

G. DEHMELE\*)

# Die Elektronik des Induktionsspulen-Magnetometers der Sonnensonde HELIOS

In einem vorangegangenen Beitrag sind die Meßaufgaben, die Meßbereiche und die Funktion des Experimentes beschrieben worden. Es untersucht den sich schnell verändernden Anteil des interplanetaren Magnetfeldes. Sein Wellenformkanal (WFC) mißt die Zeitfunktionen der magnetischen Feldstärke und ihrer Richtung im Anschluß an ein anderes Magnetometer-Experiment von 4 Hz bis zu einer Grenzfrequenz von maximal 128 Hz und der Spektralanalysator (SPA) untersucht das Frequenzspektrum des Magnetfeldes im Bereich zwischen 4,7 und 2200 Hz. Die Wellenformmessungen ergeben eine hohe, nicht direkt übertragbare Datenrate, weshalb die Ergebnisse zwischengespeichert werden müssen. Wegen des begrenzten Speicherplatzes muß man sich dabei auf kurze, ausgewählte Zeitabschnitte beschränken. Die Spektraldaten können dagegen direkt übertragen werden, denn hier gleicht ein Mittelwertrechner selbsttätig den erzeugten an den übertragbaren Datenfluß an. Die Elektronik ist im übrigen so ausgelegt, daß die erwarteten Werte der Meßgrößen in den Meßbereichen des Experimentes liegen, was durch Umschalten der Verstärkung und der WFC-Grenzfrequenz erreicht wird.

\*) Dr.-Ing. G. Dehmel ist Akadem. Direktor am Institut für Nachrichtentechnik der TU Braunschweig und Experimentleiter.

\*\*) Die magnetische Feldstärke ist hier nach Multiplikation mit der absoluten Permeabilität als „Leerinduktion“ in der Einheit Nanotesla (nT) ausgedrückt, wobei 1 nT dem Wert  $10^{-9}$  G entspricht.

## Elektronik-Blockschaltbild

Das Blockschaltbild der vollständigen Experiment-Elektronik ist im Bild 1 wiederholt. Diesem Bild folgend soll der Aufbau und die Wirkungsweise der Elektronik erläutert werden.

## Sensor und Vorverstärker

Der Sensor besteht aus drei rechtwinklig zueinander stehenden gleichen Komponenten. Jede enthält eine Spule (47000 Windungen 0,05 mm CuL-Draht) auf einem zylindrischen Mumetallkern (320 mm lang, 6 mm Durchmesser) und einen rauscharmen Vorverstärker. In der Spule wird eine vom Verlauf des äußeren Magnetfeldes  $H(t)$  abhängende Spannung  $u_s = E_1 \cdot \frac{dH}{dt}$  induziert. Für ein sich sinusförmig änderndes Feld der Amplitude  $H$  und Frequenz  $f$  ist die Spannung  $\hat{U}_s = E_2 \cdot H \cdot f$ .  $E_1 = 0,96 \cdot 10^{-6} \text{Vs/nT**}$  bzw.  $E_2 = 6 \cdot 10^{-6} \text{V/nT Hz}$  sind die erreichten Empfindlichkeitskonstanten. Durch Aufteilen der Spulwicklung in zehn Kammern ist die Eigenkapazität der Spule klein gehalten und durch Anwenden einer Kompensationsschaltung im Vorverstärker dessen parallel liegende Eingangskapazität. So ergibt sich trotz der für die geforderte Empfindlichkeit notwendigen großen Spuleninduktivität  $L = 300 \text{ H}$  eine Parallelresonanzfrequenz  $f_r = 2,8 \text{ kHz}$  des Sensors. Sie liegt genügend weit oberhalb des Meßfrequenzbereiches,

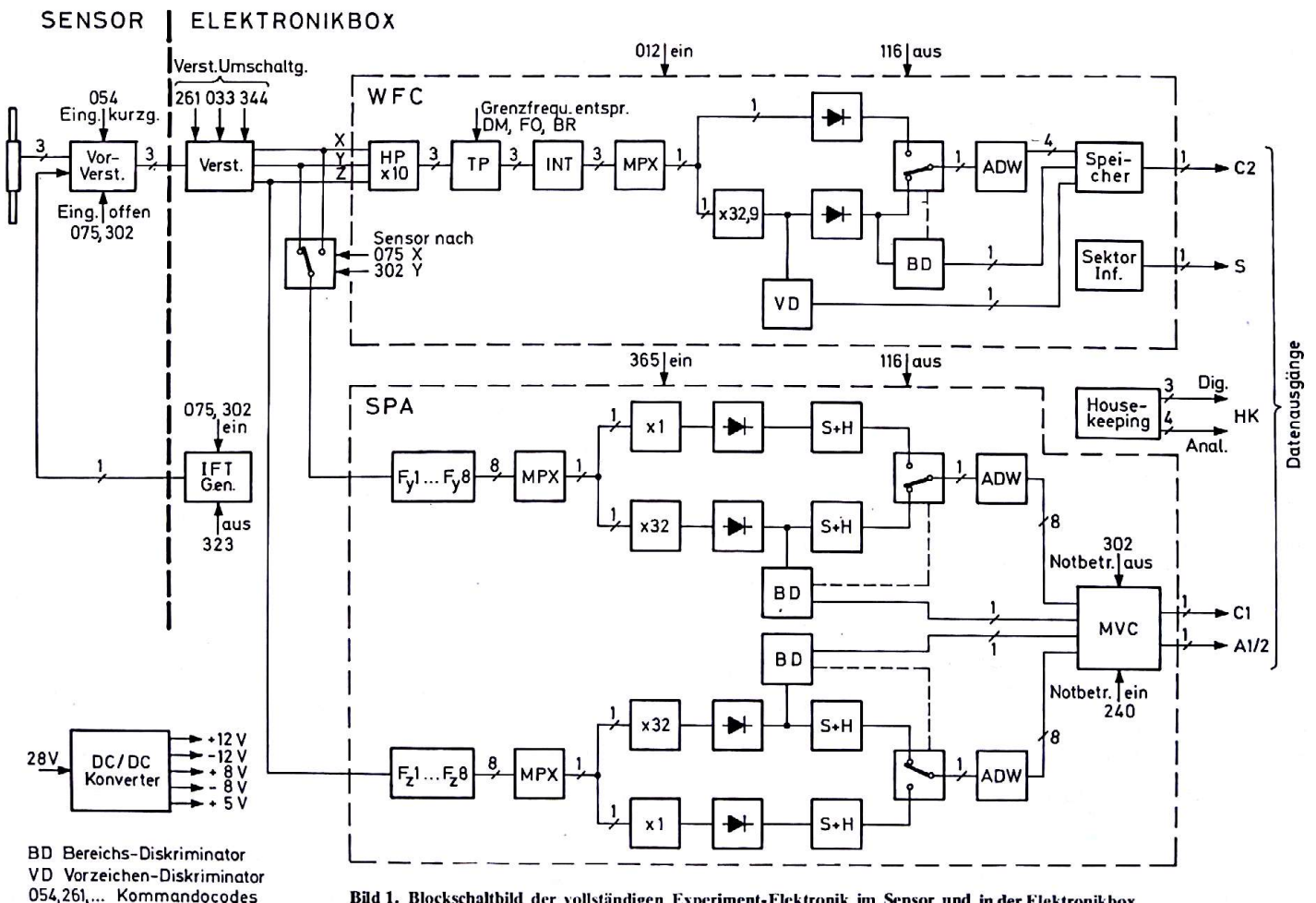


Bild 1. Blockschaltbild der vollständigen Experiment-Elektronik im Sensor und in der Elektronikbox

BD Bereichs-Diskriminator  
VD Vorzeichen-Diskriminator  
054, 261, ... Kommandocodes

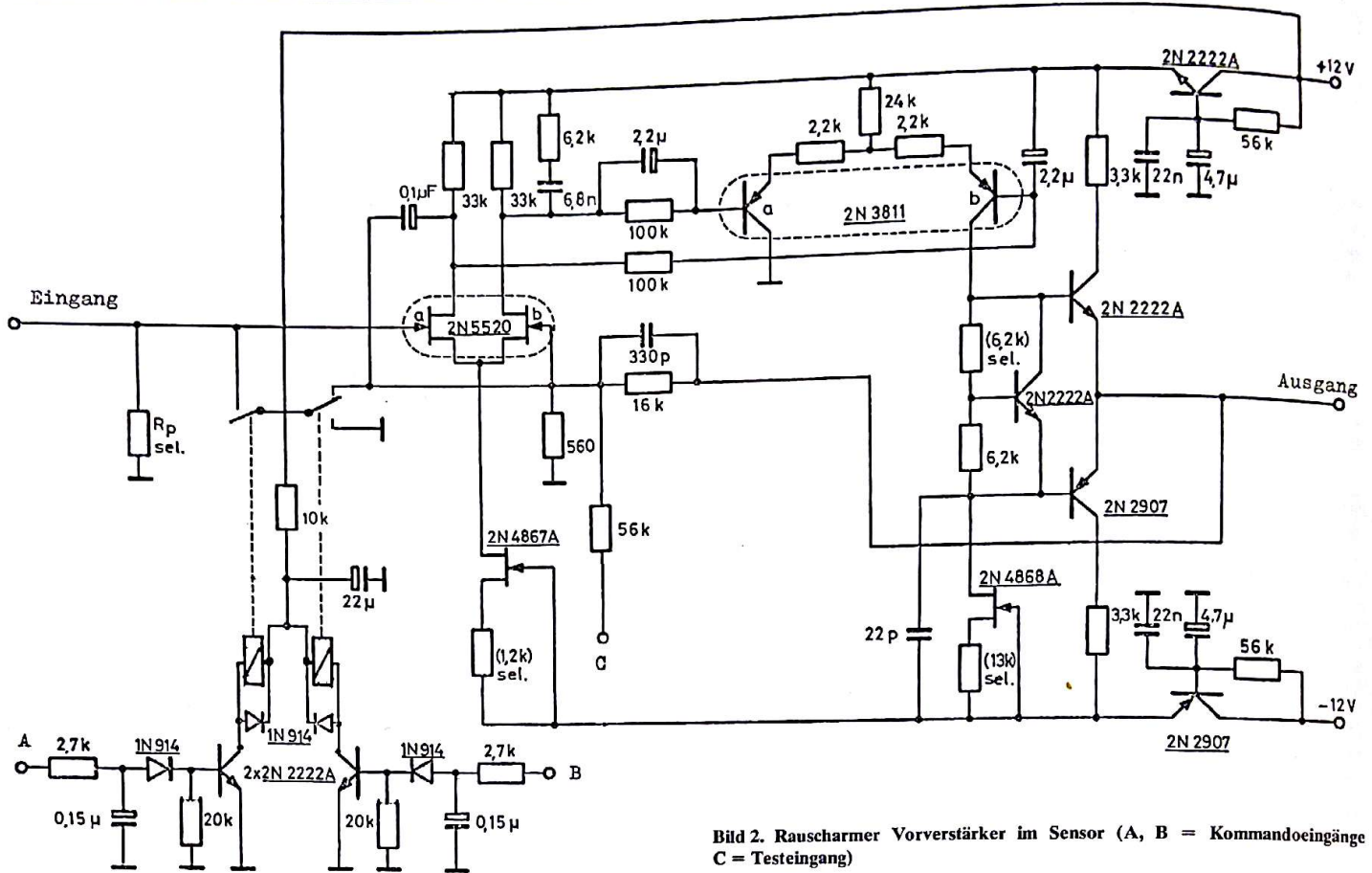


Bild 2. Rauscharmer Vorverstärker im Sensor (A, B = Kommandoeingänge C = Testeingang)

so daß der oben angegebene einfache Frequenzgang des Sensors ausgenutzt werden kann und sein starkes Eigenrauschen in der Nähe der Resonanzfrequenz sowie sein Empfindlichkeitsabfall darüber unwirksam bleiben. Der Mumetallkern ist als kunststoffumgossenes Drahtbündel ausgebildet, um die Wirbelstromverluste klein zu halten.

Mit ausgesuchten Exemplaren der Feldeffekttransistoren 2N 5520 und 2N4867 A (Konstantstromquelle) erreicht der rauscharme Vorverstärker im Sensor (Bild 2) eine Rauschspannungsdichte  $u_n/\sqrt{f} < 25 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  zwischen 4 und 200 Hz und  $< 10 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  oberhalb 200 Hz. Die starken Magnetfelder auf der Erde können in den Sensorspulen für den Verstärker gefährlich hohe Spannungen induzieren. Daher wird sein Eingangstransistor auf Kommando durch ein selbsthaltendes Relais kurzgeschlossen.

Um möglichst wenig von der Sonde gestört zu werden, ist der Sensor am Ende eines etwa 3 m langen Auslegers montiert. Die Ausgangssignale werden über lange Koaxialkabel in die Elektronikbox im temperaturstabilisierten Mittelteil der Sonde geführt. Sie gelangen dort in Verstärker mit je einem integrierten Operationsverstärker LM 108. Diese zeichnen sich durch geringen Leistungsverbrauch aus, können aber trotzdem die nachfolgenden Verstärker im WFC und die SPA-Bandfiltersätze mit je 8 an den Eingängen parallelgeschalteten Filtern austeuern. Die Widerstände im Gegenkopplungsnetzwerk des LM 108 sind durch zwei selbsthaltende Relais (Teledyne 424 AD im TO 5-Gehäuse) teilweise kurzzuschließen, so daß sich vier Verstärkungsfaktoren (0,08 / 0,4 / 2 / 10) durch Telekommando einstellen lassen. Durch das Umschalten der Gegenkopplungswiderstände wird der Offset-Abgleich und die Kompensation der Temperaturdrift der Ausgangsspannung erschwert. Wegen seines sehr geringen Eingangsstromes bleibt der LM 108 aber auch ohne diese Maßnahmen in seinem Arbeitsbereich.

#### Wellenformkanal

Im WFC folgen Verstärker mit 10-facher Spannungsverstärkung und RC-Koppelgliedern ( $HP \times 10$ ), die eine untere Grenzfrequenz von 4 Hz (= obere Grenzfrequenz von Experiment 2) ergeben. Diese Verstärker enthalten, wie viele andere Elektronikschaltungen, den mit extrem geringem Leistungsverbrauch betreibbaren integrierten Verstärker LM 4250. Wie üblich, sind hier durch ausgesuchte Widerstände Verstärkungsfaktor, Offset-Null und Temperaturdrift-Kompensation eingestellt.

Da im WFC ein der Magnetfeldstärke entsprechender Spannungs-Zeit-Verlauf abgetastet wird, sind Tiefpaße (TP) gegen entstehende Abtastfehler (Aliasing-Fehler) zur Bandbegrenzung eingesetzt. Ihre Grenzfrequenz wird entsprechend der Abtastrate durch Sondenkommandos

(abhängig von der Bitrate BR, dem Format FO, dem Datenmode DM ihrer Telemetrie) umgeschaltet. Jeder Tiefpaß enthält einen LM 4250 mit zwei RC-Zeitkonstanten und drei Relais 424 AD, mit denen zu den fest eingebauten Kondensatoren für die höchste Grenzfrequenz 128 Hz weitere parallelgeschaltet werden können, um Grenzfrequenzen von 64, 24 und 12 Hz zu erreichen. Widerstände in Reihe mit den schaltbaren Kondensatoren begrenzen den Relaisstrom auf den zulässigen Wert. Die frequenzbestimmenden RC-Elemente sind, wie bei allen im Experiment vorkommenden Filtern, Metallfilmwiderstände und Glimmer- bzw. spezielle Kunststofffolien-Kondensatoren mit sehr geringem TK aus der Reihe E96.

Die folgenden Integratoren (INT) erzeugen aus der Eingangsspannung  $u_{\text{ein}} \sim \frac{dH}{dt}$  eine Ausgangsspannung  $u_{\text{aus}} \sim H(t)$ . Sie enthalten LM

4250, die mit einem Widerstands-T-Glied und einem Kondensator zum invertierenden Eingang überbrückt sind. So kann mit einem verhältnismäßig kleinen Kondensator eine Integrationszeitkonstante von  $> 3$  Sekunden und damit ein Fehler  $< 3\%$  der analogen Integration für einen gegebenen Zeitraum (zwischen zwei Meßwerten von Experiment 2) erreicht werden.

Für die drei WFC-Meßkomponenten müssen alle bisher aufgezählten Elektronikseinheiten dreifach vorhanden sein. Die Ausgangsspannungen der Integratoren können nun von einem Multiplexer (MPX) in ein Zeitmultiplexsignal zusammengefaßt werden, da der folgende Analog-Digital-Wandler (ADW) zeitdiskrete Abtastwerte der drei Wellenformspannungen umwandelt. Der MPX ist ein integrierter MOS-Schalter Siliconix DG 118 für dekodierte Takt- und Adressensteuerung auf 4 Leitungen mit TTL-Signalpegel. In drei Eingänge werden die Wellenformspannungen niederohmig eingespeist, so daß sich eine hohe Kanal-trennung ergibt. Der vierte mit Z-Dioden geschützte Eingang des MPX ist als Testeingang verwendet, um z. B. die Wandlungskennlinie des ADW messen zu können. Dem MPX-Ausgang ist noch ein Impedanzwandler mit LM 4250 nachgeschaltet. Von ihm ist ein kurzschlußfester Testausgang herausgeführt, über den die Frequenzabhängigkeit der Gesamtverstärkung der WFC-Analogelektronik einschließlich MPX aufgenommen werden kann.

Um einen Meßbereich zu bekommen, der um den Faktor 32,9 größer ist als der Umwandlungsbereich des ADW, ist der Signalweg zwischen MPX und ADW in zwei Zweige aufgeteilt. Kleine Spannungen gelangen über den Verstärker mit 32,9-facher Verstärkung zum ADW. Große Signale übersteuern den Verstärker und kommen ohne Verstärkung zum ADW, da sie eine Schwelle im Bereichsdiskriminator (BD) überschreiten und damit das Umschalten des Bereichsschalters vom Zweig  $\times 32,9$  auf den Zweig  $\times 1$  auslösen. Für das Zeitmultiplex-Signal muß der Verstärker

×32,9 schnell einschwingen. Hier ist ein Operationsverstärker NH 0003 mittleren Leistungsverbrauchs mit großer Bandbreite und „slew-rate“ verwendet, ebenso wie in den Komparatoren des BD und Vorzeichen-diskriminators (VD).

Der ADW digitalisiert nur positive Spannungen. Deshalb sind ihm betragbildende Verstärker vorgeschaltet, die negative Halbwellen formgetreu umpolen. Bild 3 zeigt die Schaltung dieser Verstärker nach dem bekannten Prinzip eines Präzisions-Zweiweg-Gleichrichters mit Operationsverstärker und Dioden. Anstelle der Dioden sind zwei integrierte Doppeltransistoren verwendet, von denen die links gezeichneten Systeme als Dioden mit nur wenigen 10 mV Knickspannung (der Kollektor-Emitter-Strecke bei vorgespannter Basis) arbeiten und die anderen Systeme eine temperaturdriftkompensierte Basisspannung erzeugen. Mit dem NH0003 bekommt man so einen Gleichrichter, der für positive oder negative Eingangsspannungen bis zu Frequenzen von 20 kHz sehr genau gleichartige und formgetreue positive Ausgangsspannungen abgibt. Die gleiche Schaltung wird an entsprechender Stelle im SPA verwendet und von da kommen die Anforderungen hinsichtlich Bandbreite bzw. Einschwingzeit.

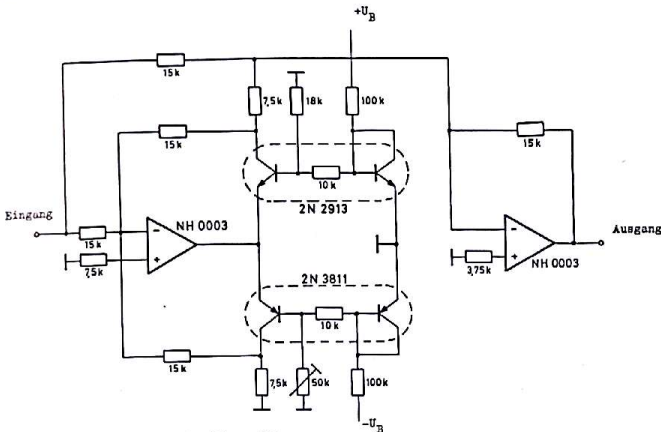


Bild 3. Betragbildender Verstärker

Nach dem Einschwingen der Ausgangsspannung des Bereichsschalters, die dann einem Stück des Zeitverlaufes der Magnetfeldstärke in einer der drei Raumrichtungen entspricht, tastet der ADW die Spannung ab. Innerhalb der Abtastzeit wird ein Speicherkondensator auf die Summenspannung von Meß- und einer Referenz-Spannung aufgeladen. Danach entlädt sich der Kondensator über einen Widerstand nach einer e-Funktion mit genau bekannter Zeitkonstante. Für die Dauer vom Beginn der Entladung bis zum Überschreiten der Referenzspannungsschwelle werden Impulse eines 1-MHz-Taktes gezählt. So erhält man einen logarithmischen Zusammenhang zwischen dem Momentanwert der Meßspannung und der Zahl der Taktimpulse, die schließlich mit 4 bit codiert wird. Die WFC-Meßwerte werden also mit insgesamt 6 bit (einschließlich Bereichs- und Vorzeichen-Bit) dargestellt und in Dreiergruppen für die x-, y- und z-Komponenten über einen Zwischenspeicher und den Datenausgang C2 an die Telemetrie der Sonde abgegeben. Ein zentraler WFC-Takt steuert das Umschalten des MPX und Bereichsschalters, den ADW und das Einlesen der Daten in den Zwischenspeicher.

### Spektralanalysator

Im SPA werden quadratische Mittelwerte der Filterausgangsspannungen für Zeitabschnitte gebildet, die größer sind als eine Umdrehungsdauer der in der z-Richtung spinstabilisierten Sonde. Deshalb werden hierfür die Ausgangssignale von nur zwei Sensorkomponenten herangezogen, wahlweise die der x- oder y-Komponente und der z-Komponente. Aus dem umschaltbaren Verstärker gelangen die Signale zunächst in je einen Satz am Eingang parallelgeschalteter Bandfilter. Jedes dieser RC-aktiven Filter besteht aus einem Tiefpaß-, Hochpaß- und Bandpaß-Abschnitt mit je 2 Zeitkonstanten. Diese Reihenfolge wurde für großen Aussteuerbereich und kleine Steuerleistung am Eingang gewählt. Ein Bandfilter enthält drei LM 4250, die auch bei geringer Leistungsaufnahme wenig Verzerrungen verursachen, wodurch eine große Sperrdämpfung ermöglicht wird. Die Schaltungen sind so ausgewählt und dimensioniert, daß sich Werte der benötigten Widerstände und Kondensatoren >10 kΩ bzw. >1 nF, aber <2 MΩ bzw. <0,2 µF ergeben. Sonst sind die Belastung der integrierten Schaltkreise und deren parasitäre Kapazitäten nicht zu vernachlässigen oder die Bauelemente werden zu groß und schwer. Die im Bild 4 dargestellten gemessenen Durchlaßkurven stimmen gut mit den von einem Digitalrechner ermittelten überein, der auch die optimalen Größen der Widerstände und Kondensatoren aus der Reihe E96 auswählte. Eine weitere Forderung bei der Auswahl der Filterschaltungen war, daß Kurzschluß eines Kondensators und Unterbrechung eines Widerstandes nicht zur Selbstregung eines Filters führen soll, die erhebliche Störungen verursachen würde.

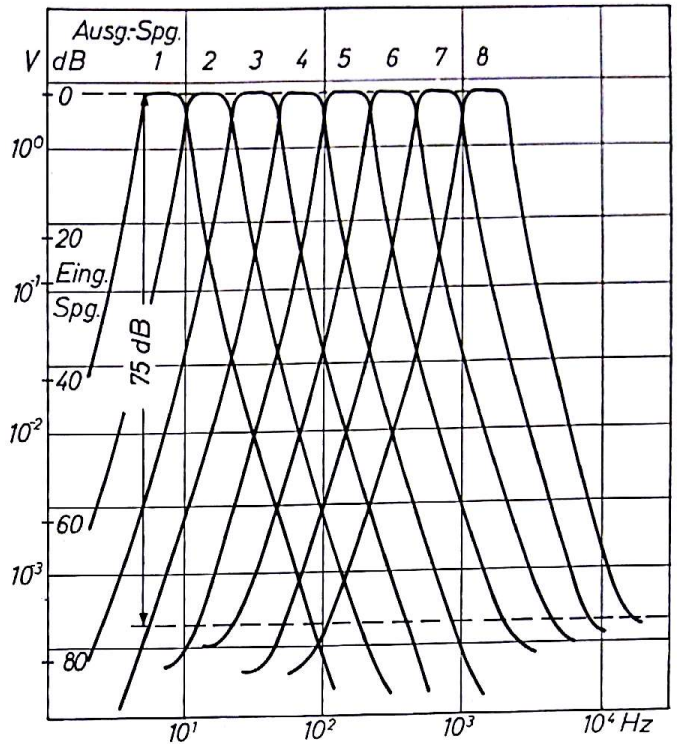


Bild 4.

Die acht Ausgänge je Filtersatz werden von dem MPX aus zwei in Reihe geschalteten MOS-Schaltkreisen DG 118 zeitlich nacheinander zum ADW durchgeschaltet. Ebenso wie im WFC verzweigt sich der Signalweg zwischen MPX und ADW zum Aufteilen des notwendigen großen Meßbereichs. Auf die Verstärker ×1 mit LM 4250 bzw. ×32 mit LM 108 folgen die schon beschriebenen Betragverstärker (Bild 3), „Sample-and-Hold“-Schaltungen mit einem Schalt-FET 2 N 4416 und der Bereichsschalter mit zwei 2 N 4416, gesteuert vom Bereichsdiskriminator mit dem integrierten Komparator LM 111.

Das Ansteigen der Signalpegel im Analogteil des SPA vom Sensorspulen-Ausgang bis zum Eingang des ADW und die Zuordnung der 13-bit-Wörter zur ADW-Eingangsspannung ist im Bild 5 dargestellt. Links sind die Bereiche des auf den Sensorspulenausgang bezogenen und über die Bandfilter bewerteten Eigenrauschens der Elektronik und der erwarteten Magnetfeld-Spannung in Erdnähe (1 AE) und Sonnen-nähe (0,3 AE) eingetragen. Rechts ist der Eingangsspannungsbereich des ADW angegeben. Im Feld dazwischen liegt, von gleichartig schraffierten Linien begrenzt, der Aussteuerbereich des SPA. Gegeben waren die Sensoreigenschaften sowie der Eingangsspannungsbereich des ADW, und als notwendig ergibt sich eine Erweiterung dieses Bereiches um den Faktor 32. Da der rauscharme Vorverstärker die Meßspannungen genügend über das Eigenrauschen der folgenden Elektronik anheben muß und die Bandfilter nur mit einer etwa 20-fachen Spannungsverstärkung gut realisierbar sind, bleiben für den umschaltbaren Verstärker nahezu nur die verwendeten Werte der Verstärkungsfaktoren, deren kleinster und größter eingetragen sind.

Die letzte elektronische Einheit des SPA ist der MVC. Seine wichtigsten Baugruppen sind im Bild 6 (nach [2]) angegeben. Die Dateneingabe-Einheit empfängt unter Kontrolle eines eigenen Steuerwerks die 9-bit-Wörter (8 bit Meßgröße, 1 Bereichsbit) von den SPA-ADW, bildet daraus Gleitkomma-Summanden für die Mittelwert-Berechnung und teilt sie außerdem in 47 Klassen zum Ermitteln der Spitzenwerte ein. Zentraler Teil des MVC ist der Prozessor mit Programmsteuerwerk, Rechenwerk, Adreßrechenwerk und 4096-bit-Kernspeicher. Er enthält sieben festverdrahtete Mikroprogramme: Akkumulation der Summen, Reduktion der Summen zu übertragbaren Gleitkommazahlen, Zählen der Summanden (für die Dauer der Mittelungszeitintervalle zum Bilden der Mittelwerte), Spitzenwertsuche, Interrupt zum Abspeichern der gefundenen Spitzenwerte und weitere zwei Interrupt-Programme zum Nachladen der Datenausgangs-Zwischenspeicher. Ständig läuft eines der Programme, und die dringenden Interrupts können sie, aber auch sich gegenseitig je nach wechselnder Priorität unterbrechen. Um dabei Zeitverlust durch Umorganisieren zu vermeiden, steht dem unterbrechenden Programm ein eigener Registersatz zur Verfügung. Die Zeit-

steuereinheit liefert die synchronen Takt- und Adressen-Signale für die MPX, S+H, BD und ADW im SPA und die Filterkanal-Information für die Dateneingabe-Einheit zum Einordnen der hereinkommenden Daten. Von der Sonde gelieferte Telemetrieakte (BSP 1/6, WTC 1/6 und BTC 1/6) lösen den Wechsel der Mikroprogramme aus und steuern den Datentransfer. Der MVC besteht aus sechs Multilayer-Platinen mit je 42 Digitalschaltkreisen SN 54 L im „flat-pack“-Gehäuse und vier Platinen, die Steuer- und Auswahlelektronik sowie die Ferritkernmatrix tragen. Sein Gesamtgewicht beträgt 550 gr. und der Leistungsverbrauch knapp 2 W.

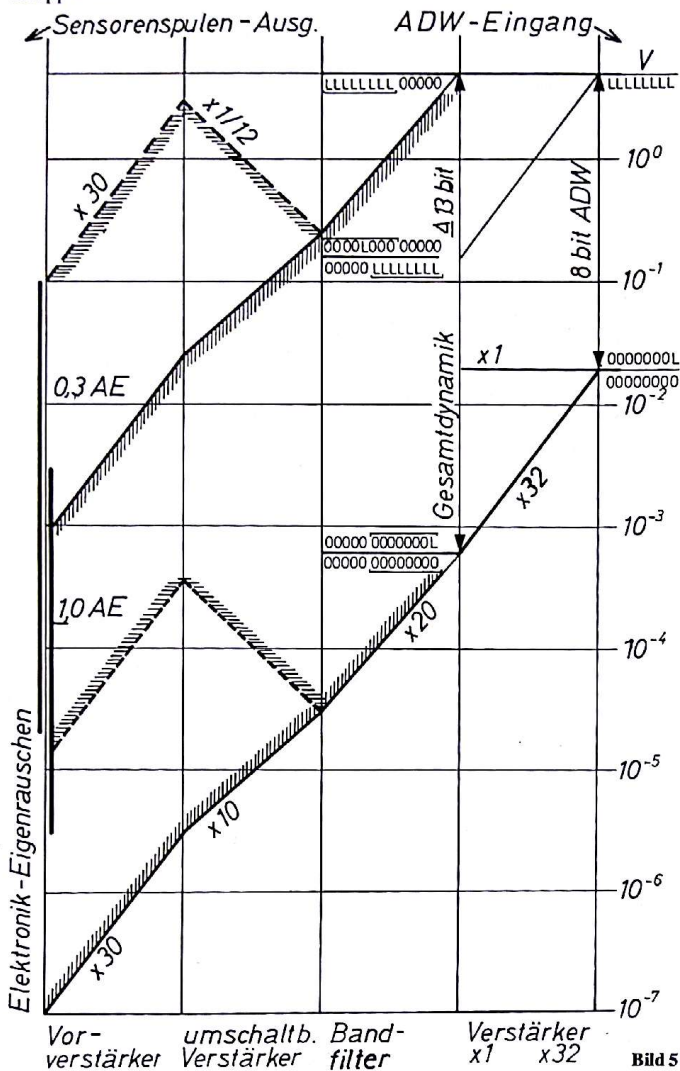


Bild 5

### Hilfselektronik

Für verschiedene Zwecke sind im Experiment weitere Elektronikschaltungen erforderlich. Ein „Inflight-Test-Generator“ (IFT-Gen.) erzeugt ein Prüfsignal aus Pseudo-Random-Pulsfolge (PRBS) und 8-Hz-Rechteckspannung. Nach einem durch Kommando einschaltbaren Testzyklus können die bekannten Werte des Elektronik-Eigenrauschens (als Zeit- und Frequenzfunktion) und des Frequenzspektrums der PRBS aus dem SPA sowie die von der Grenzfrequenz abhängige Form der mit dem WFC aufgezeichneten 8-Hz-Rechteckwelle nachgeprüft werden. Dieser Test ist für die Mission gedacht, war aber auch bei den häufig notwendigen Funktionsprüfungen des Experimentes während der Integration und der Tests der Sonde und bei den Startvorbereitungen sehr nützlich. Für ausführliche Funktionstests des Experimentes wurde außerdem ein großes, rechnergesteuertes Testgerät entwickelt [3]. An mehreren Stellen können Telekommandos, deren Bedeutung und Codes in Bild 1 eingetragen sind, auf das Experiment einwirken und seine Eigenschaften oder Betriebsweise umschalten. Mit Ausnahme des Einschaltens eines „Notbetriebes“ bei Störungen im MVC, wirken die Kommandos über selbsthaltende Relais. Die Ansteuerung für jedes Relais enthält zwei Schalttransistoren, die aus einem Speicherkondensator einen Stromstoß zum Umschalten auf das Relais leiten. Das Ausführen der Kommandos wird in der Regel durch einen zusätzlichen Relaiskontakt geprüft und das Ergebnis über drei digitale „housekeeping“-Datenkanäle übertragen. Ein 8-bit-Wort meldet das Ausführen der Experiment-Kommandos, mit einem zweiten 8-bit-Wort

wird der durch Sondenkommandos veränderbare Experimentzustand und in dem dritten der Arbeitsprogramme im MVC angezeigt. Über analoge „housekeeping“-Kanäle werden die Ströme zu vier im Experiment vorhandenen Betriebsspannungen von der Sonde gemessen.

### Allgemeines

Das Experiment enthält insgesamt etwa 250 diskrete Halbleiter, 120 analoge und 400 digitale Schaltkreise sowie 2000 passive Bauelemente, die auf 27 Tochterplatinen 9 cm x 11 cm der Box, drei kleinen Verstärker- und einer Verteilerplatine im Sensor untergebracht sind. Sechs Tochterplatinen des MVC sind Sechsfach-Multilayer, die Analogteil-Mutterplatine ist ein Achtfach- und die Digital-Mutterplatine ein Vierfach-Multilayer. 17 Tochterplatinen, vorwiegend mit Analogschaltungen, sind über 79-polige Milstripstecker mit den Mutterplatinen verbunden. Dabei ist die (durch Parallelschalten von Steckerstiften nur geringe) Zuverlässigkeitsminderung bewußt in Kauf genommen, um das Wechseln und Testen der Platinen zu erleichtern. Der MVC ist als Block aus 10 Platinen in das Experiment eingesetzt.

Bei derartig komplexen Elektronik-Aufbauten kommt dem Massenkonzent eine besondere Bedeutung zu. In der Elektronikbox sind für Analog- und Digitalschaltungen getrennte Masseleitungen zu einem vom Boxgehäuse isolierten Sternpunkt in der Stromversorgung geführt. Im Sensor ist nur die Analog-Masseleitung verwendet und dort mit dem Gehäuse verbunden, da es von der Sondenstruktur elektrisch isoliert montiert ist. Die Gehäuseteile bestehen aus vergoldetem Aluminium, beim Sensor z. T. auch aus glasfaserverstärktem Kunststoff. Alle Metallteile sind entweder unmagnetisch oder haben eine sehr geringe Restmagnetisierung, z. B. die Stecker- und Halbleitergehäuse, der Sensor-Mumetallstab. Die mit Permanentmagneten ausgerüsteten selbsthaltenden Relais wurden vor dem Verwenden auf genügend geringes Streufeld untersucht.

Einige charakteristische Zahlen seien noch genannt: Die Elektronikbox ist 30 cm x 20 cm x 15 cm groß und wiegt 4 kg, der Sensor mißt 35 cm x 35 cm x 35 cm und ist 1 kg schwer. Die Leistungsaufnahme des gesamten Experimentes beträgt 5 W, sein Arbeitstemperaturbereich liegt zwischen -20 und +60°C. Der dauernd vom SPA übertragene Datenfluß beträgt je nach Kapazität des Telemetriekanals zwischen 228 und 0,22 bit/s, während für gewisse Zeitabschnitte WFC-Daten übertragen werden, die mit 6890 bis 513 bit/s vom Experiment an die Sonde geliefert werden.

Das Experiment wurde gemeinsam mit dem Institut für Geophysik und Meteorologie der TU Braunschweig konzipiert. Der Sensor und Teile der Elektronik sind im Institut für Nachrichtentechnik, der MVC ist im Institut für Datenverarbeitungsanlagen entwickelt worden. In der PTB in Braunschweig wurden die magnetischen Eigenschaften des Mumetallstabes, in der DFVLR das Ausgasen von Bau- und Gehäuseteilen aus Kunststoff untersucht. Das Vervollständigen des Entwicklungsmusters und das Herstellen aller Experiment-Modelle übernahm schließlich die Firma Dornier in Friedrichshafen. Der Verfasser dankt den zahlreichen Mitarbeitern am Experiment in den Instituten und Firmen für die langjährige gute Zusammenarbeit, der Gesellschaft für Weltraumforschung für die Betreuung und dem Bundesministerium für Forschung und Technologie für die Finanzierung des Projektes.

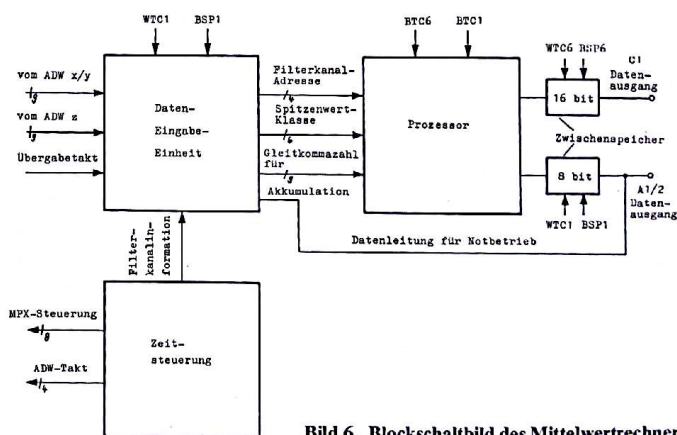


Bild 6. Blockschaltbild des Mittelwertrechners

### Schrifttum

- [1] NN: Baugruppen für zwei Helios-Experimente in Präzisions-Dickfilmtechnik, Techn. Mitt. AEG-Telefunken 62 (1972), S. 46.
- [2] Türke, C.: Dokumentation für den Mittelwertrechner des HELIOS-Experimentes 4. Institut für Datenverarbeitungsanlagen der TU Braunschweig, 1972.
- [3] Schirenbeck, G.: The HELIOS Search Coil Magnetometer and its Test Equipment using CAMAC, CAMAC-Bulletin (1972) 5.

## Eine Ergänzung

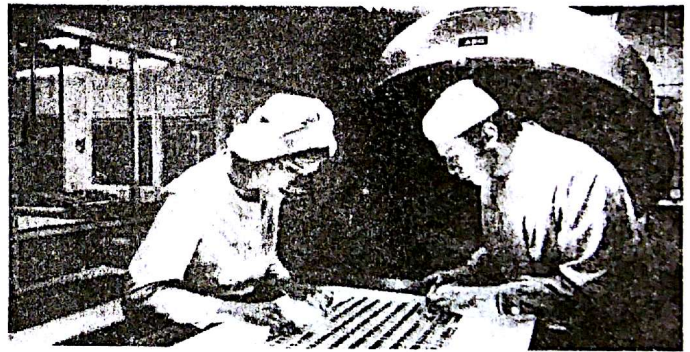
Durch ein Versehen wurden bei dem Beitrag „Die Elektronik des IM der Sonden Sonde Helios“ von Dr.-Ing. G. Dehmel in der Nr. 4 der INTELRU zwei Absätze weggelassen. Bitte ergänzen Sie als 3. Absatz unter der Überschrift „Spektralanalysator“:

Der Analog-Digital-Wandler ADW 88L von AEG-Telefunken, eine Spezialentwicklung für Raumfahrtanwendungen /1/, enthält eine großintegrierte Dickfilmschaltung und Schaltungen mit einzelnen integrierten Kreisen und diskreten Bauelementen in Mikrobauweise. Der Wandler nimmt 300 mW auf bei Vollaussteuerung mit 5,1 Volt und der höchsten Taktfrequenz von 200 kHz. Dabei codiert er jeden Momentanwert der verstärkten und gleichgerichteten Filterausgangsspannung innerhalb von 45  $\mu$ s mit einem 8-bit-Wort, das parallel im TTL-Pegel dem Mittelwertrechner (MVC) angeboten wird, bis eine neue Wandlung erfolgt. Der MVC erhält außerdem das Bereichsbit, das den Stellenwert des 8-bit-Wortes um 5 Binärstellen erhöht, wenn der Verstärker  $\times 32$  übersteuert war und die Spannung über den anderen Signalzweig zum ADW gelangt. So entsteht eine Digitalinformation der Filterausgangsspannung aus einem Meßbereich  $\cong 13$  bit mit einer Auflösung  $\cong 8$  bit.

### und als zweiten Absatz unter der Überschrift „Hilfselektronik“:

Ein von der Firma Messerschmitt-Bolkow-Blohm GmbH entwickelter synchronisierbarer Gleichspannungswandler (DC/DC-Konverter) versorgt schließlich das Experiment aus dem 28-V-Bordnetz der Sonde mit den internen Betriebsspannungen  $\pm 8$  V,  $\pm 12$  V (beide  $\pm 1\%$ ) und

$+5$  V ( $\pm 5\%$ ). Er enthält einen mit 20 kHz schwingenden Gegentaktzerhacker, strombegrenzende Regelschaltungen zum Stabilisieren der Ausgangsspannungen und arbeitet mit einem Gesamtwirkungsgrad von 72%. Der Wandler trennt die Experiment-Masse von der 28-V-Nullleitung, schützt die Sonde vor Kurzschlüssen im Experiment und schirmt das Experiment gegen Schwankungen der Versorgungsspannung oder ihrer überlagerter Störungen ab.



Einer der Schwerpunkte der AEG-Telefunken-Aktivitäten im Helios-Programm war die Entwicklung und Fertigung der Stromversorgungsanlagen. Das Bild zeigt die Solargeneratorfertigung, wobei nach dem Bekleben die Solarzellen nach einem AEG-Verfahren miteinander verbunden werden.  
(AEG-Telefunken)