

Schlußbemerkungen

Das Plasmaexperiment wurde im Rahmen des Projektes HELIOS im Auftrag des Bundesministerium für Forschung und Technologie durch die Gesellschaft für Weltraumforschung in der DFVLR gefördert. Hauptkontraktor für Entwicklung und Fertigung des Experiments war die Firma Messerschmitt-Bölkow-Blohm GmbH. Entscheidende Beiträge leisteten auch die Unterauftragnehmer Firma Micro-

electronic A. Lewicki (Channeltronmontagen, Dickschichttechnik), die Firma Carl Zeiss AG (Analysatorschalen) und die Firma Dornier System GmbH (Fertigung der Kernspeicher).

Allen Institutionen, Firmen und besonders den Mitarbeitern an den verschiedenen Stellen, die durch großen, manchmal sehr persönlichen Einsatz dem Plasmaexperiment zum Erfolg verhalfen, sei auch an dieser Stelle herzlich gedankt.

Das Förstersonden-Magnetfeldexperiment (E2)

Günter MUSMANN, Fritz M. NEUBAUER, Arnold MAIER, Ernst LAMMERS,

Institut für Geophysik und Meteorologie der Technischen Universität Braunschweig

The Förstersonden-Experiment E2 is a three component-vector-magnetometer. Its purpose is to continuously observe the interplanetary magnetic field in a frequency range up to 4 Hz. Thereby certain phenomena are to be analysed as a function of the distance from the sun e.g. the spiral structure and discontinuities. The measurement ranges are ± 100 nT and ± 400 nT. The resolution is ± 0.2 nT and ± 0.8 nT respectively.

For accurate measurements of the zero offset of each sensor the component parallel to the spinaxis can be flipped by 90° . Depending on telemetry format and bitrate the digital data are fed into a time average computer or directly connected to telemetry. A shock identification-computer triggers the S/C core memory in case of discontinuities with variations of the ambient magnetic field magnitude.

Das Förstersondenexperiment E2 ist ein dreiaxsiges Vektormagnetometer. Es dient zur kontinuierlichen Beobachtung des interplanetaren Magnetfeldes in einem Frequenzbereich von 0 bis 4 Hz. Dabei sollen Erscheinungen wie die Spiralstruktur und Diskontinuitäten als Funktion des Abstandes von der Sonne untersucht werden. Die Meßbereiche sind ± 100 nT und ± 400 nT mit einer Auflösung von $\pm 0,2$ nT bzw. $\pm 0,8$ nT. Um genaue Nullpunktbestimmungen jedes Sensors durchzuführen wird die Komponente, die parallel zur Spinachse liegt, um 90° gedreht. In Abhängigkeit von Format und Bitrate durchlaufen die digitalen Daten einen Mittelwertrechner oder direkt zur Telemetrie. Ein Stoßwellenidentifikationscomputer triggert den S/C-Kernspeicher beim Auftreten von Diskontinuitäten mit Magnetfeldvariationen.

1. WISSENSCHAFTLICHE ZIELSETZUNG

Die Bewegung der geladenen Teilchen im interplanetaren Medium wird abgesehen vom meist kleinen Einfluß der Stöße durch magnetische und elektrische Felder bestimmt. Dies gilt sowohl für die relativ energiearmen Teilchen des solaren Windes (Protonenenergie ~ 1 keV, Elektronenenergie bis zu einigen 10 eV) als auch für die energiereichen Teilchen solaren oder galaktischen Ursprungs. Für letztere ist dabei das Magnetfeld dominierend, obwohl die elektrischen Felder durchaus nicht vernachlässigbar sind. Andererseits wirken Plasmaströme im solaren Wind wieder auf das Magnetfeld zurück. Zeitliche Änderungen des Magnetfeldes sowie Ladungstrennung bestimmen das elektrische Feld. Für nicht zu schnelle Variationen in Raum und Zeit sind elektrische Felder \underline{E} und Magnetfelder \underline{B} durch das Prinzip der eingefrorenen Felder verbunden durch

$$\underline{E} + \underline{v} \times \underline{B}$$

wobei \underline{v} die Massengeschwindigkeit des Plasmas ist.

Daraus ergibt sich, daß zum genauen Verständnis der Plasmamessungen des solaren Windes sowie der Messung ener-

giereicher Teilchen die Kenntnis des Magnetfeldvektors unbedingt notwendig ist. Andererseits gibt das Magnetfeld wichtige Informationen über das Plasma selbst. Solche Magnetfeldmessungen werden vom Förstersondenmagnetometerexperiment E2 der TU Braunschweig geliefert und zwar für Frequenzen bis 4 Hz, d. h. über den Gültigkeitsbereich des Konzepts des eingefrorenen Feldes hinweg. In Erdnähe reicht der Frequenzbereich etwa bis zur unteren Hybridfrequenz, da die Protonenzyklotronfrequenz hier im Mittel bei etwa 0.1 Hz. liegt.

Der von der Sonne ausströmende solare Wind ist immer von einem mit der Sonne rotierenden System von Plasmaströmen hoher Geschwindigkeit verbunden, das von Sonnenrotation zu Sonnenrotation je nach dem Grad der Aktivität mehr oder weniger starken Variationen unterworfen ist. Diese Ströme haben auch über das eingefrorene-Felder-Theorem eine ausgeprägte Struktur im interplanetaren Magnetfeld. Dieses Magnetfeld ist normalerweise für einen solchen Strom mit Anstiegs- und Abfallbereich durch eine bestimmte Polarität des interplanetaren Magnetfeldes ausgezeichnet. Ein oder mehrere Strombereiche bilden nach Beobachtungen nahe der Erde einen magnetischen Sektor, der durch eine von der Sonne weggerichtete oder zur Sonne gerichtete

tete radiale Magnetfeldkomponente ausgezeichnet ist. Die Beobachtungen des interplanetaren Magnetfeldes liefern zusammen mit dem Plasmaexperiment die Möglichkeit, zum ersten Mal hauptsächlich aus Beobachtungen diese Strom- und Sektorstruktur von weniger als 0.3 AE bis 1 AE um die Sonnenäquatorebene herum zu erfassen.

Insbesondere zu Zeiten großer Sonnenaktivität führen Eruptionen auf der Sonne zu „Explosionswellen“, die sich durch das interplanetare Medium ausbreiten, dies dabei stark modifizieren und schließlich in der Ionosphäre und Magnetosphäre der Erde zu heftigen Störungen, sog. magnetischen Stürmen, führen. Die Vorhut eines solchen Störungsgebietes bildet normalerweise eine MHD-Stoßwelle. Interessanterweise können solche Stoßwellen sich auch durch Aufsteilung der oben erwähnten Plasmaströme bilden. Die Untersuchung dieser Wellen von ca. 0.3 AE bis 1 AE ist ebenfalls von Interesse.

Auf kleineren Zeiten- und Längenskalen enthält der solare Wind außerdem ein kompliziertes Spektrum von Wellen und Diskontinuitäten. Es sind z. B. starke Hinweise für Alfvénwellen mit Perioden vom Minutenbereich bis Stundenbereich vorhanden. Von den plasmaphysikalisch möglichen fünf Arten von MHD-Diskontinuitäten sind schnelle (nach Sonneneruptionen) und langsame MHD-Stoßwellen, Alfvéndiskontinuitäten sowie Tangentialdiskontinuitäten bisher in Erdnähe im solaren Wind beobachtet worden. Die Anteile der verschiedenen Diskontinuitäten variieren dabei offensichtlich mit der Position innerhalb eines Stromgebietes. Aus den Magnetfeldmessungen an Bord von Helios ergeben sich zusammen mit dem Plasmaexperiment ganz neue Möglichkeiten die weitgehend ungeklärte Entstehung und Ausbreitung der Diskontinuitätsflächen sowie die wahre Zusammensetzung und das Wellenvektorspektrum der MHD-Wellen z. B. über die Abhängigkeit vom Abstand von der Sonne aufzuklären.

Schließlich können wir zu den hochfrequenten Messungen des Induktionsspulenmagnetometers E4 überleiten. Die Feinstruktur der Diskontinuitäten d. h. das Auftreten von durch Instabilitäten erzeugten Wellen im Bereich dieser Strukturen ist von besonderem plasmaphysikalischem Interesse. Darunter sind besonders interessant die relativ seltenen schnellen Stoßwellen, Tangentialdiskontinuitäten mit großen Änderungen des Magnetfeldbetrages sowie allgemein Strukturen mit starken Variationen in $|B|$, die auf Ströme senkrecht zu B schließen lassen. Für diese schnellen Vorgänge ist ein automatisches Identifikationssystem notwendig, um geeignete Ereignisse insbesondere Stoßwellen zu erkennen und das Einlesen mit großer Abtastrate in den Helioskernspeicher einzuleiten.

2. TECHNISCHE BESCHREIBUNG DES EXPERIMENTES

Das Fluxgate-Magnetometerexperiment E2 der Helios Raumsonden A und B ist ein dreiachsiges Vektormagnetometer nach dem Prinzip der Förstersonde. Jeder Sensor besteht aus zwei parallelen Kernen, die aus einem magnetisch weichen, hochpermeablen Material gefertigt sind. Jeder Kern ist mit einer getrennten Primär- und Sekundärwicklung versehen, wobei die Primärwicklung des zweiten Kerns gegenüber dem ersten Kern verpolt ist (Gegentaktbetrieb).

Wird der Primärkreis von einem Wechselfeld erregt, so ist bei Annahme einer idealen Symmetrie $B(H) = -B(-H)$ sowie bei verschwindendem äußeren, auf die Kerne wirkenden Feld H_e , keine Ausgangsspannung U_s in der Sekundärwicklung zu beobachten.

Wirkt ein äußeres Feld H_e auf die Kerne, wobei H_e parallel zu den Kernen verlaufen möge, so verschieben sich bei der Wechselfelderregung die Arbeitspunkte, und es erscheint eine Ausgangsspannung U_s , die ein Maß für das zu messende Feld H_e ist. Bei Annahme einer durch I_p (Primärstrom) hervorgerufenen Erregerfeldstärke $\hat{H}_1 \cdot \sin \hat{\omega} t$ ergibt sich unter Benutzung der in BILD 1 dargestellten Hysteresis-

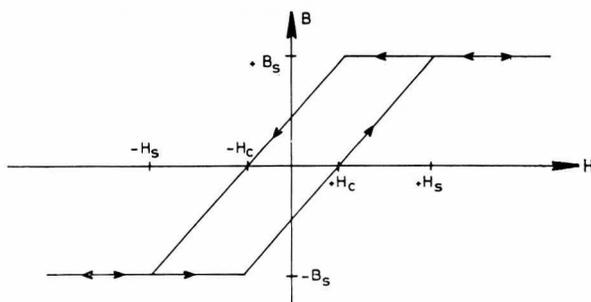


BILD 1: Idealisierte Hysteresis eines Sensorkernes

kurve die folgende Fourier-Zerlegung der Ausgangsspannung U_s :

$$U_s = \sum_{k=1}^{\infty} C_{2k} \left(B_s, \frac{H_e}{H_1}, \frac{H_s}{H_1}, \frac{H_c}{H_1}, \hat{\omega} \right) \sin \left[2k \hat{\omega} t + \Phi_{2k} \left(\frac{H_s}{H_1}, \frac{H_c}{H_1} \right) \right] \quad (1)$$

Die Beziehung (1) berücksichtigt den Einfluß von Wirbelströmen in den Sensorkernen nicht.

Bei der nachfolgenden in einer Analogelektronik stattfindenden Auswertung des Signals wird nun nur das 1. Glied der Fourier-Zerlegung benutzt. Die normalen Betriebsbedingungen sind:

- $H_e \ll \hat{H}_1$
- $H_c \ll \hat{H}_1$
- $H_s \ll \hat{H}_1$

Setzt man $U_s = \sum_{k=1}^{\infty} U_s^{(2k)}$, so läßt sich für $U_s^{(2)}$ die folgende Darstellung angeben:

$$U_s^{(2)} = \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{H_e}{H_1} \right)^{2n+1} \cdot G_{2n+1} \left(B_s, \frac{H_s}{H_1}, \frac{H_c}{H_1}, \hat{\omega} \right) \sin (2 \hat{\omega} t + \Phi_2) \quad (3)$$

Bei den unter (2) angegebenen Betriebsbedingungen konvergiert die Reihe (3) sehr schnell.

Kommerzielle Fluxgate-Sensoren verfügen über Abweichungen von der Linearität von kleiner als 1%. Die für Präzisionsmessungen nicht ausreichende Linearität läßt sich durch eine Gegenkopplung wesentlich verbessern. Der Sensor sieht dann nur noch ein gegenüber dem zu messenden Feld H_m sehr kleines Feld H_e . Es ist daher ausreichend nur das 1. Glied der unter Gleichung (3) angegebenen Reihenentwicklung weiter zu benutzen.

Benutzt man die Abkürzung $G_1/\hat{H}_1 = K_1$, so lautet das erste Glied von Gleichung (3):

$$U_s^{(2)} = K_1 H_e \sin (2 \hat{\omega} t + \Phi_2) \quad (4)$$

Dies entspricht jedoch nur idealen Verhältnissen, wie sie bei Annahme identischer und symmetrischer Hysteresisschleifen beider Kerne sowie unter Vernachlässigung der Mikrostrukturen der Ferromagnetika auftreten. Es bedarf daher der Korrektur durch eine Störgröße N , die Effekte wie Anisotropien, Nachwirkungseffekte sowie Einflüsse von Restmagnetisierungen enthält.

$$U_s^{(2)} = [K_1 H_e + N(t)] \sin (2 \hat{\omega} t + \Phi_2) \quad (5)$$

Durch eine Feststromkompensation in der Sekundärwicklung kann man erreichen, daß konstante Anteile dieser Störgröße N kompensiert werden, so daß die Störgröße N nur noch das Nullpunktverhalten des Sensors bestimmt.

Das Sensorsignal $U_s^{(2)}$ wird auf den Eingang eines selektiven Meßverstärkers der Mittenfrequenz $2f$ gegeben (s. BILD 2). Der sich anschließende Demodulator (gesteuerter

TAB. I: TECHNISCHE DATEN DES EXPERIMENTES

Gewicht einschließlich des Umklappmechanismus	4,4 kg
Leistungsaufnahme:	5,8 W unreguliert
Leistungsaufnahme des Flippers auf Kommando:	ca. 2,2 W für 10 min.
Arbeitstemperaturbereich:	-30° C bis + 68° C (einschließlich des Flippers, der diesen Temperaturbereich nach unten und oben begrenzt bei voller Funktion).

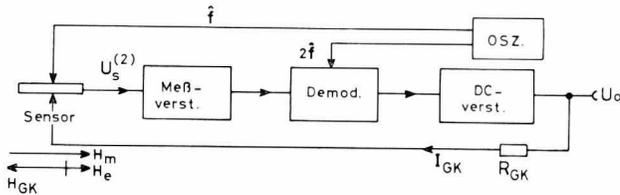


BILD 2: Prinzipanordnung der Magnetometer-Elektronik

Gleichrichter) liefert im Grenzfall eines zu messenden Gleichfeldes eine Ausgangsspannung, deren Polarität und Betrag dem auf den Sensor wirkenden Magnetfeld in Richtung und Amplitude entspricht. Das Ausgangssignal des Demodulators wird von dem sich anschließenden DC-Verstärker verstärkt. Die Ausgangsspannung U_o des Verstärkers bewirkt einen Strom in der Gegenkopplungsspule, der ein dem zu messenden Feld H_m entgegengesetztes gerichtetes Feld H_{GK} erzeugt. Durch die Gegenkopplung sieht der Sensor daher nur noch ein äußeres Feld $H_e = H_m - H_{GK}$. Zur Vermeidung von Aliasing Fehlern bei der Abtastung und Übertragung ist hinter dem Analogausgang ein Aliasingfilter mit einer 3db-Frequenz von 4,0 Hz geschaltet. Drei Sensoren sind in einem Tripel, das ein rechtwinkliges Koordinatensystem aufspannt, in einem thermisch isolierten Gehäuse, in etwa 2,75 m Abstand vom Satelliten, an einem Ausleger (Boom genannt) angebracht. Der v-Sensor liegt parallel zur +X-Richtung des Helios, u parallel zur -Y-Richtung und w parallel zur +Z-Richtung (s. BILD 3).

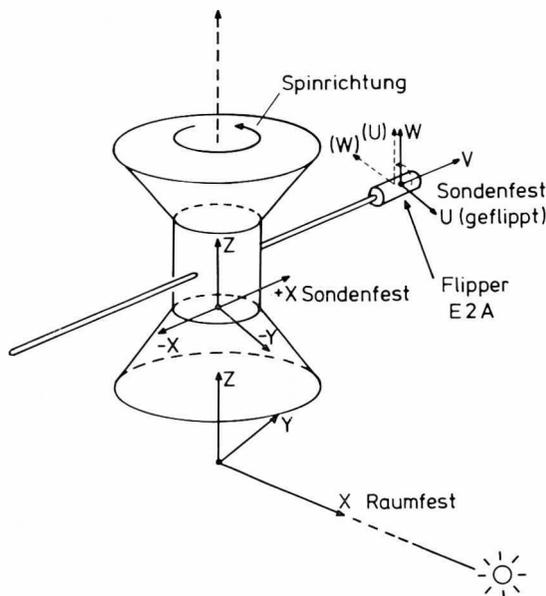


BILD 3: Koordinatensystem E2

3. NULLPUNKTSBESTIMMUNG

Alle Fluxgate-Magnetometer, also auch die Förstersonde, besitzen eine Nullpunktsablage, die nicht stabil ist. Da diese Nullpunktsdrift erfahrungsgemäß in der Größenordnung eines nT pro Woche liegt, muß man bei einer Auflösung, die besser ist als 1 nT, versuchen, diese Drift zu eliminieren. Bei rotierenden Raumfahrzeugen ist dieses Problem für die Magnetometer – die senkrecht zur Spinachse liegen – leicht zu lösen, in diesem Fall also für die Komponenten v und u. Die Komponente w, die parallel zur Spinachse liegt (siehe BILD 3), muß zur Berechnung der Drift in die Drehebene, also um 90° um die Richtung von v gedreht werden.

Die Nullpunktsbestimmung kann am Boden bei der Auswertung für die Komponenten vorgenommen werden, die in der X-Y-Ebene des Raumfahrzeuges liegen. Es sei z. B. B_m , daß äußere zu messende Feld in einem raumfesten (ξ, η, ζ) System mit $\zeta \parallel Z$, B_{SC} das Störfeld des Satelliten am Orte der Sensoren und B_{OFF} , das durch Nullpunktsdriften der Magnetometerkomponenten vorgetäuschte Zusatzfeld. Dann ergeben sich für die Stellung $u \parallel -Y, v \parallel +X, w \parallel +Z$ folgende Ausgangssignale der Sensoren, wobei eine Spinfrequenz Ω_s zugrunde gelegt wird:

$$\begin{aligned} S_U &= E_U [B_m \xi \sin \Omega_s t - B_{m\eta} \cos \Omega_s t - B_{SCY} + B_{OFFU}] \\ S_V &= E_V [B_m \zeta \cos \Omega_s t + B_{m\eta} \sin \Omega_s t + B_{SCX} + B_{OFFV}] \\ S_W &= E_W [B_m \zeta + H_{SCZ} + B_{OFFW}] \end{aligned} \quad (6)$$

Entsprechend erhält man in der Stellung $u \parallel +Z, v \parallel +X, w \parallel Y$:

$$\begin{aligned} S_U &= E_U [B_m \zeta + B_{SCZ} + B_{OFFU}] \\ S_V &= E_V [B_m \zeta \cos \Omega_s t + B_{m\eta} \sin \Omega_s t + B_{SCX} + B_{OFFV}] \\ S_W &= E_W [-B_m \xi \sin \Omega_s t + B_{m\eta} \cos \Omega_s t + B_{SCY} + B_{OFFW}] \end{aligned} \quad (7)$$

Eine Mittelwertbildung mit einer Zeitkonstanten $T \gg \Omega_s/2\pi$ liefert für die Komponenten senkrecht zur Spinachse des Satelliten die Summe aus Nullpunktsablage und Störfeld des Satelliten:

Von den Sensoren aus gesehen ergibt sich für die beiden Stellungen des Umklappmechanismus (Flipper genannt) folgendes Feld nach der Mittelung:

- a) $u \parallel -Y, v \parallel +X, w \parallel Z$ (Stellung 1):
 - für die u-Komponente: $-B_{SCY} + B_{OFFU}$
 - für die v-Komponente: $+B_{SCX} + B_{OFFV}$
- b) wenn $u \parallel Z, v \parallel +X, w \parallel +Y$ (Stellung 2)
 - für die v-Komponente: $+B_{SCX} + B_{OFFV}$
 - für die w-Komponente: $+B_{SCY} + B_{OFFW}$

Bei bekanntem B_{SC} am Ort der Magnetometer ist die Bestimmung von B_{OFF} möglich. Dieses würde jedoch zu hohe Anforderungen an die magnetische Reinheit der Raumsonde sowie an die Stabilität der remanenten Restmagnetisierung während des Starts und des späteren Fluges bedeuten, oder eine größere Entfernung der Magnetometer vom Satelliten. Für einen Abstand von 2,75 m vom Zentrum des Helios ergaben Bodenmessungen eine remanente Restmagnetisierung nach einer Entmagnetisierung des Raumfahrzeuges von 0,2 nT in jeder Achse. Das Streufeld des Satelliten war kleiner als 0,2 nT.

BILD 4 zeigt den mechanischen Aufbau des Flippers. Das Sensortripel im oberen Teil des Bildes sitzt auf einer Drehachse, die von einer unmagnetischen Feder angetrieben wird. Über ein Kommando von der Bodenstation wird jeweils ein mit Alkohol gefüllter Balg geheizt (2 Watt Heizleistung für ca. 8 Minuten), der dann einen Arretierungsstift zieht, so daß die Feder freigegeben ist und den Sensor um $90^\circ \pm 1$ Bogenminute bis zu einem Anschlag dreht. Beim nächsten Kommando wird ein zweiter Balg geheizt, der den zweiten Anschlag freigibt, so daß der Sensor wieder in die Ausgangsstellung gegen den ersten Anschlag zurückgedreht wird. Mit einem Aufzug der Feder können auf diese Weise ca. 400 Umklappungen vorgenommen werden. Da der Um-

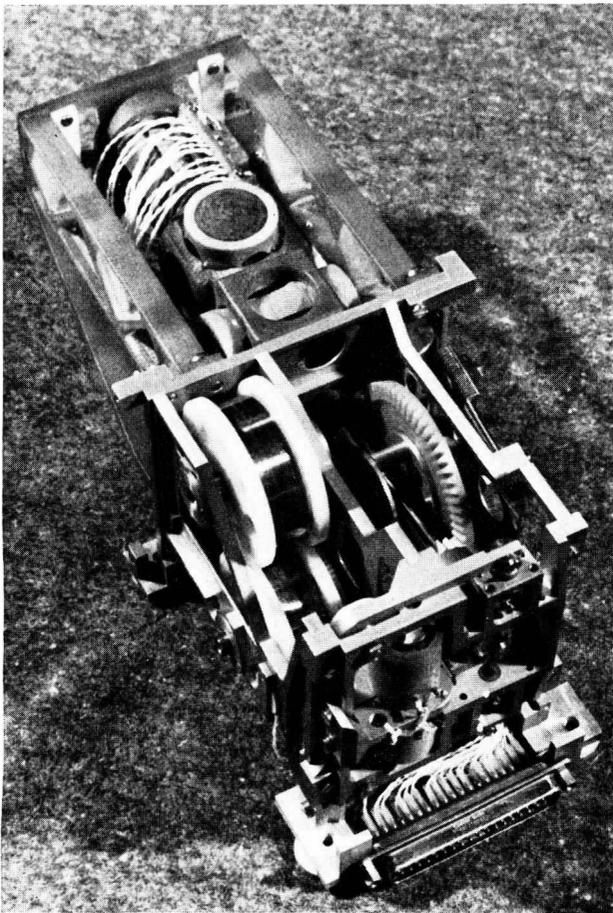


BILD 4: Mechanischer Aufbau des Umschaltwerkes (Flippers)

klappvorgang innerhalb von ca. 1 msec stattfindet, kann außer der Bestimmung der drei Nullpunktsablagen der Sensoren auch das Raumfahrzeugstörfeld in Y-Richtung B_{SCY} bestimmt werden, wenn angenommen wird, daß innerhalb dieser 1 msec Drehzeit das äußere Feld konstant geblieben ist.

4. DATENVERARBEITUNG AN BORD

Die drei analogen Meßspannungen der Magnetometer-Komponenten u , v , w werden nacheinander über einen elektronischen Umschalter (Multiplexer), einem 8-Bit-Analog-Digital-Wandler zugeführt. Bei einer nominalen Spinrate des Raumfahrzeuges von einer Umdrehung pro Sekunde werden 8 Meßwerttripel pro Umdrehung spinsynchron abgetastet. Entsprechend den zu erwartenden Feldern in Erdnähe von ca. 7 nT und in Sonnennähe (Perihel) ca. 70 nT, sind die Sensoren für einen unteren Meßbereich von ± 100 nT ausgelegt. Eine 8-Bit Analog-Digital-Wandlung entspricht dann einer Auflösung von $\pm 0,2$ nT, da das Vorzeichen des Meßbereiches separat angezeigt wird. Eine automatische Meßbereichsumschaltung kann beim Auftreten größerer Felder (z. B. Stoßwellenereignissen) den Meßbereich um einen Faktor 4 erweitern. Zusätzlich zu der 8-Bit-Information über die Größe des Feldes werden noch je 1 Bit über Vorzeichen und Meßbereich in ein Parallel-Serien-Register eingespeist, so daß ein Meßwerttripel (1 Magnetfeldvektor) aus 3×10 Bit besteht. Zusätzlich wird noch eine Information über den Drehwinkel in der Drehebene in bezug auf die Sonne durch 2 weitere Bits angezeigt.

Über ein Kommando kann ein Kalibrierzyklus ausgelöst werden, der am Orte der Sensoren über Zusatzspulen künstliche Felder erzeugt, so daß die Empfindlichkeit der Sensoren und gleichzeitig die Funktion des Analog-Digital-Wandler getestet werden kann.

Helios besitzt eine maximale Bitratenübertragungskapazität

von 4096 Bit pro sec. Im ungünstigsten Fall, d. h. bei großer Entfernung des Helios von der Erde (z. B. 2 AU) oder für den Fall, daß keine großen Empfangsantennen auf der Erde zur Verfügung stehen, muß mit einer Bitrate von 8 Bit/sec gerechnet werden. Abhängig von dieser Übertragungsbitrate wird an Bord die Abtastrate der Magnetometersensoren gesteuert. Bei 2048 Bit werden 4 Vekt./Umdrehung übertragen, bei einer Bitrate von 8 kann jedoch nur noch alle 64 sec 1 Vektor übertragen werden. Aus diesem Grunde ist im Experiment ein digitaler Mittelwertrechner (Time-Average-Computer-TAC genannt) eingebaut. Die Funktion des Mittelwertrechners bzgl. der Verarbeitung der angebotenen Meßdaten wird von dem Telemetrieformat und von der Telemetrie-bitrate des Helios abhängig gemacht. Ist die Bitrate genügend groß, so erfolgt keine Mittelwertbildung, sondern die Übertragung der größtmöglichen Menge von Originalmeßdaten. Die Mittelwertbildung setzt erst im Format 2 bei einer Bitrate von 256 bps ein. Sie erfolgt dann über 2 Meßwerte in Richtung zur Sonne. Im ungünstigsten Fall (8 bps) wird über 64 Meßwerte in Richtung Sonne gemittelt. Der Mittelwertrechner benutzt zur Mittelwertbildung folgende Beziehung:

$$nM - \frac{nM}{n} + MW = nM' \quad (8)$$

Dabei bedeutet:

M ... alter Mittelwert

M' ... neuer Mittelwert

MW ... aktueller Meßwert

n ... Anzahl der Meßwerte in Sonnenrichtung, über die gemittelt wird (Funktion der Bitrate: $2^1 \leq n \leq 2^6$)

Bei der Bildung des neuen Mittelwertes (nM') wird vom n -fachen alten Mittelwert (nM) der einfache alte Mittelwert (M) abgezogen und dazu der aktuelle Meßwert (MW) addiert. Das Ergebnis ist der n -fache neue Mittelwert (nM'). Am Ende eines Mittelungsintervalls wird aus nM' der einfache Mittelwert gebildet, indem der Wert von nM' durch n dividiert wird. Das Ergebnis wird dann an einen Zwischenspeicher zur Übertragung an die Telemetrie weitergegeben. Da der Wert von n – bedingt durch die Telemetrie – stets eine ganzzahlige Potenz von 2 ist, ist zur Division durch n lediglich eine Schiebeoperation erforderlich. Ein aufwendiges Dividerwerk ist somit nicht nötig.

5. STOSSWELLENIDENTIFIKATIONSCOMPUTER

Eines der wesentlichsten wissenschaftlichen Ziele des Helios ist die Messung von Diskontinuitäten mit starken IBI -Variationen z. B. auch der relativ seltenen Stoßwellen mit hoher Zeitauflösung. Da ein solches Ereignis innerhalb von wenigen Minuten das Raumfahrzeug passiert, die Laufzeit eines Kommandos von der Erde zum Satelliten jedoch bis zu 16 Minuten betragen kann, war es notwendig, an Bord ein automatisches Identifikationssystem für derartige Ereignisse zu haben. Da die Zeitfunktion eines solchen Ereignisses mit einer Bandbreite von Null bis zu 150 Hz (Experiment 4) gemessen werden soll, reicht die Übertragungskapazität von 2048 Bit nicht aus, für 10 Experimente gleichzeitig Daten mit hoher Zeitauflösung zur Erde zu übertragen. Deshalb ist an Bord ein Kernspeicher mit 500 kBit Kapazität, der mit 3 unterschiedlichen Bitraten (4096, 8192, 16384) vollgeschrieben werden kann. Dieser Kernspeicher besteht aus 3 Teilen: A, B und C. In A (oder B) wird ständig überschreibend ein sogenanntes Schockformat (FM6) mit hoher Bitrate eingelesen und zwar nur für die Magnetfeldexperimente 2, 3 und 4 und für das elektrische Feldexperiment 5. Wird nun z. B. ein Stoßwellenereignis an Bord registriert, so kann von dem Experiment 2 (Magnetfeldvariation) oder von dem Experiment 5 (elektrische Feldvariation) ein sogenannter Schockimpuls ausgelöst werden, der das Einlesen in Teil A (oder B) stoppt und im folgenden den Teil

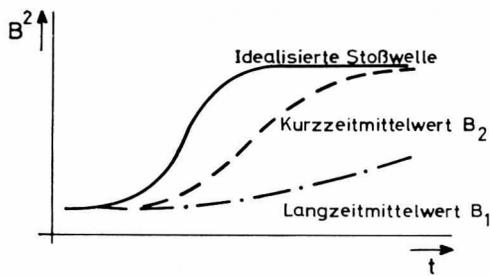


BILD 5: Beispiel einer Stoßwelle

C vollschreibt. Ist der Teil C vollgeschrieben, beginnt das ständige Überschreiben der folgenden Daten in dem Teil B (oder A). A (oder B) enthält so die Vorgeschichte der Stoßwelle, während in dem großen Teil C die Nachgeschichte steht. Der Kernspeicherinhalt kann dann zu einer späteren Zeit mit geringerer Bitrate zur Erde übertragen werden.

In BILD 5 ist das Beispiel einer vereinfachten Stoßwelle dargestellt, wie es aus den Meßdaten erkannt werden soll. Danach muß der Identifikationscomputer auf eine positive Änderung des Betrages der magnetischen Feldstärke einen Impuls auslösen (sog. Schockpuls). Er darf jedoch nicht bei kurzzeitigen Störungen von Seiten des Raumfahrzeuges einen solchen Impuls erzeugen. Zu diesem Zweck wird im Experiment zunächst das Betragsquadrat der magnetischen Feldstärke gebildet:

$$|B|^2 = B_u^2 + B_v^2 + B_w^2 \quad (9)$$

Aus dem Betragsquadrat werden 2 Mittelwerte unterschiedlicher Mittelungszeit errechnet, und zwar der Kurzzeitmittelwert B_2 :

$$8 B_{2, n} = 8 B_{2, n-1} - \frac{1}{8} 8 B_{2, n-1} + |B|^2 \quad (10)$$

nach Gl. (9) über 8 Meßwerte und ein Langzeitmittelwert B_1 :

$$256 B_{1, n} = 256 B_{1, n-1} - \frac{1}{256} 256 \cdot B_{1, n-1} + B_{2, n} \quad (11)$$

über 256 Meßwerte. Die Berechnungsverfahren nach Gl. (10) und (11) haben den Vorteil des geringen Speicherplatzbedarfs gegenüber einer konventionellen arithmetischen Mittelung, für die 8 bzw. 256 Meßwerte gespeichert werden müßten. Als Eingangsgröße für B_1 findet B_2 Verwendung, um eine zusätzliche Beruhigung der sich ergebenden Funktionen (hintereinandergeschaltete Tiefpässe) zu erreichen.

BILD 5 zeigt zur Stoßwelle den Verlauf von B_2 und B_1 .

Die Differenz von B_2 und B_1 wird in der normierten Form:

$$A_1 = \frac{B_2 - B_1}{B_2} \quad (12)$$

als Stoßwellenerkennungskriterium benutzt und A_1 als dynamischer Wert der Stoßwellenerkennung bezeichnet. Der Wert A_1 wird im Experiment 8 mal/sec. errechnet. Dabei findet ein Vergleich statt mit einer Schwelle A_2 (statische Schockschwelle), die den bisher größten A_1 -Wert beinhaltet:

$$A_{2, n} = \underset{0 \rightarrow n}{\text{Max}} (A_1) \quad (13)$$

Ist A_1 größer als A_2 , so wird $A_2 = A_1$ gesetzt und ein Schockimpuls an den Kernspeicher ausgegeben und das Einlesen der folgenden Daten in den Kernspeicher gestartet.

Da nun eine relativ schnelle Änderung der Nullpunktsdrift eines der Sensoren in positiver Richtung ebenfalls eine Änderung des Betrages der magnetischen Feldstärke hervorrufen könnte, muß der Nullpunkt der Sensoren an Bord errechnet werden und bei der Berechnung der Schockschwellen A_1 und A_2 berücksichtigt werden. Dazu dient ein sogenannter Offsetrechner. Bei konstantem äußeren Magnetfeld ist die Analogspannung der beiden sich in der Drehebene des Satelliten befindlichen Magnetometer sinusförmig (90° phasenverschoben). Diese Spannung wird 8 mal pro Um-

drehung (8 mal/sec) abgetastet. Bei Vorhandensein einer Nullpunktsdrift U_{offset} ergibt sich als Summe dieser 8 Meßwerte:

$$\sum_1^8 U_{\text{meß}} = 4 (U_{\text{wahr}} + U_{\text{offset}}) - 4 (U_{\text{wahr}} - U_{\text{offset}}) = 8 U_{\text{offset}} \quad (14)$$

Siehe dazu BILD 6

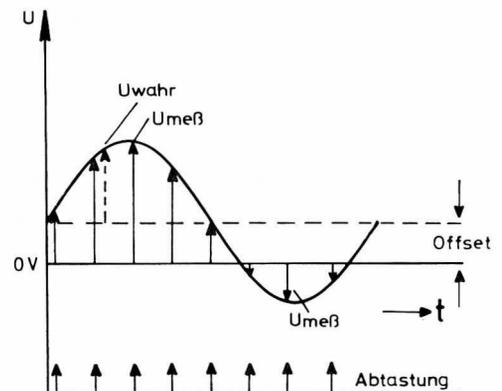


BILD 6: Bestimmung der Nullpunktsdrift

U_{offset} ergibt sich also als Ergebnis einer arithmetischen Mittelung. Damit nun kurzzeitige Änderungen des Magnetfeldes sowie Störungen nicht sofort den errechneten Wert der Nullpunktsdrift verfälschen, muß man lediglich genügend lange mitteln. Gewählt wurde eine Anzahl von 2^{15} Abtastungen, entsprechend etwa 1,14 Std. Für den Sensor, der sich gerade senkrecht zur Drehebene befindet, wird der Nullpunktsdriftwert benutzt, der sich für diesen Sensor vor dem letzten Flippen ergeben hatte. Der Nullpunktsdriftwert wird aus den digitalen Meßwerten als NE_i ($i = u, v$), folgendermaßen berechnet:

$$2^{15} NE_{i, n} = 2^{15} NE_{i, n-1} - \frac{1}{2^{15}} 2^{15} NE_{i, n-1} + B_{i, n} \quad (15)$$

($B_{i, n}$ = Meßwert der Komponente i)

6. AUSWERTUNG DER TELEMETRIEDATEN

Die Auswertung der telemetrierten Daten am Boden dient zur Beseitigung und Erkennung von Übertragungsfehlern, zur Beseitigung von systematischen Fehlern des Experiments sowie zur Darstellung in einer für die wissenschaftliche Auswertung brauchbaren Form. Der experimentenspezifische Teil der Auswertung beginnt mit einer Bestimmung der wirklichen Sensorrichtungen bezogen auf ein durch die **wahre** Spinachse sowie die Sonnenrichtung gegebenes Bezugssystem mit Hilfe der beobachteten Magnetfelddaten. Dabei werden auch die Nullpunkte in der Spinebene bestimmt. Die Bestimmung des Nullpunktes der Komponente in Spinrichtung ist wesentlich komplizierter. Dabei werden die magnetische Vermessung vor dem Start, die Umklappungen mit Hilfe des „Flippers“ während des Fluges sowie gewisse Symmetrien in den beobachteten interplanetaren Magnetfeldern benutzt. Das Aliasingfilter im Experiment erzeugt besonders bei Frequenzen oberhalb etwa 0,1 Hz Phasen- und später auch Amplitudenfehler. Es wird der Phasenfehler auf Grund des Spins bei den Komponenten in der Spinebene korrigiert, so daß nur noch Magnetfeldvariationen mit $f > 0,1$ Hz Phasenfehler und Amplitudendämpfungsfehler enthalten, die bei Untersuchungen größerer Zeitauflösung noch korrigiert werden müssen. Danach erfolgen verschiedene Koordinatentransformationen in physikalisch sinnvolle Koordinatensysteme wie das solar-ekliptische und das solar-äquatoriale. Bei der Routineauswertung werden graphische Darstellungen über 1 Stunde mit 8-Sekundenmittelwerten erstellt sowie bei Bedarf Ausdrucke.

7. KOMMANDOGABE

Das Experiment wird im Flug durch 10 verschiedene Kommandos vom Boden aus kontrolliert und gesteuert.

- (1) *Haupteinschaltkommando* mit folgender Wirkung:
 - a) Vorgesehene Abtastrate (8 Vektoren/Umdrehung)
 - b) AD-Wandler Nr. 2 ein
 - c) Daten von E2 ein
 - d) Kalibrierung aus
 - e) Flipper aus
- (2) *AD-Wandler Nr. 1 ein*
(Einschalten eines redundanten Wandlers)
- (3) *Daten von E3 ein*
Im Falle eines Defektes der Sensoren kann das Signal

des teilweise redundanten Magnetometers E3 übernommen werden

- (4) *Empfindlichkeitskalibrierung ein*
- (5) *Daten von E2 ein*
- (6) *Flipper ein*
- (7) *Doppelte Abtastrate*
(falls die Spinrate des S/C unter eine bestimmte Grenze sinkt)
- (8) *Halbe Abtastrate*
(falls die Spinrate wesentlich größer ist als 1 Hz)
- (9) *Normale Abtastrate*
- (10) *AD-Wandler Nr. 2 ein*

The Rome-GSFC Magnetic Field Experiment for HELIOS A and B (E3)

C. SCEARCE¹, S. CANTARANO², N. NESS¹, F. MARIANI³, R. TEREZI², L. BURLAGA¹

The Rome-GSFC magnetic field experiment is a cooperative effort between the Laboratorio Plasma Spazio of CNR (formerly at the University of Rome) and GSFC. The experiment utilizes a tri-axial fluxgate (saturable inductor) magnetometer. The sensor unit is mounted on the end of a boom approximately four meters from the spacecraft spin axis. The three analog outputs of the magnetometer are converted into three 9 bit digital words. The experiment utilizes an automatic inflight range switch to select the optimum dynamic range out of 4 ranges. A nonmagnetic thermally oscillating actuator is used to reorient the sensor unit by 90° to determine all three axes zero levels. The accuracy should be approximately $\pm 0.1 \gamma$. The vector measurements are made at equal intervals in time ranging from 16 per second down to 1 per second depending on the telemetry bit rate.

Das Rome-GSFC Magnetometer-Experiment ist eine gemeinsame Arbeit des Laboratorio Plasma Spazio der CNR (früher Universität Rom) und dem Goddard Space Flight Center. Das Experiment verwendet ein Dreifachsen-Fluxgate-Induktions-Magnetometer. Der Sensor befindet sich an einem Boom ca. 4 m von der Spinachse entfernt. Die drei Analog-Ausgänge werden in drei 9 bit Digital-Worte umgewandelt. Das Experiment besitzt einen automatischen Wählschalter für die Auswahl des optimalen Meßbereiches unter den vier verschiedenen dynamischen Bereichen. Ein unmagnetischer Thermal-Oszillationsschalter wird verwendet, um den Sensorkopf um jeweils 90° zu drehen. Damit lassen sich die Nullwerte aller drei Achsen bestimmen. Die Meßgenauigkeit liegt bei $\pm 0,1 \gamma$. Vektormessungen können mit einer Frequenz von 16 pro sek bis zu 1 pro sek gemacht werden, je nach der zur Verfügung stehenden Telemetrie-Bitrate.

1. INTRODUCTION

The Rome-GSFC magnetic field experiment is a cooperative effort between the "Laboratorio Plasma Spazio of CNR" (formerly at the University of Rome) and GSFC. The Laboratorio Plasma Spazio has the overall responsibility of design, fabrication, integration and data reduction. GSFC has the responsibility of fluxgate magnetometer, sensor package and thermal control of the sensor package.

The principal scientific objectives include studies of the following: 1. Quasi-stationary sector structure, its relation to the solar photospheric field, and its relation to the origin of streams and shocks. 2. Spatial variation of B compared to theories of the dynamics of shock waves, streams, and ambient wind. 3. Origin of filaments and discontinuities, and their physical properties; their evolution with distance from the sun, and/or heliographic latitude. 4. Frequency spectra (actually, measure wave-number spectra due to convection of the medium past the satellite); wave profiles; nature of the fluctuations and their origin, interactions, motions, and variations with distance. 5. Cosmic ray propagation and interaction with the magnetic field.

¹ NASA/Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland

² Laboratorio Plasma Spazio, CNR, Frascati, Italy

³ Istituto Fisica Università, L'Aquila, Italy