

## Schlussbericht

### **Vorhaben: KORONAS / SORS – Satellitenprojekt (Radiospektrographie)**

#### **Förderkennzeichen: 50 QL 9602**

Ursprüngliches Ziel des Forschungsvorhabens war es, die Daten des Radiospektrometers SORS an Bord des russischen Satelliten KORONAS gemeinsam mit den Daten des Radiospektralpolarimeters des Astrophysikalischen Instituts Potsdam zu nutzen, um die Ausbreitung solarer energiereicher Teilchen von der Sonnenkorona in den interplanetaren Raum zu studieren.

Leider konnte das Projekt SORS im Rahmen der KORONAS-Mission von der russischen Seite nicht bis zum Ende des Forschungsvorhabens (31.12.2000) fertiggestellt werden. Deshalb haben wir durch Kontaktaufnahme zu amerikanischen Kollegen die Daten der Radioinstrumente auf dem Satelliten ULYSSES (Dr. MacDowall / NASA Goddard Space Flight Center) und WIND (PI: Dr. M. Kaiser / NASA Goddard Space Flight Center) aufgenommen, um diese Daten für unsere wissenschaftliche Zielstellung zu nutzen, was glücklicherweise sehr erfolgreich war.

Wie bereits oben gesagt, galt es, die solaren Radiodaten des Astrophysikalischen Instituts Potsdam mit denen bei niedrigeren Frequenzen zu vergleichen. Das Radiospektralpolarimeter des AIPs arbeitet in einem Frequenzbereich von 40 – 800 MHz. Die Radioinstrumente an Bord des Satelliten WIND messen von 10 kHz bis 14 MHz. Ergänzend sei erwähnt, dass das Radioinstrument auf der Raumsonde ULYSSES bei Frequenzen  $> 1$  MHz misst. Generell wird angenommen, dass die Radiostrahlung in der Sonnenkorona und im interplanetaren Raum nahe der lokalen Plasmafrequenz emittiert wird. Die Elektronen-Plasma-Frequenz ist proportional zur Wurzel aus der Elektronenzahldichte. Daraus folgt, dass die hohen Frequenzen ( $> 10$  MHz) aus der Sonnenkorona und die niedrigen Frequenzen ( $< 1$  MHz) aus dem interplanetaren Raum stammen. Um nun einen Anschluss zwischen den Radiomessungen am AIP (40 – 800 MHz) und den Messungen der Radioinstrumente an Bord von WIND und ULYSSES zu bekommen, galt es, ein Dichtemodell von der Sonnenkorona bis in den interplanetaren Raum zu entwickeln. Ein solches Modell wurde von Mann et al. 1999 in *Astronomy & Astrophysics* veröffentlicht. Das Ergebnis ist, dass eine spezielle Lösung der Parkerschen Windgleichung sehr gut im Mittel die Dichteverhältnisse von der Sonnenkorona bis zu 5 AU des interplanetaren Raumes widerspiegelt.

Bei solaren Flares wird in kurzen Zeitskalen (Sekunden bis einigen Minuten) gespeicherte Magnetfeldenergie in der Sonnenkorona in Wärmeenergie (lokale Heizung), Massebewegungen (Coronal mass ejections) und kinetische Energie von energiereichen Teilchen umgewandelt. Diese energiereichen Teilchen sind in der Lage, sich bis weit in den interplanetaren Raum auszubreiten. Im Falle der energiereichen Elektronen können eben diese mittels radioastronomischer Messungen in Form von solaren und interplanetaren Typ-III-Radiobursts beobachtet werden.

Obwohl wir leider letztlich über keine KORONAS-Daten verfügten, sind wir dennoch überzeugt, das Forschungsvorhaben erfolgreich abgeschlossen zu haben. Das beweist nicht zuletzt, dass Frau Dr. Estel ihre mit diesem Projekt verbundene Promotion innerhalb sehr

kurzer Zeit (2 ½ Jahre bis zur Einreichung) beendet hat. Die gesamte Promotion erhielt das Prädikat *magna cum laude*. Weiterhin wurden die Ergebnisse in international anerkannten Zeitschriften wie *Astronomy and Astrophysics* und *Journal of Geophysical Research* publiziert.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes stellte Herr Dr. Mann ein Modell zur Erzeugung von Elektronen bis zu sehr hohen Energien ( $\sim 1$  MeV) an Stoßwellen in der Sonnenkorona vor. Infolge der plötzlichen Energiefreisetzung während Flares werden in der Korona Stoßwellen erzeugt, die ihrerseits Elektronen beschleunigen können und mithin Quelle von energiereichen Elektronen in der Sonnenkorona sind.

Herr Dr. Mann weilte vom 6. – 9. März 2000 an der Catholic University of America in Washington (USA), wo er an der Konferenz "Solar Eruptive Events" teilnahm. Er war vom "Scientific Organizing Committee" zu einem Vortrag zur Vorstellung eben dieser Forschungsergebnisse eingeladen.

Energereiche Elektronen können nicht nur durch Stoßwellen, sondern auch unmittelbar durch in der Flareregion erzeugten lokalen elektrischen Feldern (Rekonnexion) erzeugt werden. Solche Elektronen manifestieren sich als sogenannte Typ-III-Radiobursts in der solaren Radiostrahlung. Frau Dr. Estel beschäftigte sich im Rahmen ihrer Promotion, wie sich solche Elektronen in der Korona und gegebenenfalls auch im interplanetaren Raum ausbreiten können. Während ihrer Ausbreitung wechselwirken diese Elektronen mit dem Magnetfeld und infolge Coulombstöße mit den Elektronen und Protonen des umgebenden Plasmas. Als wesentlichstes Ergebnis fand sie heraus, dass Elektronen mit einer Geschwindigkeit  $> 82.000$  km/s (Das entspricht einer Energie  $> 20$  keV.) vollkommen stößefrei von der Sonnenkorona bis zur Erde gelangen können. Hierbei betrachtete sie erstmals die Coulombwechselwirkung eines Elektrons in einem räumlich inhomogenen Plasma. Sie verwendete dazu ein in der Arbeitsgruppe selbst entwickeltes Dichtemodell der Sonnenkorona und des interplanetaren Raumes (Mann et al., *Astronomy & Astrophysics*, 348, 614, 1999). Weiterhin untersuchte sie in ihrer Dissertation die Wechselwirkung der energiereichen Elektronen mit den Wellen im umgebenden Plasma im Rahmen der quasi-linearen Theorie. Als wesentlichstes Ergebnis kam dabei heraus, dass sich die Elektronen eine bestimmte Strecke ausbreiten müssen, um eine Beamverteilung zu erzeugen und mithin Radiostrahlung in Form von Typ-III-Radiobursts zu erzeugen. Das hat eine wichtige Konsequenz: Der Startpunkt der Typ-III-Radiobursts ist nicht mit der Quellregion der energiereichen Elektronen identisch. Dieses Ergebnis hat Auswirkungen auf die Interpretation von Radiodaten bei zukünftigen Raummissionen (z.B. HESSI).

Infolge eines an der Arbeitsgruppe Koronaphysik erbrachten Ergebnisses des Zusammenhanges zwischen Coronal Transient Waves (EIT-Wellen) (Claßen et al., *Astronomy & Astrophysics*, 2000) haben Frau Dr. Estel und Herr Dr. Mann aus den Ergebnissen ihrer Arbeit ein Modell des radialen Verlaufs der Alfvéngeschwindigkeit von der Sonne bis in den interplanetaren Raum erstellt. Dabei ergab sich, dass die Alfvéngeschwindigkeit in dieser Entfernung von 3,8 Sonnenradien ein Maximum von etwa 740 km/s annimmt. Dies hat Konsequenzen für die Ausbreitung von Störungen von der Sonne bis in den interplanetaren Raum, was zu einer spezifischen zeitlichen Abfolge des Eintreffens von energiereichen Teilchen der Sonne und magnetischen Wolken auf die Umgebung der Erde führt. Die gewonnenen Erkenntnisse können für die Vorhersagen im Weltraumwetter (Space Weather) genutzt werden. Von Dr. Mann wurden diese

Möglichkeiten in einem Vortrag auf dem Workshop "Space Weather" des DLR in Neustrelitz erläutert.

Die gesamten im Rahmen dieses Forschungsvorhabens veröffentlichten Publikationen sind im Anhang zusammengestellt.

Der Finanzierungsplan wurde vollständig eingehalten. Der Zeitplan wurde im wesentlichen ebenfalls eingehalten. Infolge eines Arbeitsunfalls war Herr Dr. Mann vom 9.12.1998 bis 7. Juni 1999 krank, weshalb das DLR dankenswerter Weise auch eine kostenneutrale Verlängerung bis zum 31.12.2000 gewährte. Dadurch konnten die Arbeiten zu diesem Forschungsvorhaben erfolgreich abgeschlossen werden.

Ich möchte mich beim DLR für die finanzielle Unterstützung dieses Forschungsvorhabens bedanken. Ohne diese Förderung wären die damit verbundenen Erfolge nicht erreicht worden.

Potsdam, den 06.09.2001

Dr. G. Mann

## **Erschienenene Publikationen**

Estel,C., Mann, G.:

Mean free path and energy loss of electrons in the solar corona and the inner heliosphere.  
Astron. Astrophys. 345 (1999), 276.

Estel C., Mann G.:

Generated Langmuir Wave distribution of an electron beam group,  
in A. Hanslmeier, M. Messerotti (eds.) The Dynamic Sun,  
Kluwer Academic Press, Dordrecht (2000).

Estel, C.:

Ausbreitung energiereicher Elektronen von der Sonnenkorona in die innere Heliosphäre,  
Promotion an der Universität Potsdam (2000).

Mann, G., Aurass, H.:

Solar and interplanetary Radiospectrometer aboard Interhelios,  
Proceedings of „A Crossroads for European Solar & Heliospheric Physics“, Tenerife,  
ESA SP-417 (1998), 255.

Mann, G., Auraß, H., Klassen, A., Estel, C., Thompson, B.J.:

Coronal transient waves and coronal shock waves.  
Proc. 8th SOHO workshop, ESA SP-446 (1999), 447.

Mann, G., Classen, H.-T., Motschmann, U., Kunow, H., Dröge, W.:

High energetic electrons accelerated by a coronal shock wave,  
Astrophys. Space Sci. 264 (1999), 1.

Mann, G., Jansen, F., MacDowall, R.J., Kaiser, M.L., Stone, R.G.:

A heliospheric density model and type III radio bursts,  
Astron. Astrophys. 348 (1999), 614.

Mann, G., Aurass, H., Jansen, F., Thompson B., Kaiser, M., Grafe, A., Jakowski, N.:

Monitoring of a shock wave propagation from solar atmosphere to the earth,  
Proc. ESA Workshop on Space Weather, ESA-Journal, WPP-155 (1999), 354.

Mann, G.:

Überwachung der Sonnenaktivität,  
Proc. Nationaler Workshop zum Weltraumwetter (DLR), 103.

Mann, G., Claßen, H.-T., Motschmann, U.:

Generation of Highly Energetic Electrons by Shock Waves in the Solar Corona,  
Journal of Geophys. Res. (2001), in press.