Kapitel 6

Ergebnisse der Neutronenmessungen

COMPTEL ist als erstes Telekop in der Lage, die Einfallsrichtung eines Neutronensignals sowie die Energie der einzelnen Neutronen zu messen. Die Datenanalyse, wie sie in Abschnitt 3.5 beschrieben wurde, unterscheidet sich nicht wesentlich von derjenigen bei γ–Messungen. Die Abbildungseigenschaften COMPTELs für Neutronen wurden durch die Erzeugung des ersten Bildes der Sonne im 'Neutronenlicht' während dem Flare am 15. Juni 1991 unter Beweis gestellt (Ryan *et al.*, 1993b).

Die Messungen erlauben spektrale Aussagen, jedoch ist die Entfaltung und Interpretation von Neutronenspektren von der Behandlung der γ–Spektren grundsätzlich verschieden, da die bei der Erde eintreffenden Neutronen eine Energiedispersion aufweisen. Als massive Teilchen bewegen sie sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten entsprechend ihrer kinetischen Energie und benötigen daher für ihre Propagation von der Sonne zur Erde unterschiedliche Laufzeiten. Daher hängt das zu einem bestimmten Zeitpunkt bei der Erde gemessene Zählratenspektrum nicht nur von der Energieverteilung sondern auch vom zeitlichen Verlauf ihrer Emission ab. Die angewandte Methode zur Entfaltung der Neutronenspektren ist in Anhang B beschrieben.

6.1 Neutronen-Emission des Flares am 11. Juni 1991

Die Situation während der Beobachtung des Flares am 11. Juni ist in Abbildung 6.1 dargestellt. Vertikale Linien geben das Beobachtungsfenster für γ–Strahlung an, das durch Sonnenauf- und -untergang für CGRO festgelegt wird. Neutronen werden im gleichen Zeitfenster gemessen, das erreichbare Zeitfenster ihrer Aussendung verschiebt sich jedoch gemäß ihrer kinetischen Energie. Dieses Emissionsfenster wurde berechnet und die Flugzeit von Photonen addiert, um direkt mit dem gemessenen elektromagnetischen Signal vergleichen zu können. Von allen registrierten Neutronenereignissen (ohne Hintergrundereignisse) wurden die Emissionszeiten auf die gleiche Weise berechnet und in der Abbildung als Punkte mit eingezeichnet.

Ebenso wie für γ–Strahlung wird auch die Messung der Neutronen durch die instrumentelle Totzeit behindert. Wegen der längeren Laufzeit wird ein Neutronensignal frühestens — für $100\,MeV$-Neutronen, die zu Beginn des Flares emittiert werden — um etwa 2:07 UT ($7600\,s$) erwartet. Die Einschränkung durch die Totzeit ist zu diesem Zeitpunkt noch beträchtlich und bessert sich langsam etwa im Verlauf der nächsten 10 Minuten.

Die gemessene Zählrate, die auf Hintergrung und Totzeit korrigiert wurde, ist in Abbildung

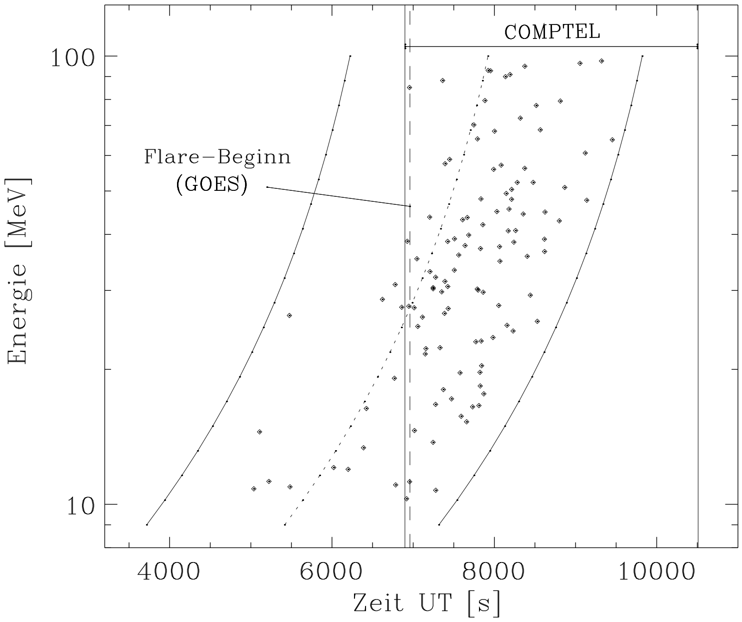


Abbildung 6.1: *Das Zeitfenster für die Neutronenbeobachtung am 11. Juni. Die vertikalen Linien geben das Beobachtungsfenster an. Die erreichbaren Emissionsperioden sind, bezogen auf das Eintreffen der γ–Strahlung, als Funktion der kinetischen Energie eingezeichnet. Ebenso sind die von COMPTEL gemessenen Neutronenereignisse (ohne Hintergrundereignisse) mit eingetragen.*

6.2 gezeigt. Für Abbildung 6.2a wurden Zeitintervalle von 50 s gewählt. Am auffälligsten ist eine Absenkung der Zählrate unter das Null-Niveau, die von der Hintergrundkorrektur herrührt, mit einigen kurzen, hohen Maxima. In der zweiten Hälfte der Beobachtungsperiode ergibt sich eine positive Zählrate, die bei Sonnenuntergang wieder gegen Null geht. Um diese Messung zu verstehen, muß der Einfluß der instrumentellen Totzeit untersucht werden.

Die Totzeitsituation ist in diesem Fall etwas verschieden von den γ–Messungen. Die Totzeit wird von weichen Röntgenquanten verursacht, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, jedoch bewegen sich die Neutronen langsamer und erreichen den Detektor daher später. Ohne eine äußere Neutronenquelle ist zu erwarten, daß jedes gemessene Signal durch eine korrekte Hintergrundsubtraktion und Totzeitkorrektur auf ein Null-Signal reduziert wird. Wächst der Einfluß der Totzeit an, so werden während eines bestimmten Zeitraums immer weniger Ereignisse gemessen, die durch die Korrektur eine immer stärkere Gewichtung erhalten. Zu einem extremen Fall kommt es bei hoher Totzeit und sehr kurzen Intervallen. Es wird möglicherweise gar kein Ereignis — dann resultiert durch die Subtraktion des Hintergrunds ein negatives Signal — oder nur ein einelnes Ereignis nachgewiesen — dann führt der große Korrekturfaktor zu einem sehr hohen Signal. Dieser Fall liegt vor dem Eintreffen der Flare-Neutronen vor.

Um diese Argumentation zu überprüfen, wird die Intervalldauer variiert. Für genügend lange Intervalle (das heißt mindestens ein Ereignis pro Intervall) sollte sich zu Beginn des Flares ein Null-Signal erreichen lassen. In Abbildung 6.2b ist das Ergebnis für eine Intervalldauer von 500 s dargestellt. Es zeigt sich, daß das Signal innerhalb der statistischen Meßunsicherheit tatsächlich mit dem Null-Niveau verträglich ist, solange man Ankunftszeiten vor 2:23 UT (8600 s) betrachtet. Danach kann ein deutliches Meßsignal aufgezeichnet werden, das die Ankunft der Flare-Neutronen anzeigt. Ein Vergleich mit der frühestmöglichen Ankunftszeit um 2:07 UT läßt vermuten, daß die ersten Neutronen nicht direkt zu Beginn des Flares erzeugt worden sind.

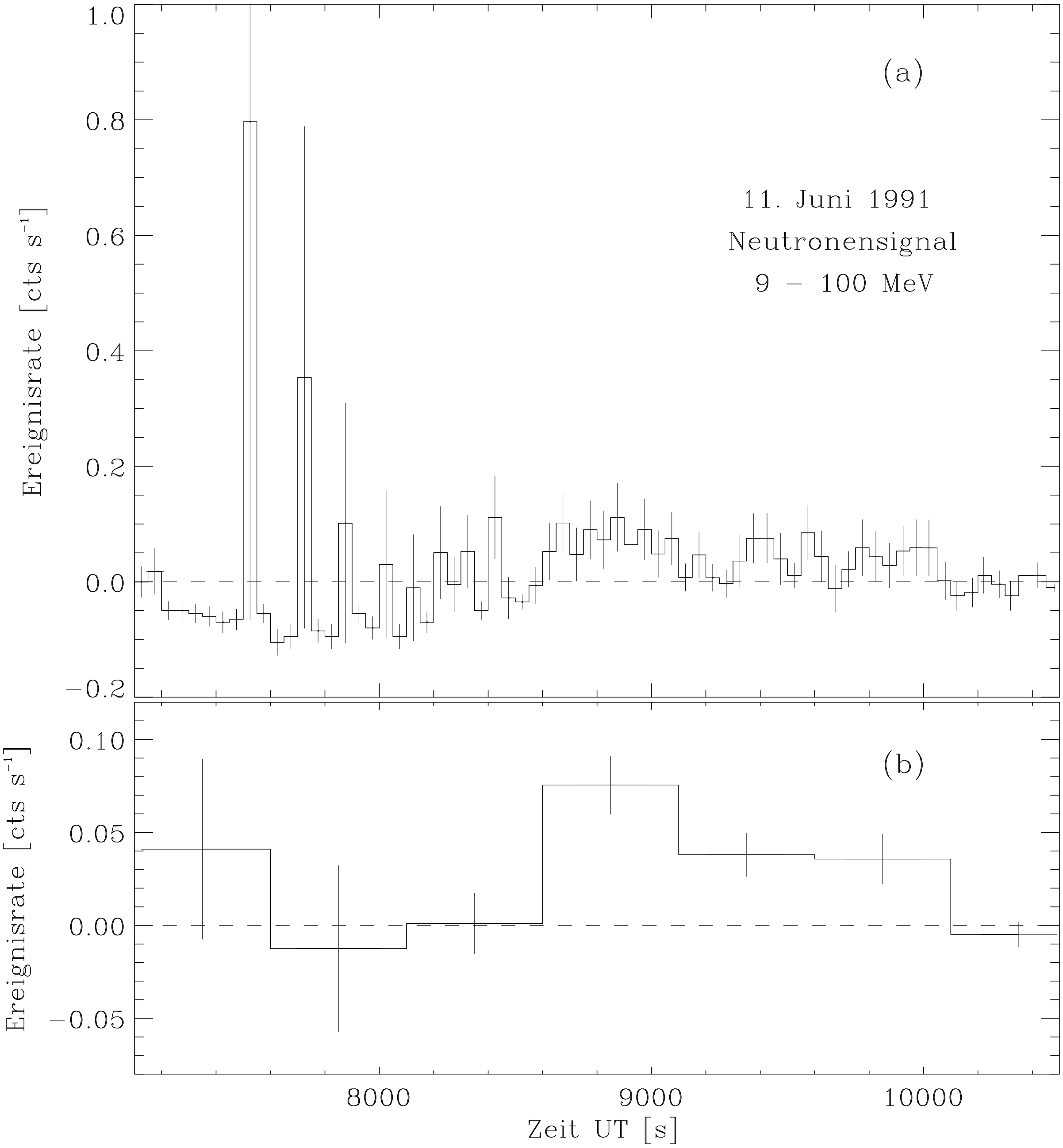


Abbildung 6.2: *Das gemessene Neutronensignal am 11. Juni, korrigiert auf Hintergrund und Totzeit, für unterschiedliche Zeitauflösung.*
Für Abbildung (a) wurde eine Intervalldauer von 50 s gewählt. Während des am stärksten von Totzeit beeinflußten Zeitraums weist die Zählrate negative Werte auf. Die kurzzeitigen Spitzen stammen von einzelnen Ereignissen, die durch die Totzeitkorrektur mit großen Faktoren multipliziert werden. In Abbildung (b) sind die gleichen Meßdaten für eine Intervalldauer von 500 s gezeigt. Offensichtlich ist das korrigierte Signal bis 2:23 UT (8600s) innerhalb einer 1σ Unsicherheit mit einer Nullmessung verträglich. Nach diesem Zeitpunkt ergibt sich eine statistisch signifikante Messung, die dem Eintreffen der solaren Neutronen zugeschrieben werden kann.

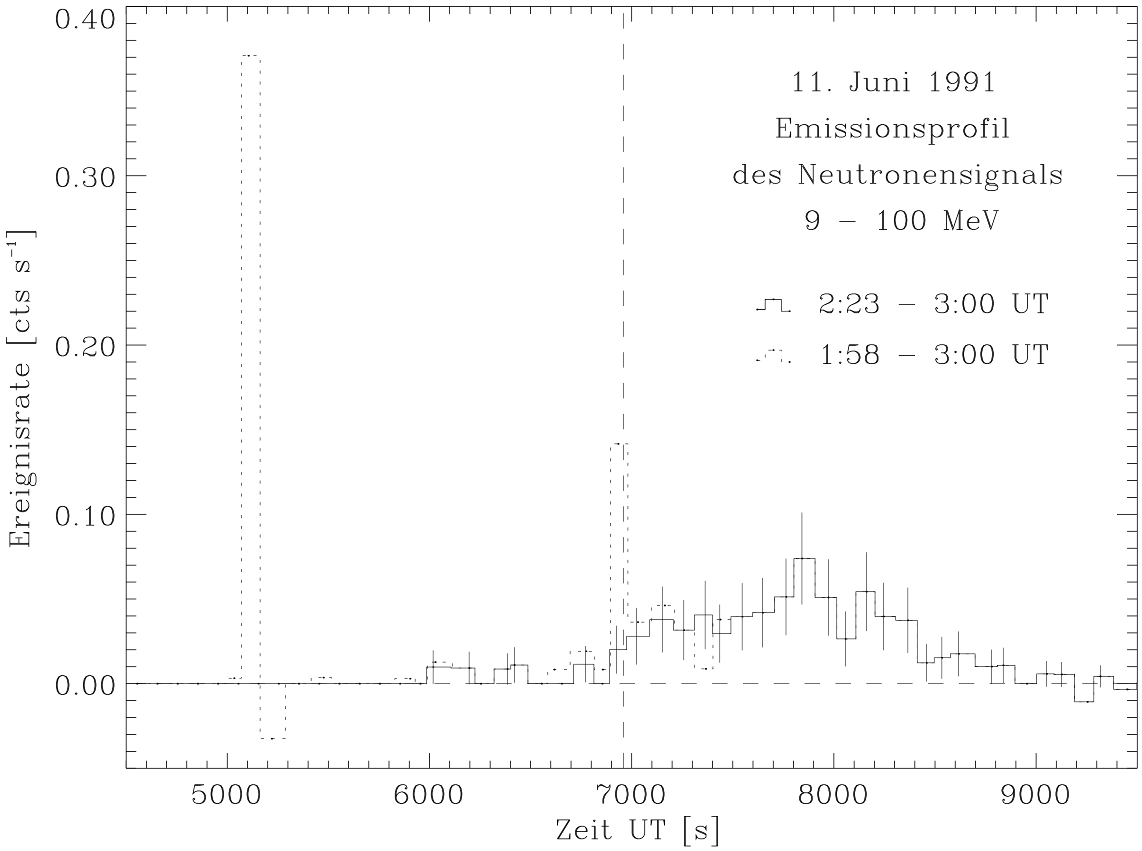
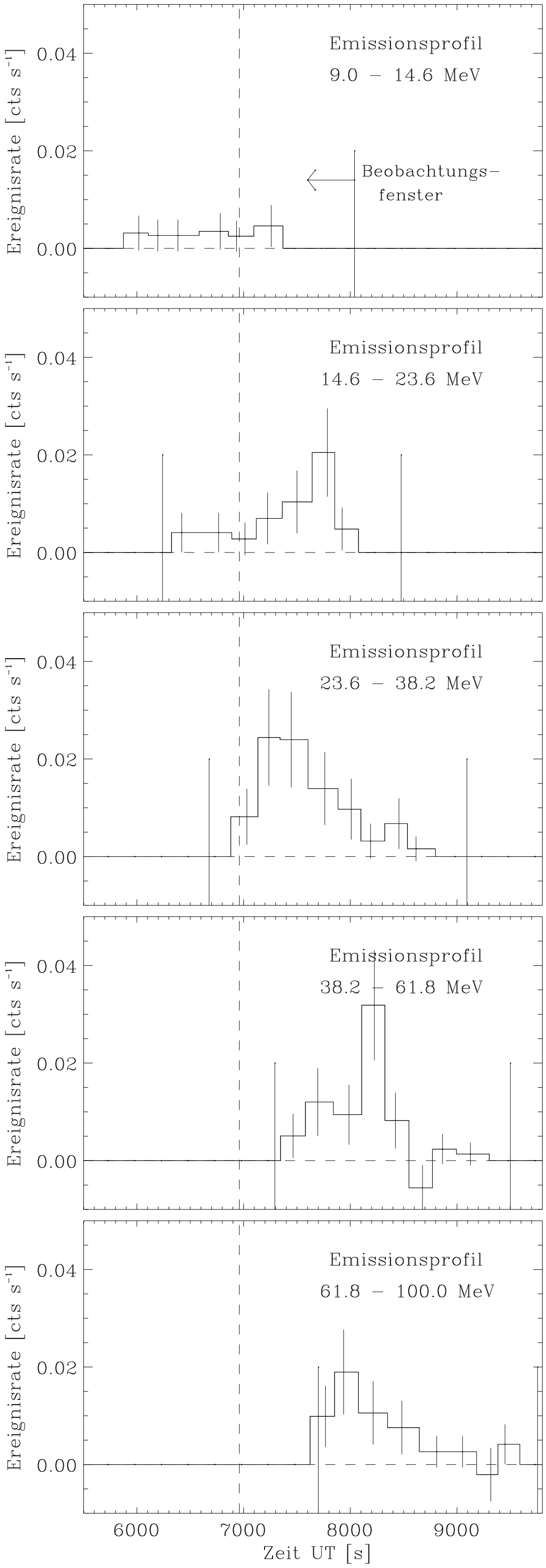


Abbildung 6.3: *Das Emissionsprofil der Neutronen am 11. Juni für den gesamten COMPTEL Energiebereich. Die Intervalldauer beträgt 100s. Im durchgezogenen Histogramm sind nur Ereignisse mit einer Ankunftszeit nach 2:23 UT enthalten, das gestrichelte Histogramm schließt alle Ereignisse ein (Erklärung siehe Text).*

Die Nachweistechnik COMPTELs ermöglicht die Messung der individuellen Neutronenenergien. Damit kann für jedes einzelne Neutron die Laufzeit und damit der Emissionszeitpunkt berechnet werden. Aufgrund der Unsicherheit bei der Energiebestimmung ergibt sich dafür eine Unsicherheit im Bereich von etwa $2\,min$. In Abbildung 6.3 ist das Emissionsprofil aller Neutronen angegeben, die nach 2:23 UT gemessen werden. Ebenso wie in Abbildung 6.1 wurde die Flugzeit von Photonen addiert. Das auf die Emissionszeit zurückgerechnete Neutronensignal setzt zeitgleich mit der Röntgenstrahlung ein, die von GOES-7 gemessen wurde. Offenbar liefern die Neutronen bei den hohen Energien kein signifikantes Signal in Abbildung 6.2.

Die Ereignisse, die vor 2:23 UT gemessen werden, sind als gestricheltes Histogramm ebenfalls in dieser Abbildung zu sehen. Die meisten dieser Ereignisse weisen einen Emissionszeitpunkt auf, der vor dem Beginn des Flares liegt. Zusätzlich zur vorherigen statistischen Betrachtung können diese Ereignisse damit auch mit einer physikalischen Begründung von der Analyse ausgeschlossen werden und sind als instrumentelle Hintergrundereignisse zu interpretieren.



Um die unterschiedlichen Aussagen zum Beginn der Neutronenemission zu untersuchen, werden die Neutronen in fünf Energiebereiche aufgeteilt (siehe Abbildung 6.1).

Zunächst fällt die unterschiedliche Lage der Zeitfenster auf. Bei mittleren Energien liegt die Signifikanz jeweils deutlich über $2\,\sigma$. Von den Neutronen mit Energien $14.7 - 38.2\,MeV$ kann auf ein Einsetzen der Neutronenemission zu Beginn des Flares geschlossen werden. Aufgrund ihrer längeren Laufzeit treffen diese Neutronen nicht vor 2:23 UT bei der Erde ein (vgl. Abbildung 6.3).

Es kann kein signifikantes Signal im untersten Energiebereich nachgewiesen werden. Hier beobachtet man jedoch vor allem einen Zeitraum vor dem Flarebeginn und ein Neutronensignal des Flares würde erst gegen Ende des Beobachtungsfensters eintreffen. Im höchsten Energieband kann ebenfalls nur ein kleines Signal mit einer Signifikanz von $1.5\,\sigma$ festgestellt werden. Auch eine Aufhebung der Beschränkung auf Meßzeiten nach 2:23 UT liefert kein höheres Signal. Allerdings sinkt bei höheren Energien sowohl die Anzahl der Neutronen als auch die Empfindlichkeit des Instruments (vgl. Abbildung B.2 in Anhang B), so daß ein schwaches Signal möglicherweise durch die instrumentelle Totzeit verlorengeht.

Abbildung 6.4: *Das Emissionsprofil der Neutronen am 11. Juni für verschiedene Energiebänder. Es wird die gleiche Methode wie in Abbildung 6.3 verwendet und nur Ereignisse berücksichtigt, die nach 2:23 UT an der Erde eintreffen. Der Flare-Beginn nach der GOES-7 Messung ist wieder als gestrichelte Linie eingezeichnet.*

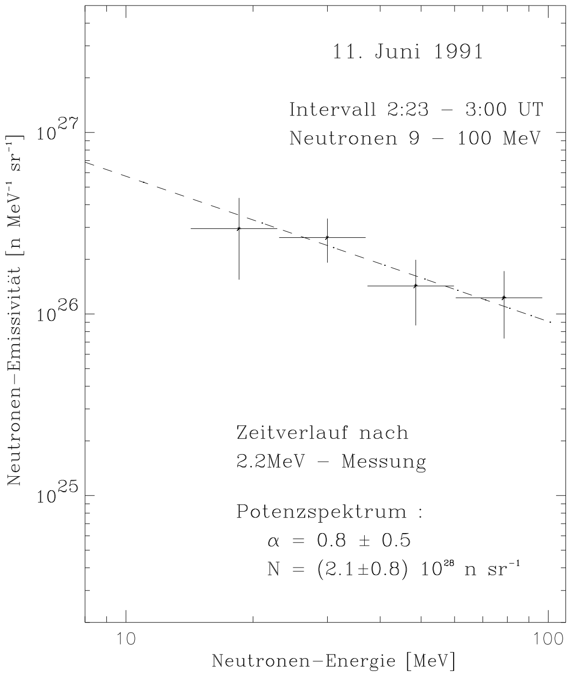


Abbildung 6.5: *Neutronen-Emissivität am 11. Juni.*

Für eine Entfaltung der Meßdaten werden Energiebereiche definiert, die noch genügend Statistik enthalten sollen. Es werden fünf Bereiche in logarithmischer Aufteilung verwendet, wie sie in Abbildung 6.1 verwendet werden. Um die Zeit- und Energieabhängigkeit getrennt behandeln zu können (siehe Anhang B, Gleichung B.6), sollte die Laufzeit der Neutronen innerhalb eines Energiebandes nicht stark variieren. Die Laufzeitdifferenzen sind im niedersten Energieband am größten. Dafür ergibt sich eine mittlere Laufzeit von 55 min und eine akzeptable Abweichung von etwa $\pm 6\,min$. Der Referenzzeitpunkt für die Entfaltung (siehe Anhang B) wird auf das Maximum der impulsiven Phase um 2:05 UT gelegt. Auf die Methode zur Behandlung des Hintergrunds wird ebenfalls auf Anhang B verwiesen.

Um das Zeitprofil der Neutronenproduktion festzulegen, wird die Messung der 2.2 MeV-Linie herangezogen. Da diese Photonen von Neutronen in etwa demselben Energiebereich erzeugt werden, wird angenommen, daß sie den Zeitverlauf der Neutronenproduktion mit ausreichender Genauigkeit widerspiegeln. Das verwendete Zeitprofil der 2.2 MeV-Emission ist in den Abbildungen 5.3b auf Seite 62, bzw. 5.4 auf Seite 66 gezeigt. Das entfaltete Neutronenspektrum ist in Abbildung 6.5 dargestellt.

Ein Potenzgesetz wird an die Datenpunkte angepasst und ebenfalls abgebildet. Die Integration über dieses Spektrum ergibt eine gesamte gerichtete Emissivität von $(2.1 \pm 0.8) \cdot 10^{28}$ n sr^{-1} im Energiebereich $9 - 100\,MeV$. Der Spektralindex liegt bei 0.8 ± 0.6 und deutet damit auf ein sehr hartes Spektrum hin. Der niederenergetische Datenpunkt wird für die Analyse nicht betrachtet, da er kein signifikantes Signal des Flares enthält.

Durch den Einfluß der instrumentellen Totzeit zu Beginn der Neutronenmessung und das Ende der Beobachtungsperiode um 3:00 UT ergeben eine starke Beschränkung des beobachtbaren Emissionszeitraums. Daher sind die verwertbaren Meßdaten vor allem auf mittlere Neutronenenergien eingeschränkt und erlauben keine genaue Festlegung des Spektrums. Die wichtigsten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen: Es wird eine zeitlich ausgedehnte Neutronenerzeugung mit einer gerichteten Emissivität von etwa $2 \cdot 10^{28}$ n sr^{-1} im Energiebereich von COMPTEL beobachtet, deren Beginn mit großer Wahrscheinlichkeit mit dem Flarebeginn um 1:56 UT koinzidiert.

6.2 Neutronen-Emission des Flares am 15. Juni 1991

Am 15. Juni stellt sich die Situation etwas anders dar. Das für die γ–Beobachtung ungünstige Zeitfenster weit nach der impulsiven Phase gibt den Neutronen — vor allem bei den niederen Energien — genügend Zeit für ihre Ausbreitung. Trotz der kürzeren Zeitfenster, die hier zusätzlich von Durchquerungen der SAA beschnitten werden, läßt sich die Neutronenemission über einen weiten Zeitraum beobachten. Ein Neutronensignal kann über zwei Beobachtungsperioden verfolgt werden, die beide in Abbildung 6.6 dargestellt sind. Die Emissivitätszeiten der Neutronen mit den niedrigsten Energien reichen fast bis an den Beginn des Flares zurück.

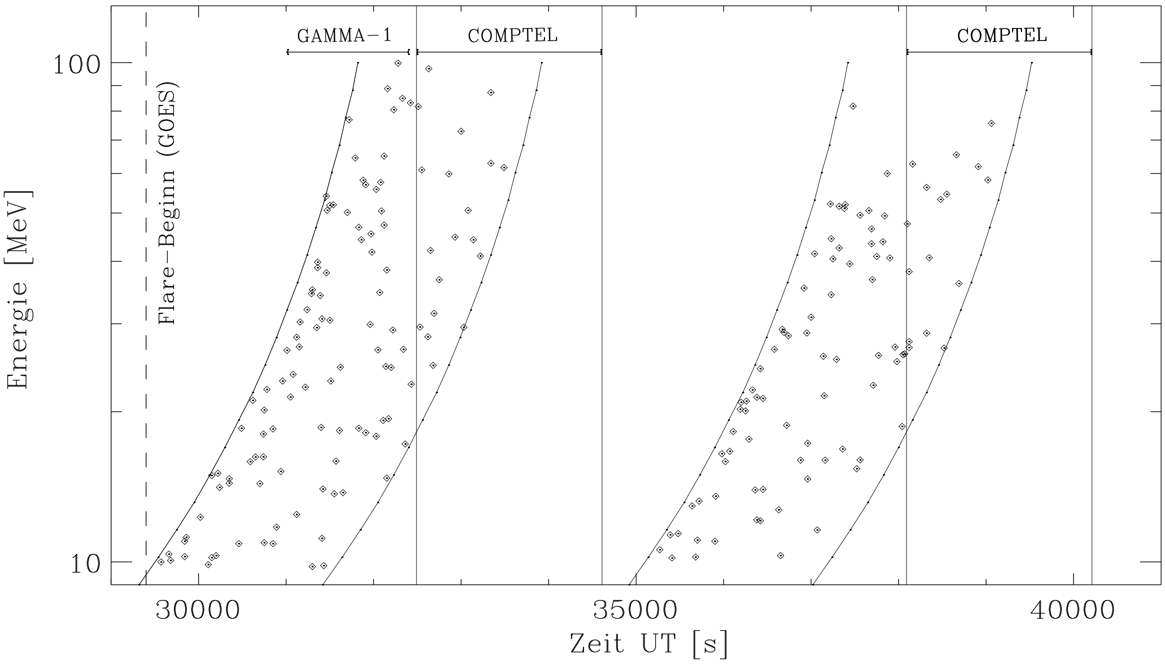


Abbildung 6.6: *Zeitfenster für die Neutronenbeobachtung am 15. Juni über zwei Satellitenorbits (zur Erklärung siehe Abbildung 6.1).*

Abbildung 6.7 zeigt die gemessenen Zählraten beider Beobachtungsperioden. In der ersten Periode ist für das Signal (etwa 6 σ) ein zeitlicher Abfall feststellbar, aber dieses 'Abklingen' muß nicht notwendigerweise von einer zeitlichen Änderung der Neutronenproduktion verursacht sein. In der zweiten Periode kann noch ein Signal mit einer Signifikanz von 3.7 σ gemessen werden.

Auf die gleiche Weise wie beim 11. Juni-Flare wird aus der Energiemessung ihr Emissionszeitpunkt abgeleitet. Das Ergebnis ist in Abbildung 6.8 gezeigt.

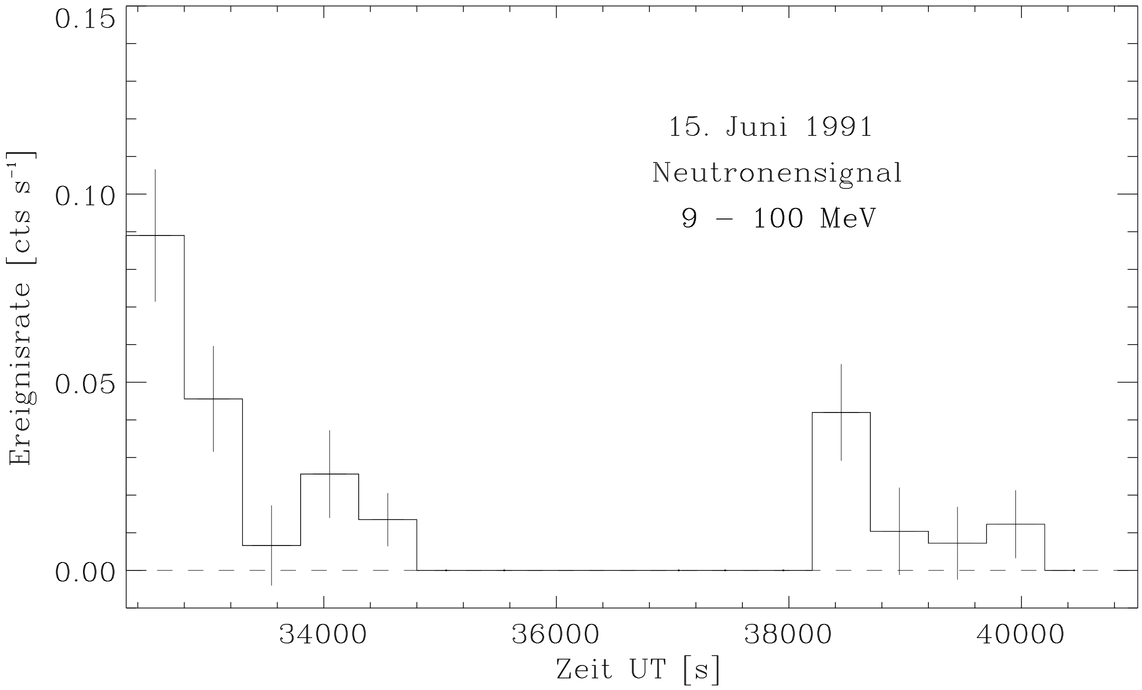


Abbildung 6.7: *Das gemessene Neutronensignal am 15. Juni, korrigiert auf Hintergrund und Totzeit im COMPTEL-Energiebereich für Zeitintervalle von 500s (vgl. Abbildung 6.2).*

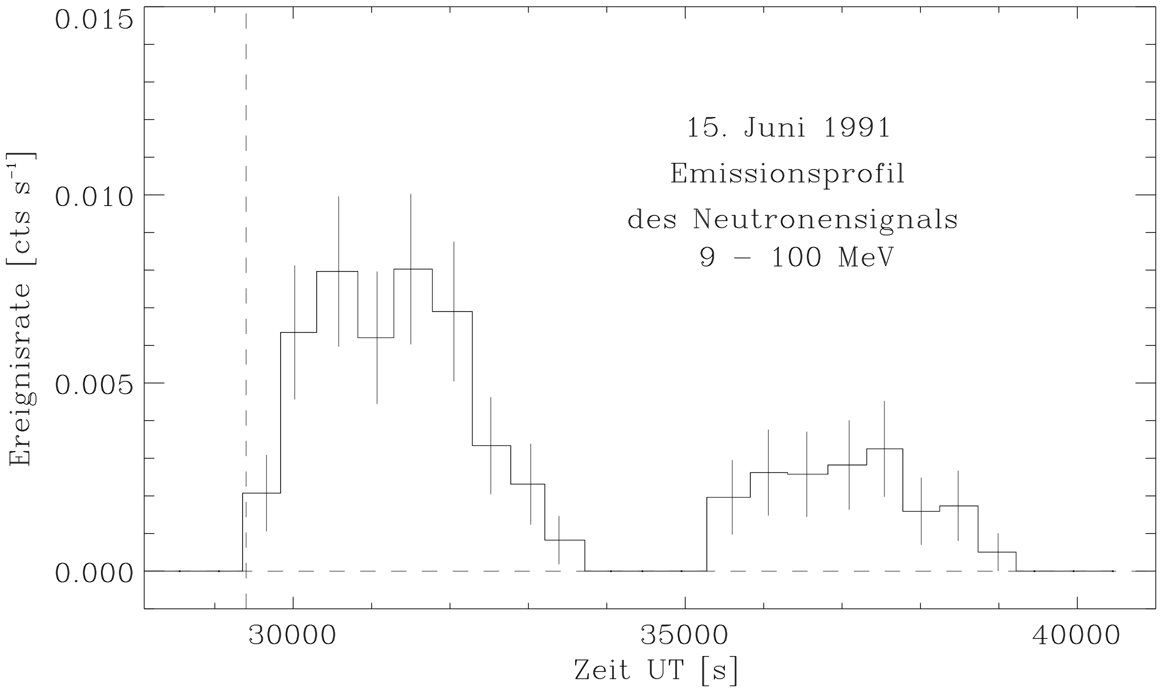


Abbildung 6.8: *Das Emissionsprofil der Neutronen am 15. Juni im Energiebereich* 9 – 100MeV*. Es wird ebenfalls eine Intervalldauer von 500s verwendet (vgl. Abbildung 6.3).*

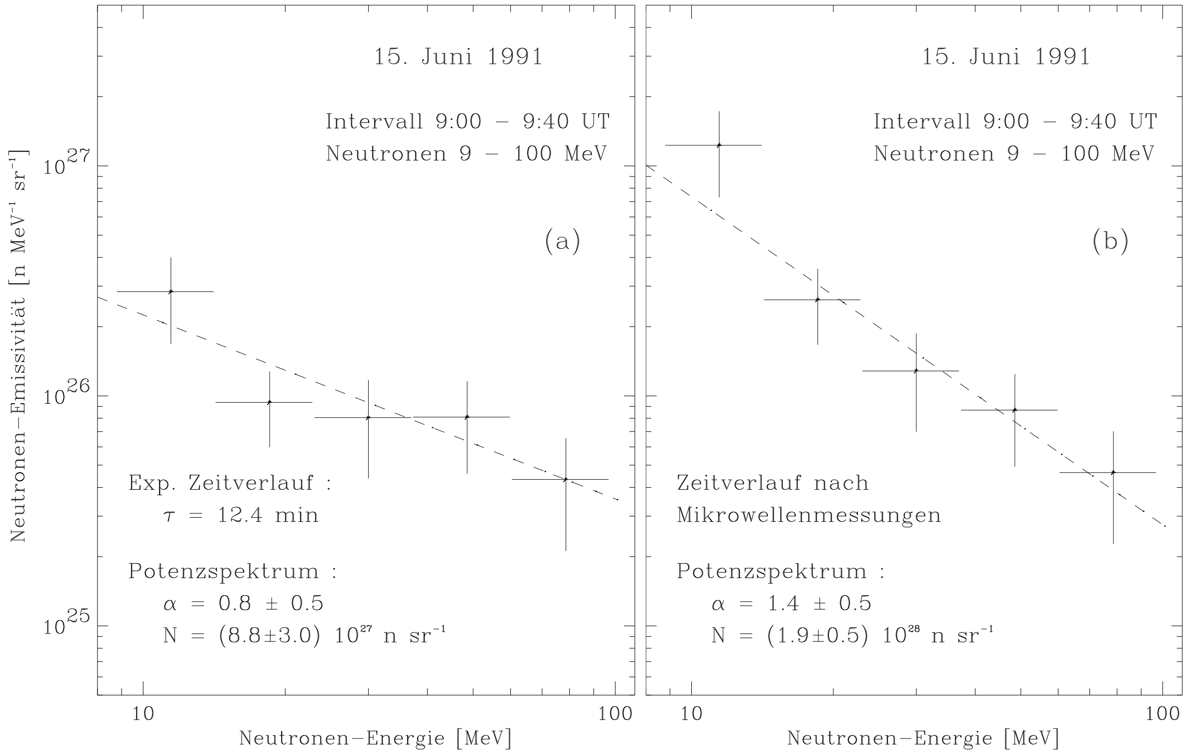


Abbildung 6.9: *Die Neutronen-Emissivität für die erste Beobachtungsperiode des Flares am 15. Juni. Zwei unterschiedliche Methoden werden zur Entfaltung angewandt.*

Abbildung 6.9 zeigt zwei entfaltete Neutronenspektren für die erste Beobachtungsperiode, die durch unterschiedliche Methoden erhalten wurden. Die zugrundegelegten Zeitprofile wurden auf verschiedene Weise bestimmt:

Für die Entfaltung in Abbildung 6.9a wurde ein exponentielles Abklingen als Zeitprofil angenommen. Der Abfall mit einer Zeitkonstante von 12.4 min entspricht für den Zeitraum der Messung dem Verhalten der 2.2 MeV-Linienemission. Dieses exponentielle Verhalten wird nun auf frühere Zeitpunkte vor der γ–Messung bis zum Beginn des Flares extrapoliert. Das unter dieser Annahme entfaltete Neutronenspektrum läßt sich durch einen Spektralindex von 0.8 ± 0.6 beschreiben und die gerichtete Emissivität beträgt $(8.8 \pm 3.0) \cdot 10^{27}$ n sr^{-1}.

Ein anderes Modell für das Zeitprofil der Neutronenproduktion ergibt sich aus den Mikrowellenmessungen das 15. Juni-Flares (Kocharov G. *et al.*, 1994), die in Abbildung 4.6 auf Seite 56 gezeigt sind. Die Emission im Mikrowellenbereich wird von Elektronen verursacht und zeigt keinen direkten Zusammenhang mit der Produktion von Neutronen durch Protonen und Ionen. Allerdings scheinen die Flüsse von Mikrowellen, nuklearer und pionischer Emission in den späten Phasen des Flares zu korrelieren. Unter der Annahme, daß diese Korrelation auch zu Zeiten vor den γ–Messungen aufrechterhalten ist, wird das Mikrowellenprofil als Maß für die Neutronenproduktion verwendet. Das entfaltete Spektrum ist in Abbildung 6.9b gezeigt. Die Datenpunkte bei hohen Energien ändern sich wenig, jedoch ist die Emissivität bei niederen Energien erhöht, da das Mikrowellenprofil zu früheren Zeiten unter dem exponentiellen Zeitprofil verläuft. Dies ergibt ein deutlich steiler verlaufendes Spektrum mit einem Index von 1.4 ± 0.5. Die gesamte gerichtete Emissivität beträt $(1.9 \pm 0.5) \cdot 10^{28}$ n sr^{-1}.

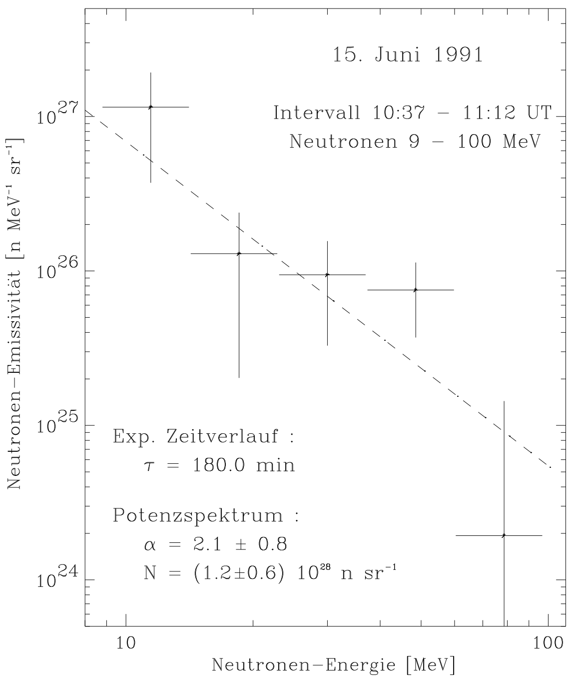


Abbildung 6.10: *Die Neutronen-Emissivität für die zweite Beobachtungsperiode des Flares am 15. Juni.*

Die Entfaltung der zweiten Periode bietet eine etwas geringere Statistik, jedoch kann die vorhergehende 2.2 MeV-Messung als Produktionsverlauf der Neutronen verwendet werden. Aus Abbildung 6.6 ist ersichtlich, daß die Neutronenproduktion bis etwa 9:45 UT zurückreicht. Dies ist etwa der Zeitpunkt, an dem der Übergang von der schnelleren zur langsamen Abklingphase stattfindet (vgl. Abbildung 5.4 auf Seite 66). Daher genügt zur Berechnung die lange Zeitkonstante von 180 min. Die Emissivität liegt in der gleichen Größenordnung wie in der ersten Beobachtungsperiode oder sogar darüber, je nach betrachteter Entfaltung der ersten Periode. Dies zeigt, daß die Neutronenproduktion über einen Zeitraum von über einer Stunde aufrechterhalten oder sogar gesteigert worden ist.

Um den Einfluß des gewählten Zeitprofils auf die resultierenden spektralen Parameter zu untersuchen, werden die Daten der ersten Periode, die die höchste Signifikanz aufweisen, mit Exponentialfunktionen mit unterschiedlichen Zeitkonstanten τ entfaltet. Wird beispielsweise die Zeitkonstante τ von 10 min auf 100 min (Faktor 10) erhöht, so verändert sich der Spektralindex von 0.6 nach 2.0 und die gesamte gerichtete Emissivität vergrößert sich von $(7.2 \pm 3.0) \cdot 10^{27}$ n sr^{-1} auf $(3.8 \pm 1.0) \cdot 10^{28}$ n sr^{-1} (Faktor 5). Offensichtlich erlaubt die Methode keine Festlegung des Spektralindex' solange keine zuverlässigen Annahmen über die Neutronenproduktion gemacht werden können. Die Emissivität verändert sich jedoch in einem engeren Rahmen und besitzt daher eine höhere Aussagekraft.

Die Neutronendaten der ersten Periode wurden von Debrunner *et al.* (1993) untersucht. Es wurde die gleiche Methode zur Entfaltung verwendet. Als Zeitprofil wurde ein exponentielles Verhalten mit einer Abklingzeit von 13.9 min angenommen, wie sie sich aus dem γ–Zeitprofil des gesamten COMPTEL-Energiebereichs ergibt (McConnell *et al.*, 1993). Es wurde ein Spektrum abgeleitet, das einen spektralen Index von etwa 1.5 aufweist. Der geänderte Index läßt sich mit der Verwendung einer vorläufigen Abschätzung der Neutroneneffizienz in Debrunner *et al.* (1993) erklären.

6.3 Vergleich mit anderen Messungen

Das Meßprinzip von COMPTEL erlaubt die Bestimmung der auf der Sonne emittierten Neutronen auf zweierlei Arten: Zum einen aus der direkten Messung der solaren Neutronen und zum anderen durch die Information aus der 2.2 MeV-Linie. Um diese Linie zu erzeugen, dringt ein Teil der produzierten Neutronen in die Photospäre ein, ein Teil davon wird auf Wasserstoff eingefangen und erzeugt ein γ–Quant, ein Bruchteil der entstandenen Photonen wiederum kann die Photospäre verlassen und kann schließlich nachgewiesen werden. Faßt man all diese Wahrscheinlichkeiten in einem Faktor $f_{2.2}$ zusammen, so kann man die gerichtete Emissivität aus der Linienfluenz berechnen als

$$N_n = \frac{4\pi\, R^2}{4\pi}\, \frac{1}{f_{2.2}}\, \Phi^E_{2.2MeV} \tag{6.1}$$

mit $\Phi^E_{2.2MeV}$ 2.2 MeV Linien-Fluenz,
R Entfernung von der Sonne zur Erde.

Niederenergetische Neutronen werden isotrop im Ruhesystem erzeugt (Hua & Lingenfelter, 1987b). Die wirkliche Winkelverteilung ergibt sich dann aus der Winkelverteilung der beschleunigten Teilchen. In erster Näherung kann der Bruchteil der Neutronen die in die Photosphäre eindringen, zwischen 100% (gebündelter Teilchenstrahl) und 50% (isotrope Verteilung) variieren. Unter photosphärischen Bedingungen ist die Einfangwahrscheinlichkeit auf ^{1}H etwa genauso groß wie auf ^{3}He. Da die Einfangzeiten viel kürzer als die Zerfallszeit sind, kann man erwarten, daß etwa die Hälfte der Neutronen ein 2.2 MeV-Photon erzeugt. Der Einfang ereignet sich im thermischen Gleichgewicht, so daß etwa 50% der Photonen in die obere Hemisphäre emittiert wird. Nach Vestrand (1990) kann die Anzahl der Comton-gestreuten Linienphotonen für einen Flare bei 36° heliographischer Breite und einer durchsetzten Materiedichte von $7.5\, g\, cm^{-2}$ zu etwa 25% abgeschätzt werden.

Mit diesen Faktoren folgt, daß $f_{2.2}$ etwa im Bereich zwischen 0.1 und 0.2 ist. Mit der Fluenz des Flares am 11. Juni von $\Phi^E_{2.2MeV} = (313.1 \pm 27.7)\, \gamma\, cm^{-2}$ (Kapitel 5, Abschnitt 5.2.3) ergibt sich für die berechnete Emissivität

$$\left.\begin{aligned} N_n &= (7.0 \pm 0.6) \cdot 10^{29}\, \mathrm{n}\, sr^{-1} \quad \text{für } f_{2.2} = 0.1 \\ N_n &= (3.5 \pm 0.3) \cdot 10^{29}\, \mathrm{n}\, sr^{-1} \quad \text{für } f_{2.2} = 0.2 \end{aligned}\right\} \tag{6.2}$$

Ein Vergleich mit dem aus der Entfaltung des Neutronensignals erhaltenen Wert von $(2.1 \pm 0.8) \cdot 10^{28}\, \mathrm{n}\, sr^{-1}$ ergibt, daß die Einfanglinie beim 11. Juni eine etwa 15 bis 30 mal höhere Emissivität erfordert. Die Fluenz der 2.2 MeV-Linie kann für den 11. Juni gut bestimmt werden. Die Neutronenmessungen dagegen stützen sich nur auf den mittleren Energiebereich des Neutronensignals. Daher ist zu erwarten, daß die Unsicherheiten der Entfaltung den statistische Fehler der Neutronenmessungbei weitem überwiegen.

Es ist leider nicht möglich, diesen Vergleich auch für den 15. Juni durchzuführen. Dort ergibt sich eine günstigere Situation für die Messung der Neutronen. Die Entfaltung bereitet größere Schwierigkeiten, da der Zeitverlauf der Neutronenproduktion während der impulsiven Phase nicht gemessen wird. Die Fluenz der 2.2 MeV-Linie kann für diesen Flare jedoch nicht bestimmt werden.

Die Analyse zeigt, daß der Verlauf des Neutronenspektrums aus den vorliegenden Messungen nur mit großen Einschränkungen ermittelt werden kann. Es kann jedoch ein Wert für die gesamte gerichtete Emissivität im COMPTEL-Energiebereich angegeben werden. Spektrale Aussagen lassen sich durch eine Hinzunahme von Messungen der hochenergetischen Neutronen durch Neutronenmonitore (NM) machen.

Durch Kombination der Emissivität im COMPTEL-Energiebereich von $9-100\,MeV$ mit Resultaten von NM mit einem Sensitivitätsbereich etwa $0.5-30\,GeV$ (nach Debrunner *et al.*, 1994) ist es im Prinzip möglich, die Härte des Spektrums über den Bereich von etwa $10\,MeV$ bis $10\,GeV$ zu festzulegen.

Beide Flares lösten GLE-Ereignisse *ground level enhancement* in verschiedenen NM-Stationen aus. Die Ankunftszeit der Teilchen und die geringe Anisotropie der Ereignisse deuten jedoch darauf hin, daß diese GLEs durch relativistische Protonen erzeugt worden sind. Von keinem NM wurden hingegen GLEs gemeldet, die auf die Ankunft von Neutronen zurückzuführen sind. Diese Nicht-Entdeckung des Neutronensignals durch die NM-Stationen setzt zumindest eine obere Grenze für den Fluß im Hochenergiebereich.

Ein Vergleich mit dem Flare vom 3. Juni 1982 legt jedoch nahe (siehe Kapitel 7), daß für die untersuchten Juni-Flares kein meßbares Signal für NM-Stationen zu erwartet ist.