

Das Kieler Experiment zur Messung der kosmischen Strahlung zwischen 1,0 und 0,3 AE (E 6)

H. KUNOW, G. WIBBERENZ, G. GREEN, R. MÜLLER-MELLIN, M. WITTE, H. HEMPE,
Institut für Reine und Angewandte Kernphysik, Kiel

Das Experiment der Universität Kiel an Bord der Sondenmission HELIOS (Experiment Nr. 6) mißt energiereiche geladene Teilchen der Kosmischen Strahlung solaren, planetaren und galaktischen Ursprungs im interplanetaren Raum. Innerhalb der Erdbahn wird der Raum bis zu einer Annäherung an die Sonne auf 0,3 AE ausgemessen. Elektronen zwischen 0,3 und 4 MeV, Protonen und schwerere Atomkerne bis hinauf zum Neon mit Energien oberhalb 1,3 MeV/Nukleon können voneinander getrennt werden. Als Sensor dient ein Teleskop aus Halbleiter-, Cerenkov- und Szintillations-Detektoren, das mit radioaktiven Quellen, Teilchenbeschleunigern und Müonen der Kosmischen Strahlung am Erdboden geeicht wurde. Das komplexe Datenverarbeitungssystem an Bord und am Boden wurde entwickelt im Hinblick auf eine optimale Ausnutzung der beschränkten Telemetrikapazität der Sonde.

The University of Kiel Experiment on board the solar probe HELIOS (Experiment No. 6) measures high energy charged cosmic ray particles of solar, planetary and galactic origin in interplanetary space. Within the Earth orbit the interplanetary space will be investigated down to distances of 0.3 AU from the Sun. Electrons with energies between 0.3 and 4 MeV, protons and heavier nuclei up to neon with energies of more than 1.3 MeV/nucleon can be separated. The cosmic ray telescope consisting of semiconductor detectors, one Cerenkov and one scintillation counter has been calibrated using radioactive sources, particle accelerators and ground level muons. The complex data handling system on board and on ground has been developed to make optimum use of the limited telemetry capacity of the space probe.

1. WISSENSCHAFTLICHE ZIELSETZUNG

Das HELIOS-Experiment Nr. 6 mißt energiereiche geladene Teilchen der kosmischen Strahlung oberhalb 1,3 MeV/Nukleon für Atomkerne und oberhalb 0,3 MeV für Elektronen (Kunow et al., 1972; Kunow et al., 1974). BILD 1 zeigt die Helios-Bahn in einer Darstellung des inneren Sonnensystems mit den Planeten Merkur, Venus und Erde. Die für die Messung und Interpretation der Experiment-Daten besonders wichtigen Erscheinungen sind in anschaulicher Form symbolhaft dargestellt.

Die galaktische kosmische Strahlung entsteht weit außerhalb unseres Sonnensystems und dringt gegen den Widerstand der solaren, vom Sonnenwind mitgeführten Magnetfelder von außen in den interplanetaren Raum ein. Der Abschirmeffekt des Sonnensystems ist abhängig von der Sonnenaktivität und unterschiedlich für verschiedene Energien und Teilchenarten. Die galaktische kosmische Strahlung besteht im wesentlichen aus Protonen mit Energien von einigen hundert MeV, wenn auch nahezu alle chemischen Elemente vorhanden sind.

Die solare kosmische Strahlung entsteht hauptsächlich bei großen Sonneneruptionen (Flares). Durch plötzliche Magnetfeldvariationen werden Elektronen und Atomkerne des chromosphärischen Plasmas stark beschleunigt. Je nach den momentanen Magnetfeld-Strukturen in der Korona breiten sich die schnellen Teilchen über weite Bereiche der Sonnenoberfläche aus, werden in einigen Gebieten gespeichert und verlassen die Sonnenatmosphäre entlang von Magnetfeldlinien, die in den interplanetaren Raum hinausreichen (Schulze et al., 1974; Reinhard et al., 1974). Die Intensitäten der solaren kosmischen Strahlung können insbesondere für Protonen niedriger Energien die galaktische Intensität um viele Größenordnungen übersteigen. Es gibt jedoch auch sehr kleine Ereignisse, deren Strukturen und Zusammenhänge mit solaren Vorgängen bei Annäherung an die Sonne besonders gut untersucht werden können.

Die planetare kosmische Strahlung besteht hauptsächlich aus Elektronen, die aus Strahlungsgürteln von Planeten, insbesondere des Jupiter, entweichen. Die planetare Strah-

lung tritt ebenso wie die solare nur zeitweise, aber mit relativ geringen Intensitäten auf.

Für die verschiedenen Arten energiereicher kosmischer Teilchenstrahlung untersuchen wir die Ausbreitung im interplanetaren Raum. Die Ausbreitungsbedingungen werden bestimmt vom Zustand der interplanetaren Magnetfelder, insbesondere von Alfvénwellen (Richter, 1974), Diskontinuitäten und Schockfronten, und sind damit stark orts- und zeitabhängig. Messungen des interplanetaren Magnetfeldes, des Sonnenwindes und Teilchenbeobachtungen an anderen Orten werden zur Analyse mit herangezogen.

Für die solare kosmische Strahlung werden außerdem Beschleunigungsmechanismen, Speicherung und Ausbreitung in der Sonnenkorona sowie die Bedingungen untersucht, unter denen die Teilchen die Korona verlassen können. Neben der chemischen Zusammensetzung des Chromosphären-Plasmas sind möglichst genaue Kenntnisse über solare Aktivitätszentren, Magnetfeld-Konfigurationen auf der Sonne und im Übergangsbereich zum interplanetaren Raum und genaue Orts- und Zeitangaben über Sonneneruptionen (Flares) erforderlich (Beuermann et al., 1972).

Das Meßinstrument an Bord der Sonde liefert zur Untersuchung der beschriebenen Phänomene Intensitäts-Zeit-Verläufe und Richtungsverteilungen für verschiedene Energien sowie Energiespektren jeweils für verschiedene Teilchensorten und abhängig vom Meßort (Gradient). Daraus läßt sich auch die chemische Zusammensetzung der Teilchenpopulationen in unterschiedlichen Energiebereichen und zu verschiedenen Zeiten bestimmen.

Zusätzlich zu den hier beschriebenen Zielen ist für Helios B in Verbindung mit Experiment Nr. 7 eine Untersuchung von Gammastrahlungs-Ausbrüchen vorgesehen.

2. DER SENSOR

Das Meßinstrument besteht aus dem Sensorteil (BILD 2) und dem Elektronikteil. Das Kernstück des Sensorteils, das Detektorteleskop, ist in BILD 3 schematisch dargestellt.

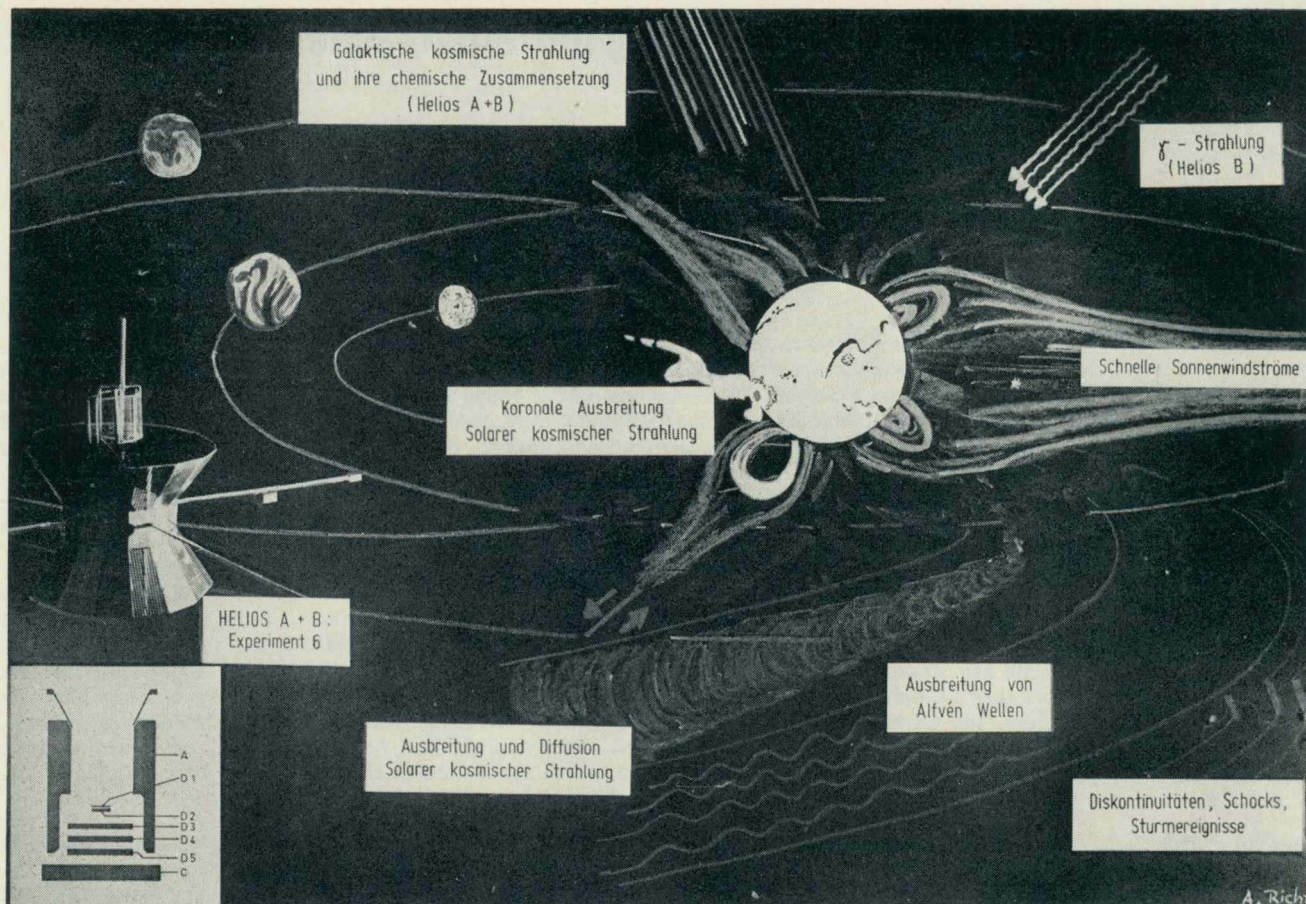


BILD 1: Darstellung des Sonnensystems mit den inneren Planeten, der Helios-Bahn und des Experiments unter besonderer Berücksichtigung der für die Messung und Interpretation der energiereichen kosmischen Strahlung wichtigen Fragestellungen

Zum Nachweis der Teilchen bis 45 MeV/N dienen die fünf Halbleiterdetektoren 1 ... 5; ein 10 mm Saphir wirkt als Cerenkovdetektor C für Teilchen, die die Halbleiterdetektoren durchsetzen. Der zylinderförmige Antikoinzidenzszintillator A wirkt als aktiver Kollimator und begrenzt zu-

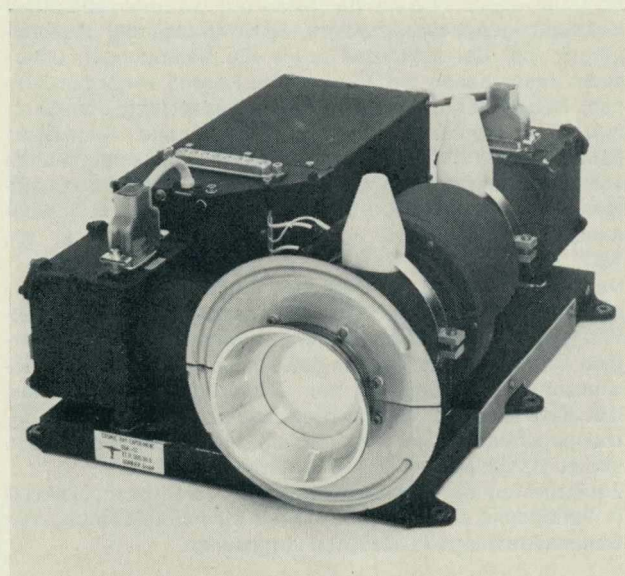


BILD 2: Helios Experiment 6 (Sensor E 6 A)
Man erkennt deutlich die Eintrittsöffnung, die durch eine spiegelnde Quarzfolie gegen direktes Sonnenlicht abgeschirmt ist. Die Verbindung zum Elektronikteil E 6 B wird durch zwei Kabel hergestellt.

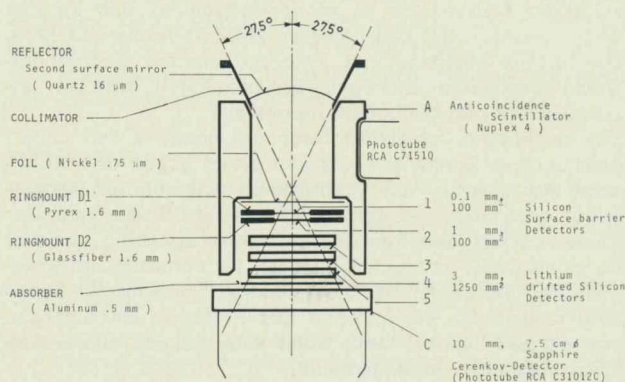


BILD 3: Das Detektorteleskop (schematische Darstellung)

sammen mit der Eintrittsöffnung den maximalen Öffnungswinkel des Teleskops auf 55 Grad (vergl. Abs. 5.1). Die Halbleiterdetektoren sind vor ihrer Verwendung im Thermalvakuum (Druck $p \sim 10^{-8}$ Torr, Temperatur $T: -40 \dots +35^\circ \text{C}$) etwa 4 bis 8 Wochen langzeitgetestet und im Hinblick auf Rauscharmut und Zuverlässigkeit besonders ausgesucht worden. So wurde im Sensor bei 20°C in den Detektorkanälen 1 und 2 eine Auflösung (Halbwertsbreite) von besser 30 keV, in den Kanälen 3 bis 5 von besser 45 keV erreicht.

Tritt ein Teilchen in das Teleskop ein, so wird durch eine Koinzidenzlogik abgefragt, welche Detektoren angesprochen haben. Durch diese Bestimmung der Eindringtiefe mittels des Koinzidenztyps findet eine erste Einteilung der Teilchen in Energieintervalle statt.

Durch geeignete Anpassung der elektronischen Schwellen relativ zu den Detektordicken ist es möglich, Elektronen

(e), Protonen (p), sowie schwerere Teilchen ($Z \geq 2$) in den einzelnen Energieintervallen voneinander zu unterscheiden und in getrennten Zählkanälen zu registrieren.

Die verschiedenen Energiekanäle für die einzelnen Teilchenarten sowie die ihnen zugeordneten Zählratenkanäle und Koinzidenztypen sind in TAB. I zusammengestellt.

Für die Mehrzahl der Koinzidenztypen werden die Ausgangsimpulse der letzten drei angesprochenen Detektoren bezüglich ihrer Impulshöhe vermessen (vergl. TAB. I, rechte Spalte sowie Absatz 4.1).

Auf diese Art bestimmt man den Energieverlust in zwei Detektoren sowie die Restenergie des Teilchens im letzten Detektor. Durch diese Meßmethode ist man in der Lage,

- (1) das Energiespektrum der Teilchen auch innerhalb der durch den Koinzidenztyp definierten Intervalle mit guter Auflösung zu bestimmen,
- (2) die schwereren geladenen Teilchen ($Z \geq 2$) voneinander zu trennen und ihre relative Häufigkeit zu ermitteln,
- (3) zu überprüfen, ob die in den einzelnen Zählkanälen gezählten Teilchen Beimischungen der anderen Teilchenarten enthalten,
- (4) eine genaue Untergrundreduktion durchzuführen.

Der Geometriefaktor G des Instruments ist energieabhängig und beträgt

$G (E \leq 45 \text{ MeV/N}) = 0,47 \text{ cm}^2 \text{ sterad}$ für Nukleonen

$G (E > 45 \text{ MeV/N}) = 2,4 \text{ cm}^2 \text{ sterad}$ für Nukleonen

$G = 0,49 \text{ cm}^2 \text{ sterad}$ für Elektronen.

3. EICHUNG UND TESTS

Die Energieeichung des Detektorteleskops und der nachfolgenden Elektronik wurde vor dem Flug auf folgende Weise durchgeführt:

- Auf elektronischem Wege wurde über den gesamten Dynamikbereich der Zusammenhang zwischen Eingangsimpulshöhe und Ausgangskanal der ADC sowie die relative Lage der Diskriminator-Schwellen ermittelt.
- Mittels radioaktiver Präparate (Am^{241} , Bi^{207} , Co^{60}) erhielt man eine direkte Energieeichung im unteren Energiebereich.
- Durch Messungen an den Teilchenbeschleunigern der Universität Hamburg (Protonen: 13, 19 und 24 MeV) und der University of Maryland (Alphateilchen: 155, 140 und 115 MeV sowie Protonen: 86 und 70 MeV) wurden Eichpunkte im oberen Energiebereich bestimmt. Das Verhalten des Instruments gegenüber Elektronen von 2,4 MeV und 5,6 MeV wurde am Microtron der Physikalischen Technischen Bundesanstalt Braunschweig gemessen.
- Ein weiterer Eichpunkt ist durch die ständig zur Verfügung stehenden Müonen der Kosmischen Strahlung gegeben.

Während des Fluges kann die Eichung des Instruments durch die Messung minimalisierender Teilchen überprüft werden. Ein besonderer Eichmode, der während $1/16$ der Meßzeit wirksam ist, stellt sicher, daß diese Information für die Detektoren 2 bis 5 und C gewonnen wird. Weiterhin erhält man signifikante Eichpunkte durch Teilchen, deren Reichweite gerade an der Grenze zwischen zwei Koinzidenztypen liegt.

Um den komplexen elektronischen Aufbau des Instruments in kurzer Zeit möglichst umfassend prüfen zu können, war die Verwendung eines mobilen, rechnergesteuerten Prüfplatzes erforderlich. Mit diesem Gerät wurden ausführliche Funktions- und Eichmessungen durchgeführt, u. a. wurden zwischen -30°C und $+30^\circ \text{C}$ die drei ADC-Kennlinien, die 13 Diskriminatorschwellen, die Totzeit sowie das zeitliche Auflösungsvermögen genauestens vermessen. Weiterhin diente dieser Prüfplatz zur Verifikation der einwandfreien Funktion des Experiments nach Transporten und ins-

TAB. I: ZUSAMMENSTELLUNG DER ENERGIEINTERVALLE FÜR DIE VERSCHIEDENEN TEILCHENARTEN

– Protonen (p), schwerere Teilchen ($Z \geq 2$), Elektronen (e) – sowie die ihnen zugeordneten Zählkanäle.

Für jedes Energieintervall ist angegeben, welche Detektoren zur Erzeugung des erforderlichen Koinzidenztyps angesprochen haben müssen und in welchen Detektorkombinationen die Impulshöhenverteilungen genau gemessen werden.

Teilchenart	Energie (MeV/N)	Zählkanäle		Koinzidenztyp	
		Bezeichnung	Anzahl (= Sektorzahl)	analytisierte Detektoren	Logische Notation
$z \geq 2$	1,3–3,3	A 1 S	8		
p	1,3–3,3	P 1 S	8	12A	–
p	3,3–13	P 3 S	8		
$z \geq 2$	3,3–13	A 3 S	8	123A	1, 2, (3)
p	13–27	P 13 S	8		
$z \geq 2$	13–27	A 13 S	8	1234A	1, 2, 3
p	27–37	P 27 S	8		
$z \geq 2$	27–37	A 27	1	12345A	2, 3, 4
e	3–4	E 3	1		
p	37–45	P 37	1		
$z \geq 2$	37–45	A 37	1	2345CA	3, 4, 5
e	> 4				
p	>45	P 45 S	8	345CA	4, 5 C
$z \geq 2$	>45	A 45	1	2345CA*)	2, 3, 4 *)
e	0,3–0,8	E 3 S	8	123A	–
e	0,8–2	E 8 S	8	1234A	(1), 2, 3
e	2–3	E 2	1	12345A	2, 3, 4

*) Eichmode während $1/16$ der Meßzeit

besondere vor und nach den durchgeführten Umwelttests. Bei diesen Tests war nachzuweisen, daß das Instrument den während des Starts und des Fluges auftretenden Belastungen gewachsen sein würde. Es wurden im einzelnen folgende Tests durchgeführt:

- Vibration (Sinus und Random mit Belastung bis 23 g)
- Beschleunigung (34 g in allen Achsen)
- Temperatur (-40°C für 6 h und $+30^\circ \text{C}$ [E 6 A] bzw. $+50^\circ \text{C}$ [E 6 B] für 6 h)
- Thermal-Vakuum (jeweils 24 h bei -30°C und $+30^\circ \text{C}$ bei einem Druck $< 10^{-5}$ Torr)
- Elektromagnetische Beeinflussung (Nachweis der von HELIOS-Experiment 5 geforderten extrem hohen elektrischen Reinheit)
- Magnetische Vermessung (Nachweis der magnetischen Reinheit, um die Messungen der Experimente 2, 3 und 4 nicht zu beeinträchtigen).

Der Sensor E 6 A wurde noch einem Venting- und Acoustic Noise-Test entsprechend dem Flugaufstiegsprofil unterworfen.

Zum Schutz der empfindlichen Halbleiterdetektoren wurde der Sensor weitgehend unter einer sehr reinen Stickstoffatmosphäre aufbewahrt und mit einer Versorgungsspannung versehen.

4. DATENVERARBEITUNG

4.1 Signalverarbeitung an Bord

Die Signale der Halbleiterdetektoren wie auch der Fotomultiplier sind Stromimpulse mit Breiten bis etwa 100 nsec. Die Ladung eines solchen Impulses, d. h. sein Zeitintegral, ist hier das wesentliche Maß für die Wechselwirkung eines einfallenden Teilchens mit dem Detektor. Sie liegt bei diesem Gerät in der Größenordnung 10^{-14} bis 10^{-10} Asec, wobei jeder Detektor einen Dynamikbereich von 1 zu 4900 überdeckt.

Für die weitere Verarbeitung werden aus diesen Stromimpulsen durch ladungsempfindliche Vorverstärker mit Gegenkopplungszeitkonstanten von 40 μ sec und Laufzeitkabelimpulsformern Spannungsimpulse im Mikrosekundenbereich gemacht. Je ein 70fach-Verstärker pro Detektor spaltet anschließend den Dynamikbereich in zwei Teilbereiche von 70 mV bis 4,9 V auf.

Die bordseitige Elektronik stellt nun in einem Koinzidenznetzwerk diejenigen Ereignisse fest, bei denen ein Teilchen von vorn in das Sensorteleskop eingefallen und – praktisch gleichzeitig – in den dabei getroffenen Detektoren Impulse erzeugt hat. Die Koinzidenzauflösungszeit, die im Interesse eines geringen Untergrundes zufälliger Koinzidenzen kurz sein sollte, ist bedingt durch die Impulsform und die amplitudenabhängigen Auslöseschwankungen der Diskriminatoren am Eingang des Netzwerkes. Sie beträgt 1,2 μ sec.

Für die in Tab. I aufgeführten Koinzidenztypen sind die Ladungsamplituden in maximal drei für das physikalische Meßverfahren geeigneten Detektoren mit einem relativen Fehler von höchstens 3% zu messen und zu digitalisieren. Außerdem ist die zugehörige Blickrichtung des umlaufenden Teleskops nach Achtselktoren zu unterscheiden und dem Ladungstripel hinzuzufügen.

Die so erzeugte Information bildet pro Teilchen ein Impulshöhenwort von 32 bit Länge.

Das Telemetriesystem der Sonde kann allerdings insbesondere bei höheren Zählraten nicht unter allen Übertragungsbedingungen einen solchen Informationsfluß zu den Bodenstationen übertragen. Die Impulshöhenwörter geben daher nur stichprobenartig die relative Zusammensetzung der Teilchenflüsse hinsichtlich Ladung, Masse und Energie an. Zur Messung der absoluten Intensitäten sind zusätzlich 96 Zählwerke installiert, in denen die Ereignisse erheblich gröber differenziert totzeitarm gezählt werden.

Das Instrument stellt – synchronisiert durch das Telemetriesystem der Sonde – seine Daten periodisch in einem festen Rahmen von 624 bit Länge in einem Ausgabepuffer zur Verfügung. Daraus werden sie unterkomprimiert abschnittsweise zu den Bodenstationen gesendet. Bei der Formatierung komprimiert das Gerät zur effektiveren Nutzung der Telemetrikapazität die Zählerstände nach einem Quadratwurzelverfahren auf den statistisch signifikanten Teil (Green et al. 1970) und wendet auf den ganzen Rahmen außerdem eine Bitebenenkodierung an (Schwartz et al. 1966), die um so mehr der genaueren Impulshöhenwörter überträgt, je kleiner die Teilchenraten sind und je größer die Bitrate ist.

Die Struktur dieses Datenerfassungssystems ist in BILD 4 dargestellt. Die verwendeten Analo­schaltungen sind aus diskreten Bauteilen aufgebaut. Der Digitalteil basiert auf Low-Power-TTL-Technik sowie auf einem $2^{1/2}$ D-Kernspeicher von 4 k bit.

Auf Fernsteuerbefehl kann ein eingebauter Testsignalgenerator mit einigen ausgewählten Impulskombinationen die gesamte bordseitige Elektronik für dieses Experiment überprüfen.

4.2 Bodenseitige Datenverarbeitung

Die bordseitig aufbereiteten Meßdaten können entsprechend der Kapazität des zur Verfügung stehenden Über-

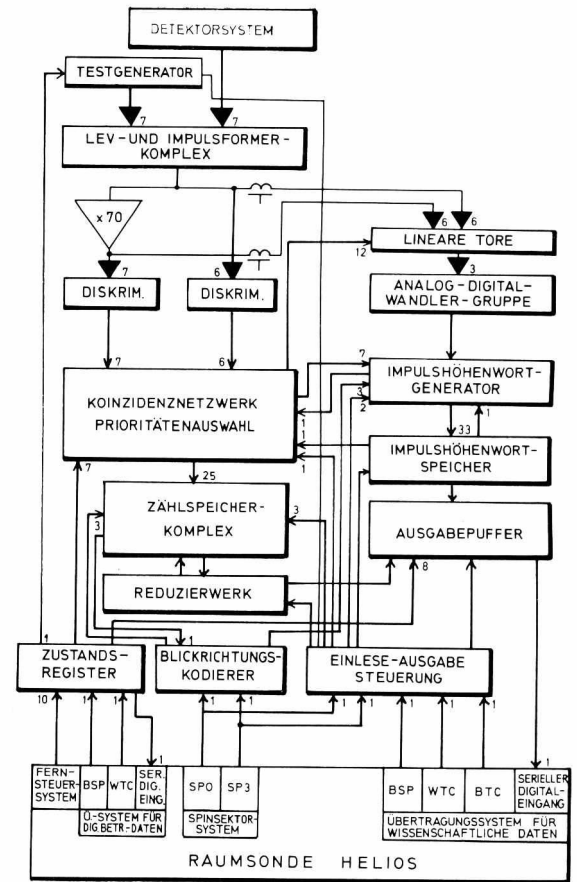


BILD 4: Das bordseitige Datenerfassungssystem

tragungskanal mit 10 verschiedenen Bitraten zur Erde übertragen werden. Zur Zusammenstellung der Daten benutzt das Telemetriesystem der Sonde eines von 6 unterschiedlichen Formaten, in denen der Anteil des Experiments 6 an der Gesamtdatenmenge zwischen 0 und 9,7% variiert.

Während der Primärmission, d. h. in der Zeitperiode vom Start bis zum ersten Blackout, wurden ungefähr 1 Milliarde Bits für Experiment 6 empfangen. BILD 5 zeigt das Bitratenprofil, das sowohl die während der Primärmission empfangenen als auch den für die weitere Mission erwarteten Datenfluß angibt.

Das Deutsche Satellitenkontrollzentrum (GSOC) eliminiert Zeitüberlappungen, die bei gleichzeitigem Empfang durch 2 Bodenstationen auftreten, schreibt die das Kieler Experiment betreffenden Daten auf Magnetband und schickt sie dem Experimentator zu.

Dort steht eine Rechenanlage des Typs PDP 11/20 bereit, um die Daten in eine der physikalischen Interpretation zu-

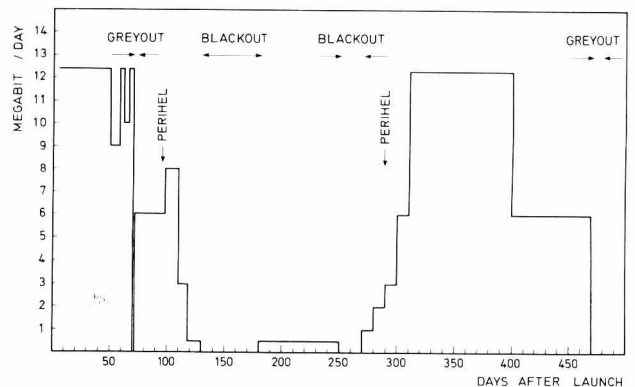


BILD 5: HELIOS E 6 Bitratenprofil

gängliche Form umzuwandeln. Die Datenauswertung erfolgt in 3 Phasen:

- Datenreduktion
- Datenanalyse
- Modell- und Korrelationsrechnungen

Der Informationslaufplan in BILD 6 gibt eine Definition der Aufgaben, die in diesen Phasen bearbeitet werden, und zeigt, wie die Ergebnisse jedes Programmschrittes - eventuell nach Korrelation mit Messungen anderer Forschungsgruppen - als Eingangsdaten in nachfolgenden Programmen verarbeitet werden. Diese Weiterverarbeitung kann nach verschiedenen Kriterien erfolgen, wie z. B. Auswahl spezieller Zeitperioden mit geringer Sonnenaktivität, oder Zeitmittelung, die dem Teilchenfluß angepaßt ist. Die auf Magnetband gespeicherten Zwischenergebnisse werden anschaulich dargestellt in Form von Mikrofilmzeichnungen und zweidimensionalen Matrizen, die mit dem Zeilendrucker erstellt werden. Für den Datenaustausch zwischen den HELIOS-Experimentatoren oder mit anderen Forschungsgruppen werden als Datenträger hauptsächlich 35-mm-Mikrofilme und 9-Spur-/800-BPI-Magnetbänder benutzt.

5. TECHNISCHE DATEN

5.1 Verwendete Technologien

Das Instrument an Bord der Sonde besteht aus zwei getrennten Einheiten, der Sensor-Box und der Elektronik-Box (vergl. BILD 2). Die Sensor-Box enthält das Detektor-Teleskop, die Hochspannungsversorgungen zum Betrieb von Photomultipliern und Halbleiter-Detektoren, die Vorverstärker und den Testgenerator. In der Elektronik-Box befindet sich die weitere Analog- und Digitalelektronik. Dazu gehört auch ein 4 k Bit-Kernspeicher, der zur Sammlung der Zählraten und Impulshöhenwörter sowie als Ausgabepuffer zum Datenabruf durch die Raumsonde benötigt wird.

Obwohl das Instrument im thermisch gut isolierten Zentralkörper der Sonde untergebracht ist, sind besondere Vorkehrungen zur Einhaltung der maximalen Detektor-Temperaturen von +30°C erforderlich. Die Apertur des Teleskops wird verschlossen durch eine 16 µm dicke sphärische

Quarzfolie, die auf der Rückseite mit Silber und Gold bedampft ist. Dadurch entsteht ein „second surface mirror“ mit einem Verhältnis von Absorption zu Emission von 0,05. Da der Quarzspiegel nicht vollständig lichtdicht ist, müssen die Halbleiter-Detektoren durch eine 0,75 µm Nickelfolie zusätzlich vor Sonnenlicht geschützt werden. Zur Ableitung der eingestrahelten Sonnenenergie an die Montageplattform der Raumsonde bei gleichzeitig notwendiger elektrischer Isolation werden 0,7 mm dicke Scheibchen aus BeO (Thermalox 995) und eine Oberflächen-Kopplung mit Wärmeleitpaste Dow Corning C-6-1102 verwendet.

5.2 Zusammenfassung technischer Daten

Masse	7,15 kg
Leistungsaufnahme	4,49 W
Anzahl der Kommandos	12
Anzahl der analogen Überwachungskanäle	16
Anzahl der digitalen Überwachungskanäle	1 Wort (8 Bit)

5.3 Das Flugverhalten

Das Instrument überstand ohne Schaden die extremen Belastungen des Präzisionsstarts am 10. Dezember 1975, 7¹¹ Uhr (GMT). Um Funkenbildung im Hochspannungsteil im kritischen Druckbereich zwischen 10² und 10⁻¹ Torr zu vermeiden, wurde das Instrument erst 38 Stunden und 19 Minuten nach dem Start mit Strom versorgt. Die Anschaltautomatik sprach sofort an und versetzte das Instrument in die Sollkonfiguration, wie wenige Sekunden später die Überprüfung anhand der Echtzeitdaten ergab. Die volle Funktionsfähigkeit der Bordelektronik wurde mit Hilfe des eingebauten Testimpulsgenerators kontrolliert. Die ununterbrochene Flugüberwachung durch instrumenteigene Housekeeping-Meßstellen zeigten den erhofften geringen Leckstrom der einzelnen Detektoren und den erwarteten Hochspannungspegel an den Photomultipliern. Selbst der besonders temperaturempfindliche Sensorteil erwärmte sich von -26°C bei 1 AE auf nur +24°C im Perihel und blieb somit im erlaubten Bereich mit einem Abstand von 6°C zur kritischen oberen Temperaturgrenze. Obwohl die in Echtzeit gewonnenen Daten nur kurze Stichproben darstellen, geben sie doch einen guten Überblick über den gesamten bisherigen Missionsverlauf einschließlich des Periheldurchgangs. Sie bestätigen das sehr gute rausch-

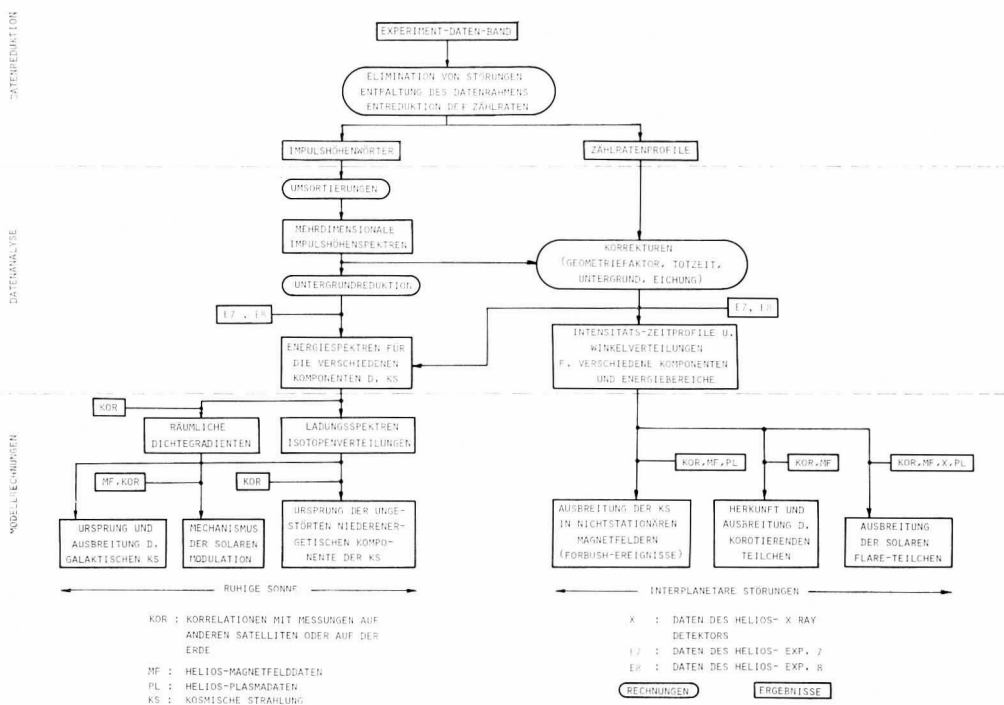


BILD 6: Informationslaufplan der bodenseitigen Datenverarbeitung

arme Verhalten der Detektoren, die hohe Stabilität der Analogelektronik sowie die fehlerfreie Funktion der Digitalelektronik, und sie zeigen an, daß wir wie gewünscht die Eigenschaften des interplanetaren Raumes zu einer Zeit minimaler Sonnenaktivität untersuchen können.

6. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Das Experiment wurde im Rahmen des Projekts HELIOS im Auftrage des Bundesministers für Forschung und Technologie durch die Gesellschaft für Weltraumforschung gefördert. Die Entwicklung und raumflugtaugliche Fertigung erfolgte hauptsächlich bei der Firma Dornier System GmbH. Das Institut für Datenverarbeitungsanlagen der Technischen Universität Braunschweig entwickelte den Kernspeicher und große Teile der Digitalelektronik. Das 1. Physikalische Institut der Universität Hamburg, die Physikalisch-Technische Bundesanstalt in Braunschweig und die University of Maryland, College Park, USA, gaben uns die Möglichkeit, die verschiedenen Exemplare des Instruments an Teilchenbeschleunigern zu eichen.

Allen beteiligten Institutionen, Firmen und Mitarbeitern sagen wir an dieser Stelle unseren aufrichtigen Dank.

LITERATUR:

- [1] K. BEUERMANN, R. REINHARD, A. RICHTER und G. WIBBERENZ: Solar-terrestrische Beziehungen, Atomkernenergie 20 (1972), 195.
- [2] G. GREEN, H. G. HASLER and H. KUNOW: An adaptive data compression method for a cosmic ray experiment on board a space probe, Nuclear Instruments and Methods 86 (1970), 213.
- [3] H. KUNOW, G. GREEN, R. MÜLLER, M. WITTE und H. VOLLMERS: Das Kieler Experiment zur Untersuchung der kosmischen Strahlung an Bord der Sonnensonde HELIOS, Atomkernenergie 20, (1972), 193.
- [4] H. KUNOW, G. GREEN, M. WITTE, R. MÜLLER-MELLIN and H. HEMPE: HELIOS Experiment 6 (Description in Tables), Bundesministerium für Forschung und Technologie BMFT-FB W74-08 (1974), 113.
- [5] R. REINHARD and G. WIBBERENZ: Separation of solar and interplanetary transport processes of flare accelerated particles, Bundesministerium für Forschung und Technologie BMFT-FB W 74-08 (1974), 120.
- [6] A. RICHTER: Propagation of Alfvén waves in the inhomogeneous interplanetary medium, Bundesministerium für Forschung und Technologie BMFT FB W 74-8 (1974), 98.
- [7] B.-M. SCHULZE, A. RICHTER and G. WIBBERENZ: The influence of finite injection periods on anisotropies during solar particle events, Bundesministerium für Forschung und Technologie BMFT FB W 74-8 (1974), 143.
- [8] J. W. SCHWARTZ and R. C. BARKER: Bit-plane encoding, a technique for source encoding, IEEE Trans. Aerospace Elec. Systems AES-2, No. 4 (1966), 385.

The HELIOS A/B Cosmic Ray Instrument (E 7)

J. H. TRAINOR, D. E. STILWELL, R. M. JOYCE, B. J. TEEGARDEN and H. O. WHITE, Jr.
NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Md, USA

This paper describes the design and performance of a cosmic ray particle experiment for the Helios A/B space missions. This experiment had to be very lightweight, low power and electronically sophisticated in order to meet the spacecraft and scientific requirements, and very similar to those on the Pioneer 10 and 11 missions to Jupiter. Both sets of missions use several solid-state detector telescopes to measure protons from ~ 100 KeV to ~ 800 MeV per nucleon. Additionally, the Helios experiment includes a proportional counter to monitor the solar X-ray activity. The experiment has functioned quite well for 5 months in space, and large quantities of data are now being received.

Dieser Bericht beschreibt Entwurf und Leistung eines Experimentes zur Messung der kosmischen Strahlung bei der HELIOS A/B Mission. Dieses Experiment mußte sehr leicht sein, geringen Energiebedarf und eine fortschrittliche Elektronik aufweisen, um die Anforderungen zu erfüllen; es ist ähnlich dem Meßgerät bei den PIONEER 10/11-Missionen zum Jupiter. In beiden Fällen werden mehrere Festkörper-Detektor-Teleskope verwendet, um Protonen von 100 keV bis 800 MeV Energiebereich zu messen. Zusätzlich besitzt das HELIOS-Experiment einen Proportionalzähler zur Registrierung der solaren Röntgenstrahlung. Das Experiment hat 5 Monate im Weltraum gut gearbeitet und große Datenmengen werden z. Zt. empfangen.

1. INTRODUCTION

The purpose of Helios experiment E-7 is to carry investigation of the energy spectra, charge composition and flow patterns of both solar and galactic cosmic rays. Three separate dE/dX vs. E telescopes, in combination, enable the following particle species and energy ranges to be measured: electrons, 50 KeV to ~ 8 MeV; protons, 100 KeV to ~ 800 MeV; alpha particles, to 600 MeV per nucleon; heavier elements up to Neon to ~ 200 MeV per nucleon. In addition, the Helios experiment includes a proportional counter to monitor solar X-rays in the range 2-8 KeV. FIG. 1 shows a picture of the experiment.

2. DETECTORS

FIG. 2 shows a cross-sectional view of each of the three telescopes. The High-Energy Telescope (HET) at the left uses two thin silicon diode detectors, A and B, to define an acceptance cone for incoming particles and to provide two separate measurements of rate of energy loss (dE/dX). The C_2 element consists of a stack of four identical detectors summed together. If a particle stops in C_2 (as determined by no C_3 event), then C_2 measures its total energy. If it penetrates, then both C_2 and C_3 provide dE/dX or total E measurements.

The Low-Energy Telescopes (LET-I and -II) operate in a