

5.3 Beobachtungsperioden und Zeitintervalle

Das untersuchte Datenmaterial umfaßt einen Zeitraum von April 1991 bis August 1996. Dabei wurden die Quellen weder kontinuierlich noch in festen Zeitabständen beobachtet. Die Datenaufnahme erfolgte in einzelnen Beobachtungsperioden, die unterschiedliche zeitliche Dauer hatten. Das kürzeste Zeitintervall umfaßte nur zwei Tage, das längste Beobachtungsintervall hatte eine Länge von 20 Tagen.

Während einer gesamten Beobachtungsperiode ist das EGRET-Instrument in eine vorgegebene Richtung ausgerichtet. Man erhält also Belichtungszeiten von 2 bis 20 Tagen, je nach Länge der Beobachtungsperiode. Der Grund für diese langen Belichtungszeiten ist, wie vorne bereits erwähnt, die sehr geringe Photonenausbeute im Gammabereich.

Von 1991 bis 1996 wurden PKS 0528+134, Crab und Geminga in insgesamt 16 Beobachtungsperioden betrachtet. Um die angestrebte Untersuchung der Quellen auf Kurzzeitvariabilität durchführen zu können, wurden die einzelnen Perioden in kürzere Zeitintervalle aufgeteilt. Von allen 16 Perioden wurden Karten angelegt, die einen Zeitraum von einem Tag umfassen. Bei acht von diesen 16 Perioden wurden zusätzlich Zweitageskarten analysiert.

Die Aufteilung von einigen Perioden in Ein- und Zweitagesintervalle erfolgte,

um durch Vergleich der erhaltenen Lichtkurven die Auswirkung der Photonenstatistik abschätzen zu können. Die Zweitageskarten enthalten eine größere Anzahl von nachgewiesenen Photonen. Die Fehler in der Flußwertbestimmung sollten deshalb kleiner sein. Andererseits haben die Zweitageskarten gegenüber den Eintageskarten den Nachteil schlechterer zeitlicher Auflösung.
Einen Überblick über die einzelnen untersuchten Beobachtungsperioden gibt die nachfolgende Tabelle. Sie enthält die Nummer der EGRET-Beobachtungsperiode, den Zeitraum der entsprechenden Periode und Angaben über die Aufspaltung in Zweitageskarten.

Tabelle 5.2: Die 16 untersuchten EGRET-Beobachtungsperioden

Beobachtungsperiode	Zeitraum	Zweitageskarten
0.2	22.04. - 28.04.1991	ja
1.0	16.05. - 30.05.1991	ja
2.1	08.06. - 15.06.1991	ja
213.0	23.03. - 29.03.1993	nein
310.0	01.12. - 13.12.1993	ja
321.1	08.02. - 15.02.1994	ja
321.5	15.02. - 17.02.1994	ja
337.0	09.08. - 29.08.1994	ja
412.0	28.02. - 07.03.1995	ja
419.1	04.04. - 11.04.1995	nein
420.0	23.05. - 06.06.1995	nein
426.0	08.08. - 21.08.1995	nein
502.0	17.10. - 31.10.1995	nein
526.0	30.07. - 13.08.1996	nein
527.0	13.08. - 20.08.1996	nein
528.0	20.08. - 27.08.1996	nein

5.4 Erstellung der Gamma-Lichtkurven

Zur Analyse der Ein- und Zweitageskarten wurde die Methode der Maximum Likelihood verwendet. Diese Methode wurde angewandt, um die Flußwerte von PKS 0528+134, Crab und Geminga zu bestimmen. Neben den Flußwerten wurden die Positionen der Quellen ermittelt und die Hintergrund-Anpassungsparameter g_m und g_b bestimmt. Mit einem Likelihood-Quotienten-Test wurde die Signifikanz der Quelldetektion bestimmt.
Die Analyse der Daten wurde mit Hilfe des Fortran -Programms `LIKE` durchgeführt. Dieses Programm wurde von J. R. Mattox und J. A. Esposito entwickelt. In der vorliegenden Arbeit wurde es in der Version 5.20 verwendet.

Um die Funktionsweise dieses Programms zu verdeutlichen, sollen im folgenden die einzelnen Programmschritte erläutert werden, die der Anwendung einzelner `LIKE`-Befehle entsprechen:

- Einlesen der Ein- oder Zweitageskarte, die untersucht werden soll. `LIKE` sucht sich automatisch die zur eingelesenen Photonenkarte gehörende Belichtungskarte und die entsprechende Gammahintergrundkarte.

- Einlesen bereits bekannter EGRET-Quellen aus einem Katalog. Eingelesen werden alle Quellen, die innerhalb des Himmelsausschnittes der Photonenkarte liegen. In Tabelle 5.3 sind alle Katologquellen aufgelistet, die in mindestens einer der 16 Beobachtungsperioden eingelesen wurden. Es wurde nicht immer die gleiche Anzahl von Katalogquellen eingelesen, weil je nach unterschiedlicher Blickrichtung manche Quellen innerhalb oder außerhalb des EGRET-Gesichtfeldes lagen. Die Zahl der eingelesenen Katalogquellen einschließlich PKS 0528+134, Crab und Geminga schwankte zwischen 20 und 28 Quellen in den verschiedenen Perioden. Der Katalog enthält folgende Angaben:
  - EGRET-Position der Quellen
  - über alle vorhandenen Beobachtungsperioden aufsummierte Anzahl der nachgewiesenen Photonen.
  - Spektralindex der Quellen
  - Aktivität: Angabe, ob die betreffende Katalogquelle bei der Likelihood-Analyse in Position und Flußbestimmung optimiert werden soll oder nicht.

- Die miteingelesene Photonenzahl der Katalogquellen wird als Startwert für die Analyse auf null gesetzt.

- Optimierung der Hintergrund-Anpassungsparameter g_m, g_b und der Photonenzahl, Ermittelung von Flußwerten und 1σ-Fehlern der Flußwerte.

- Suche nach möglichen weiteren Quellen, die im Katalog nicht enthalten sind. Anlegen von Karten, welche die mit Hilfe des Likelihood-Quotienten-Tests ermittelten Teststatistikwerte für jedes Pixel enthalten.

- Positionsoptimierung, Berechnung des maximalen Teststatistikwertes für jede Quelle. Die Position mit dem höchsten Wert ist die gesuchte optimierte Quellposition.

- Fehleranalyse für die Positionsbestimmung, Berechnung von 68%- und 95%-Fehlerkreisen um die ermittelte optimierte Position.

- Ausgabe der Ergebnisse in Tabellenform. Die wichtigsten Größen sind Flußwerte und ihre 1σ-Fehler, Positionen und die Teststatistikwerte.

Die neben den drei zu untersuchenden Quellen eingelesenen Katalogquellen waren alle schwächer als PKS 0528+134, Crab und Geminga. Die Signifikanz

Tabelle 5.3: Katalogquellen, die in mindestens einer der 16 Beobachtungsperioden eingelesen wurden. Die Tabelle enthält die Namen der EGRET-Quellen und ihre Positionen in galaktischer Länge l und Breite b in Grad.

EGRET-Name	l/°	b/°
EG J0353+4804	151.45	-4.47
2EG J0511+5523	154.40	9.35
2EG J0403+3357	162.40	-13.79
EG J0534+4746	162.82	8.13
EG J0451+3253	170.14	-7.15
2EG J0432+2910	170.34	-12.68
2EG J0506+3424	170.85	-3.79
2EG J0545+3943	170.79	5.65
EG J0429+2618	172.07	-15.11
2EG J0406+1704	175.61	-25.23
2EG J0520+2626	179.04	-6.07
2EG J0521+2206	182.87	-8.18
2EG J0422+1414	180.65	-24.26
2EG J0514+2328	181.22	-8.91
EG J0542+2542	182.37	-2.30
2EG J0437+1524	182.10	-20.68
2EG J0534+2158	184.56	-5.78
EG J0531+1801	187.55	-8.55
2EG J0450+1122	187.58	-20.49
2EG J0618+2234	189.13	3.19
2EG J0531+1324	191.37	-11.01
2EG J0633+1745	195.13	4.27
2EG J0458-0122	200.53	-25.53
2EG J0737+1725	202.09	17.91
EG J0557+0404	203.00	-10.10
EG J0645+0736	205.53	2.25
2EG J0635+0521	206.17	-0.99
2EG J0617-0652	215.27	-10.62
EG J0552-1026	215.78	17.78
EG J0457-2321	223.72	34.68
2EG J0812-0648	228.64	14.55

des Quellnachweises, also die Wurzel aus dem ermittelten Teststatistikwert, war aber bei allen Katalogquellen in mindestens einem Eintagesintervall größer als eins. Ist der Signifikanzwert einer Quelle größer als eins, wird von der Detektion der Quelle ausgegangen, ist er kleiner, gilt der Quellnachweis als unsicher und es werden in den Lichtkurven nur obere Grenzen dargestellt.

5.4.1 Freie Hintergrundparameter und festgehaltene Quellpositionen

Alle 16 Beobachtungsperioden wurden unter Anwendung des oben beschriebenen Verfahrens analysiert. Zur praktischen Durchführung wurde ein Skript verwendet, welches für jede Beobachtungsperiode alle Ein- oder Zweitageskarten nacheinander automatisch bearbeitete.
Die Positionen der eingelesenen Quellen, also auch die von PKS 0528+134, Crab und Geminga, wurden in der weiteren Analyse festgehalten. Es erfolgte also keine Positionsoptimierung dieser Quellen.

Zur Untersuchung von PKS 0528+134 auf Kurzzeitvariabilität und der beiden Pulsare als Referenzobjekte wurden Lichtkurven hergestellt. Zur Darstellung der Lichtkurven wurde das Softwarepaket MIDAS (Munich Image Data Analysis System) verwendet, welches bei der ESO (European Southern Observatory) entwickelt wurde. Deshalb wurden die Ergebnistabellen mit Hilfe eines selbstentwickelten C-Programmes in Tabellen im MIDAS-Format umgewandelt.
Als Gamma-Lichtkurve wurden die ermittelten Flußwerte der einzelnen Ein- oder Zweitagesintervalle für jede Beobachtungsperiode und Quelle gegen die Zeit aufgetragen. Der Fluß wurde in Einheiten von 10^{-8} Photonen cm^{-2} s^{-1} dargestellt, die Zeit in Julianischem Datum. Als Beispiel sind für alle drei Quellen die Lichtkurven aus der Beobachtungsperiode 528.0 dargestellt (Abbildungen 5.3, 5.4, 5.5).
In Abbildung 5.3 sind drei der sieben Flußwerte nur als obere Grenzen dargestellt. Die Darstellung oberer Grenzen wurde, wie vorne bereits erwähnt, gewählt, wenn die Signifikanz des Quellnachweises, also die Wurzel des Teststatistikwertes, einen Wert von 1.0 unterschreitet. Die oberen Grenzwerte sind gegeben durch den 95%-Vertrauensbereich des Flußwertes, sind also 2σ-Grenzwerte.
Bei PKS 0528+134 wurde in der dargestellten Periode 528.0 beim zweiten und beim letzten Flußwert in der Likelihood-Analyse eine negative Photonenzahl ermittelt. Dies ist bei schwachen Quellen eine Folge von statistischen Unsicherheiten, Fehlern in der Eichung der Instrumentenempfindlichkeit oder von Fehlern im diffusen Hintergrundmodell (Mattox et al., 1996). In diesen Fällen erhält man in der Likelihood-Analyse mit freien Hintergrundparametern als Fluß den Wert null ausgegeben mit der Angabe eines 1σ-Fehlers, der sich aber auf die negative Photonenzahl bezieht. Für die Darstellung der Lichtkurven wurde in diesen Fällen folgendes Vorgehen gewählt: Bei Signifikanzwerten < 1 wurde der obere 2σ-Grenzwert dargestellt. Aus dem oberen Grenzwert und den 1σ-Flußfehlern wurde ein Flußwert errechnet. Der 2σ-Grenzwert abzüglich

des doppelten 1σ-Flußfehlers ergab den in der Regel negativen Flußwert für die Darstellung der Lichtkurve. Neben der oberen Grenze wurde auch dieser Flußwert mit seinem 1σ-Fehlerbalken dargestellt. In der dargestellten Periode 528.0 liegen diese Werte so weit im Negativen, daß sie in der Abbildung 5.3 nicht enthalten sind, abgesehen vom oberen Ende des 1σ-Fehlerbalkens des letzten Datenpunktes, der ganz knapp über null liegt.
Dieses Verfahren wurde bei PKS 0528+134 in verschiedenen Beobachtungsperioden insgesamt bei 26 Eintagesintervallen angewandt. Bei den beiden anderen Quellen tauchte dieses Problem nicht auf.

Um ein Maß für die Variabilität einer Quelle zu erhalten oder eine Aussage über die zeitliche Konstanz von Flußwerten treffen zu können, wurde ein χ^2-Test durchgeführt. Der χ^2-Test gibt darüber Auskunft, ob die gemessene Verteilung der Flußwerte mit einer angenommenen Verteilung verträglich ist. Die hier angenommene Verteilung ist ein gewichteter konstanter Flußwert. Dazu wurde zunächst der gewichtete mittlere Fluß $\overline{F}$ für jede Beobachtungsperiode und jede der drei Quellen berechnet. Es gilt:

$$\overline{F} = \left[\sum_{i=1}^{N} \frac{F(i)}{\sigma^2(i)}\right] \left[\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{\sigma^2(i)}\right]^{-1} ,$$

wobei N die Zahl der Flußwerte $F(i)$ in der betrachteten Beobachtungsperiode ist und $\sigma(i)$ die Fehler der Flußwerte sind.

χ^2 ist gegeben durch:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{N} \left[\frac{F(i) - \overline{F}}{\sigma(i)}\right]^2$$

Für den Fall, daß nicht der Flußwert, sondern aufgrund des kleinen Teststatistikwertes ($\sqrt{(TS)} < 1$) nur eine obere Grenze für die Darstellung der Lichtkurve verwendet werden konnte, wurde folgendermaßen vorgegangen: War neben der oberen Grenze ein, wenn auch kleiner, Flußwert ermittelt worden, so ging dieser Flußwert mit seinem 1σ-Fehler in die χ^2-Berechnung ein. War ein Flußwert von null erhalten worden, ging der über die obere Grenze und den doppelten 1σ-Fehler ermittelte, in der Regel negative, neue Flußwert mit seinem Fehler in die χ^2-Berechnung ein.
Dieses Vorgehen bei Flußwerten von null ist etwas problematisch. Es stellte sich nämlich heraus, daß die neu ermittelten Flußwerte in einigen Fällen wegen eines in der Likelihood-Analyse als zu groß ermittelten 1σ-Fehlers zu weit im Negativen lagen. Dies ist im Abschnitt 6.2 näher beschrieben. Diese zu großen 1σ-Fehler und die zu großen negativen Flußwerte wirkten sich aber bei der χ^2-Berechnung nicht signifikant aus, da dabei die zu große Differenz von neu ermitteltem Flußwert und Flußmittelwert durch den zu großen 1σ-Fehler dividiert wird. Zum Vergleich wurden die χ^2-Werte noch auf eine andere Weise ermittelt.
Man benutzte in den Fällen, in denen man den Flußwert null erhalten hatte, diesen Wert als Flußwert, der in die χ^2-Berechnung einging. Als 1σ-Fehler

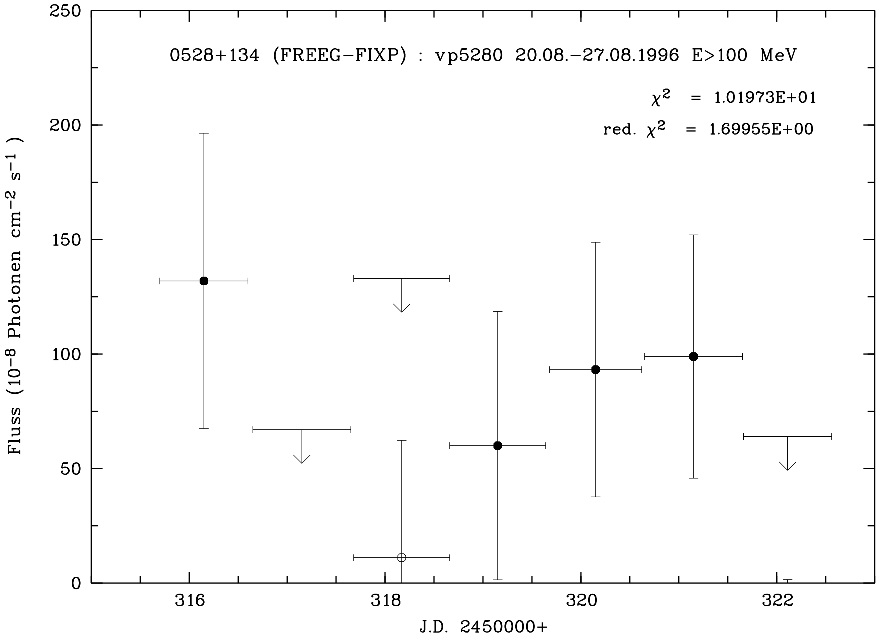


Abbildung 5.3: PKS 0528+134 in der Beobachtungsperiode 528.0 vom 20.08.-27.08.1996 im EGRET-Energiebereich von E>100 MeV. Analyse mit freien Hintergrundparametern g_b und g_m (FREEG) und festgehaltenen Quellpositionen (FIXP). Angegeben sind auch der χ^2-Wert und der reduzierte χ^2-Wert bei Annahme eines gewichteten zeitlich konstanten Flußmittelwerts. Aufgetragen ist der Fluß in 10^{-8} Photonen cm^{-2} s^{-1} gegen die Zeit in Julianischem Datum. Die senkrechten Fehlerbalken geben den 1σ-Fehler der Flußwerte an. Die waagrechten Balken geben die Länge des Zeitintervalls an, für das der dargestellte Flußwert ermittelt wurde. Die waagrechten Balken mit senkrechtem Pfeil nach unten geben obere Grenzen für den Flußwert an. Sie werden dann verwendet, wenn die Signifikanz des Quellnachweises (Wurzel des Teststatistikwertes) einen Wert von 1.0 unterschreitet. Zusätzlich zu diesen oberen Grenzen werden noch die ermittelten Flußwerte mit ihren Fehlern als offene Kreise dargestellt. Beim zweiten und letzten Datenpunkt liegen diese Flußwerte so weit im Negativen, daß sie hier nicht zu sehen sind. Diese Art der Darstellung gilt auch für alle nachfolgenden Lichtkurven.

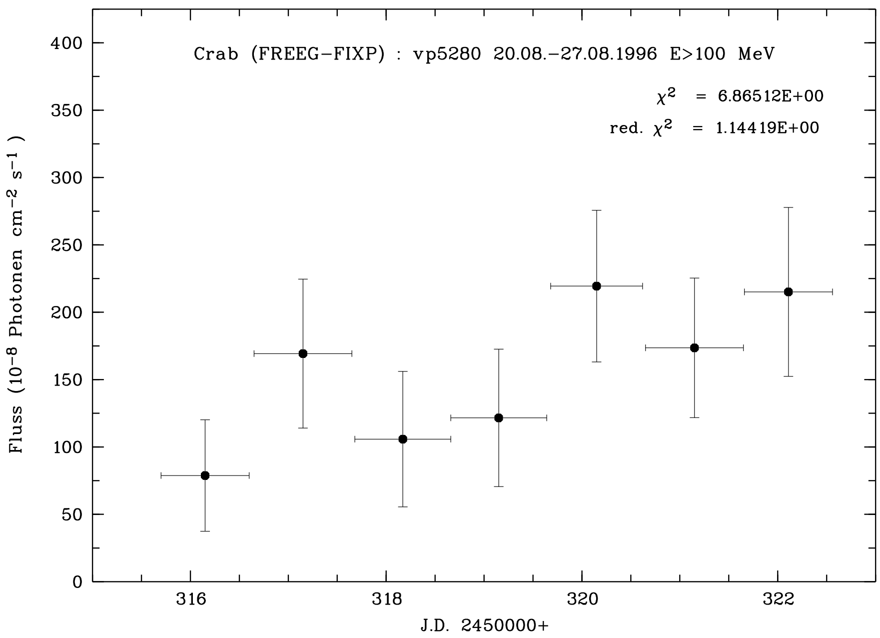


Abbildung 5.4: Crab in der Beobachtungsperiode 528.0

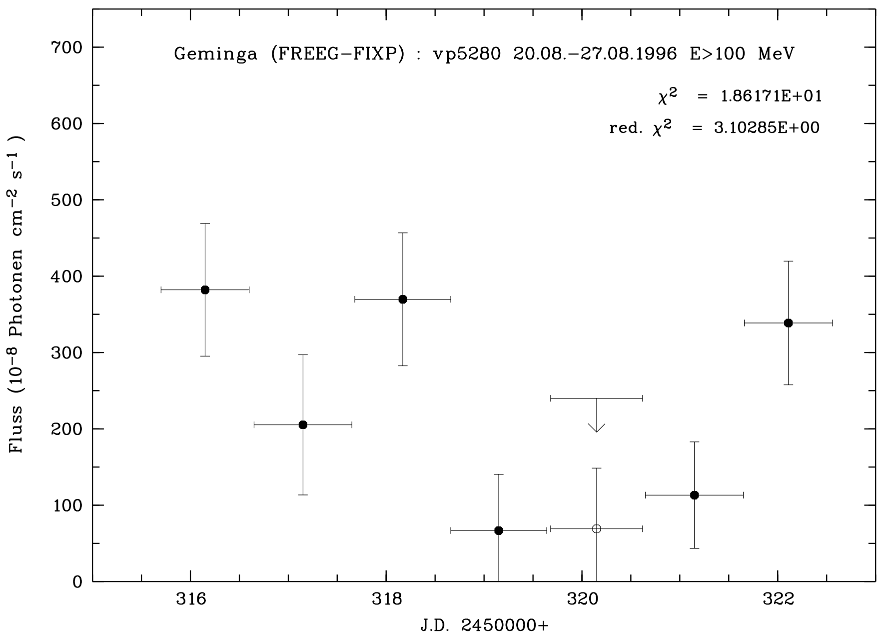


Abbildung 5.5: Geminga in der Beobachtungsperiode 528.0. Auffällig ist die starke Variation der Quelle und der hohe χ^2-Wert

wurde in diesen Fällen die Hälfte des 2σ-Wertes der oberen Grenze angesetzt. Dieses Verfahren ist auch nicht ideal, weil es keine statistisch um den Flußwert null schwankenden Werte zuläßt. Die auf diese Weise berechneten Werte zeigten keine signifikanten Unterschiede zu den Werten, die auf die vorherige Art ermittelt wurden.
Bei Crab und Geminga waren die ermittelten Flußwerte stets größer als null. Bei PKS 0528+134 trat in 26 Fällen ein Flußwert von null auf. Für die weitere Analyse wurde bei Flußwerten von null das erstgenannte Verfahren mit den neu berechneten Flußwerten beibehalten.

Der Wert von χ^2 ist ein Maß für die Übereinstimmung zwischen den gemessen Daten und der Annahme eines konstanten Flußmittels. Ist die Übereinstimmung gut, ist χ^2 von der Größenordnung N. Ist die Übereinstimmung jedoch schlecht, so ist χ^2 deutlich größer als N. χ^2-Werte, die sehr viel kleiner als N sind, müssen mit Vorsicht betrachtet werden, weil die beobachteten Verteilungen nur sehr selten optimal mit den erwarteten Verteilungen, hier einem konstanten Flußmittel, übereinstimmen.
Dies führt zum Begriff der Freiheitsgrade und zum reduzierten χ^2-Wert. Die Anzahl der Freiheitsgrade ν ist hier gegeben durch die Anzahl der Datenpunkte N abzüglich der Anzahl der Parameter p , die durch die vermutete Verteilung gegeben sind: $\nu = N - p$. Bei Annahme eines konstanten Flußmittels ist die Anzahl der durch die Verteilung gegebenen Parameter gerade eins, nämlich der konstante Flußwert selber. Wird als Verteilung ein konstanter Anstieg oder Abfall der Flußwerte angenommen, so wird diese Verteilung durch eine Gerade mit einer bestimmten Steigung b beschrieben: $y = a + bx$. Für $b \neq 0$ ist hier die Zahl der gegebenen Parameter gleich zwei, nämlich der y-Achsenabschnitt a und die Steigung b. Neben der Annahme eines gewichteten konstanten Flußmittels wurde auch ein χ^2-Test unter Annahme eines linearen Anstiegs oder Abfalls der Flußwerte durchgeführt. Die reduzierten χ^2-Werte sind in den Ergebnistabellen in Anhang B für alle Beobachtungsperioden aufgeführt.
Der reduzierte χ^2-Wert ist gegeben durch den Quotienten aus dem χ^2-Wert und der Anzahl der Freiheitsgrade. Erhält man ein reduziertes χ^2 von der Größenordnung eins, gibt es keinen Grund, daran zu zweifeln, daß die Datenpunkte mit der angenommenen Verteilung übereinstimmen. Ist der Wert jedoch deutlich größer als eins, ist es unwahrscheinlich, daß die angenommene Verteilung richtig ist. Deutlich größer bedeutet bei Annahme eines 95%-Vertrauensbereichs zum Beispiel bei fünf Freiheitsgraden, daß der reduzierte χ^2-Wert χ^2_r kleiner als 2.22 sein muß, um von der Übereinstimmung der gemessenen mit der angenommenen Verteilung ausgehen zu können. Bei 10 Freiheitsgraden beträgt der entsprechende Wert $\chi^2_r = 1.83$, bei 20 Freiheitsgraden muß χ^2_r kleiner als 1.57 sein.
Bei PKS 0528+134 ging in die χ^2-Berechnung bei den 26 Eintagesintervallen, bei denen für den Fluß in der Likelihood-Analyse der Wert null ermittelt wurde, der errechnete, in der Regel negative Flußwert mit seinem 1σ-Fehler ein.
Die Werte von χ^2 und reduziertem χ^2 wurden für alle Quellen für jede Beobachtungsperiode berechnet. Die beiden Werte werden bei den einzelnen Lichtkurven jeweils mitangegeben.

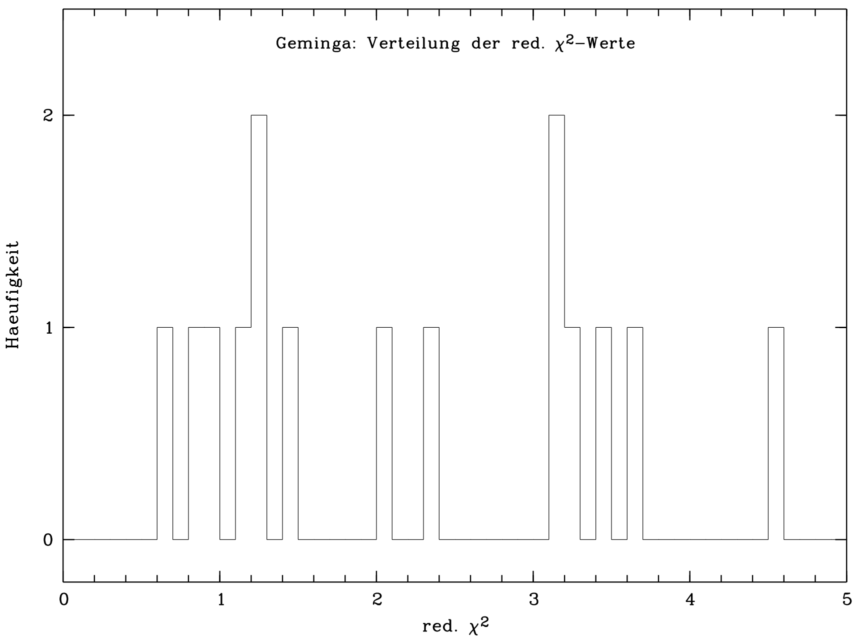


Abbildung 5.6: Verteilung der reduzierten χ^2-Werte aller Beobachtungsperioden von Geminga. Die reduzierten χ^2-Werte wurden jeweils für die Eintagesintervall-Lichtkurven berechnet.

Die Lichtkurven von Geminga zeigten in einigen Beobachtungsperioden starke Variabilität. Die Verteilung der reduzierten χ^2-Werte aller Beobachtungsperioden ist in Abbildung 5.6 dargestellt. Dabei sind die Perioden 321.1 und 321.5 zu einer Periode zusammengefaßt worden, weil Periode 321.5 zeitlich direkt auf Periode 321.1 folgt und nur zwei Flußwerte enthält. Sechs Beobachtungsperioden hatten einen reduzierten χ^2-Wert, der größer als drei war. Dies ist mit einer Wahrscheinlichkeit von 99.9% nicht mit der Annahme eines konstanten Flußwertes verträglich. Ein Beispiel für die variablen Flußwerte von Geminga zeigt Abbildung 5.5. Die hohen reduzierten χ^2-Werte waren sehr überraschend und bedurften einer genaueren Untersuchung.

Eine weitere Betrachtung der Likelihood-Ergebnistabellen ergab folgendes Bild: Neben der als Geminga identifizierten Quelle, die in der Regel einen deutlich geringeren Fluß als gewöhnlich aufwies, befanden sich in den auffälligen Beobachtungsperioden im Abstand von einigen Bogenminuten weitere neu gefundene Quellen. Diese in der Likelihood-Analyse neu entdeckten Quellen waren von der Größe ihrer Flußwerte her mit den normalerweise beobachteten Geminga-Flüssen vergleichbar. Dies ließ nur eine Erklärung zu, nämlich daß es sich bei den scheinbaren Doppelquellen in Wirklichkeit um eine einzige Quelle, um Geminga, handelte. Andernfalls hätten in früheren Analysen, welche die gesamten Beobachtungsperioden als ein Intervall untersuchten, aufgrund der daraus resultierenden besseren Photonenstatistik bereits zwei getrennte, sehr

helle Quellen nachgewiesen werden müssen.
Das Problem liegt in der Likelihood-Analyse begründet. In den Fällen von scheinbarer Doppelquellendetektion geschah folgendes: Im Programmschritt, der die Quellphotonenzahl ermittelte, wurde für die Quelle fälschlicherweise eine sehr kleine Photonenzahl ermittelt. Bei der Suche nach neuen Quellen wird eine Karte erstellt, welche die Teststatistikwerte enthält. Um neue Quellen anhand der Teststatistikwerte identifizieren zu können, werden alle bereits bekannten Katalogquellen als Hintergrundbeiträge und nicht mehr als Quellen betrachtet. Unter Zuhilfenahme dieser künstlich geschaffenen Hintergrundkarte wird nun eine Teststatistikkarte erstellt, die eventuelle neue Quellen durch entsprechend große Teststatistikwerte anzeigt. Da die ursprüngliche Quelle aber aufgrund der falschen, zu kleinen Photonenzahl nicht richtig in den Hintergrund gesetzt wurde, wird nun an dieser Position wegen der tatsächlich viel höheren Photonenzahl ein hoher Teststatistikwert ermittelt, der als Anzeichen für eine neue Quelle interpretiert wird. Man erhält also zwei Flußwerte, zum einen den unkorrekten Flußwert aus dem Programmschritt, der die falsche Photonenzahl ermittelte, zum anderen den Flußwert an der Position der fälschlicherweise neu entdeckten Quelle. Die Katalogposition und die ermittelte Position der scheinbar neuen Quelle unterscheiden sich aufgrund statistischer Unsicherheiten um einige Bogenminuten.
Das Problem der scheinbaren Doppelquellendetektion trat vor allem bei Geminga auf. Es wurden in insgesamt sieben Beobachtungsperioden Doppelquellen identifiziert. Eine Überprüfung von Crab ergab für die Beobachtungsperiode 2.1 eine und für Periode 526.0 drei Doppelquellendetektionen. Dabei waren die Positionen der Quellen, die neben den Katalogpositionen erhalten wurden, statistisch verteilt. Es gab keine ausgezeichnete Position und auch keine bevorzugte Richtung. Bei PKS 0528+134 als schwächster der drei Quellen trat das Problem nicht auf. Um das Problem zu beheben, mußte eine veränderte Likelihood-Analysemethode angewandt werden. Dies wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

5.4.2 Freie Hintergrundparameter und freie Quellpositionen

Um die scheinbare Doppelquellendetektion zu vermeiden, wurde nun nicht mehr mit festgehaltenen Quellpositionen gearbeitet. Die drei Quellen PKS 0528+134, Crab und Geminga wurden mit ihren bekannten Positionen eingegeben. Auf ein Einlesen von bekannten Katalogquellen wurde verzichtet, da alle für die Analyse relevanten sonstigen Quellen im Programmschritt, der nach eventuellen weiteren Quellen sucht, gefunden und berücksichtigt wurden. Die Quellpositionen von PKS 0528+134, Crab und Geminga wurden anders als bei der vorigen Analysemethode jetzt zur Positionsoptimierung freigegeben. Die nachfolgenden Schritte wurden nicht verändert. Die Hintergrundparameter und die Flußwerte wurden wiederum bestimmt und nach weiteren Quellen im betreffenden Kartenausschnitt gesucht. Die Likelihood-Positionsoptimierung erfolgte jetzt für alle Quellen.
Die früher vorkommenden scheinbaren Doppelquellennachweise traten bis auf wenige Ausnahmen nicht mehr auf. Die Ausnahmen waren vier Doppelquellen-

detektionen bei Geminga, zwei in Beobachtungsperiode 337.0 und je eine in den Perioden 426.0 und 526.0, sowie eine Doppelquellendetektion bei Crab in der Periode 502.0. Diese fünf Doppelquellendetektionen traten bis auf eine Ausnahme in anderen Eintagesintervallen auf als bei Analyse mit fester Position. Die Positionen der zusätzlichen zweiten Quellen bei dem einen Eintagesintervall in Periode 426.0, in dem in beiden Analysemethoden eine scheinbare Doppelquelle detektiert wurde, stimmten nicht überein. Die scheinbaren Doppelquellendetektionen waren wieder darauf zurückzuführen, daß die Quellphotonenzahlen in diesen Fällen als zu klein ermittelt worden waren.
In der Abbildung 5.7 ist die mit freier Position ermittelte Lichtkurve von Geminga in der Beobachtungsperiode 528.0 dargestellt. Im Vergleich zu Abbildung 5.5 mit fester Position erkennt man den nun deutlich veränderten Verlauf der Lichtkurve mit einem reduzierten χ^2-Wert von 0.54, was mit der Annahme einer zeitlich konstanten Quelle sehr gut verträglich ist. In Abbildung 5.5 waren die ersten sechs der sieben Datenpunkte durch Doppelquellendetektion verfälscht.
In den Abbildungen 5.8 und 5.9 ist Crab in der Beobachtungsperiode 526.0 einmal mit festgehaltener und einmal mit freier Position dargestellt. Für drei der 14 Datenpunkte waren hier bei fester Position die Flußwerte falsch ermittelt worden. Auch hier sieht man den deutlich glatteren Verlauf der Lichtkurve, welche mit freier Position erhalten wurde.
Wie bei der Analyse mit fester Position erhielt man bei PKS 0528+134 in insgesamt 27 Eintagesintervallen einen Flußwert von null aufgrund einer in der Likelihood-Analyse erhaltenen negativen Photonenzahl. Für diese Eintagesintervalle wurden bei der χ^2-Berechnung wieder die aus oberen Grenzen und den 1σ-Fehlern errechneten Flußwerte herangezogen.

Durch das hier beschriebene Analyseverfahren konnte der scheinbare Nachweis von Doppelquellen an Positionen, an denen sich nur eine Quelle befindet, fast vollständig vermieden werden. Bei diesem Verfahren wirkte sich aber ein anderer Effekt als störend aus.
Bei der Positionsoptimierung für PKS 0528+134, Crab und Geminga kam es zum wiederholten Male vor, daß die wahre Position der Quelle nicht gefunden wurde. Dies geschah bei schwachen Quellen besonders häufig, also besonders bei PKS 0528+134, deren Intensität deutlich geringer ist als die von Crab und Geminga. Wenn in einzelnen Ein- oder Zweitageskarten die Quelle besonders schwach war, konnte sie bei der Suche nach der optimalen Position nicht gefunden werden. Bei der Suche nach der maximalen Teststatistik wanderte die Position von der eigentlichen immer weiter weg und kam an einer beliebigen Stelle, an der sich eine stärkere andere Quelle befand, zum Halten. Die Abweichung von der eigentlichen Position, für deren Lage die Katalogposition ein guter Anhaltspunkt ist, betrug in solchen Fällen in der Regel mehrere Grad. Es war also davon auszugehen, daß es sich bei der dort detektierten Quelle nicht mehr um die eigentlich zu untersuchende Quelle handelte.
Um diese starken Abweichungen von der wahren Position feststellen zu können, wurde die Positionsdifferenz γ der ermittelten Position von der bekannten Katalogposition berechnet. Dies geschah nach folgender Formel (sphärische Tri-

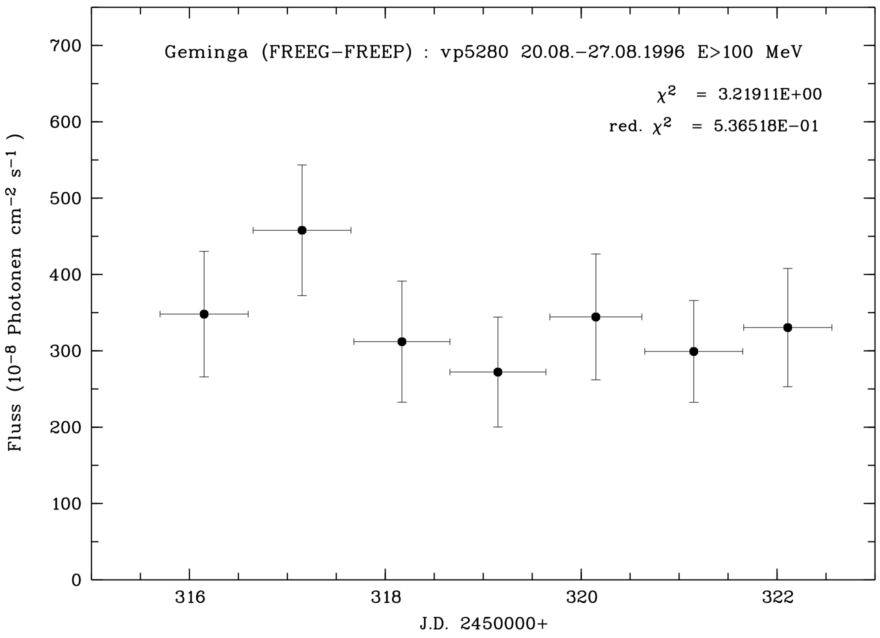


Abbildung 5.7: Geminga während der Beobachtungsperiode 528.0, Analyse mit freien Hintergrundparametern (FREEG) und freier Quellposition (FREEP). Im Vergleich zum Ergebnis für festgehaltene, nicht optimierte Quellposition (Abbildung 5.5) ist der reduzierte χ^2-Wert sehr niedrig und mit der Annahme eines zeitlich konstanten Flußes verträglich.

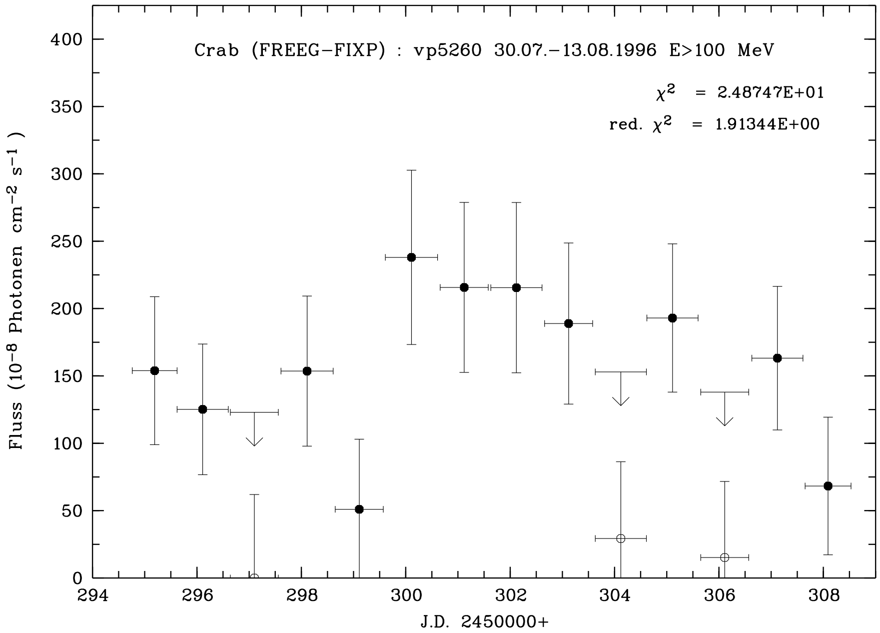


Abbildung 5.8: Crab während der Beobachtungsperiode 526.0 mit festgehaltener Quellposition. Die drei als oberen Grenzen dargestellten Datenpunkte wurden als Doppelquellen detektiert.

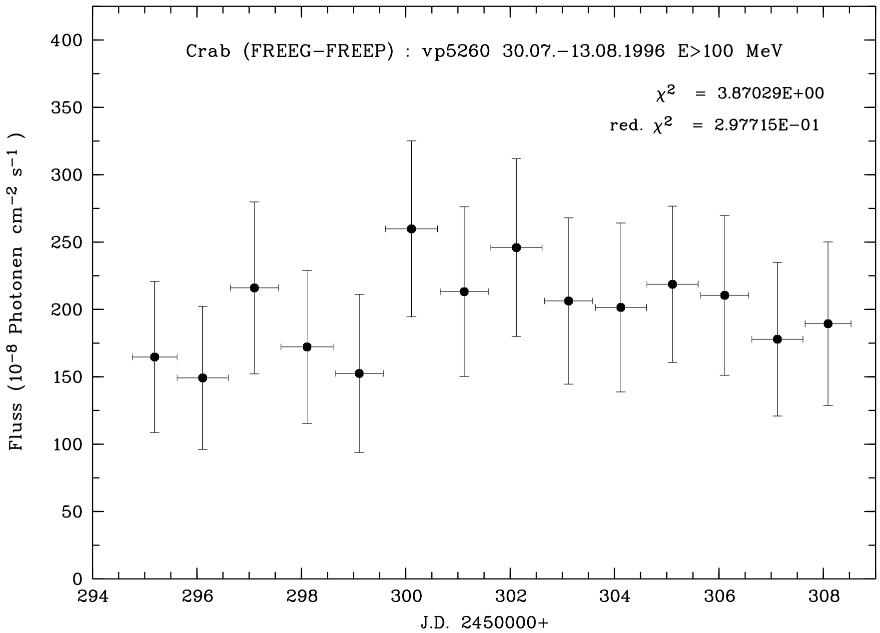


Abbildung 5.9: Crab während der Beobachtungsperiode 526.0 mit freier Quellposition. Auch hier kann wie in Abbildung 5.7 eine zeitliche Konstanz der Quelle angenommen werden.

gonometrie):

$$\cos\gamma = \cos\delta_1 \cos\delta_2 \cos(\alpha_1 - \alpha_2) + \sin\delta_1 \sin\delta_2,$$

wobei α_1, α_2, δ_1 und δ_2 die Rektaszension und Deklination (beziehungsweise galaktische Länge und Breite) in Grad von ermittelter Position und Katalogposition sind. Nach Umrechnung der Positionsdifferenz γ in Bogenminuten konnte sie direkt mit den 95%-Fehlerkreisen aus der Likelihood-Positionsfehlerbestimmung verglichen werden.
Die Quellposition und die 68- und 95%-Fehlerkreise werden mit Hilfe der Likelihood-Methode ermittelt. Zur Positionsbestimmung wird der Logarithmus der Likelihood lnL für ein Gebiet von verschiedenen Versuchspositionen untersucht und aus den Werten eine Karte erstellt. Mit Hilfe des Likelihood-Quotienten-Tests werden die Teststatistikwerte ermittelt. Der Punkt mit dem größten Teststatistikwert ist die gesuchte Quellposition. Unter Anwendung von Wilks' Theorem (Wilks 1938) werden aus der Abnahme der Teststatistikwerte um die Quellposition die 68- und 95%-Fehlerkreise ermittelt.
Die 68- und 95%-Fehlerbereiche um die Quellposition sind zum Teil nicht kreisförmig. Die Gründe hierfür sind Fehler im galaktischen diffusen Strahlungsmodell, gegenseitige Beeinflussung von eng benachbarten Quellen und vor allem statistische Fluktuationen in den kurzen Zeitintervallen. Die Fehlerbereiche haben zum Teil eine elliptische Form, manche weichen noch stärker ab und haben sogar eine unregelmäßige Kontur (Thompson et al. 1995).
Die ermittelte Positionsdifferenz zwischen Quellposition und Katalogposition wurde mit den 95%-Fehlerkreisen verglichen. Wenn die ermittelte Positionsdifferenz größer war als der doppelte 95%-Fehlerkreis, wurde davon ausgegangen, daß es sich bei der detektierten Quelle nicht um die zu untersuchende Quelle handelte. Der Wert des 95%-Fehlerkreises wurde verdoppelt, um der tatsächlichen, unregelmäßigen Form des Fehlerbereichs Rechnung zu tragen und keine Quellen unberechtigterweise auszuschließen. War die Positionsdifferenz größer als der doppelte 95%-Fehlerkreis, wurden die Flußwerte bei der Erstellung der Lichtkurven, der Berechnung der χ^2-Werte und der weiteren Analyse nicht berücksichtigt. Bei PKS 0528+134 kam dies bei den Eintagesintervallen in vier Beobachtungsperioden jeweils einmal vor, in den Zweitagesintervallen in drei Perioden je einmal. Bei Crab und Geminga trat das Problem jeweils nur in einem Eintagesintervall auf.

Die Abbildungen 5.10 und 5.11 zeigen die Positionsabweichungen der drei Quellen bei Analyse mit freier Position. Dargestellt sind jeweils alle Eintagesintervall-Werte der Quellen, deren Positionsdifferenz nicht größer war als ihr doppelter 95%-Fehlerkreis. Die Abweichungen von der Katalogposition sind statistisch verteilt. Es gibt keine ausgezeichnete Richtung. Es fällt auf, daß die Streuung der Werte bei PKS 0528+134 betragsmäßig am größten und bei Geminga am kleinsten ist. Dies ist eine Folge der unterschiedlich hohen Photonenzahlen, die von den verschieden hellen Quellen erhalten werden. Je höher die Quellphotonenzahl ist, desto geringer sind die im Mittel erhaltenen Positionsdifferenzen zwischen Quell- und Katalogposition.

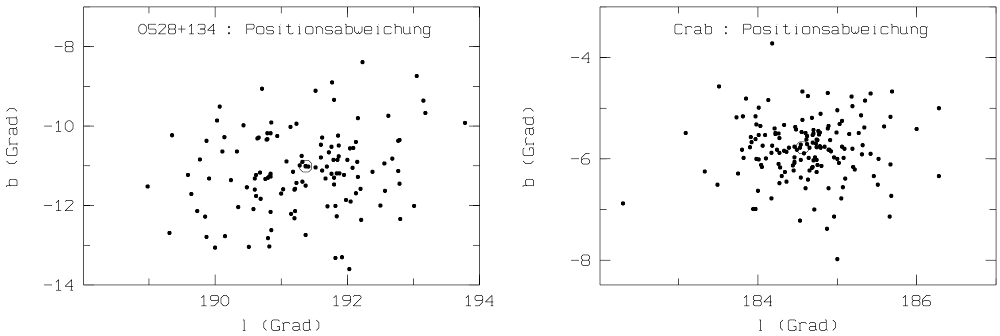


Abbildung 5.10: Positionsabweichungen von der Katalogposition; links: PKS 0528+134; rechts: Crab; der offene Kreis gibt die Katalogposition an. Aufgetragen ist die galaktische Länge l gegen die galaktische Breite b, jeweils in Grad.

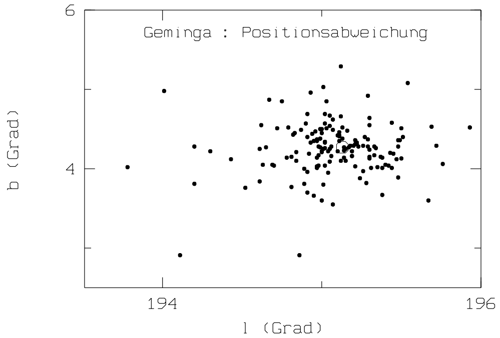


Abbildung 5.11: Positionsabweichung von Geminga

5.4.3 Weitere Analysemethoden

Eine wichtige Frage in der vorliegenden Arbeit ist die Frage danach, welche Likelihood-Analysemethode zur Untersuchung der Kurzzeitvariabilität am besten geeignet ist.
In den beiden bisher geschilderten Verfahren wurden die beiden Hintergrundparameter g_m und g_b für jedes Ein- oder Zweitagesintervall getrennt jeweils neu bestimmt. Um die Auswirkung dieser Größen auf die Bestimmung der Flußwerte besser abschätzen zu können, wurden nun weitere Analysemethoden angewandt.
Die Hintergrundparameter wurden jetzt für jeweils eine gesamte Beobachtungsperiode festgehalten. Der Wert der Parameter wurde aus der Analyse der gesamten Beobachtungsperiode bestimmt. Es wurden zunächst Photonen- und Belichtungskarten eingelesen, die eine ganze Beobachtungsperiode umfaßten. Die aus dieser Analyse gewonnen Hintergrundwerte dienten dann als Vorgabe für die Analyse der Ein- und Zweitageskarten.
Die Untersuchung mit den für jede Periode festgehaltenen Hintergrundparametern wurde zum einen wieder mit festgehaltenen Quellpositionen durchgeführt, zum anderen mit freien Positionen.

Feste Hintergrundparameter und feste Position

Der Ablauf der Analyse war nun anders als bei den vorigen Verfahren. Nach Einlesen der Photonen- und Belichtungskarten wurde jede der drei Quellen einzeln eingelesen und analysiert. Katalogquellen wurden bei diesem Analyseverfahren nicht eingelesen und auf die Suche nach eventuellen weiteren Quellen wurde verzichtet, da sich in den vorigen Analysen gezeigt hatte, daß keine weiteren Quellen von Bedeutung vorhanden waren.
Die Position der Quelle wurde bei der weiteren Analyse festgehalten. Die aus der vollen Beobachtungsperiode für jede Quelle getrennt ermittelten beiden Hintergrundparameter g_m und g_b wurden eingegeben und festgehalten. Anschließend wurden die Flußwerte und Fehler für die betreffende Quelle ermittelt.
Dieses Verfahren wurde für jede der 16 Beobachtungsperioden für jedes der Ein- oder Zweitagesintervalle durchgeführt. Aus den erhaltenen Flußwerten wurden wiederum Lichtkurven für alle Perioden erstellt und die χ^2-Werte unter Annahme eines konstanten Flußwertes berechnet.
Bei PKS 0528+134 kam es in sieben Beobachtungsperioden bei insgesamt 14 Eintages-Intervallen vor, daß in der Likelihood-Analyse keinerlei Werte ermittelt wurden. Bei festgehaltenen Werten von g_m und g_b ergab die Likelihood-Analyse für den einzigen freien Parameter, die Photonenzahl c_a, einen negativen Wert, was unter diesen Umständen dazu führte, daß das Likelihoodverfahren nicht konvergierte. Diese negativen Photonenzahlen waren wiederum eine Folge von statistischen Schwankungen oder Fehlern im Hintergrundmodell. Dieses Problem trat nur bei der schwachen Quelle PKS 0528+134 auf, nicht bei Crab und Geminga. Bei PKS 0528+134 trat es nur in Eintagesintervallen auf, die auch bei den vorigen Analysemethoden mit freien Hintergrundwerten als Fluß-

wert nur obere Grenzen hatten. Die betreffenden Eintagesintervalle wurden bei der χ^2-Berechnung nicht berücksichtigt.

Feste Hintergrundparameter und freie Position

Als vierte Methode wurde die Analyse mit festen Hintergrundparametern und freien Quellpositionen durchgeführt. Diese Methode wurde benutzt, um zu untersuchen, ob sich gegenüber der vorigen Methode durch eine Optimierung der Quellposition signifikante Unterschiede in den ermittelten Flußwerten ergeben. Der Ablauf ist mit dem oben geschilderten vergleichbar, nur wurde jetzt die Quellposition freigelassen und zusätzlich eine Positionsoptimierung für die einzelnen Quellen durchgeführt. Auch hier wurden für dieselben 14 Eintagesintervalle wie bei Analyse mit fester Position keine Likelihood-Ergebnisse ermittelt. Die Lichtkurven wurden wiederum erstellt und die χ^2-Werte ermittelt.

5.4.4 Vergleich der verschiedenen Likelihood-Analyseverfahren

Die verschiedenen Analysemethoden wurden miteinander verglichen, um festzustellen, ob sie konsistente Ergebnisse für die Flußwerte liefern oder ob sich die jeweils ermittelten Flußwerte signifikant unterscheiden. Außerdem sollte versucht werden, das am besten geeignete Verfahren zu ermitteln. Das am besten geeignete Analyseverfahren ist das Verfahren, das für die drei Quellen die kleinsten χ^2-Werte bei Annahme eines zeitlich konstanten Flußwertes liefert. Ein weiteres Kriterium bei der Auswahl der besten Analysemethode ist, wieviele Flußwerte bei den drei Quellen durch scheinbare Doppelquellendetektion, große Positionsdifferenz oder sonstige Probleme bei der Erstellung der Lichtkurven nicht berücksichtigt werden können. Die Analysemethode, bei der am meisten Flußwerte erhalten bleiben, ist am günstigsten.

In den Abbildungen 5.12 bis 5.15 werden die Lichtkurven von Geminga in der Beobachtungsperiode 526.0 für alle vier Analysearten dargestellt. Innerhalb der Fehler stimmt der Verlauf der Lichtkurven in allen vier Analysen sehr gut überein. Auch die χ^2-Werte sind von derselben Größenordnung. Bei freien Hintergrundparametern und freier Position (Abbildung 5.13) wurde der letzte Flußwert nicht berücksichtigt, weil hier für Geminga fälschlicherweise eine scheinbare Doppelquelle detektiert wurde.
Auch beim Vergleich der Analysemethoden in den anderen Beobachtungsperioden und bei den beiden anderen Quellen Crab und PKS 0528+134 kommt man zum gleichen Ergebnis. Die Lichtkurven stimmen auch dort innerhalb der Fehler gut überein.
Einige geringfügige Unterschiede, die aber alle innerhalb der Fehler nicht signifikant sind, findet man, wenn die beiden Lichtkurven mit festen Hintergrundwerten mit denen mit freien Hintergrundwerten verglichen werden. Dies sieht man auch in den Abbildungen 5.12 bis 5.15. Bei freien Hintergrundwerten weichen die letzten Flußwerte nur um ungefähr 2×10^{-7} Photonen $\mathrm{cm^{-2}s^{-1}}$ voneinander ab, bei festen Hintergrundwerten unterscheiden sich diese drei Werte um ungefähr 17×10^{-7} Photonen $\mathrm{cm^{-2}s^{-1}}$. Dies ist darauf zurückzuführen, daß

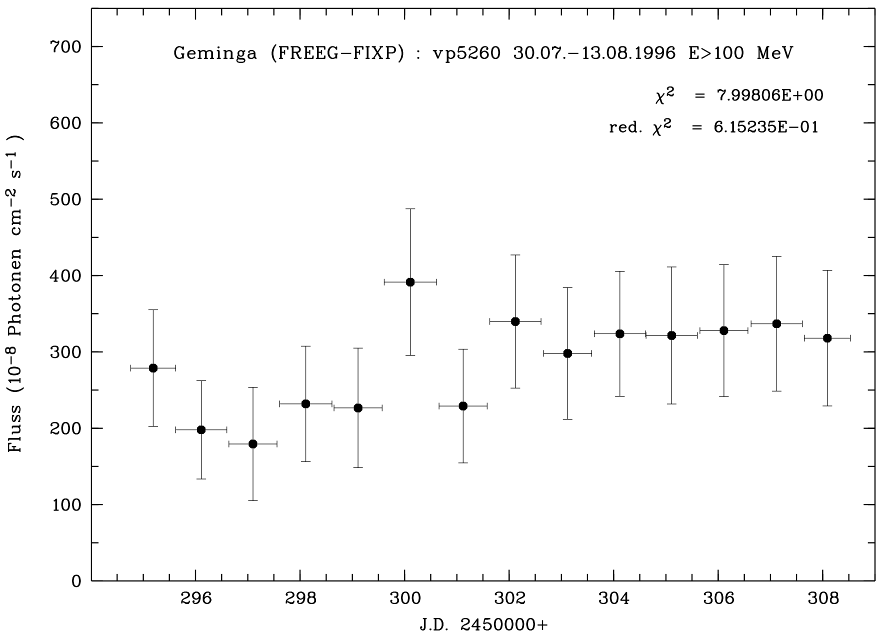


Abbildung 5.12: Geminga in der Beobachtungsperiode 526.0, freie Hintergrundparameter und feste Position

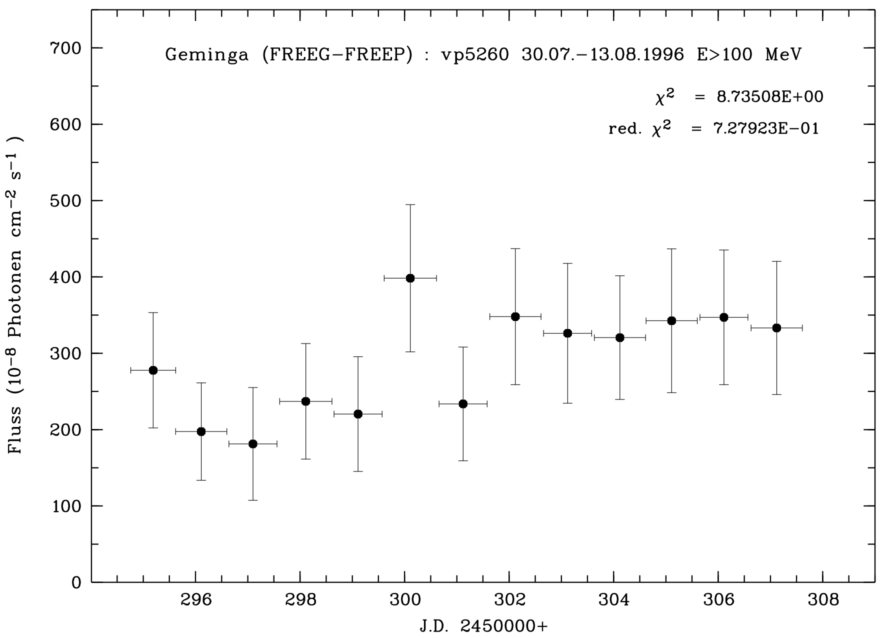


Abbildung 5.13: Geminga in der Beobachtungsperiode 526.0, freie Hintergrundparameter und freie Position

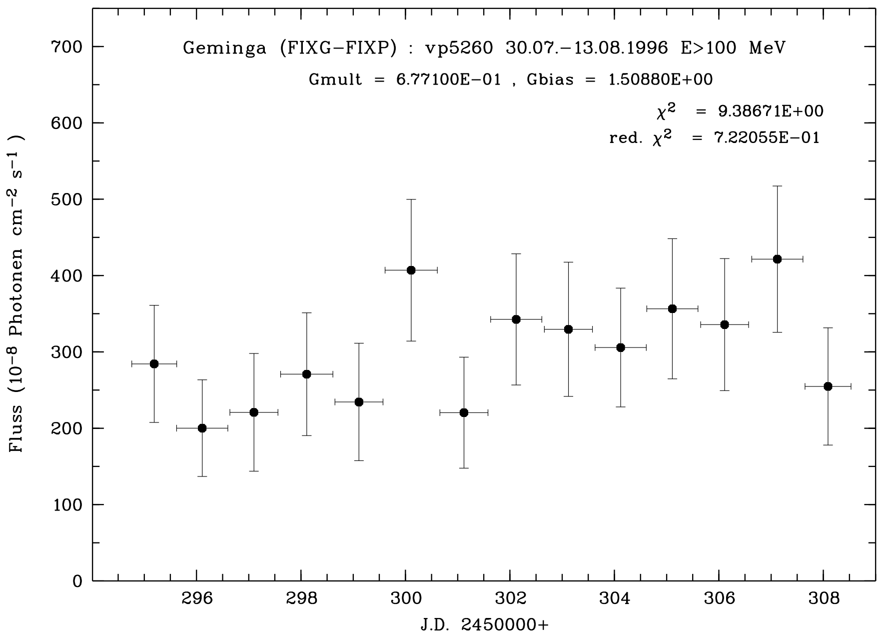


Abbildung 5.14: Geminga in der Beobachtungsperiode 526.0, feste Hintergrundparameter und feste Position

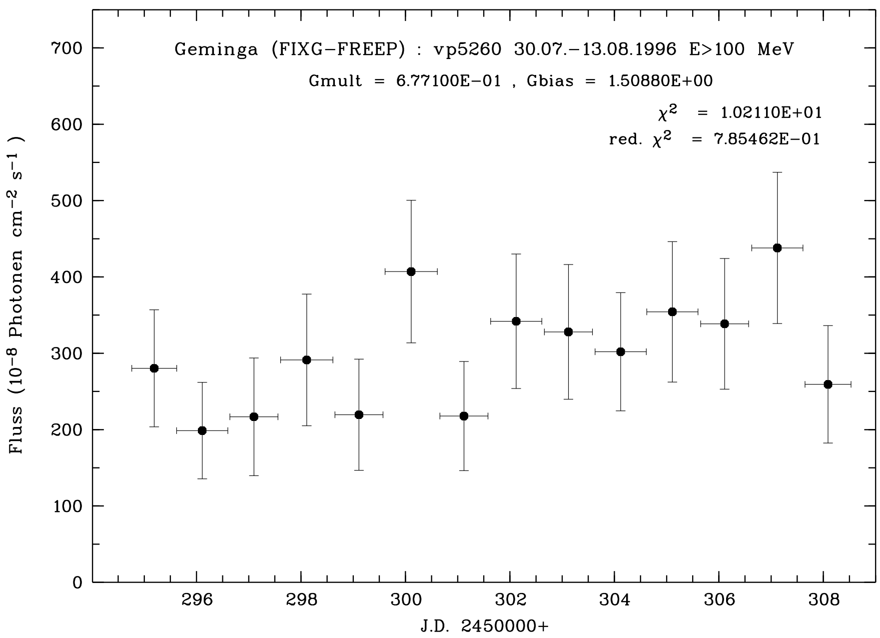


Abbildung 5.15: Geminga in der Beobachtungsperiode 526.0, feste Hintergrundparameter und freie Position

bei festen Hintergrundparametern aufgrund der nicht optimal auf die einzelnen Ein- oder Zweitageskarten angepaßten Werte von g_b und g_m leicht veränderte Flußwerte zustande kommen.
Durch direkten Vergleich der Lichtkurven konnte keine Aussage über die am besten geeignete Analysemethode gemacht werden. Deshalb wurden die reduzierten χ^2-Werte, die bei den verschiedenen Analysemethoden ermittelt wurden, einem Vergleich unterzogen.
Bei der Berechnung der reduzierten χ^2-Werte wurden die Beobachtungsperioden 321.1 und 321.5 zu der Periode 321.1+5 zusammengefaßt, da die Periode 321.5 nur zwei Flußwerte enthält und außerdem zeitlich direkt auf die Beobachtungsperiode 321.1 folgt. Für jede der drei Quellen und jede der vier Analysemethoden wurde eine Tabelle erstellt, welche die reduzierten χ^2-Werte aller 15 Beobachtungsperioden enthielt. Dabei wurden jeweils die χ^2-Werte der aus den Eintages-Intervallen ermittelten Lichtkurven betrachtet.
In jeder dieser Tabellen wurde nun der Mittelwert aus den reduzierten χ^2-Werten ermittelt. Bei der Quelle PKS 0528+134, von der angenommen wird, daß sie Variabilität zeigt, wurden nicht alle 15 Perioden bei der Mittelwertbildung berücksichtigt. Die Perioden 1.0, 528.0, 321.1+5 und 213.0 wurden weggelassen. Die drei erstgenannten Perioden zeigen erhöhte reduzierte χ^2-Werte von 1.49, 1.64 und 1.71 bei Analyse mit freien Hintergrundparametern und freier Position. Periode 213.0 zeigt um einen Faktor vier erhöhte Flußwerte gegenüber den anderen Beobachtungsperioden. Bei der Suche nach der am besten geeigneten Analysemethode wurden sie weggelassen, weil hierbei gerade nach den kleinsten reduzierten χ^2-Werten, also nach den zeitlich am wenigsten veränderlichen Flußwerten gesucht wurde. Bei den Pulsaren Crab und Geminga gingen alle 15 Perioden in die Untersuchung ein.
Die so erhaltenen Mittelwerte der reduzierten χ^2-Werte wurden zusammengefaßt und sind in der Tabelle 5.4 dargestellt. Die Tabelle ist nach zunehmenden reduzierten χ^2-Mittelwerten sortiert.
Die Ergebnisse aus Tabelle 5.4 können weiter zusammengefaßt werden. Für jede Analysemethode wird der Mittelwert der reduzierten χ^2-Werte der drei Quellen PKS 0528+134, Crab und Geminga gebildet. Man erhält also einen χ^2-Mittelwert für jede Analysemethode, dargestellt in Tabelle 5.5. Der Mittelwert der reduzierten χ^2-Werte ist für diejenige Analysemethode am niedrigsten, bei der die Hintergrund-Anpassungsparameter g_m und g_b für jede Eintages-Karte neu bestimmt und die Quellpositionen für eine nachfolgende Positionsoptimierung frei gelassen werden. Dies bedeutet, daß dieses Analyseverfahren, was die kleinsten χ^2-Werte betrifft, am besten dazu geeignet ist, Quellen auf Kurzzeitvariabilität im Gammabereich zu untersuchen.
Dieses Ergebnis ist auch verständlich. Die Ermittlung der Hintergrundparameter für jede Eintageskarte sorgt dafür, daß der Gammahintergrund jeweils optimal angepaßt ist. Die Optimierung der Position bewirkt, daß die Flußbestimmung an der Quellposition mit dem maximalen Teststatistikwert erfolgt und nicht etwa knapp daneben, was einen verringerten Flußwert zur Folge hätte.
Im folgenden wird der Einfluß des Hintergrundes auf die Flußwertbestimmung betrachtet. Anschließend werden alle Analysemethoden darauf untersucht, wieviele Flußwerte aus verschiedenen Gründen bei der Erstellung der Lichtkurven

Tabelle 5.4: Mittelwerte der reduzierten χ^2-Werte aus den einzelnen Perioden, dargestellt sind die drei Quellen jeweils in allen vier Analyseverfahren. Zusätzlich zum Mittelwert ist die Standardabweichung SA angegeben. Die mit Stern markierten Zeilen beinhalten die reduzierten χ^2-Mittelwerte für das Analyseverfahren mit freien Hintergrundparametern und freien Quellpositionen. Dieses Verfahren hat im Vergleich zu den anderen drei Analysemethoden die niedrigsten reduzierten χ^2-Mittelwerte

Objekt	Hintergrund/Position	Mittelwert	SA
PKS 0528+134	*frei/frei*	0.98	0.32
PKS 0528+134	fest/fest	1.02	0.34
PKS 0528+134	frei/fest	1.07	0.38
PKS 0528+134	fest/frei	1.17	0.45
Crab	*frei/frei*	1.18	0.45
Crab	fest/frei	1.23	0.52
Crab	fest/fest	1.28	0.53
Crab	frei/fest	1.30	0.40
Geminga	*frei/frei*	1.30	0.67
Geminga	fest/frei	1.42	0.61
Geminga	frei/fest	1.45	0.75
Geminga	fest/fest	1.46	0.72

nicht berücksichtigt werden können. Dies gibt Antwort auf die Frage, welche Analysemethode unter diesem Gesichtspunkt die günstigste ist.

5.4.5 Test auf Hintergrundeinflüsse

Der Einfluß des Gamma-Hintergrundes auf die Flußwertbestimmung wurde näher untersucht. In der Likelihood-Analyse muß der Beitrag des Hintergrundes abgezogen werden, um für die Quellen die richtigen Flußwerte zu erhalten. Um zu überprüfen, ob die Berücksichtigung des Hintergrundes korrekt erfolgte, wurden zwei speziell ausgesuchte Testpunkte analysiert.
Die Position der beiden Testpunkte wurde so gewählt, daß sie möglichst weit entfernt von allen bekannten Katalogquellen waren, also an Orten, an denen

Tabelle 5.5: Mittelwert und Standardabweichung SA der reduzierten χ^2-Werte der drei Quellen für jede Analysemethode

Analyse-Verfahren	Mittelwert	SA
freie Hintergrundwerte/freie Position	1.15	0.16
feste Hintergrundwerte/feste Position	1.25	0.22
freie Hintergrundwerte/feste Position	1.27	0.19
feste Hintergrundwerte/freie Position	1.27	0.13

sich keine Quellen befanden und daß sie etwa die gleichen Belichtungswerte wie PKS 0528+134 hatten. Bei der Flußwertbestimmung für diese Positionen wurde bei richtiger Subtraktion des Hintergrundbeitrages ein innerhalb der Fehler um null schwankender Wert erwartet. Die Analyse wurde bei festgehaltener Position einmal mit festen und einmal mit freien Hintergrundwerten durchgeführt. Die Perioden, von denen Ein- und Zweitageskarten vorliegen, wurden als Zweitageskarten analysiert. Periode 337.0 wurde mit Ein- und Zweitageskarten untersucht. Insgesamt wurden so 142 Ein- oder Zweitageskarten analysiert. In den Abbildungen 5.16 und 5.17 sind die Lichtkurven für die beiden Testpunkte mit festen Hintergrundwerten während der Periode 337.0 dargestellt. Die Abbildungen 5.18 und 5.19 zeigen die gleiche Periode mit freien Hintergrundwerten.
Bei festen Hintergrundwerten wurden häufig weder Fluß, Fehler noch obere Grenze ermittelt, in den Abbildungen 5.16 und 5.17 zu sehen als halbkreisförmige Symbole auf der Nullinie. Beim Testpunkt 1 war dies 68 mal der Fall, bei Testpunkt 2 kam es 35 mal vor. Dies erklärt sich wie bei der Analyse von PKS 0528+134 dadurch, daß das Likelihoodverfahren bei festgehaltenen Hintergrundparametern und einer negativen Photonenzahl nicht konvergiert. Bei freien Hintergrundparametern trat das Problem nicht auf.
Für viele Ein- und Zweitagesintervalle wurden erwartungsgemäß nur obere Grenzen erhalten. Bei manchen wurden Flußwerte ermittelt, die innerhalb der 1σ-Fehler über null lagen. Auch hier gab es im Vergleich zwischen festen und freien Hintergrundwerten erkennbare Unterschiede, die aber in den meisten Fällen innerhalb der 1σ-Fehler übereinstimmten (Ausnahmen: bei Testpunkt 1 drei Flußwertepaare, bei Testpunkt 2 15 Flußwertepaare, die aber alle innerhalb des 2σ-Fehlers übereinstimmten). Bei festen Hintergrundwerten liegen die Flußwerte innerhalb ihrer Fehler im Vergleich zu freien Hintergrundwerten häufiger über null. Dies ist gut zu sehen im Vergleich von Abbildung 5.17 und 5.19.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß in den untersuchten 142 Ein- oder Zweitagesintervallen bei Analyse mit festen Hintergrundparametern für Testpunkt 1 in 74 Fällen ein Flußwert ermittelt wurde, der über null lag. Bei Testpunkt 2 waren 102 Flußwerte positiv. Bei Analyse mit freien Hintergrundparametern hatten bei Testpunkt 1 55 Flußwerte einen positiven Wert, bei Testpunkt 2 waren es 35. Im folgenden sollen die Flußwerte zusammen mit ihren Fehlern betrachtet werden.
Bei festen Hintergrundwerten liegen bei Testpunkt 1 von 142 Flußwerten 32 Werte innerhalb ihres 1σ-Fehlers über null, innerhalb des 2σ-Fehlers sind es noch vier Flußwerte. Bei Testpunkt 2 liegen 61 Werte innerhalb des 1σ-Fehlers über null. Immer noch 17 Werte liegen innerhalb des 2σ-Fehlers über null. Ein Wert liegt auch innerhalb des 3σ-Fehlers über null. Diese relativ hohe Anzahl der Flußwerte, die innerhalb des 1σ- und auch des 2σ-Fehlers über null liegen, ist bei festen Hintergrundwerten durch die fehlende Anpassung der Hintergrundparameter an die einzelnen Ein- oder Zweitagesintervalle zu erklären. Bei freien Hintergrundparametern ergibt sich ein anderes Bild: Dort liegen deutlich weniger Flußwerte innerhalb ihrer Fehler über null.

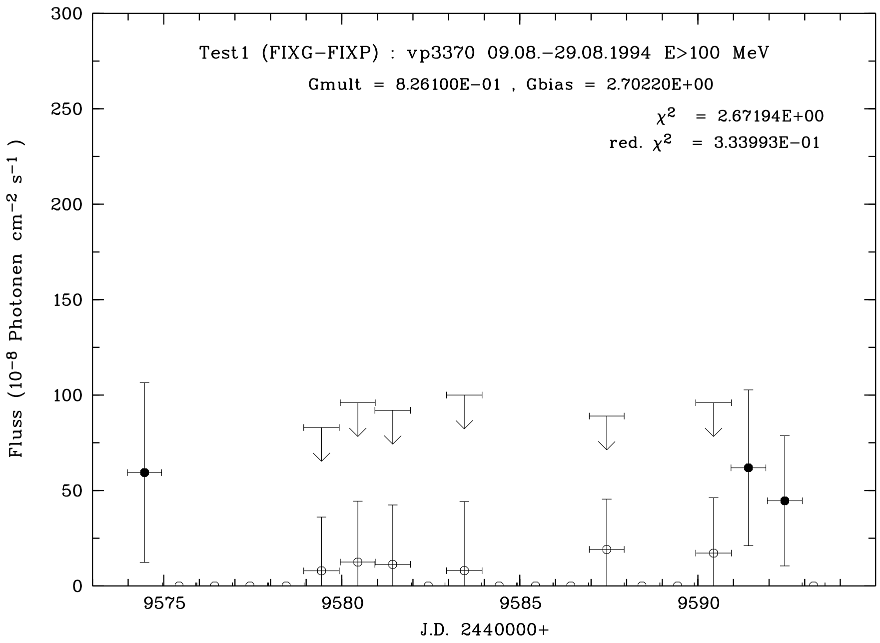


Abbildung 5.16: Testpunkt 1, galaktische Länge $l = 197^o$, galaktische Breite $b = -14^o$, feste Hintergrundparameter und feste Position

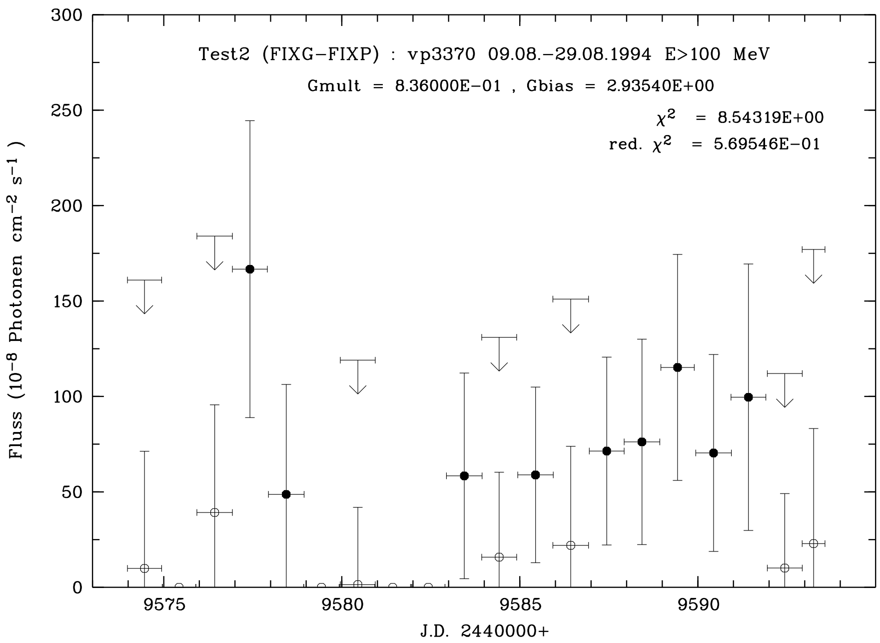


Abbildung 5.17: Testpunkt 2, galaktische Länge $l = 192^o$, galaktische Breite $b = -6^o$, feste Hintergrundparameter und feste Position

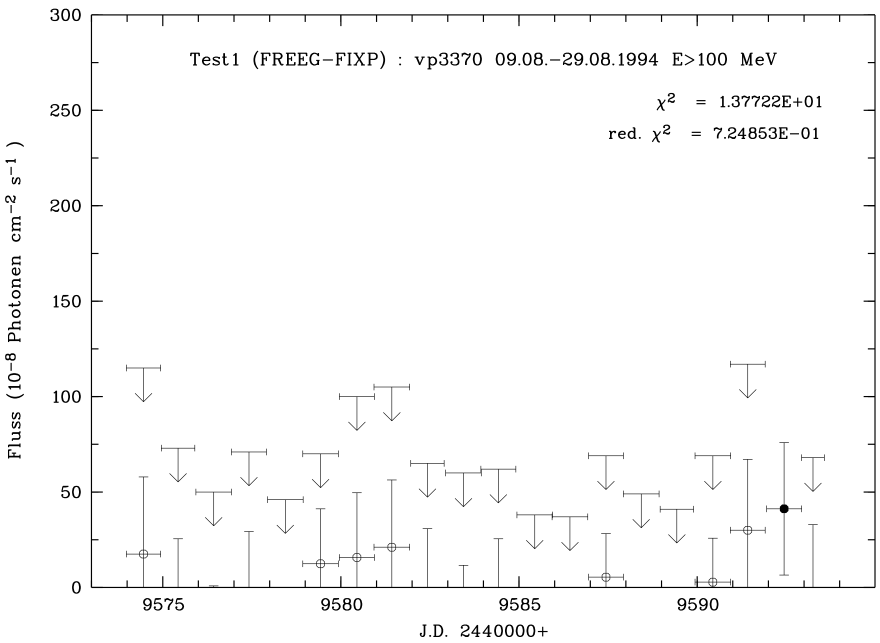


Abbildung 5.18: Testpunkt 1, freie Hintergrundparameter und feste Position

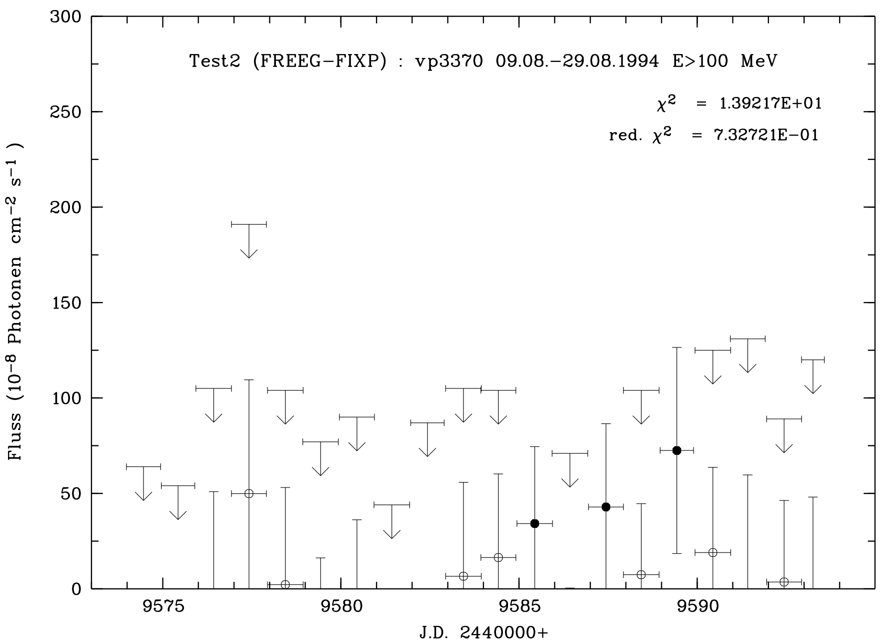


Abbildung 5.19: Testpunkt 2, freie Hintergrundparameter und feste Position

Bei freien Hintergrundparametern liegen bei Testpunkt 1 von insgesamt 142 Flußwerten nur acht innerhalb ihres 1σ-Fehlers knapp über null, bei Testpunkt 2 sind es sechs. Bei Annahme eines 2σ-Fehlers sind alle Flußwerte innerhalb des Fehlers mit dem Wert null verträglich. Dies läßt den Schluß zu, daß der Gammahintergrund bei der Flußwertbestimmung richtig berücksichtigt wird, daß eine eventuelle zeitliche Variabilität also nicht maßgeblich durch Fehler in der Hintergrundsubtraktion bedingt ist.
Bei Analyse mit festen Hintergrundparametern ist der Einfluß des Hintergrundes auf die Flußwertbestimmung größer. Da aber die Flußwerte der Testpunkte bei Vergleich der beiden Analysemethoden untereinander bis auf wenige Ausnahmen jeweils innerhalb des 1σ-Fehlers übereinstimmen, ist auch bei Analyse mit festen Hintergrundwerten nicht von einer signifikanten Verfälschung der Flußwerte auszugehen.

5.5 Untersuchung auf fehlerhafte Flußwerte

Im folgenden soll eine Übersicht gegeben werden über alle Flußwerte in den Ein- und Zweitagesintervallen, die aufgrund verschiedener Ursachen nicht bei der Darstellung der Lichtkurven und bei den weiteren Analysen berücksichtigt wurden. Dabei soll auf alle unterschiedlichen Analysemethoden eingegangen werden.
Die 15 Beobachtungsperioden (Periode 321.1 und 321.5 werden als eine Periode betrachtet), die in Eintagesintervalle aufgeteilt wurden, enthielten zusammen insgesamt 158 Flußwerte. Die sieben Perioden mit Zweitagesintervallen enthielten 39 Flußwerte.
Die beiden Hauptursachen für eine Nichtberücksichtigung wurden bereits genannt. Ein Grund war die Detektion von scheinbaren Doppelquellen wegen Ermittelung unkorrekt niedriger Quellphotonenzahlen. Dieses Problem trat hauptsächlich bei Analyse mit freien Hintergrundparametern und fester Position auf, vor allem bei der Quelle Geminga. Das zweite Problem war eine starke Abweichung der ermittelten Quellposition von der Katalogposition bei Analyse mit freier Position. Dieser Fehler wurde am häufigsten beobachtet bei der vergleichsweise schwachen Quelle PKS 0528+134. Er trat aber auch bei Crab und Geminga auf.
Neben diesen beiden Fehlerquellen, die in verschiedenen Beobachtungsperioden auftraten, gab es noch zwei weitere, die jeweils nur in einer Periode eine Rolle spielten:

- Während der Periode 2.1 vom 8.–15. Juni 1991 befand sich neben Geminga, Crab und PKS 0528+134 auch die Sonne im Gesichtsfeld von EGRET. Am 11. Juni ereignete sich ein Sonnenflare, der von EGRET im Gammabereich nachgewiesen wurde (Kanbach et al. 1993). Die Position der Sonne am 11. Juni (2.00 UT) in galaktischen Koordinaten war: $l = 181.21°, b = -8.92°$. Gammastrahlung entsteht in der Sonnenphotosphäre durch Emission von angeregten Kernen, Bremsstrahlung von hochenergetischen Elektronen und durch Zerfall neutraler Pionen.
  Dieser Sonnenflare hatte zur Folge, das einige Flußwerte von Crab und

PKS 0528+134 verfälscht wurden.
Bei der Analyse der mit festem Hintergrund und freier Position ermittelten Ein- und Zweitagesintervalle wurde nicht der Fluß von PKS 0528+134 gemessen. Als Quellposition wurde fälschlicherweise die Sonnenposition ermittelt und der Fluß der Sonne gemessen. Der Wert war gegenüber den gewöhnlichen Werten von PKS 0528+134 um ein Vielfaches erhöht.
Bei Crab trat das Problem bei verschiedenen Analysemethoden auf und verfälschte die Flußwerte der Eintagesintervalle vom 11. und teilweise auch vom 12. Juni 1991.
Alle aufgrund des Sonnenflares herausgenommenen Punkte sind in den Tabellen 5.6 und 5.8 aufgelistet.

- In der Periode 502.0 ergab sich bei PKS 0528+134 und Geminga eine deutliche Auffälligkeit. Bei allen vier Analysemethoden ergab sich bei beiden Quellen am 26. Oktober 1995 ein Flußwert, der um einen Faktor drei höher lag als die anderen Werte der Periode. Das Auftreten dieses gleichartigen Ausreißers bei zwei verschiedenen Quellen in allen Analysemethoden legte die Vermutung nahe, daß es sich dabei nicht um eine quellintrinsische Variation, sondern um ein instrumentelles oder sonstiges technisches Problem handelte. Tatsächlich ergab eine Analyse der Belichtungskarten, daß es an diesem Tag aufgrund eines technischen Problems zu einer Abschattung in einem Teil der Belichtungskarte kam. In diesem Kartenausschnitt, in dem sich auch die beiden Quellen befanden, waren die Belichtungswerte also zu niedrig. Bei der Bestimmung der Flußwerte wird durch die Belichtungswerte dividiert. Somit waren die erhaltenen Flußwerte nach Division durch diese Werte zu hoch.
  Die Flußwerte vom 26. Oktober 1995 wurden deshalb bei PKS 0528+134 und Geminga in allen vier Analysemethoden herausgenommen.

In den nachfolgenden Tabellen 5.6, 5.7 und 5.8 werden alle herausgenommenen Flußwerte zusammengefaßt. In der ersten Spalte steht die Beobachtungsperiode. Die nachfolgenden vier Spalten beinhalten die vier verschiedenen Analysemethoden. Die Bezeichnung „freiH“ bedeutet Analyse mit freien Hintergrundparametern, „festH“ mit festen. Analog bezeichnet „freiP“ die Analyse mit freier Position und „festP“ mit festgehaltener Position. Zuerst werden die Perioden mit Eintagesintervallen und anschließend mit Zweitagesintervallen aufgelistet. Perioden, in denen es bei keiner Analysemethode Probleme gab, sind nicht in den Tabellen enthalten. In den Tabellenspalten finden sich folgende Einträge:

- Der Eintrag „0“ bedeutet, daß bei diesem Analyseverfahren kein Flußwert herausgenommen wurde.

- Die vier- oder fünfstelligen Zahlen geben das Julianische Datum abzüglich 2440000 an. Dieses Datum kennzeichnet das Ein- oder Zweitagesintervall, welches herausgenommen wurde.

- Den Grund für die Nichtberücksichtigung bezeichnen die vier verschiedenen Buchstabenkombinationen. Dabei steht SF für Sonnenflare. Dies bezieht sich nur auf die Beobachtungsperiode 2.1. BL steht für Belichtung und kennzeichnet die aufgrund der Belichtungskartenprobleme herausgenommenen Werte in Periode 502.0. Die Bezeichnung PD bedeutet Positionsdifferenz und bezeichnet die aufgrund starker Abweichung der gemessenen Quellposition herausgenommenen Flußwerte. DQ kennzeichnet die Werte, die wegen scheinbarer Doppelquellendetektion nicht berücksichtigt werden konnten. KK schließlich steht bei PKS 0528+134 für „keine Konvergenz" und bezeichnet die 14 Eintagesintervalle, bei denen aufgrund des nicht konvergierenden Likelihoodverfahrens bei festen Hintergrundparametern keine Flußwerte ermittelt werden konnten.

Abschließend wird in Tabelle 5.9 die Gesamtzahl der verbliebenen Flußwerte für jede Quelle und jede Analysemethode genannt. Anhand der in der Tabelle 5.9 enthaltenen Werte sieht man, daß bei der Analyse mit freien Hintergrundparametern und freier Position die meisten verwertbaren Flußwerte ermittelt wurden. Dieses Verfahren ist deshalb, was die Frage nach den meisten erhaltenen Flußwerten anbelangt, das günstigste Analyseverfahren. Auch bei der Suche nach den kleinsten reduzierten χ^2-Werten war diese Analyseart die Methode, die als die beste identifiziert wurde.
Die nachfolgenden Untersuchungen werden deshalb mit den Flußwerten durchgeführt, die mit dieser Analysemethode ermittelt wurden. Alle Lichtkurven von PKS 0528+134, Crab und Geminga, die mit freien Hintergrundparametern und freier Position ermittelt wurden, sind in Anhang A dargestellt.

5.6 Lichtkurven aus Ein- und Zweitagesintervallen

Im folgenden sollen Lichtkurven aus Ein- und Zweitagesintervallen miteinander verglichen werden. In den Abbildungen 5.20 bis 5.22 sind exemplarisch zwei Lichtkurven von PKS 0528+134 und eine Lichtkurve von Crab dargestellt. Alle Lichtkurven enthalten Flußwerte, die durch Analyse mit freien Hintergrundparametern und freier Position erhalten wurden.
Abbildung 5.20 zeigt PKS 0528+134 in der Beobachtungsperiode 1.0. Die Lichtkurven aus Ein- und Zweitagesintervallen sind im selben Diagramm durch verschiedene Symbole dargestellt.
Die zeitliche Auflösung der Zweitagesintervalle ist geringer als die der Eintagesintervalle. In den Zweitagesintervallen werden die Werte aus den jeweiligen zwei Eintagesintervallen zusammengefaßt, die sich zum Teil deutlich unterscheiden. So stimmen zum Beispiel der fünfte und sechste Flußwert der Eintagesintervalle in Abbildung 5.20 innerhalb des 1σ-Fehlers nicht überein. Diese Information geht im entsprechenden Zweitagesintervall verloren. Dasselbe gilt für die beiden letzten Eintagesflußwerte. Zweitagesintervalle sind also nicht in der Lage, die kürzesten Zeitskalen der Variation aufzulösen.
Für die 1σ-Fehler bei den Zweitagesintervallen gilt, daß sie ungefähr um einen Faktor $\sqrt{2}$ kleiner sind als die 1σ-Fehler der Eintagesintervalle. Der Grund hierfür ist die ungefähr doppelte Photonenzahl ν, die in den Zweitagesintervallen erhalten wird. Der Faktor $\sqrt{\nu}$ folgt aus der Poissonstatistik. Dieses Verhältnis der Fehler in den Ein- und Zweitagesintervallen ist in allen Abbil-

Tabelle 5.6: PKS 0528+134: Herausgenommene Flußwerte in allen vier Analysemethoden mit Angabe des Julianischen Datums abzüglich 2440000 und Grund der Nichtberücksichtigung (Abkürzungen siehe Text).

PKS 0528+134 Eintagesint.	freiH/festP	freiH/freiP	festH/freiP	festH/festP
2.1	0	0	SF 8418	0
213.0	0	PD 9075	0	0
310.0	0	0	KK 9325 PD 9328 KK 9330 KK 9334	KK 9325 KK 9330 KK 9334
321.1	0	0	KK 9391 KK 9393 PD 9397	KK 9391 KK 9393
337.0	0	0	KK 9577 KK 9584 KK 9593	KK 9577 KK 9584 KK 9593
412.0	0	PD 9779	PD 9778 PD 9779	0
426.0	0	PD 9950	KK 9942 KK 9946	KK 9942 KK 9946
502.0	BL 10016	BL 10016	BL 10016	BL 10016
526.0	0	PD 10305	KK 10301 PD 10304	KK 10301
527.0	0	0	KK 10310	KK 10310
528.0	0	0	KK 10317 KK 10322	KK 10317 KK 10322
Zweitagesint.				
1.0	0	PD 8403	PD 8399	0
2.1	0	PD 8416	SF 8418	0
310.0	0	PD 9327	0	0
321.1	0	0	KK 9392	KK 9392
337.0	0	0	PD 9576 PD 9578 PD 9586 PD 9588	0
421.0	0	0	PD 9779	0

Tabelle 5.7: Geminga: Herausgenommene Flußwerte in allen vier Analysemethoden.

Geminga Eintagesint.	freiH/festP	freiH/freiP	festH/freiP	festH/festP
213.0	DQ 9070 DQ 9072 DQ 9073 DQ 9074 DQ 9075	0	0	0
321.1	DQ 9394	0	0	0
337.0	DQ 9574 DQ 9577 DQ 9584 DQ 9593	PD 9579 DQ 9586 DQ 9588	0	0
412.0	DQ 9777 DQ 9778 DQ 9780 DQ 9782 DQ 9783	0	0	0
426.0	DQ 9945	DQ 9945	0	0
502.0	BL 10016	BL 10016	BL 10016	BL 10016
526.0	0	DQ 10308	0	0
527.0	DQ 10309 DQ 10310 DQ 10311 DQ 10312 DQ 10313 DQ 10314 DQ 10315	0	0	0
528.0	DQ 10316 DQ 10317 DQ 10318 DQ 10319 DQ 10320 DQ 10321	0	0	0
Zweitagesint.				
412.0	DQ 9783	0	0	0

Tabelle 5.8: Crab: Herausgenommene Flußwerte in allen vier Analysemethoden.

Crab Eintagesint.	freiH/festP	freiH/freiP	festH/freiP	festH/festP
2.1	DQ 8420	SF 8418	SF 8418 SF 8419	SF 8418 SF 8419
310.0	0	0	PD 9325	0
337.0	0	PD 9581	PD 9579 PD 9587	0
419.1	0	0	PD 9812	0
426.0	0	0	PD 9938	0
502.0	0	DQ 10016	0	0
526.0	DQ 10297 DQ 10304 DQ 10306	0	PD 10299	0
Zweitagesint.				
2.1	0	0	SF 8418	0

Tabelle 5.9: Gesamtzahl aller verbliebenen Flußwerte für die drei Quellen in allen vier Analysemethoden. Zuerst wird der Wert für die Eintagesintervalle (maximal 158 Flußwerte), dann für die Zweitagesintervalle (maximal 39 Flußwerte) genannt.

Quelle	freiH/festP	freiH/freiP	festH/freiP	festH/festP
PKS 0528+134	157/39	153/36	137/31	143/38
Geminga	128/38	152/39	157/39	157/39
Crab	154/39	155/39	150/38	156/39

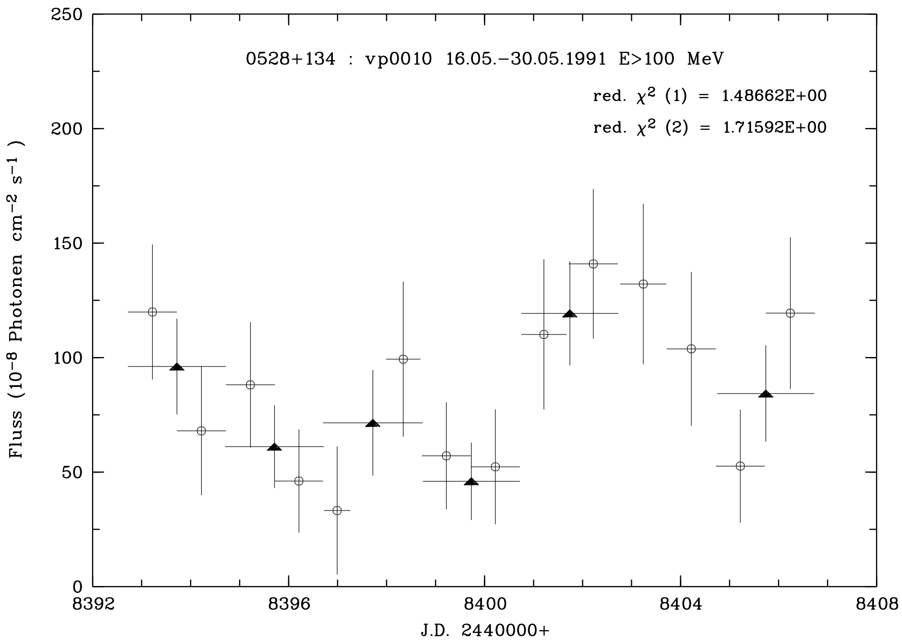


Abbildung 5.20: Ein- und Zweitagesintervall-Lichtkurven von PKS 0528+134 in der Periode 1.0. Offene Kreise sind Eintagesintervall-Flußwerte, gefüllte Dreiecke Zweitagesintervall-Flußwerte. Die reduzierten χ^2-Werte sind für beide Lichtkurven angegeben, (1) steht für den Ein-, (2) für den Zweitagesintervall-Wert. Der sechste Wert bei den Zweitagesintervallen wurde wegen zu großer Positionsdifferenz zwischen ermittelter und Katalogposition herausgenommen.

dungen zu sehen.

In Abbildung 5.21 ist die Lichtkurve von PKS 0528+134 in der Periode 337.0 dargestellt. In den Zweitagesintervallen ist die Signifikanz (Wurzel des Teststatistikwerts) der Quelldetektion aufgrund der größeren Photonenzahl höher als in den Eintagesintervallen. Das hat zur Folge, daß man in Zweitagesintervallen seltener obere Grenzen an Stelle von Flußwerten erhält. Bei neun von zehn Zweitagesintervallen ist die Signifikanz der Quelldetektion größer als eins. Man erhält Flußwerte und keine oberen Grenzen. Nur beim achten Zweitagesintervall erhält man eine obere Grenze. Die entsprechenden beiden Eintagesintervalle sind auch als obere Grenzen dargestellt. Bei den Eintagesintervallen erhält man in sechs Fällen obere Grenzen.
Abbildung 5.22 zeigt Crab in der Beobachtungsperiode 1.0. Die χ^2-Werte bei Ein- und Zweitagesintervallen sind vergleichbar. Auch hier zeigen sich in den Eintagesintervallen mehr Details. Die letzten beiden Flußwerte in den Eintagesintervallen stimmen innerhalb ihrer 1σ-Fehler nicht überein. Insgesamt sind aber die Unterschiede zwischen Ein- und Zweitagesintervallen geringer als in Abbildung 5.20.

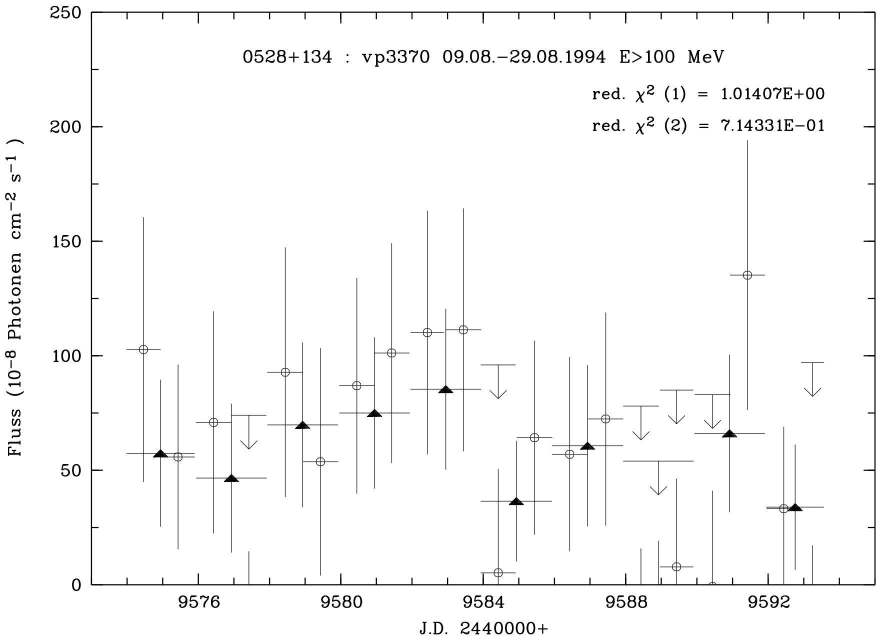


Abbildung 5.21: Ein- und Zweitagesintervall-Lichtkurven von PKS 0528+134 in der Periode 337.0.

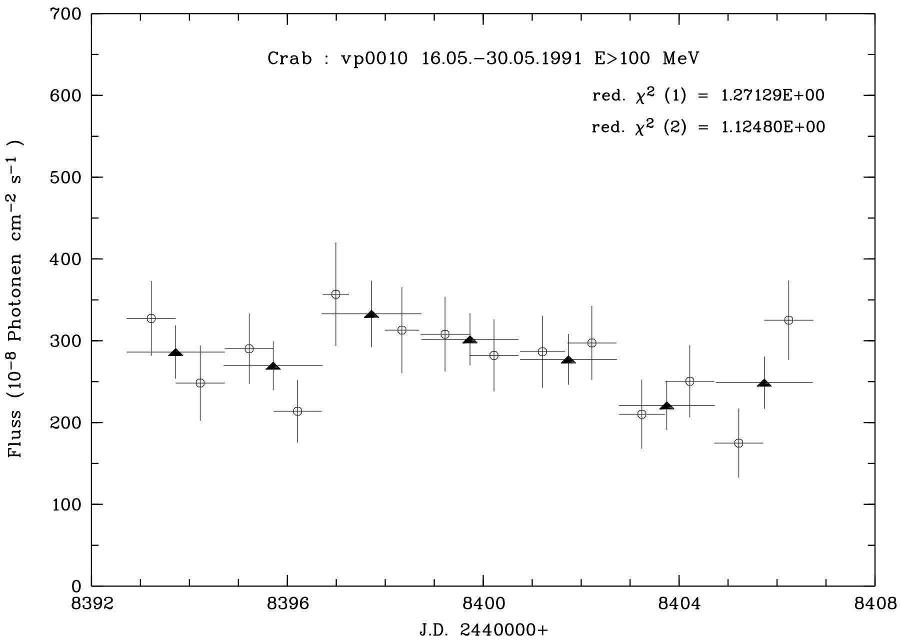


Abbildung 5.22: Ein- und Zweitagesintervall-Lichtkurven von Crab in der Periode 1.0.

5.7 Analyse von 3C 454.3 und CTA 102

Die beiden Blazare 3C 454.3 und CTA 102 wurden wie PKS 0528+134, Crab und Geminga mit Hilfe der Maximum Likelihood-Methode analysiert, und es wurden wiederum Lichtkurven erstellt. In Tabelle 5.10 sind die galaktischen Koordinaten und die EGRET-Bezeichnungen aus dem 2. EGRET-Katalog aufgelistet (Thompson et al. 1995).

Tabelle 5.10: EGRET-Namen und galaktische Koordinaten von 3C 454.3 und CTA 102

Quelle	EGRET-Name	l/°	b/°
3C 454.3	2EG J2253+1615	86.11	-38.18
CTA 102	2EG J2233+1140	77.58	-38.76

Die beiden benachbarten Quellen sind in derselben EGRET-Karte enthalten und können deswegen zusammen analysiert werden. Das Datenmaterial umfaßt einen Zeitraum von Januar 1992 bis Dezember 1995. Die beiden Quellen wurden in neun Beobachtungsperioden mit unterschiedlicher Dauer analysiert. In Tabelle 5.11 sind die Beobachtungsperioden mit ihrer Dauer aufgelistet. Alle Beobachtungsperioden wurden in Eintagesintervalle aufgeteilt. Man erhielt über alle Perioden insgesamt 81 Eintagesintervalle für jede Quelle.

Tabelle 5.11: Die neun untersuchten EGRET-Beobachtungsperioden

Beobachtungsperiode	Zeitraum
19.0	23.01.-06.02.1992
26.0	23.04.-28.04.1992
37.0	20.08.-27.08.1992
320.0	08.03.-15.03.1994
327.0	17.05.-24.05.1994
336.0	01.08.-04.08.1994
410.0	24.01.-14.02.1995
507.0	28.11.-07.12.1995
507.5	08.12.-14.12.1995

Die beiden Quellen wurden auf zwei verschiedene Arten analysiert. Zum einen wurde eine Analyse mit freien Hintergrundparametern und festgehaltenen Quellpositionen durchgeführt, zum anderen mit freien Hintergrundparametern und freien Positionen. Die letztgenannte Analysemethode ist die Methode, die in den vorigen Untersuchungen als die günstigste bezüglich des kleinsten reduzierten χ^2-Wertes erkannt wurde. Sie hatte auch die wenigsten herausgenommenen Punkte. Die Methode mit fester Position wurde angewandt, um zu testen, ob es auch bei den beiden schwächeren Quellen 3C 454.3 und CTA 102 zu keinen signifikanten Unterschieden in den Lichtkurven kommt, wenn sie mit

verschiedenen Methoden analysiert werden. Auf weitere Analysen mit festgehaltenen Hintergrundparametern wurde verzichtet. Bei dieser Analysemethode tritt bei relativ schwachen Quellen in einigen Eintagesintervallen das Problem des nicht konvergierenden Likelihoodverfahrens auf, was dazu führt, daß für diese Intervalle keine Flußwerte erhalten werden.
Die beiden Analysen mit freien Hintergrundparametern wurden auf dieselbe Weise durchgeführt wie bei PKS 0528+134, Crab und Geminga beschrieben. Tabelle 5.12 gibt einen Überblick über alle bei der Analyse mit fester Position eingelesen Katalogquellen, die in mindestens einer der neun Beobachtungsperioden eingelesen wurden. Die neben 3C 454.3 und CTA 102 eingelesenen Katalogquellen waren schwächer als diese beiden Quellen. Alle hatten aber in mindestens einem Eintagesintervall einen Signifikanzwert, der größer als eins war. Dies bedeutet, daß in diesen Eintagesintervallen von einem Quellnachweis der betreffenden Katalogquellen ausgegangen werden kann.
Die erhaltenen Flußwerte wurden in Lichtkurven dargestellt. In den Abbildungen 5.23 und 5.24 sind die Lichtkurven von 3C 454.3 in der Periode 327.0 einmal mit fester Position (FIXP) und einmal mit freier Position (FREEP) dargestellt. Beide Lichtkurven stimmen innerhalb der Fehler sehr gut überein. Die χ^2-Werte sind von derselben Größenordnung. Auch die beiden Lichtkurven von CTA 102 in den Abbildungen 5.25 und 5.26 in der Periode 410.0 stimmen gut überein und haben vergleichbare χ^2-Werte. Hier fällt auf, daß bei Analyse mit freier Position neben den oberen Grenzen für neun Eintagesintervalle Flußwerte erhalten wurden, bei Analyse mit fester Position nur fünf. Die Positionsoptimierung wirkt sich dahingehend aus, daß gegenüber Analyse mit fester Position die Signifikanz des Quellnachweises höher ist. Diese höhere Anzahl an Flußwerten bei freier Position wird auch in den anderen Perioden von CTA 102, sowie in einigen Perioden von 3C 454.3 beobachtet. Die höhere Signifikanz des Quellnachweises ist ein weiterer Vorteil der Analyse mit freier Position. Auch die Lichtkurven von 3C 454.3 und CTA 102 wurden in beiden Analysemethoden auf fehlerhafte Flußwerte untersucht. Bei Analyse mit fester Position mußten keine Punkte herausgenommen werden, da es keine scheinbaren Doppelquellendetektionen und auch sonst keine Probleme gab.
Bei Analyse mit freier Position wurden sowohl bei 3C 454.3 als auch bei CTA 102 einige Flußwerte herausgenommen. Ursache war jeweils eine zu große Positionsdifferenz zwischen ermittelter Position und Katalogposition. Tabelle 5.13 gibt eine Übersicht über die entsprechenden Eintagesintervalle der beiden Quellen. PD steht wieder für Positionsdifferenz, die nachfolgende Zahl für das Julianische Datum abzüglich 2440000. Bei Analyse mit freiem Hintergrund verblieben für 3C 454.3 78 Flußwerte, für CTA 102 verblieben 77 Flußwerte.
Alle Lichtkurven der beiden Quellen bei Analyse mit freier Position sind in Anhang A enthalten.

Tabelle 5.12: Katalogquellen, die in mindestens einer der neun Beobachtungsperioden eingelesen wurden. Die Tabelle enthält die Namen der EGRET-Quellen und ihre Positionen in Rektaszension α und Deklination δ jeweils in Grad.

EGRET-Name	$\alpha/°$	$\delta/°$
2356+196	359.69	19.92
2EG J0000+2041	0.07	20.69
EG J0019-0014	4.88	-0.24
2EG J0119+0312	19.97	3.21
0202+149	31.21	15.24
2EG J2006-2253	301.62	-22.90
2022-077	306.41	-7.59
2EG J2027+1054	306.79	10.91
2EG J2033+4112	308.42	41.21
2EG J2036+4451	309.04	44.85
2032+107	308.85	10.94
2209+236	333.02	23.92
CTA 102	338.15	11.73
2EG J2243+1545	340.82	15.75
3C 454.3	343.49	16.15
2EG J2354+3811	358.56	38.19
GRO J2045+0726	311.35	7.44
GRO J2319-0421	350.00	-4.36
BL Lac	330.68	42.28
GRO J2059+2634	314.90	26.57
GRO J2250-1331	342.60	-13.52
2155-304	329.72	-30.23

Tabelle 5.13: Herausgenommene Flußwerte bei Analyse mit freiem Hintergrund und freier Position bei 3C 454.3 und CTA 102.

Periode	3C 454.3	CTA 102
19.0	0	PD 8649
37.0	0	PD 8861
320.0	0	PD 9426
410.0	PD 9747	0
507.0	PD 10051 PD 10055	PD 10055

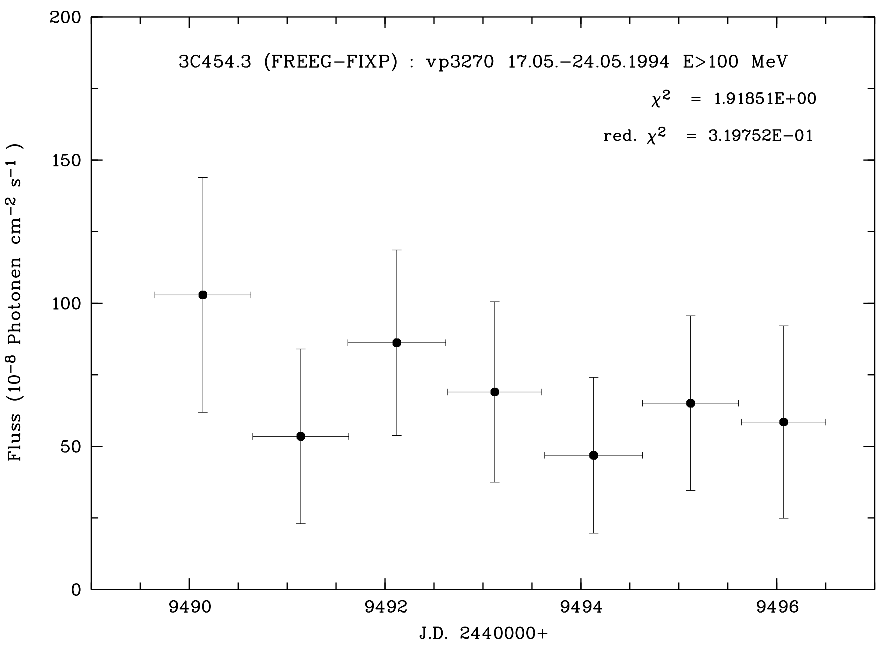


Abbildung 5.23: 3C 454.3 in der Periode 327.0, freie Hintergrundparameter und feste Position

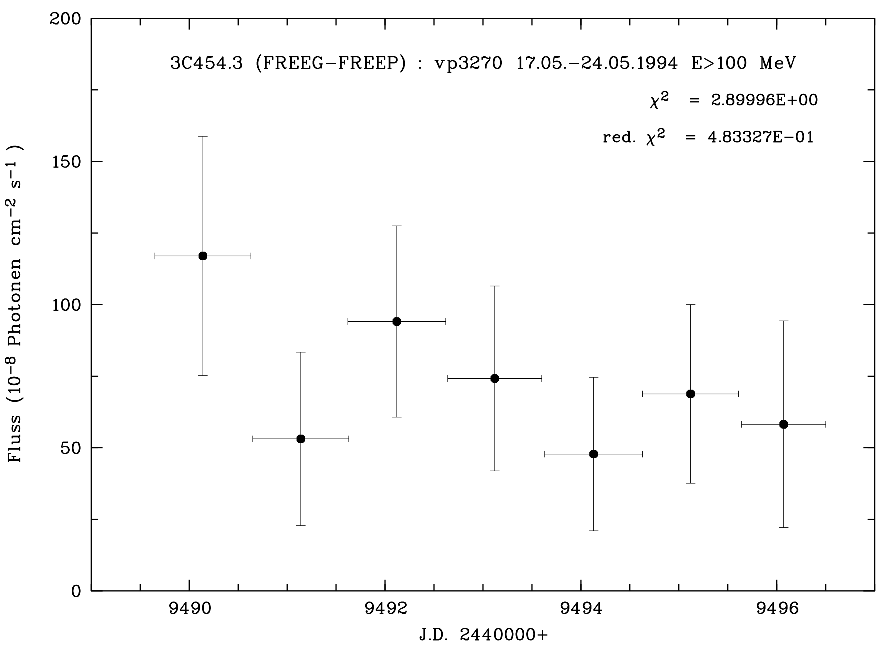


Abbildung 5.24: 3C 454.3 in der Periode 327.0, freie Hintergrundparameter und freie Position

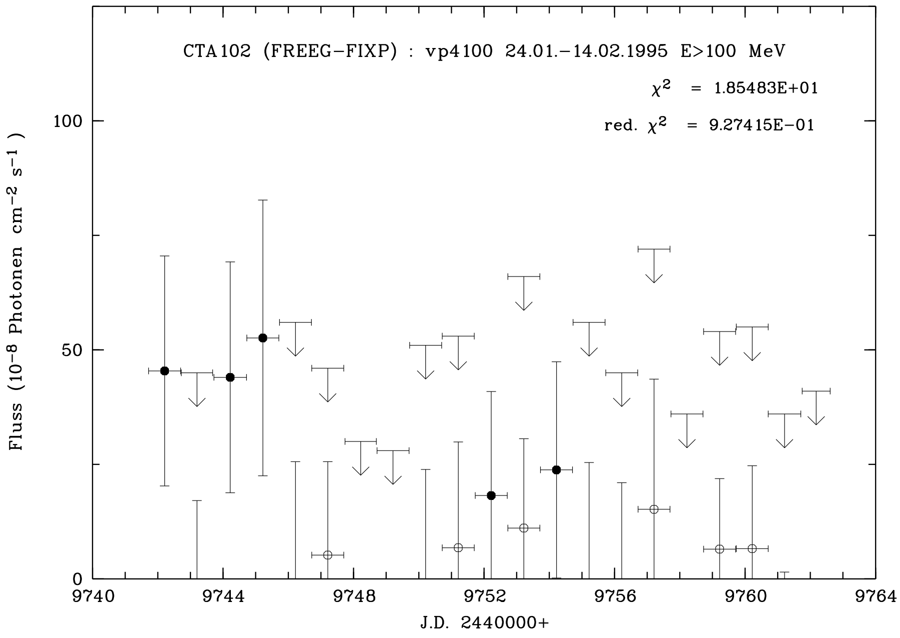


Abbildung 5.25: CTA 102 in der Periode 410.0, freie Hintergrundparameter und feste Position

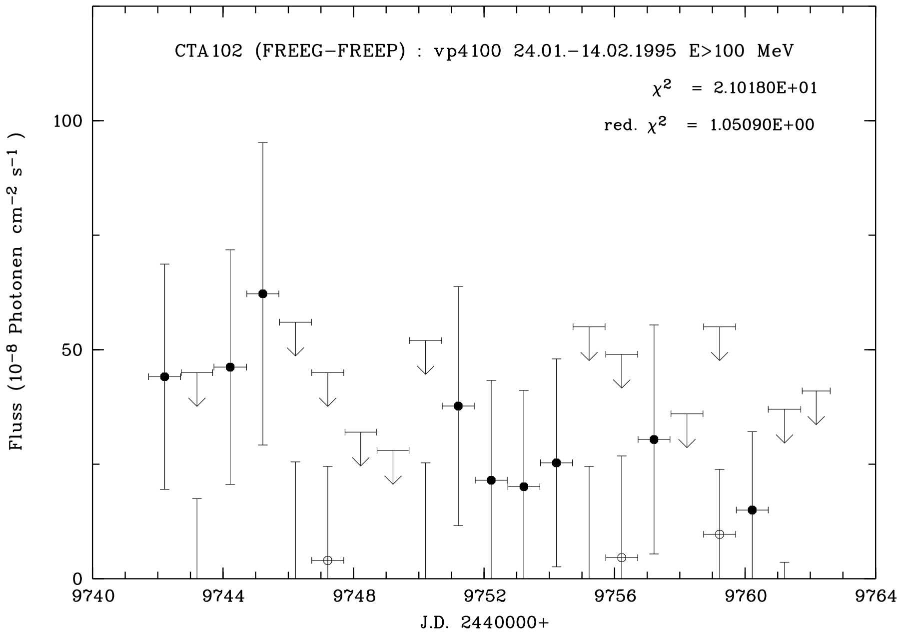


Abbildung 5.26: CTA 102 in der Periode 410.0, freie Hintergrundparameter und freie Position. Diese Lichtkurve enthält neben den oberen Grenzen neun Flußwerte, bei Analyse mit fester Position (Abbildung 5.25) sind es nur fünf.

5.8 Korrelationen verschiedener Parameter

Im nachfolgenden sollen verschiedene Größen darauf untersucht werden, ob es Korrelationen zwischen ihnen gibt. Die untersuchten Größen sind die Hintergrundparameter g_m und g_b, Hintergrund-Photonenzahlen, Flußwerte, Positionsabweichungen bei Analyse mit freier Position und Größe der 95%-Fehlerkreise. Insbesondere soll festgestellt werden, ob die Hintergrund-Anpassungsparameter g_m und g_b abhängig sind von der Anzahl der Hintergrundphotonen oder der Höhe der Flußwerte. Dargestellt sind jeweils die mit freiem Hintergrund und freier Position erhaltenen Ergebnisse.
Die Anzahl der Hintergrundphotonen wird bei Anwendung der Likelihood-Analyse nicht als Ergebnis mitausgegeben. Sie muß für jedes Eintagesintervall getrennt ermittelt werden. Dies wurde für verschiedene Quellen in insgesamt sechs Beobachtungsperioden durchgeführt. In der Abbildung 5.27 sind für PKS 0528+134 in der Periode 528.0 die Hintergrund-Photonenzahlen gegen die beiden Hintergrundwerte g_m und g_b aufgetragen. Eine Beziehung zwischen der Hintergrundphotonenzahl und den Werten von g_m und g_b ist nicht zu erkennen. Was jedoch auffällt, ist eine Beziehung zwischen g_m und g_b. Immer, wenn g_m einen hohen Wert annimmt, ist der Wert von g_b niedrig und umgekehrt. Diese Beziehung zwischen g_m und g_b ist in Abbildung 5.28 dargestellt. Links ist g_m gegen g_b für die Periode 528.0 dargestellt. Auf der rechten Seite wurde für alle vorhandenen Eintagesintervalle von PKS 0528+134 g_m gegen g_b aufgetragen. Man erkennt in beiden Diagrammen den geschilderten Zusammenhang.
Die beiden Hintergrundparameter werden in der Likelihood-Analyse gemeinsam optimiert. Dabei wird der Hintergrund mit Hilfe beider Hintergrundparameter angepaßt. Die Aufspaltung in galaktischen und extragalaktischen Hintergrund wird dabei nicht streng eingehalten. Das bedeutet, daß bei verschiedenen Eintagesintervallen der Hintergrundbeitrag einmal mehr durch den Wert g_m, das andere Mal mehr durch den Wert g_b berücksichtigt wird. Beide Anteile zusammengenommen ergeben die Hintergrundoptimierung.
Auch bei den anderen fünf Beobachtungsperioden, von denen die Hintergrund-Photonenzahlen ermittelt wurden, zeigen sich keine Beziehungen zwischen diesem Wert und den Hintergrundparametern. Auch dort werden die Korrelationen zwischen g_m und g_b beobachtet. Trägt man für die weiteren vier Quellen g_m gegen g_b für alle Eintagesintervalle auf, erhält man wieder den oben beschriebenen Zusammenhang von kleinem g_m und großem g_b und umgekehrt.

In der Abbildung 5.29 sind die beiden Hintergrundparameter g_m und g_b gegen die Flußwerte von Geminga aus allen Eintagesintervallen aufgetragen. In beiden Diagrammen findet man keine Korrelation zwischen dem jeweiligen Hintergrundparameter und den Flußwerten. Diese Aussage gilt auch für die anderen vier Quellen. Wären die Hintergrundparameter von der Höhe der Flußwerte abhängig, wäre dies ein Hinweis darauf, daß g_m und g_b den Hintergrund nicht richtig anpaßten. Der Beitrag des Gammahintergrundes ist nicht von der Höhe der Quellflüsse abhängig.
Weiterhin soll untersucht werden, ob es eine Beziehung zwischen der Größe der ermittelten Positionsabweichungen von der Katalogposition und der Größe der

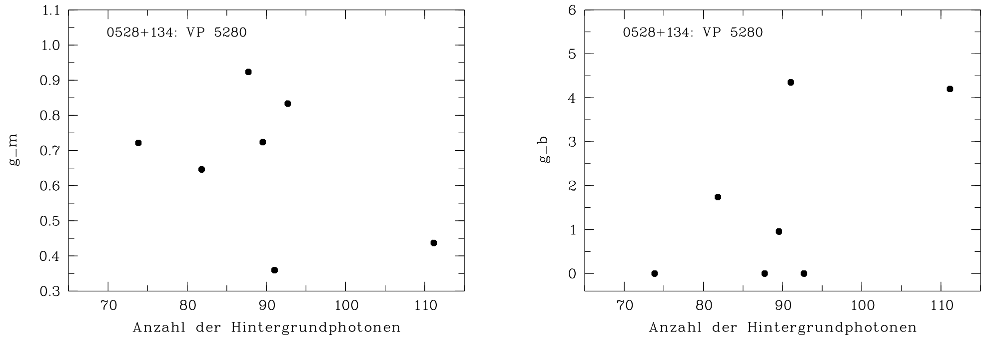


Abbildung 5.27: PKS 0528+134; links: Hintergrundparameter g_m aufgetragen gegen die Zahl der Hintergrundphotonen in der Beobachtungsperiode 528.0; rechts: Hintergrundparameter g_b aufgetragen gegen die Hintergrundphotonen. Es fällt auf, daß g_b einen kleinen Wert hat, wenn g_m groß ist und umgekehrt.

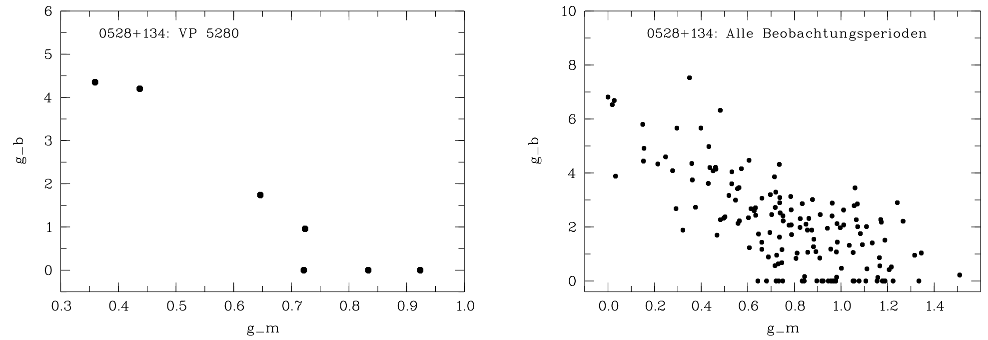


Abbildung 5.28: PKS 0528+134: links: g_b aufgetragen gegen g_m in der Periode 528.0; rechts: g_b aufgetragen gegen g_m für alle Eintagesintervalle im gesamten Beobachtungszeitraum.

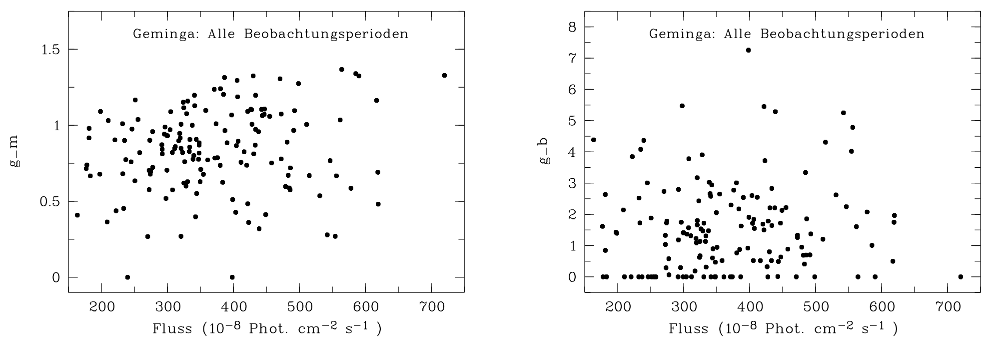


Abbildung 5.29: Geminga: links: g_m aufgetragen gegen die Flußwerte aus allen Eintagesintervallen in Einheiten von 10^{-8} Photonen cm^{-2} s^{-1}; rechts: g_b aufgetragen gegen die Flußwerte

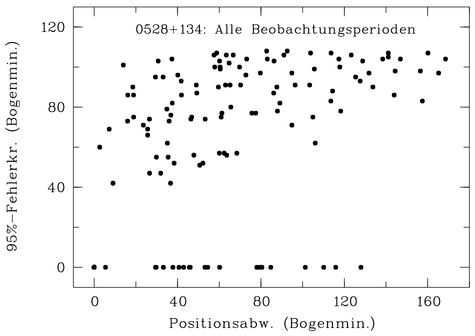


Abbildung 5.30: PKS 0528+134: Durchmesser der 95%-Fehlerkreise in Bogenminuten aufgetragen gegen die Positionsabweichung von der Katalogposition in Bogenminuten.

95%-Positionsfehlerkreise gibt. Dazu sind in Abbildung 5.30 die Durchmesser der 95%-Fehlerkreise aller Eintagesintervalle von PKS 0528+134 gegen die Positionsabweichungen aufgetragen. Ein Zusammenhang zwischen beiden Größen ist nicht erkennbar. Bei gegebener Positionsabweichung streut die Größe der Fehlerkreise über einen weiten Bereich und umgekehrt. Das Fehlen von Datenpunkten bei großen Positionsabweichungen und kleinen Fehlerkreisen ist dadurch bedingt, daß Eintagesintervalle, bei denen die Abweichung der Position größer als der doppelte 95%-Fehlerkreis war, herausgenommen wurden. Die Datenpunkte mit Fehlerkreisen mit dem Wert null rühren daher, daß bei Eintagesintervallen, deren Signifikanz des Quellnachweises kleiner als 2σ ist, bei der Likelihood-Analyse keine Fehlerkreise ermittelt werden.
Auch bei den anderen vier Quellen wird keine Beziehung zwischen den beiden betrachteten Größen beobachtet. Hätten Eintagesintervalle mit großen Positionsabweichungen auch regelmäßig entsprechend große Fehlerkreise, könnte keine Entscheidung darüber getroffen werden, ob die ermittelte Position aufgrund statistischer Schwankungen noch glaubhaft ist oder nicht.

Zuletzt wird untersucht, ob es eine Korrelation zwischen den Flußwerten, Quellphotonenzahlen und der Größe der ermittelten Positionsabweichungen der Quellen gibt. In Abbildung 5.31 sind links für Geminga die Positionsabweichungen gegen die Flußwerte aufgetragen. Eine klare Beziehung ist nicht zu erkennen. Bei den höchsten Flußwerten scheinen die auftretenden Positionsabweichungen insgesamt etwas geringer zu sein als bei kleinen Flußwerten. Um dies näher zu untersuchen, wurden in Abbildung 5.31 rechts die Positionsabweichungen gegen die den Flußwerten zugrundeliegenden Quellphotonenzahlen aufgetragen. In die Flußwertbestimmung gehen die unterschiedlichen Belichtungswerte in verschiedenen Beobachtungsperioden ein. Die Darstellung in Abhängigkeit von der Quellphotonenzahl hat den Vorteil, daß hier die unterschiedlichen Belichtungswerte nicht zum Tragen kommen. Hier erkennt man, daß mit zunehmender Quellphotonenzahl die Größe der ermittelten Positionsdifferenzen abnimmt. Dies wird auch erwartet, weil mit zunehmender Photonenzahl die Quellposition aufgrund der besseren Photonenstatistik besser be-

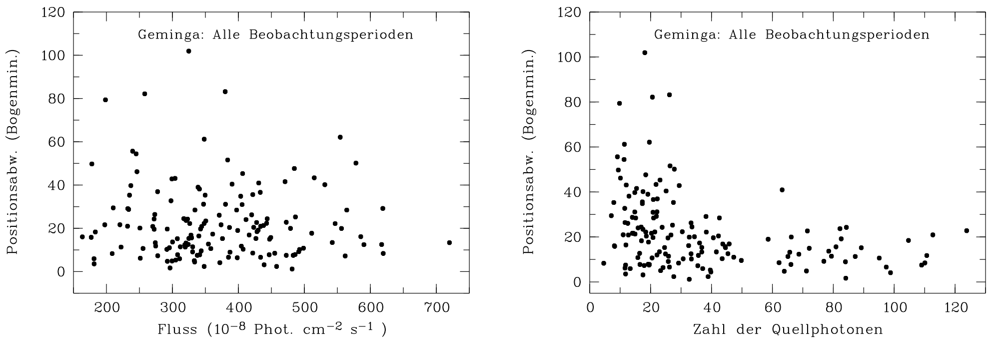


Abbildung 5.31: Geminga: links: Positionsabweichung in Bogenminuten aufgetragen gegen den Fluß in 10^{-8} Photonen cm^{-2} s^{-1}; rechts: Positionsabweichung in Bogenminuten aufgetragen gegen die Zahl der Quellphotonen.

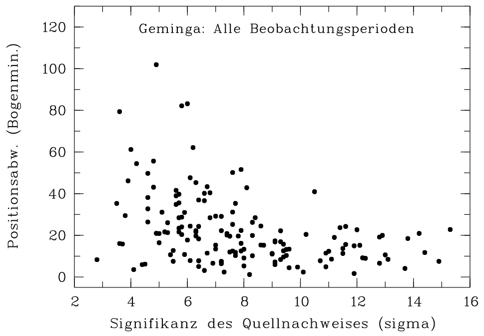


Abbildung 5.32: Geminga: Zusammenhang zwischen der Positionsabweichung in Bogenminuten und der Signifikanz der Quelldetektion in Einheiten von Sigma.

stimmt werden kann und die Signifikanz der Quelldetektion zunimmt. Der Zusammenhang zwischen den Positionsabweichungen und den Signifikanzen der Quelldetektion ist in Abbildung 5.32 dargestellt. Bei wachsender Signifikanz nimmt die Positionsabweichung ab. Diese Aussagen sind auch für die anderen Quellen gültig.

Ein Zusammenhang zwischen Quellphotonenzahl und Positionsabweichung wurde schon in den Abbildungen 5.10 und 5.11 gefunden. Dort wurde festgestellt, daß die Positionsabweichungen bei der schwächsten Quelle PKS 0528+134 am stärksten und bei der hellsten Quelle Geminga am wenigsten streuten.

Kapitel 6

Variabilität der untersuchten Quellen

6.1 Variabilität in einzelnen Beobachtungsperioden

Die fünf Quellen wurden auf Variabilität innerhalb von einzelnen Beobachtungsperioden untersucht. Hierfür wurden die für jede Quelle und Periode mit freien Hintergrundparametern und freier Position ermittelten Lichtkurven mit ihren χ^2-Werten betrachtet. Es wurde überprüft, ob die erhaltenen χ^2-Werte mit der Annahme eines zeitlich konstanten Flußwertes verträglich sind. Dazu wurden die ermittelten χ^2-Werte mit tabellierten χ^2-Werten verglichen, die für einen bestimmten Vertrauensbereich einen Grenzwert darstellen. Ist der ermittelte χ^2-Wert größer als der entsprechende Grenzwert, kann nicht mehr davon ausgegangen werden, daß die gemessene Verteilung mit der hier angenommenen Verteilung eines zeitlich konstanten Flußwertes übereinstimmt. Die tabellierten χ^2-Grenzwerte wurden Bronstein & Semendjajew (1989) entnommen.
In der Tabelle 6.1 sind die Quellen und Beobachtungsperioden aufgelistet, bei denen der χ^2-Wert für einen Vertrauensbereich von 95% nicht mit der Annahme eines zeitlich konstanten Flußwertes verträglich ist. Die Wahl eines 95%-Vertrauensbereiches bedeutet, daß die Aussage über die zeitliche Konstanz oder Variabilität eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% enthält. Zusätzlich zum χ^2-Grenzwert für den 95%-Vertrauensbereich ist noch der Grenzwert für den 99%-Vertrauensbereich angegeben. Bei der Wahl dieses Vertrauensbereiches ist nur noch die Zweitagesintervall-Lichtkurve von Geminga in der Periode 2.0 und die Lichtkurve von 3C 454.3 in der Periode 410.0 nicht mit der Annahme eines zeitlich konstanten Flußmittels verträglich.
Wenn man einen Vertrauensbereich von 90% zugrunde legt, läßt man damit zu, daß die Aussage mit einer Wahrscheinlichkeit von 10% falsch ist. Bei Wahl dieser Irrtumswahrscheinlichkeit findet man dann noch zusätzlich die in Tabelle 6.2 enthaltenen Quellen und Perioden, die mit der Annahme eines zeitlich konstanten Flußwertes nicht verträglich sind.
Neben den in den Tabellen 6.1 und 6.2 aufgelisteten Perioden gab es noch eine weitere auffällige Periode. Die Flußwerte von PKS 0528+134 in der Periode 213.0 sind gegenüber allen anderen Perioden um ungefähr einen Faktor vier

Tabelle 6.1: Alle Beobachtungsperioden verschiedener Quellen, deren Lichtkurven bei Wahl eines 95%-Vertrauensbereiches nicht mit der Annahme eines zeitlich konstanten Flußwertes verträglich sind. F bezeichnet die Anzahl der für die χ^2-Berechnung relevanten Freiheitsgrade, $\chi^2_{Mess.}$ ist der ermittelte χ^2-Wert, $\chi^2_{Grenz.\,95\%}$ bezeichnet den χ^2-Grenzwert bei einem 95%-Vertrauensbereich, $\chi^2_{Grenz.\,99\%}$ den Grenzwert des 99%-Vertrauensbereiches. (2T) steht für Zweitagesintervall-Lichtkurven.

Quelle	Periode	F	$\chi^2_{Mess.}$	$\chi^2_{Grenz.\,95\%}$	$\chi^2_{Grenz.\,99\%}$
3C 454.3	410.0	19	43.9	30.1	36.2
CTA 102	19.0	12	22.8	21.0	26.2
Geminga	2.0	5	14.8	11.1	15.1
	2.0 (2T)	2	11.9	6.0	9.2
	337.0	16	27.9	26.3	32.0
	527.0	6	13.2	12.6	16.8

Tabelle 6.2: Lichtkurven von Quellen in den angegebenen Perioden, die bei Annahme des schwächeren Kriteriums eines 90%-Vertrauensbereiches zusätzlich als nicht konstant angesehen werden können. 321.1+321.5 bezeichnet die zusammengefaßten Perioden 321.1 und 321.5

Quelle	Periode	F	$\chi^2_{Mess.}$	$\chi^2_{Grenz.}$
PKS 0528+134	321.1+321.5	8	13.7	13.4
	321.1+321.5 (2T)	4	9.2	7.8
Crab	337.0	18	28.3	26.0
	420.0	13	22.2	19.8
Geminga	2.1	6	11.3	10.6

erhöht. Innerhalb der Periode selbst wird keine Variabilität beobachtet.

6.2 Variabilität im gesamten Beobachtungszeitraum

Nach der Betrachtung einzelner Perioden sollten nun die Quellen mit den jeweiligen Flußwerten aus allen Perioden zusammengefaßt auf Variabilität untersucht werden. Zur Charakterisierung der Variabilität wurden statistische Tests angewandt, die im folgenden beschrieben werden. Betrachtet wurden wieder die bei der besten Analysemethode mit freien Hintergrundparametern und freier Position ermittelten Flußwerte.
Alle Beobachtungsperioden der einzelnen Quellen wurden in Tabellen zusammengefaßt. Diese Tabellen, die alle relevanten Ergebnisse der Likelihood-Analyse enthalten, sind in Anhang B dargestellt.
Zunächst wurde für jede Quelle der Absolutbetrag der Differenzen aller möglichen Kombinationen von Flußwerten berechnet. Das bedeutet, daß zu jedem

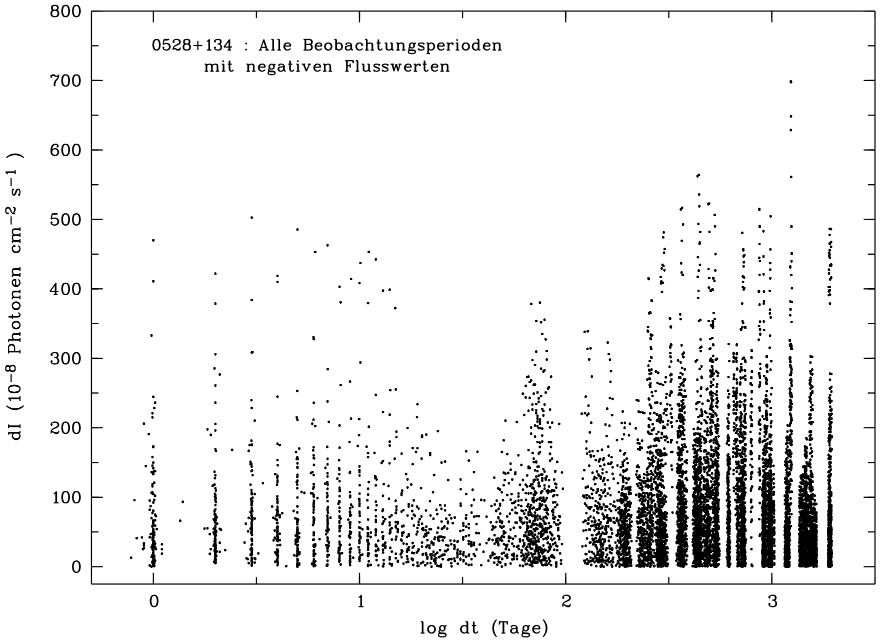


Abbildung 6.1: Flußdifferenzen dI von PKS 0528+134, aufgetragen gegen die Zeitdifferenzen in logarithmischem Maßstab. Der Zusatz „mit negativen Flußwerten“ wird im Text erläutert.

einzelnen Flußwert I die Flußwertdifferenz dI und die Zeitdifferenz dt zu allen anderen Flußwerten des gesamten Beobachtungszeitraums ermittelt wurden. Man erhält so aus n Flußwerten I $n(n-1)/2$ Flußdifferenzen dI(dt) mit den jeweiligen zeitlichen Differenzen dt.
Vor der Berechnung der Flußdifferenzen dI(dt) wurde bei PKS 0528+134, Crab und Geminga jeweils der Flußwert mit Julianischem Datum 2449391.7 in der Periode 321.1 herausgenommen. Bei 3C 454.3 und CTA 102 wurde der Flußwert mit Julianischem Datum 2450058.8 in der Periode 507.0 nicht berücksichtigt. Der Grund war, daß in beiden Fällen das Zeitintervall nur eine Länge von wenigen Stunden hatte, was einen unsicheren Flußwert mit einem gegenüber den anderen Intervallen um ein Vielfaches höheren Fehler zur Folge hatte.

Die erhaltenen Absolutbeträge der Flußdifferenzen dI(dt) wurden gegen die logarithmisch dargestellten Zeitdifferenzen aufgetragen. Ein Beispiel für PKS 0528+134 zeigt Abbildung 6.1. Die Diagramme für die anderen Quellen sind zusammen mit weiteren Schaubildern aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit in Anhang C dargestellt.
Bei PKS 0528+134, 3C 454.3 und CTA 102 waren die größten Flußwertdifferenzen dI deutlich höher als die in den einzelnen Beobachtungsperioden ermittelten höchsten Flußwerte. Besonders auffällig war dies bei CTA 102. Der Grund für diese großen dI-Werte waren die bei Flußwerten von null über die 2σ-Grenzwerte und 1σ-Fehler berechneten Flußwerte. Bei dieser Methode hatten sich überwie-

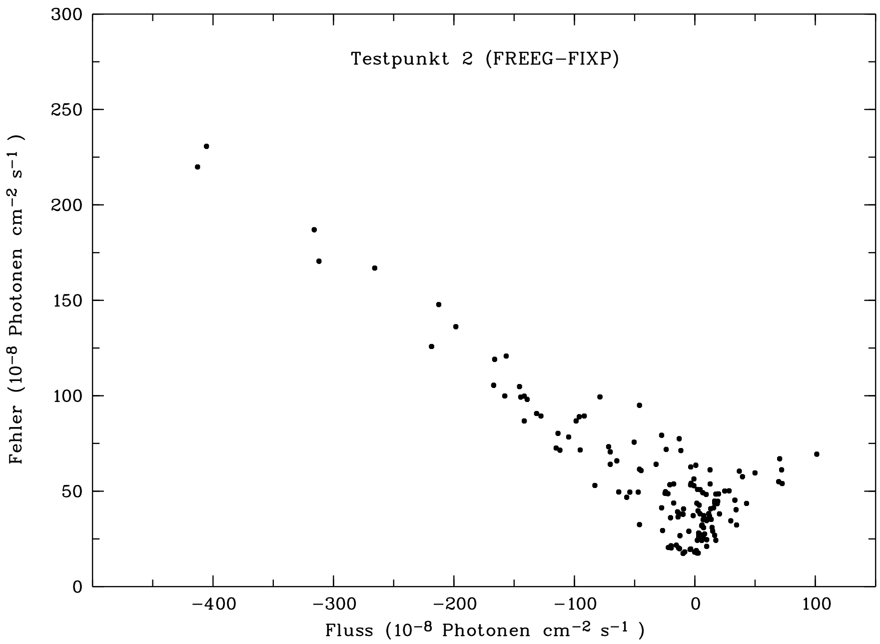


Abbildung 6.2: Testpunkt 2: Dargestellt sind die neu berechneten 105 Flußwerte und die 37 positiven Flußwerte gegenüber ihren 1σ-Fehlern. Auffällig ist die stark asymmetrische Verteilung der Werte um den Flußwert null.

gend negative Flußwerte ergeben. Manche Flußwerte lagen dabei so weit im negativen Bereich bei ungefähr 200 bis 400×10^{-8} Photonen cm^{-2} s^{-1}, daß die erwähnten hohen dI-Werte zustandekamen.
Das Auftreten solch hoher negativer Flußwerte bedurfte einer näheren Untersuchung. Diese Flußwerte waren für Eintagesintervalle berechnet worden, für die in der Likelihood-Analyse eine negative Photonenzahl ermittelt und der Fluß null als Ergebnis erhalten worden war. Um das Verhalten bei kleinen oder negativen Photonenzahlen näher zu untersuchen, eigneten sich am besten die beiden Testpunkte mit ihren Positionen, an denen sich keine Quellen befanden. Deren Flußwerte schwankten nämlich um null. Häufig wurde wegen einer negativen Photonenzahl der Fluß null ermittelt. Testpunkt 1 hatte bei Analyse mit freien Hintergrundparametern bei 142 Flußwerten 87 mal den Fluß null, Testpunkt 2 insgesamt in 105 Tagesintervallen. Für diese Flußwerte wurden mit der gleichen Methode wie bei den anderen Quellen neue Flußwerte ermittelt, nämlich durch Subtraktion des doppelten 1σ-Fehler vom 2σ-Wert der oberen Grenze. In Abbildung 6.2 sind die so erhaltenen, meist negativen 105 Flußwerte, sowie die 37 ursprünglich schon erhaltenen positiven Flußwerte von Testpunkt 2 gegen ihre 1σ-Fehler aufgetragen. Die Werte sind um den Flußwert null stark asymmetrisch verteilt. Die 1σ-Fehler der 105 neu berechneten Flußwerte sind teilweise wesentlich größer als die 1σ-Fehler der 35 Flußwerte, für die in der Likelihood-Analyse nicht der Wert null, sondern ein positiver Wert ermittelt worden war. Dies hat zur Folge, daß die neu berechneten Flüsse einen teilweise

hohen negativen Wert annehmen, weil die 1σ-Fehler in die Neuberechnung eingehen. Die Werte für die oberen Grenzen zeigten keine Auffälligkeiten.
Bei richtiger Berechnung der 1σ-Fehler, auch bei Eintagesintervallen mit negativen Photonenzahlen, müßten die Flußwerte um den Wert null symmetrisch verteilt sein. Man würde eine vergleichbare Streuung der positiven und negativen Flußwerte um null beobachten. Auch die Größe der Fehler müßte bei den negativen und positiven Flüssen vergleichbar sein.
Die teils sehr hohen negativen Flußwerte sind durch eine nicht korrekte Ermittelung der 1σ-Fehler bei einer negativen Quellphotonenzahl bedingt. Das Problem wäre nur dadurch zu beheben, daß die Fehlerberechnung im Programm `LIKE` bei Quellen, für die eine negative Quellphotonenzahl ermittelt wird, entsprechend korrigiert wird, um die korrekten 1σ-Fehler zu erhalten.
Die drei Quellen, bei denen dieses Problem auftaucht, werden im weiteren auf zwei verschiedene Arten analysiert. Einmal werden die unkorrekten hohen negativen Flußwerte beibehalten. Bei der anderen Analyseart werden alle Flußwerte, die in der Likelihood-Analyse den Wert null hatten, auch mit diesem Wert null weiteranalysiert. Auch dieses Verfahren ist nicht ideal. Bei einem statistisch um null schwankenden Flußwert müssen korrekterweise auch negative Werte zugelassen werden. Dies wird durch das Abschneiden des Flußwertebereichs beim Wert null verhindert.

Die drei dI-dt-Diagramme von PKS 0528+134, 3C 454.3 und CTA 102, die mit den negativen Flußwerten bereits erstellt waren, wurden nochmals unter Beibehaltung der Flüsse mit dem Wert null berechnet und dargestellt. Die Schaubilder sind ebenfalls in Anhang C enthalten und den Diagrammen mit negativen Flußwerten direkt gegenübergestellt. Man erkennt, daß die höchsten dI-Werte jetzt deutlich niedriger sind als in den Diagrammen, die auch negative Flußwerte enthalten. Dies ist besonders auffällig bei CTA 102.
Die auffälligen Lücken bei verschiedenen dt-Werten sind eine Folge der Aufteilung in Eintagesintervalle und teils auch der unregelmäßigen zeitlichen Verteilung der Beobachtungsperioden. So gibt es zum Beispiel auf kurzen Zeitskalen von der typischen Länge einer Beobachtungsperiode praktisch keine Flußwerte, die einen zeitlichen Abstand von einem halben Tag, anderthalb Tagen usw. haben. Dies ist in den Schaubildern gut zu sehen im Bereich von ungefähr ein bis zehn Tagen (log dt von null bis eins). Die große Wertelücke bei 3C 454.3 und CTA 102 auf Zeitskalen von ungefähr 20 bis 60 Tagen ist bedingt durch die zeitliche Verteilung der Beobachtungsperioden.

Neben der Darstellung der Flußwertdifferenzen dI(dt) in Abhängigkeit von den Zeitdifferenzen wurde noch ein anderes Vorgehen gewählt. Die 1σ-Fehler der Flußwerte bleiben bei der Berechnung der Flußdifferenzen dI unberücksichtigt. Diese Fehler sind aber für die verschiedenen Flußwerte unterschiedlich groß. Die Größe des Fehlers hängt von der Anzahl der ermittelten Quellphotonen ab und auch von den unterschiedlichen Belichtungswerten in verschiedenen Beobachtungsperioden, die aufgrund veränderter EGRET-Blickrichtungen zustandekommen.
Um die Fehler berücksichtigen zu können, wurde die Größe dS(dt) als Maß für

die Signifikanz der Flußdifferenzen dI(dt) berechnet. Dabei ist dS(dt) gegeben durch:

$$dS(dt) = \frac{dI(dt)}{\sigma_{dI(dt)}} = \frac{dI(dt)}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2}}$$

Dabei sind σ_i^2 und σ_j^2 die Fehler der beiden Flußwerte, aus denen die Flußdifferenz berechnet wurde. Der Wert $\sigma_{dI(dt)}$ ist der mittels Fehlerfortpflanzung ermittelte Fehler der Flußdifferenz.
Die dS-Werte wurden für alle Quellen berechnet und in Abhängigkeit von den logarithmisch dargestellten Zeitdifferenzen dt aufgetragen. Bei den drei Quellen PKS 0528+134, CTA 102 und 3C 454.3 geschah dies wieder auf zwei Weisen, einmal mit und einmal ohne die negativen Flußwerte. Alle Diagramme sind in Anhang C dargestellt. Die großen Unterschiede, die zwischen den dI-dt-Diagrammen mit und ohne negative Flußwerte zu erkennen waren, sind in den entsprechenden dS-dt-Diagrammen nicht mehr zu sehen. Die höchsten dI-Werte hatten nämlich auch die größten 1σ-Fehler, was bei der Berechnung der Signifikanz dS aufgrund der Division durch diese Fehler zu entsprechend kleinen dS-Werten führte. Die dS-dt-Schaubilder der einzelnen Quellen mit und ohne negative Flußwerte stimmen aber dennoch nicht völlig überein.

6.2.1 Strukturfunktionen

Zur Charakterisierung des Variabilitätsverhaltens wird nun eine Analyse mit Strukturfunktionen (SF) durchgeführt. Die Strukturfunktionanalyse ist eine statistische Methode, um charakteristische Variabilitätszeitskalen zu ermitteln. Die Strukturfunktion gibt die mittlere Differenz der Flußwerte I als Funktion des Zeitintervalls dt an (Simonetti et al. 1985). Die Strukturfunktion 1. Ordnung ist folgendermaßen definiert:

$$SF(dt) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(I(t_i + dt) - I(t_i))^2$$

Innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls werden alle darin enthaltenen Flußwertdifferenzen quadriert, aufsummiert und anschließend durch die Anzahl der Flußwertdifferenzen dividiert.
Die Strukturfunktion ist eine nicht-phasenerhaltende statistische Methode und gut geeignet zur Untersuchung eines Datensatzes, bei dem die Länge der Beobachtungsdauer variiert und Datenpunkte ungleichmäßig verteilt sind.
Die Strukturfunktion wird doppelt logarithmisch gegen die Zeit aufgetragen. Die Steigung der SF im log(SF)-log(dt)-Raum charakterisiert die Variabilität (Heidt 1994). Verläuft die SF flach, ist keine Variabilitätszeitskala besonders hervorgehoben. Steigt die SF mit konstanter Steigung an, ist die entsprechende Zeitskala der Variabilität größer als die Länge des Beobachtungszeitraumes. Maxima im Verlauf der Strukturfunktion kennzeichnen charakteristische Variabilitätszeitskalen innerhalb des Beobachtungszeitraumes. Enthält die Lichtkurve ein periodisches Signal, so hat die SF ein Maximum bei $dt = P/2$ und ein Minimum bei $dt = P$ (Smith et al. 1993).

Tabelle 6.3: Zahl der Flußwerte und Anzahl N der Flußwertdifferenzen, aus denen die Strukturfunktionen berechnet wurden.

Quelle	Flußwerte	N
PKS 0528+134	152	11476
Crab	154	11781
Geminga	151	11325
3C 454.3	77	2926
CTA 102	76	2850

Ein Problem bei der Berechnung der SF ist die Wahl geeigneter Zeitintervalle. Zu kleine Zeitintervalle führen dazu, daß wegen der zeitlich ungleichmäßig verteilten Datenpunkte manche Intervalle nur wenige Meßpunkte enthalten, was zu einem großen Meßfehler führt und scheinbare Extrema in der SF zur Folge haben kann. Wählt man die Zeitintervalle zu groß, werden bestimmte Strukturen nicht mehr aufgelöst und die SF ist nur durch wenige Punkte festgelegt. Eine andere Möglichkeit ist, nicht ein festes Zeitintervall zu wählen, sondern Intervalle, die eine gleiche Anzahl N von Datenpunkten enthalten.

Für alle fünf Quellen wurden Strukturfunktionen berechnet. Dabei wurden sowohl für feste Zeitintervalle als auch für Intervalle mit gleicher Anzahl von Datenpunkten Strukturfunktionen ermittelt. Die Tabelle 6.3 enthält die Anzahl der Flußwerte und die Zahl der Flußwertdifferenzen, die für die einzelnen Quellen in die Berechnung der Strukturfunktionen eingingen. Als festes Zeitintervall wurde bei allen Quellen eine Intervallänge mit dem Wert $\log(dt) = 0.4$ gewählt. Bei einer maximalen zeitlichen Differenz der Flußwerte von 1953 Tagen vom Beginn der ersten bis zum Ende der letzten Beobachtungsperiode ($\log(dt) \approx 3.3$) bei PKS 0528+134, Crab und Geminga und von 1420 Tagen ($\log(dt) \approx 3.1$) bei 3C 454.3 und CTA 102 ergaben sich so sieben bis acht Zeitintervalle, deren mittlere quadratische Flußdifferenzen zur Darstellung der Strukturfunktion dienten.
Bei vorgegebener Anzahl von Datenpunkten pro Intervall wurden bei Crab, Geminga und PKS 0528+134 800 Werte und für die anderen Quellen 200 Werte gewählt. Mit dieser Wertezahl pro Intervall erhielt man in beiden Fällen ungefähr 14 Datenpunkte für die Erstellung der Strukturfunktion.
Nachdem alle Flußwertdifferenzen nach zunehmender Zeitdifferenz sortiert waren, wurden die Strukturfunktionen berechnet und doppelt logarithmisch gegen die Zeit aufgetragen. Der Fehler σ_m der einzelnen Datenpunkte der Strukturfunktion wurde aus quadratischem Mittelwert und Standardabweichung σ_{sa} aus allen im entsprechenden Zeit- oder Werteintervall liegenden Werten N berechnet. Der Fehler dieses Mittelwertes ist gegeben durch die Standardabweichung dividiert durch $\sqrt{N}$: $\sigma_m = \sigma_{sa}/\sqrt{N}$.
Strukturfunktionen wurden nicht nur aus den Flußwertdifferenzen dI berechnet, sondern auch aus den Signifikanzen dS dieser Flußwertdifferenzen. Im Vergleich der aus den dI- und den dS-Werten ermittelten Strukturfunktionen kann man

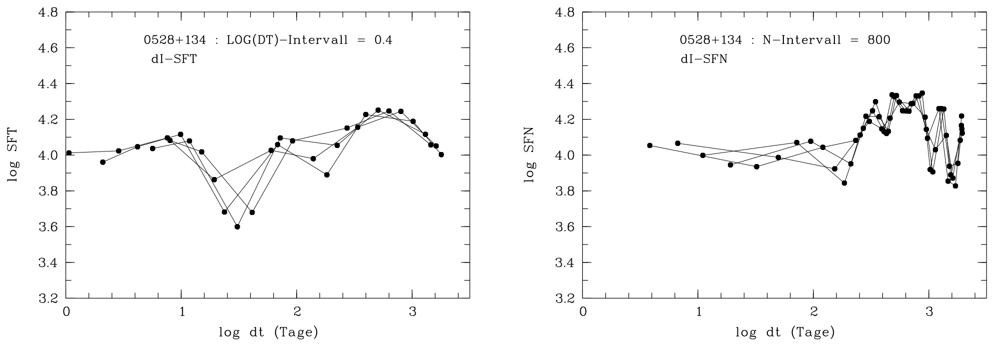


Abbildung 6.3: Strukturfunktionen von PKS 0528+134, links: SF aus log(dt)-Intervallen; rechts: SF aus Intervallen mit fester Wertezahl. Beide Strukturfunktionen wurden aus den Flußwertdifferenzen dI berechnet unter Berücksichtigung von negativen Flußwerten.

Rückschlüsse auf die Auswirkung der Fehler $\sigma_{dI(dt)}$ der dI-Werte auf die Gestalt der SF ziehen. Diese unterschiedlich großen Fehler kommen bei der Darstellung der aus den Signifikanzen ermittelten dS-Strukturfunktionen nicht zum Tragen. Für die drei Quellen PKS 0528+134, 3C 454.3 und CTA 102 wurden alle Strukturfunktionen einmal unter Berücksichtigung der negativen Flußwerte und einmal unter Beibehaltung der Flußwerte mit dem Wert null ermittelt.
Für PKS 0528+134, 3C 454.3 und CTA 102 wurden also jeweils acht Strukturfunktionen ermittelt, nämlich dI- und dS-Strukturfunktionen jeweils mit festen Zeit- und mit festen Werteintervallen und dies jeweils mit und ohne negative Flußwerte. Für Crab und Geminga erhielt man je vier Strukturfunktionen, weil eine Analyse mit und ohne negative Flußwerte hier nicht nötig ist, da alle ermittelten Flußwerte größer als null waren.
Die Abbildung 6.3 zeigt als Beispiel die Strukturfunktion von PKS 0528+134 mit log(dt)-Intervallen und mit Intervallen, die jeweils 800 Werte enthalten, ermittelt unter Berücksichtigung der negativen Flußwerte. Die beiden Schaubilder enthalten jeweils vier Kurven, die dadurch zustande kommen, daß der Startwert zur SF-Berechnung bei jeder dieser vier Kurven um 25% der Intervallänge verschoben wurde. Diese Art der Darstellung wurde gewählt, um die bei der begrenzten Anzahl der Meßwerte auftretenden Unsicherheiten aufgrund der Wahl der Intervallgröße oder der Wahl des Startwertes sichtbar zu machen. Die verschiedenen Strukturfunktionen aller fünf Quellen sind in Anhang C dargestellt. Auf die Darstellung der Fehler wurde aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit verzichtet. Der Verlauf der Strukturfunktionen wird im Kapitel 7.6 diskutiert.

6.3 Verteilung der Signifikanzwerte dS

Nach Erstellung der Strukturfunktionen soll noch eine andere Methode angewandt werden, um Variabilität auf kurzen Zeitskalen zu untersuchen. Dazu werden die in Anhang C dargestellten dS-dt-Diagramme einer weiteren Unter-

Tabelle 6.4: Zahl der dS-Werte von allen fünf Quellen, die innerhalb der Zeitdifferenzen von $log(dt) = 0$ bis $log(dt) = 0.5$ liegen.

Quelle	dS-Werte
PKS 0528+134	367
Crab	373
Geminga	356
3C 454.3	173
CTA 102	171

Tabelle 6.5: PKS 0528+134: Häufigkeit der gemessenen dS-Werte $dS_{gem.}$ und Häufigkeit der nach der Normalverteilung erwarteten dS-Werte $dS_{erw.}$ in den einzelnen dS-Intervallen. Zusätzlich ist das Verhältnis aus gemessener und erwarteter Häufigkeit angegeben.

dS-Intervall (Sigma)	$dS_{gem.}$	$dS_{erw.}$	Verhältnis $dS_{gem.}/dS_{erw.}$
0-1	226	250.54	0.902
1-2	118	99.75	1.183
2-3	23	15.71	1.464

suchung unterzogen. In diesen Diagrammen ist die Größe dS in Abhängigkeit von den logarithmisch dargestellten Zeitdifferenzen dt aufgetragen.
In einem Zeitraum von $log(dt) = 0$ bis $log(dt) = 0.5$, also von einem Tag bis ungefähr 3.2 Tagen, soll die Verteilung der ermittelten dS-Werte mit einer Gaußschen Normalverteilung verglichen werden. Dieses Zeitintervall wurde gewählt, um Variabilität auf möglichst kurzen Zeitskalen untersuchen zu können. Insbesondere soll untersucht werden, ob eine größere Anzahl von dS-Werten im Bereich von 2σ bis 4σ liegt, als bei Annahme einer Normalverteilung erwartet. Ist nämlich die Streuung der dS-Werte – der Signifikanzen der Flußdifferenzen dI – größer als bei einer Normalverteilung erwartet, ist dies ein Hinweis auf Variabilität der Quelle.
In Tabelle 6.4 ist für alle fünf Quellen die Anzahl der dS-Werte aufgelistet, die im oben genannten Zeitintervall von einem bis ungefähr 3.2 Tagen liegen.

Alle dS-Werte wurden für jede Quelle in Intervalle aufgeteilt, die jeweils eine Intervallweite von 1σ hatten. Man erhielt so eine Tabelle, welche die Anzahl der dS-Werte im Bereich von null bis 1σ, von 1σ bis 2σ usw. enthielt. Die Anzahl der dS-Werte in den einzelnen Intervallen wurde nun mit der nach einer Normalverteilung erwarteten Anzahl verglichen. Es wurde der Quotient aus der gemessenen Häufigkeit der dS-Werte und der nach der Normalverteilung erwarteten Häufigkeit gebildet. Als Beispiel enthält die Tabelle 6.5 die entsprechenden Werte von PKS 0528+134. Die erwartete Häufigkeit wurde dadurch berechnet, daß man die Gesamtzahl aller dS-Werte – hier 367 – mit dem zum entsprechenden dS-Intervall gehörenden tabellierten Wert der Gaußverteilung multiplizierte. Bei der Gaußschen Normalverteilung liegt innerhalb von 1σ ein

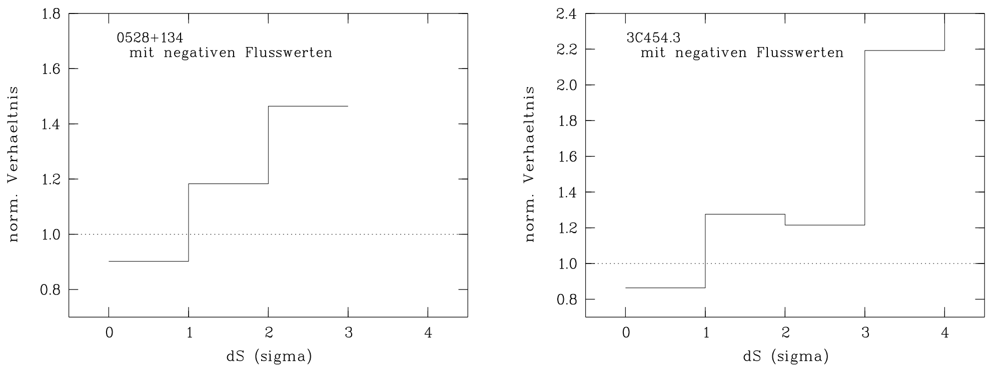


Abbildung 6.4: Verhältnis $dS_{gem.}/dS_{erw.}$ aufgetragen gegen die Signifikanz in Einheiten von Sigma; links: PKS 0528+134; rechts: 3C 454.3: Der letzte, nicht mehr dargestellte Wert bei 5σ ist größer als 90, weil 1 dS-Wert in diesem Intervall gefunden wurde, obwohl nur 0.01 erwartet werden. Bei beiden Quellen wurden die negativen Flußwerte berücksichtigt.

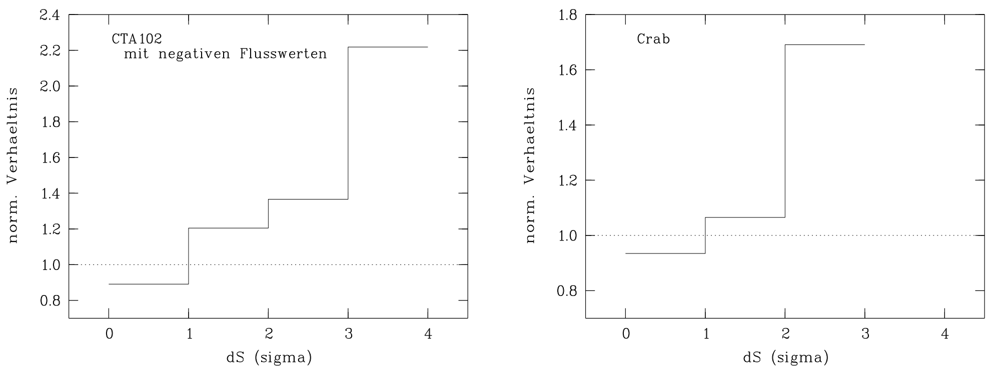


Abbildung 6.5: Verhältnis $dS_{gem.}/dS_{erw.}$ aufgetragen gegen die Signifikanz in Einheiten von Sigma; links: CTA 102 unter Berücksichtigung der negativen Flußwerte; rechts: Crab.

Anteil von 68.269% aller Werte, innerhalb von 2σ ein Anteil von 95.449% und innerhalb von 3σ 99.730%. In den Abbildungen 6.4 bis 6.8 ist das Verhältnis $dS_{gem.}/dS_{erw.}$ für alle fünf Quellen gegen die Signifikanz in Einheiten von Sigma aufgetragen. Bei den drei Quellen PKS 0528+134, 3C 454.3 und CTA 102 wurden diese Schaubilder wiederum einmal unter Berücksichtigung der negativen Flußwerte und einmal unter Beibehaltung der Flußwerte null dargestellt. Man erkennt deutliche Unterschiede zwischen diesen beiden Darstellungsarten, die im Kapitel 7.6 näher erläutert werden.

Die erhaltenen dS-Verteilungen wurden mit Hilfe eines χ^2-Tests daraufhin überprüft, ob sie mit der Annahme einer Gaußschen Normalverteilung ver-

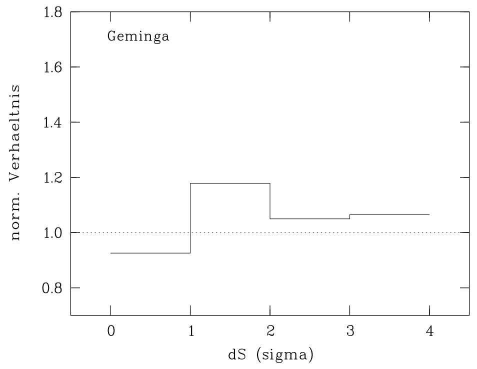


Abbildung 6.6: Geminga: Verhältnis $dS_{gem.}/dS_{erw.}$ aufgetragen gegen die Signifikanz in Einheiten von Sigma.

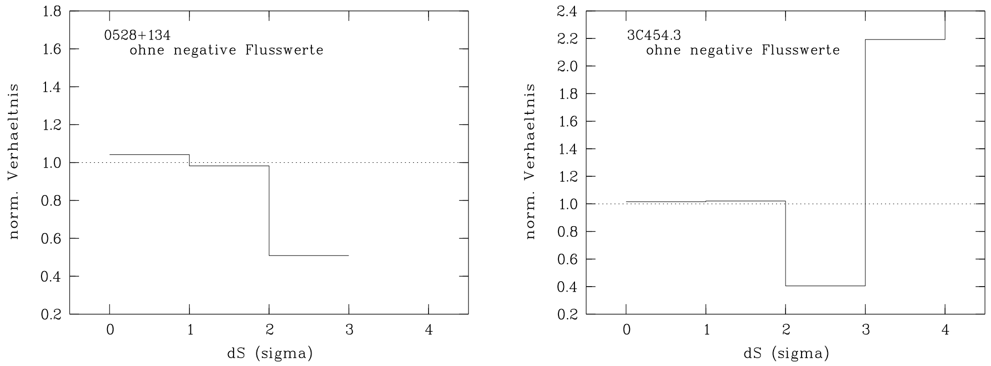


Abbildung 6.7: Verhältnis $dS_{gem.}/dS_{erw.}$ aufgetragen gegen die Signifikanz in Einheiten von Sigma; links: PKS 0528+134; rechts: 3C 454.3. Auch hier liegt der Wert bei 5σ über 90 aus demselben Grund wie oben. Bei beiden Quellen wurden die Flußwerte null beibehalten.

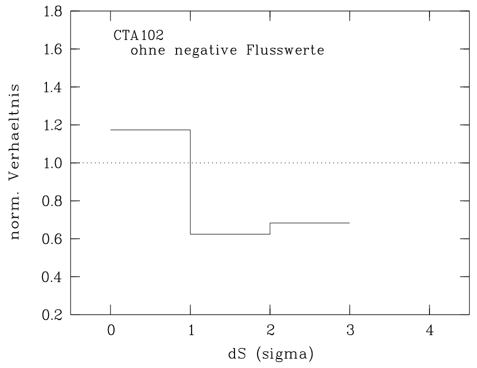


Abbildung 6.8: CTA 102: Verhältnis $dS_{gem.}/dS_{erw.}$ aufgetragen gegen die Signifikanz in Einheiten von Sigma unter Beibehaltung der Flußwerte null

Tabelle 6.6: χ^2-Werte für alle Quellen bei Annahme einer Normalverteilung. In der ersten Spalte sind die Quellen aufgelistet. Bei den Blazaren wird zwischen der Analyse mit und ohne negative Flußwerte unterschieden. F bezeichnet die Anzahl der für die χ^2-Berechnung relevanten Freiheitsgrade, $\chi^2_{Mess.}$ ist der ermittelte χ^2-Wert, $\chi^2_{Grenz.\,95\%}$ bezeichnet den χ^2-Grenzwert bei einem 95%-Vertrauensbereich, $\chi^2_{Grenz.\,99\%}$ den Grenzwert des 99%-Vertrauensbereiches.

Quelle	F	$\chi^2_{Mess.}$	$\chi^2_{Grenz.\,95\%}$	$\chi^2_{Grenz.\,99\%}$
PKS 0528+134 (mit neg. Fl.)	2	9.13	6.0	9.2
PKS 0528+134 (ohne neg. Fl.)	2	4.25	6.0	9.2
3C 454.3 (mit neg. Fl.)	4	98.87	9.5	13.3
3C 454.3 (ohne neg. Fl.)	4	93.42	9.5	13.3
CTA 102 (mit neg. Fl.)	3	4.99	7.8	11.3
CTA 102 (ohne neg. Fl.)	2	10.82	6.0	9.2
Crab	2	9.14	6.0	9.2
Geminga	3	4.45	7.8	11.3

träglich sind. Dabei wurde der χ^2-Wert mit folgender Formel berechnet:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(N_i - n_i)^2}{n_i}$$

Hierbei ist N_i die Anzahl der dS-Werte $\mathrm{dS}_{gem.}$ im jeweiligen Intervall, und n_i ist der bei Annahme einer Normalverteilung erwartete Wert $\mathrm{dS}_{erw.}$. Der Wert k entspricht der Zahl der dS-Intervalle. Die Anzahl der Freiheitsgrade ist gegeben durch $f = k - 1$.

Der χ^2-Wert wurde für alle fünf Quellen berechnet. Die Werte sind in Tabelle 6.6 aufgelistet. Bei Annahme eines 95%-Vertrauensbereiches sind drei der acht dS-Verteilungen mit der Annahme einer Normalverteilung verträglich. Dies gilt für PKS 0528+134 bei Beibehaltung der Flußwerte null, für CTA 102 bei Berücksichtigung der negativen Flußwerte und für Geminga.

Bei Wahl eines 99%-Vertrauensbereiches sind zusätzlich noch die dS-Verteilungen von Crab und PKS 0528+134 bei Berücksichtigung der negativen Flußwerte mit der Annahme einer Normalverteilung verträglich.

Kapitel 7

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Analyse der fünf untersuchten Quellen sollen hier dargestellt werden. Dabei werden zunächst die drei Blazare PKS 0528+134, CTA 102 und 3C 454.3 nacheinander diskutiert. Anschließend werden die Ergebnisse der beiden Pulsare Crab und Geminga dargestellt. Die Lichtkurven aus allen Beobachtungsperioden sind für alle fünf Quellen in Anhang A enthalten. In Anhang B sind die Likelihood-Ergebnistabellen für alle Quellen dargestellt.
Die aus den Eintagesintervallen ermittelten Strukturfunktionen werden daraufhin untersucht, ob sie charakteristische Variabilitätszeitskalen aufzeigen. Alle Strukturfunktionen sind in Anhang C dargestellt.
Weiterhin soll der Vergleich der dS-Verteilungen mit einer Normalverteilung betrachtet werden. Alle vorgestellten Ergebnisse beziehen sich auf Daten, die durch Analyse mit freien Hintergrundparametern g_m und g_b und bei freigelassenen Positionen gewonnen wurden.

7.1 PKS 0528+134

Der Blazar PKS 0528+134 wurde in 16 Beobachtungsperioden betrachtet. Nach Entfernung von fehlerhaften Flußwerten verblieben in allen Perioden insgesamt 153 Eintagesintervalle.
Anhand eines χ^2-Tests wurden die Lichtkurven aus den einzelnen Perioden daraufhin untersucht, ob sie mit der Annahme eines zeitlich konstanten Flußmittels verträglich waren. Bei PKS 0528+134 wurde in der Beobachtungsperiode, die durch Zusammenfassen der Perioden 321.1 und 321.5 entstanden war, ein χ^2-Wert ermittelt, der bei Annahme eines 90%-Vertrauensbereiches nicht mit der Annahme eines konstanten Flußwertes verträglich war. Dies gilt für die Ein- und Zweitagesintervall-Lichtkurven. Bei Annahme eines 95- oder 99%-Vertrauensbereiches jedoch war auch diese Periode wie alle anderen mit der Annahme eines zeitlich konstanten Flusses verträglich. In der Periode 213.0 wurden Flußwerte ermittelt, die um ungefähr einen Faktor vier gegenüber den Werten in anderen Perioden erhöht waren.
In Anhang C sind insgesamt acht SF von PKS 0528+134 dargestellt, vier mit Intervallen mit fester Werteanzahl N (SFN) und vier, bei denen die Struk-

turfunktion aus festen Zeitintervallen (SFT) berechnet wurde. Die Diskussion beschränkt sich auf die Strukturfunktionen mit festen Zeitintervallen. Es soll nämlich nach charakteristischen Variabilitätszeitkalen im Bereich von wenigen Tagen gesucht werden. Diese kurzen Zeitskalen sind bei den SFN nicht aufgelöst, weil es bei Zeitdifferenzen von einem Tag bis zu ungefähr zehn Tagen nur ungefähr 800 dI- bzw. dS-Werte gibt. Das bedeutet, daß es für diesen Bereich von Zeitdifferenzen in den SFN nur einen Datenpunkt gibt, weil die festen Werteintervalle jeweils 800 Werte umfassen. Bei den SFT hat man in diesem Zeitintervall wesentlich mehr Datenpunkte, also eine bessere Auflösung.
Bei der Suche nach kurzen Variabilitätszeitskalen wird folgendermaßen vorgegangen: Man betrachtet die Datenpunkte der Strukturfunktion, die einen kurzen zeitlichen Abstand voneinander haben, zum Beispiel Zeitdifferenzen von einem bis zehn Tagen. Diese Datenpunkte liegen in den Schaubildern im Bereich von $log(dt) = 0$ bis $log(dt) = 1$. Die Datenpunkte repräsentieren die quadrierten Mittelwerte der Fluß- bzw. Signifikanzdifferenzen im entsprechenden log(dt)-Intervall. Diese Datenpunkte werden mit Datenpunkten verglichen, die aus Werten mit größeren zeitlichen Differenzen berechnet wurden und in den Schaubildern bei größeren log(dt)-Werten liegen. Dabei wird darauf geachtet, daß die Intervalle, die miteinander verglichen werden, größenordnungsmäßig die gleiche zeitliche Länge haben. Ist nun der Mittelwert der Datenpunkte im ersten Intervall von einem bis zehn Tagen Länge höher als in einem der nachfolgenden Intervalle, ist dies ein Zeichen für Variabilität auf diesen Zeitskalen. Liegen nämlich die Werte der Datenpunkte in diesem ersten Intervall höher als in einem nachfolgenden, bedeutet dies, daß die Fluß- bzw. Signifikanzdifferenzen in diesem Intervall größer sind als in den nachfolgenden Intervallen. Größere Fluß- bzw. Signifikanzdifferenzen bedeuten aber, daß die Fluß- bzw. Signifikanzwerte in diesem ersten Intervall stärker variieren als in den anderen Intervallen.
Die Strukturfunktionen von PKS 0528+134 werden unter diesem Gesichtspunkt untersucht. Zunächst fällt auf, daß die SF, welche mit Berücksichtigung der negativen Flußwerte ermittelt wurden, in log(SFT)-Richtung weiter streuen als die SF, bei denen die Flußwerte null beibehalten wurden. Dies ist eine direkte Folge der größeren dI- bzw. dS-Werte bei Berücksichtigung der negativen Flußwerte.
Um einen Eindruck von der Größe der Fehlerbalken der Strukturfunktion zu erhalten, sind in den Abbildungen 7.1 und 7.2 die beiden SF dargestellt, die aus dI- und dS-Werten unter Beibehaltung der negativen Flußwerte erhalten wurden. Die Fehler der Strukturfunktionen der anderen Quellen sind von der gleichen Größenordnung. Die Fehler der SF mit negativen Flußwerten sind in der Regel etwas größer als die Fehler der SF mit Flußwerten null.

Die SF mit negativen Flußwerten, die aus den dI-Werten ermittelt wurde, zeigt im Zeitraum von einem bis zehn Tagen einen innerhalb der Fehler flachen Verlauf. Zwischen $log(dt) = 1$ bis $log(dt) = 1.5$ fällt sie stark ab, um anschließend wieder anzusteigen. Der Mittelwert der Punkte im Zeitintervall bis zehn Tage ist innerhalb der Fehler deutlich größer als der Mittelwert im nachfolgenden Intervall von $log(dt) = 1$ bis $log(dt) = 1.5$ (zehn bis ungefähr 30 Tage). Ein vergleichbarer Verlauf zeigt sich auch bei der entsprechenden SF

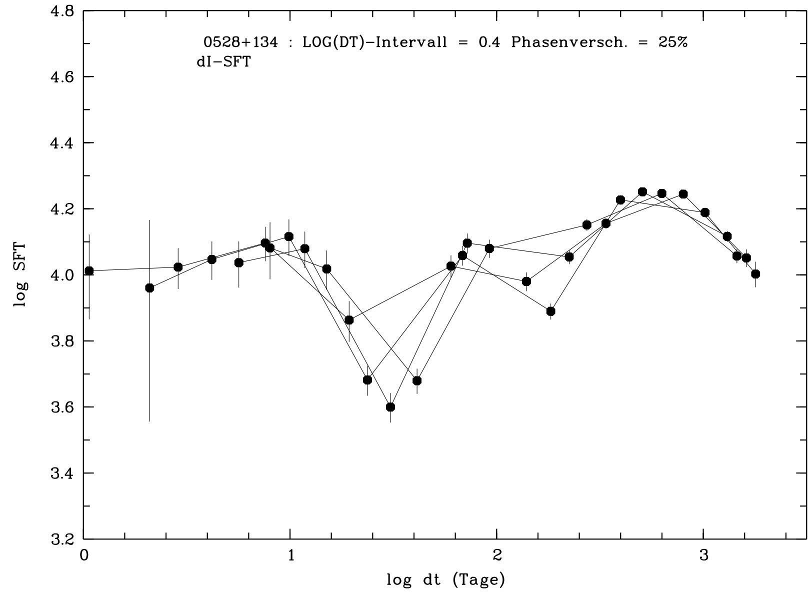


Abbildung 7.1: PKS 0528+134: Strukturfunktion unter Beibehaltung negativer Flußwerte, aus dI-Werten berechnet. Eingezeichnet sind die Fehlerbalken der quadratischen Mittelwerte. Sind sie nicht zu erkennen, so sind sie kleiner als die Symbolgröße.

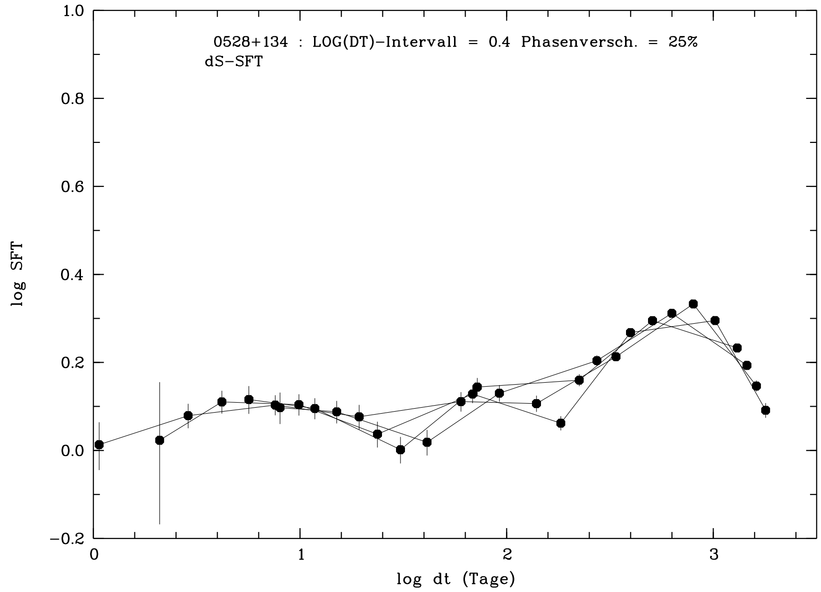


Abbildung 7.2: PKS 0528+134: Strukturfunktion unter Beibehaltung negativer Flußwerte, aus dS-Werten berechnet. Eingezeichnet sind die Fehlerbalken der quadratischen Mittelwerte.

mit Flußwerten null. Hier ist das Abfallen der SF nicht so stark, aber dennoch signifikant. Die SF, die aus den dS-Werten ermittelt wurden, zeigen diesen Verlauf nicht sehr ausgeprägt. Durch Verwendung der dS-Werte wird der Verlauf der SF gegenüber den SF mit dI-Werten geglättet, weil jeweils durch den Fehler der dI-Werte dividiert wurde. In der aus dS-Werten mit negativen Flußwerten berechneten SF ist der Abfall noch schwach zu erkennen, in der SF mit Flußwerten null nicht mehr.
Zusammenfassend kann festgestellt werden: Zwischen einem und zehn Tagen ist der Verlauf der SF von PKS 0528+134 konstant. Es ist keine Zeitskala bevorzugt. Bei Zeitdifferenzen zwischen 10 und ungefähr 30 Tagen fällt die SF zu kleineren Werten ab. Auf einer charakteristischen Zeitskala von einem bis 10 Tagen zeigt die Quelle Variabilität. Dabei ist keine Zeitskala zwischen einem und zehn Tagen ausgeprägt. Variabilität auf Zeitskalen von ein bis drei Tagen ist nicht auszuschließen, weil diese Datenpunkte höher liegen als die Punkte bei ungefähr 30 Tagen. Auf Zeitskalen von ungefähr 30 bis 1000 Tagen steigt die SF kontinuierlich an, ohne eine charakteristische Zeitskala zu zeigen. Dieser kontinuierliche Anstieg ist ein Anzeichen für Variabilität auf langen Zeitskalen.

Um auf Variabilität mit Zeitskalen von einem bis ungefähr drei Tagen schließen zu können, wurde die Verteilung der gemessenen dS-Werte im Zeitdifferenzenintervall von $log(dt) = 0$ bis $log(dt) = 0.5$ mit einer Normalverteilung verglichen. Dabei wurden wieder Verteilungen, die mit negativen Flußwerten erstellt wurden und solche mit Flußwerten null betrachtet. Die beiden Verteilungen für PKS 0528+134 sind in den Abbildungen 6.4 und 6.7 in Kapitel 6.3 dargestellt. Auch die Verteilungen der anderen Quellen sind in diesem Kapitel enthalten. Die beiden Verteilungen von PKS 0528+134 unterscheiden sich deutlich.
Bei Berücksichtigung von negativen Flußwerten ergibt sich im 2σ-Bereich eine Anzahl von dS-Werten, die annähernd 20% über der erwarteten Anzahl liegt. Im 3σ-Bereich liegen ungefähr 50% mehr dS-Werte, als man bei einer Normalverteilung erwarten würde. Ein χ^2-Test bei Annahme einer Normalverteilung ergab folgendes: Bei Annahme eines 95%-Vertrauensbereiches war die dS-Verteilung mit der Annahme einer Normalverteilung nicht verträglich, bei Annahme des strengeren Kriteriums eines 99%-Vertrauensbereiches jedoch war sie mit einer Normalverteilung verträglich.
Die Verteilung, die unter Beibehaltung der Flußwerte null erhalten wurde, zeigt ein anderes Aussehen. Die Anzahl der gemessenen dS-Werte im 1σ- und 2σ-Bereich entspricht annähernd einer Normalverteilung. Die Abweichung beträgt lediglich ungefähr 4%. Die Anzahl der dS-Werte im 3σ-Bereich erreicht nur 50% der erwarteten Anzahl. Der χ^2-Test ergab, daß die gemessene Verteilung mit einer Normalverteilung sowohl bei Wahl eines 99%- als auch eines 95%-Vertrauensbereiches verträglich ist.
Die beiden verschiedenen Ansätze zur Bestimmung der dS-Werte führen zu unterschiedlichen Aussagen bei Wahl eines 95%-Vertrauensbereiches, bei Wahl des 99%-Vertrauensbereiches stimmen sie überein. Die teils hohen negativen Flußwerte führen zu entsprechend erhöhten dS-Werten im Vergleich zur Beibehaltung der Flußwerte null. Wie im Kapitel 5.8 erläutert wurde, sind beide Ansätze

nicht ideal. Das Problem liegt darin begründet, daß in der Likelihood-Analyse bei negativen Photonenzahlen keine korrekten 1σ-Fehler ermittelt wurden. Ein zu hoher negativer Flußwert führt beim gewählten Zeitintervall von einem bis ungefähr drei Tagen dazu, daß insgesamt sechs zu hohe Flußdifferenzen ermittelt werden, nämlich jeweils im Abstand von einem, zwei und drei Tagen bei Eintagesintervallen, die vor und nach dem betreffenden Flußwert liegen. Bei einer Gesamtzahl von 367 dS-Werten wirken sich diese erhöhten Werte im 2σ- und 3σ-Bereich spürbar aus.
Bei Beibehaltung der Flußwerte null sind die ermittelten dS-Werte dagegen zu niedrig, weil aufgrund statistischer Schwankungen zustandekommende negative Flußwerte ausgeschlossenen werden.
Beide Ansätze sind fehlerbehaftet. Da aber die χ^2-Werte beider dS-Verteilungen bei einem 99%-Vertrauensbereich mit einer Normalverteilung verträglich sind, kann nicht vom Nachweis von Variabilität auf Zeitskalen von einem bis ungefähr drei Tagen ausgegangen werden.

7.2 3C 454.3

3C454.3 wurde in insgesamt neun Beobachtungsperioden untersucht. In allen Perioden zusammengenommen verblieben nach Herausnahme von fehlerhaften Flußwerten 78 Eintagesintervalle für die weitere Analyse.
Bei der Suche nach Variabilität in einzelnen Beobachtungsperioden ergab ein χ^2-Test in der Periode 410.0 einen χ^2-Wert, der mit einem Vertrauensbereich von 99.9% nicht mit der Annahme eine zeitlich konstanten Flußes verträglich war. In den anderen acht Beobachtungsperioden waren die χ^2-Werte mit der Annahme eines konstanten Flußes verträglich.
Die Betrachtung der SF konzentriert sich wieder auf die vier mit festen Zeitintervallen ermittelten SF, weil ihre Auflösung bei kleinen Zeitdifferenzen besser ist als bei den mit festen Wertepaaren ermittelten SF. Der Verlauf aller vier mit festen Zeitintervallen ermittelten Strukturfunktionen ist vergleichbar. Auf Zeitskalen von $log(dt) = 0$ bis $log(dt) \approx 0.6$ (ein bis ungefähr vier Tage) verläuft die SF innerhalb der Fehler flach. Danach steigt sie kontinuierlich an bis zu Zeitskalen von $log(dt) \approx 1.25$ (ungefähr 18 Tage). Auf Zeitskalen von $log(dt) \approx 1.25$ bis $log(dt) \approx 1.85$, also von ungefähr 18 bis 70 Tagen, enthält die SF keine Datenpunkte. Dies ist eine Folge der zeitlich ungleichmäßig verteilten Beobachtungsperioden. Es gibt keine Eintagesintervalle, die voneinander einen zeitlichen Abstand zwischen 18 und 70 Tagen haben. Deswegen kann auch keine Aussage über die genaue Lage des Maximums der SF in diesem Bereich gemacht werden. Im anschließenden Bereich von $log(dt) \approx 1.85$ bis $log(dt) \approx 2$ (70 bis 100 Tage) liegen die Datenpunkte im Mittel deutlich unterhalb der Datenpunkte im Zeitintervall von einem bis ungefähr 14 Tagen ($log(dt) = 0$ bis $log(dt) \approx 1.2$). Dies bedeutet, daß 3C 454.3 Variabilität auf Zeitskalen von ungefähr einem bis 14 Tagen zeigt. Zwischen einem und vier Tagen ist keine Zeitskala ausgeprägt, danach steigt die SF an. Bei den SF mit Berücksichtigung der negativen Flußwerte liegen auch noch die Datenpunkte im Bereich von einem bis vier Tagen im Mittel über den Datenpunkten bei ungefähr 90 Tagen.

Diese charakteristische kurze Zeitskala läßt sich aber in den SF mit Beibehaltung der Flußwerte null nicht bestätigen. Dort haben die Datenpunkte in den genannten Zeitintervallen einen im Mittel etwa gleich hohen Wert. Auf Zeitskalen von 100 bis 1000 Tagen steigt die SF kontinuierlich an, was wiederum ein Hinweis auf Variabilität auf langen Zeitskalen ist.

Wie bei PKS 0528+134 wurde auch hier die Verteilung der dS-Werte im Zeitintervall von $log(dt) = 0$ bis $log(dt) = 0.5$ mit einer Normalverteilung verglichen. Auch hier wurde dies wieder unter Berücksichtigung der negativen Flußwerte und unter Beibehaltung der Flußwerte null durchgeführt.
Bei Berücksichtigung der negativen Flußwerte zeigte sich im 2σ- und 3σ-Bereich eine um ungefähr 25% höhere Anzahl von dS-Werten als bei einer Normalverteilung erwartet. Im 4σ-Bereich fanden sich statt des Erwartungswertes von 0.45 ein dS-Wert und im 5σ-Bereich fand sich ein weiterer dS-Wert. Aufgrund der beiden dS-Werte im 4σ- und 5σ-Bereich ergab sich ein sehr großer χ^2-Wert von über 90, der nicht mit der Annahme einer Normalverteilung verträglich war. Die beiden dS-Werte im 4σ- und 5σ-Bereich kamen nicht durch einen sehr großen negativen Flußwert zustande. Sie resultierten aus dem letzten, hohen Flußwert in der Periode 410.0. Sie kamen durch Differenzbildung dieses Flußwertes mit den Werten aus den Eintagesintervallen zustande, die zwei und drei Tage vor diesem Flußwert lagen.
Bei Beibehaltung der Flußwerte null stimmten die Anzahlen der dS-Werte im 1σ- und 2σ-Bereich bis auf 2% mit den erwarteten Werten überein, im 3σ-Bereich waren nur 40% der erwarteten Werte enthalten. Im 4σ- und 5σ-Bereich befand sich wie oben jeweils ein dS-Wert. Der χ^2-Wert lag wieder über 90.
In beiden Fällen war die dS-Verteilung nicht mit der Annahme einer Normalverteilung verträglich, sondern zeigte eine breitere Streuung. Dies ist ein Zeichen für Variabilität auf Zeitskalen von einem bis drei Tagen.

7.3 CTA 102

CTA 102 wurde zusammen mit 3C 454.3 in neun Beobachtungsperioden untersucht. Nach Entfernung von fehlerhaften Flußwerten hatte man noch 77 Eintagesintervalle zur weiteren Analyse zur Verfügung.
In der Periode 19.0 wurde ein χ^2-Wert ermittelt, der bei Wahl eines 95%-Vertrauensbereiches nicht mit der Annahme eines konstanten Flußwertes verträglich war. Bei Wahl eines 99%-Vertrauensbereiches jedoch ist der Verlauf der Lichtkurve mit dieser Annahme verträglich. Die Lichtkurven der anderen Perioden zeigten anhand ihrer χ^2-Werte keine Anzeichen für Variabilität.
Die vier mit festen Zeitintervallen berechneten Strukturfunktionen ergeben kein einheitliches Bild. Die SF, die aus den dI-Werten unter Berücksichtigung der negativen Flußwerte berechnet wurde, unterscheidet sich in ihrem Verlauf deutlich von den anderen SF. Bei ihr ist der Mittelwert der Datenpunkte zwischen einem und zehn Tagen höher als der Wert im nachfolgenden Zeitintervall von zehn bis 18 Tagen. Dies wäre ein Anzeichen für Variabilität. Die anderen drei SF zeigen aber nicht den geschilderten Abfall der SF im Zeitraum von zehn bis

18 Tagen. Die Mittelwerte der Datenpunkte in den beiden Zeitintervallen bis zehn Tagen und von zehn bis 18 Tagen sind hier ungefähr gleich hoch.
Besonders auffallend sind die Unterschiede der aus dI-Werten berechneten SF, die mit und ohne negative Flußwerte berechnet wurden. Sie unterscheiden sich deutlich in der Höhe ihrer Werte und auch in der Höhe der Schwankungen der SF. Diese großen Unterschiede zwischen den beiden SF lassen den Schluß zu, daß bei CTA 102 die Auswirkungen der als zu groß ermittelten negativen Flußwerte besonders stark sind. Dies zeigte sich auch schon in den Schaubildern, in denen die dI-Werte gegen die logarithmisch dargestellten dt-Werte aufgetragen wurden. Die aus den dS-Werten ermittelten SF zeigen diese großen Unterschiede nicht.
In der aus den dS-Werten ermittelten SF unter Berücksichtigung der negativen Flußwerte liegen die Datenpunkte im Zeitraum von 70 bis 100 Tagen im Mittel niedriger als im Zeitraum von einem bis zehn Tagen. Diese Aussage kann aber in den drei anderen SF nicht bestätigt werden. Dort haben die Datenpunkte innerhalb der Fehler einen vergleichbaren Wert.
Für CTA 102 kann aus den vier SF nicht auf eine charakteristische Variabilitätszeitskala von wenigen Tagen geschlossenen werden. Trends, die in einzelnen SF zu sehen sind, können in den jeweils anderen SF nicht bestätigt werden.
Der Vergleich der dS-Verteilungen im Zeitintervall von einem bis ungefähr drei Tagen mit einer Normalverteilung ergibt ein ähnliches Bild wie bei der Quelle PKS 0528+134. Auch hier unterscheiden sich die Verteilungen, die mit und ohne negative Flußwerte erhalten wurden. Bei Berücksichtigung der negativen Flußwerte erhält man im 1σ-Bereich nur 90% der erwarteten Werte. Im 2σ- und 3σ-Bereich zeigt sich eine um 20- bzw. 35% gegenüber einer Normalverteilung erhöhte dS-Anzahl. Im 4σ-Bereich findet man mehr als die doppelte Anzahl der erwarteten Werte. Daß diese breite Streuung eine Folge der als zu hoch ermittelten negativen Flußwerte ist, sieht man bei der Betrachtung der Verteilung, bei der die Flußwerte null beibehalten wurden. Hier findet man im 1σ-Bereich eine um ungefähr 17% erhöhte Anzahl, im 2σ- und 3σ-Bereich liegen die Anzahlen der dS-Werte um ungefähr 40 bzw. 30% unter der erwarteten Anzahl. Die Verteilung streut hier nicht so breit, wie man bei Annahme einer Normalverteilung erwartet.
Die unter Berücksichtigung der negativen Flußwerte ermittelte dS-Verteilung hat einen χ^2-Wert, der bei Wahl eines 99%-Vertrauensbereiches mit der Annahme einer Normalverteilung verträglich ist, auf Variabilität kann nicht geschlossen werden. Die unter Beibehaltung der Flußwerte null erhaltene Verteilung ist mit einer Normalverteilung nicht verträglich. Die Streuung ihrer dS-Werte ist aber nicht zu breit, sondern zu schmal. Man kann deshalb auch aus dieser Verteilung nicht auf Variabilität im Zeitraum von einem bis ungefähr drei Tagen schließen.

7.4 Crab

Der Pulsar Crab wurde in 16 Beobachtungsperioden analysiert, die Zahl der verbliebenen Eintagesintervalle beträgt 155.

Crab zeigte in den beiden Perioden 337.0 und 420.0 einen χ^2-Wert, der bei Wahl eines 90%-Vertrauensbereichs nicht mit der Annahme eines konstanten Flußwertes verträglich war. Bei Ansatz des strengeren Kriteriums eines 95- oder 99%-Vertrauensbereiches war der χ^2-Wert in beiden Perioden jedoch mit einem konstanten Flußwert verträglich.
Die Unterscheidung in Analysen mit und ohne negative Flußwerte entfällt bei Crab und auch bei Geminga, weil beide Quellen in allen untersuchten Eintagesintervallen stets positive Flußwerte aufwiesen.
Die beiden aus dI- und dS-Werten ermittelten SF mit festen Zeitintervallen enthielten keine einheitliche Aussage. In der aus den dI-Intervallen ermittelten SF ist der Mittelwert der Datenpunkte im Zeitintervall bis zehn Tagen höher als im nachfolgenden Intervall von zehn bis ungefähr 18 Tagen ($log(dt) \approx 1.25$) . Der Fehler des zweiten Datenpunktes bei $log(dt) \approx 0.3$ ist ungefähr um einen Faktor sechs größer als bei den anderen Punkten, sein hoher Wert fällt also bei der Mittelwertbildung im Zeitintervall bis zehn Tage nicht sehr ins Gewicht. Der beobachtete Abfall der SF kann in der aus den dS-Werten ermittelten SF nicht bestätigt werden. Dort stimmen die Werte innerhalb der Fehler in beiden Zeitintervallen überein. Eine Aussage über die Signifikanz des Abfalles und damit über eine charakteristische Variabilitätszeitskala ist deshalb schwer zu treffen.

Der Vergleich der Verteilung der dS-Werte im Zeitintervall von null bis ungefähr drei Tagen mit einer Normalverteilung ergibt folgendes Bild: Im 1σ-Bereich findet man 93% der erwarteten dS-Werte, im 2σ-Bereich ist die dS-Anzahl um 6% höher als erwartet. Im 3σ-Bereich findet man statt der erwarteten Anzahl von 16 Werten insgesamt 27 Werte. Der χ^2-Wert der dS-Verteilung ist trotz der relativ hohen Anzahl der dS-Werte im 3σ-Bereich bei einem Vertrauensbereich von 99% mit der Annahme einer Normalverteilung verträglich.

7.5 Geminga

Der Pulsar Geminga wurde wie PKS 0528+134 und Crab in 16 Beobachtungsperioden untersucht. Nach Herausnahme fehlerhafter Flußwerte standen noch 152 Eintagesintervalle zur weiteren Analyse zur Verfügung.
Die χ^2-Werte der Geminga-Lichtkurven waren bei Wahl eines 95%-Vertrauensbereiches bei drei Perioden nicht mit einem konstanten Flußmittel verträglich. Dies war bei den Perioden 337.0 und 527.0 der Fall, für Periode 0.2 galt dies neben der Ein- auch für die Zweitagesintervall-Lichtkurve. Von diesen Lichtkurven verblieb bei Wahl eines 99%-Vertrauensbereiches nur noch die Zweitagesintervall-Lichtkurve der Periode 0.2, die nicht mit einem zeitlich konstanten Fluß verträglich war. Die Periode 0.2 war nach der Periode 0.1 die zweite Meßperiode nach Inbetriebnahme des EGRET-Instruments im April 1991. Während dieser Beobachtungsperiode wurden verschiedene Test- und Kalibrierungsmessungen durchgeführt, einige Zeitintervalle wurden aus der Beobachtungsperiode herausgenommen. Diese Effekte könnten dazu beigetragen haben, daß die Flußwerte in dieser Periode einen Anstieg zeigen. Neben Geminga zeigen auch die

Lichtkurven von PKS 0528+134 und Crab in der Periode 0.2 einen kontinuierlichen Anstieg der Flußwerte, die χ^2-Werte dieser Lichtkurven sind allerdings mit einem konstanten Flußwert verträglich.
Die aus den dI- und dS-Werten ermittelten SF zeigen auch bei Geminga einen uneinheitlichen Verlauf. Die dI-SF verläuft von einem bis zu ungefähr 30 Tagen innerhalb der Fehler flach, zeigt dann aber einen Anstieg bei längeren Zeitskalen. Innerhalb des Zeitintervalls von einem bis 30 Tagen gibt es keine charakteristische Variabilitätszeitskala. Die aus den dS-Werten ermittelte SF zeigt im Zeitintervall bis ungefähr acht Tagen einen flachen Verlauf. Der zweite Datenpunkt ist hier wieder mit einem großen Fehler behaftet. Von ungefähr acht bis 30 Tagen zeigt sich hier aber ein Anstieg der SF, um danach wieder abzufallen und anschließend einen annähernd flachen Verlauf zu zeigen. Hier scheint es einen Trend zu Variabilität auf Zeitskalen von 20 bis 30 Tagen zu geben, der aber in der dI-SF nicht beobachtet wird. Umgekehrt wird der Anstieg der dI-SF ab Zeitskalen von ungefähr 30 Tagen nicht in der dS-SF beobachtet. In beiden SF wird auf Zeitskalen von einem bis acht Tagen keine charakteristische Variabilitätszeitskala aufgezeigt. Die Interpretation des weiteren Verlaufs der beiden SF ist problematisch, weil sie ein gegensätzliches Verhalten zeigen.

Der Vergleich der dS-Verteilung mit einer Normalverteilung zeigt eine gute Übereinstimmung der beiden Verteilungen. Im 2σ-Bereich liegt die Anzahl der dS-Werte um 18% über der erwarteten Anzahl, in den anderen Bereichen ist die Abweichung nach oben oder unten deutlich kleiner. Der χ^2-Wert ist bei Wahl eines 95- oder 99%-Vertrauensbereiches mit der Annahme einer Normalverteilung verträglich.

7.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

In der vorliegenden Arbeit wurden die drei Blazare PKS 0528+134, 3C 454.3 und CTA 102 sowie die beiden Pulsare Crab und Geminga auf Kurzzeitvariabilität im Gammabereich bei Energien E>100 MeV untersucht. Das Hauptproblem bei Untersuchungen im Gammabereich sind die geringen Photonenzahlen, die von den Gammaquellen erhalten werden. Es wurde untersucht, ob die Analyse mit der Methode der Maximum-Likelihood auch dann noch aussagekräftige Ergebnisse liefert, wenn die übliche Belichtungsdauer von ein bis zwei Wochen in Intervalle von einem Tag Länge aufgespalten wird. Weiterhin sollte festgestellt werden, ob die von den Blazaren erhaltenen Flußwerte Variabilität auf kurzen Zeitskalen bis zu einem Tag zeigen.
Es wurden verschiedene Likelihood-Analysemethoden getestet, um die am besten geeignete Methode zu ermitteln. Es zeigte sich, daß die Analysemethode, die den Gammahintergrund für jedes Eintagesintervall anpaßte und eine Positionsoptimierung für jede Quelle in jedem Intervall durchführte, am besten zur Analyse der Gammadaten geeignet war.
Die beiden Pulsare konnten in allen Eintagesintervallen mit einer Signifikanz nachgewiesen werden, die deutlich über einem Wert von 1σ lag. Dieser Wert ist ein Maß für die Signifikanz der Quelldetektion. Lag dieser Wert unterhalb von

1σ, konnte nicht mehr von einer sicheren Quelldetektion ausgegangen werden. Die im Vergleich zu den Pulsaren schwächeren drei Blazare konnten in den meisten Eintagesintervallen mit einer Signifikanz nachgewiesen werden, die über 1σ lag. Deshalb können die drei Blazare grundsätzlich in Eintagesintervallen untersucht werden.
Bei PKS 0528+134 lag die Signifikanz bei 153 Eintagesintervallen 28 mal unter 1.0, bei 3C 454.3 kam dies bei 78 Eintagesintervallen in neun Fällen vor und bei der schwächsten Quelle CTA 102 hatten 26 von 77 Eintagesintervallen einen Signifikanzwert, der kleiner als 1.0 war. In diesen Fällen wurden in den Lichtkurven obere Grenzen dargestellt.
Wurde in der Likelihood-Analyse aufgrund statistischer Schwankungen eine negative Photonenzahl ermittelt, wurde als Flußwert der Wert null ausgegeben. In diesen Fällen wurden aus dem 2σ-Wert der oberen Grenze und den ermittelten 1σ-Fehlern neue Flußwerte berechnet. Dies wurde gemacht, weil bei einem statistisch um null schwankenden Flußwert auch negative Flußwerte zugelassen werden müssen. Die neu ermittelten Flußwerte waren in der Regel negativ. Es stellte sich heraus, daß aufgrund eines Fehlers in der Likelihood-Analyse die 1σ-Fehler der zu null ermittelten Flußwerte in der Regel als zu groß ermittelt wurden. Dies hatte zur Folge, daß die neu berechneten Flußwerte in der Regel einen zu großen negativen Wert annahmen. Deshalb wurden die Strukturfunktionen und die dS-Verteilungen auf zwei Arten dargestellt, einmal unter Beibehaltung der Flußwerte null und einmal unter Berücksichtigung der negativen Flußwerte. Bei den drei Quellen PKS 0528+134, CTA 102 und 3C 454.3 führte dies zu erkennbaren Unterschieden in den Strukturfunktionen, vor allem aber in den dS-Verteilungen im Zeitintervall von $log(dt) = 0$ bis $log(dt) = 0.5$. Das Problem kann nur dadurch gelöst werden, daß die Fehlerberechnung bei negativen Photonenzahlen in der Likelihood-Analyse korrigiert wird.
Die Ergebnisse aus den χ^2-Tests, den Strukturfunktionen und den dS-Verteilungen wurden vorne geschildert und sollen hier zusammengefaßt werden.

Für die Lichtkurven aller Quellen wurde der χ^2-Wert bei Annahme eines zeitlich konstanten Flußwertes berechnet. Bei Wahl eines 99%-Vertrauensbereiches war dieser χ^2-Wert bis auf zwei Ausnahmen für alle fünf Quellen in allen Beobachtungsperioden mit der Annahme eines konstanten Flußwertes verträglich. Die einzigen Ausnahmen waren Geminga in der Periode 0.2 und 3C 454.3 in der Periode 410.0. Bei Geminga führten in der betreffenden Periode möglicherweise Test- und Kalibrierungsmessungen zu dem erhöhten χ^2-Wert. Bei 3C 454.3 stieg der Fluß in den beiden letzten Eintagesintervallen stark an, man beobachtete hier Variabilität auf Zeitskalen von einem Tag.
Bei Wahl eines 95- oder 90%-Vertrauensbereichs, also eines weniger strengen Kriteriums, waren noch einige andere Perioden bei verschiedenen Quellen nicht mit der Annahme eines konstanten Flußwertes verträglich. Es ist also von der Wahl des Vertrauensbereiches abhängig, welche Aussage man erhält. Man befindet sich hier in einem statistischen Grenzbereich, je nach angelegtem Kriterium erhält man verschiedene Aussagen. Die Aussagekraft der Ergebnisse ist durch die geringe Gammaphotonenzahl beschränkt. Dieses Problem läßt sich nur durch empfindlichere Nachfolgeinstrumente von EGRET beheben.

Bei Vergleich der dS-Verteilungen mit einer Normalverteilung zeigten sich wiederum nur bei 3C 454.3 deutliche Anzeichen für Variabilität auf Zeitskalen von einem bis ungefähr drei Tagen. Hier wurde für die gemessene dS-Verteilung ein χ^2-Wert bei Annahme einer Normalverteilung ermittelt. Dieser χ^2-Wert war weder bei Beibehaltung der Flußwerte null, noch bei Berücksichtigung der negativen Flußwerte mit der Annahme einer Normalverteilung verträglich. Der hohe χ^2-Wert der dS-Verteilung kam hauptsächlich durch die hohen Flußwerte in der Periode 410.0 zustande, die sich stark auf die Berechnung der dS-Werte auswirkten. Die χ^2-Werte der dS-Verteilungen der anderen Quellen waren bei Wahl eines 99%-Vertrauensbereichs mit einer Ausnahme alle mit der Annahme einer Normalverteilung verträglich. Die Ausnahme war die dS-Verteilung von CTA 102 bei Beibehaltung der Flußwerte null. Diese Verteilung zeigte aber keine gegenüber einer Normalverteilung erhöhte Anzahl von dS-Werten im 2- und 3σ-Bereich, sondern eine verringerte Anzahl. Auf Variabilität konnte deshalb nicht geschlossen werden.

Die Untersuchung der SF ergab für PKS 0528+134 deutliche Anzeichen für eine charakteristische Variabilitätszeitskala im Zeitintervall von einem bis zehn Tagen. Da die SF in diesem Zeitintervall flach verläuft, kann keine genauere Aussage über die Variabilitätszeitskala gemacht werden.
Bei 3C 454.3 zeigte die SF Variabilitätszeitskalen im Zeitraum von einem bis 14 Tagen. Hinweise auf eine eingeschränktere Zeitskala von einem bis vier Tagen wurden in zwei der vier betrachteten SF gefunden, konnten aber in den anderen SF nicht bestätigt werden.
Die vier SF von CTA 102 zeigten einen unterschiedlichen Verlauf. Hier war der Einfluß der als zu hoch ermittelten negativen Flußwerte besonders ausgeprägt. Eine charakteristische Zeitskala konnte nicht ermittelt werden.
Die SF von Crab und Geminga zeigten einen unterschiedlichen Verlauf. Bei Crab gab es in einer SF einen Abfall im Zeitintervall von zehn bis ungefähr 20 Tagen, der aber in der anderen SF nicht bestätigt werden konnte. Ansonsten zeigten die beiden SF von Crab innerhalb der Fehler einen weitgehend flachen Verlauf. Geminga zeigte in beiden SF einen Anstieg, allerdings bei unterschiedlichen Zeitintervallen. Eine SF zeigt einen Anstieg von ungefähr acht bis zu 30 Tagen mit anschließendem Abfall, die andere zeigt erst ab 30 Tagen einen Anstieg bis zu Zeitskalen von ungefähr 250 Tagen. Eine Interpretation ist schwierig, weil der Anstieg zum einen bei unterschiedlichen Zeitskalen beobachtet wird und weil zum anderen ein Pulsar auf Zeitskalen von Tagen bis Jahren keine Variabilität zeigen sollte. Hier muß durch weitere Beobachtungen geklärt werden, ob es signifikante Hinweise auf Variabilität gibt.

Von den drei untersuchten Blazaren zeigte 3C 454.3 Anzeichen für Intraday-Variabilität (IDV). Dies bezieht sich zum einen auf die Periode 410.0, zum anderen auf die Strukturfunktionen. PKS 0528+134 zeigte in den einzelnen Beobachtungsperioden anhand seiner χ^2-Werte keine signifikante Variabilität. Die Strukturfunktionen zeigten eine charakteristische Variabilitätszeitskala im Zeitraum von einem bis ungefähr zehn Tagen. Wegen des flachen Verlaufs kann diese Zeitskala nicht weiter eingeschränkt werden. Es ist möglich, daß es IDV gibt. Bei dem schwächsten der drei Blazare, CTA 102, können keine Aussagen über Variabilität auf Zeitskalen von ungefähr einem Tag gemacht werden.

Das Hauptproblem bei der Analyse ist, wie bereits erwähnt, die geringe Photonenzahl, die im Gammabereich gemessen wird. Bei der schwächsten der untersuchtenQuellen, CTA 102, hatte dies zur Folge, das in 26 von 77 Eintagesintervallen die Signifikanz des Quellnachweises unter 1σ lag. Quellen, die noch etwas schwächer als CTA 102 sind, können aufgrund der noch geringeren Photonenzahl nicht mehr in Eintagesintervallen untersucht werden. Auch bei stärkeren Quellen ist die Aussagekraft der Ergebnisse durch die kleine Photonenzahl eingeschränkt. Die Fehler der Flußwerte sind relativ groß, Variationen im Zeitraum von einigen Tagen oder weniger können deshalb erst bei entsprechend großen Flußänderungen signifikant nachgewiesen werden. Zu einer besseren Untersuchung von Blazaren auf Kurzzeitvariabilität sind empfindlichere Instrumente nötig.
Es gibt zwei geplante Nachfolgeprojekte von EGRET, die Satelliten GLAST (Gamma-Ray Large Area Space Telescope) und INTEGRAL (International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory). Diese beiden geplanten Instrumente haben eine größere effektive Fläche und eine bessere Winkelauflösung als EGRET, sie werden also mit der größeren Anzahl von nachgewiesenen Gammaphotonen detailliertere Untersuchungen der Kurzzeitvariabilität von Blazaren ermöglichen.

Literaturverzeichnis

Aller, H.D., Aller, M.F., Latimer, G.E., Hodge, P.E., 1985, ApJS, 59, 513

Angel, J.R.P., Stockman, H.S., 1980, ARA&A, 18, 321

Blandford, R.D., 1990, in: *Active Galactic Nuclei*, Blandford, R.D., Netzer, H., Woltjer, L., Saas-Fee Advanced Course 20, Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Bregman, J.N., 1990, A&AR, 2, 125

Bronstein, I.N., Semendjajew, K.A., 1989, *Taschenbuch der Mathematik*, Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt/Main

Camenzind, M., 1995, *Aktive Galaktische Kerne*, Landessternwarte Heidelberg, Vorlesungsskript

Cash, W., 1979, ApJ, 228, 939

Charlot, P., 1990, A&A, 229, 51

Edwards, A.W.F., 1972, *Likelihood*, Cambridge University Press, Cambridge, UK

Fisher, R.A., 1925, *Statistical Methods for Research Workers*, Oliver and Boyd, Edinburgh, UK

Halpern, J.P., Holt, S.S., 1992, Nature, 357, 222

Hartman, R.C., Bertsch, D.L., Dingus, B.L. et al, 1993, ApJ, 407, L41

Heidt, J., 1994, *Statistische Untersuchungen der Variabilität in BL Lac Objekten*, Dissertation, Universität Heidelberg

Hunter, S.D., Bertsch, D.L., Dingus, B.L. et al., 1993, ApJ, 409, 134

Hunter, S.D., Bertsch, D.L., Catelli, J.R. et al., 1997, ApJ, 481, 205

Kanbach, G., Bertsch, D.L., Favale, A. et al., 1988, Space Sci. Rev., 49, 69

Kanbach, G., Bertsch, D.L., Fichtel, C.E. et al., 1993, A&AS, 97, 349

Kniffen, D.A., Bertsch, D.L., Fichtel, C.E. et al., 1993, ApJ, 411, 133

Leiter, D., 1980, A&A, 89, 370

Mannheim, K., Biermann, P.L., 1992, A&A, 253, L21

Mattox, J.R., Bertsch, D.L., Chiang, J. et al., 1993, ApJ 410, 609

Mattox, J.R., Bertsch, D.L., Chiang, J. et al., 1996, ApJ, 461, 396

Mattox, J.R., Wagner, S.J., Malkan, M. et al., 1997, ApJ, 476, 692

Montigny, C. von, 1993, *Messungen an Aktiven Galaxienkernen und Kalibrierung des EGRET Instruments*, Dissertation, Technische Universität München

Montigny, C. von, Bertsch, D.L., Chiang, J. et al., 1995, ApJ, 440, 525

Moore, R.L., Stockman, H.S., 1981, ApJ, 243, 60

Neyman, J., Pearson, E.S., 1928, Biometrika, 20A, 175

Povh, B., Rith, K., Scholz, C., Zetsche, F., 1994, *Teilchen und Kerne*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Quirrenbach, A., Witzel, A., Krichbaum, T.P. et al., 1992, A&A, 258, 279

Rees, M., 1967, MNRAS , 135, 345

Sambruna, R.M., Maraschi, L., Urry, C.M., 1996, ApJ, 463, 444

Schmidt, M., 1965, ApJ, 141, 1295

Simonetti, J.H., Cordes, J.M., Heeschen, D.S., 1985, ApJ, 296, 46

Smith, A.G., Nair, A.D., Leacock, R.J., Clements, S.D., 1993, AJ, 105, 437

Smith, P.S., Elston, R., Berriman, G., Allen, R.G., Balonek, T.J., 1988, ApJ, 326, L39

Sreekumar, P. et al., 1997, in Vorbereitung

Thompson, D.J., Bertsch, D.L., Fichtel, C.E. et al., 1993, ApJS, 86, 629

Thompson, D.J., Bertsch, D.L., Dingus, B.L. et al., 1995, ApJS, 101, 259

Urry, C.M., Padovani, P., 1995, PASP, 107, 803

Vermeulen, R.C., Cohen, M.H., 1994, ApJ, 430, 467

Wagner, S.J., Witzel, A., 1995a, ARA&A, 33, 163

Wagner, S.J., Camenzind, M., Dreissigacker, O. et al., 1995b, A&A, 298, 688

Wagner, S.J., Mattox, J.R., Hopp, U., et al., 1995c, ApJ, 454, L97

Wagner, S.J., Witzel, A., Heidt, J. et al., 1996, AJ, 111, 2187

Wall, J.V., Peacock, J.A., 1985, MNRAS, 216, 173

Wilks, S.S., 1938, Ann. Math. Stat., 9, 60

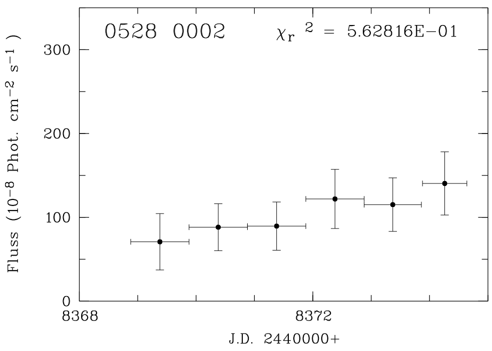
Woltjer, L., 1990, in: *Active Galactic Nuclei*, Blandford, R.D., Netzer, H., Woltjer, L., Saas-Fee Advanced Course 20, Springer-Verlag Berlin Heidelberg

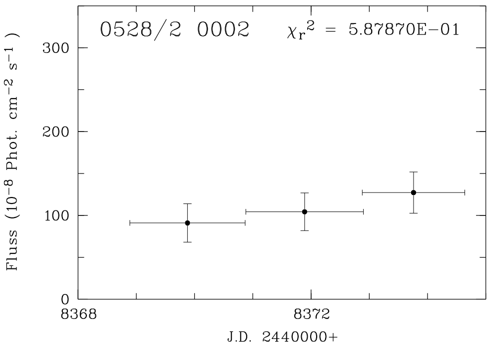
Zang, Y.F., Marscher, A.P., Aller, H.D. et al., 1994, ApJ, 432, 91

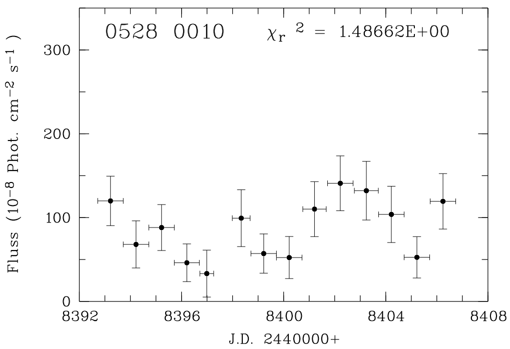
Anhang A

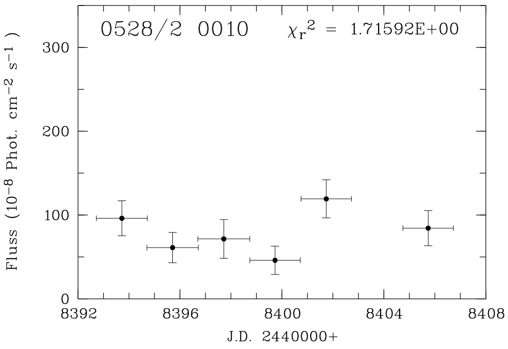
Lichtkurven

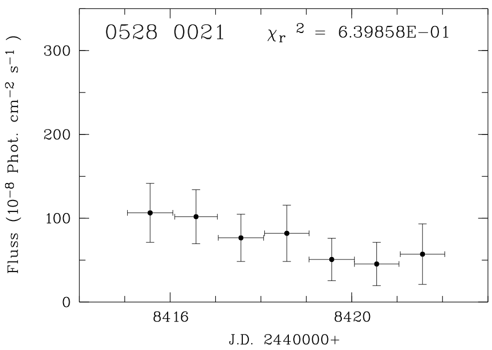
In Anhang A sind alle Gamma-Lichtkurven für PKS 0528+134, Crab, Geminga, 3C 454.3 und CTA 102 dargestellt. Die Lichtkurven wurden erstellt mit freien Hintergrundparametern g_m und g_b und mit freier Position. Die Hintergrundparameter wurden also für jedes Ein- oder Zweitagesintervall angepaßt und die Quellposition wurde jeweils optimiert.
Bei PKS 0528+134, Crab und Geminga wurden den Eintagesintervall-Lichtkurven, soweit vorhanden, jeweils die Zweitagesintervall-Lichtkurven zum Vergleich gegenübergestellt.
Die Kopfzeile in den Abbildungen enthält jeweils den Objektnamen, wobei Geminga mit "GEM" und PKS 0528+134 mit "0528" abgekürzt wurde. Das nachgestellte "/2" bedeutet, daß es sich hier um eine Zweitagesintervall-Lichtkurve handelt. Der zweite Eintrag bezeichnet die Beobachtungsperiode, wobei der Eintrag"3211+15" bedeutet, daß hier die beiden Perioden 321.1+321.5 zusammengefaßt dargestellt sind. Der dritte Wert beinhaltet den für die jeweilige Periode ermittelten reduzierten χ^2-Wert χ^2_r bei Annahme eines konstanten Flußmittelwertes. Den χ^2-Wert erhält man durch Multiplikation des reduzierten χ^2-Wertes mit der Zahl der in den Lichtkurven enthaltenen Flußwerte und oberen Grenzen abzüglich eins.
Aufgetragen ist der Fluß in Einheiten von 10^{-8} Photonen cm^{-2} s^{-1} gegen die Zeit in Julianischem Datum. Die senkrechten Balken geben die 1σ-Fehler an, die waagrechten Balken die Länge des jeweiligen Zeitintervalls. Die waagrechten Balken mit Pfeil nach unten geben obere Grenzen für die Flußwerte bei Ein- oder Zweitagesintervallen an, deren Signifikanz des Quellnachweises kleiner als 1σ war. Es wurden zusätzlich zu den oberen Grenzen noch die dazugehörigen Flußwerte mit ihren Fehlern dargestellt.

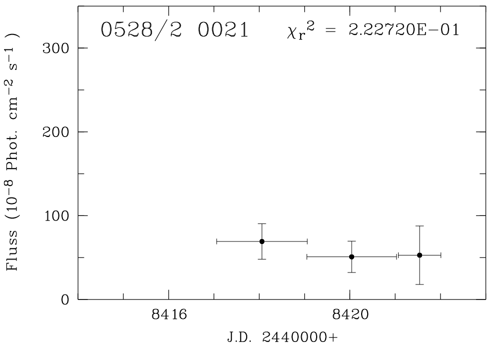

0528 0002
χ_r^2 = 5.62816E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

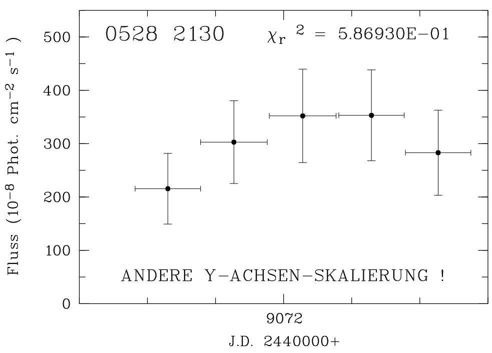

0528/2 0002
χ_r^2 = 5.87870E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

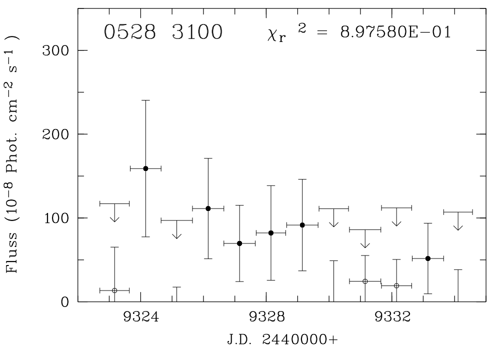

0528 0010
χ_r^2 = 1.48662E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

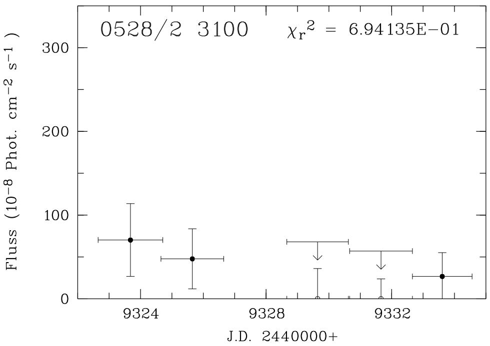

0528/2 0010
χ_r^2 = 1.71592E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

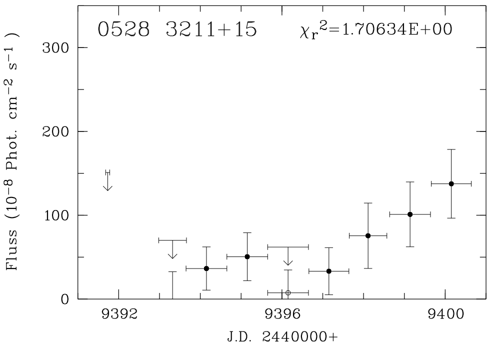

0528 0021
χ_r^2 = 6.39858E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

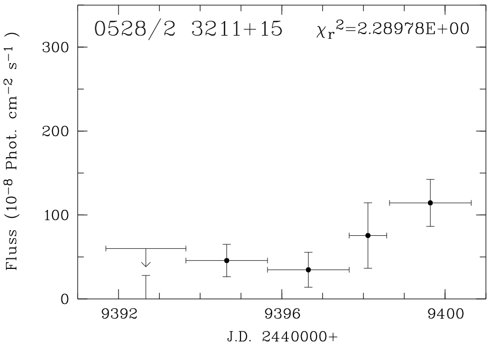

0528/2 0021
χ_r^2 = 2.22720E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

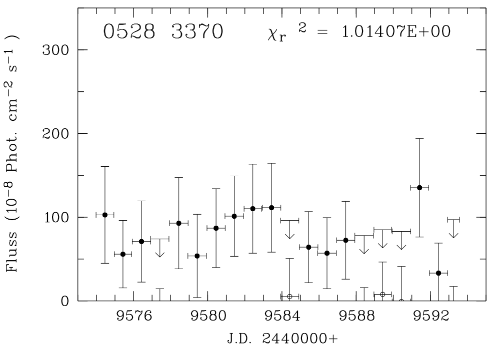

0528 2130
χ_r^2 = 5.86930E−01
ANDERE Y-ACHSEN-SKALIERUNG !
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

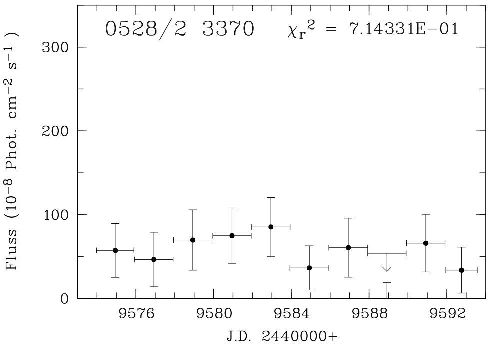

0528 3100 χ_r^2 = 8.97580E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
0
100
200
300
9324
9328
9332
J.D. 2440000+

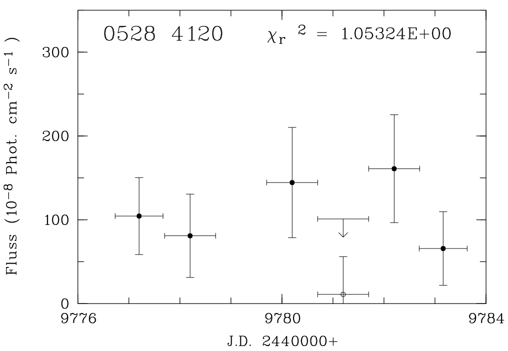

0528/2 3100 χ_r^2 = 6.94135E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
0
100
200
300
9324
9328
9332
J.D. 2440000+

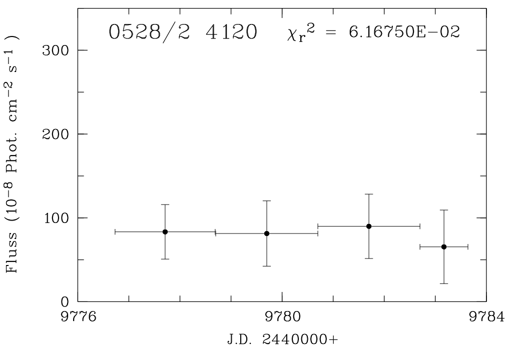

0528 3211+15 χ_r^2=1.70634E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
0
100
200
300
9392
9396
9400
J.D. 2440000+

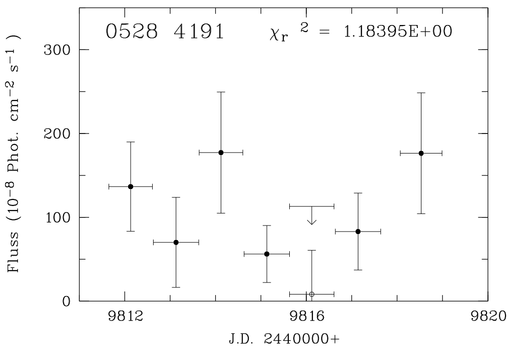

0528/2 3211+15 χ_r^2=2.28978E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
0
100
200
300
9392
9396
9400
J.D. 2440000+

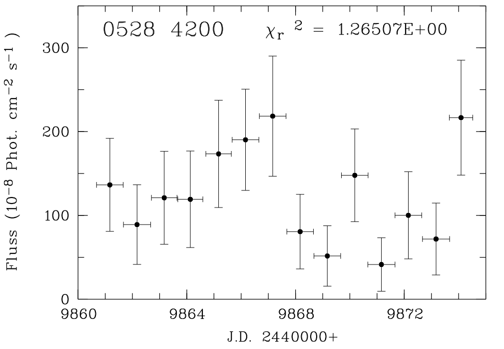

0528 3370 χ_r^2 = 1.01407E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
0
100
200
300
9576
9580
9584
9588
9592
J.D. 2440000+

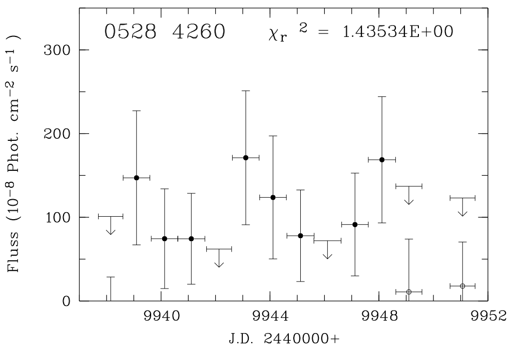

0528/2 3370 χ_r^2 = 7.14331E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
0
100
200
300
9576
9580
9584
9588
9592
J.D. 2440000+

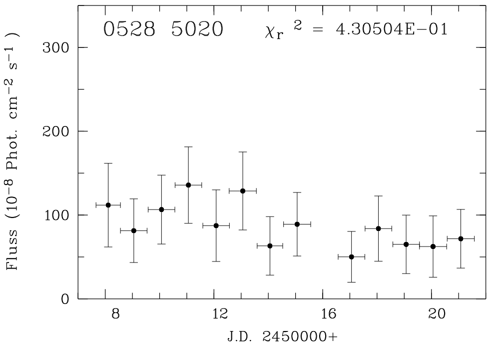

0528 4120 χ_r^2 = 1.05324E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
0
100
200
300
9776
9780
9784
J.D. 2440000+

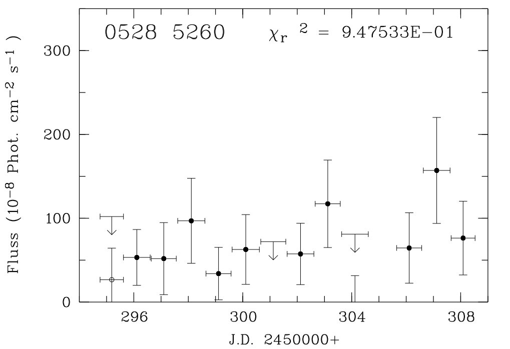

0528/2 4120 χ_r^2 = 6.16750E−02
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
0
100
200
300
9776
9780
9784
J.D. 2440000+

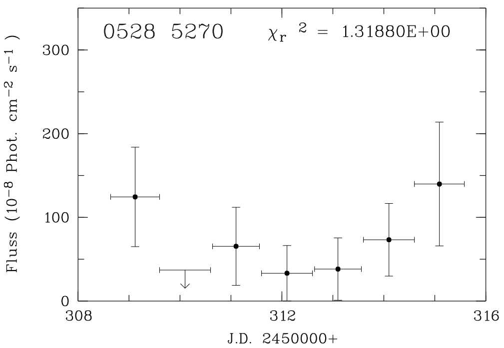

0528 4191
χ_r^2 = 1.18395E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

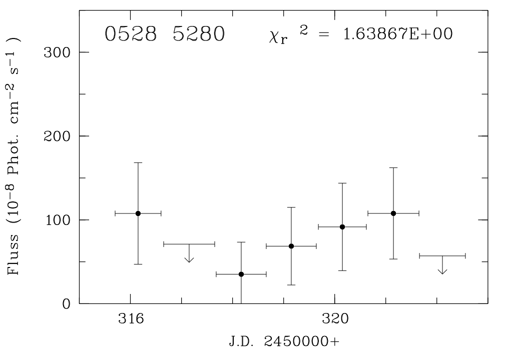

0528 4200
χ_r^2 = 1.26507E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

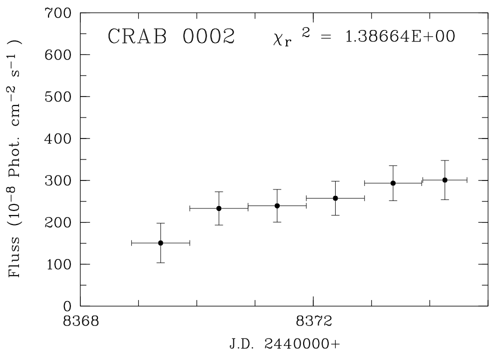

0528 4260
χ_r^2 = 1.43534E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

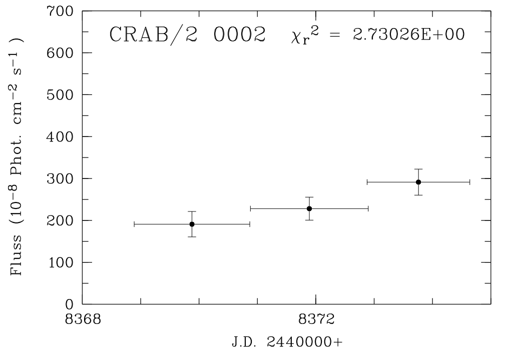

0528 5020
χ_r^2 = 4.30504E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2450000+

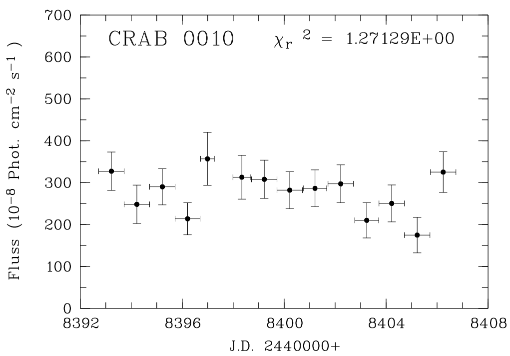

0528 5260
χ_r^2 = 9.47533E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2450000+

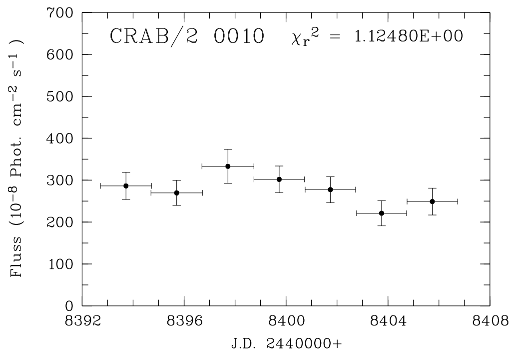

0528 5270
χ_r^2 = 1.31880E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2450000+

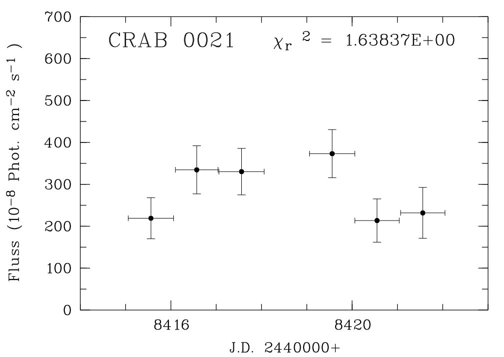

0528 5280
χ_r^2 = 1.63867E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2450000+

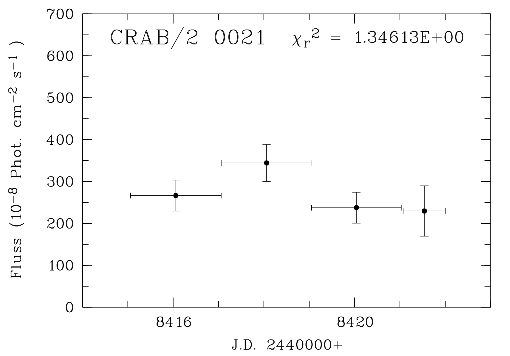

CRAB 0002 χ_r^2 = 1.38664E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

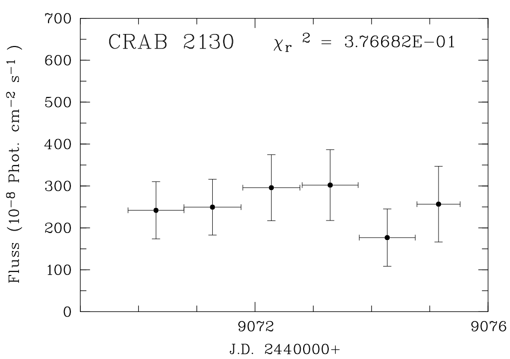

CRAB/2 0002 χ_r^2 = 2.73026E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

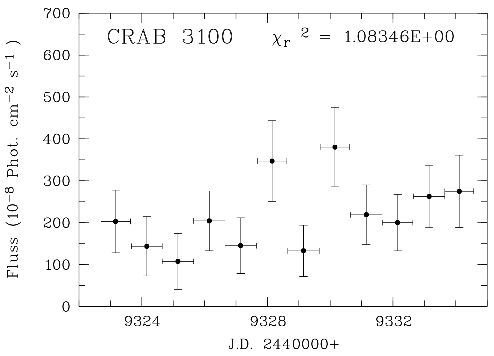

CRAB 0010 χ_r^2 = 1.27129E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

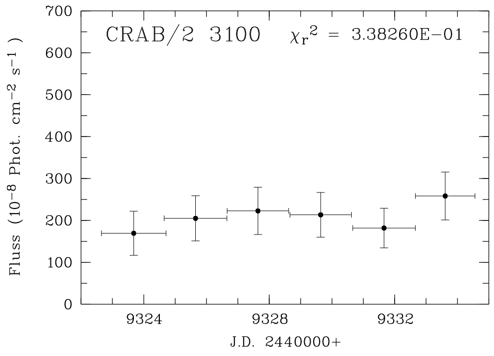

CRAB/2 0010 χ_r^2 = 1.12480E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

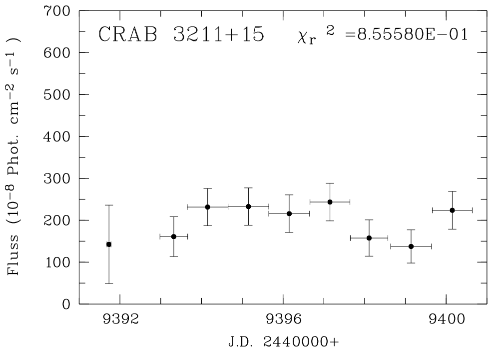

CRAB 0021 χ_r^2 = 1.63837E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

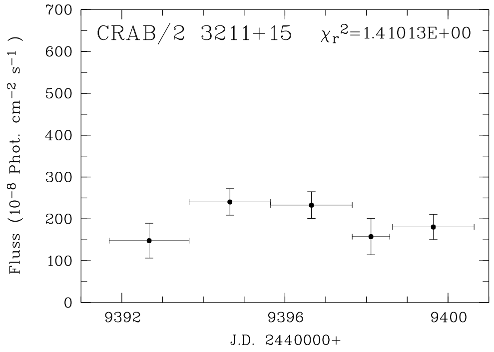

CRAB/2 0021 χ_r^2 = 1.34613E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

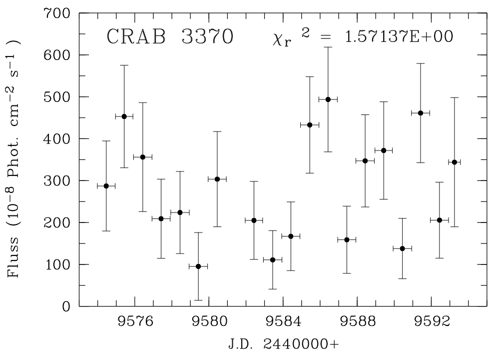

CRAB 2130 χ_r^2 = 3.76682E-01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

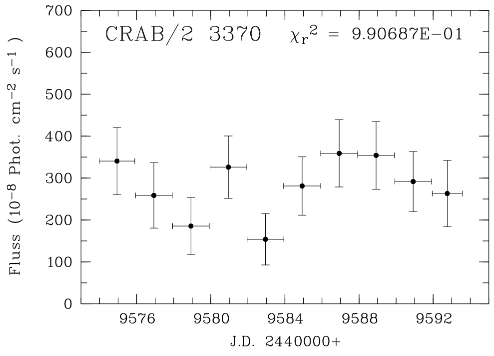

CRAB 3100
$\chi_r{}^2$ = 1.08346E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

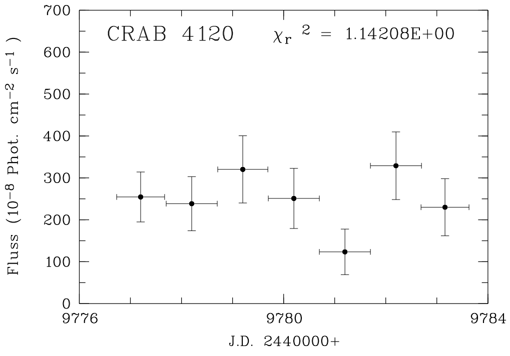

CRAB/2 3100
$\chi_r{}^2$ = 3.38260E-01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

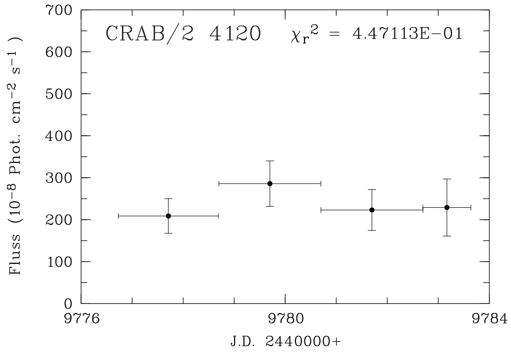

CRAB 3211+15
$\chi_r{}^2$ =8.55580E-01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

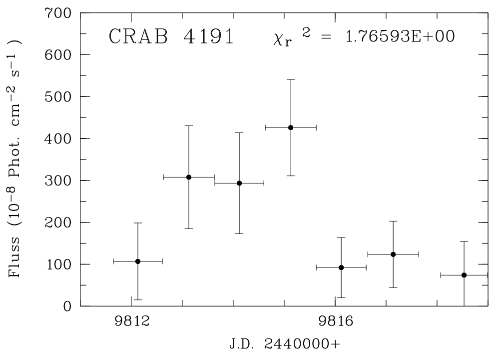

CRAB/2 3211+15
$\chi_r{}^2$=1.41013E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

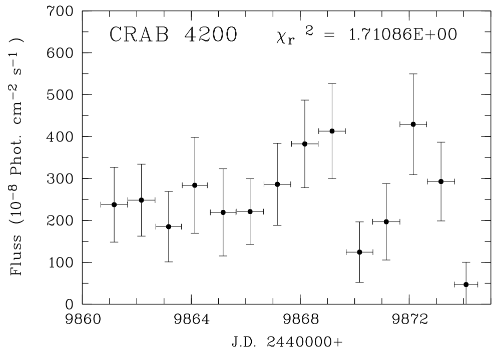

CRAB 3370
$\chi_r{}^2$ = 1.57137E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

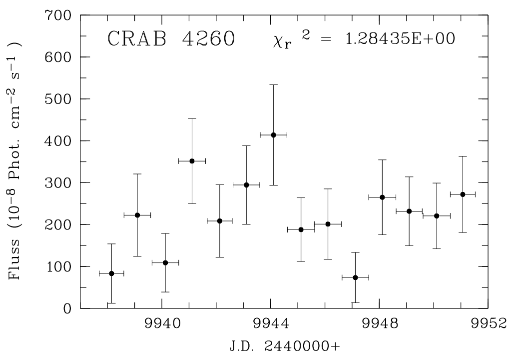

CRAB/2 3370
$\chi_r{}^2$ = 9.90687E-01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

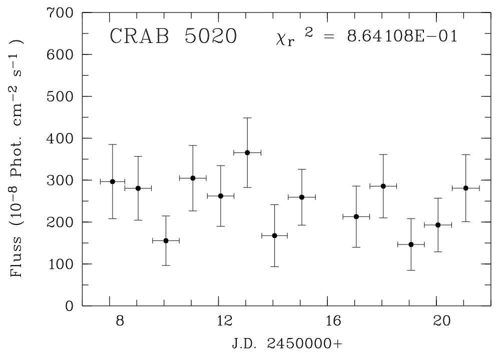

CRAB 4120
$\chi_r{}^2$ = 1.14208E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

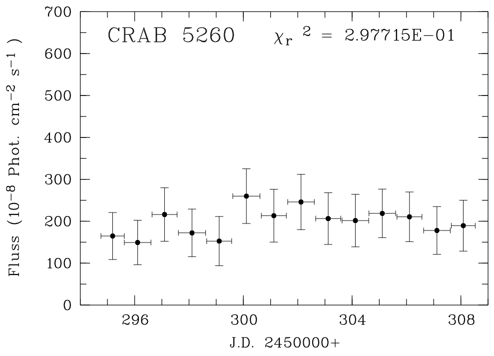

CRAB/2 4120
$\chi_r{}^2$ = 4.47113E-01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

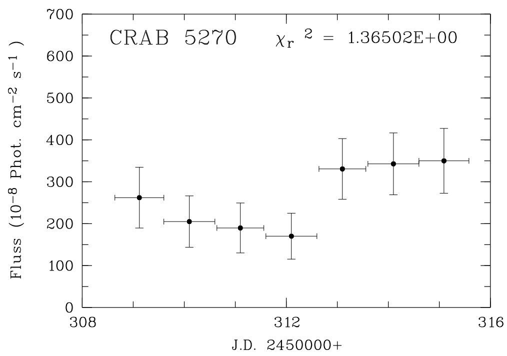

CRAB 4191
χ_r^2 = 1.76593E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

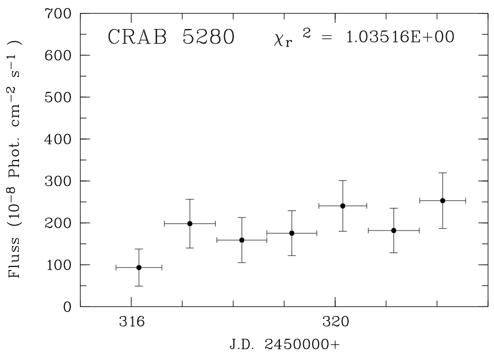

CRAB 4200
χ_r^2 = 1.71086E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

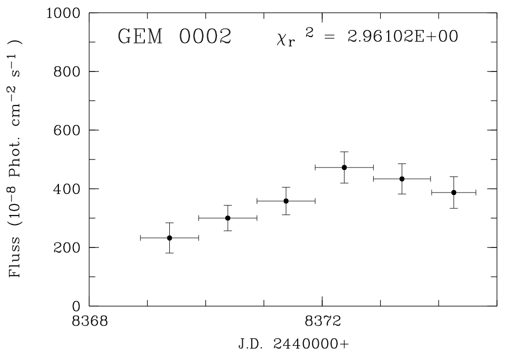

CRAB 4260
χ_r^2 = 1.28435E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

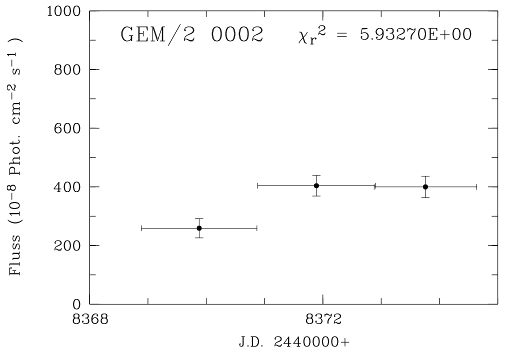

CRAB 5020
χ_r^2 = 8.64108E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2450000+

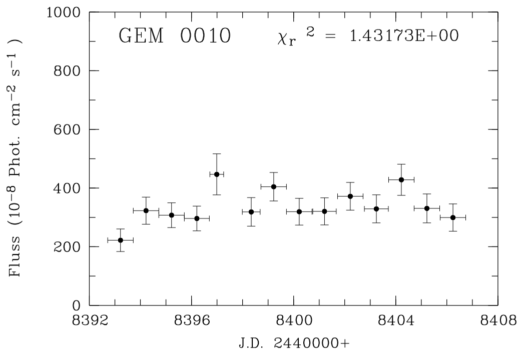

CRAB 5260
χ_r^2 = 2.97715E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2450000+

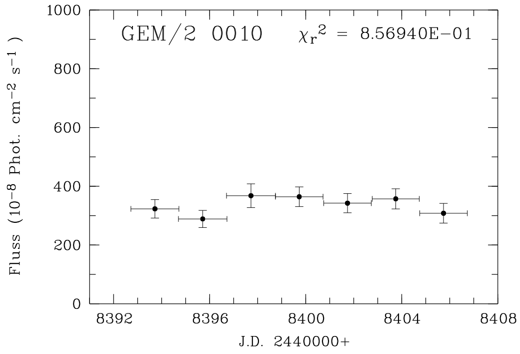

CRAB 5270
χ_r^2 = 1.36502E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2450000+

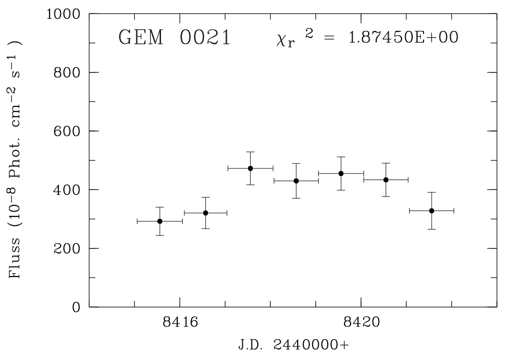

CRAB 5280
χ_r^2 = 1.03516E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2450000+

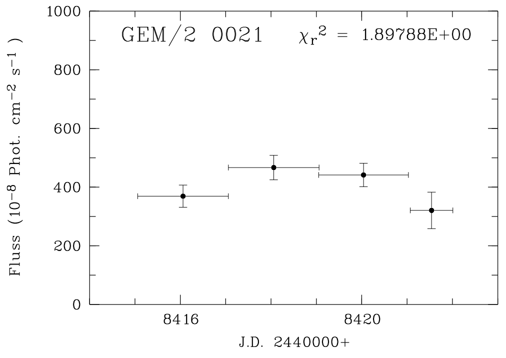

GEM 0002 χ_r^2 = 2.96102E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

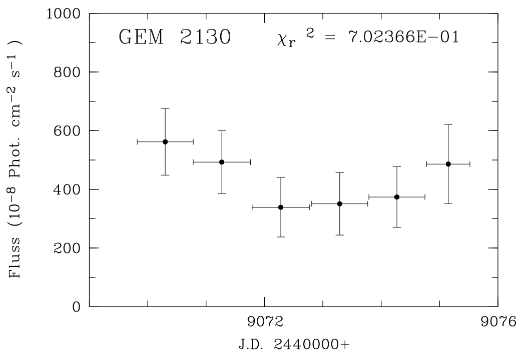

GEM/2 0002 χ_r^2 = 5.93270E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

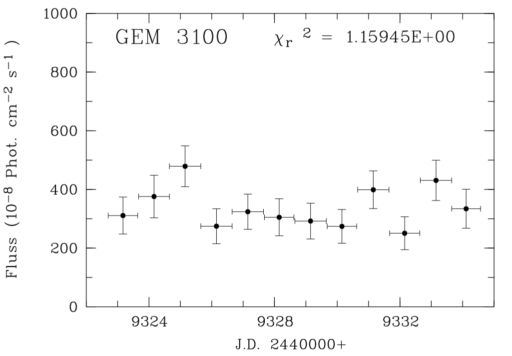

GEM 0010 χ_r^2 = 1.43173E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

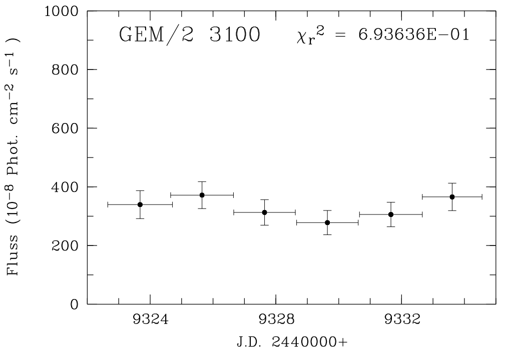

GEM/2 0010 χ_r^2 = 8.56940E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

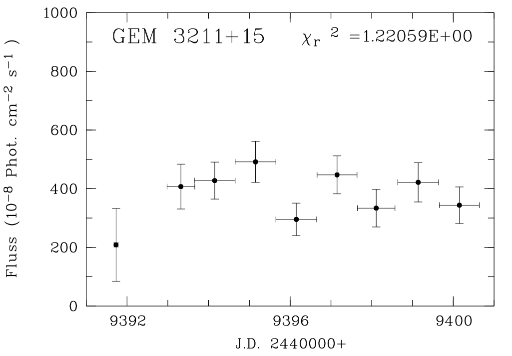

GEM 0021 χ_r^2 = 1.87450E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

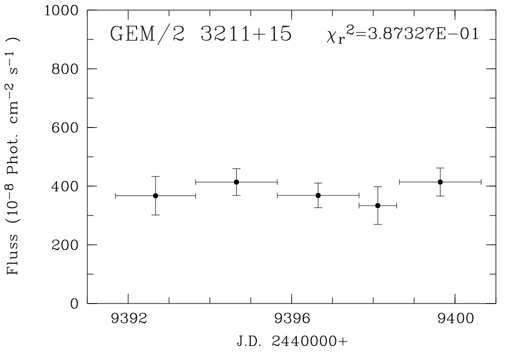

GEM/2 0021 χ_r^2 = 1.89788E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

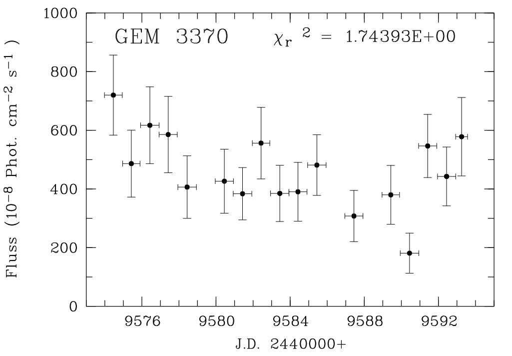

GEM 2130 χ_r^2 = 7.02366E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

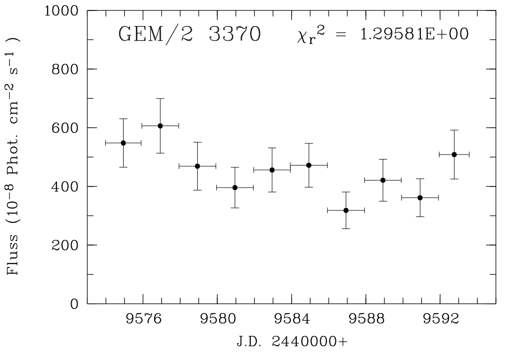

GEM 3100
χ_r^2 = 1.15945E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

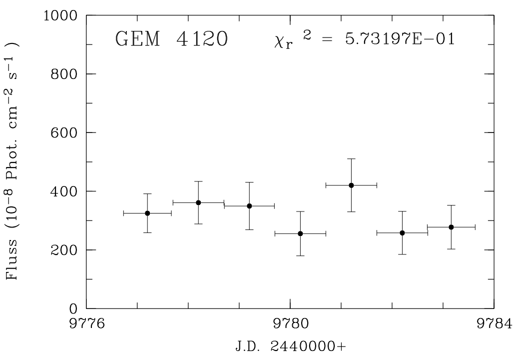

GEM/2 3100
χ_r^2 = 6.93636E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

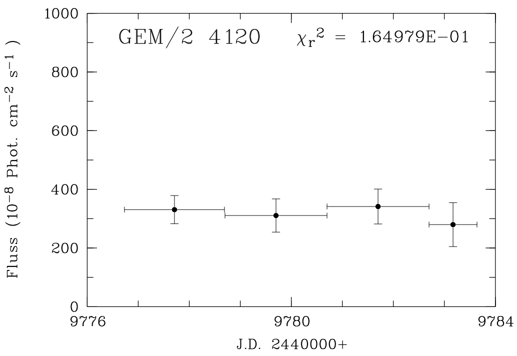

GEM 3211+15
χ_r^2 =1.22059E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

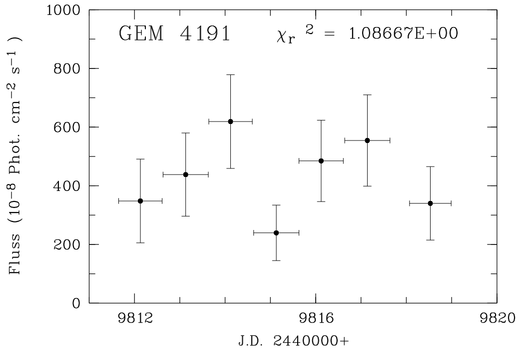

GEM/2 3211+15
χ_r^2=3.87327E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

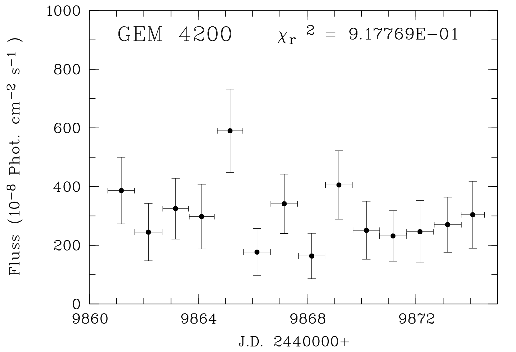

GEM 3370
χ_r^2 = 1.74393E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

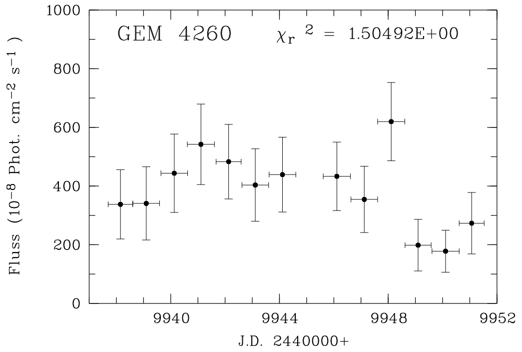

GEM/2 3370
χ_r^2 = 1.29581E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

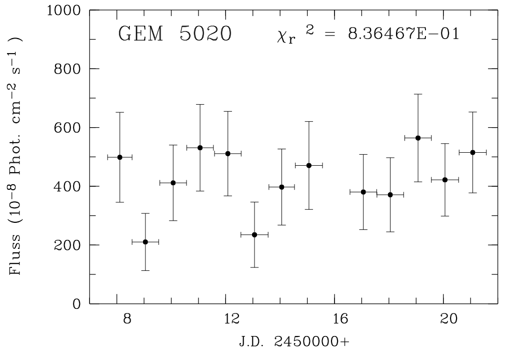

GEM 4120
χ_r^2 = 5.73197E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

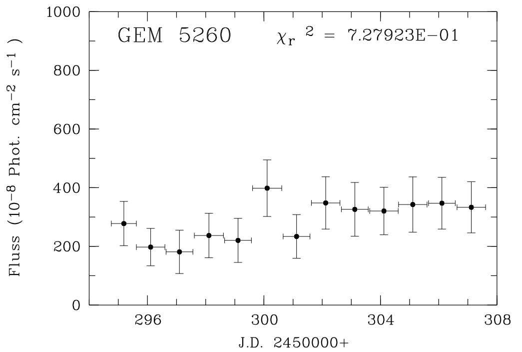

GEM/2 4120
χ_r^2 = 1.64979E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

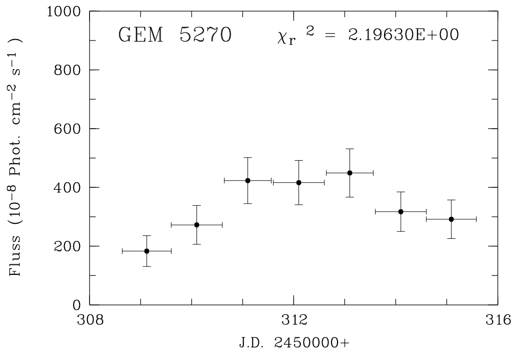

GEM 4191
χ_r^2 = 1.08667E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
0
200
400
600
800
1000
9812
9816
9820
J.D. 2440000+

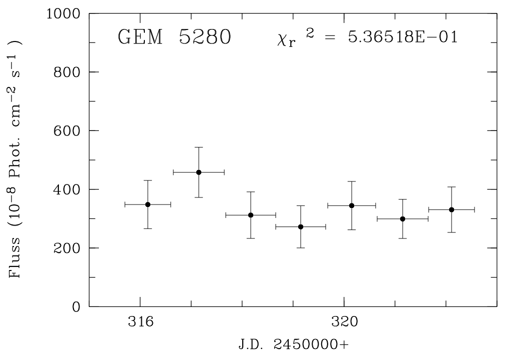

GEM 4200
χ_r^2 = 9.17769E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
0
200
400
600
800
1000
9860
9864
9868
9872
J.D. 2440000+

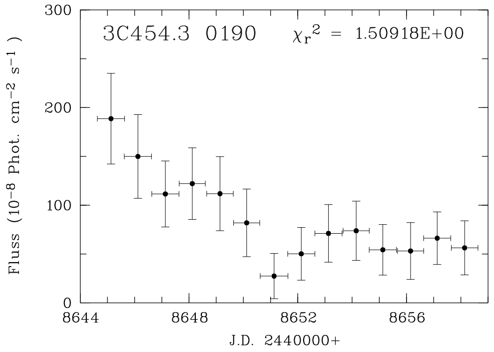

GEM 4260
χ_r^2 = 1.50492E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
0
200
400
600
800
1000
9940
9944
9948
9952
J.D. 2440000+

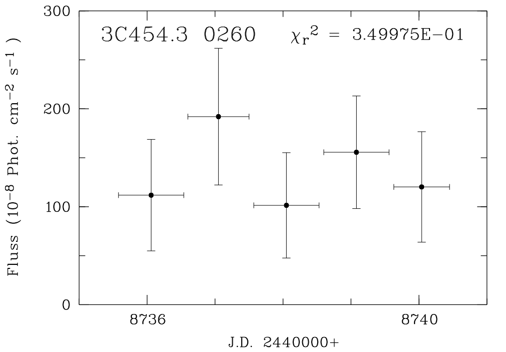

GEM 5020
χ_r^2 = 8.36467E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
0
200
400
600
800
1000
8
12
16
20
J.D. 2450000+

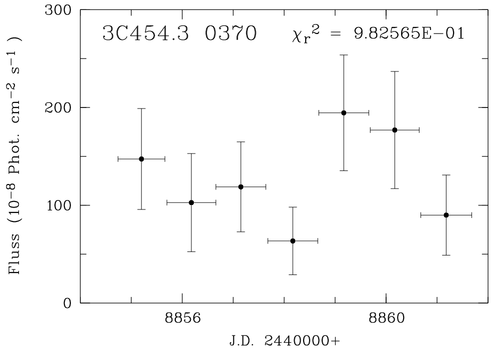

GEM 5260
χ_r^2 = 7.27923E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
0
200
400
600
800
1000
296
300
304
308
J.D. 2450000+

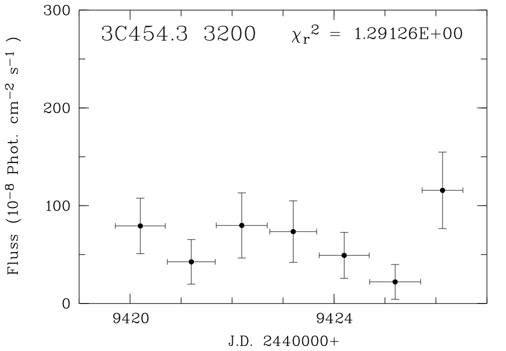

GEM 5270
χ_r^2 = 2.19630E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
0
200
400
600
800
1000
308
312
316
J.D. 2450000+

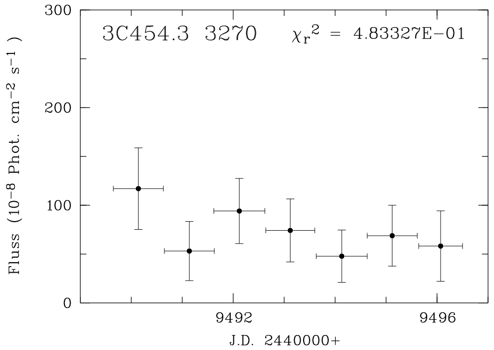

GEM 5280
χ_r^2 = 5.36518E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
0
200
400
600
800
1000
316
320
J.D. 2450000+

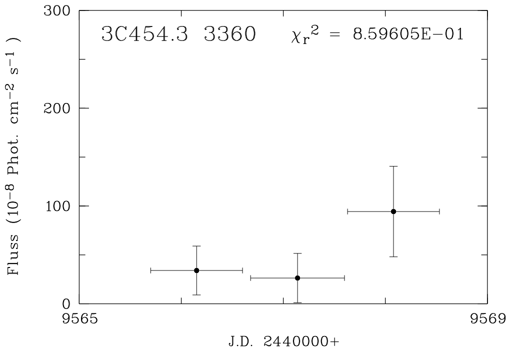

3C454.3 0190 χ_r^2 = 1.50918E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+
0
100
200
300
8644
8648
8652
8656

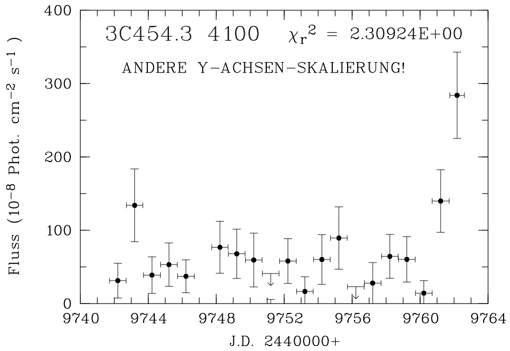

3C454.3 0260 χ_r^2 = 3.49975E-01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+
0
100
200
300
8736
8740

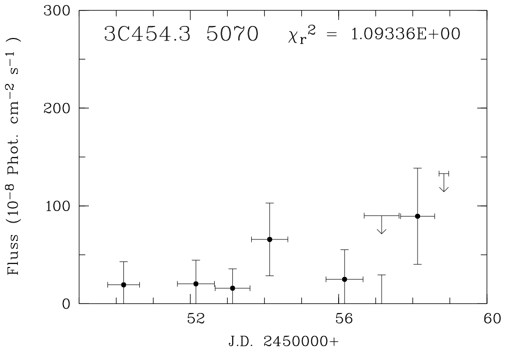

3C454.3 0370 χ_r^2 = 9.82565E-01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+
0
100
200
300
8856
8860

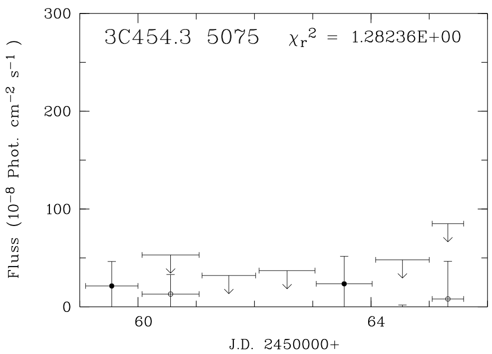

3C454.3 3200 χ_r^2 = 1.29126E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+
0
100
200
300
9420
9424

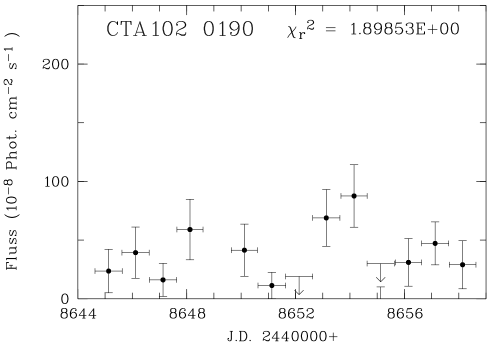

3C454.3 3270 χ_r^2 = 4.83327E-01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+
0
100
200
300
9492
9496

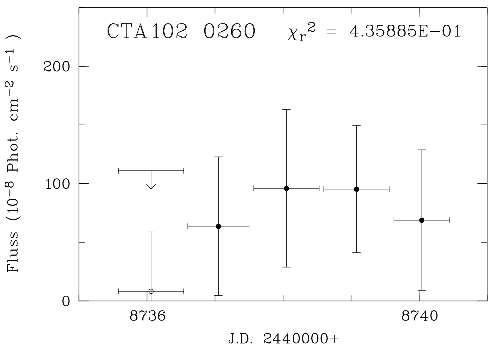

3C454.3 3360 χ_r^2 = 8.59605E-01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+
0
100
200
300
9565
9569

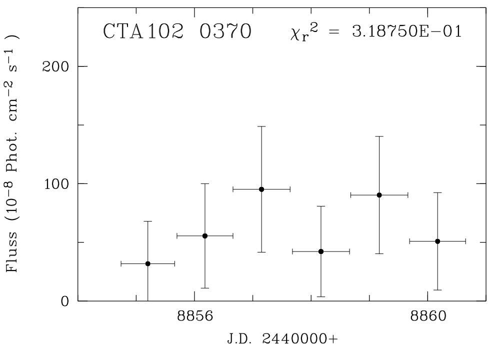

3C454.3 4100 χ_r^2 = 2.30924E+00
ANDERE Y-ACHSEN-SKALIERUNG!
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+
0
100
200
300
400
9740
9744
9748
9752
9756
9760
9764

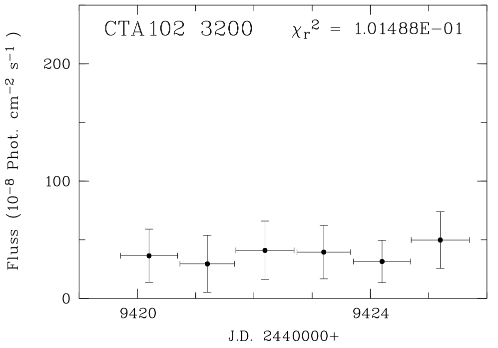

3C454.3 5070 χ_r^2 = 1.09336E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2450000+
0
100
200
300
52
56
60

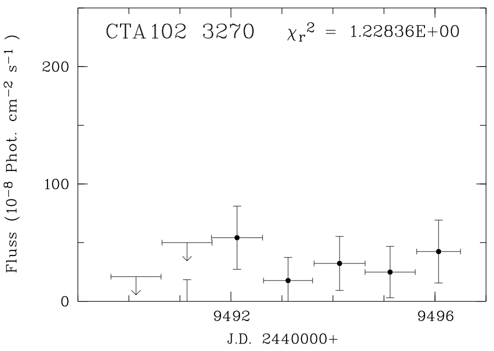

3C454.3 5075 χ_r^2 = 1.28236E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
300
200
100
0
60
64
J.D. 2450000+

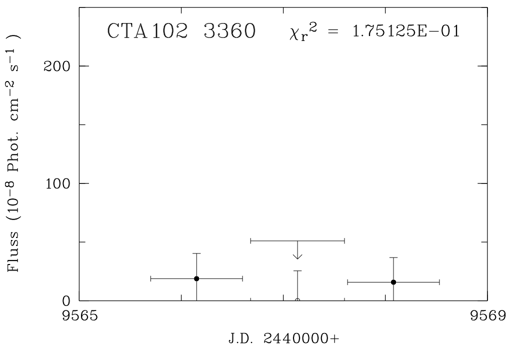

CTA 102 0190 χ_r^2 = 1.89853E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

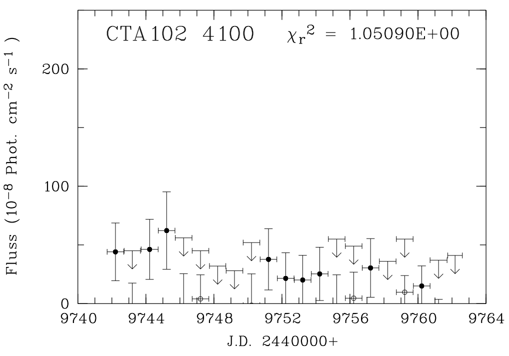

CTA 102 0260 χ_r^2 = 4.35885E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

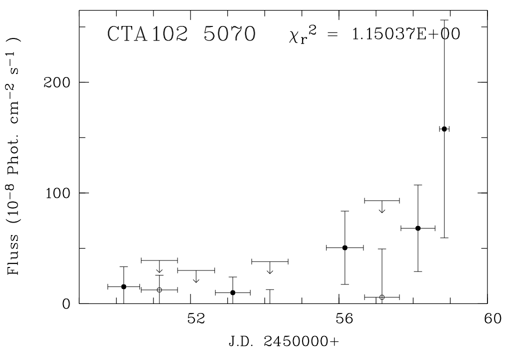

CTA 102 0370 χ_r^2 = 3.18750E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+

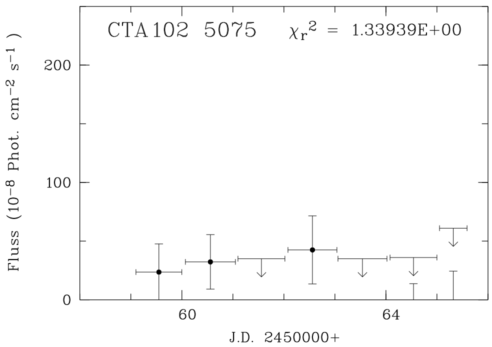

CTA 102 3200 χ_r^2 = 1.01488E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+


CTA 102 3270 χ_r^2 = 1.22836E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+


CTA 102 3360 χ_r^2 = 1.75125E−01
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+


CTA 102 4100 χ_r^2 = 1.05090E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2440000+


CTA 102 5070 χ_r^2 = 1.15037E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
J.D. 2450000+


CTA 102 5075
χ_r^2 = 1.33939E+00
Fluss (10^{-8} Phot. cm^{-2} s^{-1})
0
100
200
60
64
J.D. 2450000+

Anhang B

Likelihood-Ergebnistabellen

In diesem Anhang sind die Ergebnistabellen für alle fünf untersuchten Quellen dargestellt. Die Reihenfolge ist: PKS 0528+134, Crab, Geminga, 3C454.3, CTA 102. Die hier zusammengestellten Werte wurden durch eine Likelihood-Analyse mit freien Hintergrundparametern und freien Positionen ermittelt. Enthalten sind die Ergebnisse für alle Eintagesintervalle, sortiert nach aufsteigendem Julianischem Datum. Im folgenden soll eine Erklärung zu den einzelnen Tabellenspalten gegeben werden:

N:	fortlaufende Nummerierung der einzelnen Tabellenzeilen
OBJEKT:	Name der Quelle
JD:	Julianisches Datum abzüglich 2440000
INT:	Genaue Länge des Zeitintervalls, während dessen der Fluß bestimmt wurde, in Einheiten von Tagen. Der Wert schwankt um eins, nur beim ersten oder letzten Tag einer Beobachtungsperiode weicht er manchmal deutlich von eins ab.
GLON:	Galaktische Länge der optimierten Quellposition in Grad
GLAT:	Galaktische Breite der optimierten Quellposition in Grad
F68:	68%-Fehlerkreis der Quellposition in Bogenminuten
F95:	95%-Fehlerkreis der Quellposition in Bogenminuten
FLUSS:	Flußwert in Einheiten von 10^{-8} Photonen cm^{-2} s^{-1}
FEHL:	1σ-Fehler des Flußwertes in 10^{-8} Photonen cm^{-2} s^{-1}
OG:	Obere Grenze für den Flußwert in 10^{-8} Photonen cm^{-2} s^{-1} . Die obere Grenze wird nur für die Eintagesintervalle bestimmt, in denen die Signifikanz des Quellnachweises nicht größer als 5σ ist.
TS:	Teststatistikwert
SIGM:	Signifikanz des Quellnachweises in Einheiten von Sigma (Wurzel des Teststatistikwertes)

PHOT: Zahl der von der Quelle im gegebenen Zeitintervall erhaltenen Photonen. Diese Zahl erhält man aus der Likelihood-Analyse innerhalb eines Analyseradiuses von 15°. Sie gibt eine Abschätzung der Photonenzahl für die Quelle unter Berücksichtung aller Analyseparameter an und ist deswegen nicht ganzzahlig

GMULT: Wert des Hintergrundparameters g_m

GBIAS: Wert des Hintergrundparameters g_b

PDIF: Differenz von optimierter Quellposition und bekannter Katalogposition in Einheiten von Bogenminuten

FPDIF: Dieser Wert ist gegeben durch den doppelten 95%-Fehlerkreis F95 abzüglich der errechneten Positionsdifferenz PDIF in Einheiten von Bogenminuten. Dieser Wert wurde als Entscheidungskriterium herangezogen, ob die ermittelte Positionsdifferenz einer Quelle in einem durch statistische Schwankungen erklärbaren Rahmen liegt oder nicht. Ist der Wert FPDIF negativ, ist die ermittelte Position so weit von der erwarteten Position entfernt, daß nicht mehr von einer korrekten Quellidentifikation ausgegangen werden kann. Je höher der Wert ist, desto besser ist die Übereinstimmung von ermittelter Position und Katalogposition. Die Eintagesintervalle mit negativem FPDIF-Wert wurden bei der Darstellung der Lichtkurven, der Ermittlung der χ^2-Werte und bei der weiteren Analyse nicht berücksichtigt. Sie sind auch in den nachfolgenden Tabellen nicht enthalten. War der ermittelte Teststatistikwert kleiner als vier, wurden in der Likelihood-Analyse keine 68- und 95%-Fehlerkreise ermittelt. In diesem Fall wurde ein mittlerer F95-Wert von 90×10^{-8} Photonen cm^{-2} s^{-1} angesetzt, um den Wert FPDIF zu berechnen.

MITT: gewichteter konstanter Flußmittelwert in Einheiten von 10^{-8} Photonen cm^{-2} s^{-1}. Der Flußmittelwert wurde für jede Beobachtungsperiode gemäß der Formel: $\overline{F} = \left[\sum_{i=1}^{N} \frac{F(i)}{\sigma^2(i)}\right] \left[\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{\sigma^2(i)}\right]^{-1}$ berechnet

C2KON: reduzierter χ^2-Wert bei Annahme eines konstanten Flußmittelwertes $\overline{F}$, berechnet nach der Formel: $\chi^2 = \sum_{i=1}^{N} \left[\frac{F(i)-\overline{F}}{\sigma(i)}\right]^2$ mit anschließender Division durch die Anzahl der Freiheitsgrade. Umgekehrt erhält man den χ^2-Wert, indem man den reduzierten χ^2-Wert mit der Zahl der Freiheitsgrade, hier also der Zahl der zur Beobachtungsperiode gehörenden Flußwerte abzüglich eins multipliziert.

C2LIN: reduzierter χ^2-Wert bei Annahme eines linearen Anstiegs oder Abfalls der Gamma-Lichtkurve. Dazu wurde an die in einer Beobachtungsperiode ermittelten Flußwerte eine gewichtete Gerade $y = a + bx$ angepaßt. Anstelle des Flußmittelwerts $\overline{F}$ gehen nun die aus der Anpassungsgeraden erhaltenen Funktionswerte $y(i)$ in die χ^2-Berechnung ein: $\chi^2 = \sum_{i=1}^{N} \left[\frac{F(i)-y(i)}{\sigma(i)}\right]^2$. Anschließend wurde wieder durch die Zahl der Freiheitsgrade dividiert. Den χ^2-Wert erhält man hier durch Multiplikation des reduzierten χ^2-Wertes mit der Zahl der zur Periode gehörenden Flußwerte abzüglich zwei.

Die Einträge in den Spalten C2KON und C2LIN markieren jeweils den Beginn einer neuen Beobachtungsperiode. Die Einträge geben also die reduzierten χ^2-Werte für die einzelnen Perioden an. Der angegebene reduzierte χ^2-Wert wurde berechnet aus der Zeile des Eintrags und allen nachfolgenden Zeilen bis zum nächsten Eintrag.

N	OBJEKT	JD	INT	GLON	GLAT	F68	F95	FLUSS	FEHL	OG	TS	SIGM	PHOT	GMULT	GBIAS	PDIF	FPDIF	MITT	C2KON	C2LIN
1	0528 134	8369.38	1.00	192.16	-11.28	41	87	70.8	33.6	147	9.2	3.0	11.7	0.9576	0.0000	49.2	124.8	101.2	0.563	0.072
2	0528 134	8370.38	1.00	191.79	-10.85	26	47	88.2	28.0	149	19.4	4.4	24.4	0.9843	1.4402	26.5	67.5	101.2	*	*
3	0528 134	8371.38	1.00	191.21	-11.58	28	55	89.5	28.8	151	18.5	4.3	24.6	1.1885	0.0000	35.5	74.5	101.2	*	*
4	0528 134	8372.38	1.00	191.20	-11.60	49	76	121.9	35.3	195	22.1	4.7	32.5	0.4328	4.9797	36.8	115.2	101.2	*	*
5	0528 134	8373.37	0.98	192.00	-10.85	27	52	115.1	31.9	182	24.5	5.0	32.8	0.7199	3.2924	38.3	65.7	101.2	*	*
6	0528 134	8374.26	0.76	191.67	-11.32	33	66	140.4	37.7	0	26.9	5.2	32.4	0.8836	1.5454	25.7	106.3	101.2	*	*
7	0528 134	8393.22	1.00	190.94	-10.25	28	52	119.9	29.5	0	32.1	5.7	41.0	0.4636	4.1422	52.2	51.8	79.2	1.487	1.527
8	0528 134	8394.22	1.00	190.60	-11.32	37	91	68.0	28.1	128	10.1	3.2	19.8	0.7147	3.8573	49.0	133.0	79.2	*	*
9	0528 134	8395.22	1.00	191.21	-12.14	33	57	88.1	27.4	146	18.4	4.3	28.2	0.5725	4.1584	68.4	45.6	79.2	*	*
10	0528 134	8396.21	0.98	192.79	-11.45	50	90	46.1	22.5	95	6.6	2.6	14.7	0.9107	2.4594	87.6	92.4	79.2	*	*
11	0528 134	8396.99	0.54	191.87	-10.49	0	0	33.2	28.0	99	2.1	1.5	5.8	1.1890	0.0000	42.9	137.1	79.2	*	*
12	0528 134	8398.34	0.70	191.31	-10.75	32	73	99.3	33.9	171	15.5	3.9	24.2	0.8780	3.0167	16.0	130.0	79.2	*	*
13	0528 134	8399.22	1.00	192.15	-10.90	32	74	57.1	23.4	108	10.4	3.2	17.6	0.9559	1.1814	46.4	101.6	79.2	*	*
14	0528 134	8400.22	1.00	190.24	-11.36	71	100	52.3	25.1	107	7.1	2.7	16.1	0.7862	2.6352	69.7	130.3	79.2	*	*
15	0528 134	8401.21	0.92	191.00	-11.70	35	75	110.1	32.8	178	20.1	4.5	32.1	0.8249	2.3086	46.8	103.2	79.2	*	*
16	0528 134	8402.22	1.00	191.95	-11.23	25	42	140.9	32.7	0	37.0	6.1	42.6	0.6968	3.1979	36.6	47.4	79.2	*	*
17	0528 134	8403.24	0.94	191.32	-11.40	52	71	132.1	35.0	0	25.5	5.0	37.9	1.0116	2.0756	23.6	118.4	79.2	*	*
18	0528 134	8404.22	1.00	191.80	-11.47	62	82	103.8	33.6	174	16.1	4.0	29.2	0.9624	2.8864	37.5	126.5	79.2	*	*
19	0528 134	8405.22	1.00	191.62	-11.12	41	86	52.6	24.7	107	7.4	2.7	14.7	1.1886	1.5119	16.1	155.9	79.2	*	*
20	0528 134	8406.24	1.00	192.38	-11.15	30	57	119.4	33.1	189	24.8	5.0	33.0	0.8621	2.3172	60.1	53.9	79.2	*	*
21	0528 134	8415.56	1.00	191.77	-8.90	65	103	106.4	35.2	179	15.1	3.9	29.1	0.7842	3.1293	128.8	77.2	70.3	0.640	0.130
22	0528 134	8416.57	0.94	192.62	-9.74	34	62	101.8	32.2	171	18.9	4.3	25.9	0.8336	2.8646	106.1	17.9	70.3	*	*
23	0528 134	8417.56	1.00	191.41	-11.02	25	60	76.6	28.2	137	13.5	3.7	21.1	0.9831	2.1242	2.7	117.3	70.3	*	*
24	0528 134	8418.57	0.98	190.11	-10.64	38	77	82.0	33.6	155	10.3	3.2	18.7	1.1705	2.2741	77.5	76.5	70.3	*	*
25	0528 134	8419.56	1.00	193.15	-9.36	49	98	50.8	25.3	106	6.2	2.5	15.6	1.0111	2.6298	144.4	51.6	70.3	*	*
26	0528 134	8420.55	0.98	192.13	-10.40	57	100	45.4	25.8	103	4.7	2.2	12.6	1.2419	2.8999	57.8	142.2	70.3	*	*
27	0528 134	8421.56	0.98	192.05	-11.90	85	106	57.1	36.1	138	4.0	2.0	8.7	0.5311	3.5990	66.7	145.3	70.3	*	*
28	0528 134	9070.30	0.96	191.76	-11.20	40	69	215.5	66.3	358	23.0	4.8	21.7	1.1667	0.5604	25.6	112.4	291.0	0.587	0.511
29	0528 134	9071.27	0.98	191.85	-10.85	27	55	302.8	77.6	*	35.3	5.9	33.0	1.0656	2.2687	29.9	80.1	291.0	*	*
30	0528 134	9072.28	0.98	191.52	-11.04	18	42	352.1	87.6	*	41.2	6.4	29.8	0.2957	5.6613	9.0	75.0	291.0	*	*
31	0528 134	9073.29	0.96	191.88	-11.19	27	47	353.1	85.2	*	44.8	6.7	26.2	0.6068	1.2315	31.9	62.1	291.0	*	*
32	0528 134	9074.27	0.96	192.04	-10.56	31	56	283.0	79.7	*	32.6	5.7	22.2	1.0519	0.0000	47.8	64.2	291.0	*	*
33	0528 134	9323.17	0.94	191.37	-11.01	0	0	13.4	51.8	117	0.0	0.0	0.0	0.7771	2.0674	0.0	180.0	39.4	0.898	0.889
34	0528 134	9324.16	0.98	190.51	-13.04	69	97	158.9	81.5	344	8.2	2.9	8.7	0.7388	2.5220	131.8	62.2	39.4	*	*
35	0528 134	9325.15	1.00	191.37	-11.01	0	0	-62.0	79.5	97	0.0	0.0	0.0	0.4303	3.6123	0.0	180.0	39.4	*	*
36	0528 134	9326.15	1.00	192.77	-11.13	84	108	111.2	59.9	246	6.7	2.6	8.2	0.8070	0.8370	82.8	133.2	39.4	*	*
37	0528 134	9327.15	1.00	192.77	-10.37	70	106	69.6	45.5	181	4.2	2.1	5.7	1.0919	1.3439	91.0	121.0	39.4	*	*
38	0528 134	9328.15	0.94	191.37	-12.74	63	107	82.1	56.5	221	4.4	2.1	5.2	0.8498	2.1024	103.8	110.2	39.4	*	*
39	0528 134	9329.15	1.00	190.82	-13.03	47	95	91.5	54.6	224	6.6	2.6	6.1	0.7468	1.1627	125.4	64.6	39.4	*	*
40	0528 134	9330.15	0.94	191.37	-11.01	0	0	-13.0	62.0	111	0.0	0.0	0.0	0.8438	0.1649	0.0	180.0	39.4	*	*

N	OBJEKT	JD	INT	GLON	GLAT	F68	F95	FLUSS	FEHL	OG	TS	SIGM	PHOT	GMULT	GBIAS	PDIF	FPDIF	MITT	C2KON	C2LIN
41	0528 134	9331.15	1.00	191.37	-11.01	0	0	24.4	30.8	86	0.0	0.0	0.0	0.3619	3.7427	0.0	180.0	39.4	*	*
42	0528 134	9332.15	0.96	190.80	-11.30	0	0	19.1	31.4	112	0.6	0.8	1.4	0.5476	2.9964	37.8	142.2	39.4	*	*
43	0528 134	9333.15	1.00	191.62	-10.29	0	0	51.6	42.1	155	2.8	1.7	4.5	1.0019	0.4718	45.6	134.4	39.4	*	*
44	0528 134	9334.11	0.92	191.37	-11.01	0	0	-30.4	68.7	107	0.0	0.0	0.0	0.5625	3.4577	0.0	180.0	39.4	*	*
45	0528 134	9391.73	0.10	191.37	-11.01	0	0	-182.6	166.8	151	0.0	0.0	0.0	0.6431	0.0000	0.0	180.0	44.6	1.706	0.810
46	0528 134	9393.32	0.68	191.37	-11.01	0	0	-4.8	37.4	70	0.0	0.0	0.0	0.9417	1.9527	0.0	180.0	44.6	*	*
47	0528 134	9394.15	1.00	190.66	-10.29	0	0	36.4	25.8	96	3.1	1.8	7.3	1.0520	1.0548	60.2	119.8	44.6	*	*
48	0528 134	9395.15	1.00	190.79	-10.18	44	100	50.5	28.6	116	5.2	2.3	9.8	0.6606	3.0639	60.4	139.6	44.6	*	*
49	0528 134	9396.15	1.00	191.37	-11.01	0	0	7.4	27.3	62	0.0	0.0	0.0	0.8243	1.9832	0.0	180.0	44.6	*	*
50	0528 134	9397.15	0.98	191.84	-11.19	0	0	33.2	28.1	99	2.1	1.4	6.3	1.0356	1.3216	29.7	150.3	44.6	*	*
51	0528 134	9398.11	0.92	192.20	-11.58	42	90	75.5	39.0	163	7.3	2.7	10.6	0.7025	2.4603	59.6	120.4	44.6	*	*
52	0528 134	9399.14	1.00	190.35	-12.04	51	87	101.0	38.7	185	12.5	3.5	17.4	1.1778	0.0000	86.1	87.9	44.6	*	*
53	0528 134	9400.15	0.98	190.48	-11.54	36	77	137.5	41.0	225	22.1	4.7	25.2	0.8924	1.0875	61.3	92.7	44.6	*	*
54	0528 134	9574.46	0.96	192.03	-13.60	73	107	102.7	57.8	232	5.6	2.4	9.2	1.5094	0.2213	160.1	53.9	51.3	1.014	0.938
55	0528 134	9575.43	0.94	192.57	-11.63	0	0	55.8	40.3	154	3.7	1.9	5.2	0.2473	4.5961	79.8	100.2	51.3	*	*
56	0528 134	9576.43	1.00	190.76	-11.33	0	0	70.9	48.5	188	3.9	2.0	5.5	1.1341	1.4104	40.7	139.3	51.3	*	*
57	0528 134	9577.42	0.98	191.37	-11.01	0	0	-44.8	59.4	74	0.0	0.0	0.0	1.3161	0.9541	0.0	180.0	51.3	*	*
58	0528 134	9578.44	1.00	190.64	-10.31	72	103	92.8	54.5	221	5.5	2.3	7.9	1.0716	2.0110	60.1	145.9	51.3	*	*
59	0528 134	9579.43	1.00	190.14	-10.28	0	0	53.7	49.7	174	1.8	1.4	4.4	0.0000	6.8138	84.7	95.3	51.3	*	*
60	0528 134	9580.45	0.98	193.78	-9.92	49	98	86.9	47.1	198	7.1	2.7	8.0	1.1114	0.4502	156.5	39.5	51.3	*	*
61	0528 134	9581.43	1.00	193.01	-12.01	53	83	101.2	48.0	210	9.9	3.1	10.4	0.5022	2.3776	113.6	52.4	51.3	*	*
62	0528 134	9582.43	0.94	192.56	-10.94	56	91	110.1	53.2	231	8.3	2.9	10.2	0.7519	2.2260	70.2	111.8	51.3	*	*
63	0528 134	9583.44	1.00	190.79	-10.33	33	74	111.3	53.1	233	9.2	3.0	10.8	0.4817	6.3206	53.2	94.8	51.3	*	*
64	0528 134	9584.42	0.98	191.37	-11.01	0	0	5.2	45.4	96	0.0	0.0	0.0	0.7881	1.7185	0.0	180.0	51.3	*	*
65	0528 134	9585.44	1.00	192.79	-10.35	83	108	64.2	42.4	164	4.1	2.0	6.7	0.5317	4.0433	92.6	123.4	51.3	*	*
66	0528 134	9586.43	1.00	191.72	-10.66	0	0	57.0	42.4	159	3.1	1.8	5.9	1.0704	2.8535	29.4	150.6	51.3	*	*
67	0528 134	9587.44	0.98	189.77	-10.84	56	97	72.4	46.5	185	5.1	2.3	6.3	0.0268	6.6846	94.8	99.2	51.3	*	*
68	0528 134	9588.43	1.00	191.37	-11.01	0	0	-46.2	62.1	78	0.0	0.0	0.0	1.0603	3.4492	0.0	180.0	51.3	*	*
69	0528 134	9589.43	0.94	191.37	-11.01	0	0	7.8	38.6	85	0.0	0.0	0.0	0.6055	4.4692	0.0	180.0	51.3	*	*
70	0528 134	9590.44	1.00	191.37	-11.01	0	0	-0.8	41.9	83	0.0	0.0	0.0	0.7352	4.3177	0.0	180.0	51.3	*	*
71	0528 134	9591.42	0.98	190.85	-9.91	61	96	135.2	58.9	267	10.6	3.3	13.0	0.7176	2.7228	72.8	119.2	51.3	*	*
72	0528 134	9592.44	0.98	191.84	-12.27	0	0	33.2	35.8	124	1.4	1.2	3.5	0.7370	2.8970	80.5	99.5	51.3	*	*
73	0528 134	9593.25	0.64	191.37	-11.01	0	0	-62.6	79.8	97	0.0	0.0	0.0	0.9648	0.0000	0.0	180.0	51.3	*	*
74	0528 134	9777.20	0.94	191.03	-11.59	52	96	104.4	45.9	209	10.6	3.3	10.4	0.2921	2.6801	40.1	151.9	82.0	1.053	1.257
75	0528 134	9778.20	1.00	191.82	-13.32	66	107	80.9	49.7	200	5.2	2.3	6.4	0.8961	0.0039	141.1	72.9	82.0	*	*
76	0528 134	9780.20	1.00	191.37	-11.50	57	95	144.4	65.8	293	10.2	3.2	10.2	0.9813	0.1414	29.4	160.6	82.0	*	*
77	0528 134	9781.20	1.00	191.37	-11.01	0	0	11.0	45.0	101	0.0	0.0	0.0	0.6134	2.6765	0.0	180.0	82.0	*	*
78	0528 134	9782.20	1.00	191.14	-10.02	37	75	160.9	64.4	308	14.7	3.8	11.6	0.7363	1.6264	60.9	89.1	82.0	*	*
79	0528 134	9783.16	0.94	189.85	-12.28	47	104	65.7	43.9	175	4.9	2.2	5.2	0.6338	2.4338	117.4	90.6	82.0	*	*
80	0528 134	9812.13	0.96	191.70	-12.02	33	56	136.6	53.3	258	16.8	4.1	11.8	0.6948	1.7947	63.6	48.4	83.0	1.184	1.399

N	OBJEKT	JD	INT	GLON	GLAT	F68	F95	FLUSS	FEHL	OG	TS	SIGM	PHOT	GMULT	GBIAS	PDIF	FPDIF	MITT	C2KON	C2LIN
81	0528 134	9813.13	1.00	191.28	-10.99	0	0	70.1	53.7	199	3.2	1.8	5.4	1.1579	0.1283	5.4	174.6	83.0	*	*
82	0528 134	9814.12	0.96	191.80	-9.34	39	91	177.2	72.3	334	13.8	3.7	13.8	0.9720	0.0000	103.4	78.6	83.0	*	*
83	0528 134	9815.13	1.00	192.13	-11.69	56	99	56.2	34.0	140	6.0	2.5	5.5	0.3215	1.8837	60.5	137.5	83.0	*	*
84	0528 134	9816.12	0.98	191.37	-11.01	0	0	8.2	52.4	113	0.0	0.0	0.0	0.7864	2.0758	0.0	180.0	83.0	*	*
85	0528 134	9817.14	1.00	191.15	-12.21	77	104	83.0	45.9	191	6.5	2.6	7.1	0.7170	0.5683	73.2	134.8	83.0	*	*
86	0528 134	9818.53	0.92	189.91	-11.32	41	78	176.4	72.1	335	13.0	3.6	13.4	0.9779	0.0000	87.9	68.1	83.0	*	*
87	0528 134	9861.17	0.98	190.84	-12.16	39	77	136.4	55.5	261	12.4	3.5	13.4	1.1734	2.1815	75.7	78.3	101.0	1.265	1.255
88	0528 134	9862.17	1.00	190.15	-12.77	61	93	89.0	47.5	199	7.3	2.7	8.7	0.6330	2.7106	127.6	58.4	101.0	*	*
89	0528 134	9863.17	0.94	189.31	-12.69	39	83	121.0	55.4	246	10.2	3.2	12.1	1.1652	0.8634	157.5	8.5	101.0	*	*
90	0528 134	9864.13	0.92	190.58	-12.09	56	97	119.2	57.6	251	9.1	3.0	9.4	0.6029	2.3418	79.7	114.3	101.0	*	*
91	0528 134	9865.17	0.94	191.69	-11.02	56	86	173.4	64.0	315	15.0	3.9	15.2	1.2165	0.5192	18.9	153.1	101.0	*	*
92	0528 134	9866.16	0.98	192.09	-10.55	27	51	190.2	60.4	322	23.9	4.9	19.2	0.6601	1.4337	50.6	51.4	101.0	*	*
93	0528 134	9867.16	0.98	190.03	-9.86	59	75	218.4	71.7	375	20.9	4.6	19.6	1.1811	0.0000	104.9	45.1	101.0	*	*
94	0528 134	9868.17	0.98	189.59	-11.23	55	99	80.6	44.5	186	6.7	2.6	7.7	0.4824	2.2688	105.6	92.4	101.0	*	*
95	0528 134	9869.17	0.98	192.80	-12.34	0	0	51.6	36.0	139	3.8	1.9	5.4	1.2236	0.0000	115.9	64.1	101.0	*	*
96	0528 134	9870.18	0.98	191.60	-10.47	31	62	147.8	55.3	273	16.5	4.1	13.9	1.0777	0.0000	35.1	88.9	101.0	*	*
97	0528 134	9871.16	1.00	190.85	-12.62	0	0	41.4	31.9	123	3.1	1.8	4.2	0.9089	0.8506	101.3	78.7	101.0	*	*
98	0528 134	9872.15	0.98	190.60	-11.60	67	106	100.1	52.0	219	6.9	2.6	9.0	0.8823	1.2692	57.5	154.5	101.0	*	*
99	0528 134	9873.17	1.00	189.73	-12.14	59	100	71.8	42.9	173	6.2	2.5	7.0	0.0326	3.8829	117.8	82.2	101.0	*	*
100	0528 134	9874.09	0.86	191.32	-10.90	32	69	216.6	68.6	367	22.8	4.8	18.1	0.8116	1.0330	7.2	130.8	101.0	*	*
101	0528 134	9938.15	0.90	191.37	-11.01	0	0	-43.8	72.4	101	0.0	0.0	0.0	0.3501	7.5267	0.0	180.0	60.7	1.435	1.559
102	0528 134	9939.10	0.98	191.18	-11.15	57	101	147.1	80.1	334	6.9	2.6	7.5	1.3449	1.0376	14.0	188.0	60.7	*	*
103	0528 134	9940.13	0.98	189.64	-11.71	0	0	74.4	59.6	228	3.2	1.8	3.8	0.9617	2.4073	110.1	69.9	60.7	*	*
104	0528 134	9941.11	1.00	191.86	-10.24	0	0	74.3	54.3	210	3.6	1.9	4.2	0.4510	4.0804	54.5	125.5	60.7	*	*
105	0528 134	9942.13	0.92	191.37	-11.01	0	0	-161.8	111.9	62	0.0	0.0	0.0	0.5583	2.1335	0.0	180.0	60.7	*	*
106	0528 134	9943.11	0.98	191.92	-13.30	51	105	171.1	80.0	355	9.9	3.2	8.4	0.3756	2.7306	141.1	68.9	60.7	*	*
107	0528 134	9944.11	0.98	192.16	-9.80	83	103	123.7	73.5	297	5.9	2.4	6.4	0.5560	3.4180	86.3	119.7	60.7	*	*
108	0528 134	9945.12	1.00	190.69	-11.83	60	106	77.9	54.7	217	4.9	2.2	4.3	0.6603	1.1728	63.4	148.6	60.7	*	*
109	0528 134	9946.11	1.00	191.37	-11.01	0	0	-137.2	104.6	72	0.0	0.0	0.0	0.7511	2.4135	0.0	180.0	60.7	*	*
110	0528 134	9947.12	0.98	190.80	-12.82	75	107	91.3	61.4	239	5.0	2.2	5.1	0.7309	0.6354	113.6	100.4	60.7	*	*
111	0528 134	9948.11	1.00	193.05	-8.74	66	104	168.7	75.4	337	9.3	3.1	10.3	0.2136	4.3336	168.6	39.4	60.7	*	*
112	0528 134	9949.10	0.96	191.37	-11.01	0	0	10.8	63.1	137	0.0	0.0	0.0	0.8746	1.8845	0.0	180.0	60.7	*	*
113	0528 134	9951.07	0.92	191.37	-11.01	0	0	17.8	52.6	123	0.0	0.0	0.0	0.9804	1.0756	0.0	180.0	60.7	*	*
114	0528 134	10008.11	0.90	192.23	-8.39	62	97	111.8	49.9	221	9.3	3.0	13.4	1.3345	0.0000	165.2	28.8	81.5	0.431	0.290
115	0528 134	10009.05	0.98	192.21	-12.36	35	71	81.3	38.0	168	9.2	3.0	10.3	0.7374	3.0901	94.9	47.1	81.5	*	*
116	0528 134	10010.07	0.98	188.98	-11.52	47	86	106.5	41.1	196	13.7	3.7	15.6	1.0565	0.0000	143.9	28.1	81.5	*	*
117	0528 134	10011.06	0.98	191.82	-12.01	36	80	135.7	45.6	232	17.6	4.2	19.7	0.5189	3.1667	65.6	94.4	81.5	*	*
118	0528 134	10012.08	0.98	193.18	-9.67	57	90	87.3	42.7	181	8.7	3.0	11.7	0.8560	1.8871	133.7	46.3	81.5	*	*
119	0528 134	10013.06	1.00	190.82	-11.27	39	73	128.7	46.5	228	14.1	3.8	19.7	1.0564	2.7892	35.9	110.1	81.5	*	*
120	0528 134	10014.06	0.94	190.33	-10.64	62	91	63.2	34.9	143	6.2	2.5	9.2	1.1550	0.0001	65.2	116.8	81.5	*	*

N	OBJEKT	JD	INT	GLON	GLAT	F68	F95	FLUSS	FEHL	OG	TS	SIGM	PHOT	GMULT	GBIAS	PDIF	FPDIF	MITT	C2KON	C2LIN
121	0528 134	10015.06	1.00	190.84	-11.27	61	79	89.0	37.9	172	10.3	3.2	13.9	1.0834	1.7548	34.9	123.1	81.5	*	*
122	0528 134	10017.06	0.98	191.08	-10.89	46	90	50.1	30.3	121	4.8	2.2	7.8	1.2665	2.2144	18.5	161.5	81.5	*	*
123	0528 134	10018.05	0.98	191.60	-10.79	30	75	83.8	38.9	171	9.5	3.1	12.4	1.2066	0.4195	18.9	131.1	81.5	*	*
124	0528 134	10019.07	0.98	190.62	-11.76	34	91	65.0	34.9	144	6.5	2.5	10.1	1.1097	2.0146	63.0	119.0	81.5	*	*
125	0528 134	10020.06	1.00	189.87	-12.79	60	104	62.4	36.6	145	5.2	2.3	9.1	0.3987	5.6641	138.4	69.6	81.5	*	*
126	0528 134	10021.08	1.00	190.07	-9.51	42	78	71.7	35.0	152	8.0	2.8	10.3	0.9966	1.9729	118.3	37.7	81.5	*	*
127	0528 134	10295.19	0.86	191.37	-11.01	0	0	26.6	37.7	102	0.0	0.0	0.0	0.5641	2.2250	0.0	180.0	53.5	0.948	0.947
128	0528 134	10296.11	0.98	189.87	-10.37	37	91	53.2	33.3	136	6.0	2.4	5.2	0.7498	0.0000	96.4	85.6	53.5	*	*
129	0528 134	10297.10	0.92	191.20	-12.32	0	0	51.8	43.0	158	2.9	1.7	3.8	1.1066	0.0000	79.2	100.8	53.5	*	*
130	0528 134	10298.11	1.00	192.50	-12.00	40	82	96.9	50.7	219	9.5	3.1	6.8	0.9458	0.0000	89.1	74.9	53.5	*	*
131	0528 134	10299.11	0.92	189.35	-10.23	0	0	33.9	31.3	116	2.1	1.5	3.0	0.7462	0.6767	128.0	52.0	53.5	*	*
132	0528 134	10300.11	1.00	190.84	-10.18	64	107	62.7	41.6	163	4.4	2.1	5.4	0.1523	4.4412	58.8	155.2	53.5	*	*
133	0528 134	10301.12	0.92	191.37	-11.01	0	0	-79.0	75.5	72	0.0	0.0	0.0	0.1545	4.9136	0.0	180.0	53.5	*	*
134	0528 134	10302.12	0.98	190.71	-9.06	54	106	57.4	36.6	146	5.1	2.3	5.6	0.6884	0.8899	123.3	88.7	53.5	*	*
135	0528 134	10303.12	0.92	191.52	-9.11	48	88	117.2	52.2	235	11.9	3.4	10.3	0.8419	0.0000	114.3	61.7	53.5	*	*
136	0528 134	10304.12	0.98	191.37	-11.01	0	0	-18.0	49.5	81	0.0	0.0	0.0	0.0183	6.5320	0.0	180.0	53.5	*	*
137	0528 134	10306.11	0.92	190.68	-11.17	51	93	64.5	42.0	166	6.4	2.5	5.2	0.6806	0.0000	41.7	144.3	53.5	*	*
138	0528 134	10307.12	0.98	191.98	-11.86	30	57	157.0	63.2	298	16.6	4.1	11.8	0.8573	1.0632	62.3	51.7	53.5	*	*
139	0528 134	10308.09	0.88	191.76	-10.52	53	104	76.3	44.0	179	6.7	2.6	6.3	0.7324	0.0000	37.3	170.7	53.5	*	*
140	0528 134	10309.12	0.96	191.23	-11.43	28	74	124.4	59.4	262	11.3	3.4	8.6	0.4967	2.3250	26.5	121.5	57.1	1.319	1.580
141	0528 134	10310.10	1.00	191.37	-11.01	0	0	-345.6	191.3	37	0.0	0.0	0.0	0.4680	1.6975	0.0	180.0	57.1	*	*
142	0528 134	10311.10	0.92	190.62	-11.23	0	0	65.4	46.6	178	3.8	1.9	5.0	0.1491	5.8000	46.1	133.9	57.1	*	*
143	0528 134	10312.10	1.00	190.84	-11.20	0	0	33.2	33.1	119	1.8	1.3	2.9	0.6274	2.5996	33.2	146.8	57.1	*	*
144	0528 134	10313.10	0.92	192.68	-10.82	0	0	38.2	37.2	132	2.0	1.4	3.3	0.2775	4.0864	78.0	102.0	57.1	*	*
145	0528 134	10314.10	1.00	191.23	-9.94	63	102	73.2	43.4	171	6.0	2.4	7.5	0.9172	0.0000	64.7	139.3	57.1	*	*
146	0528 134	10315.09	0.98	190.00	-13.06	70	104	139.8	74.0	303	7.0	2.6	9.0	0.4616	4.2099	146.9	61.1	57.1	*	*
147	0528 134	10316.15	0.90	191.80	-11.30	71	103	107.6	60.6	249	6.6	2.6	6.4	0.9235	0.0000	30.7	175.3	52.9	1.639	1.953
148	0528 134	10317.15	1.00	191.37	-11.01	0	0	-137.0	104.0	71	0.0	0.0	0.0	0.3595	4.3517	0.0	180.0	52.9	*	*
149	0528 134	10318.17	0.98	190.78	-10.34	0	0	35.1	38.3	135	1.6	1.3	2.6	0.8334	0.0000	53.2	126.8	52.9	*	*
150	0528 134	10319.15	0.98	190.43	-9.98	54	104	68.6	46.3	179	4.2	2.1	5.6	0.4371	4.2004	83.0	125.0	52.9	*	*
151	0528 134	10320.15	0.94	191.87	-10.76	63	95	91.6	52.2	216	7.2	2.7	5.9	0.7216	0.0000	33.1	156.9	52.9	*	*
152	0528 134	10321.15	1.00	192.08	-11.05	44	86	107.7	54.5	238	9.7	3.1	7.0	0.7238	0.9566	41.9	130.1	52.9	*	*
153	0528 134	10322.11	0.90	191.37	-11.01	0	0	-98.2	77.6	57	0.0	0.0	0.0	0.6462	1.7401	0.0	180.0	52.9	*	*

N	OBJEKT	JD	INT	GLON	GLAT	F68	F95	FLUSS	FEHL	OG	TS	SIGM	PHOT	GMULT	GBIAS	PDIF	FPDIF	MITT	C2KON	C2LIN
1	CRAB	8369.38	1.00	183.97	-5.16	40	69	150.6	47.3	250	18.1	4.3	28.3	0.9438	0.0000	51.2	86.8	247.1	1.387	0.229
2	CRAB	8370.38	1.00	184.46	-5.97	14	36	233.1	39.7	0	69.1	8.3	77.4	0.8593	2.4412	12.9	59.1	247.1	*	*
3	CRAB	8371.38	1.00	184.45	-6.23	20	32	239.4	39.0	0	81.4	9.0	79.1	1.0598	0.7126	27.8	36.2	247.1	*	*
4	CRAB	8372.38	1.00	184.89	-5.82	20	33	257.4	40.7	0	86.7	9.3	83.5	0.3228	5.5276	19.9	46.1	247.1	*	*
5	CRAB	8373.37	0.98	184.89	-5.35	23	32	293.4	41.8	0	106.	10.3	99.8	0.7681	3.2432	32.5	31.5	247.1	*	*
6	CRAB	8374.26	0.76	184.65	-6.23	18	35	300.8	46.8	0	91.4	9.6	82.2	1.0636	0.5999	27.5	42.5	247.1	*	*
7	CRAB	8393.22	1.00	184.13	-4.84	7	36	327.3	45.8	0	105.	10.3	108.7	0.2291	6.2414	62.0	10.0	270.0	1.271	1.271
8	CRAB	8394.22	1.00	184.70	-5.43	40	62	248.3	45.9	0	53.9	7.3	73.2	0.6184	4.7150	22.6	101.4	270.0	*	*
9	CRAB	8395.22	1.00	184.27	-5.59	18	29	290.2	43.1	0	96.6	9.8	95.8	0.7576	2.9099	20.7	37.3	270.0	*	*
10	CRAB	8396.21	0.98	184.74	-6.02	18	37	213.9	38.3	0	62.6	7.9	69.7	1.0711	0.8000	18.0	56.0	270.0	*	*
11	CRAB	8396.99	0.54	184.54	-6.37	23	39	356.9	63.2	0	71.9	8.5	62.0	1.0253	1.3341	35.4	42.6	270.0	*	*
12	CRAB	8398.34	0.70	184.62	-5.71	22	42	313.0	52.3	0	75.9	8.7	76.1	0.8161	3.6624	5.4	78.6	270.0	*	*
13	CRAB	8399.22	1.00	184.33	-5.84	19	32	308.0	45.7	0	98.4	9.9	94.3	0.9460	1.9686	14.2	49.8	270.0	*	*
14	CRAB	8400.22	1.00	184.54	-5.72	19	33	282.1	44.0	0	87.8	9.4	86.9	0.7386	2.6969	3.8	62.2	270.0	*	*
15	CRAB	8401.21	0.92	184.96	-5.97	18	31	286.5	44.0	0	92.0	9.6	87.1	0.8811	2.5098	26.5	35.5	270.0	*	*
16	CRAB	8402.22	1.00	183.98	-6.00	16	37	297.3	45.2	0	89.1	9.4	88.9	0.7538	2.6290	37.0	37.0	270.0	*	*
17	CRAB	8403.24	0.94	184.22	-5.51	25	42	210.2	42.1	0	48.0	6.9	60.3	1.1299	0.8814	26.0	58.0	270.0	*	*
18	CRAB	8404.22	1.00	184.64	-5.98	27	40	250.5	44.1	0	66.6	8.2	72.3	1.0649	1.7194	12.9	67.1	270.0	*	*
19	CRAB	8405.22	1.00	185.00	-5.04	38	68	174.9	42.4	0	28.7	5.4	49.1	1.1437	2.3597	51.6	84.4	270.0	*	*
20	CRAB	8406.24	1.00	184.74	-5.77	13	26	325.2	48.6	0	102.	10.1	90.4	0.8759	2.2608	10.7	41.3	270.0	*	*
21	CRAB	8415.56	1.00	184.56	-4.67	28	53	219.0	49.0	0	36.6	6.0	50.1	0.6349	4.9751	66.6	39.4	278.8	1.638	2.017
22	CRAB	8416.57	0.94	184.73	-5.70	18	30	334.5	57.4	0	75.4	8.7	69.5	0.9351	1.8161	11.3	48.7	278.8	*	*
23	CRAB	8417.56	1.00	183.90	-5.77	24	40	330.2	55.4	0	74.2	8.6	74.9	0.9070	3.4272	39.4	40.6	278.8	*	*
24	CRAB	8419.56	1.00	184.36	-5.86	16	30	373.1	57.4	0	87.1	9.3	92.8	0.8434	4.6537	12.8	47.2	278.8	*	*
25	CRAB	8420.55	0.98	185.32	-5.73	49	77	213.5	51.6	0	28.9	5.4	51.2	1.1916	3.6272	45.5	108.5	278.8	*	*
26	CRAB	8421.56	0.98	184.04	-6.12	31	55	231.8	60.7	0	31.6	5.6	30.4	0.8387	2.6119	37.1	72.9	278.8	*	*
27	CRAB	9070.30	0.96	184.60	-5.49	38	68	241.9	68.3	*	25.5	5.1	29.1	0.7146	3.4706	17.6	118.4	248.0	0.377	0.445
28	CRAB	9071.27	0.98	184.10	-5.99	28	53	249.4	66.6	*	28.6	5.3	31.9	0.9514	3.4262	30.2	75.8	248.0	*	*
29	CRAB	9072.28	0.98	184.56	-5.23	39	68	295.8	78.8	*	29.2	5.4	29.1	0.7737	2.8239	33.0	103.0	248.0	*	*
30	CRAB	9073.29	0.96	184.26	-6.10	24	47	302.0	84.5	*	31.2	5.6	25.1	0.6458	1.2114	26.2	67.8	248.0	*	*
31	CRAB	9074.27	0.96	185.06	-5.76	43	80	176.7	68.3	327	14.0	3.7	15.5	1.0819	0.0000	29.9	130.1	248.0	*	*
32	CRAB	9075.15	0.74	185.09	-5.80	34	69	256.5	90.3	454	19.9	4.5	16.5	0.6217	1.8653	31.7	106.3	248.0	*	*
33	CRAB	9323.17	0.94	184.87	-7.38	27	54	203.0	74.8	375	18.6	4.3	13.2	0.5118	3.6251	97.8	10.2	200.1	1.083	0.919
34	CRAB	9324.16	0.98	185.51	-6.51	46	98	143.7	70.8	305	8.9	3.0	10.1	0.6733	2.9580	71.6	124.4	200.1	*	*
35	CRAB	9325.15	1.00	183.94	-6.99	92	108	107.6	66.8	261	4.4	2.1	8.1	0.2215	5.2907	81.5	134.5	200.1	*	*
36	CRAB	9326.15	1.00	184.18	-5.74	40	75	204.3	71.3	362	17.8	4.2	16.5	0.4606	5.1307	22.8	127.2	200.1	*	*
37	CRAB	9327.15	1.00	184.74	-6.26	41	87	145.2	66.4	295	9.9	3.2	11.9	1.2209	0.0000	30.7	143.3	200.1	*	*
38	CRAB	9328.15	0.94	185.07	-6.56	32	78	347.1	96.3	0	27.7	5.3	27.0	0.9009	2.0542	55.8	100.2	200.1	*	*
39	CRAB	9329.15	1.00	185.05	-6.78	54	88	132.8	61.2	271	10.4	3.2	10.9	0.9177	0.0000	66.7	109.3	200.1	*	*
40	CRAB	9330.15	0.94	184.78	-5.48	35	68	380.4	94.9	0	37.2	6.1	31.3	0.8682	0.0000	22.3	113.7	200.1	*	*

N	OBJEKT	JD	INT	GLON	GLAT	F68	F95	FLUSS	FEHL	OG	TS	SIGM	PHOT	GMULT	GBIAS	PDIF	FPDIF	MITT	C2KON	C2LIN
41	CRAB	9331.15	1.00	184.70	-6.03	38	66	218.9	71.2	373	22.2	4.7	19.7	0.2817	4.4623	17.2	114.8	200.1	*	*
42	CRAB	9332.15	0.96	185.34	-5.38	40	75	200.2	67.3	347	19.2	4.4	18.0	0.7558	0.9188	52.4	97.6	200.1	*	*
43	CRAB	9333.15	1.00	185.10	-6.39	39	65	262.6	74.4	0	28.1	5.3	23.9	1.0569	0.0000	48.8	81.2	200.1	*	*
44	CRAB	9334.11	0.92	185.18	-4.77	33	66	274.9	86.2	457	22.2	4.7	23.0	0.7414	2.5261	71.0	61.0	200.1	*	*
45	CRAB	9391.73	0.10	183.97	-6.99	50	97	142.4	93.6	374	7.2	2.7	4.6	0.4066	1.3245	80.7	113.3	196.9	0.856	0.956
46	CRAB	9393.32	0.68	184.88	-5.40	32	57	160.9	47.6	262	22.8	4.8	27.2	1.0456	0.2007	29.7	84.3	196.9	*	*
47	CRAB	9394.15	1.00	184.65	-5.78	26	42	231.4	44.4	0	54.7	7.4	59.8	1.1562	0.3471	5.3	78.7	196.9	*	*
48	CRAB	9395.15	1.00	184.74	-5.62	19	33	232.6	44.5	0	59.9	7.7	57.1	0.7651	1.8837	14.4	51.6	196.9	*	*
49	CRAB	9396.15	1.00	184.27	-5.88	32	50	215.6	44.9	0	46.4	6.8	52.9	0.8686	1.4608	18.3	81.7	196.9	*	*
50	CRAB	9397.15	0.98	184.58	-5.89	19	33	243.4	44.9	0	63.2	8.0	63.8	0.8702	2.7083	6.7	59.3	196.9	*	*
51	CRAB	9398.11	0.92	185.08	-5.98	32	57	157.5	43.3	0	26.3	5.1	30.1	0.8349	1.7787	33.3	80.7	196.9	*	*
52	CRAB	9399.14	1.00	184.61	-5.62	30	58	137.4	39.6	221	21.9	4.7	31.8	1.2862	0.0701	10.0	106.0	196.9	*	*
53	CRAB	9400.15	0.98	184.39	-5.78	26	43	223.7	45.0	0	52.5	7.2	53.1	0.9413	0.9780	10.1	75.9	196.9	*	*
54	CRAB	9574.46	0.96	184.88	-4.70	40	73	287.1	107.5	524	15.5	3.9	14.9	1.4349	0.0000	67.6	78.4	237.2	1.571	1.663
55	CRAB	9575.43	0.94	184.46	-6.08	30	57	452.9	122.4	*	35.2	5.9	24.0	0.9154	0.0000	19.0	95.0	237.2	*	*
56	CRAB	9576.43	1.00	184.69	-5.53	63	90	356.0	130.0	636	15.8	4.0	16.9	1.3579	0.0000	16.9	163.1	237.2	*	*
57	CRAB	9577.42	0.98	185.67	-6.11	25	74	209.0	94.5	423	11.7	3.4	11.5	1.4941	0.0000	69.1	78.9	237.2	*	*
58	CRAB	9578.44	1.00	184.71	-7.00	37	79	223.8	98.0	445	11.8	3.4	12.0	1.2925	0.0000	73.7	84.3	237.2	*	*
59	CRAB	9579.43	1.00	186.00	-5.41	0	0	95.2	80.8	288	2.2	1.5	5.4	0.1433	5.7593	88.8	91.2	237.2	*	*
60	CRAB	9580.45	0.98	183.92	-5.67	48	85	303.4	113.6	554	15.3	3.9	14.3	1.1357	0.0000	38.8	131.2	237.2	*	*
61	CRAB	9582.43	0.94	186.28	-5.00	61	100	205.0	93.1	409	10.0	3.2	11.7	0.9592	0.0000	112.9	87.1	237.2	*	*
62	CRAB	9583.44	1.00	184.68	-6.18	61	108	110.9	69.8	276	5.2	2.3	6.9	0.4597	5.6172	25.0	191.0	237.2	*	*
63	CRAB	9584.42	0.98	185.69	-4.67	52	93	167.1	82.0	352	9.1	3.0	9.8	0.9973	0.0824	94.8	91.2	237.2	*	*
64	CRAB	9585.44	1.00	184.69	-6.16	44	74	432.8	115.0	*	33.3	5.8	26.3	0.4220	4.6754	24.1	123.9	237.2	*	*
65	CRAB	9586.43	1.00	183.75	-6.29	39	60	493.5	125.0	*	37.3	6.1	29.1	0.7657	5.0648	57.2	62.8	237.2	*	*
66	CRAB	9587.44	0.98	184.18	-3.72	51	102	158.8	80.2	342	8.9	3.0	8.4	0.0000	6.2685	125.7	78.3	237.2	*	*
67	CRAB	9588.43	1.00	184.75	-6.12	64	96	347.1	110.0	579	18.3	4.3	23.4	1.2393	3.5647	23.3	168.7	237.2	*	*
68	CRAB	9589.43	0.94	184.63	-4.76	42	75	371.8	116.3	622	22.7	4.8	20.2	0.4466	6.6882	61.3	88.7	237.2	*	*
69	CRAB	9590.44	1.00	185.15	-5.51	54	101	137.8	72.1	305	7.2	2.7	8.9	0.9666	2.1875	38.8	163.2	237.2	*	*
70	CRAB	9591.42	0.98	184.30	-6.34	33	73	461.1	118.4	*	34.8	5.9	27.8	0.6325	3.1145	37.0	109.0	237.2	*	*
71	CRAB	9592.44	0.98	184.09	-5.53	65	102	205.5	90.7	406	10.1	3.2	12.3	1.1477	0.4026	31.8	172.2	237.2	*	*
72	CRAB	9593.25	0.64	183.51	-4.57	91	109	343.9	154.2	665	8.8	3.0	12.9	0.6908	3.2682	96.0	122.0	237.2	*	*
73	CRAB	9777.20	0.94	183.91	-5.57	47	71	254.4	59.6	0	37.9	6.2	35.5	0.6479	1.3036	40.8	101.2	233.9	1.142	1.312
74	CRAB	9778.20	1.00	184.49	-5.82	32	56	238.4	64.6	0	31.4	5.6	28.6	0.8551	0.0873	4.9	107.1	233.9	*	*
75	CRAB	9779.20	0.98	184.79	-5.11	32	51	320.2	80.2	0	36.5	6.0	32.0	0.7178	2.6497	42.5	59.5	233.9	*	*
76	CRAB	9780.20	1.00	185.66	-7.14	35	66	250.9	71.7	0	29.6	5.4	23.9	0.8715	0.0000	104.7	27.3	233.9	*	*
77	CRAB	9781.20	1.00	184.77	-5.52	54	97	123.4	54.4	245	9.8	3.1	12.5	0.7886	0.8472	20.0	174.0	233.9	*	*
78	CRAB	9782.20	1.00	184.33	-5.33	34	59	328.9	80.7	0	37.8	6.1	31.3	0.8410	0.0000	30.3	87.7	233.9	*	*
79	CRAB	9783.16	0.94	184.22	-5.49	40	83	229.9	68.2	374	22.9	4.8	24.2	0.8728	0.8710	26.7	139.3	233.9	*	*
80	CRAB	9812.13	0.96	183.85	-4.81	0	0	106.7	91.7	338	2.7	1.7	3.6	0.8502	0.0000	72.0	108.0	160.6	1.766	1.779

N	OBJEKT	JD	INT	GLON	GLAT	F68	F95	FLUSS	FEHL	OG	TS	SIGM	PHOT	GMULT	GBIAS	PDIF	FPDIF	MITT	C2KON	C2LIN
81	CRAB	9813.13	1.00	184.27	-6.48	66	98	307.6	122.8	588	13.8	3.7	11.5	1.0821	1.6823	45.4	150.6	160.6	*	*
82	CRAB	9814.12	0.96	185.06	-5.25	57	102	293.3	120.6	561	12.5	3.5	11.8	0.6486	2.8606	43.6	160.4	160.6	*	*
83	CRAB	9815.13	1.00	185.20	-6.16	20	50	425.9	115.0	*	40.8	6.4	20.2	0.0000	3.4156	44.5	55.5	160.6	*	*
84	CRAB	9816.12	0.98	184.17	-6.78	0	0	92.0	72.0	274	3.3	1.8	3.8	0.4070	5.2346	64.3	115.7	160.6	*	*
85	CRAB	9817.14	1.00	185.35	-4.85	43	102	123.5	79.2	322	6.2	2.5	4.8	0.6387	0.1335	73.1	130.9	160.6	*	*
86	CRAB	9818.53	0.92	183.73	-5.18	0	0	73.9	80.6	287	1.6	1.3	2.6	0.7683	2.2519	61.3	118.7	160.6	*	*
87	CRAB	9861.17	0.98	184.89	-6.58	31	67	237.5	89.3	437	16.2	4.0	15.0	1.1185	1.7970	51.9	82.1	211.0	1.711	1.599
88	CRAB	9862.17	1.00	184.06	-5.74	35	63	248.3	85.8	443	20.4	4.5	13.9	0.7554	1.4073	30.0	96.0	211.0	*	*
89	CRAB	9863.17	0.94	185.42	-5.90	51	96	185.0	84.0	376	9.5	3.1	11.5	1.4412	0.0620	51.8	140.2	211.0	*	*
90	CRAB	9864.13	0.92	185.30	-5.14	41	84	283.8	114.4	532	13.8	3.7	13.0	0.4772	3.7103	58.5	109.5	211.0	*	*
91	CRAB	9865.17	0.94	183.98	-5.32	52	89	219.1	104.0	456	9.5	3.1	11.0	1.5096	0.0000	44.3	133.7	211.0	*	*
92	CRAB	9866.16	0.98	184.53	-7.22	35	59	220.9	78.4	399	21.2	4.6	14.4	0.8753	0.5039	86.4	31.6	211.0	*	*
93	CRAB	9867.16	0.98	184.05	-6.16	32	74	286.1	97.9	501	19.5	4.4	17.4	1.0948	1.6222	38.0	110.0	211.0	*	*
94	CRAB	9868.17	0.98	185.27	-5.49	42	66	382.5	104.6	*	33.0	5.7	23.0	0.5859	1.7228	45.8	86.2	211.0	*	*
95	CRAB	9869.17	0.98	184.17	-5.88	36	65	413.0	113.5	*	30.1	5.5	25.3	1.3434	0.0000	24.1	105.9	211.0	*	*
96	CRAB	9870.18	0.98	185.00	-7.98	67	108	124.2	72.2	293	5.9	2.4	8.3	1.2991	0.0000	134.6	81.4	211.0	*	*
97	CRAB	9871.16	1.00	184.03	-5.35	49	103	196.7	91.2	403	9.5	3.1	11.3	1.0956	0.0000	40.8	165.2	211.0	*	*
98	CRAB	9872.15	0.98	184.01	-5.53	33	61	429.3	120.3	*	30.6	5.5	23.6	0.9619	0.8906	36.1	85.9	211.0	*	*
99	CRAB	9873.17	1.00	184.46	-6.06	42	73	292.7	94.0	499	23.9	4.9	17.1	0.3174	2.7562	17.8	128.2	211.0	*	*
100	CRAB	9874.09	0.86	185.22	-6.21	0	0	46.9	53.3	190	1.6	1.3	2.6	0.7005	1.3941	47.1	132.9	211.0	*	*
101	CRAB	9938.15	0.90	186.28	-6.34	0	0	83.2	70.8	254	2.4	1.5	4.6	0.6218	5.3517	108.0	72.0	195.0	1.284	1.314
102	CRAB	9939.10	0.98	184.26	-5.50	67	96	222.4	98.3	440	9.7	3.1	12.7	1.5373	0.0000	24.6	167.4	195.0	*	*
103	CRAB	9940.13	0.98	184.99	-5.48	51	108	108.9	69.9	277	4.7	2.2	6.3	1.2892	0.0000	31.3	184.7	195.0	*	*
104	CRAB	9941.11	1.00	185.67	-5.17	46	77	351.5	101.5	*	27.0	5.2	22.1	0.2446	3.8838	75.7	78.3	195.0	*	*
105	CRAB	9942.13	0.92	184.90	-5.82	44	76	208.6	86.6	401	14.1	3.8	12.5	0.7683	1.4990	20.5	131.5	195.0	*	*
106	CRAB	9943.11	0.98	185.19	-4.96	39	73	294.5	93.8	496	23.2	4.8	17.8	0.6315	0.0000	61.9	84.1	195.0	*	*
107	CRAB	9944.11	0.98	185.42	-4.71	33	71	413.7	119.9	*	26.9	5.2	23.7	0.3813	4.1814	82.2	59.8	195.0	*	*
108	CRAB	9945.12	1.00	183.49	-6.51	38	82	187.9	76.1	361	14.3	3.8	11.8	0.6411	1.5123	77.4	86.6	195.0	*	*
109	CRAB	9946.11	1.00	184.24	-5.82	52	88	201.1	84.0	385	12.8	3.6	13.8	0.7400	2.5669	19.2	156.8	195.0	*	*
110	CRAB	9947.12	0.98	185.68	-6.73	0	0	73.5	60.0	218	2.8	1.7	4.9	0.9943	0.6733	87.8	92.2	195.0	*	*
111	CRAB	9948.11	1.00	184.01	-4.99	62	89	265.1	89.4	456	18.7	4.3	18.4	0.4080	3.3155	57.7	120.3	195.0	*	*
112	CRAB	9949.10	0.96	184.92	-5.85	53	87	231.8	82.1	413	16.4	4.0	16.1	1.1947	0.0000	21.9	152.1	195.0	*	*
113	CRAB	9950.11	1.00	184.76	-5.45	31	60	220.7	78.4	393	18.9	4.4	16.4	0.4568	3.1102	23.1	96.9	195.0	*	*
114	CRAB	9951.07	0.92	184.96	-7.14	32	72	272.0	91.0	469	20.4	4.5	17.6	0.8046	1.4060	85.0	59.0	195.0	*	*
115	CRAB	10008.11	0.90	184.00	-6.63	55	97	296.4	88.6	480	21.0	4.6	26.0	1.4974	0.0000	61.0	133.0	234.9	0.864	0.889
116	CRAB	10009.05	0.98	185.31	-5.91	20	38	280.5	76.1	*	34.8	5.9	24.2	1.0116	0.0000	45.4	30.6	234.9	*	*
117	CRAB	10010.07	0.98	184.36	-6.45	42	80	155.4	59.1	283	13.6	3.7	16.1	1.0074	0.5568	41.9	118.1	234.9	*	*
118	CRAB	10011.06	0.98	184.91	-5.63	34	60	304.6	78.1	*	34.4	5.9	29.6	0.3604	4.3975	22.8	97.2	234.9	*	*
119	CRAB	10012.08	0.98	184.79	-5.78	33	58	262.1	72.4	*	28.1	5.3	26.6	0.6925	3.2160	13.7	102.3	234.9	*	*
120	CRAB	10013.06	1.00	184.78	-5.75	16	32	365.4	83.1	*	46.4	6.8	36.6	1.1892	1.9348	13.3	50.7	234.9	*	*

N	OBJEKT	JD	INT	GLON	GLAT	F68	F95	FLUSS	FEHL	OG	TS	SIGM	PHOT	GMULT	GBIAS	PDIF	FPDIF	MITT	C2KON	C2LIN
121	CRAB	10014.06	0.94	183.81	-5.16	55	103	167.5	74.1	326	9.7	3.1	14.4	1.1627	0.0000	58.2	147.8	234.9	*	*
122	CRAB	10015.06	1.00	185.46	-6.34	24	43	259.2	66.6	*	34.9	5.9	28.3	1.3252	0.3912	63.3	22.7	234.9	*	*
123	CRAB	10017.06	0.98	184.47	-5.37	38	73	212.8	73.0	367	16.5	4.1	21.1	1.4368	0.4285	25.2	120.8	234.9	*	*
124	CRAB	10018.05	0.98	184.63	-6.41	26	47	285.5	75.6	*	32.9	5.7	28.7	1.1982	0.9994	38.0	56.0	234.9	*	*
125	CRAB	10019.07	0.98	184.01	-6.01	47	90	146.4	61.7	282	10.7	3.3	14.7	1.4433	0.0000	35.6	144.4	234.9	*	*
126	CRAB	10020.06	1.00	185.52	-6.00	70	95	192.9	64.1	327	16.0	4.0	21.3	0.3870	5.9025	58.8	131.2	234.9	*	*
127	CRAB	10021.08	1.00	185.00	-6.00	42	79	280.8	80.1	444	24.6	5.0	29.0	1.2669	0.1270	29.4	128.6	234.9	*	*
128	CRAB	10295.19	0.86	185.02	-6.08	27	56	164.7	56.1	287	21.5	4.6	16.7	0.3589	3.4325	32.8	79.2	195.2	0.298	0.283
129	CRAB	10296.11	0.98	184.46	-5.76	25	50	149.2	53.1	265	18.4	4.3	17.1	0.7521	0.0000	6.1	93.9	195.2	*	*
130	CRAB	10297.10	0.92	185.03	-5.31	29	51	216.0	63.8	*	25.3	5.0	24.7	1.0256	0.0000	39.8	62.2	195.2	*	*
131	CRAB	10298.11	1.00	185.19	-5.80	45	74	172.2	56.8	294	19.2	4.4	19.5	0.8654	0.0000	37.6	110.4	195.2	*	*
132	CRAB	10299.11	0.92	182.30	-6.88	52	78	152.5	58.7	282	14.1	3.7	14.2	0.8941	0.0000	103.1	52.9	195.2	*	*
133	CRAB	10300.11	1.00	184.68	-5.19	27	47	259.8	65.3	*	37.6	6.1	28.5	0.1364	5.2522	36.1	57.9	195.2	*	*
134	CRAB	10301.12	0.92	184.75	-5.63	22	40	213.2	63.0	*	28.9	5.4	21.9	0.3272	4.0471	14.5	65.5	195.2	*	*
135	CRAB	10302.12	0.98	184.80	-6.14	32	58	245.9	66.0	*	31.6	5.6	27.1	0.7460	0.3482	25.9	90.1	195.2	*	*
136	CRAB	10303.12	0.92	184.69	-5.68	20	37	206.3	61.7	*	28.5	5.3	21.4	0.8739	0.0000	9.9	64.1	195.2	*	*
137	CRAB	10304.12	0.98	184.28	-6.17	29	71	201.5	62.7	333	22.1	4.7	22.1	0.0000	6.4341	28.8	113.2	195.2	*	*
138	CRAB	10305.11	0.98	184.21	-5.40	19	40	218.7	58.0	*	37.2	6.1	24.4	0.6038	0.2510	30.9	49.1	195.2	*	*
139	CRAB	10306.11	0.92	184.44	-6.13	27	47	210.5	59.3	*	32.4	5.7	22.3	0.7901	0.0000	22.2	71.8	195.2	*	*
140	CRAB	10307.12	0.98	184.55	-5.47	45	76	177.9	57.0	300	19.0	4.4	21.0	0.5549	3.4152	18.6	133.4	195.2	*	*
141	CRAB	10308.09	0.88	183.33	-6.25	26	56	189.4	60.7	319	23.5	4.8	19.6	0.7844	0.1801	78.6	33.4	195.2	*	*
142	CRAB	10309.12	0.96	184.53	-5.78	24	42	262.0	72.5	*	32.6	5.7	24.4	0.6207	1.6583	1.7	82.3	247.4	1.365	0.985
143	CRAB	10310.10	1.00	184.34	-6.26	32	58	204.9	61.3	*	27.8	5.3	18.8	0.4359	2.4882	31.7	84.3	247.4	*	*
144	CRAB	10311.10	0.92	184.70	-5.50	34	60	189.7	59.6	318	22.5	4.7	20.2	0.1059	6.3873	18.8	101.2	247.4	*	*
145	CRAB	10312.10	1.00	185.59	-5.36	43	76	170.1	54.8	286	19.2	4.4	21.7	0.5989	2.4094	66.5	85.5	247.4	*	*
146	CRAB	10313.10	0.92	184.84	-5.76	19	33	330.6	72.4	*	52.9	7.3	36.3	0.6539	1.2487	16.7	49.3	247.4	*	*
147	CRAB	10314.10	1.00	184.60	-6.58	16	48	342.7	73.8	*	50.8	7.1	38.1	0.8575	0.5584	48.1	47.9	247.4	*	*
148	CRAB	10315.09	0.98	184.54	-6.02	14	54	349.9	77.4	*	45.2	6.7	38.0	0.6093	2.7199	14.4	93.6	247.4	*	*
149	CRAB	10316.15	0.90	183.97	-5.61	59	97	93.3	44.3	192	8.4	2.9	11.0	0.8997	0.0000	36.7	157.3	174.0	1.035	0.475
150	CRAB	10317.15	1.00	183.82	-5.98	27	53	198.0	58.1	*	25.4	5.0	23.9	0.3877	4.6477	45.8	60.2	174.0	*	*
151	CRAB	10318.17	0.98	183.80	-5.82	45	74	158.8	53.9	275	18.0	4.2	19.5	0.8405	0.0000	45.4	102.6	174.0	*	*
152	CRAB	10319.15	0.98	183.09	-5.49	38	71	175.3	53.6	289	21.2	4.6	23.2	0.6052	2.4638	89.5	52.5	174.0	*	*
153	CRAB	10320.15	0.94	184.72	-5.97	22	42	240.4	60.5	*	40.2	6.3	27.7	0.6462	0.0000	14.9	69.1	174.0	*	*
154	CRAB	10321.15	1.00	184.62	-5.55	34	59	181.7	53.2	*	26.3	5.1	24.1	0.7109	0.6658	14.3	103.7	174.0	*	*
155	CRAB	10322.11	0.90	184.48	-5.42	47	76	252.9	66.3	*	31.1	5.6	30.6	0.8225	0.0000	22.1	129.9	174.0	*	*

N	OBJEKT	JD	INT	GLON	GLAT	F68	F95	FLUSS	FEHL	OG	TS	SIGM	PHOT	GMULT	GBIAS	PDIF	FPDIF	MITT	C2KON	C2LIN
1	GEMINGA	8369.38	1.00	195.01	3.80	16	32	232.4	51.5	0	51.4	7.2	38.2	0.6807	2.5218	29.1	34.9	358.5	2.961	1.265
2	GEMINGA	8370.38	1.00	195.07	4.49	7	22	300.1	43.5	0	131.	11.5	78.5	0.9309	1.4114	13.7	30.3	358.5	*	*
3	GEMINGA	8371.38	1.00	194.99	4.38	7	19	358.2	47.0	0	169.	13.0	95.1	1.0973	0.5195	10.6	27.4	358.5	*	*
4	GEMINGA	8372.38	1.00	194.91	3.96	7	14	472.6	53.2	0	235.	15.3	123.8	0.7785	1.3341	22.8	5.2	358.5	*	*
5	GEMINGA	8373.37	0.98	195.48	4.28	13	18	433.7	51.6	0	202.	14.2	112.7	0.9730	1.6423	20.9	15.1	358.5	*	*
6	GEMINGA	8374.26	0.76	194.98	4.28	10	24	387.2	53.9	0	150.	12.3	84.0	0.9651	1.6262	9.0	39.0	358.5	*	*
7	GEMINGA	8393.22	1.00	195.29	4.37	13	20	222.1	38.5	0	80.1	9.0	65.1	0.4372	3.8450	11.3	28.7	325.7	1.432	1.251
8	GEMINGA	8394.22	1.00	195.44	4.01	11	19	322.9	46.2	0	134.	11.6	84.3	0.8202	2.4315	24.3	13.7	325.7	*	*
9	GEMINGA	8395.22	1.00	195.21	4.03	7	20	307.5	42.3	0	147.	12.1	89.2	0.8211	1.5697	15.2	24.8	325.7	*	*
10	GEMINGA	8396.21	0.98	195.15	4.25	13	18	296.3	42.1	0	142.	11.9	84.1	0.9886	1.7484	1.7	34.3	325.7	*	*
11	GEMINGA	8396.99	0.54	195.14	4.14	7	23	446.7	70.0	0	114.	10.7	66.1	1.0716	1.7202	7.8	38.2	325.7	*	*
12	GEMINGA	8398.34	0.70	194.97	4.14	14	26	318.7	48.7	0	120.	11.0	68.7	0.9465	1.2271	12.3	39.7	325.7	*	*
13	GEMINGA	8399.22	1.00	194.95	4.35	10	16	404.5	48.5	0	206.	14.4	110.7	0.8656	1.7144	11.8	20.2	325.7	*	*
14	GEMINGA	8400.22	1.00	194.97	4.37	10	20	319.4	45.6	0	132.	11.5	87.2	0.9164	1.0892	11.3	28.7	325.7	*	*
15	GEMINGA	8401.21	0.92	195.50	4.13	13	22	320.6	46.2	0	130.	11.4	82.2	0.8482	1.7998	23.7	20.3	325.7	*	*
16	GEMINGA	8402.22	1.00	195.06	4.28	7	14	371.9	47.3	0	188.	13.7	98.8	0.7845	2.2983	4.1	23.9	325.7	*	*
17	GEMINGA	8403.24	0.94	195.03	4.51	13	22	329.1	47.8	0	134.	11.6	80.9	1.0757	1.4722	15.6	28.4	325.7	*	*
18	GEMINGA	8404.22	1.00	195.43	4.20	13	19	428.2	53.1	0	190.	13.8	104.7	1.0064	1.7843	18.5	19.5	325.7	*	*
19	GEMINGA	8405.22	1.00	195.11	4.46	10	23	330.7	49.3	0	119.	10.9	79.4	1.1593	1.7193	11.4	34.6	325.7	*	*
20	GEMINGA	8406.24	1.00	195.11	4.35	10	19	299.4	46.5	0	119.	10.9	71.2	0.9317	1.4095	4.9	33.1	325.7	*	*
21	GEMINGA	8415.56	1.00	195.19	4.22	10	22	292.3	48.2	0	99.0	9.9	63.9	0.8117	2.7991	4.7	39.3	385.3	1.875	1.787
22	GEMINGA	8416.57	0.94	195.30	4.13	16	27	320.6	53.4	0	90.8	9.5	65.7	1.0068	1.6599	13.2	40.8	385.3	*	*
23	GEMINGA	8417.56	1.00	195.19	4.16	7	19	472.6	56.1	0	223.	14.9	109.0	1.0740	1.2602	7.5	30.5	385.3	*	*
24	GEMINGA	8418.57	0.98	195.02	4.57	10	19	430.0	59.4	0	164.	12.8	82.6	1.3249	0.8006	19.2	18.8	385.3	*	*
25	GEMINGA	8419.56	1.00	195.11	4.41	12	21	455.1	56.6	0	172.	13.1	110.1	1.0589	2.2172	8.5	33.5	385.3	*	*
26	GEMINGA	8420.55	0.98	195.13	4.38	12	20	433.6	56.8	0	163.	12.8	97.4	1.1977	2.8284	6.6	33.4	385.3	*	*
27	GEMINGA	8421.56	0.98	195.38	4.14	10	20	328.1	63.0	0	83.6	9.1	43.7	0.5999	3.9038	16.9	23.1	385.3	*	*
28	GEMINGA	9070.30	0.96	195.21	4.36	16	23	561.9	113.6	*	83.4	9.1	35.5	1.0351	1.6039	7.2	38.8	425.2	0.702	0.651
29	GEMINGA	9071.27	0.98	195.12	4.10	14	23	492.7	107.4	*	69.5	8.3	33.4	1.0958	1.3734	10.2	35.8	425.2	*	*
30	GEMINGA	9072.28	0.98	195.38	3.67	22	43	338.8	101.4	*	31.8	5.6	19.1	0.7765	3.0297	39.0	47.0	425.2	*	*
31	GEMINGA	9073.29	0.96	195.12	4.66	31	55	350.6	106.5	*	32.0	5.7	17.5	0.7099	0.9451	23.4	86.6	425.2	*	*
32	GEMINGA	9074.27	0.96	195.38	4.01	29	50	373.7	103.4	*	39.5	6.3	20.3	1.0099	0.0000	21.6	78.4	425.2	*	*
33	GEMINGA	9075.15	0.74	195.26	4.29	25	56	486.0	134.6	*	37.8	6.1	19.2	0.5750	0.6968	7.9	104.1	425.2	*	*
34	GEMINGA	9323.17	0.94	195.23	4.28	13	19	310.9	63.1	0	83.3	9.1	37.1	0.8465	1.3160	5.9	32.1	329.3	1.159	1.267
35	GEMINGA	9324.16	0.98	194.94	4.44	16	32	375.8	72.6	0	76.1	8.7	44.6	0.7863	2.7759	15.2	48.8	329.3	*	*
36	GEMINGA	9325.15	1.00	195.35	4.02	10	20	478.9	69.5	0	165.	12.9	66.2	0.5967	0.9493	20.0	20.0	329.3	*	*
37	GEMINGA	9326.15	1.00	195.05	4.09	7	32	274.6	59.6	0	60.0	7.7	35.7	0.6962	1.7853	11.8	52.2	329.3	*	*
38	GEMINGA	9327.15	1.00	195.34	4.26	10	20	324.0	60.1	0	89.1	9.4	45.4	1.1515	0.6260	12.6	27.4	329.3	*	*
39	GEMINGA	9328.15	0.94	195.21	4.31	18	28	305.0	63.1	0	64.8	8.0	39.6	1.0889	1.3675	5.3	50.7	329.3	*	*
40	GEMINGA	9329.15	1.00	195.30	4.55	31	43	292.1	61.0	0	60.5	7.8	40.6	0.8420	1.1808	19.6	66.4	329.3	*	*

N	OBJEKT	JD	INT	GLON	GLAT	F68	F95	FLUSS	FEHL	OG	TS	SIGM	PHOT	GMULT	GBIAS	PDIF	FPDIF	MITT	C2KON	C2LIN
41	GEMINGA	9330.15	0.94	195.00	4.45	18	32	274.1	57.5	0	63.7	8.0	36.8	0.6785	1.7262	13.3	50.7	329.3	*	*
42	GEMINGA	9331.15	1.00	195.31	4.01	13	24	398.9	64.2	0	124.	11.2	58.6	0.5111	1.9068	19.0	29.0	329.3	*	*
43	GEMINGA	9332.15	0.96	194.84	4.10	16	35	250.7	56.0	0	55.2	7.4	34.4	0.6344	1.8812	20.1	49.9	329.3	*	*
44	GEMINGA	9333.15	1.00	195.00	3.60	16	28	430.8	68.7	0	110.	10.5	63.2	0.8114	2.2079	40.9	15.1	329.3	*	*
45	GEMINGA	9334.11	0.92	194.72	4.51	19	32	334.1	66.4	0	70.4	8.4	42.6	0.9065	0.3129	28.5	35.5	329.3	*	*
46	GEMINGA	9391.73	0.10	195.00	4.22	61	107	208.7	124.1	526	7.8	2.8	4.6	0.3637	2.1399	8.3	205.7	382.7	1.221	1.384
47	GEMINGA	9393.32	0.68	195.30	4.24	14	24	407.2	76.5	0	90.1	9.5	43.5	0.8950	1.5530	10.3	37.7	382.7	*	*
48	GEMINGA	9394.15	1.00	194.90	4.57	14	24	427.6	63.1	0	143.	12.0	71.5	1.1016	0.0000	22.7	25.3	382.7	*	*
49	GEMINGA	9395.15	1.00	195.10	4.42	13	20	491.5	70.2	0	148.	12.2	76.9	0.9664	0.7030	9.2	30.8	382.7	*	*
50	GEMINGA	9396.15	1.00	194.97	4.36	14	24	295.4	55.4	0	80.5	9.0	47.3	0.9418	0.2955	11.0	37.0	382.7	*	*
51	GEMINGA	9397.15	0.98	195.13	4.52	10	23	447.2	64.8	0	142.	11.9	72.1	1.1069	0.6339	15.0	31.0	382.7	*	*
52	GEMINGA	9398.11	0.92	195.20	4.29	7	20	333.7	64.2	0	91.4	9.6	39.8	0.8568	1.3095	4.4	35.6	382.7	*	*
53	GEMINGA	9399.14	1.00	195.00	4.21	7	22	421.8	67.1	0	122.	11.1	62.2	1.0910	1.5009	8.6	35.4	382.7	*	*
54	GEMINGA	9400.15	0.98	195.29	4.28	14	26	343.7	62.3	0	89.0	9.4	49.8	0.9073	0.6028	9.6	42.4	382.7	*	*
55	GEMINGA	9574.46	0.96	195.33	4.17	16	27	719.9	136.4	*	93.1	9.6	41.6	1.3281	0.0000	13.4	40.6	418.5	1.744	1.453
56	GEMINGA	9575.43	0.94	194.79	4.52	13	33	486.4	114.2	*	57.9	7.6	27.2	0.7192	1.8555	25.3	40.7	418.5	*	*
57	GEMINGA	9576.43	1.00	194.93	4.33	36	57	617.1	130.9	*	62.5	7.9	33.3	1.1636	0.4995	12.5	101.5	418.5	*	*
58	GEMINGA	9577.42	0.98	194.99	4.50	14	29	585.5	130.2	*	61.8	7.9	32.5	1.3396	1.0087	16.1	41.9	418.5	*	*
59	GEMINGA	9578.44	1.00	194.67	4.87	25	49	406.4	106.6	*	40.2	6.3	23.1	1.1868	1.8378	45.3	52.7	418.5	*	*
60	GEMINGA	9580.45	0.98	195.02	4.04	18	31	426.5	109.1	*	48.9	7.0	24.6	1.1055	0.3230	15.3	46.7	418.5	*	*
61	GEMINGA	9581.43	1.00	195.67	3.60	24	36	383.7	89.2	*	62.0	7.9	26.4	0.6252	2.1737	51.6	20.4	418.5	*	*
62	GEMINGA	9582.43	0.94	195.04	3.95	18	30	556.2	121.9	*	68.2	8.3	32.7	0.6669	4.7841	19.9	40.1	418.5	*	*
63	GEMINGA	9583.44	1.00	195.02	4.26	14	31	384.9	95.8	*	47.8	6.9	26.2	1.2033	0.8758	6.6	55.4	418.5	*	*
64	GEMINGA	9584.42	0.98	194.61	3.84	23	38	390.4	100.3	*	45.7	6.8	25.1	0.8847	2.5422	40.4	35.6	418.5	*	*
65	GEMINGA	9585.44	1.00	195.14	4.27	7	23	481.4	103.4	*	67.0	8.2	32.7	0.8891	0.6930	1.2	44.8	418.5	*	*
66	GEMINGA	9587.44	0.98	195.06	4.16	18	27	307.8	87.3	*	40.9	6.4	19.6	0.5745	3.7788	7.8	46.2	418.5	*	*
67	GEMINGA	9589.43	0.94	194.86	2.91	29	61	380.0	100.2	*	35.8	6.0	26.2	0.7364	3.0064	83.2	38.8	418.5	*	*
68	GEMINGA	9590.44	1.00	195.22	4.31	22	50	181.1	68.4	338	19.1	4.4	13.3	0.9168	2.6355	5.9	94.1	418.5	*	*
69	GEMINGA	9591.42	0.98	195.42	4.04	13	25	546.6	107.7	*	87.2	9.3	38.3	0.7672	2.2431	22.2	27.8	418.5	*	*
70	GEMINGA	9592.44	0.98	194.78	4.14	20	32	442.7	100.4	*	63.0	7.9	30.4	1.1050	0.0095	22.3	41.7	418.5	*	*
71	GEMINGA	9593.25	0.64	195.93	4.52	23	49	578.1	133.6	*	57.2	7.6	27.8	0.5856	2.0754	50.1	47.9	418.5	*	*
72	GEMINGA	9777.20	0.94	194.91	4.40	18	38	324.9	66.3	0	74.2	8.6	36.8	0.6200	0.6724	15.3	60.7	316.2	0.573	0.564
73	GEMINGA	9778.20	1.00	194.97	4.03	16	27	361.0	72.5	0	82.5	9.1	36.1	0.7716	0.0000	17.3	36.7	316.2	*	*
74	GEMINGA	9779.20	0.98	195.72	4.29	19	35	349.6	80.8	0	59.6	7.7	27.5	0.6288	2.0527	35.3	34.7	316.2	*	*
75	GEMINGA	9780.20	1.00	194.97	4.35	26	62	255.4	75.6	0	29.0	5.4	20.5	1.0380	0.0000	10.7	113.3	316.2	*	*
76	GEMINGA	9781.20	1.00	195.44	4.58	14	32	420.1	90.3	0	69.2	8.3	33.3	0.7377	1.6883	26.2	37.8	316.2	*	*
77	GEMINGA	9782.20	1.00	193.78	4.02	35	57	258.0	73.4	0	33.2	5.8	20.6	0.8193	0.0000	82.2	31.8	316.2	*	*
78	GEMINGA	9783.16	0.94	195.69	4.53	14	35	277.5	74.5	0	40.6	6.4	22.2	0.9579	0.5806	36.9	33.1	316.2	*	*
79	GEMINGA	9812.13	0.96	195.12	5.29	51	91	348.2	142.7	675	15.8	4.0	11.4	0.8842	0.0000	61.2	120.8	392.5	1.087	1.304
80	GEMINGA	9813.13	1.00	195.07	4.62	38	62	438.1	141.8	*	28.0	5.3	14.9	0.9574	2.2080	21.3	102.7	392.5	*	*

N	OBJEKT	JD	INT	GLON	GLAT	F68	F95	FLUSS	FEHL	OG	TS	SIGM	PHOT	GMULT	GBIAS	PDIF	FPDIF	MITT	C2KON	C2LIN
81	GEMINGA	9814.12	0.96	194.70	4.04	27	46	618.9	159.8	*	49.5	7.0	21.9	0.6912	1.7477	29.2	62.8	392.5	*	*
82	GEMINGA	9815.13	1.00	194.20	4.28	31	53	239.6	94.6	464	23.1	4.8	9.1	0.0000	4.3661	55.6	50.4	392.5	*	*
83	GEMINGA	9816.12	0.98	194.52	3.76	32	54	484.8	138.7	*	37.2	6.1	18.4	0.5876	3.3372	47.6	60.4	392.5	*	*
84	GEMINGA	9817.14	1.00	194.20	3.81	26	53	554.4	155.6	*	38.6	6.2	19.6	0.2695	4.0202	62.1	43.9	392.5	*	*
85	GEMINGA	9818.53	0.92	194.98	4.04	26	51	340.1	125.2	*	25.1	5.0	11.9	0.8005	2.6620	16.4	85.6	392.5	*	*
86	GEMINGA	9861.17	0.98	194.87	4.49	20	46	386.4	113.7	*	33.6	5.8	18.6	1.3139	0.0000	20.4	71.6	275.5	0.918	0.948
87	GEMINGA	9862.17	1.00	195.54	5.08	27	53	245.0	97.9	467	18.0	4.2	11.3	0.7592	3.0043	54.4	51.6	275.5	*	*
88	GEMINGA	9863.17	0.94	194.11	2.91	35	68	324.8	103.6	553	23.8	4.9	18.1	1.1149	1.1345	101.9	34.1	275.5	*	*
89	GEMINGA	9864.13	0.92	194.63	4.05	28	56	297.8	110.4	551	21.1	4.6	11.5	0.5185	5.4723	32.7	79.3	275.5	*	*
90	GEMINGA	9865.17	0.94	195.30	4.15	18	34	590.2	142.3	*	57.5	7.6	24.9	1.3247	0.0000	12.4	55.6	275.5	*	*
91	GEMINGA	9866.16	0.98	195.00	4.50	32	68	176.9	80.4	368	13.8	3.7	8.2	0.7153	1.6181	15.8	120.2	275.5	*	*
92	GEMINGA	9867.16	0.98	195.02	4.34	19	35	341.4	101.3	*	40.4	6.4	16.5	1.1283	0.0000	7.8	62.2	275.5	*	*
93	GEMINGA	9868.17	0.98	195.37	4.15	24	59	163.5	77.4	347	13.0	3.6	8.1	0.4087	4.3835	16.1	101.9	275.5	*	*
94	GEMINGA	9869.17	0.98	195.48	3.89	20	43	405.6	116.6	*	34.6	5.9	20.8	1.2951	0.5196	31.0	55.0	275.5	*	*
95	GEMINGA	9870.18	0.98	195.04	4.22	26	68	251.3	98.9	478	19.8	4.5	11.6	1.1666	0.0000	6.2	129.8	275.5	*	*
96	GEMINGA	9871.16	1.00	194.83	4.45	29	55	231.9	86.0	432	23.7	4.9	11.0	1.0099	0.0000	21.0	89.0	275.5	*	*
97	GEMINGA	9872.15	0.98	195.01	5.03	34	89	246.2	106.2	487	14.8	3.9	10.1	0.9750	0.0000	46.2	131.8	275.5	*	*
98	GEMINGA	9873.17	1.00	194.82	4.43	44	68	270.2	94.1	*	25.1	5.0	12.7	0.2676	2.7331	20.9	115.1	275.5	*	*
99	GEMINGA	9874.09	0.86	194.93	4.96	28	56	304.0	114.2	561	22.9	4.8	12.0	0.9709	0.0000	43.1	68.9	275.5	*	*
100	GEMINGA	9938.15	0.90	195.19	4.16	20	38	337.7	118.1	*	30.6	5.5	11.8	1.0002	1.4717	7.5	68.5	343.1	1.505	1.150
101	GEMINGA	9939.10	0.98	194.95	3.66	42	70	340.9	124.8	626	21.0	4.6	12.9	1.1975	2.5811	38.1	101.9	343.1	*	*
102	GEMINGA	9940.13	0.98	195.30	4.64	20	42	443.7	133.5	*	37.3	6.1	16.9	1.0637	0.4919	24.4	59.6	343.1	*	*
103	GEMINGA	9941.11	1.00	194.92	4.19	16	32	542.3	137.2	*	49.5	7.0	22.9	0.2790	5.2485	13.4	50.6	343.1	*	*
104	GEMINGA	9942.13	0.92	195.02	4.33	32	52	483.1	127.1	*	52.2	7.2	19.5	0.6708	0.4084	7.5	96.5	343.1	*	*
105	GEMINGA	9943.11	0.98	194.62	4.55	30	58	403.5	123.4	*	30.9	5.6	17.3	0.4277	2.6012	34.8	81.2	343.1	*	*
106	GEMINGA	9944.11	0.98	195.18	4.29	18	32	439.0	127.6	*	43.9	6.6	17.5	0.3194	5.2846	3.1	60.9	343.1	*	*
107	GEMINGA	9946.11	1.00	194.91	3.70	28	43	433.2	116.7	*	44.1	6.6	20.9	0.8694	0.5192	36.6	49.4	343.1	*	*
108	GEMINGA	9947.12	0.98	195.16	4.48	22	45	354.5	113.0	*	29.9	5.5	16.4	0.6777	2.6501	12.7	77.3	343.1	*	*
109	GEMINGA	9948.11	1.00	194.99	4.27	13	24	619.6	133.5	*	86.5	9.3	29.2	0.4813	1.9650	8.4	39.6	343.1	*	*
110	GEMINGA	9949.10	0.96	194.01	4.98	40	85	198.5	88.0	400	13.2	3.6	9.8	1.0906	1.3962	79.4	90.6	343.1	*	*
111	GEMINGA	9950.11	1.00	194.30	4.22	19	43	177.9	71.6	347	20.8	4.6	9.4	0.7390	0.0000	49.8	36.2	343.1	*	*
112	GEMINGA	9951.07	0.92	195.50	4.51	25	55	273.3	104.8	515	20.7	4.6	11.6	0.9016	0.2907	26.4	83.6	343.1	*	*
113	GEMINGA	10008.11	0.90	194.98	4.17	19	37	498.6	153.2	*	34.9	5.9	15.8	1.2740	0.0000	10.8	63.2	397.2	0.836	0.784
114	GEMINGA	10009.05	0.98	194.69	4.05	23	45	210.3	97.4	450	14.8	3.8	7.1	1.0309	0.0000	29.5	60.5	397.2	*	*
115	GEMINGA	10010.07	0.98	195.51	4.40	24	49	411.5	128.7	*	33.3	5.8	15.9	0.7564	2.5477	24.0	74.0	397.2	*	*
116	GEMINGA	10011.06	0.98	195.29	4.92	22	38	531.0	147.5	*	44.2	6.6	17.5	0.5359	2.6220	40.2	35.8	397.2	*	*
117	GEMINGA	10012.08	0.98	194.84	4.21	35	60	511.1	143.8	*	36.1	6.0	19.3	1.0054	1.2044	17.7	102.3	397.2	*	*
118	GEMINGA	10013.06	1.00	195.03	4.85	31	67	234.9	111.3	496	12.4	3.5	7.9	0.9000	4.0825	35.3	98.7	397.2	*	*
119	GEMINGA	10014.06	0.94	195.28	3.82	22	40	397.3	129.5	*	31.9	5.7	15.1	1.0678	0.9192	28.4	51.6	397.2	*	*
120	GEMINGA	10015.06	1.00	194.75	4.85	26	57	470.7	149.7	*	31.1	5.6	15.4	1.3057	0.0000	41.6	72.4	397.2	*	*

N	OBJEKT	JD	INT	GLON	GLAT	F68	F95	FLUSS	FEHL	OG	TS	SIGM	PHOT	GMULT	GBIAS	PDIF	FPDIF	MITT	C2KON	C2LIN
121	GEMINGA	10017.06	0.98	194.89	3.81	32	55	380.4	128.0	*	26.0	5.1	14.8	1.2404	0.7669	31.1	78.9	397.2	*	*
122	GEMINGA	10018.05	0.98	195.02	4.69	30	52	371.0	126.2	*	28.3	5.3	12.5	1.2363	0.0000	26.1	77.9	397.2	*	*
123	GEMINGA	10019.07	0.98	194.91	4.69	25	42	564.3	149.2	*	46.3	6.8	21.0	1.3671	0.0000	28.4	55.6	397.2	*	*
124	GEMINGA	10020.06	1.00	194.81	3.77	28	58	421.8	123.4	*	32.9	5.7	17.3	0.4833	5.4504	35.6	80.4	397.2	*	*
125	GEMINGA	10021.08	1.00	195.07	3.55	25	40	515.0	137.6	*	45.0	6.7	21.8	0.6686	4.3105	43.4	36.6	397.2	*	*
126	GEMINGA	10295.19	0.86	195.01	4.25	16	25	277.7	75.5	*	52.1	7.2	17.9	0.7236	0.0656	7.3	42.7	275.3	0.728	0.398
127	GEMINGA	10296.11	0.98	195.48	4.36	23	38	197.5	63.8	*	32.0	5.7	14.0	0.6785	1.4263	21.6	54.4	275.3	*	*
128	GEMINGA	10297.10	0.92	195.10	4.22	20	52	181.3	73.9	347	16.9	4.1	11.8	0.9797	0.8489	3.6	100.4	275.3	*	*
129	GEMINGA	10298.11	1.00	195.76	4.06	24	46	237.0	75.7	*	32.1	5.7	14.8	0.7734	0.0000	39.7	52.3	275.3	*	*
130	GEMINGA	10299.11	0.92	194.89	4.00	22	50	220.4	75.1	*	26.5	5.2	14.3	0.9039	0.0000	21.7	78.3	275.3	*	*
131	GEMINGA	10300.11	1.00	195.22	4.33	18	38	398.3	96.4	*	51.7	7.2	24.1	0.0000	7.2562	6.4	69.6	275.3	*	*
132	GEMINGA	10301.12	0.92	194.65	4.27	22	35	233.7	74.5	*	33.7	5.8	14.0	0.4530	1.7269	28.7	41.3	275.3	*	*
133	GEMINGA	10302.12	0.98	195.47	4.12	20	41	348.0	89.1	*	51.2	7.2	21.4	0.8173	0.0000	22.2	59.8	275.3	*	*
134	GEMINGA	10303.12	0.92	195.49	4.36	24	39	326.2	91.6	*	40.2	6.3	18.4	0.7599	1.5353	22.2	55.8	275.3	*	*
135	GEMINGA	10304.12	0.98	195.33	4.28	14	27	320.5	81.0	*	56.9	7.5	22.1	0.2694	3.1713	12.0	42.0	275.3	*	*
136	GEMINGA	10305.11	0.98	195.45	4.19	24	45	342.6	94.2	*	39.2	6.3	20.8	0.3974	2.9410	19.7	70.3	275.3	*	*
137	GEMINGA	10306.11	0.92	194.61	4.25	22	32	347.1	88.2	*	58.3	7.6	22.1	0.7769	0.0000	31.2	32.8	275.3	*	*
138	GEMINGA	10307.12	0.98	195.05	4.25	25	39	333.2	87.3	*	40.8	6.4	23.3	0.8276	1.1346	5.0	73.0	275.3	*	*
139	GEMINGA	10309.12	0.96	194.97	4.01	18	30	183.2	52.5	*	41.4	6.4	17.0	0.6666	0.0000	18.3	41.7	310.2	2.196	2.042
140	GEMINGA	10310.10	1.00	195.26	3.97	18	29	272.3	66.1	*	56.7	7.5	25.7	0.5763	1.0385	19.6	38.4	310.2	*	*
141	GEMINGA	10311.10	0.92	194.81	4.15	7	18	423.2	78.4	*	105.	10.2	42.3	0.3610	3.7177	20.5	15.5	310.2	*	*
142	GEMINGA	10312.10	1.00	195.05	4.54	14	36	416.3	75.4	*	86.6	9.3	45.8	0.8257	0.5167	16.9	55.1	310.2	*	*
143	GEMINGA	10313.10	0.92	194.96	4.47	16	32	449.1	82.3	*	88.1	9.4	44.5	0.4120	2.1283	15.7	48.3	310.2	*	*
144	GEMINGA	10314.10	1.00	195.05	4.67	16	25	317.3	67.3	*	73.9	8.6	33.6	0.8983	0.1884	24.5	25.5	310.2	*	*
145	GEMINGA	10315.09	0.98	195.15	4.10	22	33	291.6	65.7	*	60.0	7.7	30.7	0.8717	0.0000	10.3	55.7	310.2	*	*
146	GEMINGA	10316.15	0.90	195.17	4.27	22	32	348.1	82.2	*	52.8	7.3	27.6	0.8696	0.4692	2.4	61.6	331.2	0.537	0.524
147	GEMINGA	10317.15	1.00	195.14	4.23	10	23	457.9	85.6	*	102.	10.1	38.9	0.7519	0.8872	2.4	43.6	331.2	*	*
148	GEMINGA	10318.17	0.98	195.27	4.40	24	46	312.0	79.3	*	45.2	6.7	25.9	0.8591	0.0000	11.4	80.6	331.2	*	*
149	GEMINGA	10319.15	0.98	195.24	3.88	22	36	272.2	72.0	*	41.4	6.4	23.8	0.7027	1.3294	24.3	47.7	331.2	*	*
150	GEMINGA	10320.15	0.94	195.40	4.05	23	42	344.4	82.4	*	54.1	7.4	26.7	0.5510	0.8990	20.9	63.1	331.2	*	*
151	GEMINGA	10321.15	1.00	194.43	4.12	14	28	299.2	66.7	*	66.0	8.1	29.4	0.7043	0.0000	42.8	13.2	331.2	*	*
152	GEMINGA	10322.11	0.90	195.11	4.42	16	32	330.5	77.5	*	64.7	8.0	25.8	0.6283	0.0000	9.1	54.9	331.2	*	*

N	OBJEKT	JD	INT	GLON	GLAT	F68	F95	FLUSS	FEHL	OG	TS	SIGM	PHOT	GMULT	GBIAS	PDIF	FPDIF	MITT	C2KON	C2LIN
1	3C454.3	8645.13	1.00	87.08	-38.53	27	50	188.6	46.4	0	45.1	6.7	26.2	2.1911	0.0000	50.2	49.8	73.0	1.509	0.932
2	3C454.3	8646.12	1.00	86.86	-38.16	27	67	149.9	42.9	0	32.1	5.7	21.1	0.0000	2.4866	35.4	98.6	73.0	*	*
3	3C454.3	8647.13	1.00	85.43	-38.73	44	73	111.5	33.8	0	29.0	5.4	17.9	1.4239	0.1116	45.9	100.1	73.0	*	*
4	3C454.3	8648.12	0.96	85.32	-37.83	40	67	122.1	36.7	0	26.8	5.2	19.0	2.1360	0.0000	42.9	91.1	73.0	*	*
5	3C454.3	8649.14	0.98	85.31	-38.44	39	83	111.8	37.9	194	21.3	4.6	17.4	0.0000	2.6010	40.8	125.2	73.0	*	*
6	3C454.3	8650.12	0.96	86.65	-37.69	66	99	81.9	34.6	159	11.5	3.4	11.7	0.0000	2.6024	39.0	159.0	73.0	*	*
7	3C454.3	8651.13	1.02	86.90	-37.89	0	0	27.4	23.2	84	3.0	1.7	4.1	1.6403	0.0000	41.2	138.8	73.0	*	*
8	3C454.3	8652.13	1.00	85.49	-37.18	59	102	50.2	27.0	113	7.4	2.7	7.7	0.0000	2.7361	66.8	137.2	73.0	*	*
9	3C454.3	8653.13	1.00	85.27	-38.57	44	82	71.1	29.5	138	13.5	3.7	12.7	0.0000	2.1142	45.9	118.1	73.0	*	*
10	3C454.3	8654.15	0.96	85.88	-37.62	31	60	73.8	30.3	143	16.5	4.1	11.2	1.8707	0.0000	35.3	84.7	73.0	*	*
11	3C454.3	8655.13	1.00	85.76	-39.02	36	90	54.3	25.9	114	10.2	3.2	9.4	0.0000	2.1468	53.0	127.0	73.0	*	*
12	3C454.3	8656.15	0.96	84.43	-36.43	54	103	53.1	29.1	120	7.4	2.7	8.2	1.8676	0.0000	132.1	73.9	73.0	*	*
13	3C454.3	8657.13	1.00	86.09	-37.92	29	64	66.2	26.9	128	16.4	4.0	11.1	1.5834	0.0000	15.7	112.3	73.0	*	*
14	3C454.3	8658.14	0.98	85.93	-37.78	49	100	56.3	27.7	121	9.5	3.1	8.5	0.0000	2.1739	25.5	174.5	73.0	*	*
15	3C454.3	8736.06	0.96	82.79	-39.78	59	98	111.8	56.9	249	10.1	3.2	6.2	1.7158	0.5666	182.2	13.8	131.3	0.350	0.467
16	3C454.3	8737.05	0.90	84.77	-37.69	41	81	192.0	69.8	349	20.6	4.5	12.0	0.0000	1.7443	69.9	92.1	131.3	*	*
17	3C454.3	8738.05	0.96	86.72	-39.20	75	103	101.4	53.8	226	8.3	2.9	7.5	2.3427	0.0000	67.5	138.5	131.3	*	*
18	3C454.3	8739.08	0.96	86.24	-38.45	63	88	155.6	57.5	285	18.6	4.3	12.5	2.1752	0.0000	17.3	158.7	131.3	*	*
19	3C454.3	8740.04	0.82	86.44	-38.93	43	92	120.2	56.4	252	12.0	3.5	7.5	0.0000	1.3944	47.6	136.4	131.3	*	*
20	3C454.3	8855.20	0.92	85.30	-38.72	27	59	147.3	51.6	0	26.6	5.2	11.6	0.0000	1.8148	50.0	68.0	112.2	0.983	1.175
21	3C454.3	8856.18	0.96	86.61	-37.24	45	93	102.7	50.2	215	10.2	3.2	9.4	1.9544	0.5697	61.2	124.8	112.2	*	*
22	3C454.3	8857.15	0.98	87.61	-38.99	38	65	118.8	46.0	223	18.1	4.3	11.5	0.0000	2.5803	85.5	44.5	112.2	*	*
23	3C454.3	8858.17	0.98	85.94	-38.08	48	87	63.5	34.6	148	8.3	2.9	6.3	0.0777	2.6587	10.0	164.0	112.2	*	*
24	3C454.3	8859.17	0.98	86.07	-39.04	42	79	194.5	59.2	0	28.1	5.3	17.2	0.0000	2.6882	51.6	106.4	112.2	*	*
25	3C454.3	8860.17	0.96	86.29	-36.58	38	80	176.9	59.9	309	23.4	4.8	14.7	1.7677	0.0000	96.4	63.6	112.2	*	*
26	3C454.3	8861.18	1.00	85.27	-37.50	33	75	89.9	41.0	185	13.4	3.7	8.7	0.0000	2.3855	57.0	93.0	112.2	*	*
27	3C454.3	9420.20	0.98	85.85	-37.07	38	63	79.3	28.4	143	18.9	4.3	14.4	1.5482	0.0963	67.7	58.3	52.5	1.291	1.415
28	3C454.3	9421.20	0.94	84.61	-38.25	53	97	42.6	22.8	97	7.9	2.8	7.0	0.0000	2.3588	70.8	123.2	52.5	*	*
29	3C454.3	9422.19	1.00	86.91	-35.82	43	90	79.8	33.3	154	13.2	3.6	12.1	1.9069	0.0000	146.7	33.3	52.5	*	*
30	3C454.3	9423.20	0.92	84.96	-38.14	55	97	73.5	31.4	143	11.6	3.4	13.3	0.1037	2.6384	54.3	139.7	52.5	*	*
31	3C454.3	9424.20	0.98	85.21	-39.52	44	84	49.2	23.5	104	9.5	3.1	10.0	0.0000	2.0626	90.7	77.3	52.5	*	*
32	3C454.3	9425.20	1.00	85.76	-39.43	0	0	22.1	17.8	67	2.9	1.7	4.5	1.9407	0.0000	76.8	103.2	52.5	*	*
33	3C454.3	9426.13	0.80	85.35	-35.78	42	75	115.7	39.1	200	21.7	4.7	17.4	0.0000	2.4062	148.5	1.5	52.5	*	*
34	3C454.3	9490.14	0.98	85.95	-36.63	37	77	117.0	41.8	209	19.5	4.4	13.3	1.6761	0.1263	93.3	60.7	68.9	0.483	0.441
35	3C454.3	9491.14	0.98	88.29	-38.08	41	95	53.1	30.3	126	8.1	2.8	6.2	2.0507	0.0000	103.1	86.9	68.9	*	*
36	3C454.3	9492.12	1.00	86.57	-38.47	26	59	94.1	33.4	170	23.7	4.9	12.5	0.0000	1.1157	27.8	90.2	68.9	*	*
37	3C454.3	9493.12	0.96	85.06	-37.79	44	88	74.2	32.3	149	12.8	3.6	9.5	1.3732	0.0000	54.9	121.1	68.9	*	*
38	3C454.3	9494.13	1.00	86.02	-38.32	57	104	47.8	26.8	111	6.8	2.6	6.8	0.3930	1.9806	9.4	198.6	68.9	*	*
39	3C454.3	9495.12	0.98	87.41	-36.24	45	93	68.8	31.2	141	11.4	3.4	8.6	1.5704	0.0000	131.9	54.1	68.9	*	*
40	3C454.3	9496.07	0.86	87.46	-38.90	81	107	58.2	36.1	140	5.5	2.4	7.1	2.2565	0.0000	76.7	137.3	68.9	*	*

N	OBJEKT	JD	INT	GLON	GLAT	F68	F95	FLUSS	FEHL	OG	TS	SIGM	PHOT	GMULT	GBIAS	PDIF	FPDIF	MITT	C2KON	C2LIN
41	3C454.3	9566.15	0.90	84.81	-39.23	38	107	34.0	25.0	98	4.6	2.1	4.4	0.0000	2.7549	87.6	126.4	38.4	0.860	1.107
42	3C454.3	9567.14	0.92	87.29	-37.98	0	0	26.3	25.2	89	2.4	1.6	3.7	0.1640	2.1757	57.0	123.0	38.4	*	*
43	3C454.3	9568.08	0.90	87.22	-38.01	37	104	94.3	46.3	198	9.7	3.1	9.7	2.9452	0.0000	53.4	154.6	38.4	*	*
44	3C454.3	9742.21	0.98	85.88	-39.85	0	0	31.3	23.7	90	3.8	2.0	4.2	0.0000	1.8061	100.8	79.2	44.2	2.309	2.433
45	3C454.3	9743.20	0.96	86.45	-38.90	44	92	134.0	49.6	243	18.2	4.3	13.0	0.0000	2.2093	46.0	138.0	44.2	*	*
46	3C454.3	9744.22	1.00	86.14	-36.76	52	98	38.8	24.9	100	5.9	2.4	5.3	0.0000	1.9406	85.2	110.8	44.2	*	*
47	3C454.3	9745.22	0.98	85.48	-38.44	72	104	53.1	29.6	123	7.4	2.7	6.9	1.7226	0.0000	33.5	174.5	44.2	*	*
48	3C454.3	9746.22	0.98	85.73	-38.03	49	91	37.2	22.4	94	6.6	2.6	4.9	0.9328	1.0034	20.1	161.9	44.2	*	*
49	3C454.3	9748.22	0.96	86.98	-40.09	29	75	76.8	35.4	156	14.1	3.8	8.8	0.0000	1.2361	121.5	28.5	44.2	*	*
50	3C454.3	9749.21	0.98	87.02	-37.75	87	104	67.9	33.6	145	8.3	2.9	7.9	1.2530	0.6496	50.2	157.8	44.2	*	*
51	3C454.3	9750.21	0.98	86.06	-37.27	91	106	59.4	36.7	144	5.5	2.3	6.2	1.8689	0.1023	54.7	157.3	44.2	*	*
52	3C454.3	9751.21	0.98	86.11	-38.18	0	0	-29.8	35.4	41	0.0	0.0	0.0	0.6571	0.6465	0.0	180.0	44.2	*	*
53	3C454.3	9752.22	0.98	85.96	-37.87	31	86	58.0	30.5	132	10.2	3.2	6.8	0.0000	1.9311	19.9	152.1	44.2	*	*
54	3C454.3	9753.22	0.98	85.51	-37.74	0	0	16.5	20.0	72	1.4	1.2	2.0	1.5702	0.5771	38.8	141.2	44.2	*	*
55	3C454.3	9754.22	0.98	87.95	-36.87	78	106	60.1	33.9	138	6.8	2.6	7.0	0.0000	2.0316	117.7	94.3	44.2	*	*
56	3C454.3	9755.22	0.98	86.41	-38.68	66	101	89.4	42.5	187	10.5	3.2	8.6	2.0192	0.0000	33.1	168.9	44.2	*	*
57	3C454.3	9756.22	0.98	86.11	-38.18	0	0	-165.4	94.2	23	0.0	0.0	0.0	1.3973	0.0000	0.0	180.0	44.2	*	*
58	3C454.3	9757.21	0.98	86.30	-37.46	0	0	27.9	28.0	104	2.4	1.5	2.3	1.6929	0.0000	44.1	135.9	44.2	*	*
59	3C454.3	9758.22	0.98	86.89	-37.19	58	98	64.4	29.9	135	11.0	3.3	8.1	0.0000	2.2830	70.0	126.0	44.2	*	*
60	3C454.3	9759.22	0.98	86.51	-39.35	44	91	60.3	31.0	136	9.9	3.1	6.8	0.0753	2.1734	72.7	109.3	44.2	*	*
61	3C454.3	9760.22	0.98	86.03	-37.93	0	0	14.2	17.1	65	1.5	1.2	1.8	0.0000	2.0237	15.4	164.6	44.2	*	*
62	3C454.3	9761.21	1.00	86.06	-38.34	43	77	139.8	42.6	0	25.9	5.1	18.7	0.0000	2.1339	9.9	144.1	44.2	*	*
63	3C454.3	9762.18	0.86	86.41	-38.10	16	30	284.0	58.9	0	79.9	8.9	32.3	1.4745	0.0000	15.0	45.0	44.2	*	*
64	3C454.3	10050.20	0.86	86.29	-37.48	0	0	19.3	23.6	90	1.6	1.3	1.7	0.5971	1.7447	42.8	137.2	24.6	1.093	1.212
65	3C454.3	10052.15	1.00	85.86	-37.92	0	0	20.3	24.2	89	1.6	1.3	2.0	1.4644	1.3538	19.6	160.4	24.6	*	*
66	3C454.3	10053.14	0.94	86.53	-38.98	0	0	15.8	19.8	73	1.2	1.1	1.5	2.2358	0.4089	51.9	128.1	24.6	*	*
67	3C454.3	10054.14	0.98	84.12	-38.33	53	104	65.7	37.2	151	7.5	2.7	7.4	2.4106	0.0000	94.2	113.8	24.6	*	*
68	3C454.3	10056.16	1.00	85.97	-37.98	0	0	24.9	30.3	116	1.5	1.2	1.7	0.0000	3.4473	13.7	166.3	24.6	*	*
69	3C454.3	10057.16	0.94	86.11	-38.18	0	0	-31.2	60.6	90	0.0	0.0	0.0	4.0411	0.0000	0.0	180.0	24.6	*	*
70	3C454.3	10058.13	0.92	88.40	-36.16	39	93	89.4	49.2	207	9.0	3.0	6.1	1.0620	0.9654	163.3	22.7	24.6	*	*
71	3C454.3	10058.84	0.26	86.11	-38.18	0	0	-1831.	982.1	133	0.0	0.0	0.0	2.5774	0.0000	0.0	180.0	24.6	*	*
72	3C454.3	10059.55	0.90	85.74	-37.26	0	0	21.3	25.0	92	1.6	1.3	1.9	2.4626	0.0000	57.9	122.1	7.0	1.282	1.445
73	3C454.3	10060.56	0.98	86.11	-38.18	0	0	13.0	20.0	53	0.0	0.0	0.0	2.0438	0.0000	0.0	180.0	7.0	*	*
74	3C454.3	10061.56	0.92	86.11	-38.18	0	0	-321.2	176.6	32	0.0	0.0	0.0	0.0000	3.5814	0.0	180.0	7.0	*	*
75	3C454.3	10062.56	0.96	86.11	-38.18	0	0	-82.2	59.6	37	0.0	0.0	0.0	0.0000	2.4122	0.0	180.0	7.0	*	*
76	3C454.3	10063.54	0.96	87.20	-38.09	0	0	23.5	28.1	104	1.5	1.2	2.0	2.6074	0.3826	51.7	128.3	7.0	*	*
77	3C454.3	10064.54	0.92	86.11	-38.18	0	0	-44.4	46.2	48	0.0	0.0	0.0	1.8855	0.0000	0.0	180.0	7.0	*	*
78	3C454.3	10065.32	0.54	86.11	-38.18	0	0	8.0	38.5	85	0.0	0.0	0.0	2.3682	0.0000	0.0	180.0	7.0	*	*

N	OBJEKT	JD	INT	GLON	GLAT	F68	F95	FLUSS	FEHL	OG	TS	SIGM	PHOT	GMULT	GBIAS	PDIF	FPDIF	MITT	C2KON	C2LIN
1	CTA102	8645.13	1.00	77.89	-38.31	0	0	23.6	18.5	69	3.3	1.8	4.9	2.0086	0.0000	26.6	153.4	26.5	1.899	2.049
2	CTA102	8646.12	1.00	78.14	-38.14	71	98	39.3	21.8	90	7.0	2.6	8.1	0.0000	1.9901	42.2	153.8	26.5	*	*
3	CTA102	8647.13	1.00	78.02	-38.85	0	0	16.1	14.1	52	2.4	1.6	3.5	0.0000	1.9581	31.6	148.4	26.5	*	*
4	CTA102	8648.12	0.96	78.77	-37.82	42	83	59.0	25.8	118	1.8	3.4	11.6	1.9125	0.1101	77.5	88.5	26.5	*	*
5	CTA102	8650.12	0.96	77.63	-38.67	70	107	41.4	22.2	92	6.7	2.6	9.2	0.0000	2.7610	10.4	203.6	26.5	*	*
6	CTA102	8651.13	1.02	76.76	-38.75	0	0	11.3	11.2	42	1.9	1.4	2.7	1.6466	0.0000	33.4	146.6	26.5	*	*
7	CTA102	8652.13	1.00	77.44	-38.58	0	0	-46.2	32.6	19	0.0	0.0	0.0	2.0810	0.2337	0.0	180.0	26.5	*	*
8	CTA102	8653.13	1.00	76.77	-39.79	49	94	68.9	24.2	121	7.0	4.1	18.1	1.6457	0.2225	79.0	109.0	26.5	*	*
9	CTA102	8654.15	0.96	78.44	-39.56	35	66	87.6	26.6	0	25.6	5.1	20.4	0.7129	0.0000	75.0	57.0	26.5	*	*
10	CTA102	8655.13	1.00	77.44	-38.58	0	0	-9.8	19.9	30	0.0	0.0	0.0	1.2396	0.6444	0.0	180.0	26.5	*	*
11	CTA102	8656.15	0.96	78.61	-39.23	95	108	31.0	20.3	77	4.3	2.1	6.9	0.3914	1.9803	67.1	148.9	26.5	*	*
12	CTA102	8657.13	1.00	77.85	-39.42	31	62	47.2	18.3	89	6.3	4.0	12.0	1.6475	0.0000	53.9	70.1	26.5	*	*
13	CTA102	8658.14	0.98	78.62	-37.89	0	0	29.0	20.5	77	3.7	1.9	6.2	0.0000	2.3099	69.3	110.7	26.5	*	*
14	CTA102	8736.06	0.96	77.44	-38.58	0	0	8.2	51.4	111	0.0	0.0	0.0	0.0000	2.6072	0.0	180.0	62.6	0.436	0.263
15	CTA102	8737.05	0.90	76.50	-37.96	0	0	63.7	59.1	222	3.4	1.8	2.5	0.0000	2.0852	57.8	122.2	62.6	*	*
16	CTA102	8738.05	0.96	75.12	-38.51	41	105	96.0	67.2	274	6.4	2.5	3.5	2.6177	0.0000	108.9	101.1	62.6	*	*
17	CTA102	8739.08	0.96	77.67	-39.76	41	82	95.3	54.1	236	9.6	3.1	4.7	1.9558	0.0000	71.6	92.4	62.6	*	*
18	CTA102	8740.04	0.82	78.18	-38.72	0	0	68.8	60.0	232	3.8	2.0	2.6	1.0727	0.0000	35.7	144.3	62.6	*	*
19	CTA102	8855.20	0.92	77.55	-38.53	0	0	31.8	36.1	139	1.9	1.4	1.7	2.0603	0.0000	5.9	174.1	54.9	0.319	0.346
20	CTA102	8856.18	0.96	78.64	-38.76	0	0	55.5	44.5	171	3.8	1.9	3.7	2.3846	0.0000	57.2	122.8	54.9	*	*
21	CTA102	8857.15	0.98	78.88	-38.28	55	105	95.2	53.6	224	7.7	2.8	5.8	0.0000	2.2348	70.0	140.0	54.9	*	*
22	CTA102	8858.17	0.98	75.70	-36.73	0	0	42.2	38.6	149	2.9	1.7	2.3	2.4349	0.0000	138.4	41.6	54.9	*	*
23	CTA102	8859.17	0.98	78.56	-40.60	66	101	90.3	50.0	211	7.8	2.8	6.0	0.0000	2.3662	131.8	70.2	54.9	*	*
24	CTA102	8860.17	0.96	76.59	-36.96	0	0	50.9	41.5	165	3.8	1.9	2.7	0.6182	2.2991	105.2	74.8	54.9	*	*
25	CTA102	9420.20	0.98	79.43	-37.98	55	103	36.4	22.7	91	5.6	2.4	6.6	1.9023	0.0000	100.4	105.6	37.2	0.101	0.108
26	CTA102	9421.20	0.94	77.32	-38.80	0	0	29.5	24.3	87	2.8	1.7	4.7	0.0000	2.2059	14.3	165.7	37.2	*	*
27	CTA102	9422.19	1.00	74.82	-38.91	67	104	41.0	25.0	101	5.1	2.3	6.4	2.2184	0.1170	124.2	83.8	37.2	*	*
28	CTA102	9423.20	0.92	77.96	-36.51	42	89	39.5	22.8	96	6.6	2.6	6.6	1.6334	0.8554	126.6	51.4	37.2	*	*
29	CTA102	9424.20	0.98	78.27	-39.74	43	87	31.5	18.1	76	6.4	2.5	6.3	0.8981	1.1327	79.6	94.4	37.2	*	*
30	CTA102	9425.20	1.00	77.09	-37.99	61	96	49.8	24.1	106	8.8	3.0	9.4	2.2818	0.0000	39.0	153.0	37.2	*	*
31	CTA102	9490.14	0.98	77.44	-38.58	0	0	-370.6	195.8	21	0.0	0.0	0.0	1.6007	0.2062	0.0	180.0	26.0	1.228	1.298
32	CTA102	9491.14	0.98	77.44	-38.58	0	0	-13.2	31.6	50	0.0	0.0	0.0	2.2972	0.0000	0.0	180.0	26.0	*	*
33	CTA102	9492.12	1.00	79.04	-37.68	49	93	54.2	26.9	119	0.1	3.2	6.8	0.0000	1.4658	92.8	93.2	26.0	*	*
34	CTA102	9493.12	0.96	78.02	-39.67	0	0	17.7	19.7	71	1.8	1.3	2.3	1.4444	0.1539	70.8	109.2	26.0	*	*
35	CTA102	9494.13	1.00	77.92	-37.91	0	0	32.3	23.0	90	3.9	2.0	4.3	0.8764	1.2589	46.1	133.9	26.0	*	*
36	CTA102	9495.12	0.98	78.32	-38.52	0	0	24.9	21.9	82	3.0	1.7	3.3	0.0000	1.7517	41.4	138.6	26.0	*	*
37	CTA102	9496.07	0.86	77.70	-40.11	31	91	42.4	26.8	110	6.5	2.5	5.3	1.4463	1.2903	92.6	89.4	26.0	*	*
38	CTA102	9566.15	0.90	78.92	-38.13	0	0	18.8	21.5	78	1.5	1.2	2.2	0.0000	2.8718	74.7	105.3	12.8	0.175	0.340
39	CTA102	9567.14	0.92	77.44	-38.58	0	0	0.0	25.5	51	0.0	0.0	0.0	2.1432	0.0000	0.0	180.0	12.8	*	*
40	CTA102	9568.08	0.90	77.56	-38.64	0	0	15.8	21.0	78	1.1	1.0	1.5	2.8126	0.0000	6.7	173.3	12.8	*	*

N	OBJEKT	JD	INT	GLON	GLAT	F68	F95	FLUSS	FEHL	OG	TS	SIGM	PHOT	GMULT	GBIAS	PDIF	FPDIF	MITT	C2KON	C2LIN
41	CTA102	9742.21	0.98	78.30	-38.92	68	99	44.1	24.6	103	7.4	2.7	6.4	1.3282	0.1970	45.1	152.9	12.1	1.051	1.025
42	CTA102	9743.20	0.96	77.44	-38.58	0	0	-10.0	27.5	45	0.0	0.0	0.0	0.0000	2.2076	0.0	180.0	12.1	*	*
43	CTA102	9744.22	1.00	78.25	-38.93	52	104	46.2	25.6	108	7.3	2.7	6.4	0.4124	1.6232	43.3	164.7	12.1	*	*
44	CTA102	9745.22	0.98	77.00	-38.88	59	106	62.2	33.0	137	8.3	2.9	8.2	0.0000	2.1417	27.4	184.6	12.1	*	*
45	CTA102	9746.22	0.98	77.44	-38.58	0	0	-5.0	30.5	56	0.0	0.0	0.0	1.9033	0.0000	0.0	180.0	12.1	*	*
46	CTA102	9747.21	0.98	77.44	-38.58	0	0	4.0	20.5	45	0.0	0.0	0.0	0.0000	1.1236	0.0	180.0	12.1	*	*
47	CTA102	9748.22	0.96	77.44	-38.58	0	0	-67.6	49.8	32	0.0	0.0	0.0	1.6475	0.0000	0.0	180.0	12.1	*	*
48	CTA102	9749.21	0.98	77.44	-38.58	0	0	-131.0	79.5	28	0.0	0.0	0.0	1.7419	0.0000	0.0	180.0	12.1	*	*
49	CTA102	9750.21	0.98	77.44	-38.58	0	0	-1.4	26.7	52	0.0	0.0	0.0	0.9282	1.4214	0.0	180.0	12.1	*	*
50	CTA102	9751.21	0.98	74.68	-37.40	77	108	37.7	26.1	104	5.3	2.3	4.4	1.1147	0.1760	148.5	67.5	12.1	*	*
51	CTA102	9752.22	0.98	77.49	-39.29	0	0	21.5	21.8	79	2.0	1.4	2.6	0.0000	2.5284	42.7	137.3	12.1	*	*
52	CTA102	9753.22	0.98	76.68	-38.79	0	0	20.1	21.0	77	1.9	1.4	2.5	2.0218	0.0000	37.8	142.2	12.1	*	*
53	CTA102	9754.22	0.98	77.46	-38.02	0	0	25.3	22.7	85	2.5	1.6	3.0	0.0000	2.3426	33.6	146.4	12.1	*	*
54	CTA102	9755.22	0.98	77.44	-38.58	0	0	-6.0	30.5	55	0.0	0.0	0.0	2.5740	0.0000	0.0	180.0	12.1	*	*
55	CTA102	9756.22	0.98	77.44	-38.58	0	0	4.6	22.2	49	0.0	0.0	0.0	1.5515	0.0000	0.0	180.0	12.1	*	*
56	CTA102	9757.21	0.98	77.38	-40.38	0	0	30.4	25.0	101	4.0	2.0	2.5	1.5267	0.0000	108.0	72.0	12.1	*	*
57	CTA102	9758.22	0.98	77.44	-38.58	0	0	-43.2	39.6	36	0.0	0.0	0.0	1.5714	0.5067	0.0	180.0	12.1	*	*
58	CTA102	9759.22	0.98	78.02	-38.33	0	0	9.7	14.2	55	0.9	0.9	1.2	1.8307	0.0000	31.1	148.9	12.1	*	*
59	CTA102	9760.22	0.98	77.98	-39.68	0	0	15.0	17.1	63	1.6	1.3	1.9	0.0000	2.0125	70.6	109.4	12.1	*	*
60	CTA102	9761.21	1.00	77.44	-38.58	0	0	-29.8	33.4	37	0.0	0.0	0.0	1.2914	0.7209	0.0	180.0	12.1	*	*
61	CTA102	9762.18	0.86	77.44	-38.58	0	0	-49.8	45.4	41	0.0	0.0	0.0	1.0810	0.6128	0.0	180.0	12.1	*	*
62	CTA102	10050.20	0.86	77.66	-39.42	0	0	15.3	18.1	66	1.5	1.2	2.0	1.8219	0.0000	51.4	128.6	12.7	1.150	1.121
63	CTA102	10051.16	0.98	77.44	-38.58	0	0	12.4	13.3	39	0.0	0.0	0.0	1.6003	0.0000	0.0	180.0	12.7	*	*
64	CTA102	10052.15	1.00	77.44	-38.58	0	0	-61.6	45.8	30	0.0	0.0	0.0	2.5249	0.0000	0.0	180.0	12.7	*	*
65	CTA102	10053.14	0.94	78.47	-38.62	0	0	9.9	14.2	52	1.0	1.0	1.3	0.0000	2.6501	48.4	131.6	12.7	*	*
66	CTA102	10054.14	0.98	77.44	-38.58	0	0	-12.6	25.3	38	0.0	0.0	0.0	0.0000	3.1107	0.0	180.0	12.7	*	*
67	CTA102	10056.16	1.00	75.71	-37.97	49	106	50.5	33.1	133	5.5	2.4	4.8	1.3670	1.7780	89.3	122.7	12.7	*	*
68	CTA102	10057.16	0.94	77.44	-38.58	0	0	5.8	43.6	93	0.0	0.0	0.0	3.9824	0.0000	0.0	180.0	12.7	*	*
69	CTA102	10058.13	0.92	75.35	-38.32	72	108	68.1	39.1	155	6.3	2.5	7.8	2.6103	0.0000	99.4	116.6	12.7	*	*
70	CTA102	10058.84	0.26	80.08	-40.01	61	106	157.8	98.4	408	7.8	2.8	3.8	1.9878	0.0000	149.6	62.4	12.7	*	*
71	CTA102	10059.55	0.90	77.81	-40.01	0	0	23.6	24.0	87	2.2	1.5	2.7	2.0369	0.0000	87.5	92.5	8.7	1.339	1.188
72	CTA102	10060.56	0.98	77.77	-37.41	61	103	32.3	23.2	91	4.8	2.2	3.9	1.8417	0.0000	71.9	134.1	8.7	*	*
73	CTA102	10061.56	0.92	77.44	-38.58	0	0	-64.4	49.7	35	0.0	0.0	0.0	1.2185	2.2431	0.0	180.0	8.7	*	*
74	CTA102	10062.56	0.96	74.93	-39.39	71	108	42.5	29.0	112	4.7	2.2	4.9	2.0396	0.0000	126.7	89.3	8.7	*	*
75	CTA102	10063.54	0.96	77.44	-38.58	0	0	-64.6	49.8	35	0.0	0.0	0.0	1.8752	1.0418	0.0	180.0	8.7	*	*
76	CTA102	10064.54	0.92	77.44	-38.58	0	0	-8.6	22.3	36	0.0	0.0	0.0	1.3237	0.7887	0.0	180.0	8.7	*	*
77	CTA102	10065.32	0.54	77.44	-38.58	0	0	-12.2	36.6	61	0.0	0.0	0.0	0.0000	3.6768	0.0	180.0	8.7	*	*

Anhang C

Strukturfunktionen

Auf den ersten vier Seiten sind zunächst für alle fünf Quellen die Flußdifferenzen dI und die Signifikanzen dS der Flußdifferenzen gegen ihre Zeitdifferenzen dt in logarithmischem Maßstab aufgetragen.

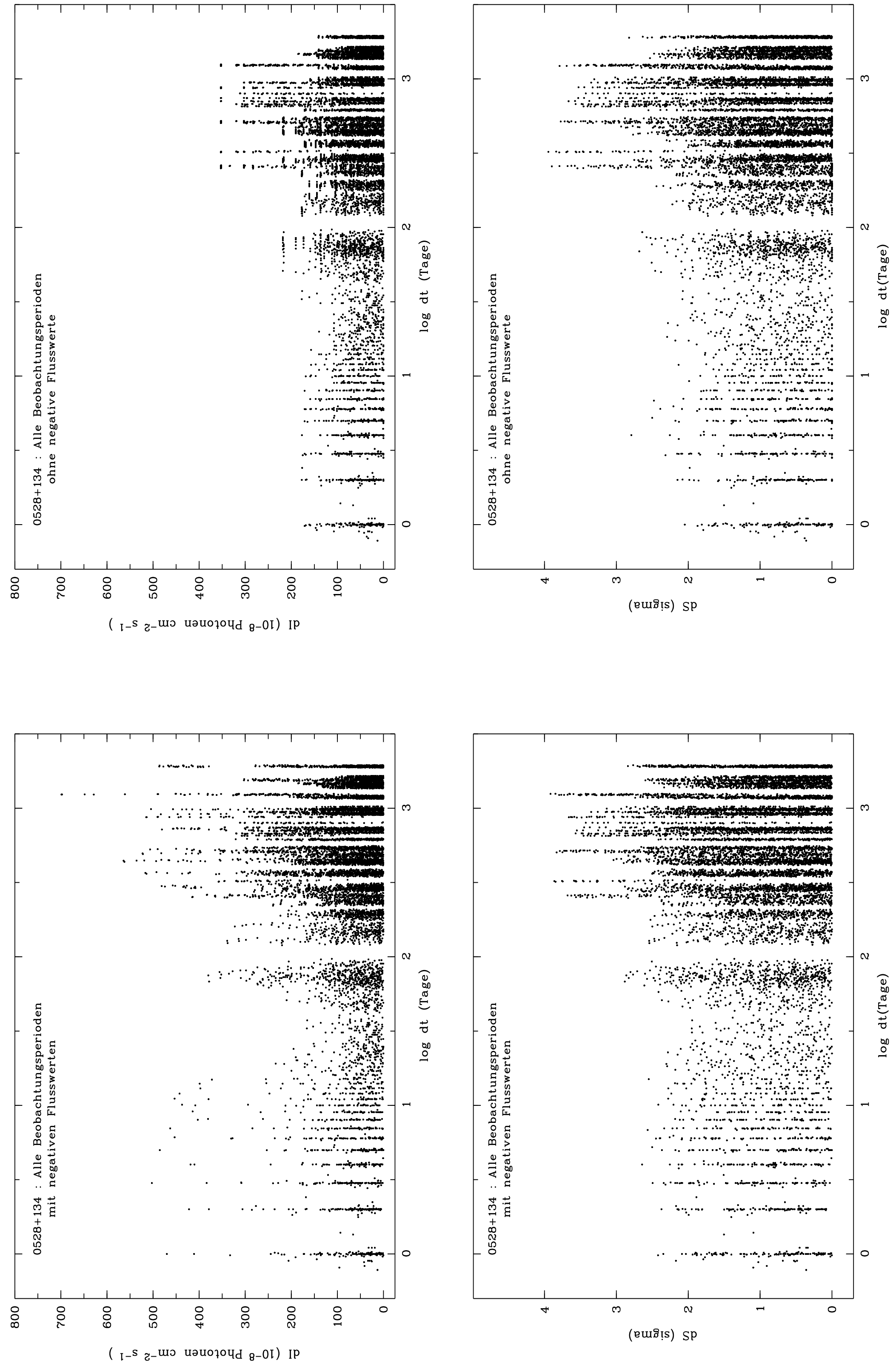
Bei den drei ersten Quellen PKS 0528+134, 3C 454.3 und CTA 102 sind diese Schaubilder einmal mit negativen Flußwerten und einmal ohne diese negative Werte, das heißt unter Beibehaltung der zu null ermittelten Flußwerte, dargestellt. In der oberen Reihe sind die dI-dt-Schaubilder dargestellt, links mit negativen Flußwerten, rechts ohne diese Werte. Die dI-Werte sind in Einheiten von 10^{-8} Photonen cm^{-2} s^{-1} angegeben, die Zeitdifferenzen in log(dt) von Tagen. In der unteren Reihe findet man die dS-dt-Schaubilder, links wieder mit und rechts ohne negative Flußwerte. Die dS-Werte sind in Einheiten von σ angegeben.

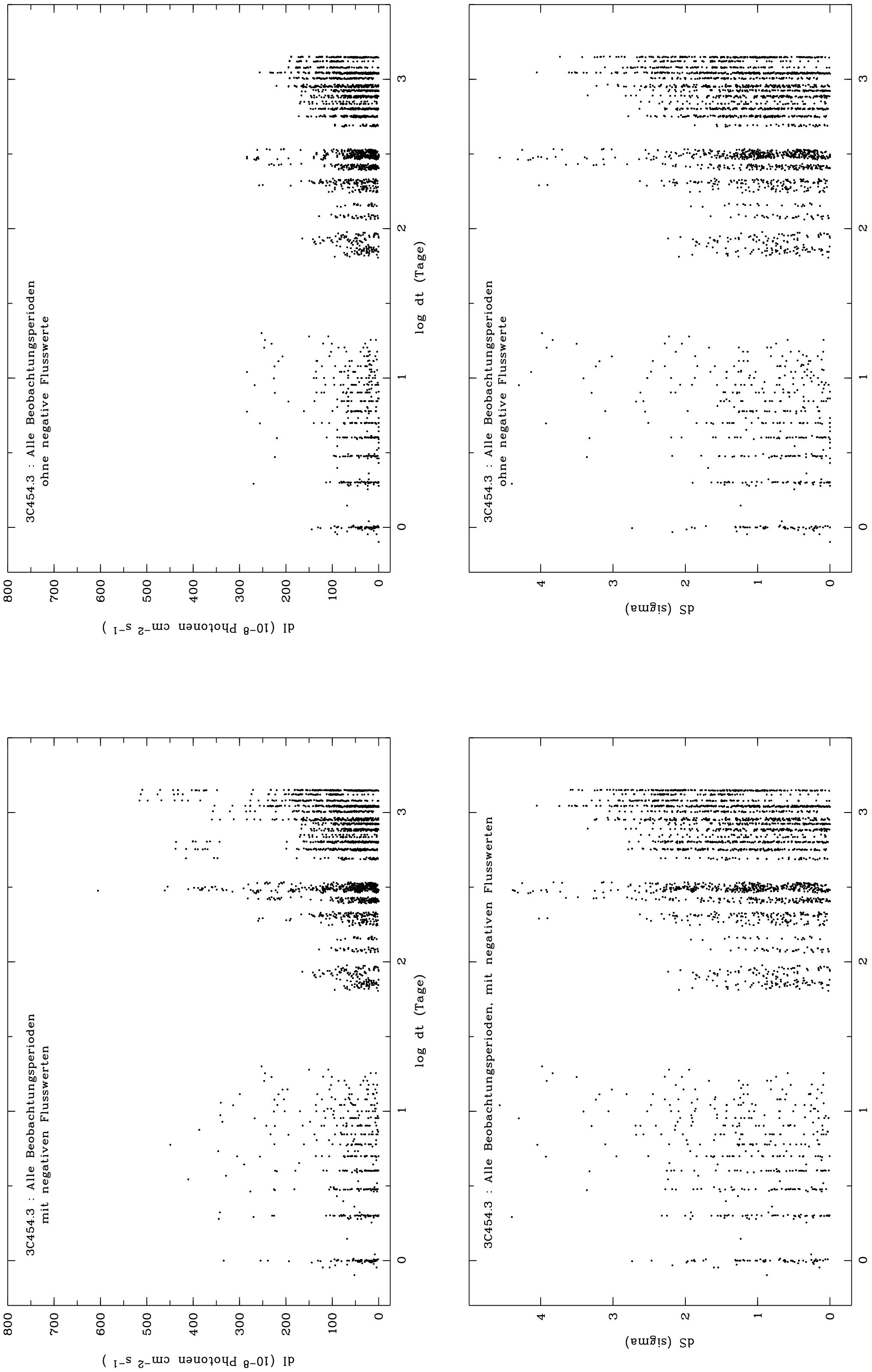
Die beiden Quellen Crab und Geminga sind auf gleiche Weise dargestellt, nur entfällt die Unterscheidung in Schaubilder mit und ohne negative Flußwerte. Links sind die Schaubilder von Crab übereinander dargestellt, rechts die Diagramme von Geminga.

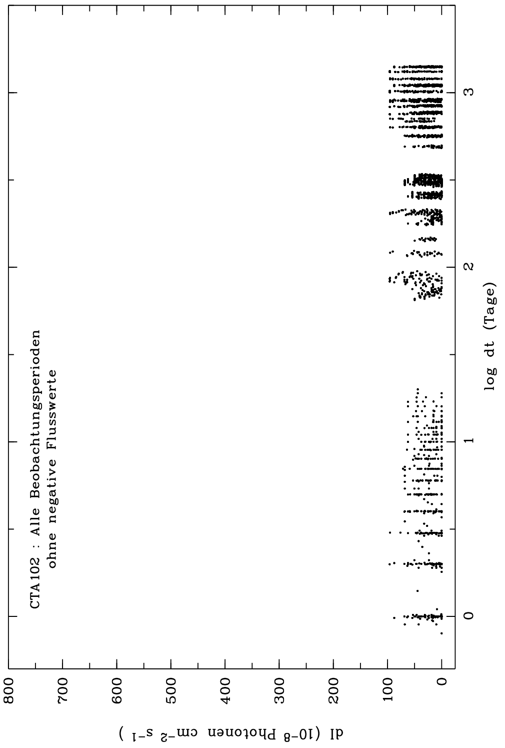
Auf den nachfolgenden Seiten findet man die Strukturfunktionen (SF) für alle fünf Quellen. Zunächst sind jeweils acht SF für PKS 0528+134, 3C 454.3 und CTA dargestellt, anschließend je vier SF für Crab und Geminga.

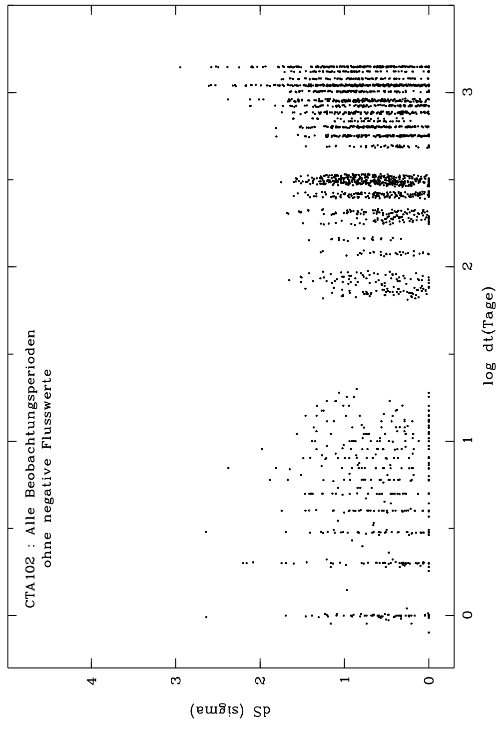
Jedes Schaubild enthält vier Kurven, die dadurch zustande kommen, daß der Startwert zur SF-Berechnung bei jeder dieser vier Kurven um 25% der Intervallänge verschoben wurde. Die Intervallänge beträgt bei den logarithmischen Zeitintervallen $log(dt) = 0.4$. Die Intervalle, die eine feste Werteanzahl N enthalten, beinhalten bei PKS 0528+134, Crab und Geminga jeweils 800 Werte, bei 3C 454.3 und CTA 102 sind es jeweils 200 Werte.

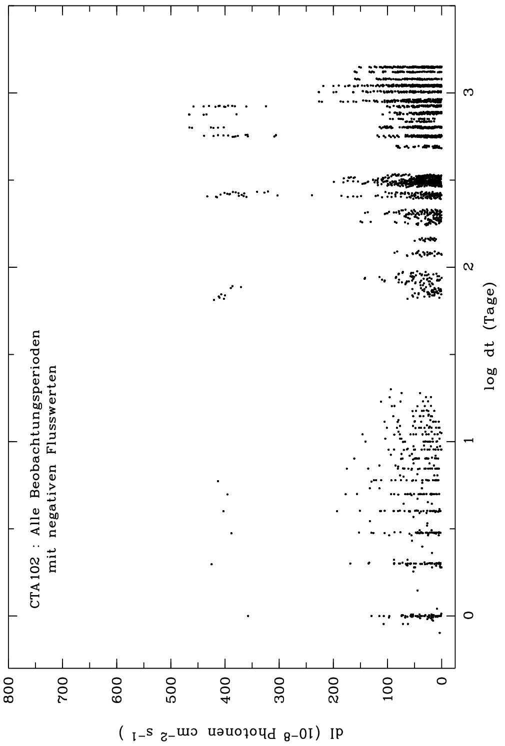
Für jede der drei ersten Quellen sind die acht SF auf je einer Doppelseite dargestellt, auf der einen Seite sind die SF mit Berücksichtigung der negativen Flußwerte, auf der anderen Seite die SF ohne diese negativen Flußwerte enthalten. Auf jeder Seite ist links oben die SF dargestellt, die aus den dI-Werten mit festen logarithmischen Zeitintervallen ermittelt wurde (dI-SFT), rechts oben die SF mit festen Wertezahlen N (dI-SFN). Links unten ist jeweils die SF zu sehen, die aus den dS-Werten mit festen Zeitintervallen berechnet wurde (dS-SFT), rechts unten die SF mit der festen Wertezahl N (dS-SFN). Crab und Geminga wurden auf gleiche Weise dargestellt, nur entfiel auch hier die Unterscheidung in Schaubilder mit und ohne negative Flußwerte.

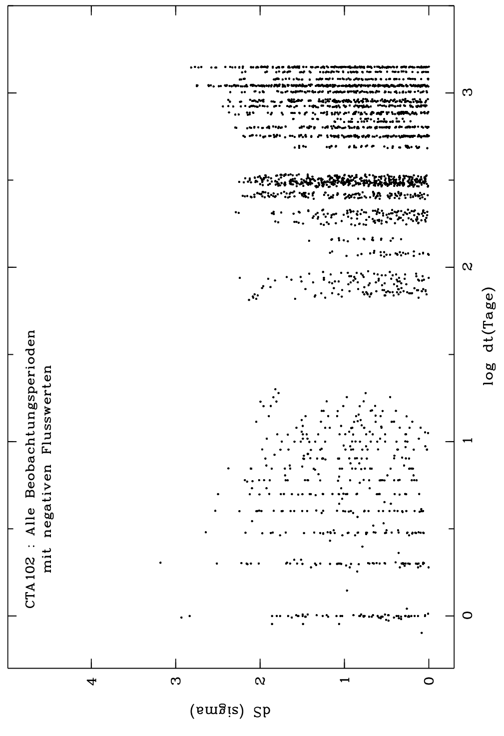

0528+134 : Alle Beobachtungsperioden
ohne negative Flusswerte
0528+134 : Alle Beobachtungsperioden
mit negativen Flusswerten
log dt (Tage)
log dt(Tage)
dI (10-8 Photonen cm-2 s-1)
dS (sigma)

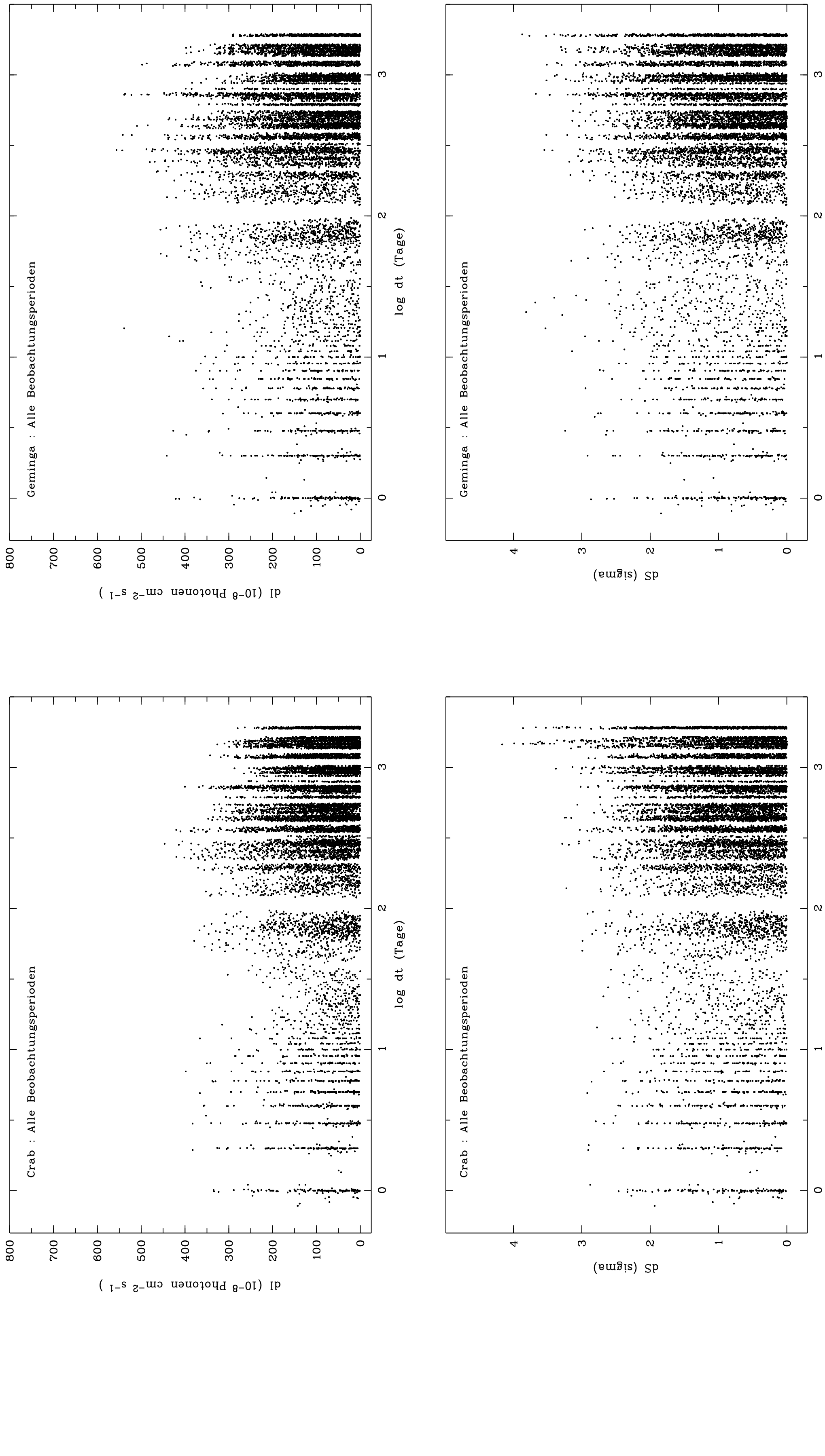

3C454.3 : Alle Beobachtungsperioden
ohne negative Flusswerte
dI (10-8 Photonen cm-2 s-1)
log dt (Tage)
3C454.3 : Alle Beobachtungsperioden
ohne negative Flusswerte
dS (sigma)
log dt(Tage)
3C454.3 : Alle Beobachtungsperioden
mit negativen Flusswerten
dI (10-8 Photonen cm-2 s-1)
log dt (Tage)
3C454.3 : Alle Beobachtungsperioden, mit negativen Flusswerten
dS (sigma)
log dt(Tage)


CTA102 : Alle Beobachtungsperioden
ohne negative Flusswerte
dI (10-8 Photonen cm-2 s-1)
log dt (Tage)

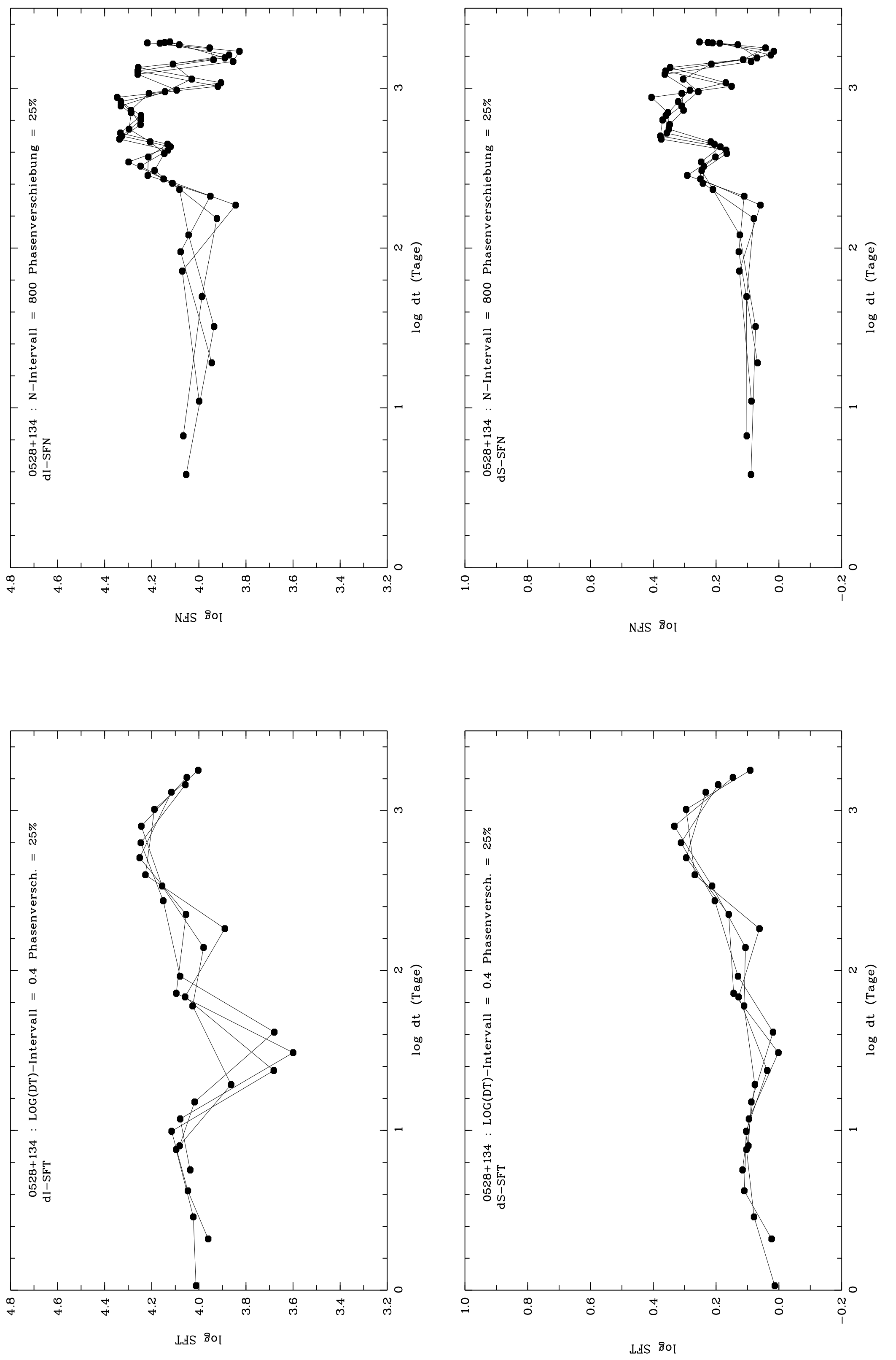

CTA102 : Alle Beobachtungsperioden
ohne negative Flusswerte
dS (sigma)
log dt(Tage)

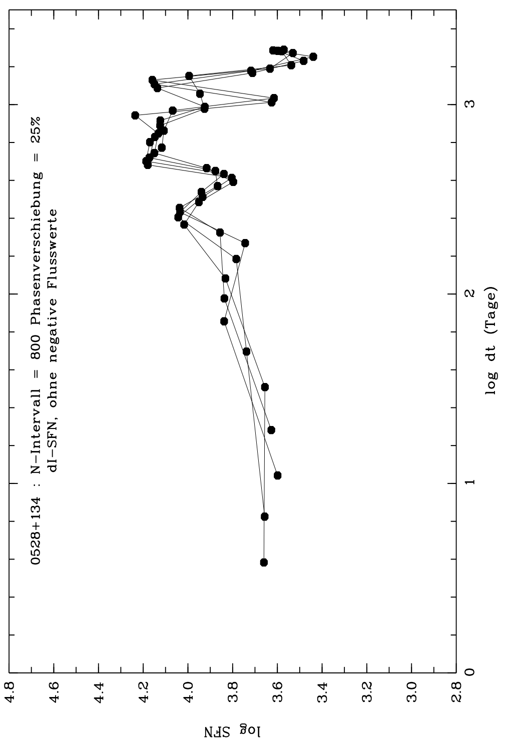

CTA102 : Alle Beobachtungsperioden
mit negativen Flusswerten
dI (10-8 Photonen cm-2 s-1)
log dt (Tage)

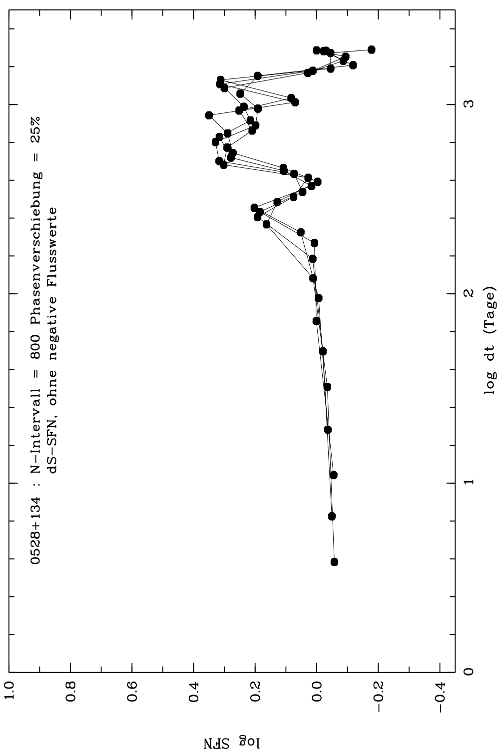

CTA102 : Alle Beobachtungsperioden
mit negativen Flusswerten
dS (sigma)
log dt(Tage)

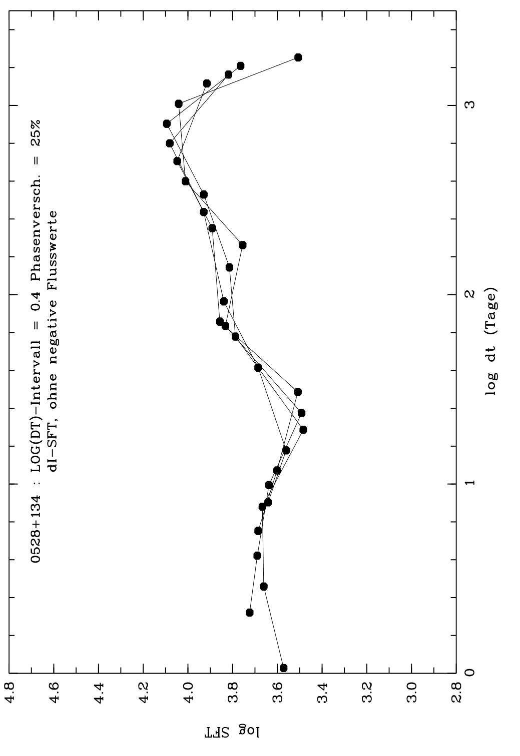


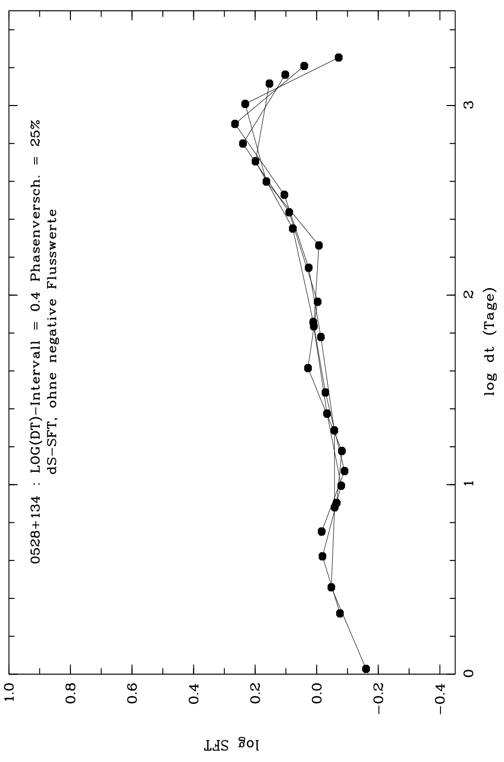
Geminga : Alle Beobachtungsperioden
log dt (Tage)
dI (10-8 Photonen cm-2 s-1)
Geminga : Alle Beobachtungsperioden
log dt(Tage)
dS (sigma)
Crab : Alle Beobachtungsperioden
log dt (Tage)
dI (10-8 Photonen cm-2 s-1)
Crab : Alle Beobachtungsperioden
log dt(Tage)
dS (sigma)

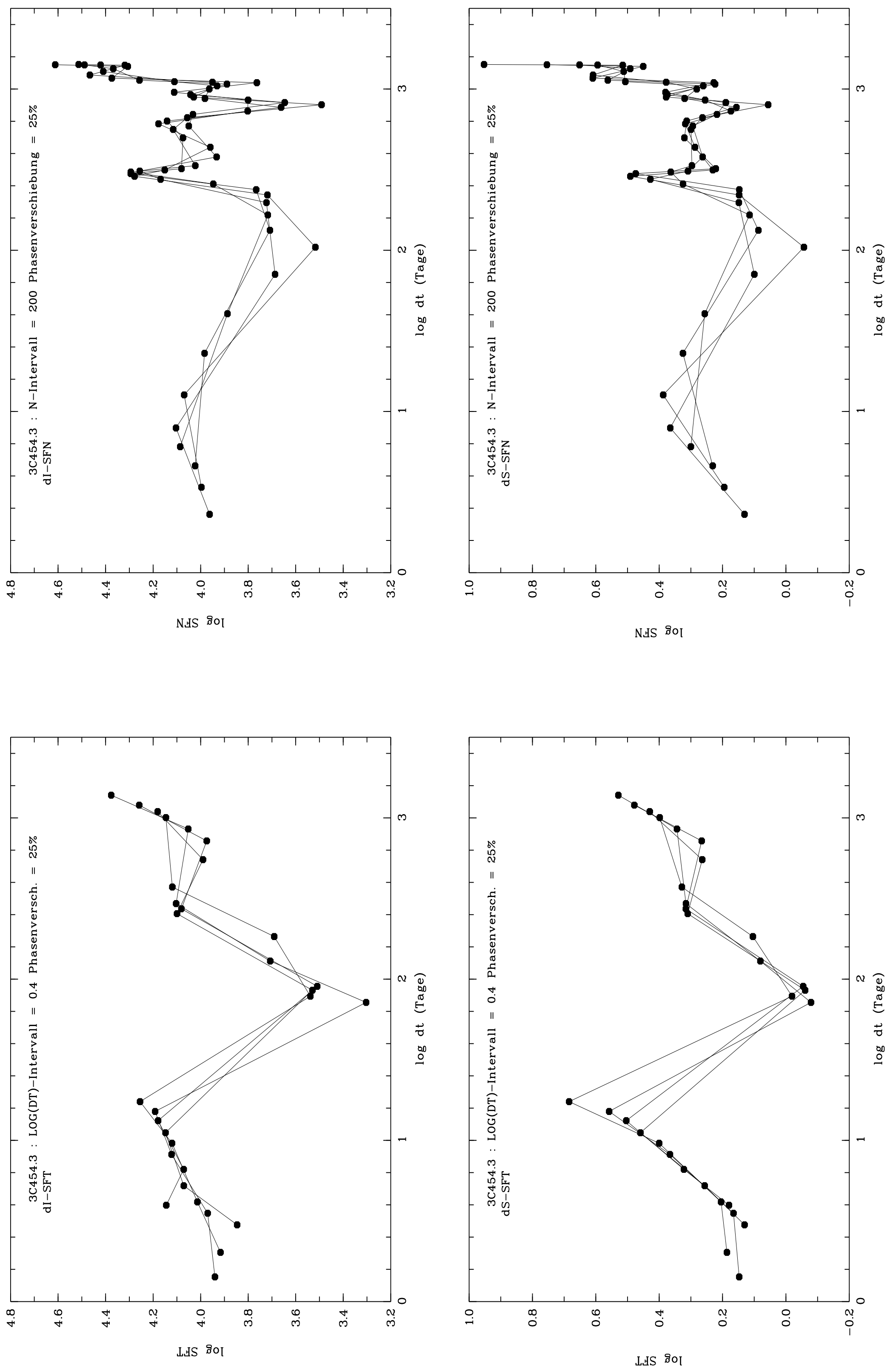

0528+134 : N-Intervall = 800 Phasenverschiebung = 25%
dI-SFN
log SFN
log dt (Tage)
0528+134 : N-Intervall = 800 Phasenverschiebung = 25%
dS-SFN
log SFN
log dt (Tage)
0528+134 : LOG(DT)-Intervall = 0.4 Phasenversch. = 25%
dI-SFT
log SFT
log dt (Tage)
0528+134 : LOG(DT)-Intervall = 0.4 Phasenversch. = 25%
dS-SFT
log SFT
log dt (Tage)

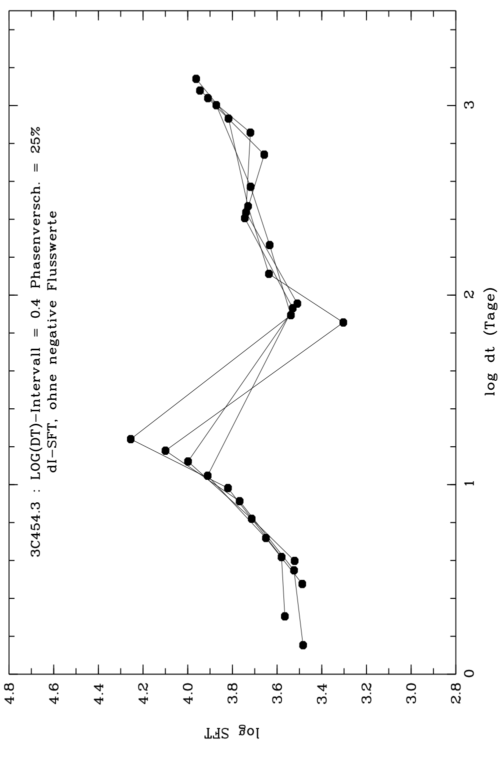

0528+134 : N−Intervall = 800 Phasenverschiebung = 25%
dI−SFN, ohne negative Flusswerte
log SFN
log dt (Tage)

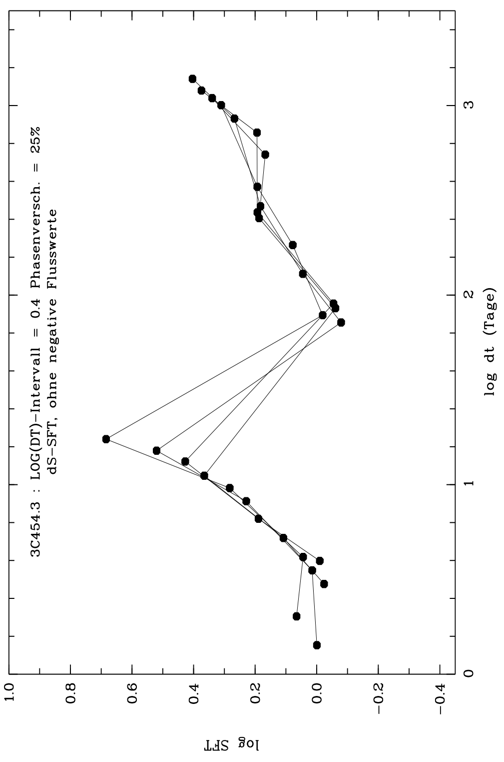

0528+134 : N−Intervall = 800 Phasenverschiebung = 25%
dS−SFN, ohne negative Flusswerte
log SFN
log dt (Tage)

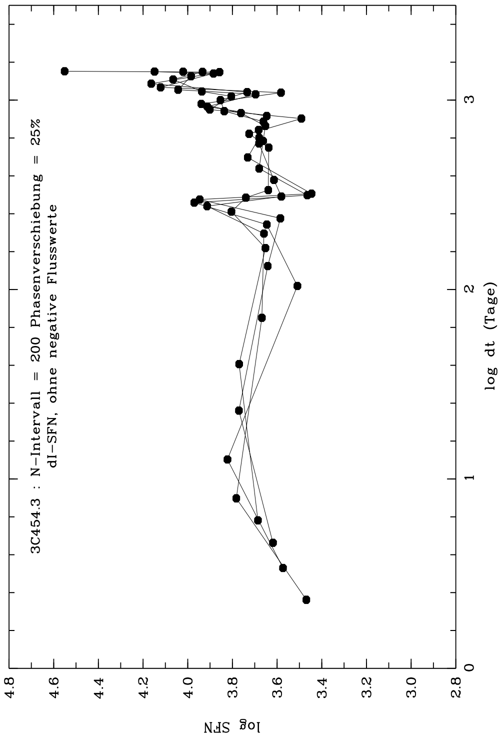

0528+134 : LOG(DT)−Intervall = 0.4 Phasenversch. = 25%
dI−SFT, ohne negative Flusswerte
log SFT
log dt (Tage)

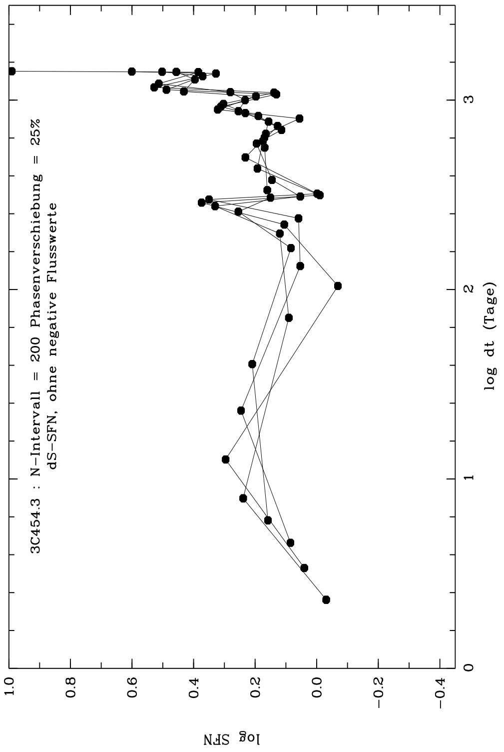

0528+134 : LOG(DT)−Intervall = 0.4 Phasenversch. = 25%
dS−SFT, ohne negative Flusswerte
log SFT
log dt (Tage)

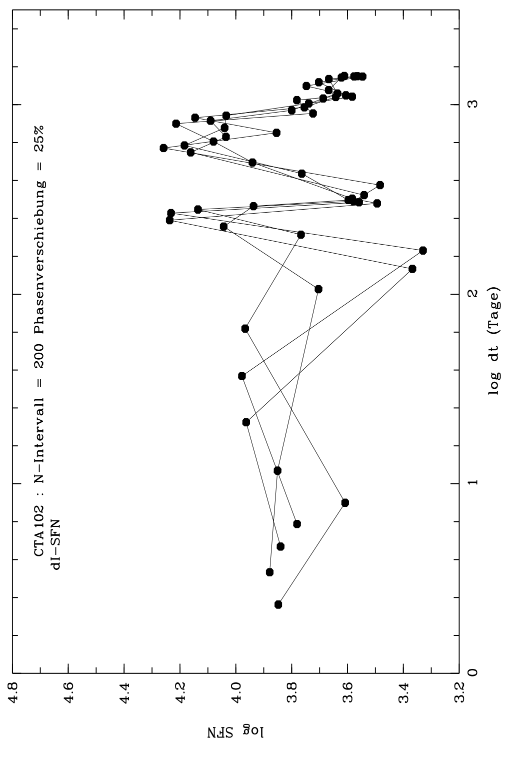

3C454.3 : N-Intervall = 200 Phasenverschiebung = 25%
dI-SFN
log SFN
log dt (Tage)
3C454.3 : N-Intervall = 200 Phasenverschiebung = 25%
dS-SFN
log SFN
log dt (Tage)
3C454.3 : LOG(DT)-Intervall = 0.4 Phasenversch. = 25%
dI-SFT
log SFT
log dt (Tage)
3C454.3 : LOG(DT)-Intervall = 0.4 Phasenversch. = 25%
dS-SFT
log SFT
log dt (Tage)

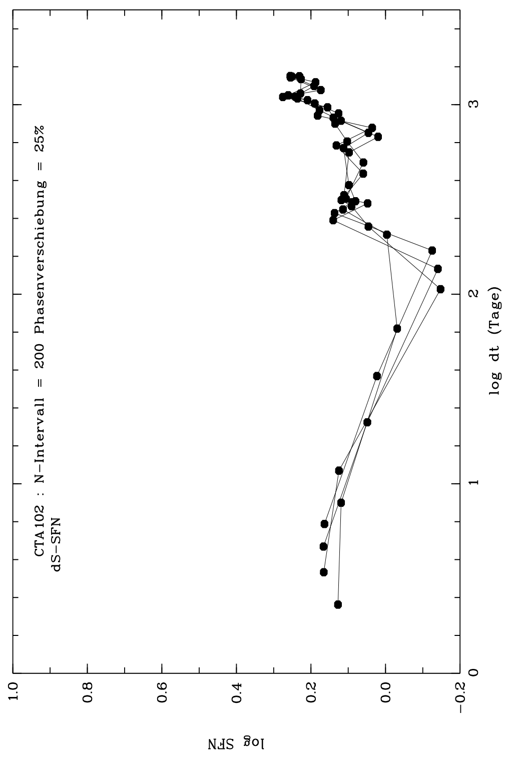

3C454.3 : LOG(DT)-Intervall = 0.4 Phasenversch. = 25%
dI-SFT, ohne negative Flusswerte
log SFT
log dt (Tage)

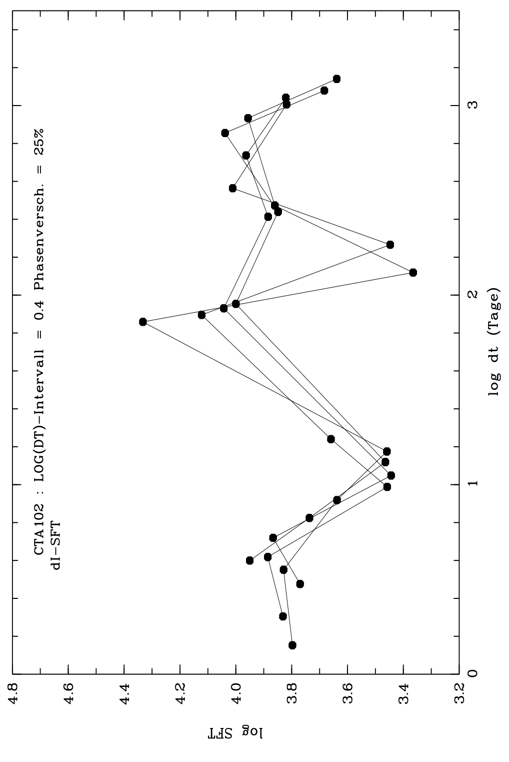

3C454.3 : LOG(DT)-Intervall = 0.4 Phasenversch. = 25%
dS-SFT, ohne negative Flusswerte
log SFT
log dt (Tage)

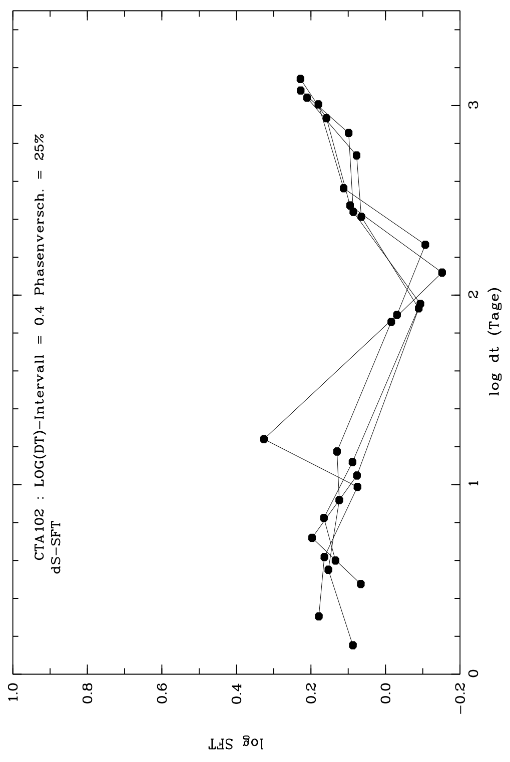

3C454.3 : N-Intervall = 200 Phasenverschiebung = 25%
dI-SFN, ohne negative Flusswerte
log SFN
log dt (Tage)

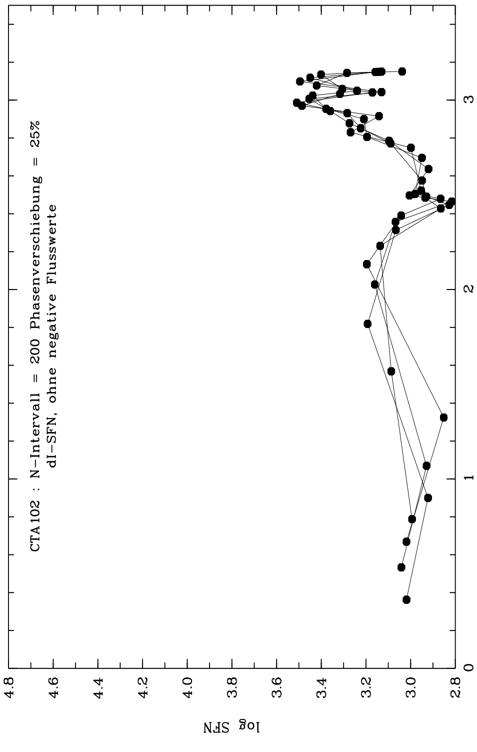

3C454.3 : N-Intervall = 200 Phasenverschiebung = 25%
dS-SFN, ohne negative Flusswerte
log SFN
log dt (Tage)

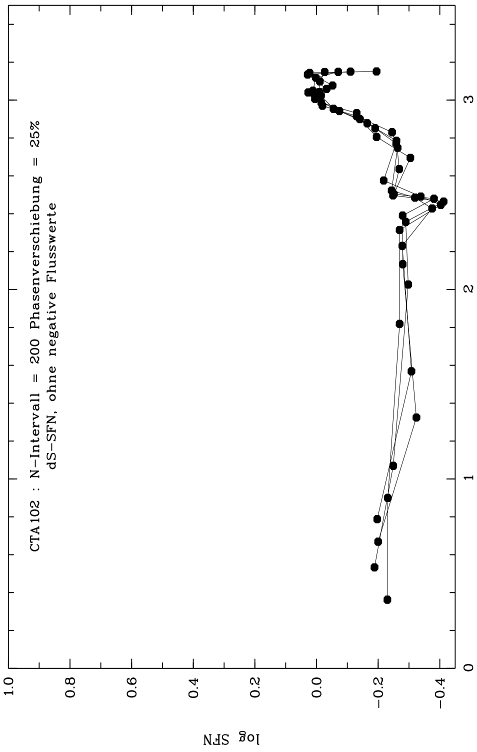

CTA102 : N-Intervall = 200 Phasenverschiebung = 25%
dI-SFN
log SFN
log dt (Tage)

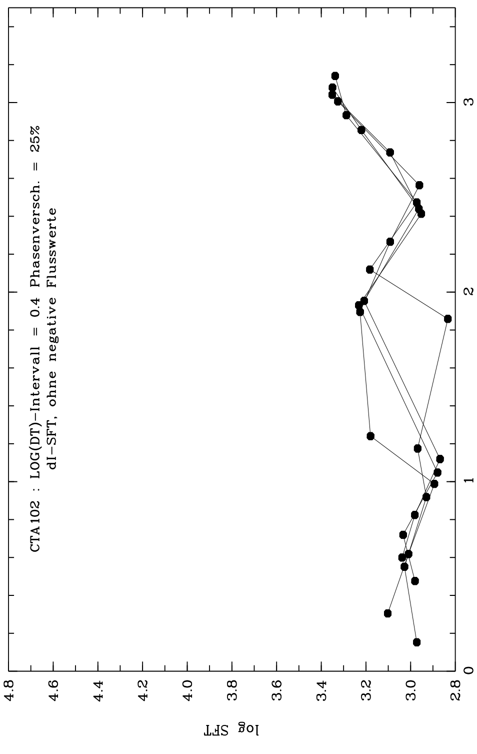

CTA102 : N-Intervall = 200 Phasenverschiebung = 25%
dS-SFN
log SFN
log dt (Tage)

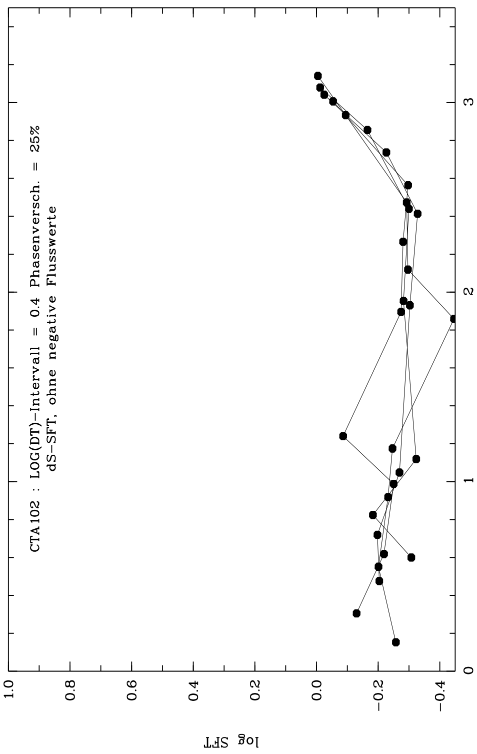

CTA102 : LOG(DT)-Intervall = 0.4 Phasenversch. = 25%
dI-SFT
log SFT
log dt (Tage)

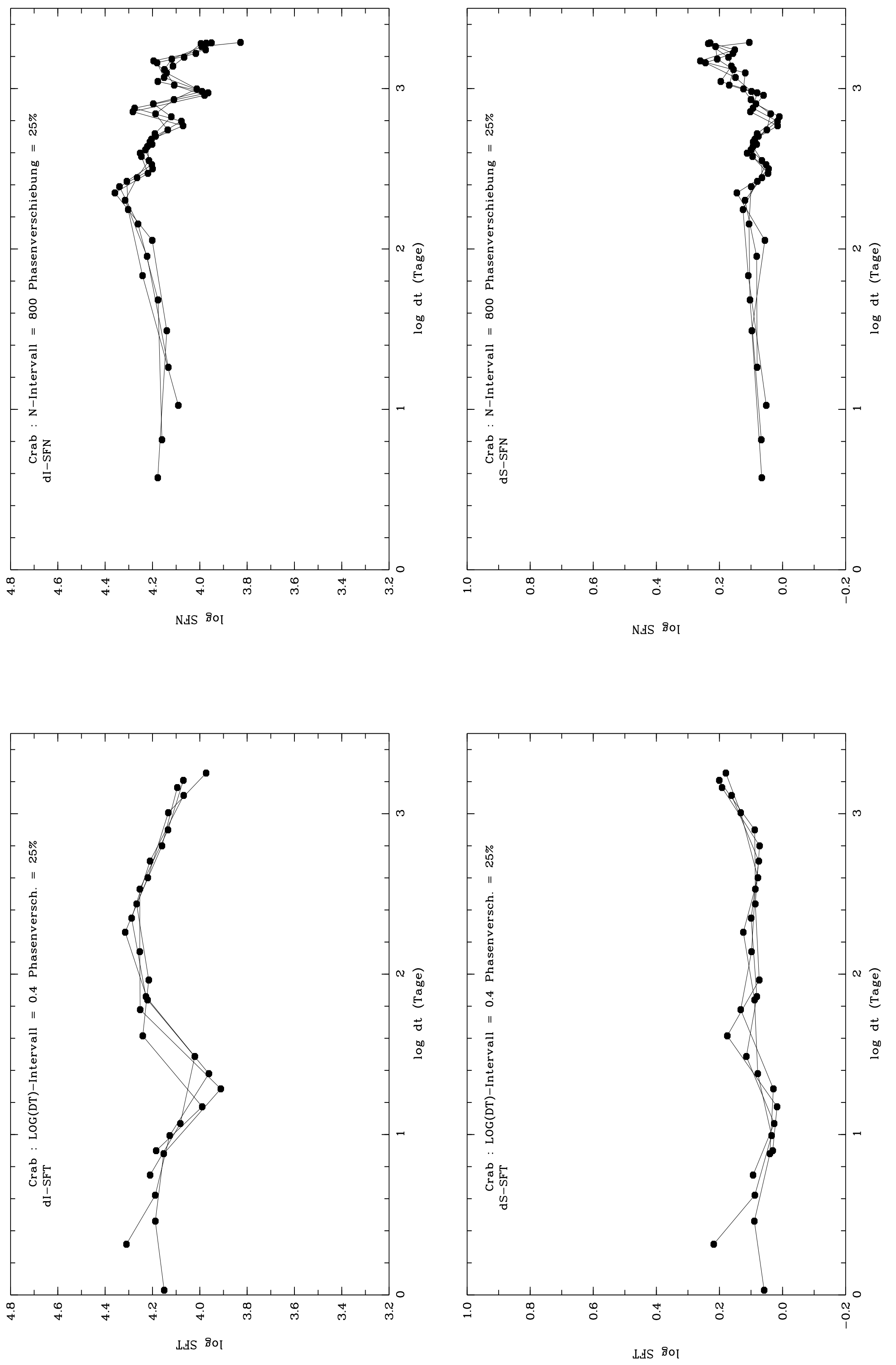

CTA102 : LOG(DT)-Intervall = 0.4 Phasenversch. = 25%
dS-SFT
log SFT
log dt (Tage)

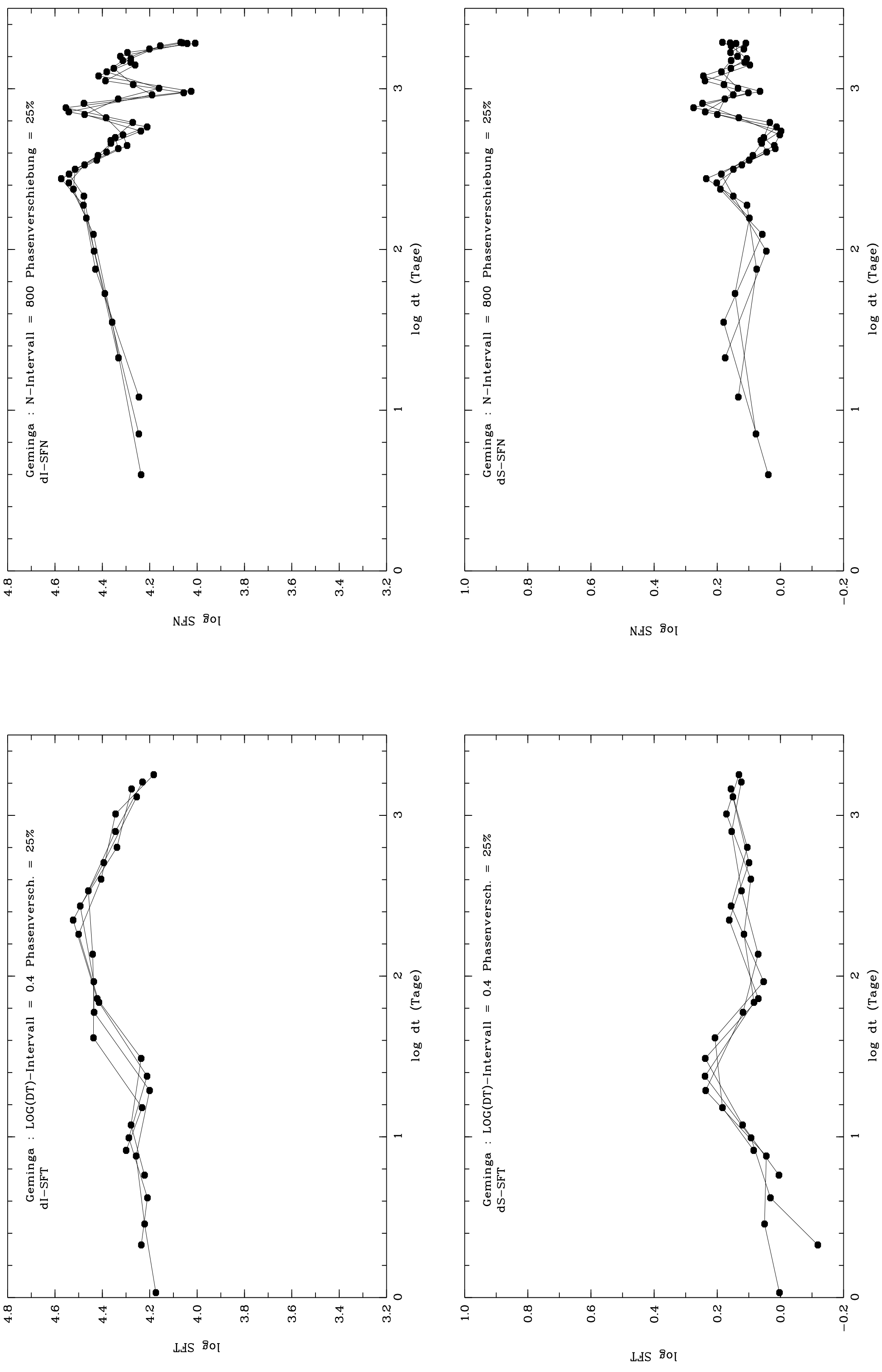

CTA102 : N-Intervall = 200 Phasenverschiebung = 25%
dI-SFN, ohne negative Flusswerte
log dt (Tage)
log SFN


CTA102 : N-Intervall = 200 Phasenverschiebung = 25%
dS-SFN, ohne negative Flusswerte
log dt (Tage)
log SFN


CTA102 : LOG(DT)-Intervall = 0.4 Phasenversch. = 25%
dI-SFT, ohne negative Flusswerte
log dt (Tage)
log SFT


CTA102 : LOG(DT)-Intervall = 0.4 Phasenversch. = 25%
dS-SFT, ohne negative Flusswerte
log dt (Tage)
log SFT


Crab : N-Intervall = 800 Phasenverschiebung = 25%
dI-SFN
log SFN
log dt (Tage)
Crab : N-Intervall = 800 Phasenverschiebung = 25%
dS-SFN
log SFN
log dt (Tage)
Crab : LOG(DT)-Intervall = 0.4 Phasenversch. = 25%
dI-SFT
log SFT
log dt (Tage)
Crab : LOG(DT)-Intervall = 0.4 Phasenversch. = 25%
dS-SFT
log SFT
log dt (Tage)


Geminga : N-Intervall = 800 Phasenverschiebung = 25%
dI-SFN
log SFN
log dt (Tage)
Geminga : N-Intervall = 800 Phasenverschiebung = 25%
dS-SFN
log SFN
log dt (Tage)
Geminga : LOG(DT)-Intervall = 0.4 Phasenversch. = 25%
dI-SFT
log SFT
log dt (Tage)
Geminga : LOG(DT)-Intervall = 0.4 Phasenversch. = 25%
dS-SFT
log SFT
log dt (Tage)

Danksagung

Bei all denen, die diese Arbeit wohlwollend begleitet haben, möchte ich mich herzlich bedanken.

Besondes danken möchte ich ...

Herrn Priv.-Doz. Dr. Stefan Wagner für die hervorragende Betreuung dieser Arbeit. Er war jederzeit ansprechbar und nahm sich stets Zeit für meine Fragen

Herrn Prof. Dr. Immo Appenzeller für die Möglichkeit, diese Arbeit an der Landessternwarte durchführen zu können und für die Erstellung des Zweitgutachtens

Frau Dr. Corinna von Montigny für die exzellente Unterstützung bei allen Fragen, die sich mit dem EGRET-Instrument und der Auswertung der Gammadaten befaßten und für die sehr angenehme Arbeitszimmeratmosphäre

Manami Sasaki, Dr. Jochen Heidt, Dr. Andreas Kaufer, Thomas Seitz und Dr. Erich Wälde für vielerlei Tips und Hilfe im Umgang mit MIDAS, C, UNIX oder Fortran

Monika Darr und Dr. Otmar Stahl für stete Hilfe bei Hardware-Problemen

Holger Bock für manch gutes Gespräch und für freundlichen Empfang in einer kalten, wolkigen Silvester-Beobachtungsnacht

Dr. Matthias Dietrich für manchen Tip und seine unnachahmliche Art, Dinge trocken auf den Punkt zu bringen

Marion Pfeiffer und Jörg Schweickhardt für viele Ratschläge, gute Gespräche und manche Begleitung zu köstlichem Mensamahl

allen Mitarbeitern der Landessternwarte für die angenehme Arbeitsatmosphäre.

Zu guter Letzt gebührt meinen Eltern ein großes Dankeschön. Ohne ihre finanzielle Unterstützung und Hilfe in vielerlei Hinsicht wäre mein Studium nicht möglich gewesen.

Erklärung:

Ich versichere, daß ich diese Arbeit selbständig verfaßt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Heidelberg, den 12. September 1997 ....
(Unterschrift)