

Die HELIOS-Sonde als Experimenten-Träger

Herbert PORSCHE, DFVLR, München

Ziel der beiden Sonden HELIOS A und B ist die Erforschung des interplanetaren Raums zwischen Sonne und Erdbahn. Jede Sonde schafft den zehn Experimenten die Umgebungsbedingungen, die sie für erfolgreiche Messungen brauchen. Alle SONDENSUBSYSTEME, insbesondere der Thermalhaushalt, die Stromversorgung und die Telemetrie sind für die stark schwankenden Belastungen auf der Ellipsenbahn bis 0,309 AU (HELIOS A) und noch geringeren Abstand zur Sonne ausgelegt.

The goal of the two spacecraft HELIOS A and B is the exploration of the interplanetary space between the Sun and the Earth's orbit. The probe offers the ten experiments the environmental conditions necessary for successful measurements. All spacecraft subsystems, especially the thermal system, the power supply and the telemetry are designed for widely differing loads on the elliptic orbit approaching the sun to 0.309 AU (HELIOS A) and closer.

1. EINLEITUNG

HELIOS A und B sind zwei interplanetare Raumsonden zur Erforschung des inneren interplanetaren Raums. Die erste dieser beiden Sonden wurde am 10. 12. 1974 in eine elliptische Bahn geschickt, deren Perihel bei 0.309 AU Abstand von der Sonne liegt.

Die zehn Experimente an Bord haben folgende Aufgabenstellung:

- Untersuchungen des solar-interplanetaren Plasmas (Sonnenwind) durch Beobachtung des Teilchenflusses und der magnetischen und elektrischen Felder (5 Experimente)
- Untersuchungen kosmischer Strahlen, ihrer Zusammensetzung, azimutaler Richtungsverteilung und Energie (3 Experimente)
- Messung der Dichteverteilung, der Geschwindigkeit, Masse und Zusammensetzung von Mikrometeoriten (2 Experimente).

Außerdem werden mit HELIOS passive Studien zur Gravitationstheorie (Theorie der allgemeinen Relativität) und Coronasondierung durchgeführt, wenn sich HELIOS im Bereich der oberen Konjunktion der Bahn befindet.

Die Lebensdauer jeder der beiden HELIOS-Sonden soll mindestens 18 Monate betragen.

2. DIE BAHN VON HELIOS A

Im Gegensatz zu den Bahnen der Planeten, die nahezu Kreise sind, ist die Bahn von HELIOS eine Ellipse hoher Exzentrizität. Ihr Aphel liegt in der Erdbahn, ihr Perihel weit innerhalb der Merkurbahn. Transformiert man die Ellipsenbahn in ein erd-coriolisierendes Koordinatensystem, so kann man der Darstellung Entfernungen und Winkel zur Sonne entnehmen (BILD 1).

Diese Parameter diktiert die Verhältnisse für die Datenübertragung. Während der Zeit, in der die Sonde in Bahnabschnitten in oder nahe einer Konjunktion steht, ist die Datenübertragung nicht möglich. Die Signale müssen dann die Corona der Sonne durchdringen. Dabei nehmen sie Störungen aus dem heißen coronalen Plasma auf.

Die interessantesten Perioden der Mission sind die Phasen, in denen sich die Sonde innerhalb der Bahn des innersten Planeten Merkur befindet. Denn so nahe an die Sonne ist vorher noch kein Raumfahrzeug vorgedrungen. HELIOS B wird voraussichtlich noch näher an die Sonne herangeführt als HELIOS A.

3. GRUNDAUFBAU DER HELIOS-SONDE

Die HELIOS-Sonde (Masse 370 kg) ist ein drall-stabilisierter

Flugkörper, dessen Figurenachse senkrecht auf der Ekliptik steht. Die Spinrate liegt bei ungefähr 60 U/min. Um eine hohe Bitrate zu erzielen, ist HELIOS mit einer Hochgewinnantenne (22 dB Gewinn) ausgestattet, die mechanisch entdrallt und ständig auf die Erde ausgerichtet ist.

Die äußere Gestalt der Sonde (BILD 2) ist einer Zwirrspule nicht unähnlich. Diese Form wurde aus thermischen Gründen gewählt. Der Zentralteil enthält die meisten Geräte. Der obere und untere Konus trägt die Solarzellen, die die Energieversorgung der Sonde sicherstellen. Alle Flächen, die von der Sonne bestrahlt werden, mit Ausnahme der

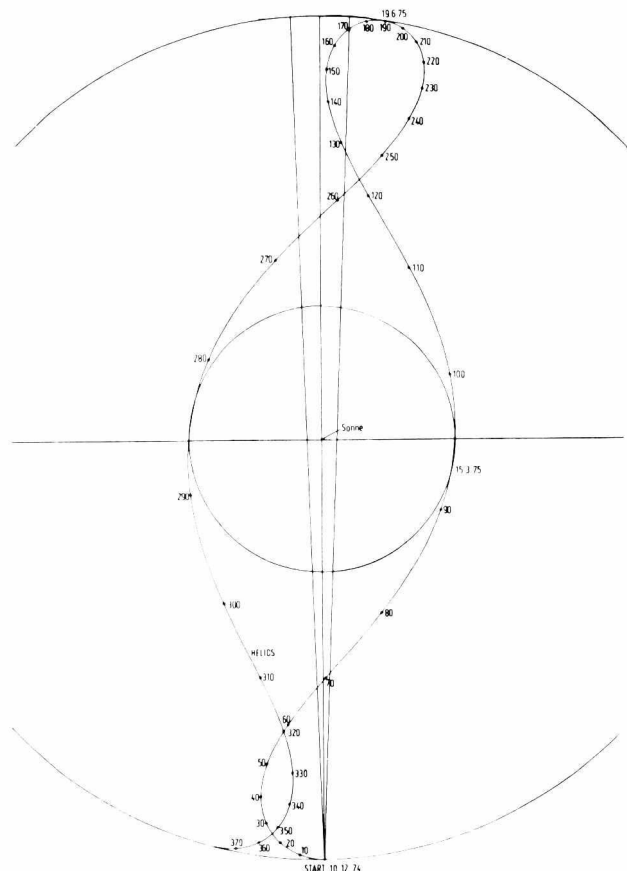


BILD 1: Bahn der interplanetaren Sonde HELIOS A in einem mit der Erde rotierenden Koordinatensystem. Im Bereich der oberen Konjunktion von ungefähr 3° um die Sonne ist die Datenübertragung stark behindert oder unmöglich.

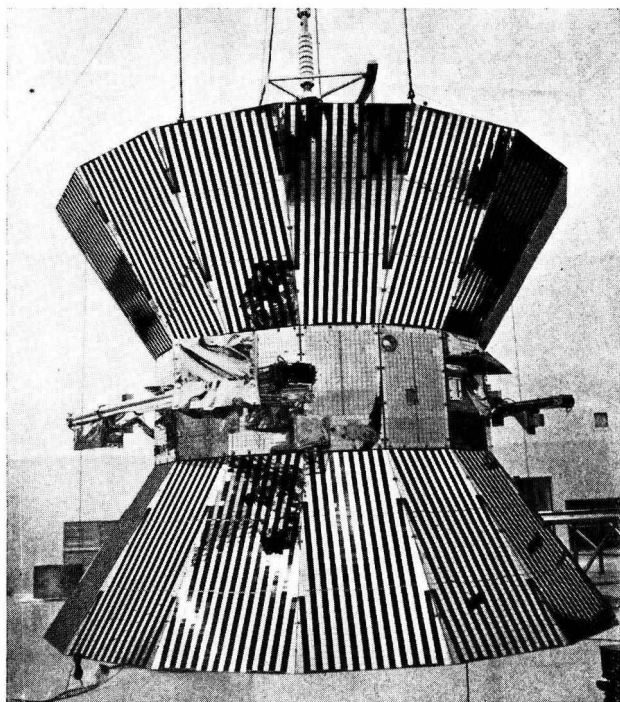


BILD 2: HELIOS A einige Tage vor dem Start.

Solarzellen und der Sensoröffnungen, sind mit Hinterglas- spiegeln bedeckt. Die Spiegel sorgen für niedrige Tempera- tur während der Mission, auch in den sonnennahen Be- reichen. Die passive Kühlung, die durch Abstrahlflächen nach oben und unten ergänzt wird, reicht jedoch nicht aus, um die Temperatur im Zentralteil genau genug einzuhalten. Deshalb trägt die Ober- und die Unterseite des Zentralteils der Sonde ein Louversystem, das im Perihelbereich geöff- net ist und zusätzliche Abstrahlfläche frei gibt, während es im Aphel (geschlossen) nur eine geringe Abstrahlung zu- läßt. Die Regelung erfolgt selbständig thermostatisch. Um die Solarzellen vor Überhitzung zu schützen, wurden die Flächen konisch angebracht. Zudem sind die Konusflächen nur zu etwa 50 % mit Solarzellen belegt. Der Rest ist ver- spiegelt. Die geschwärzte Rückseite dient der thermischen Abstrahlung.

BILD 3 und 4 zeigen Schnitte durch die Sonde. Die Experi- mente sind durch Beschriftung kenntlich gemacht. Fünf von ihnen sind vollständig im Zentralteil untergebracht mit Sen- soröffnungen in der Außenwand der Sonde. Von den rest- lichen Experimenten ist ein Großteil der Elektronik eben- falls im Zentralteil montiert. Um die Eigenstörungen der Magnetfeldmessungen durch die Sonde auf die Magneto- meter klein zu halten, wurde die Sonde mit einem Paar Ausleger ausgestattet. Sie tragen die Experimente 2, 3 und 4. Die vierte Box an einem der Ausleger ist ein Ausgleich- gewicht. Es ist gelungen, die magnetischen Störungen auf diese Experimente kleiner zu halten als der spezifizierte Höchstwert von 1 nT (= 1 γ).

Für das Experiment zur Messung elektrischer Feldschwun- gungen (E 5) trägt HELIOS eine 32 m lange (Spitze-Spitze) Radialantenne, die im inneren Bereich mit einer nichtleitenden Abschirmung gegen den Sondenkörper versehen ist. Leider ist einer der beiden Antennenäste nach dem Start beim Versuch, ihn auszufahren, steckengeblieben und hat einen Kurzschluß gegen die Sondenstruktur hervorgerufen. Die Leistungsfähigkeit von E 5 ist dadurch etwas beeinträchtigt.

Die drei Zodiaklicht-Photometer (E 9) müssen so montiert sein, daß kein einfach am Sondenrand gestreutes Sonnen- licht in die Aperturen gelangen kann. Deshalb sind die Photometer im unteren, telemetrieantennenabgewandten Konus und im sogenannten Adapter (Verbindung zwischen der Sonde und der letzten Raketenstufe) untergebracht.

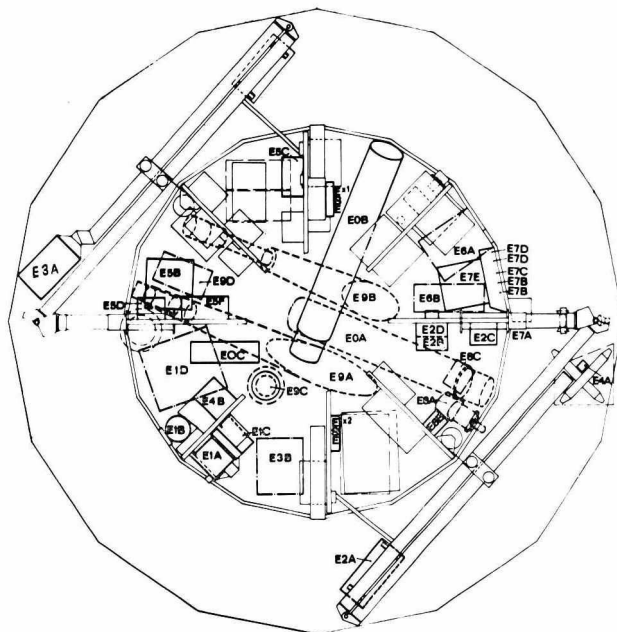


BILD 3: Querschnitt durch den Sondenkörper. Die Experi- mentboxen sind durch Beschriftung kenntlich ge- macht. Die Meßantenne von Experiment 5 ist nicht gezeichnet. Sie wird aus den Boxen E 5 E aus- gefahren.

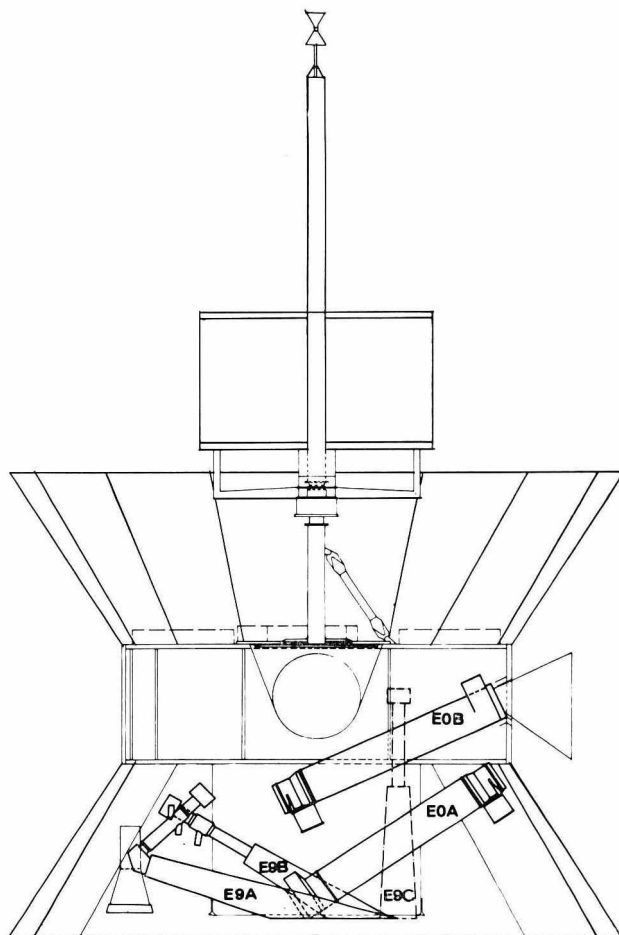


BILD 4: Längsschnitt durch den Sondenkörper mit den Experimenten, die sich in den unteren Konusraum hinein erstrecken.

Von den beiden Staubdetektoren (E 10) überdeckt der eine ein Gesichtsfeld um die Ekliptik, der andere ist im unteren Konus untergebracht, um Mikrometeoriten zu erfassen, die aus größeren ekliptikal Breiten einfallen. Der Ekliptikdetektor ist durch eine verspiegelte Perylen-Folie (Dicke einige 10^{-4} mm) vor direktem Sonnenlicht und damit vor zu großer Erwärmung geschützt. Da die Folie sehr empfindlich ist und dadurch die Gefahr der Zerstörung während der Startbelastung nicht ausgeschlossen ist, wurde eine verspiegelte Klappe angebracht, die die Experimentenöffnung verschließt, sobald die Temperatur im Inneren des Experiments die spezifizierte Grenze überschreitet. Eine Überhitzung des Geräts würde nicht nur dieses selbst schädigen, sondern darüber hinaus die ganze Sonde in Gefahr bringen. Bei HELIOS A blicken die Photometer von E 9 und einer der Sensoren von E 10 in Richtung auf den Südhimmel. Bei HELIOS B ist inverse Orientierung vorgesehen.

4. STROMVERSORGUNG

Weder das Leistungsangebot des Solargenerators und der Regler noch der Leistungsbedarf der Experimente sind über die Mission konstant. Der Wirkungsgrad der Solarzellen sinkt mit steigender Temperatur. Demgegenüber steigt die Einstrahlungsleistung umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstands von der Sonne. Im Aphelbereich müssen einige Experimente (E 2, E 3, E 4, E 9, E 10) aktiv geheizt werden, damit sie nicht zu kalt werden.

Die Sonde stellt für die Experimente geregelte und unregelte Spannung bereit. Die Hauptversorgungsspannung ist $28 \text{ V} \pm 1\%$ Gleichspannung. Für die Heizer ist die Spannung (28 V) unregelt. Hochspannung, die in einigen Experimenten notwendig ist (E 1, E 6, E 7, E 8, E 9, E 10) wird innerhalb der Experimente erzeugt. Die maximale Leistung, die für die Sonde zur Verfügung steht, liegt bei 238 W. Dieses Leistungsangebot sinkt durch Degradation der Solarzellen im Laufe der Mission um etwa 4% pro Umlauf ab. Im Mittel liegt der maximale Leistungsbedarf (ohne Einschaltstöße und andere kurze Spitzen) bei 212 W. Dabei sind für die unmittelbare Versorgung der Experimente maximal 70 W vorgesehen.

5. DATENVERARBEITUNG AN BORD

Die Aufgabe der Datenverarbeitung an Bord ist es, die von den Experimenten in experiment-internen Speichern abgelegten Meßdaten abzurufen, zu formatieren, zu kodieren und sie dann der Sendeanlage zuzuführen. Die ankommenden Kommandos müssen dekodiert und verteilt werden.

Um einerseits Messungen mit hoher Zeitauflösung zu ermöglichen, andererseits aber auch unter ungünstigen Übertragungsbedingungen noch sinnvoll arbeiten zu können, kann die übertragene Bitrate zwischen 8 bps und 4096 bps in binären Schritten den Empfangsbedingungen am Boden angepaßt werden. Die Information wird in Worten von 8 bit Länge zur Verarbeitung abgerufen.

Zur Formatierung sind sechs Formate an Bord fest verdrahtet. Die zu übertragenden Daten werden einem Datenrahmen eingefügt, der aus 144 Worten zusammengestellt wird. Die sechs Formate wurden gewählt, um die Messungen aller Experimente möglichst gut an die unterschiedliche Datenübertragungsrate anzupassen. Von den sechs Formaten ist eines (FM 4) nur der Übertragung von Ingenieursdaten vorbehalten, ein weiteres (FM 6) dient der Übertragung des Inhalts des zentralen Kernspeichers (524.288 bit Speicher-Kapazität). In den vier verbleibenden wissenschaftlichen Formaten sind subkommutiert 2 bis 16 Ingenieursworte enthalten. Die übertragbaren Bitraten sind:

- FM 1 : 512; 1024; 2048 bps
- FM 2 : 64; 128; 256; 512 bps
- FM 3 : 8; 16; 32; 64 bps
- FM 5 : 2048; 4096 bps
- FM 6 (Speicher auslesen) : 8 4096 bps

FORMAT 1

Experiment	Blocklänge Worte	Worte/ Rahmen	Subkommentations- Rate
1	504	28	18
2	72	9	8
3	4	12	1/3
4	32	16	2
5 a	32	16	2
5 b	7	7	1
5 c	40	20	2
6	80	10	8
7	6	6	1
8	20	5	4
9	72	1	72
10	36	1	36

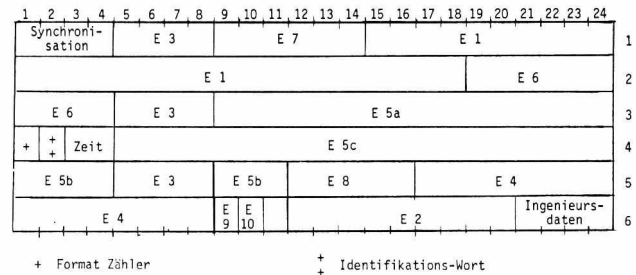


BILD 5: Beispiel für ein Datenübertragungs-Format: Format-Wortmatrix für FM 1. Jeder Teilstrich trennt jeweils zwei Worte.

Als Beispiel für den Aufbau eines Formats ist in BILD 5 Format 1 (FM 1) schematisch dargestellt. Wegen der sehr unterschiedlichen Meßaufgaben war es nicht möglich, in jeweils einem Formatrahmen eine vollständige Einzelmessung jedes Experiments unterzubringen. Deshalb werden 72 Datenrahmen zu einem Hauptrahmen zusammengefaßt. In jedem Hauptrahmen ist die vollständige Information von mindestens einem Meßpunkt jedes Experiments enthalten. Außerdem enthält jeder Datenrahmen ein Synchronisationswort (4 Telemetrieworte lang), 2 Worte für die Zeitangabe, die Format-Nummer und ein Identifikations-Wort. In FM 1 ist zusätzlich der Platz für ein weiteres Wort frei geblieben. Für die Analyse von Stoßwellenereignissen und ähnlichen schnell ablaufenden Vorgängen reicht die Zeitauflösung der normalen Datenübertragung nicht aus. Neben der Datenübertragung kann der Bordspeicher mit sehr hoher Bitrate (4096, 8192 oder 16384 bps) vollgeschrieben und später auf Kommando mit einer der normalen Telemetrie-Bitraten ausgelesen und zur Erde übertragen werden.

Der große Bordspeicher dient auch dazu, während einer Missionsphase, in der keine Daten zur Erde übertragen werden können, das Sammeln von normalen Meßdaten bei sehr niedriger Bitrate zu ermöglichen. Dadurch wird es möglich, auch aus den Perioden der Mission, in denen die Sonde im oberen Konjunktionsbereich steht, noch ein Minimum an Meßinformation zu gewinnen. Die Dauer einer solchen Periode ist programmierbar, so daß die Meßpunkte gleichmäßig über die Konjunktionsdauer verteilt werden können.

6. ZUSAMMENFASSUNG

HELIOS ist ein Raumfluggerät, das zehn Experimente in einer elliptischen Bahn bis auf 0.309 AU an die Sonne heranzuführt. Die Sonde gewährt den Experimenten die Umweltbedingungen, die sie für erfolgreiche Arbeit benötigen, bereitet die Meßdaten zur Übertragung zur Erde vor und sendet sie aus.