Kapitel 4

Die Flares am 11. und 15. Juni 1991

4.1 Sonnenaktivität im Juni 1991

Die außergewöhnlich hohe Aktivität der Sonne am Ende des 23. Fleckenzyklus' brachte ein Reihe von Flares hervor, die zu den größten jemals beobachteten gehören. Die Sonnenfleckengruppe mit der Bezeichnung *active region* AR-6659 kündigte ihr Erscheinen am Westrand der Sonne mit einem Flare der X-Klasse[1] an und ließ bei ihrer Überquerung der Sonnenscheibe fünf weitere Ereignisse der X-Klasse folgen. Tabelle 4.1 enthält die wichtigsten Eigenschaften dieser Flares. Ihre heliozentrischen Positionen sind in Abbildung 4.1 gezeigt.

Datum	Uhrzeit [UT]			Röntgen-	Optische	Heliozentrischer
	Beginn	Max.	Ende	Klasse	Klasse	Ort auf der Sonne
1. 6. 91	14:56	15:20	17:26	X12	1F	N25 E90
4. 6. 91	3:37	3:52	8:00	X12	3B	N30 E65
6. 6. 91	0:58	1:08	4:31	X12	4B	N33 E44
9. 6. 91	1:34	1:43	1:52	X10	3B	N34 E04
11. 6. 91	1:56	2:09	2:20	X12	3B	N31 W17
15. 6. 91	8:10	8:21	14:02	X12	3B	N33 W69

Tabelle 4.1: *Wichtigste Eigenschaften der großen Flares im Juni 1991.*

In Abbildung 4.2 werden die SXR-Messungen des Satelliten GOES-7 in zwei Energiebändern gezeigt. Nach dem großen Flare schließt sich ein langsames Abklingen der Emission an, das sich über viele Stunden erstreckt. Es ist zu erkennen, daß auch nach dem großen Ereignis um 1:56 UT eine Reihe weiterer, kleinerer Röntgen-Ausbrüche stattfinden. Wegen der fehlenden Ortsauflösung des GOES-Monitors können sie jedoch keiner Gruppe zugeordnet werden.

[1] zur Erklärung der Röntgen-Klassifizierung siehe Seite 41.

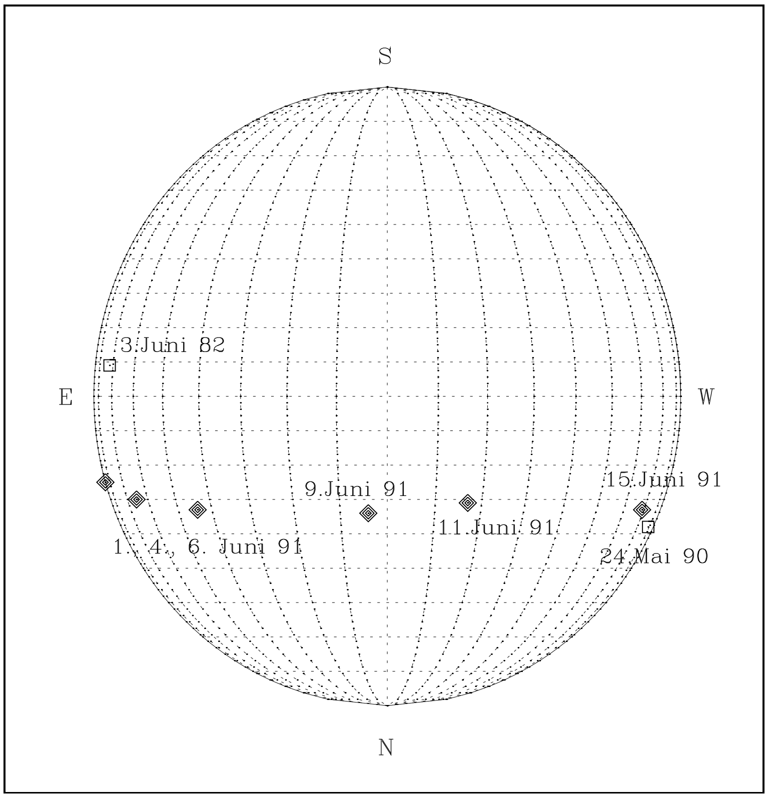

Abbildung 4.1: *Heliozentrische Positionen der großen Flares im Juni 1991 (als dunkle Rauten gezeichnet), wie sie aus H_α-Aufnahmen bestimmt wurden. Mit eingezeichnet sind die Positionen von weiteren großen Flares (Quadrate), deren Eigenschaften Ähnlichkeit mit den beiden hier untersuchten Ereignissen aufweisen.*

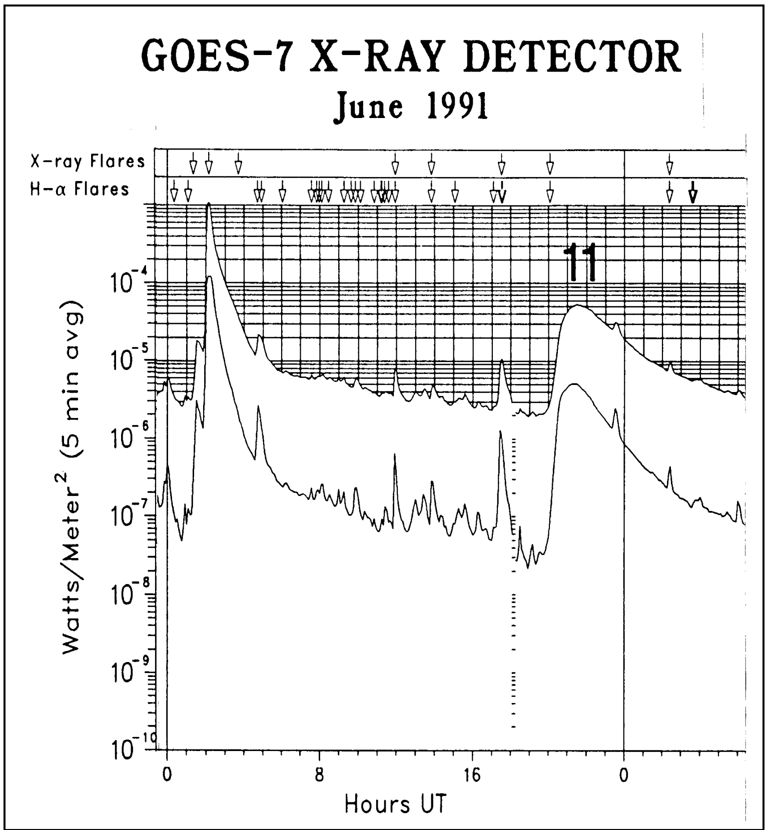

Abbildung 4.2: *Solare SXR-Emission am 11. Juni 1991, in den zwei Bändern bei* 1 – 8 Å *(obere Kurve) und* 0.5 – 4 Å *(untere Kurve). Die Paneele oberhalb des Diagramms zeigen die Maxima der Ausbrüche sowie die Zeitpunkte von H_α-Emission. Die Daten wurden von GOES-7 aufgezeichnet und sind aus* NOAA *Solar-Geophysical Data,* **568**, *Part II (Dec. 1991) entnommen.*
Der Anstieg am Ende des Tages wird von einem anderen Flare derselben Fleckengruppe verursacht, der die Klasse M5.3 erreicht.

Von optischen Überwachungsstationen wurden während des ganzen Tages (Daten liegen nur bis 20:30 UT vor) H_α-Ausbrüche berichtet. Anhand der in *NOAA Solar-Geophysical Data*, **568**, Part II (Dec. 1991) gesammelten Beobachtungsberichte verschiedener Observatorien kann die Verteilung der Flare-Aktivität auf die unterschiedlichen aktiven Fleckengruppen untersucht werden. Diese Auswertung ergibt, daß im Zeitraum von 2:00 UT bis 20:30 UT etwa 60% aller H_α-Ereignisse von der Gruppe AR-6659 stammen. Aufgrund dieses Ergebnisses der optischen Beobachtungen darf angenommen werden, daß auch die Röntgen-Emission im wesentlichen aus der Gruppe AR-6659 stammt. Damit ist diese Gruppe in der Folge des großen Ereignisses um 1:56 UT weiterhin für etwa 18 Stunden eine Quelle für optische und vermutlich Röntgen-Emission.

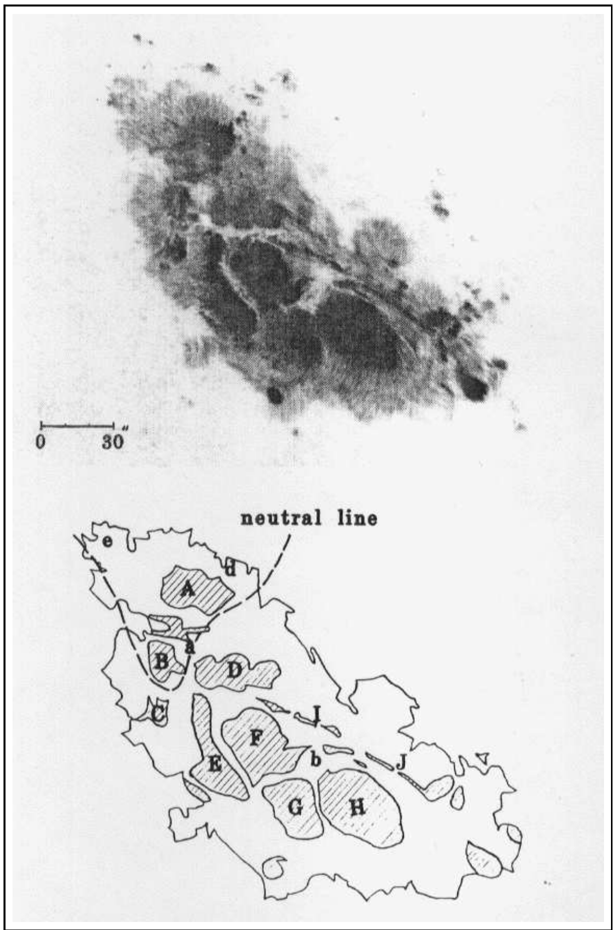

Abbildung 4.3: *Optische Aufnahme der aktiven Region AR-6659 am 11. Juni um 2:01 UT und Schemazeichnung der Positionen von Einzelflecken und Neutrallinie (aus Sakurai **et al.**, 1992).*

Die Morphologie der Fleckengruppe AR-6659 im optischen Bereich ist in Abbildung 4.3 dargestellt. Die aus Magnetometermessungen gefundene Neutrallinie zeigt eine ungleichmäßige Aufteilung auf die magnetischen Polaritäten, was auf eine gestörte Magnetfeldstruktur hindeutet. Während dem beobachtbaren Zeitraum vom 1. bis 17. Juni führen einige Einzelflecken eine weiträumige Bewegung durch die Gruppe aus. Der als F bezeichnete Fleck zeigt die deutlichste Positionsveränderung und bewegt sich in diesem Zeitraum entlang der neutralen Linie um mehr als 60" nach Nordwesten. Da die Flecken die Anordnung der Fußpunkte von Flußröhren aufzeigen, spiegeln ihre Bewegungen deutlich die Verscherung der großräumigen Magnetfeldstruktur wieder. Diese kann auch direkt aus Magnetogrammen abgelesen werden.

In der Folge jedes großen Flares konnte im H_α-Licht ein System aus Magnetfeldbögen beobachtet werden. Während diese Bögen bis zum Flare am 9. Juni eine gestörte Konfiguration aufweisen und nicht länger als eine Stunde beobachtbar sind, zeigen sie ab dem 11. Juni eine entspanntere Geometrie und bleiben über Stunden beobachtbar. In Abbildung 4.4 sind diese Bögen für den Flare am 15. Juni gezeigt. Diese Kompositaufnahme aus zwei Einzelbildern wurde am Astronomischen Observatorium in Warschau im Licht der H_α-Linie gewonnen. Die Aufnahme um 8:20 UT zeigt die Fleckengruppe mit dem weiträumigen optischen Flare. Ein Vergleich mit Abbildung 4.3 zeigt, daß sich die Position der einzelnen Flecken gegenüber dem 11. Juni nicht wesentlich verändert hat. Es ist außerdem zu erkennen, daß der optische Flare etwa dem Verlauf der neutralen Linie folgt. Zu einem späteren Zeitpunkt wurde die koronale Bogen-

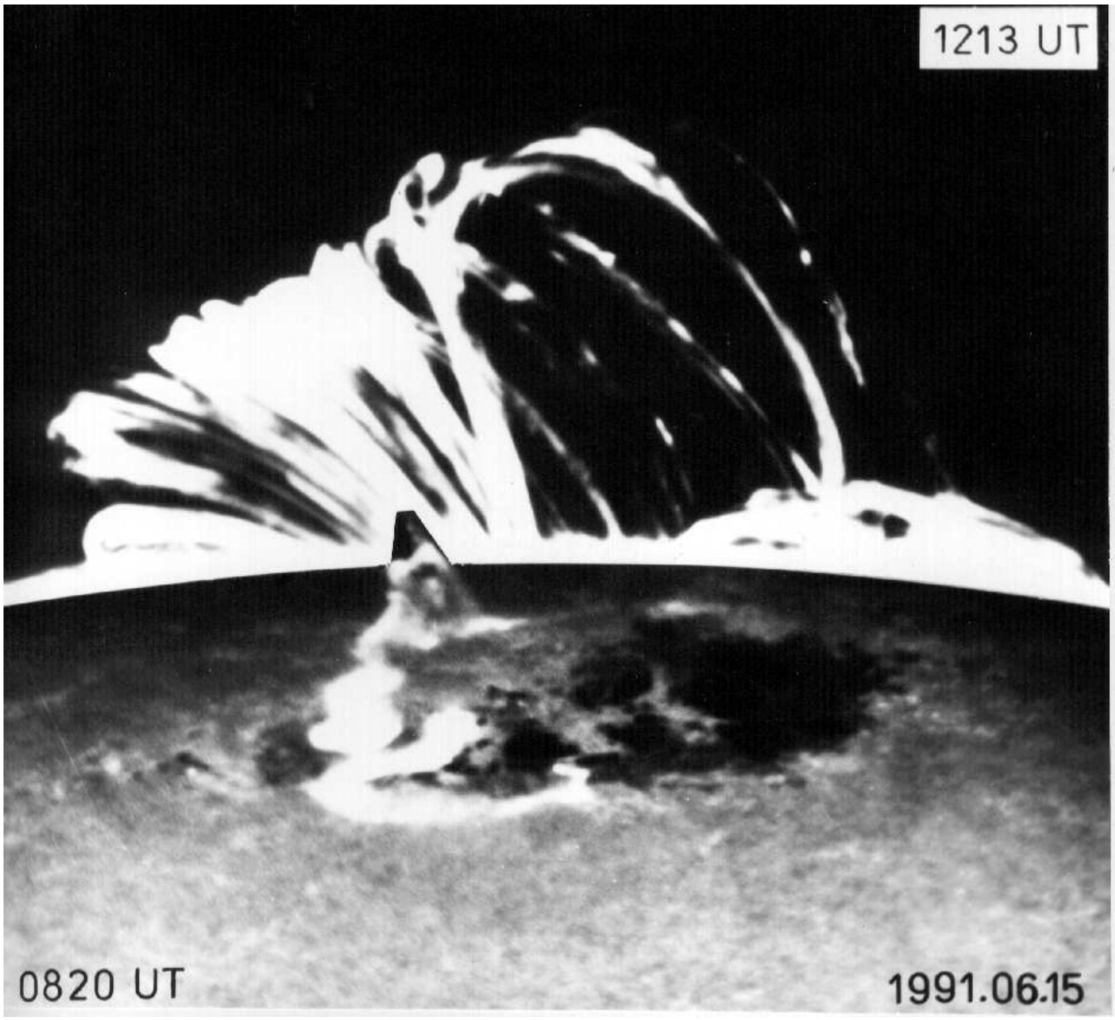

Abbildung 4.4: *Der optische Flare und die Flare-Bögen am 15. Juni. Die zwei überlagerten Aufnahmen wurden am Astronomischen Observatorium Warschau mit einem 3 Å weiten H_α Bandpassfilter gewonnen. Die Fleckengruppe mit dem hellen optischen Flare wurde nahe des Maximums um 8:20 UT aufgenommen, die ausgedehnten Bogenstrukturen um 12:13 UT.*

struktur mit dem Koronographen aufgezeichnet. Das komplexe System besteht aus einer Vielzahl unterschiedlicher Einzelbögen und reicht bis in eine Höhe von etwa $10^{10}\,cm$. Diese Strukturen werden auch vom Big Bear Observatory (siehe Abbildungen 1a und 1b in Kocharov L. *et al.*, 1994) in der gleichen Ausdehnung beobachtet.

4.2 Beobachtungen im Hochenergiebereich

Der Flare am 11. Juni 1991

Der Flare am 11. Juni 1991 wurde von allen CGRO-Experimente beobachtet. In Abbildung 4.5 ist die Zählrate von COMPTEL, korrigiert auf Totzeit und Hintergrund, für den gesamten Energiebereich abgebildet. Der erste signifikante Anstieg der Zählrate wird um 1:58 UT (7050s) festgestellt, wenige Minuten nachdem die Sonne aus dem Erdschatten aufgetaucht ist. Die Emission kann daher für fast eine Stunde ununterbrochen verfolgt werden, bis sich die Erde in das Gesichtsfeld schiebt. COMPTEL mißt im Teleskopbetrieb sowohl γ–Emission wie auch Neutronen. Es hat sich gezeigt, daß sich das für die γ–Beobachtung günstige Beobachtungsfenster für die Neutronen eher als Nachteil erweist, da sie wegen ihrer größeren Laufzeit zu spät ankommen. COMPTEL sammelt auch im Einzeldetektorbetrieb Daten, bis die Emission nach etwa 2:35 UT (9500 s) unter die Sensitivitätsgrenze fällt. Die vorliegenden Hochenergiemessungen sind in Abbildung 4.5 zusammengestellt.

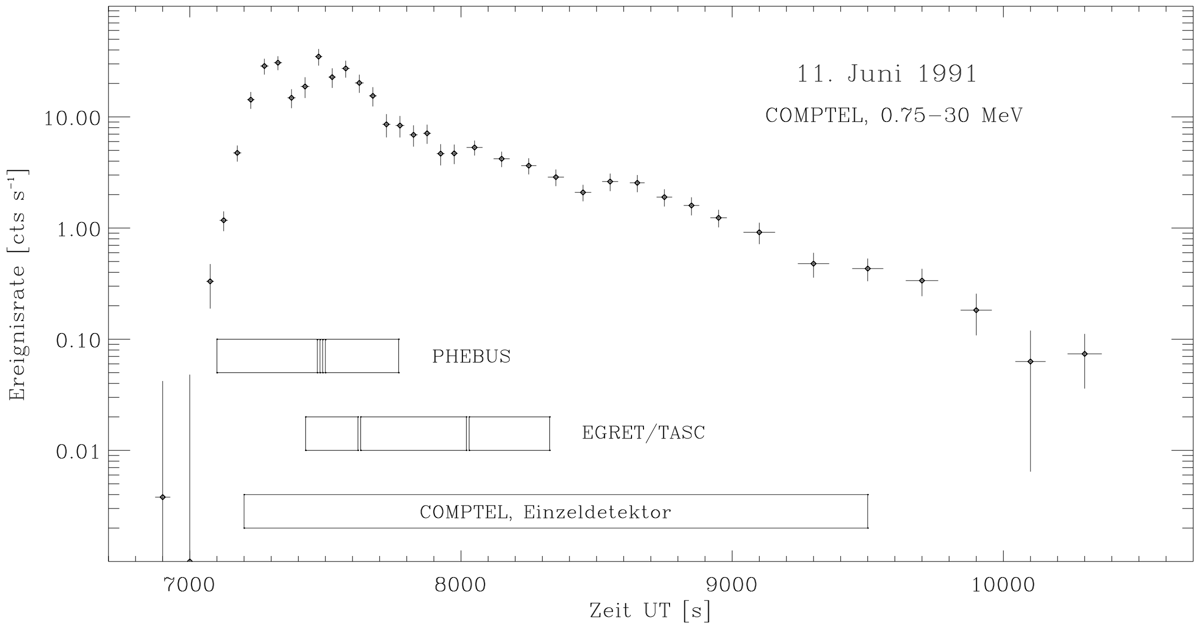

Abbildung 4.5: *Übersicht über die Hochenergiebeobachtungen, die während des Flares vom 11. Juni ausgeführt wurden (Erklärung siehe Text).*

Die Messungen der EGRET-Funkenkammer erlauben für die impulsive Phase aufgrund hoher Totzeit bisher keine Auswertung. Ab etwa 4:00 UT beobachtet EGRET Emission $> 50 MeV$, die sich dann aber für etwa 8 h (Kanbach *et al.*, 1993) nachweisen läßt. Während der impulsiven Phase können jedoch Spektren mit dem Energiekalorimeter TASC aufgenommen werden. Für drei Zeitintervalle (vgl. Abbildung 4.5) sind Zählratenspektren in Schneid *et al.* (1994) veröffentlicht.

Der Flare wurde auch vom französischen Experiment PHEBUS (siehe Barat *et al.*, 1988) auf dem russischen Satelliten GRANAT beobachtet. PHEBUS besteht aus sechs BGO-Detektoren (Beryllium-Germanium-Sauerstoff-Szintillator) mit Antikoinzidenzschilden zur Abschirmung

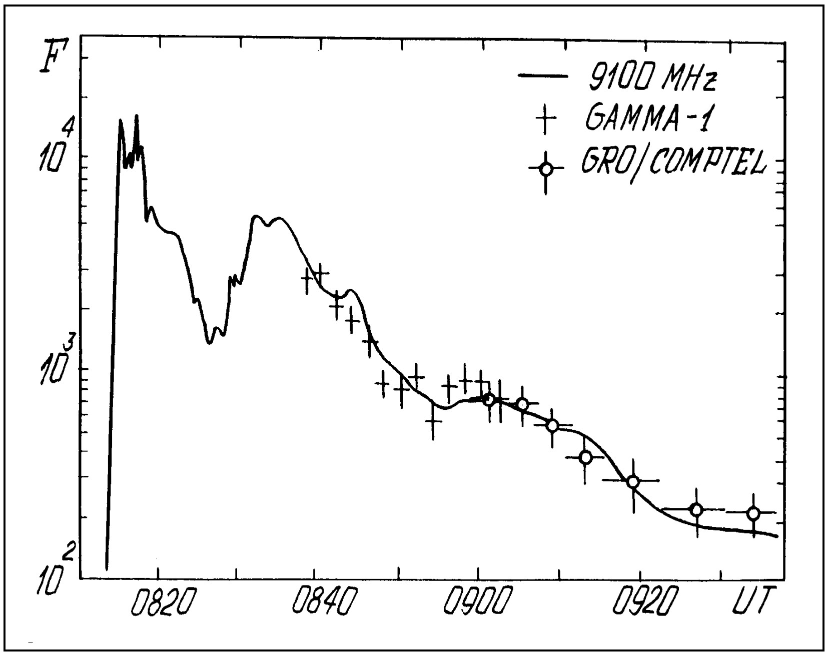

Abbildung 4.6: *Vergleich von Zeitprofilen des Flares am 15. Juni 1991 im Mikrowellen- und γ–Bereich. Die Messungen von GAMMA-1 ($> 100\,MeV$) und COMPTEL ($1 - 30\,MeV$) überdecken unterschiedliche Zeitbereiche und sind in der Darstellung willkürlich skaliert (aus Kocharov G. et al., 1994).*

gegen geladene Teilchen. Ihre kartesische Anordnung erlaubt eine Überwachung des gesamten Himmels, die veröffentlichten Daten beziehen sich jedoch nur auf einen einzelnen Detektor. Meßdaten liegen nur für etwa $700s$ vor. Zeitprofile der Zählraten in vier Energiebändern sind in Trottet *et al.*, 1993 gezeigt. Ein Zählratenspektrum für 2:04:30–2:05:00 UT (schraffierter Zeitraum der PHEBUS-Messung in Abbildung 4.5) ist in Vilmer, 1994 veröffentlicht. Die Fähigkeit PHEBUS', bis zu Energien von etwa $75keV$ zu messen, ermöglicht die Bestimmung des Bremsstrahlungkontinuums. Auf diese Daten wird in Kapitel 5, Abschnitt 5.2.1 näher Bezug genommen.

Flare am 15. Juni 1991

Für den Flare am 15. Juni gibt es von den CGRO-Instrumenten — mit Ausnahme von COMPTEL — keine Beobachtungen. EGRET war zu diesem Zeitpunkt abgeschaltet. Obwohl sich CGRO während der impulsiven Phase im Erdschatten befand, konnte COMPTEL im folgenden Beobachtungsfenster noch deutlich die abklingende γ–Emission und ein Neutronensignal beobachten (McConnell *et al.*, 1993). Die γ–Emission kann nun über mehrere Stunden gesehen werden.

Meßdaten zu diesem Flare liegen auch vom russischen Satelliten-Experiment GAMMA-1 vor (Akimov *et al.*, 1991b). Ebenso wie CGRO verpasste auch GAMMA die impulsive Phase des Flares. GAMMA-1 registrierte Emission $> 50MeV$ von etwa 8:37 bis 9:00 UT[2], COMPTEL ab etwa 9:00 UT. GAMMA-1 registriert ebenfalls im nächsten Orbit von etwa 10:10 bis 10:15 UT noch ein Signal des Flares.

In Abbildung 4.6 sind die verschiedenen Beobachtungen veranschaulicht, die zum Flare am 15. Juni vorliegen. Die Zeitfenster der beiden γ–Messungen schließen aneinander an. Erstaunlicherweise scheinen die γ–Beobachtungen und das Mikrowellenprofil in der Abklingphase ein vergleichbares Zeitverhalten zu zeigen.

[2]Die Messungen von GAMMA-1 erstrecken sich noch bis 9:15 UT, allerdings tritt der Satellit um etwa 9:00 UT in die SAA ein, so daß die folgenden Meßergebnisse keine zuverlässige Auswertung erlauben und nicht weiter berücksichtigt werden.