

Bundesministerium für Forschung und Technologie

Forschungsbericht W 81-015

Luft- und Raumfahrt

– Weltraumforschung/Weltraumtechnologie –

**Die Instrumente des Plasmaexperiments
auf den HELIOS-Sonnensonden**

von

**H. Rosenbauer
R. Schwenn
H. Miggendorfer
B. Meyer
H. Grünwaldt
K.-H. Mühlhäuser
H. Pellkofer
J. H. Wolfe**

**Max-Planck-Institut für Aeronomie
Katlenburg-Lindau 3**

August 1981

Dieses Heft enthält einen Arbeitsbericht über ein vom Bundesministerium für Forschung und Technologie gefördertes Vorhaben.

Verantwortlich für den Inhalt dieses Berichtes sind die Autoren.

Das Bundesministerium für Forschung und Technologie übernimmt keine Gewähr insbesondere für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie der Beachtung privater Rechte Dritter.

Vertrieb:



Fach-
informations-
zentrum

Energie
Physik
Mathematik
GmbH
Karlsruhe

7514 Eggenstein-Leopoldshafen 2
Telefon 0 72 47 / 82 46 00 / 01
Telex 7 826 487 fize d

Als Manuskript gedruckt.

Preis: DM 39,10 + MwSt.

Printed in the Federal Republic of Germany

Druck: Engelhardt Offsetdruck GmbH, Himmelschlüsselstraße 39, 8000 München 50

ISSN 0170-1339

Bundesministerium für Forschung und Technologie

Forschungsbericht W 81-015

Luft- und Raumfahrt
- Weltraumforschung/Weltraumtechnologie -

Die Instrumente des Plasmaexperiments
auf den HELIOS-Sonnensonden

von

Dr. Helmut Rosenbauer
Dr. Rainer Schwenn
Dr. Hans Miggenrieder
Dr. Bernhard Meyer
Dipl.-Phys. Heiner Grünwaldt
Dipl.-Phys. Karl-Heinz Mühlhäuser
Dipl.-Ing. Heinz Pellkofer
Dr. John H. Wolfe

Max-Planck-Institut für Aeronomie
Katlenburg-Lindau 3

Geschäftsführender Direktor
Prof. Dr. W.I. Axford

August 1981

1. Berichtsnummer BMFT-FB-W 81-015	2. Berichtsart Abschlußbericht	3. Weltraumforschung/ Weltraumtechnologie
4. Titel des Berichts Die Instrumente des Plasmaexperiments auf den HELIOS-Sonnensonden		
5. Autor(en) (Name, Vorname(n)) Rosenbauer, Helmut; Schwenn, Rainer; Miggenrieder, Hans; Meyer, Bernhardt; Grünwaldt, Heiner; Mühlhäuser, Karl-Heinz; Pellkofer, Heinz; Wolfe, John H.		6. Abschlußdatum November 1980
8. Durchführende Institution (Name, Adresse) Max-Planck-Institut für Aeronomie Postfach 20 3411 Katlenburg-Lindau 3		7. Veröffentlichungsdatum August 1981
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) Postfach 200706 5300 Bonn 2		9. Ber.Nr.Auftragnehmer
		10. Förderungskennzeichen 01H3001I/WRS0107I
		11. Seitenzahl 226
		13. Literaturangaben 26
		14. Tabellen 43
		15. Abbildungen 68
16. Zusätzliche Angaben		
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)		
18. Kurzfassung (Gliederung s. Hinweise) Unter der Bezeichnung "Plasmaexperiment" sind vier unabhängige Instrumente zusammengefaßt, deren gemeinsame Aufgabe die Untersuchung des interplanetaren Plasmas, des sogenannten Sonnenwindes ist. Primär werden die Geschwindigkeits- verteilungsfunktionen der verschiedenen Teilchensorten gemessen. Daraus können dann alle wichtigen hydrodynamischen Parameter des Sonnenwindplasmas abgelei- tet werden. Drei Instrumente messen die positive Komponente des Sonnenwindes (Protonen und schwerere Ionen mit Energie- zu Ladungs-Werten zwischen 0,155 und 15,32 kV). Zwei davon erlauben auch die Bestimmung der Teilchenrichtung in bezug auf beide Einfallswinkel. Das vierte Instrument analysiert Elektronen im Energiebereich von 0,5 bis 1660 eV mit eindimensionaler Richtungsauflösung. Der Verlauf der Mission zeigt, daß alle Instrumente, die zum Teil völlig neu- artig sind, die in sie gesetzten Erwartungen erfüllen.		
19. Schlagwörter Sonnensonden HELIOS 1/2, Plasmaexperiment, Protonen, Elektronen, Meßtechnik.		
20.	21.	22. Preis DM 39,10 + MwSt.

DOCUMENT CONTROL SHEET

1. Report No. BMFT-FB- W 81-015	2. Type of Report Final Report	3. Space Research/ Space Technology
4. Report Title The instruments of the plasma experiment aboard the HELIOS solar probes		
5. Author(s) (Family Name, First Name(s)) Rosenbauer, Helmut; Schwenn, Rainer; Miggenrieder, Hans; Meyer, Bernhard; Grünwaldt, Heiner; Mühlhäuser, Karl-Heinz; Pellkofer, Heinz; Wolfe, John H.		6. Report Date November 1980
		7. Publication Date August 1981
8. Performing Organization (Name, Address) Max-Planck-Institut für Aeronomie Postfach 20 3411 Katlenburg-Lindau 3		9. Originator's Report No.
		10. BMFT-Reference No. 01H30011/WRS0107I
		11. No. of Pages 226
		13. No. of References 26
12. Sponsoring Agency (Name, Address) Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) Postfach 200706 5300 Bonn 2		14. No. of Tables 43
		15. No. of Figures 68
16. Supplementary Notes		
17. Presented at (Title, Place, Date)		
18. Abstract The "Plasma Experiment" aboard of the solar probe HELIOS consists of four independent instruments which are designed to investigate the interplanetary plasma, the so-called solar wind. Primarily the velocity distribution functions of the different kinds of particles are measured. All important hydrodynamic parameters of the solar wind plasma can then be derived. Three instruments analyze the positive component of the solar wind (protons and heavier ions with energy-per-charge values from 0.155 to 15.32 keV). Two of them permit an angular resolution in both directions of incidence. One instrument measures electrons in the energy range from 0.5 to 1660 eV with a one-dimensional angular resolution. Since the launch all the instruments, which are partially novel developments, have performed very well.		
19. Keywords HELIOS solar probes, plasma experiment, protons, electrons, measurement techniques.		
20.	21.	22. Price DM 39,10

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	9
Vorwort	10
1. Übersicht	11
Die HELIOS-Mission	11
Aufgabenstellung des Plasmaexperiments	18
Historischer Überblick	20
2. Aufbau des Experimentes	25
Die verwendeten Meßmethoden	25
Die Instrumente für positive Ionen	29
Das Elektroneninstrument	31
Die Elektronikbox	33
3. Technische Beschreibung der Instrumente	35
Instrument I1a (in Box E1A)	35
Analysatorteil von I1a	36
Stimulation im Inflight-Test	37
Energiekanäle von I1a	38
Richtungskanäle von I1a	41
Elektronikteil von I1a	41
Instrument 1Ib (in Box E1B)	45
Analysatorteil von I1b	45
Meßkanäle von I1b	46
Elektronikteil von I1b	46
Instrument I2 (in Box E1B)	48
Analysatorteil von I2	49
Stimulation im Inflight-Test	50
Meßkanäle von I2	50
Richtungskanäle von I2	52
Elektronikteil von I2	52

Instrument I3 (in Box I1C)	56
Analysatorteil von I3	56
Meßkanäle von I3	59
Stimulation im Inflight-Test	63
Elektronikteil von I3	63
Elektronikbox (in Box E1D)	68
4. Organisation der Datenerzeugung und Datenübertragung	77
Normal data mode (NDM)	77
High data mode (HDM)	80
Die E1-Daten im Strom der Telemetriedaten von HELIOS	83
Das Sonden-Telemetrie-System	83
Blockstruktur der E1-Telemetriedaten	85
Vorlaufworte	101
Kommandos und Überprüfung der Ausführung	109
Telemetriekommandos	109
Digitale Housekeeping-Kanäle (DHK)	112
Analoge Housekeeping-Kanäle (AHK)	112
Testzyklus (Inflight-Test)	114
5. Beschreibung von wichtigen Baugruppen und Technologien	124
Channeltronverstärker	124
Elektrometer	125
Analysatorhochspannungserzeugung	130
Channeltronhochspannungserzeugung	133
Current Controlled Oscillator (CCO) zur	
Channeltronverstärkungsmessung	133
Hochfrequenzgenerator	136
Zähler	141
Reduzierwerk	141
Speicher	147
Speichersteuerung	150

	Maximumsucher und Datensteuerung	152
	Ablaufsteuerung	154
	Aufbautechnologie	155
	Elektromagnetische Verträglichkeit	163
	Channeltrons	164
6.	Eichung der Instrumente	172
	Die Eichanlage	172
	Ablauf einer Instrumenteneichung	174
	Eichdaten	178
	Eichung von I2	181
7.	Tests	185
	Testgerät	185
	Qualifikations- und Abnahmetests	189
	Integration von E1 in die Sonde und Systemtests	194
	Erstes Einschalten der Instrumente	196
	Spätere Spezialtests	199
8.	Flugerfahrungen mit den E1-Instrumenten	200
	Schlußwort	218
	Literatur	221
	Liste der Abkürzungen	225

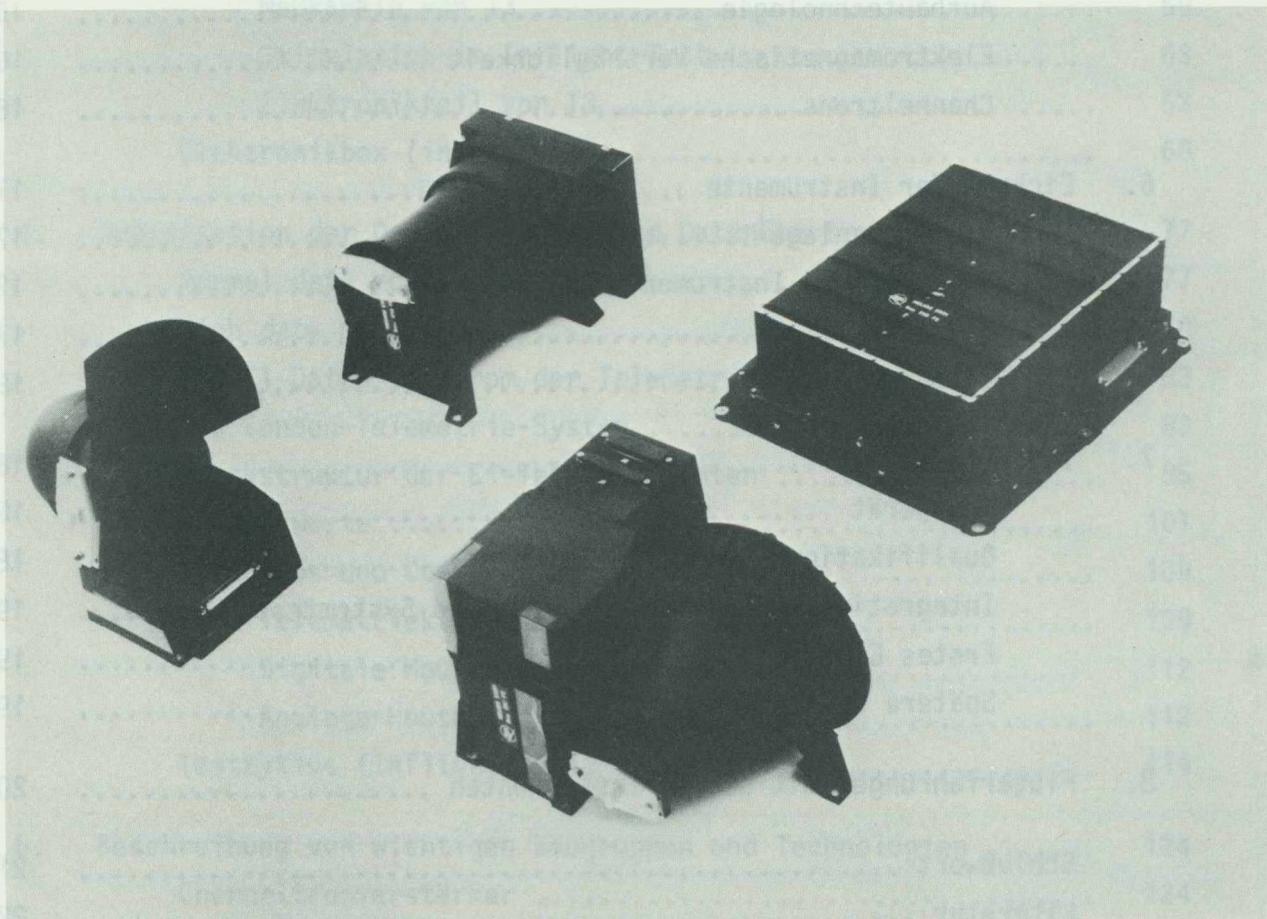


Bild 1: Die Instrumente des Plasmaexperiments für die HELIOS-Sonnensonden.

Die Box E1A (Mitte oben) enthält die beiden elektrostatischen Instrumente I1a und I1b, für positive Ionen, Box E1B (links) das Elektroneninstrument I2, Box E1C (Mitte unten) das dynamische Massenspektrometer I3 für positive Ionen. Die Box E1D rechts enthält die gemeinsame Stromversorgung und Steuerung sowie die Digitalelektronik zur Vorverarbeitung der Meßdaten.

Die hier gezeigten Geräte befinden sich an Bord von HELIOS 2.

ZUSAMMENFASSUNG

Unter der Bezeichnung "Plasmaexperiment" sind vier unabhängige Instrumente zusammengefaßt, deren gemeinsame Aufgabe die Untersuchung des interplanetaren Plasmas, des sogenannten Sonnenwindes ist. Primär werden die Geschwindigkeitsverteilungen der verschiedenen Teilchensorten gemessen. Daraus können dann alle wichtigen hydrodynamischen Parameter des Sonnenwindplasmas abgeleitet werden. Drei Instrumente messen die positive Komponente des Sonnenwindes (Protonen und schwerere Ionen mit Energie- zu Ladungs-Werten zwischen 0,155 und 15,32 keV). Zwei davon erlauben auch die Bestimmung der Teilchenrichtung in bezug auf beide Einfallswinkel. Das vierte Instrument analysiert Elektronen im Energiebereich von 0,5 bis 1660 eV mit eindimensionaler Richtungsauflösung.

Die beiden HELIOS-Sonnensonden haben je einen Satz dieser Instrumente an Bord. Alle - bis auf das Elektroneninstrument auf HELIOS 2, bei dem seit August 1977 die Umschaltung zwischen den beiden Energiebereichen nicht mehr einwandfrei funktioniert, - arbeiten seit Beginn der Mission am 10.12.74 bzw. 15.1.76 völlig störungsfrei, weit über die angestrebte Missionsdauer von 18 Monaten hinaus. Das schon lange vor dem Start festgelegte Konzept für das Experiment - Art der Instrumente, Empfindlichkeit, Dynamik und Meßbereiche, Meßprogramme, Redundanzen etc. - hat sich während des Missionsbetriebs in fast allen Einzelheiten ausgezeichnet bewährt.

VORWORT

Die vorliegende Beschreibung der Instrumente des HELIOS-Plasmaexperiments basiert auf den Experimentbeschreibungen, die als Grundlage für die industrielle Fertigung der Instrumente erstellt worden waren. Weitgehend wurde auch der von der Kontraktfirma Messerschmidt-Bölkow-Blohm gelieferte vertraglich vereinbarte Schlußbericht mit eingearbeitet, insbesondere dessen ausführlicher technischer Teil.

Darüberhinaus gibt dieser Bericht auch einige unserer eigenen Erfahrungen während des ganzen Projekts wieder. Dazu gehören die am MPE durchgeführten Tests von Channeltrons sowie auch ihre Fortsetzung nach dem Start als "Dauerbelastungstests". Außerdem berichten wir über Vorbereitungen und Durchführung der Instrumenteichungen, die an der am MPE errichteten Anlage erfolgten. Das Thema Datenauswertung ist noch längst nicht abgeschlossen und bleibt deshalb hier ausgeklammert. Jedoch sollen einige allgemeine Erfahrungen aufgrund des Missionsbetriebs diskutiert werden, vor allem in Gegenüberstellung zu den schon mehrere Jahre vorher festgelegten Instrumentkonzepten.

Solche Beurteilungen aus der Sicht von heute sind überall im Bericht in Form von Kommentaren - kenntlich durch eine andere Schrifttype - eingestreut.

Bei der Abfassung dieses Berichts strebten wir an, daß all denen, die mit den Daten dieser Instrumente arbeiten, eine genaue und vollständige Sammlung aller Details, die jemals wichtig sein könnten, an die Hand gegeben wird. Dies erscheint uns vor allem deshalb wichtig, weil die HELIOS-Mission uns eine ungeahnte Fülle von einzigartigen Daten beschert hat und noch weiter beschert, mit denen sich viele Wissenschaftler noch jahrelang befassen werden, darunter auch zunehmend mehr solche, die die Instrumente selbst nie gesehen haben.

Der vorliegende Bericht wurde dem Bundesministerium für Forschung und Technologie als technischer Schlußbericht gemäß BEwF-Z/A-1969 für die Mittel vorgelegt, die im Rahmen der Förderungszuwendungen aus Kapitel 3006, Titel 893.20 des BMFT für die Entwicklung und Fertigung des Plasma-Experiments für die Sonnensonde HELIOS mit dem Kennzeichen WRS 10/7 bewilligt worden waren.

1. Übersicht

Die HELIOS-Mission

Das deutsch-amerikanische Raumfahrtprogramm "Sonnensonde HELIOS" soll zur Erforschung des interplanetaren Raumes zwischen 0,29 und 1 AE (1 AE = 150 Mill. km) beitragen. Zwei nahezu identisch gebaute Raumflugkörper wurden auf hochexzentrische Ellipsenbahnen um die Sonne gebracht, die bis auf 0,3095 bzw. 0,290 AE an die Sonne heranführen. Der Start von HELIOS 1 war am 10.12.1974, HELIOS 2 folgte am 15.1.1976. Ein voller Umlauf um die Sonne dauert 191 Tage für HELIOS 1, 186 Tage für HELIOS 2. Bild 2 zeigt die Bahnellipsen von HELIOS 1, HELIOS 2 und der Erde, mit Markierungen für die Tagnummern des Jahres 1976.

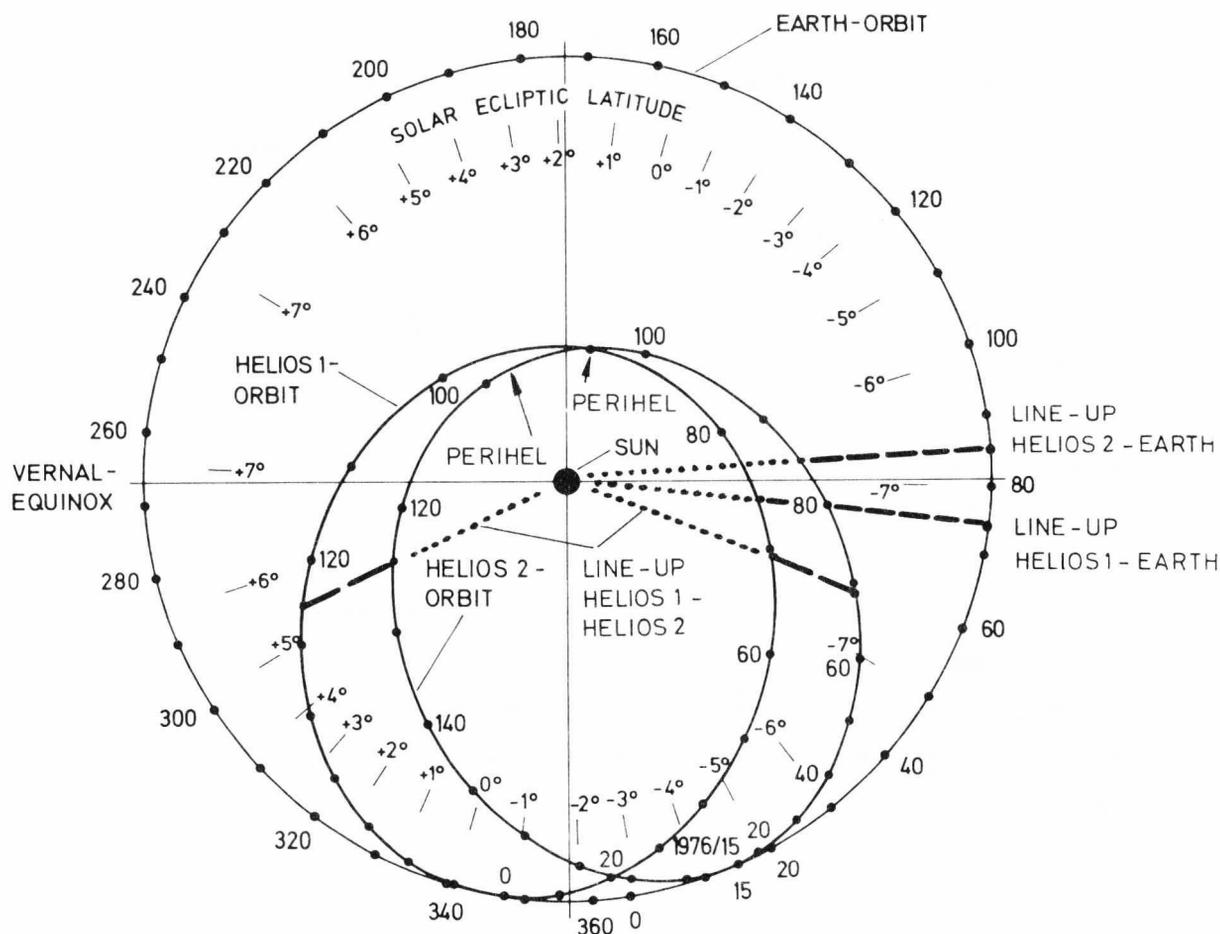


Bild 2: Die Bahnellipsen von HELIOS 1, HELIOS 2 und der Erde. Die Tagnummern beziehen sich auf das Jahr 1976.

Die Lage der Ellipsen - bedingt durch die Startdaten - hätten wir uns nicht besser wünschen können. Die lange Halbachse der HELIOS 1-Bahn liegt fast auf der Knotenlinie des Sonnenäquators, d.h. genau senkrecht zur Sonnenachse, die um $7,25^\circ$ gegen die Ekliptik geneigt ist. Deshalb überfliegt HELIOS 1 im Perihelbereich - wo seine Bahngeschwindigkeit am größten ist - in weniger als 20 Tagen einen Bereich von 12° in solarer Breite. Dazu braucht die Erde vier Monate! So konnten wir erstmals die Breitenabhängigkeit von Strukturen im Sonnenwind direkt beobachten.

Der Verschiebung des HELIOS 2 Starts von Dezember 75 auf Januar 76 haben wir die Verdrehung der HELIOS 2 Ellipse gegenüber der HELIOS 1 Ellipse zu verdanken. Nur deshalb ergaben sich 1976/77 insgesamt 8 "Line-up"-Konstellationen (siehe Bild 2), bei denen beide Sonden von der Sonne aus gesehen hintereinander standen. In einigen Fällen war auch die Erde gerade in der Nähe. Deshalb konnte hier von der Sonne wegströmendes Plasma nacheinander an mehreren Stellen im Raum untersucht und radiale Veränderungen direkt nachgewiesen werden. Wegen der unterschiedlichen Umlaufzeiten gab es nach 1977 leider keinen Line-up mehr.

Weiterhin sind die Abstände der Sonden aber gering genug, daß räumliche und zeitliche Strukturen im interplanetaren Raum vielfach gut zu unterscheiden sind. Insofern kann HELIOS als die erste wirkliche interplanetare Doppelmission gelten.

Der prinzipielle Aufbau von HELIOS ist in der Schemazeichnung in Bild 3 dargestellt.

Bild 4 zeigt eine Ansicht von HELIOS 2 kurz vor dem Start. Wegen der charakteristischen Garnrollengestalt bleiben trotz der um den Faktor 11 schwankenden Sonneneinstrahlung die Temperaturen überall erträglich. Die Figurenachse, um die HELIOS mit 60 Umdrehungen pro Minute rotiert, ist senkrecht zur Bahnebene und damit zur Ekliptik orientiert. Jedoch weist die Antennenspitze bei HELIOS 1 nach Norden, bei HELIOS 2 nach Süden.

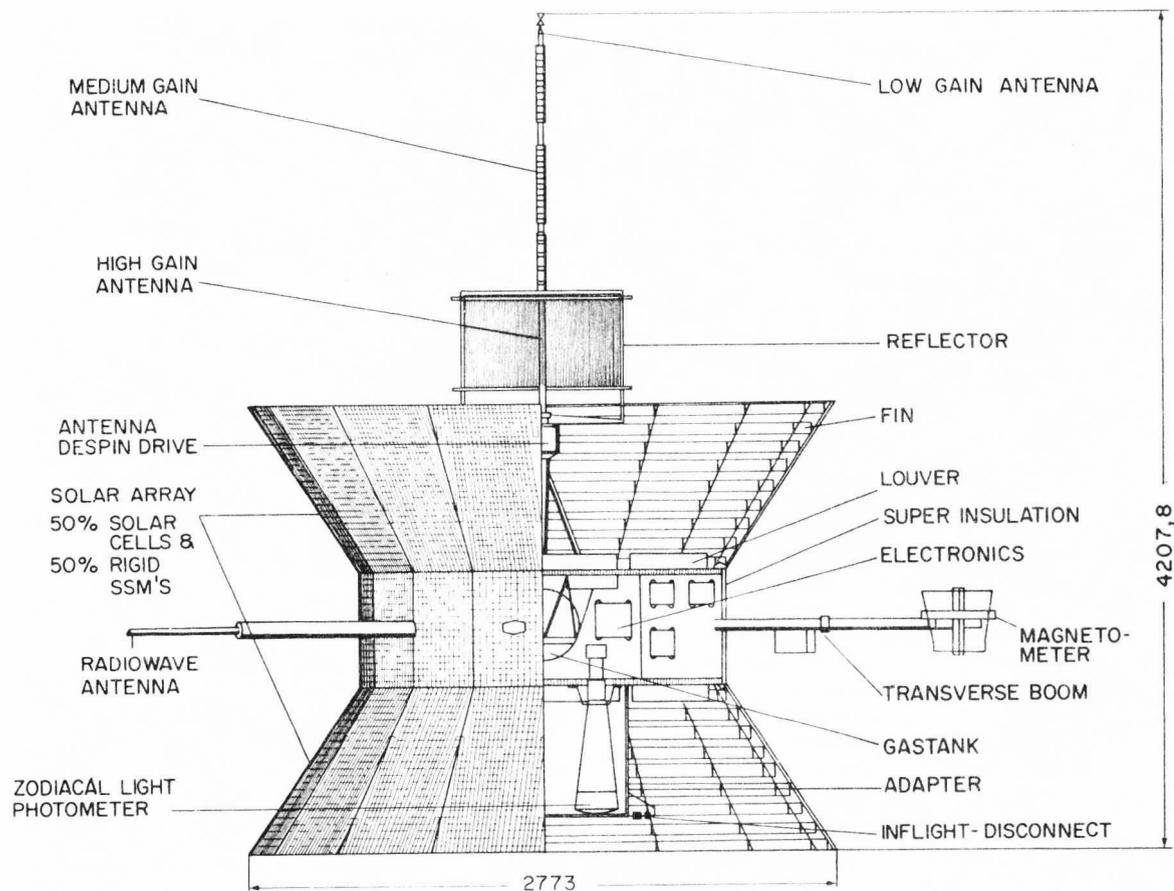


Bild 3: Ein Schema des Aufbaus von HELIOS.

Die wichtigsten technischen Daten der beiden Sonden sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Beide Sonden sind mit einem fast identischen Satz von Meßinstrumenten zur Durchführung verschiedenartiger in-situ-Messungen ausgerüstet. Diese Instrumente sind zu insgesamt 10 Instrumentgruppen - sprachlich unsauber "Experimente" genannt - zusammengefaßt, die von verschiedenen Forschergruppen aus der Bundesrepublik und den USA betreut werden. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die Experimente, ihre Meßbereiche sowie ihre ungefähre Anordnung im Raumfahrzeug. Das Experiment 1, das "Plasmaexperiment", durchgeführt unter Leitung von Dr. Helmut Rosenbauer am Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik in Garching, jetzt am Max-Planck-Institut für Aeronomie in Lindau, ist der Gegenstand des vorliegenden Schlußberichts.

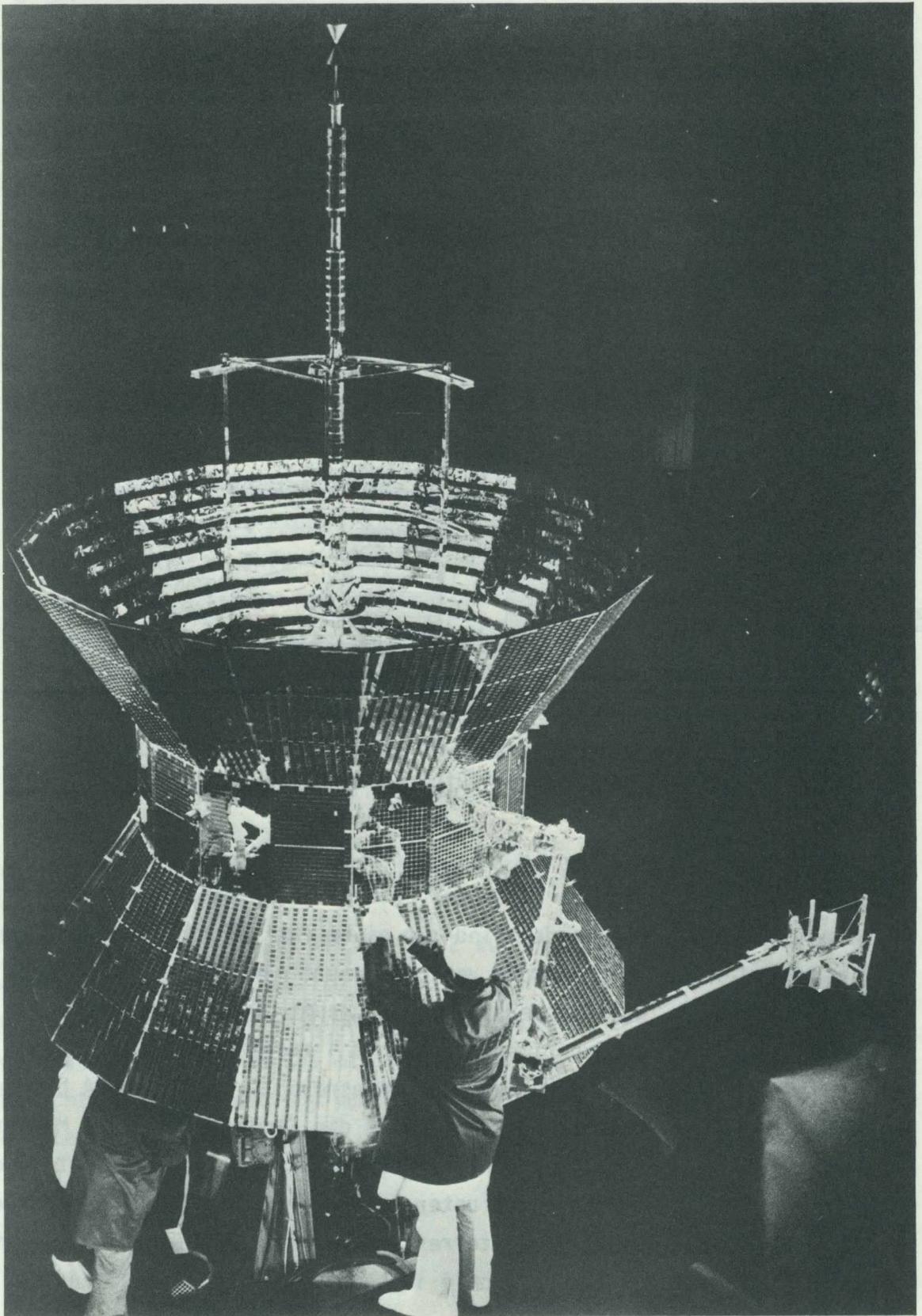


Bild 4: Die Sonnensonde HELIOS 2, kurz vor dem Start

Masse	370,0 kg
Masse der Experimente	74,2 kg
Größter Durchmesser	2,773 m
Höhe einschließlich Antenne	4,208 m
Magnetometer Ausleger, ausgeklappt	9,20 m
Stromversorgung	Sonnenzellen
Maximale Leistung Aphelion/Perihelion	229 W / 238 W
Leistungsverbrauch der Experimente	57,2 W
Telekommunikation	S-Band
Frequenz des Senders	2297 MHz (2295 MHz)
Frequenz des Empfängers	2115 MHz (2113 MHz)
Bitraten, umschaltbar	8 bis 4096 BPS
Bordspeicher	500 kBit
Zahl der Telemetrieformate	6
Max. Leistung des Senders	20 W
Temperaturen Hitzeschild	-60°C bis +150°C
Sonnenzellen	-60°C bis +180°C
Antenne	-50°C bis +220°C
Zentralteil	-25°C bis + 35°C
Startrakete	Titan III E/Centaur D-1T/TE-M-364-4
Perihelabstand	0,30958 AE (0,29038 AE)
Inklination	< 0,02°
Umlaufzeit	191 Tage (186 Tage)
Spinrate	60 ± 1 RPM
Spinachse, senkrecht zur Bahnebene	Toleranz ± 1°
Erste Pläne für Projekt Sonnensonde	1966
Missionsdefinition	1968/69
Beginn der Sondenentwicklung bei MBB	April 1970
Startdatum	10.12.1974 um 7.11 GMT (15.1.1976 um 5.34 GMT)
Gesamtkosten des HELIOS-Projekts	695 Mio DM
davon deutscher Anteil	465 Mio DM

Tabelle 1: Daten der HELIOS-Sonnensonden.
Die Zahlen in Klammern gelten
für HELIOS 2.

Nr.	Bezeichnung:	Experimentatoren: Leiter	Organisation:	Wissenschaftliche Aufgabe: Messung
1	Plasma-Experiment	H. Rosenbauer R. Schwenn J. H. Wolfe	MPI für Physik und Astrophysik, Institut für extraterrestrische Physik, Garching/München NASA Ames Research Center, Moffett Field, Cal.	von niederenergetischen geladenen Teilchen (Sonnenwind), Protonen, α -Teilchen, Elektronen
2	Förster-sonden-Magnetometer I (Braunschweig)	G. Musmann A. Maier F. M. Neubauer	TU Braunschweig, Institut für Geophysik und Meteorologie	des interplanetaren quasi-stationären Magnetfeldes und von Schockfronten
3	Förster-sonden-Magnetometer II (Rom, GSFC)	N. F. Ness L. F. Burlaga F. Mariani	NASA-GSFC, Greenbelt, Md. Universita degli Studi, Istituto di Fisica „G. Marconi“, Rom	des interplanetaren Magnetfeldes und von magnetischen Schockfronten
4	Induktionsspulen-Magnetometer	G. Dehmel F. M. Neubauer	TU Braunschweig, Institut für Nachrichtentechnik	von raschen Magnetfeldänderungen und magnetischen Schockwellen
5	Plasma- u. Radiowellen-Experiment	D. A. Gurnett P. J. Kellogg R. R. Weber	University of Iowa, Dep. of Physics & Astronomy, Iowa City, Iowa University of Minnesota, School of Physics & Astronomy, Minneapolis, Minnesota, NASA-GSFC, Greenbelt, Md.	von elektrostatischen und elektromagnetischen Wellenerscheinungen und Schockwellen
6	Experiment Kosmische Strahlung I (Kiel)	H. Kunow G. Green R. Müller G. Wibberenz	Universität Kiel, Institut für Reine und Angewandte Kernphysik	von Protonen, α -Teilchen und schweren Kernen solaren und galaktischen Ursprungs
7	Experiment Kosmische Strahlung II (GSFC)	J. H. Trainor, K. G. McCracken F. B. McDonald E. C. Roelof B. J. Teegarden	NASA-GSFC, Greenbelt, Md. University of New Hampshire SCIRO, Melbourne/Australia	von mittel- und hochenergetischen Teilchen, Röntgenstrahlen
8	Elektronen-Detektor	E. Keppler G. Umlauf B. Wilken Dr. Williams	MPI für Aeronomie, Institut für Stratosphärenphysik, Lindau, Harz ESSA, Boulder, Colorado	von Elektronen mittlerer Energie, Protonen und Positronen
9	Zodiakallicht-Photometer	C. Leinert H. Link E. Pitz	MPI für Astronomie, Heidelberg	des Zodiakallichts
10	Mikrometeoriten-Analysator	E. Grün P. Gammel J. Kissel	MPI für Kernphysik, Heidelberg	von Staubteilchen

Tabelle 2a: Die "aktiven" Experimente auf HELIOS

Nr.	Bezeichnung:	Experimentatoren: Leiter	Organisation:	Wissenschaftliche Aufgabe: Messung
11	Himmelsmechanik-Experiment	W. Kundt O. Böhringer H. Ovenhausen J. Peyn W. G. Melbourne I. D. Anderson	Universität Hamburg, Institut für theoretische Physik I JPL, Pasadena, Cal.	Prüfung der allgemeinen Relativitätstheorie (Einstein, Brans-Dicke) mit Hilfe einer genauen Bahnbestimmung der Sonden (Ausnutzung des „Signalverzögerungseffektes“)
12	Faraday-Rotation-Experiment	H. Volland M. Bird G. S. Levy	Universität Bonn, Radioastronomisches Institut JPL, Pasadena, Cal.	Durch Messung folgender Störungen: 1. Drehung der Polarisations-ebene (Faraday-Effekt), 2. Laufzeitänderung (Laufzeiteffekt) der Signale durch das Plasma, 3. Linienverbreiterung des Telemetrieträgers infolge der hohen Plasmadichte und Temperatur, Ermittlung der Elektronendichte und Vervollständigung des wissenschaftl. HELIOS-Programms im Hinblick auf die Dynamik solarinterplanetarer Ereignisse
12 Z	Okkultations-Experiment	P. Edenhofer E. Lüneburg Fr. H. Stark	DFVLR Oberpfaffenhofen, Institut für Flugfunk und Mikrowellen	Bestimmung der Elektronendichteverteilung der Sonnenkorona im heliozentrischen Abstand von ca. 5–25 Sonnenradien mittels Analyse der Entfernungs- und Dopplerdaten während der drei vorgesehenen Okkultationen durch geeignete numerische Inversionsverfahren
13	Zusatzuntersuchung zum Plasma-Experiment (E 1)	G. H. Voigt B. Könemann H. Schröder	Technische Universität Braunschweig, Lehrstuhl für theoretische Physik B	Durch Berechnung der durch die HELIOS-Sonde hervorgerufenen Störung (infolge der speziellen Körpergeometrie und Oberflächenbeschichtung) und Durchführung von Korrekturrechnungen Ermöglichung der physikalischen Interpretation der Teilchenmessungen (E 1)

Tabelle 2b: Die "passiven" Experimente auf HELIOS

Aufgabenstellung des Plasmaexperiments

Seit L. Biermann 1957 aus Kometenbeobachtungen geschlossen hatte, daß von der Sonne dauernd ionisiertes Gas in den interplanetaren Raum abströmen müsse, sind über dieses Phänomen viele Theorien entwickelt worden, und seit den Flügen der ersten interplanetaren Raumsonden ist es auch direkt experimentell nachgewiesen. Es erhielt die Bezeichnung "Sonnenwind", und das Interesse an seiner Erforschung hat seither nicht nachgelassen. Das hat mehrere Gründe: Zum einen ist uns hier ein astrophysikalisches Plasma, das in ähnlicher Weise wohl von einem Großteil aller Sterne emittiert wird, direkt zugänglich; zum anderen liefert uns der Sonnenwind Auskünfte über Vorgänge auf der Sonne. Er beeinflußt auch das physikalische Geschehen in der Magnetosphäre der Erde und in der Umgebung anderer Planeten ganz entscheidend. Darüberhinaus können durch sein Studium plasmaphysikalische Erkenntnisse gewonnen werden, die im Labor nur schwer oder gar nicht zu erhalten sind.

In Erdbahnnähe sind die Parameter des Sonnenwindes inzwischen recht gut bekannt. Man weiß, daß er sich im Mittel zu etwa 95 % aus Protonen, zu 4 % aus α -Teilchen und aus geringen Anteilen schwererer Ionen sowie aus einer die Ionenladungen gerade kompensierenden Menge von Elektronen zusammensetzt. Die Teilchendichte liegt in Erdbahnnähe in der Größenordnung von 10 cm^{-3} . Dieses Plasma strömt mit einer mittleren Geschwindigkeit von ca. 400 km s^{-1} etwa radial von der Sonne weg nach außen. Die Bewegungsrichtung der einzelnen Protonen streut gegenüber dieser Strömungsrichtung noch geringfügig aufgrund der "Temperatur" der Protonenkomponente von etwa 10^5 K .

Dagegen überwiegt bei den Elektronen die mittlere thermische Energie (ca. 15 eV) gegenüber der Translationsenergie ($\approx 1 \text{ eV}$), so daß ihre Geschwindigkeitsverteilung von einer Raumsonde aus nahezu isotrop erscheint. Die hier angegebenen Zahlenwerte unterliegen starken Schwankungen, die wiederum für sich genommen von Interesse sind, weil sie entweder auf Strukturen auf der Sonne oder auf Vorgänge, z.B. Wellenausbreitung im Plasma zwischen Sonne und Erde hinweisen.

Trotz der scheinbar bereits recht guten Erforschung des Sonnenwindes sind noch wesentliche Fragen für das Verständnis der zugrundeliegenden physikalischen Vorgänge offen. Das liegt zu einem großen Teil daran, daß praktisch

alle bisherigen Messungen im Sonnensystem außerhalb der Bahn von Venus gemacht wurden, daß also über die Entwicklung des Phänomens zwischen dem Entstehungsort und ca. 0,7 AE nichts bekannt ist. Die verschiedenen Theorien unterscheiden sich aber vor allem im Verlauf der wichtigen Plasmaparameter in diesem Bereich. Hier können also gerade Messungen von HELIOS aus Aufschluß über die Richtigkeit der verschiedenen Modellvorstellungen bringen. Wegen der großen Annäherung von HELIOS an die Sonne gelingt es auch, Beobachtungen im Sonnenwind viel genauer, als dies bisher möglich war, mit Erscheinungen auf der Sonnenoberfläche zu korrelieren und so wichtige Details zu klären, die in den Theorien über die Expansion des Sonnenwindes bisher nicht erfaßt wurden. Schließlich sind die am Ort der Sonde gemessenen Plasma-parameter auch eine wichtige Basisinformation für andere HELIOS-Experimente, denn die elektrischen und magnetischen Felder (4 Experimente befassen sich mit ihrer Messung) hängen direkt vom Sonnenwind ab, und die höherenergetischen Teilchen (3 Experimente) werden ebenfalls von ihm beeinflußt.

Das Plasmaexperiment ist jedoch nicht so ausgelegt, daß es seinen Wert ausschließlich durch die besondere Bahn von HELIOS erhält; vielmehr wurde versucht, durch die Entwicklung neuartiger Instrumente auch Messungen zu ermöglichen, die bisher selbst in Erdbahnnähe noch nicht gemacht worden sind. Hier sind besonders die Analyse von Plasmaelektronen bis zu niedrigsten Energien und die vollständige Trennung der Verteilungsfunktionen der Protonen und der α -Teilchen zu nennen.

Jede dieser Erwartungen haben die Instrumente bisher voll und in allen Einzelheiten erfüllt. Darüberhinaus haben sich vor allem wegen der nicht vorhersehbaren Länge der Mission einige weitere sehr wichtige Aspekte ergeben: Zum einen liefert der jahrelange "Verbandsflug" der beiden Sonden ganz neue Erkenntnisse über die großräumige Struktur des interplanetaren Mediums. Zum anderen liegt jetzt ein geschlossener Datensatz von Ende 1974 - ein Jahr vor dem Ende des Sonnenzyklus 20 - bis derzeit Ende 1980 vor, wo das Aktivitätsmaximum des Zyklus 21 schon überschritten ist. Dieser Datensatz ist einzigartig deshalb, weil durch überaus geschickten Missionsbetrieb mit Hilfe der Bord-speicher fast sämtliche Lücken im Datenempfang bei den Bodenstationen, wenn auch mit niedriger Datenrate, überbrückt werden konnten, was ursprünglich gar nicht vorgesehen war. Deshalb bestehen gute Aussichten für neue Erkenntnisse über Veränderungen des Sonnenwindes mit dem Sonnenzyklus.

Historischer Überblick

Das Projekt HELIOS nahm seinen Anfang schon Ende 1966. Damals beschlossen die Regierungen der USA und der Bundesrepublik Deutschland die Durchführung eines bilateralen Projekts "Sonnensonde", wie es damals noch hieß. Im Juli 1968 wurde dann die Missions-Definitionsstudie begonnen. Daraus entstand bis April 1969 der Mission Definition Group Report. Schließlich konnte im Juli 1969 mit der Unterzeichnung des Memorandum of Understanding das kooperative Projekt HELIOS zwischen der amerikanischen Weltraumbehörde NASA und dem Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung vertraglich vereinbart werden.

Parallel dazu reiften schon am Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik (MPE) in Garching die Pläne für die Durchführung von in-situ Plasmamessungen heran. Prof. Reimar Lüst und Prof. Klaus Pinkau, die sicher mit zu den Vätern des HELIOS-Projekts zu zählen sind, waren damals Direktoren am MPE. Sie beauftragten Anfang 1967 Helmut Rosenbauer mit der Entwicklung geeigneter Instrumente. Sozusagen als Übung entwarf er zunächst ein "Traum"-instrument mit allen damals nur denkbaren Feinessen, das er dann - wiederum als Übung - für den ESRO-Satelliten HEOS-A2 vorschlug. Wider Erwarten wurde dieser Vorschlag Anfang 1968 angenommen und mußte gebaut werden. Die Betreuung am MPE übernahmen Heiner Grünwaldt und Heinz Pellkofer; zur Flugreife entwickelt und schließlich gebaut wurde das Instrument von der Firma AEG-Telefunken. Das neuartige Konzept dieses Instruments sowie die charakteristischen Größen des Sensorteils sind identisch mit denen der späteren Instrumente I1a und I1b für HELIOS: 3D-Auflösung mit Hilfe von neun Channeltrons hinter einem Viertelkugelanalysator, nahezu konzentrisch angeordneter Halbkugelanalysator mit hochempfindlichem Elektrometer, das Vakuumkonzept, die Lage der Meßkanäle, das Prinzip der Datenauswahl entsprechend der Lage des Maximums der Verteilung etc. Damals begannen die ersten Labortests an Channeltrons, die uns bald in der bis dahin unerhörten Ansicht bestärkten, daß die Lebensdauer von Channeltrons durch geeignete Behandlung, vor allem durch konsequentes Vermeiden von Kontamination mit organischen Molekülen (Pumpenöl, Plastik, Epoxi, Farben etc.) praktisch unbegrenzt ausgedehnt werden kann. Schon beim HEOS-Instrument wurde deshalb das Prinzip des UHV-tauglichen Sensorinnenraumes eingeführt und

durchgehalten: Ausschließliche Verwendung von Materialien wie Glas, Metall, Keramik, evakuierbares Gehäuse, Betrieb nur im absolut ölfreien Vakuum. Als Folge davon konnte in der Tat während der HEOS-Mission (vom 31.1.72 bis August 1974) keinerlei Degradation der Channeltrons festgestellt werden.

Von Anfang an hatten Abtrennung und Analyse der schwereren Ionen von den Protonen als wünschenswert gegolten. Erst Anfang 1970 stellte sich nach verschiedenen Vorarbeiten und Studien ein Prinzip als durchführbar heraus, das dann später beim Bau des elektrodynamischen Massenanalysators (I3) realisiert wurde. Die Messung von Elektronen war dagegen wegen des gewaltigen Überschusses an Photoelektronen in der Umgebung jedes Raumfahrzeugs immer als nahezu unmöglich und zudem als weniger interessant erscheinen. Erst auf direkte Anregung von Prof. Ludwig Biermann begann Helmut Rosenbauer mit ernsthaften Überlegungen, die schließlich in dem völlig neuartigen Instrument I2 gipfelten.

Nach einigen Versuchen in verschiedenen Vakuumanlagen, in denen zunächst die Durchlaßcharakteristiken von kugelförmigen Analysatoren untersucht wurden, begann 1970 der Bau der Eichanlage. Sie wurde in einem speziell als Clean-room hergerichteten Container außerhalb des eigentlichen Laborgebäudes (einer Holzbaracke etwa 100 m vom Hauptgebäude entfernt) errichtet. Diese Trennung war unser Glück im Unglück: Als am 22.12.1970 das Laborgebäude aus nie geklärten Gründen vollständig niederbrannte, konnte buchstäblich nichts gerettet werden, außer dem Container. Dieser Brand warf uns weit zurück, vor allem beim HEOS-Projekt, ein Jahr vor dem geplanten Start. Zum Glück war hier keine Flugeinheit direkt betroffen, mehr oder minder zufällig, so daß schon im Frühjahr 1971 die Eicharbeiten beginnen konnten. Die HELIOS-Instrumente gab es damals nur auf dem Papier, das allerdings restlos verbrannte. Von einem großen Teils der Unterlagen gab es zum Glück Kopien bei den verschiedenen Projektpartnern. Dennoch wurde unser ohnehin großer Rückstand in der Produktion von Projektpapieren schon beinahe hoffnungslos und konnte lange nicht aufgeholt werden.

Im Mai 1970 war aus den nur zwei eingegangenen Angeboten von Industriefirmen die Firma Messerschmitt-Bölkow-Blohm (MBB) in Ottobrunn ausgewählt worden. Zu dieser Zeit waren viele Interfaces zur Sonde noch völlig unklar bzw. wurden mehrfach geändert. Außerdem mußten wir auch unsere Vorstellungen über die

Möglichkeiten der Instrumente an das Machbare laufend anpassen und umgekehrt. In dieser äußerst konstruktiven Entwurfsphase bis Mitte 1971 entwickelte sich eine fruchtbare, sehr offene Arbeitsgemeinschaft im wörtlichen Sinn, die eine tragfähige Grundlage für die weitere Arbeit bildete, aus der dann schließlich ausgeklügelte Instrumente hervorgingen, die von Anfang an und noch nach Jahren hervorragend und fehlerfrei arbeiten. In dieser Anfangsphase waren auf MBB-Seite außer dem Projektleiter Jochen Brauer vor allem die Herren Stiller und Nogai und Friedrich (Elektronik) sowie H. Wagner (Mechanik) beteiligt, am MPE H. Rosenbauer, der Projektleiter H. Pellkofer und (seit 1971) Rainer Schwenn, der ab 1972 nach dem Ausscheiden von H. Pellkofer dessen Rolle übernahm. Er führte auch die Langzeit- und Auswahltests der Channeltrons durch, unterstützt von den Assistentinnen Erna Kusser und später Edith Wantosch. Bernhard Meyer berechnete Form und Durchlaßcharakteristiken des Massenanalysators (I3). Dann kam als letzter der Koinvestigatoren 1972 noch Hans Miggenrieder dazu, der zunächst vor allem die spezielle Eichenanlage für die niederenergetischen Elektronen vorbereitete. Die gesamten UHV-Vakuumanlagen wurden dabei von Hans Ludwig betreut, der später zur Unterstützung von MBB auch bei der Sensorintegration mitwirkte. Konrad Müller überwachte alle Experiment- und Systemtests. Zusammen mit H. Ludwig, H. Miggenrieder und R. Schwenn war er maßgeblich an den Startvorbereitungen beteiligt.

Die lange Zeit unklaren Anforderungen des Sondensystems an das Experiment, der ständige Termindruck, aber auch die produktive Arbeitsweise der engen Kooperation zwischen MBB und MPE hatten alles in allem einen unerwünschten Seiteneffekt: Die Festlegung des Arbeitsumfanges für den Vertrag zwischen MPE und MBB wurde außerordentlich schwierig, einfach, weil sich der Umfang dauernd änderte. Erst am 13.12.71 wurde der Hauptvertrag unterzeichnet. In sechs Zusatzverträgen wurden später noch 32 "Change proposals", d.h. technische, kostenwirksame Änderungsanträge erfaßt.

Als erstes wurde das elektrische Integrationsmodell (EM) fertig. Im Januar 72 begannen die ersten Messungen an der Eichenanlage. Einige Probleme wurden dabei aufgedeckt und zum Teil noch vor Ablieferung des EM an den Hauptauftragnehmer (HAN) im Mai 72 behoben. Im April 72 lieferte MBB den sogenannten Sensorsatz

ab, bestehend aus den Sensorteilen ohne jede Elektronik und völlig baugleich mit dem EM. Daran konnten an der Eichanlage sämtliche Details genau vermessen werden, unabhängig von den Terminplänen des Projekts. Diese Vermessungen dienten vor allem auch als Vorbereitung auf die stets unter großem Termindruck stehenden Eichungen der Fluginstrumente. Zur Automatisierung der Eichung entwickelte Matthias Bechly im Rahmen einer Diplomarbeit eine vollautomatische Steuer- und Datenerfassungseinheit, den "Pacemaker" und später die dazu redundante "Grüne Schrittmachine".

Die Prototyp-Instrumente (P-typen) wurden im August 1973 übergeben, die Flugeinheit 1 (F1-typen) im November 1973, die Flugersatzeinheit (F2-typen) im April 1974. Es ist hier nicht der Ort, all die vielen Namen, Taten, Probleme, Beinahe-Katastrophen, Rettungen in letzter Minute, Projektquerelen und sonstigen Affären aufzuzählen, die uns in dieser Zeit in Atem hielten. Bezeichnend ist die Erleichterung, die aus dem Satz eines Mitarbeiters 10 Sekunden nach dem Start herausklingt: "Gottseidank, an dem Ding brauchen wir nie mehr was richten...".

Das Einschalten des Experiments vom JPL aus verlief ohne Probleme. K. Müller und R. Schwenn überwachten vom JPL aus die Arbeit der Instrumente und führten noch verschiedene Tests aus, bis im Januar 1975 die Missionskontrolle zum GSOC der DFVLR in Oberpfaffenhofen übertragen wurde. Einige der Erfahrungen dieser ersten Wochen konnten noch für Änderungen bei HELIOS 2 verwertet werden, u.a. Herabsetzung der Mikrofonieempfindlichkeit von I1b, Verschiebung und Verkleinerung der Azimutkanäle von I2 sowie Verschiebung der Azimutkanäle mit einem neuen Kommando bei I1a.

Besonders dramatisch wirkte sich das sogenannte "Multipacting" an der high-gain-Antenne aus: In den schmalen Schlitzen des Antennendipols bildeten sich offenbar im starken elektrischen Wechselfeld durch eine Art Resonanzeffekt Elektronenlawinen aus. Dadurch wurde unser Elektroneninstrument I2 mit Störelektronen geradezu überflutet, und auch die Wellenexperimente erhielten unbrauchbare Daten. Nach eingehenden Tests wurde beschlossen, in regelmäßigen Abständen auf die medium-gain-Antenne umzuschalten, unter Verzicht auf die höchstmöglichen Bitraten, um den Betroffenen wenigstens zeitweise zu brauchbaren Ergebnissen zu verhelfen. Außerdem wurden sofort Laborversuche zur Klä-

rung und möglichen Beseitigung der Störung für HELIOS 2 begonnen. Durch eine geeignete Modifizierung konnte dies tatsächlich erreicht werden. Eine ähnliche Modifizierung muß sich wohl am Bord von HELIOS 1 beim ersten Perihel-anflug von selbst eingestellt haben; denn aus unbekanntem Gründen hörte der Störeffekt nach dem ersten Perihel völlig auf und ist nie wieder aufgetreten.

Neben der Missionskontrolle von HELIOS 1 sowie der beginnenden Datenauswertung liefen 1975 die Vorbereitungen für den HELIOS 2 Start auf Hochtouren. Dazu gehörte auch die Umrüstung der P-Instrumente in einen Satz vollwertiger Flugersatzeinheiten. Alle für HELIOS 2 durchgeführten Änderungen erwiesen sich als voller Erfolg; alle Instrumente liefen makellos. Erst im August 1977 begann die Abschaltzeit des Quecksilberrelais im Elektroneninstrument sich stark zu vergrößern, so daß seit September '77 Elektronen praktisch nur noch im niederenergetischen Programmteil gemessen werden können. Dies ist die einzige Veränderung, die in allen unseren Instrumenten auf beiden Sonden seit den Starts erfolgt ist. Regelmäßige Tests zeigen, daß alle Funktionen völlig unverändert sind, daß alle Spannungsversorgungen stabil geblieben sind und daß die Channeltrons nicht degradieren. Keine der vorgesehenen kalten Redundanzen hat bisher benutzt werden müssen.

Inzwischen liegt schon eine Fülle von wissenschaftlichen Ergebnissen vor (siehe das Literaturverzeichnis). Darüber kann hier nicht berichtet werden. Es sei aber hervorgehoben, daß die Ergebnisse von 1974 bis 1980 an vielen Stellen in teilweise verblüffender Weise die Entwurfsüberlegungen der Jahre 1967 bis 1971 rechtfertigen. Natürlich arbeitet man inzwischen an einer neuen Generation von Instrumenten, die 1985 mit der ISPM-Mission fliegen und noch viel detailliertere Messungen durchführen werden. Abgesehen davon gibt es nur ganz wenige, fast unbedeutende Punkte, an denen aus heutiger Sicht Verbesserungen an HELIOS-Instrumenten wünschenswert wären. Darauf wird in den technischen Kapiteln jeweils hingewiesen.

2. Aufbau des Experimentes

Die verwendeten Meßmethoden

Unter der Bezeichnung "Plasmaexperiment", im Folgenden immer mit "E1" bezeichnet, sind vier unabhängige Instrumente zusammengefaßt, deren gemeinsame Aufgabe die Untersuchung des Sonnenwindplasmas ist. Drei der Instrumente (I1a, I1b und I3) messen die positive Komponente, eines (I2) die Elektronen des Sonnenwindes.

Primär werden die Geschwindigkeitsverteilungen der verschiedenen Teilchensorten gemessen. Die geringe Dichte des interplanetaren Plasmas erlaubt dazu ein im Prinzip einfaches Verfahren: Die Teilchen werden entsprechend ihren Energien und Einfallsrichtungen sortiert und einzeln gezählt.

Alle E1-Instrumente arbeiten nach demselben Grundprinzip: Die geladenen Teilchen durchlaufen elektrostatische oder -dynamische Ablenksysteme; aber nur Teilchen, die aus bestimmten Richtungen einfallen und deren Verhältnis von Energie zu Ladung (E/q) in einem geeigneten begrenzten Bereich liegt, können passieren und werden gezählt.

Als Beispiel sei ein Analysator mit kugelförmigen Ablenksystemen (mittlerer Radius R , Abstand d), an denen die Spannung U_p liegt, genannt. Als Bedingung für die Mitte des Durchlaßbereichs gilt:

$$\frac{E}{q} = U_p \cdot \frac{1}{Z} \frac{R}{d} \quad .$$

Durch Veränderung der Plattenspannung kann der Durchlässigkeitsbereich verschoben und somit schrittweise ein Energiespektrum aufgenommen werden. Solche kugelförmigen Analysatoren werden in I1a, I1b und I2 verwendet. Die Plattenspannung wird hier in 32 Schritten von Umdrehung zu Umdrehung (entsprechend dem Spin von HELIOS) hochgeschaltet.

Die E1-Instrumente sind in der Nähe des Äquators von HELIOS montiert und blicken mit ihren Eingangstrichtern durch Aussparungen in den Hitzeschildern radial nach außen. Aufgrund der Orientierung der HELIOS-Spinachse liegt die Mitte der Gesichtsfelder stets in der Ebene der Ekliptik. Zur azimuthalen Richtungsauflösung (Winkel in der Ebene der Ekliptik, siehe Bild 5) der Messungen wird die Rotation von HELIOS direkt zu Hilfe genommen; durch spinsynchrone Sektorpulse wird die Meßzeit in jeder Umdrehung in geeignete Azimutkanäle aufgeteilt, die den Bereich der erwarteten Teilcheneinfallssrichtungen überdecken.

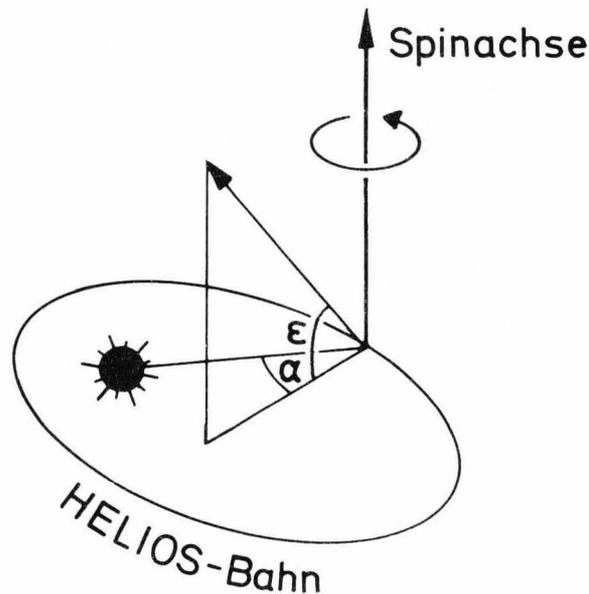


Bild 5: Definition der Winkel Azimut (α) und Elevation (ϵ) der Teilcheneinfallssrichtungen.

Bei den Ioneninstrumenten I1a und I3 erfolgt auch eine Auflösung bezüglich des zweiten Einfallswinkels, der Elevation (Winkel senkrecht zur Ekliptik); das ermöglicht eine "dreidimensionale" Messung der Geschwindigkeitsverteilung. Wie in Bild 6 schematisch gezeigt, treten die unter verschiedenen Elevationswinkeln ϵ durch die Eintrittsöffnungen einfallenden Teilchen nach dem Durchlaufen eines viertelkugelförmigen Analysators an verschiedenen Stellen des Randes aus und können durch separate Detektoren registriert werden. Aus diesem Schema läßt sich auch ableiten, daß bei einem halbkugel-

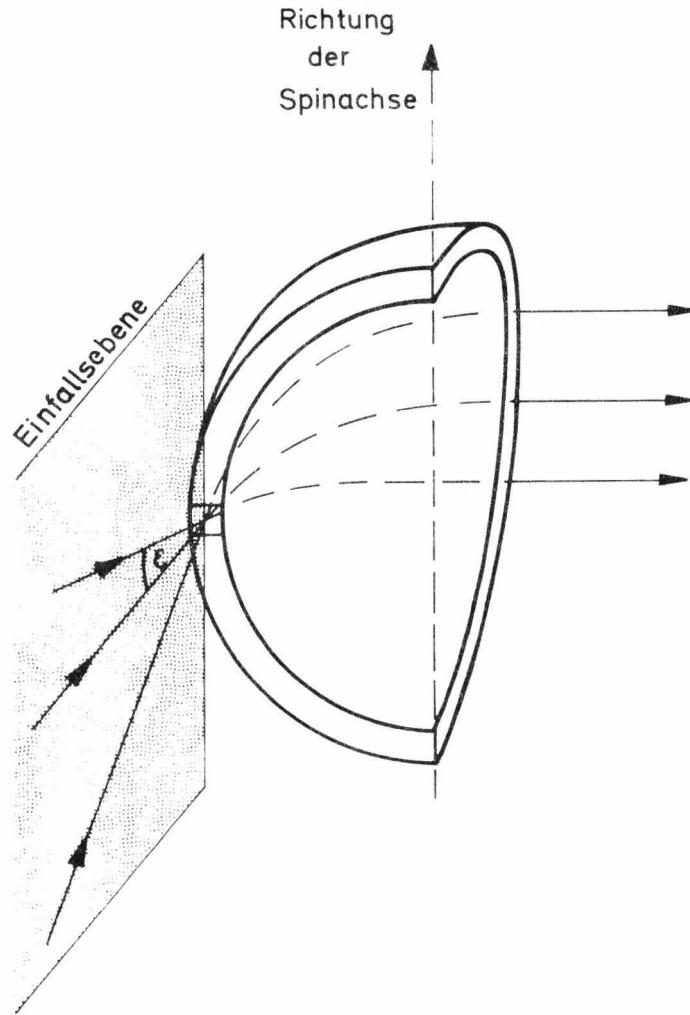


Bild 6: Schema eines elektrostatischen Viertelkugel-analysators.
Teilchen mit unterschiedlichen Einfallswinkeln ϵ treten an verschiedenen Stellen des Analysators aus und werden dann mit einzelnen Detektoren nachgewiesen.

förmigen Analysator alle Teilchen der angedeuteten Einfallsebene auf einen Punkt gegenüber der Eintrittsöffnung fokussiert werden. Ein Detektor an dieser Stelle liefert also ein über alle Elevationswinkel integriertes Meßergebnis. Dieses Prinzip benutzen I1b und das Elektroneninstrument I2.

Zum Teilchennachweis dient in I1b ein hochempfindliches Elektrometer, das direkt den einfallenden Ionenstrom mißt. In den übrigen Instrumenten werden die Teilchen mit Hilfe von offenen "Channeltrons" (kontinuierliche Elektronenvervielfacher) einzeln gezählt.

Die wichtigsten Daten der einzelnen Instrumente sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Instrument 1 a für positive Ionen

			Kanäle
- Energie pro Ladung	0,155	bis 15,32 kV	32 · 2
- Azimut			
(bezogen auf Sonne)	-54,5	bis 32,7	16 · 2
- Elevation	-20	bis +20°	9
Analysator: Viertelkugel mit R = 60 mm, d = 1,2 mm			
Detektoren: 9 Channeltrons.			

Instrument 1 b für positive Ionen

			Kanäle
- Energie pro Ladung	0,145	bis 14,32 kV	32 · 2
- Azimut	-56,25	bis +118	1
- Elevation	-40	bis +40	1
Analysator: Halbkugel mit R = 54 mm, d = 4,5 mm			
Detektor: Elektrometer mit Quantisierungseinheit 1,6 × 10 ⁻¹⁶ As.			

Instrument 2 für Elektronen

			Kanäle
- Energie pro Ladung	0,5	bis 15,5 V (A)	16
	10,7	bis 1660 V (B)	16
- Azimut	360		8 · 2
- Elevation	-9	bis +9	1
Analysator: Halbkugel mit R = 40 mm, d = 5 mm			
Ebene Ablenkplatten mit d = 33,6 mm			
Detektor: 1 Channeltron.			

Instrument 3 für positive Ionen

			Kanäle
- Geschwindigkeit	199	bis 767 km/s	16
- Azimut	-53,2	bis 30,8	16 · 2
- Elevation	-20	bis +20°	9
- M/q-Werte			
(bezogen auf H ⁺)	1	bis 5,33	15
Analysator: Sinusähnliche Platten mit d = 2 mm, l = 135 mm			
Frequenzen von 1,058 bis 4,088 MHz			
Detektoren: 9 Channeltrons.			

Tabelle 3: Hauptdaten der E1-Instrumente

Die Instrumente für positive Ionen

Die Hauptaufgabe des Plasmaexperiments ist die Messung der dreidimensionalen Geschwindigkeitsverteilung der Protonen im Sonnenwind. An Bord von HELIOS gibt es keine Redundanz für diese Messungen; deshalb wurden die Instrumente I1a und I3 in bezug auf die Protonenmessungen als weitgehend gleichwertig entworfen, im Sinn einer "kalten" Redundanz: Nur eines der beiden Instrumente ist jeweils in Betrieb und füllt mit seinen Meßdaten den gesamten für dreidimensionale Protonenmessungen vorgesehenen Datenanteil.

In den Perihelphasen, wo I3 wegen seines hohen Leistungsverbrauchs und seiner ca. 30fach geringeren Empfindlichkeit nur betrieben werden kann, hat sich die routinemäßige Umschaltung von I3 nach I1a etwa jede Stunde für jeweils 10 min sehr bewährt.

Die Instrumente I1a und I1b sind in einer gemeinsamen Box (E1A) untergebracht. Ihre kugelförmigen Analysatoren sind fast konzentrisch angeordnet. Die 32 Energiekanäle haben je 17 % Abstand voneinander und sind für beide Instrumente fast genau gleich. Bei jedem zweiten Meßzyklus werden die Energiekanäle um einen halben Kanalabstand verschoben, ebenso die Azimutkanäle. Bei ruhigem Sonnenwind können dann je zwei Spektren zusammengesetzt werden, was in zwei Dimensionen die Auflösung wesentlich verbessert.

Trotzdem gibt es noch Lücken im Raster der Kanäle. Das führt in Fällen extrem kalten Plasmas - vor allem nach Schocks - dazu, daß gelegentlich der gesamte Protonenfluß in einen einzigen Kanal trifft, und gleich danach sozusagen "durch den Rost" fällt. Eine wirklich lückenlose Überdeckung des Meßbereichs wäre deshalb zumindest für die Messung von kaltem Plasma wünschenswert. Es muß aber auch erwähnt werden, daß die im Geschwindigkeitsraum nahezu "punktförmigen" Messungen die Auswertung der Ergebnisse bei nicht zu kaltem Plasma sehr erleichtern. Eine vollständige Lösung des Problems wäre wohl nur durch Übertragung von Ergebnissen auch aus den Lücken des jetzigen Meßrasters möglich, wozu aber eine wesentlich höhere Datenrate notwendig wäre.

Die relativ große Öffnung und der weite Plattenabstand von I1b zusammen mit dem integrierenden Effekt der Halbkugel ermöglichen es, den Fluß der Ionen des Sonnenwindes direkt als Ionenstrom zu messen. Hier liefern mehrfach geladene Ionen einen entsprechend höheren Beitrag als in I1a, wo jedes Teilchen unabhängig von seiner Ladung einfach gezählt wird. Die Kombination beider Messungen liefert also Aufschluß über den Ladungszustand schwerer Ionen im Sonnenwind. Zugleich hat I1b aufgrund seiner Einfachheit eine gewisse Redundanzfunktion.

Dieses Konzept hat durch die eindeutige Identifizierung bisher nicht im Sonnenwind vermuteter Ionen eine glänzende Bestätigung erfahren.

Auch das neuartige Instrument I3, untergebracht in Box E1C, soll über die Zusammensetzung der positiven Komponente des Sonnenwindes Aufschluß geben. Es enthält als Kernstück einen "elektrodynamischen Analysator". Seine Ablenkplatten haben eine annähernd sinusförmige Krümmung, so daß eine angelegte sinusförmige Wechselspannung nur Teilchen mit einer entsprechenden Geschwindigkeit durchkommen läßt. Sie ist bestimmt durch die Frequenz der angelegten Wechselspannung und die Geometrie des Analysators. Zum anderen sorgt auch hier der Betrag der Plattenspannung wie beim elektrostatischen Analysator für die Krümmung der Teilchenbahnen und damit für die Ausscheidung aller Teilchen mit falschen E/q -Werten. Die beiden unabhängigen Kriterien Geschwindigkeit und Energie pro Ladung führen also zu einer Selektion der Teilchen nach ihrem Masse-pro-Ladungs-Verhältnis (M/q). Insgesamt 15 feste M/q -Werte können für je 16 Geschwindigkeitswerte eingestellt werden. Der höchste Wert von 767 km/sec entspricht bei Protonen einer Energie von 3,08 keV, im Vergleich zu 15,31 keV bei I1a. In seinen Azimut- und Elevationskanälen aber gleicht dieses Instrument genau dem Instrument I1a.

Leider ist die Empfindlichkeit von I3 so gering, daß die ohnehin seltenen schweren Ionen nur in Ausnahmefällen wirklich nachzuweisen sind. Der Hauptwert besteht in der vollständigen Abtrennung der α -Teilchen von den Protonen, deren Verteilungen sich gerade in Sonnennähe im reinen E/q -Spektrum häufig völlig überlagern.

Das Elektroneninstrument

Den Elektronen des Sonnenwindplasmas kommt bei allen theoretischen Modellen eine zunehmende Bedeutung zu. Aber die Messung solcher Elektronen im Energiebereich von wenigen Elektronenvolt ist prinzipiell schwierig und deshalb bis heute nicht einwandfrei gelungen: Zum einen entstehen durch die Sonneneinstrahlung auf der Sondenoberfläche Fotoelektronen, deren Flußdichte um mehrere Größenordnungen höher liegt als die der Plasmaelektronen; zum anderen überlappen sich auch noch die Energiebereiche.

Man muß also die Elektronen nach ihrer Herkunft unterscheiden. Das ist möglich; denn Fotoelektronen, die senkrecht in den Detektor einfallen, haben - bei einigen vereinfachenden Annahmen - stets eine niedrigere Energie, als es dem elektrischen Potential ϕ der gesamten Sonde entspricht, wenn ϕ positiv ist; Fotoelektronen mit höherer Energie als $e \cdot \phi$ können ja zur Sonde und damit zum Detektor nicht zurückkehren. Dagegen haben solare Elektronen, die den Detektor erreichen, immer eine höhere Energie als $e \cdot \phi$, weil sie um diesen Betrag nachbeschleunigt worden sind. Da nun die Spektren von Fotoelektronen und Plasmaelektronen im allgemeinen unterschiedlich sein werden, wird man eine Unstetigkeit im gemessenen Energiespektrum der Elektronen an der Stelle des Sondenpotentials messen.

Dazu muß man vor allem verhindern, daß Fotoelektronen, die erst innerhalb des Instruments erzeugt werden und deshalb auch höhere Energien als $e \cdot \phi$ haben können, diesen Sprung verwischen.

Dies kann man durch eine solche Geometrie erreichen, die allen im Sensorinnenraum erzeugten Fotoelektronen grundsätzlich das Erreichen des Detektors unmöglich macht. Das HELIOS-Elektroneninstrument I2, untergebracht in Box E1B, besteht deshalb aus zwei hintereinandergeschalteten Ablenkensystemen: Das erste dient nur dazu, die zu analysierenden Elektronen aus dem Lichtkegel heraus - und in den eigentlichen Energieanalysator, der immer im Schatten liegt, hineinzulenken.

Außerdem ist vorausgesetzt, daß das Sondenpotential positiv ist, und daß nicht im Gesichtsfeld des Sensors Inhomogenitäten des elektrischen Feldes die einfallenden Elektronen ablenken. Leider ist ein kompletter Überzug

von HELIOS mit einer leitfähigen Schicht zur Erzielung eines einheitlichen positiven Potentials aus verschiedenen Gründen nicht zu erreichen gewesen. Nur der mittlere Teil von HELIOS ist mit zwei breiten leitfähigen Ringen bedeckt, die elektrisch mit der Sondenstruktur verbunden sind. Sie sorgen für genügend große Fotoelektronen-Emission und kompensieren dadurch den starken Fluß von Plasmaelektronen, die von oben und unten in die abgeschatteten Flächen von HELIOS einfallen. Diese Flächen müssen ebenfalls leitfähig und "geerdet" sein. Dadurch kann das Potential von HELIOS die meiste Zeit über positiv gehalten werden. Die Störeinflüsse infolge elektrostatischer Aufladungen der nicht leitenden Oberflächen durch Plasma- und Fotoelektronen bleiben jedoch bestehen und müssen bei der Auswertung berücksichtigt werden.

Beim ersten Einschalten von I2 warteten alle mit großer Spannung darauf, ob dies neuartige Instrument wirklich so arbeitet wie erwartet. In der Tat - vom ersten Spektrum an war der vorausgesagte Knick bei etwa 3 eV deutlich zu sehen. Allerdings ist er durch die erwähnten Störeinflüsse meistens etwas verschmiert und zur direkten Messung von ϕ nicht brauchbar. Die Gesamtfläche der leitenden Ringe erweist sich während etwa 80 % der Zeit als ausreichend, um ϕ positiv zu halten. Nur in Sonnenwindströmen mit hoher Elektronendichte wird ϕ negativ. Das entspricht ziemlich genau den Abschätzungen.

Für die erstmalige Realisierung von "elektrostatischer Reinheit" bei einer interplanetaren Sonde hatten sich die Experimentatoren mit aller Kraft eingesetzt. Der Erfolg dieses Konzepts bei HELIOS - auch wenn es nicht völlig durchgehalten werden konnte - hat mit dazu geführt, daß "elektrostatische Reinheit" inzwischen zum Standard von Weltraumsonden geworden ist, die niederenergetische Teilchen und Felder messen sollen.

Die Elektronikbox

Alle E1-Instrumente werden von einer gemeinsamen Elektronikbox (E1D) aus versorgt. Sie enthält alle Schnittstellen zwischen den Instrumenten und den Sondensystemen:

- o Der elektrische Versorgungsstrom wird auf einer 28 V-Leitung des "nonessential bus" hereingeführt, im E1-Hauptkonverter galvanisch von der Eingangsleitung entkoppelt, auf die verschiedenen Versorgungsspannungen (+ 5 V, - 5 V, + 28 V, + 33 V) transformiert und an die Instrumente verteilt.
- o E1D ist elektrisch mit der Sondenstruktur verbunden und enthält den Sternpunkt für die Erdung des gesamten E1-Systems. Alle anderen E1-Boxen sind elektrisch isoliert von der Struktur montiert.
- o Telemetrikommandos werden in das E1-Kommandoregister übernommen, ausgewertet und in entsprechende Steuersignale für die Instrumente umgewandelt. Sowohl das Eintreffen der Kommandos als auch die erfolgte Ausführung nach Rückmeldung von den Instrumenten wird in Form von einzelnen Bits zu "digitalen Housekeeping-Worten" zusammengefaßt und dem Ingenieurdatensystem der Sonde übergeben.
- o Das Programmsystem steuert mit Hilfe der von der Sonde angebotenen Taktpulse die Umschaltungen der Plattenspannungen sowie die Lage und Länge der Azimutkanäle.
- o Das Datensystem bereitet die Meßdaten auf, speichert sie und übergibt sie an die HELIOS-Telemetrie. Zum Datensystem gehören
 - die Zähler für die vorverstärkten Detektorpulse aus den Instrumenten,
 - der Kodierer für die Zählraten,
 - eine Logik für die Auswahl der signifikanten Meßkanäle,
 - zwei Magnetkernspeicher mit einer Kapazität von je 4096 Bit.

- o Die Meßdaten eines Zyklus werden spinsynchron in einen der Speicher eingelesen, während der andere die zuvor gespeicherten Daten zeit-synchron an die Telemetrie abgibt. Nach Beendigung des langsameren dieser Prozesse erfolgt eine Umschaltung der Speicher, und ein neuer Meßzyklus beginnt. Wenn diese Speicherauslesezeit weniger als die Hälfte bzw. ein Viertel der Einlesezeit beträgt, wird ein Zyklus zweimal bzw. viermal ausgelesen. Im umgekehrten Fall, also bei niedrigen Bitraten, wird die Umschaltung so lange verschoben, bis die laufende Auslesung beendet ist. Der Zeitabstand zweier Spektren kann zwischen 40,5 sec und 43 min 12 sec betragen.

- o Das Datensystem ist in seinen wichtigsten Teilen redundant ausgelegt. Im Notfall kann per Kommando auf den intakten Teil umgeschaltet werden.

Bisher ist keine Umschaltung notwendig gewesen.

- o Das Ingenieurdatensystem sammelt die wichtigsten Daten über den technischen Zustand der Instrumente (Eingangsströme, Hochspannungen, Kommandozustand, Temperaturen). Die Sonde überträgt diese Daten im Rahmen des Ingenieurformates (FM4). Sie können im Kontrollzentrum per Bildschirm in Echtzeit überwacht werden.

- o Mit einem Kommando kann ein automatischer Testzyklus in Gang gesetzt werden, der von der Elektronikbox gesteuert wird. Anstelle der Daten zweier Meßzyklen erscheinen dann Testdaten zur Kontrolle von Plattenspannungen, Channeltronverstärkungen, Nullzählraten und der Funktion der Digitalelektronik.

3. Technische Beschreibung der Instrumente

Instrument I1a (in Box E1A)

Das Herz dieses hochauflösenden Instruments für positive Ionen ist ein viertelkugelförmiger elektrostatischer Analysator. Die Kugelschalen sind fast konzentrisch auf den Halbkugelschalen von I1b angeordnet (siehe Bild 7). Die Eintrittsöffnungen liegen deshalb nahe beieinander in einem gemeinsamen "Trichter", der durch eine Aussparung in der Wand der Raumsonde radial nach außen blickt. Entlang des Austrittsrandes der Viertelkugeln (vgl. Bild 6) sind 9 Channeltrons angebracht, die einen mittleren Winkelabstand der Einfallsrichtungen von 5° entsprechen.

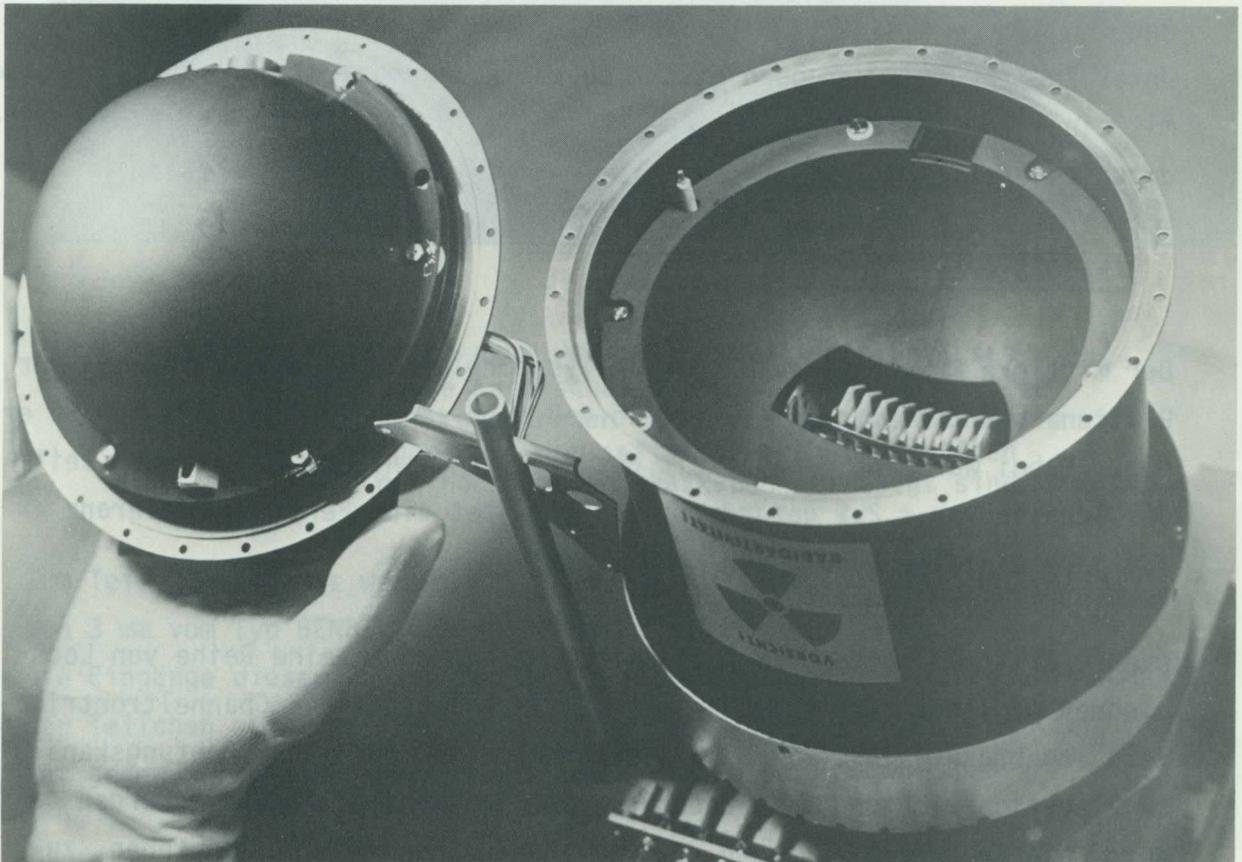


Bild 7: Blick in das geöffnete Instrument I1a/I1b. Rechts die Analysatorschalen des Viertelkugelinstrumentes I1a mit den Lochblenden und den Channeltrons am Austrittsrand. Die Eintrittsöffnung ist vorne (verdeckt). Links die Halbkugelschalen von I1b.

Das Instrument ist so in der Sonnensonde montiert, daß die Gesichtsfeld-ebene des Analysators eine Meridianebene bildet. Dann entspricht die durch die 9 Detektoren erreichte Richtungsauflösung einer Auflösung in der Elevation (vgl. Bild 5). Eine Auflösung im Azimut kann nun elektronisch durch Unterteilung in zeitlich aufeinanderfolgende Messungen während der Drehung der Sonde erreicht werden.

Der verwendete elektrostatische Analysator analysiert die positiven Ionen im Sonnenwind nach Energie pro Ladung (E/q , Dimension: Volt). Da Teilchen verschiedener Art meistens etwa die gleiche mittlere Geschwindigkeit haben, wird die Interpretation eines Spektrums nicht vollständig eindeutig möglich sein: So können z.B. ${}^4\text{He}^+$ -Teilchen nicht von gleich schnellen ${}^{16}\text{O}^{4+}$ -Teilchen unterschieden werden, denn bei beiden Sorten ist $E/q=4$, wobei $E/q=1$ für Protonen gesetzt wurde. Da man weiß, daß das erste und größte Maximum im Spektrum den Protonen entsprechen muß, kann man aus den anderen Maxima auf den Anteil und die Art der übrigen Komponenten schließen.

Unter Zuhilfenahme der oben beschriebenen Richtungsauflösung kann man also mit einem solchen Analysator die vollständige dreidimensionale Geschwindigkeitsverteilung der positiven Teilchen des Sonnenwindes messen.

Analysatorteil von I1a

Der mittlere Krümmungsradius der Analysatorplatten R_m beträgt 60 mm. Der Plattenabstand d beträgt 1,2 mm, so daß sich ein R/d -Verhältnis von 50 ergibt. Dabei war eine Genauigkeit des R/d -Verhältnisses im "aktiven Teil" der Schalen von $\pm 2\%$ gefordert. Das bedeutet eine Fertigungstoleranz für jede einzelne Schale von $\pm 10\ \mu$.

Die Austrittsöffnungen des Analysators werden durch eine Reihe von Lochblenden gebildet, die zwischen den Kugelschalen und den Channeltrontrichtern angebracht sind (Bild 8). Die Lochblenden legen die Richtungskanäle in Elevationsrichtung fest und begrenzen die Kanäle. Außerdem werden dadurch die Sekundärelektronen, die im Channeltrontrichter entstehen, zurückgehalten, da diese Lochblenden mit einem feinmaschigen Gitter überdeckt sind.

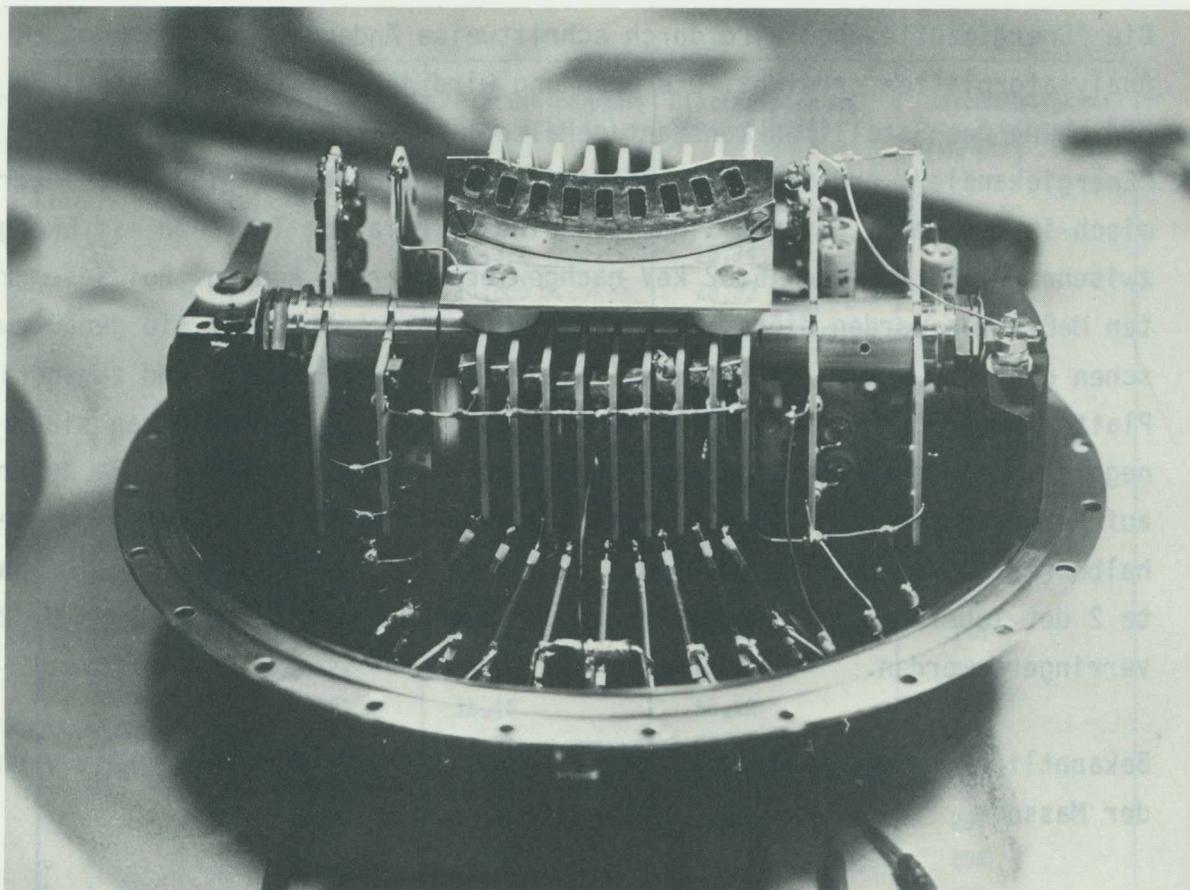


Bild 8: Hier sind auch der Zylinderteil des Gehäuses sowie die Kugelschalen von I1a abgenommen. Die Channeltrons werden von einer gemeinsamen Welle getragen, auf der seitlich auch die Platinen mit den Hochspannungskaskaden befestigt sind.

Zum Teilchennachweis werden Channeltrons mit einem Trichterdurchmesser von 3 mm vom Typ BENDIX CEM 4013M verwendet.

Die Eingänge dieser Channeltrons liegen zur genügenden Nachbeschleunigung der Teilchen auf negativer Betriebsspannung. Die Lochblende mit den Gittern hat gegenüber den Channeltrontrichtern ein Potential von -200 V.

Stimulation im Inflight-Test

Zur Anregung der Channeltrons beim sog. "Inflight-Test" dient ein UV-Glimmlämpchen; es ist in der Nähe der Channeltrontrichter angebracht, so daß alle Channeltrons entsprechend ausgeleuchtet werden. Die Intensität dieses UV-Glimmlämpchens, welches mit einer Hochspannung von etwa 550 V gezündet und mit 350 V betrieben wird, ist so eingestellt, daß die Channeltrons verarbeitbare und aussagekräftige Zählraten abgeben.

Energiekanäle von I1a

Die "Energieauflösung" wird durch schrittweise Änderung der Spannung an den Analysatorplatten erreicht. Die Spannung wird jeweils für die Messungen pro Umdrehung des Satelliten konstant gehalten. Das Instrument besitzt 32 "Energiekanäle", präziser gesagt "Energie-pro-Ladungs-Kanäle", die logarithmisch in der Weise gestuft sind, daß einfach geladene Teilchen mit Energien zwischen 0,158 keV und 15,62 keV nachgewiesen werden können. Bei jedem zweiten Meßzyklus werden diese Energiekanäle so verschoben, daß sie genau zwischen den eben erwähnten Kanälen liegen. Alle Energiekanäle und zugehörigen Plattenspannungen sind der Tabelle 4 zu entnehmen. Die Spannungen sind negativ und werden an die innere Kugelschale angelegt, während die äußere auf Gehäusepotential liegt. Das bedeutet, daß die Ionen im Mittel um die halbe Plattenspannung U_p nachbeschleunigt werden. Also müssen die in Spalte 2 der Tabelle 4 angegebenen Werte für die Kanalmitten noch um $U_p/2$ verringert werden.

Bekanntlich ist die Energie eines Teilchens mit der Geschwindigkeit v und der Masse m

$$E = \frac{m}{2} v^2 .$$

Für Protonen mit $m_p = 1,6724 \times 10^{-24}$ g ergibt sich für v_p als Funktion von E die Faustformel

$$v_p = 437,4 \cdot \sqrt{E} ,$$

wobei E in keV einzusetzen ist. Die zu den Energiekanälen von Spalte 2 in Tabelle 4 gehörigen Werte von v_p sind in Spalte 5 ebenfalls angegeben. Für die Datenauswertung werden diese Werte mit Hilfe der Eichergebnisse noch etwas modifiziert.

Die Einstellgenauigkeit der Plattenspannungen ist besser als $\pm 1 \%$.

In dem während der Mission zu erwartenden Temperaturbereich betragen die Abweichungen von diesen Werten nicht mehr als $\pm 1 \% \pm 50$ mV. Die Brummspannung ist $\leq 2 \%$ ss.

Energiekanal	Energie zu Ladung (keV)	Plattenspannung Sensor 1a (V)	Plattenspannung Sensor 1b (V)	Geschwindigkeit von Protonen (km s ⁻¹)
1'	0,1580	6,322	26,34	172
1	0,1700	6,800	28,33	178
2'	0,1829	7,314	30,48	185
2	0,1967	7,867	32,78	192
3'	0,2116	8,462	35,26	199
3	0,2276	9,102	37,93	206
4'	0,2448	9,791	40,80	214
4	0,2633	10,53	43,88	222
5'	0,2832	11,33	47,20	230
5	0,3046	12,18	50,77	239
6'	0,3277	13,11	54,61	248
6	0,3524	14,10	58,74	257
7'	0,3791	15,16	63,18	266
7	0,4078	16,31	67,96	276
8'	0,4386	17,54	73,10	287
8	0,4718	18,87	78,63	297
9'	0,5074	20,30	84,57	308
9	0,5458	21,83	90,97	320
10'	0,5871	23,48	97,85	331
10	0,6315	25,26	105,3	344
11'	0,6793	27,17	113,2	357
11	0,7306	29,23	121,8	370
12'	0,7859	31,44	131,0	384
12	0,8453	33,81	140,9	398
13'	0,9093	36,37	151,5	413
13	0,9780	39,12	163,0	428
14'	1,052	42,08	175,3	444
14	1,132	45,26	188,6	460
15'	1,217	48,69	202,9	477
15	1,309	52,37	218,2	495
16'	1,408	56,33	234,7	513
16	1,515	60,59	252,5	532

Tabelle 4: Energie pro Ladungs-Kanäle und Plattenspannungen der Instrumente I1a und I1b

Energiekanal	Energie zu Ladung (keV)	Plattenspannung Sensor 1a (V)	Plattenspannung Sensor 1b (V)	Geschwindigkeit von Protonen (km s ⁻¹)
17'	1,629	65,17	271,5	552
17	1,753	70,10	292,1	573
18'	1,885	75,40	314,2	594
18	2,028	81,11	337,9	616
19'	2,181	87,24	363,5	639
19	2,346	93,84	391,0	663
20'	2,523	100,9	420,6	687
20	2,714	108,6	452,4	713
21'	2,919	116,8	486,6	739
21	3,140	125,6	523,4	767
22'	3,378	135,1	563,0	795
22	3,633	145,3	605,5	825
23'	3,908	156,3	651,3	855
23	4,204	168,1	700,6	887
24'	4,521	180,9	753,6	920
24	4,863	194,5	810,6	954
25'	5,231	209,3	871,9	989
25	5,627	225,1	937,8	1026
26'	6,052	242,1	1009	1064
26	6,510	260,4	1085	1104
27'	7,003	280,1	1167	1145
27	7,532	301,3	1255	1187
28'	8,102	324,1	1350	1231
28	8,715	348,6	1452	1277
29'	9,374	374,9	1562	1325
29	10,08	403,3	1680	1373
30'	10,85	433,8	1808	1425
30	11,67	466,6	1944	1478
31'	12,55	501,9	2091	1533
31	13,50	539,9	2249	1590
32'	14,52	580,7	2420	1648
32	15,62	624,6	2603	1710

Tabelle 4: (Fortsetzung)

Richtungskanäle von I1a

Zur Winkelauflösung im Azimut wird die Rotation der Sonde (Spin) zu Hilfe genommen: sie erfolgt einfach durch zeitliche Unterteilung der Messung. Das Instrument besitzt 16 Azimutkanäle von je $3,5^\circ$ Breite und $5,6^\circ$ Abstand. Die Mitte des zur Messung ausgenutzten Azimutwinkelbereiches liegt so, daß sie einem gewissen Vorhalt der Blickrichtung des Instruments vor der Sonde-Sonne-Linie, bezogen auf den Spin der Sonde, entspricht. Dadurch wird dem Umstand Rechnung getragen, daß die Plasmateilchen - obwohl fast radial von der Sonne wegfliegend - wegen der erheblichen Bahngeschwindigkeit von HELIOS nicht mehr aus der Sonnenrichtung auf die Sonde treffen. Bei HELIOS 2 kann der Vorhaltewinkel per Telekommando in zwei Stufen umgeschaltet werden.

Bei jedem zweiten Meßzyklus wird dieser zeitliche Vorhalt um den halben Kanalabstand, also $2,8^\circ$ verringert. So entsteht ein zweites Raster von 16 Azimutkanälen, das um $2,8^\circ$ versetzt ist. Diese Verschiebung der Azimutkanäle wird gleichzeitig mit der bereits erwähnten Verschiebung der Energiekanäle durchgeführt. Die genaue Lage der Azimutkanäle ist den Tabellen 9 und 10 auf den Seiten 71 und 72 zu entnehmen.

Die Winkelauflösung in der Elevation wird durch die Verwendung von 9 Channeltrons in Verbindung mit dem viertelkugelförmigen Analysator erreicht. Der Abstand dieser Kanäle beträgt 5° , ihre Breite ca. $2,8^\circ$. Diese 9 Elevationskanäle liegen symmetrisch zur Sonden-Äquatorebene.

Elektronikteil von I1a (siehe Blockschaltbild Bild 9)

Instrument I1a wird von der Elektronikbox (E1D) nur mit Steuersignalen versorgt, die den Programmablauf bestimmen, sowie mit einer Spannung von 28 V direkt vom Hauptstromwandler (Main-Converter), der sich ebenfalls in der Elektronikbox befindet. Die Sensorelektronik liefert die vorverstärkten Channeltronpulse an die Elektronikbox zur Registrierung, Auswertung und Abspeicherung. Die gesamte Elektronik zur Versorgung und Steuerung des Instruments sowie zur Datenaufbereitung befindet sich mit Ausnahme der Hochspannungskaskaden im Elektronikteil der Sensorbox. Die Elektronik des Sensors besteht aus folgenden Einheiten (siehe Bild 10):

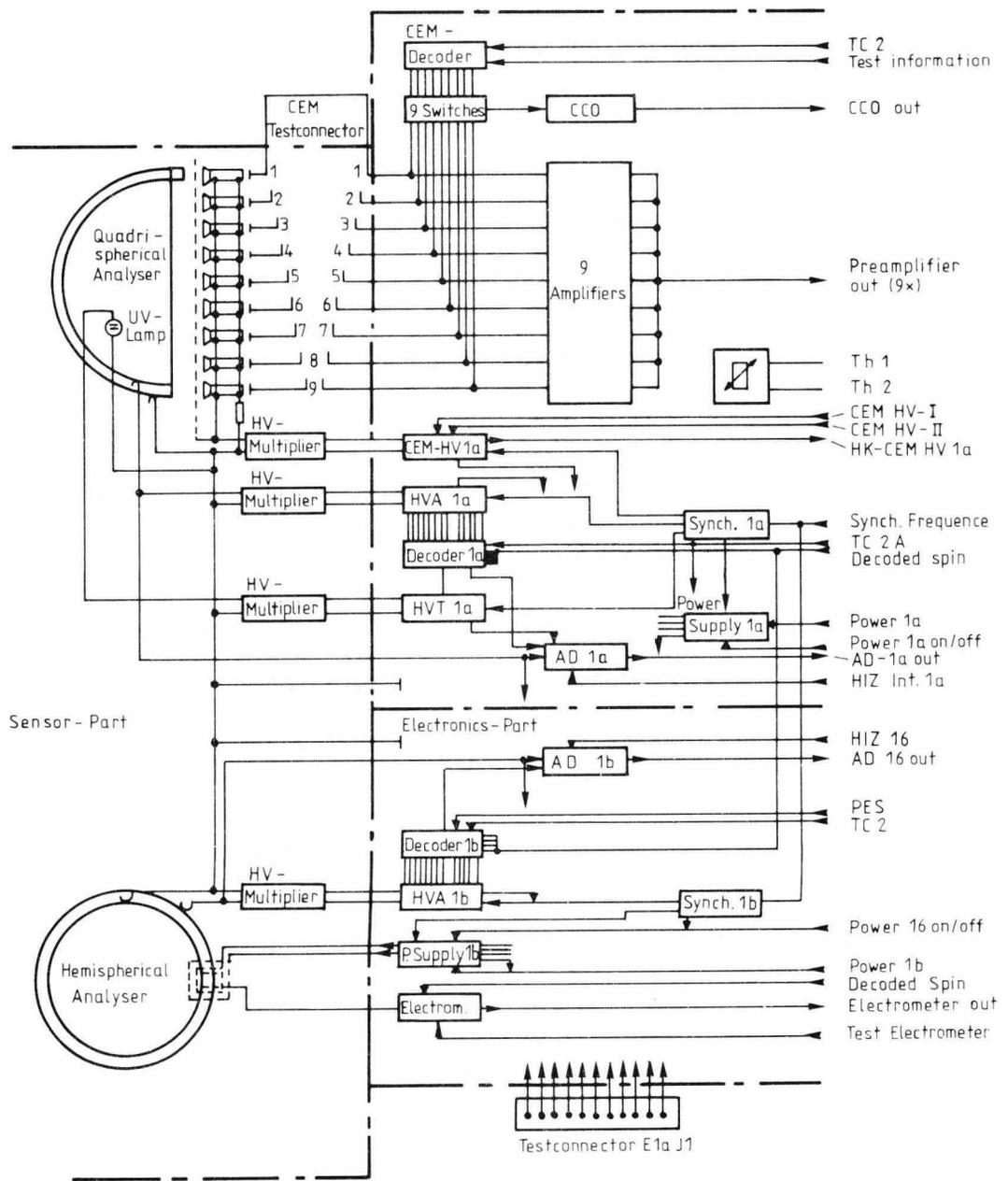


Bild 9: Instrument I1a/I1b, Blockschaltbild. Der Sensorteil im vakuumdichten Gehäuse enthält alle Hochspannung führenden Teile, der Elektronikteil die Analog- und Digitalelektronik.

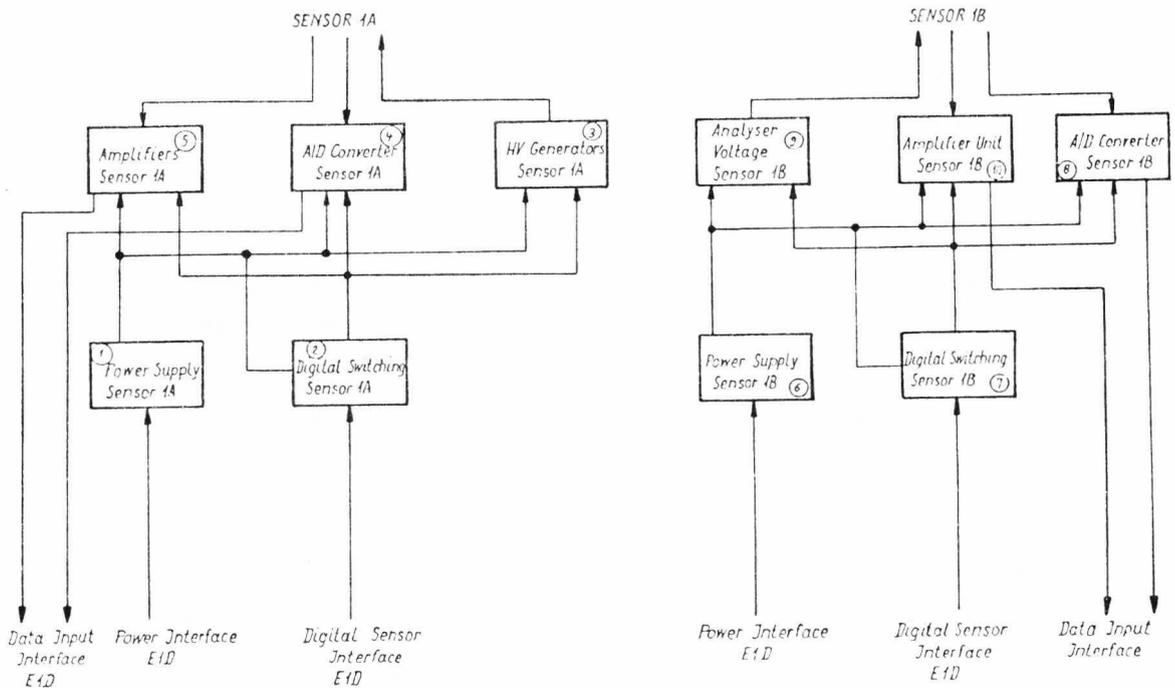


Bild 10: Instrument I1a/I1b
Blockschaltbild des Elektronikeils

- Sensorstromversorgung (Power Supply)
- Channeltronverstärkereinheit (Amplifiers)
- Analysatorspannungserzeugung, Spannungserzeugung für UV-Glimmlämpchen sowie Channeltronversorgungsspannungserzeugung (HV-Generators)
- Analog-/Digital-Wandler (A/D-Converter)
- Digitale Steuereinheit (Digital Switching)

Die Sensorstromversorgung erzeugt alle zum Betrieb der Elektronik erforderlichen Spannungen aus der 28V-Versorgung des Hauptstromwandlers. Sie ist mit dem entsprechenden Kommando ein- und ausschaltbar. Die Channeltronverstärkereinheit beinhaltet 9 Channeltronverstärker, welche die von den Channeltrons abgegebenen Impulse verstärken und in weiter verarbeitbarer Form abgeben. Ferner gehört zu dieser Einheit ein sog. CCO (current controlled oscillator), der während des Inflight-Tests die von einem durch

einen Zufallsgenerator ausgewählten Channeltron abgegebene Ladung quantisiert und somit eine Bestimmung der augenblicklichen Verstärkung dieses Channeltrons gestattet.

Die Analysatorspannungserzeugung ist ein stufenweise schaltbarer Hochspannungsgenerator mit sehr kleiner Ein- und Ausschwingzeitkonstante. Der Hochspannungsgenerator für das UV-Glimmlämpchen wird nur während des Inflight-Tests benützt und versorgt das Lämpchen mit der erforderlichen Zünd- und Brennspannung. Die Elektronik zur Erzeugung der Channeltronversorgungsspannung ist ein geregelter Hochspannungsgenerator, der mit einer zwölfstufigen Vervielfacherkaskade arbeitet. Er ist ein- und ausschaltbar und besitzt drei Schaltstufen für drei unterschiedliche Ausgangsspannungen (3,3 kV; 3,7 kV; 4,1 kV).

Sämtliche Hochspannungskaskaden sind zusammen mit den Analysatorplatten und den Channeltrons im vakuumdichten Sensorteil untergebracht und erhalten nur ihre Steuerspannungen vom Elektronikteil durch eingelötete Durchführungen.

Der Analog-/Digital-Wandler dient der Umwandlung von Analogspannungen in digital verarbeitbare Meßwerte und wird nur für die Überprüfung der Analysatorspannungen während des Inflight-Tests benützt.

Die digitale Steuereinheit bereitet die Programmsteuersignale von der Elektronikbox auf, (dekodiert den Stand des sog. Energiekanalzählers) und steuert dementsprechend die Analysatorspannungserzeugung.

Instrument I1b (in Box E1A)

Das Instrument I1b soll in einfacher Weise Energiespektren durch Strommessung ohne jede Richtungsauflösung liefern, so daß selbst bei Ausfall der Datenreduktionslogik oder bei Kontaminierung der Channeltrons noch die wichtigsten Plasmaparameter Geschwindigkeit, Temperatur und Dichte bestimmt werden können.

Hier wird ein halbkugelförmiger Analysator verwendet, der über etwa 80° in der Elevation integriert. Die Integration über den Azimut wird dadurch erreicht, daß der gesamte Ionenfluß, über etwa eine halbe Sondenumdrehung um die Sonnenrichtung herum, aufsummiert wird.

Analysatorteil von I1b

Die halbkugelförmigen Analysatorplatten haben folgende Abmessungen:

Mittlerer Radius: $R = 54 \text{ mm} \pm 1 \%$
Plattenabstand: $d = 4,5 \text{ mm} \pm 2 \%$ $R/d = 12$
Eintrittsöffnung: $4,5 \times 10 \text{ mm}$

Die äußere Platte ist mit dem Gehäusepotential verbunden, die innere Platte liegt auf negativem Potential.

Als Teilchenauffänger dient ein hochisolierter Kollektor, der sich im Fokussierungsbereich des Halbkugelanalysators befindet. Zwischen Analysatorplatten und Teilchenkollektor ist ein Gitter angebracht, das zur Entkoppelung der Analysatorspannungen bzw. zum Zurückhalten der Sekundärelektronen dient. Es ist um -36 V gegenüber dem Kollektor vorgespannt.

Die aufgefangene positive Ladung wird einem hochempfindlichen Elektrometerverstärker zugeführt, der am Ausgang über eine Digitalisierungsstufe je Quantisierungseinheit einen Normimpuls an die Digitalelektronik abgibt. Für den Elektrometerverstärker gelten folgende Daten:

Quantisierungseinheit (QE): $1,6 \times 10^{-16} \text{ As}$, d.h. 1000 Elementarladungen.
Dynamikbereich: $1,6 \times 10^{-16} \text{ As}$ bis $3,2 \times 10^{-12} \text{ As}$
Zeitkonstante: 60 ms

Genauigkeit:	$\pm 10 \%$ für $Q \geq 1,6 \times 10^{-14} \text{As}$
	$\pm 8 \%$ für $Q \geq 1,6 \times 10^{-13} \text{As}$
Eingestellte Nullzählrate:	20 ± 5 QE/Messung
Langzeitkonstanz der Nullzählrate:	± 10 QE

Meßkanäle von I1b

Die Anzahl und die Verteilung der Energiekanäle ist identisch zu I1a (Tab. 4), wobei auch hier eine Verschiebung um die halbe Plattenspannung noch zu berücksichtigen ist. Die Bereichsumschaltung von einem Meßzyklus zum anderen erfolgt genauso wie für I1a. Die Spannungen sind wegen des größeren Plattenabstandes entsprechend höher. Für die Genauigkeit bzw. Toleranz gilt dasselbe mit folgenden Ausnahmen:

Temperaturkonstanz der Gleichspannung:	$\pm 1 \%$ ± 250 mV
Abfallzeit vom höchsten zum kleinsten Kanal:	< 200 ms

Elektronikteil von I1b (siehe Blockschaltbild Bild 9)

Instrument I1b wird von der Elektronikbox nur mit Steuersignalen versorgt, die den Programmablauf bestimmen, sowie mit einer Spannung von 28 V direkt vom Hauptstromwandler (Main-Converter). Die Sensorelektronik liefert die aufbereiteten Meßwerte an die Elektronikbox. Die gesamte Elektronik zur Versorgung und Steuerung des Instruments sowie zur Datenaufbereitung befindet sich mit Ausnahme der Hochspannungskaskade im Elektronikteil der Sensorbox. Die Elektronik des Sensors besteht aus folgenden Einheiten (siehe Bild 10):

- Sensorstromversorgung (Power Supply)
- Analysatorspannungserzeugung (Analyser Voltage)
- Elektrometer (Amplifier Unit)
- Analog-/Digital-Wandler (A/D-Converter)
- Digitale Steuereinheit (Digital Switching)

Die Sensorstromversorgung erzeugt alle zum Betrieb der Elektronik erforderlichen Spannungen. Sie ist mit dem entsprechenden Kommando ein- und ausschaltbar.

Die Analysatorspannungserzeugung ist ein stufenweise schaltbarer Hochspannungsgenerator mit sehr kleiner Ein- und Ausschwingzeitkonstante. Das Elektrometer besteht im Prinzip aus einem rauscharmen hochstabilen Stromverstärker und einer elektronischen Einheit zur Quantisierung der gemessenen Ladung mit den entsprechenden Steuerschaltungen.

Der Analog-/Digital-Wandler dient der Umwandlung von Analogspannungen in digital verarbeitbare Meßwerte und wird nur für die Überprüfung der Analysatorspannungen während des sog. "inflight-Testes" benützt.

Die digitale Steuereinheit bereitet die Programmsteuersignale von der Elektronikbox auf, dekodiert den Stand des sog. Energiekanalzählers und steuert so die Analysatorspannungserzeugung.

Die eingestellte Nullzählrate von ca. 20 counts blieb während der Mission bemerkenswert stabil, obwohl wegen der starken Temperaturunterschiede mit langsamen Driften gerechnet worden war. Als problematischer erwies sich die Kurzzeitstabilität: Bei HELIOS-1 traten plötzlich große Schwankungen der Nullzählrate auf, als der Motor der entdrallten Hochgewinnantenne eingeschaltet wurde. Offenbar "hörte" das Elektrometer, das ja ganz ähnlich einem hochempfindlichen Kondensatormikrophon aufgebaut ist, den von den Kugellagern ausgehenden Körperschall. Bei Bodentests war diese Störung nicht aufgetreten, vermutlich weil unter dem Einfluß der Schwerkraft die Lager anders belastet waren.

Instrument I2 (in Box E1B)

Dieses Instrument dient der Untersuchung der Elektronen des Sonnenwinds.

Zur Energieanalyse wird auch hier - ähnlich wie bei I1b - ein Halbkugel-Analysator verwendet. Ihm ist jedoch ein ebener Plattenanalysator vorgeschaltet, der die Elektronen aus dem Lichtkegel des Sonnenlichts ausblendet und als Lichtsumpf dient. Die Anordnung ist so dimensioniert, daß keine Fotoelektronen, die an der Eintrittsblende oder im Inneren des Sensors erzeugt werden, zum Channeltron am Ausgang des Analysators gelangen können; außerdem kann nur mindestens zweifach reflektiertes Licht zwischen die Halbkugel-Analysatorschalen gelangen (siehe Bild 11).

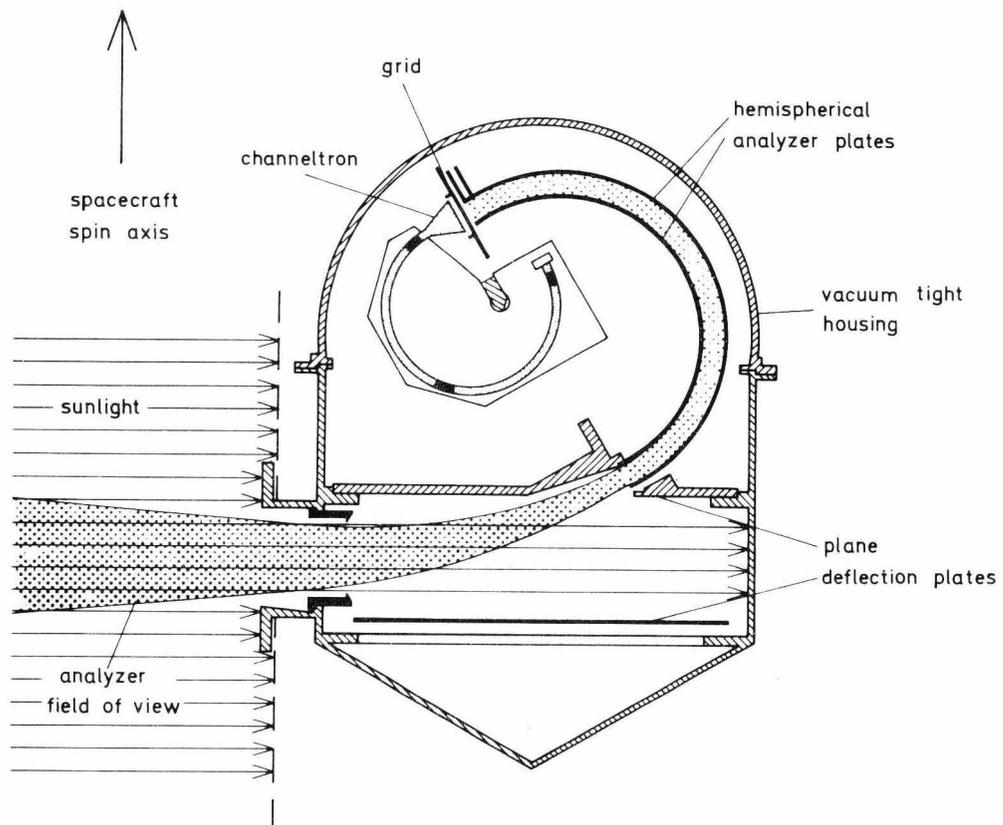


Bild 11: Funktionsbild des Elektroneninstrumentes I2

Auf eine Elevationsauflösung wird hier verzichtet, so daß nur ein einziger Teilchendetektor erforderlich ist. Die Auflösung im Azimut wird durch den Spin der Sonde erreicht. Der Energiebereich reicht von 0,5 eV bis 1445 eV.

Analysatorteil von I2

Die halbkugelförmigen Analysatorplatten haben folgende Abmessungen:

Mittlerer Radius	$R = 40 \text{ mm} \pm 1 \%$	$R/d = 8$
Plattenabstand	$d = 5 \text{ mm} \pm 2 \%$	

Die innere Kugelschale ist mit dem Gehäusepotential verbunden, ebenso die daran anschließende Platte des Plattenanalysators; die äußeren Platten werden auf negatives Potential gelegt.

Zur Verkleinerung von Feldinhomogenitäten läuft auf dem Rand der spannungsführenden Platte des ebenen Plattenanalysators ein etwa halb bis zur anderen Platte aufragender metallischer Rand um. Nahe der Eintrittsöffnung ist dieser Rand noch weiter hochgezogen und dient gleichzeitig als Lichtblende.

Zum Teilchennachweis wird ein Channeltron mit einem Trichterdurchmesser von 8 mm verwendet (Typ CEM 4018 M der Firma BENDIX). Zwischen Analysatorplatten und Channeltron findet sich eine Lochblende mit 8 mm Durchmesser, auf die - ähnlich wie bei I1a - ein Gitter aufgelötet ist. Diese Blende verhindert, daß der auf + 200 V liegende Trichter des Channeltrons Elektronen aus einem größeren Bereich ansaugt. Sie bildet gleichzeitig die Austrittsblende des Analysators und wirkt als weiteres Lichtbaffel. Diese Blende wird im Meßprogramm B (für Elektronen ab 9 eV) auf ein Potential von - 6 V gelegt, um Fotoelektronen zurückzuhalten.

Flugerfahrung mit HELIOS 1 sowie spätere Laborversuche erwiesen, daß dies nicht nötig ist. Deshalb wurde bei HELIOS 2 diese Blende fest mit Masse verbunden.

Stimulation im Inflight-Test

Zur Anregung des Channeltrons beim Inflight-Test dient ein UV-Glimmlämpchen; es ist in der Nähe des Channeltrons angebracht. Die Intensität dieses UV-Glimmlämpchens, welches mit Hochspannung gezündet und betrieben wird, ist durch entsprechende Bedampfung seiner Oberfläche so eingestellt, daß das Channeltron eine verarbeitbare und aussagekräftige Zählrate abgibt.

Meßkanäle von I2

Sensor 2 kann zwei unterschiedliche Meßprogramme ausführen, die durch Telekommandos umgeschaltet werden (S2A- und S2B-Programm).

- Im Programm A werden in 16 Kanälen Elektronen mit Energien zwischen 0,5 eV und 13,3 eV gemessen, Die dazu nötigen relativ niedrigen Plattenspannungen (siehe Tabelle 5) werden im Elektronikteil von I2 direkt erzeugt und mittels einer vakuumdichten Durchführung in den Sensorteil hereingeführt.
- Im Programm B werden in ebenfalls 16 Kanälen Elektronen mit Energien zwischen 9,28 eV und 1445 eV gemessen. Die dazu nötigen Plattenspannungen bis 850 V werden mit HV-Kaskaden im Sensorraum erzeugt. Die für die beiden Programme unterschiedlichen Analysator-Spannungsversorgungen werden durch ein Relais im Sensorraum umgeschaltet.

Die Umschaltung von einem Energiekanal zum nächsthöheren erfolgt in jeder Umdrehung von HELIOS vor dem der Sonne abgewandten Azimutkanal. Der jeweils neue Sollwert der Plattenspannung wird innerhalb der zulässigen Toleranzen in 3 ms erreicht. Für die Umschaltzeit von Programm A nach B muß wegen der Schaltzeit des Relais eine Ausfallzeit von 100 ms in Kauf genommen werden (Programm B schließt sich stets an A an; das Telekommando steuert nur die Übertragung des einen oder des anderen Datenblocks). Dies bedeutet, daß die Werte in den ersten 4 Azimutkanälen im niedrigsten Energiekanal von Programm

Programmteil	Kanalnummer	Kanalmitte (eV)	Kanalabstand (eV)	Spannung am Kugelanalysator (V)	Spannung am Plattenanalysator (V)
A	1	0		0	0
	2	0,5	0,5	0,125	0,294
	3	1	0,5	0,250	0,588
	4	1,5	0,5	0,375	0,882
	5	2	0,5	0,500	1,18
	6	2,7	0,7	0,675	1,59
	7	3,4	0,7	0,850	2,0
	8	4,1	0,7	1,03	2,41
	9	4,8	0,7	1,20	2,82
	10	4,8	1,0	1,45	3,41
	11	6,8	1,0	1,70	4,00
	12	7,8	1,0	1,95	4,59
	13	8,8	1,0	2,20	5,18
	14	10,3	1,5	2,58	6,06
	15	11,8	1,5	2,95	6,94
	16	13,3	1,5	3,33	7,82
B	1	9,28		2,32	5,456
	2	13,0		3,25	7,639
	3	18,2		4,55	10,69
	4	25,48		6,37	14,97
	5	35,67		8,92	20,96
	6	49,94		12,48	29,33
	7	69,92	Faktor	17,48	41,08
	8	97,89	1.4	24,47	57,50
	9	137,1		34,26	80,51
	10	191,9		47,96	112,7
	11	268,6		67,15	157,8
	12	376,1		94,01	220,9
	13	526,5		131,6	309,3
	14	737,1		184,3	433,0
	15	1032,0		258,0	606,3
	16	1445,0		361,2	848,8

Tabelle 5: Energiekanäle und Plattenspannungen von Sensor 2. Die wirkliche Lage der Kanalmitte erhält man durch Addition der halben Spannung am Kugelanalysator.

B zur Datenauswertung insbesondere bei kontinuierlichem Ablauf (Normal-Data Mode) nicht zur Auswertung herangezogen werden dürfen. Das Verhältnis V der Spannung am Plattenanalysator zu der am Kugelanalysator soll nominell etwa 2,35 betragen. Der endgültige Wert wurde bei der Eichung des jeweiligen Sensors festgelegt und dann durch Anbringen von Trimmwiderständen fest verdrahtet.

Die Absolutwerte der Spannungen am Kugelkondensator sind auf $\pm 1\%$ genau eingestellt, mit einer maximalen Brummspannung von $\pm 2\%$ ss.

Richtungskanäle von I2

Der Sensor 2 ist so in der Sonde montiert, daß die beiden Platten des ersten Analysators parallel zur Äquatorebene und damit zur Ekliptik liegen (siehe Bild 11).

Der auf der oberen Platte sich anschließende Analysator würde aufgrund seiner Halbkugelgestalt über einen erheblichen Azimutwinkelbereich integrieren (anders als Sensor 1b, dessen Halbkugelanalysator über den Elevationswinkel integriert). Damit eine Unterteilung in einzelne Azimutkanäle mit Hilfe der Sondenrotation möglich wird, muß der Durchlaßbereich der Halbkugeln begrenzt werden. Dies geschieht durch eine isolierte überlappende Blendenanordnung zwischen den Kugelplatten, die nur einen etwa 15 mm breiten Streifen in der Mittelebene des Analysators freiläßt.

Es sind 8 Azimutkanäle mit je 45° Abstand und $28,1^\circ$ Breite (bzw. $11,2^\circ$ Breite bei HELIOS 2) vorgesehen, die durch die Öffnungszeit des Zählers begrenzt werden. Durch die Geometrie von Sensor 2 ist die Breite des Elevationswinkelbereichs mit etwa 10° bestimmt, symmetrisch zur Äquatorebene der Sonde. So mißt dieses Instrument praktisch einen Schnitt durch die Elektronenverteilung.

Elektronikteil von I2 (siehe Blockschaltbild in Bild 12)

Instrument I2 wird von der Elektronikbox nur versorgt mit Steuersignalen, die den Programmablauf des Sensors bestimmen, sowie mit einer Versorgungsspannung von 28 V direkt vom Hauptstromwandler (Main Converter). Die Sen-

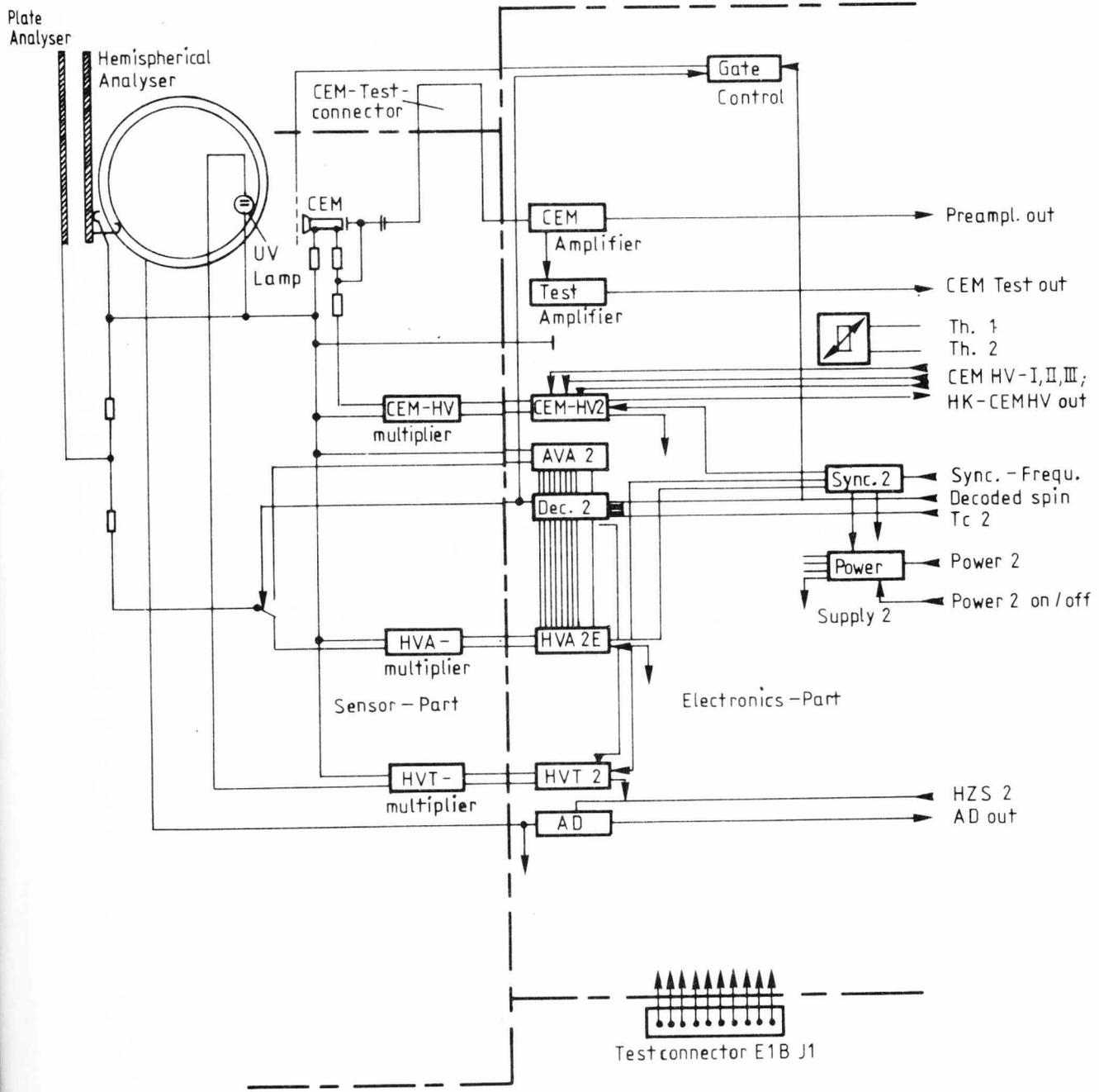


Bild 12: Instrument I2
Blockschaltbild

sorelektronik liefert die vorverstärkten Zählpulse an die Elektronikbox zur Registrierung und weiteren Verarbeitung. Die gesamte Elektronik zur Versorgung und Steuerung des Sensors sowie zur Datenaufbereitung befindet sich mit Ausnahme der Hochspannungskaskaden im Elektronikteil der Sensorbox. Die Elektronik des Sensors besteht aus folgenden Einheiten (siehe Bild 13):

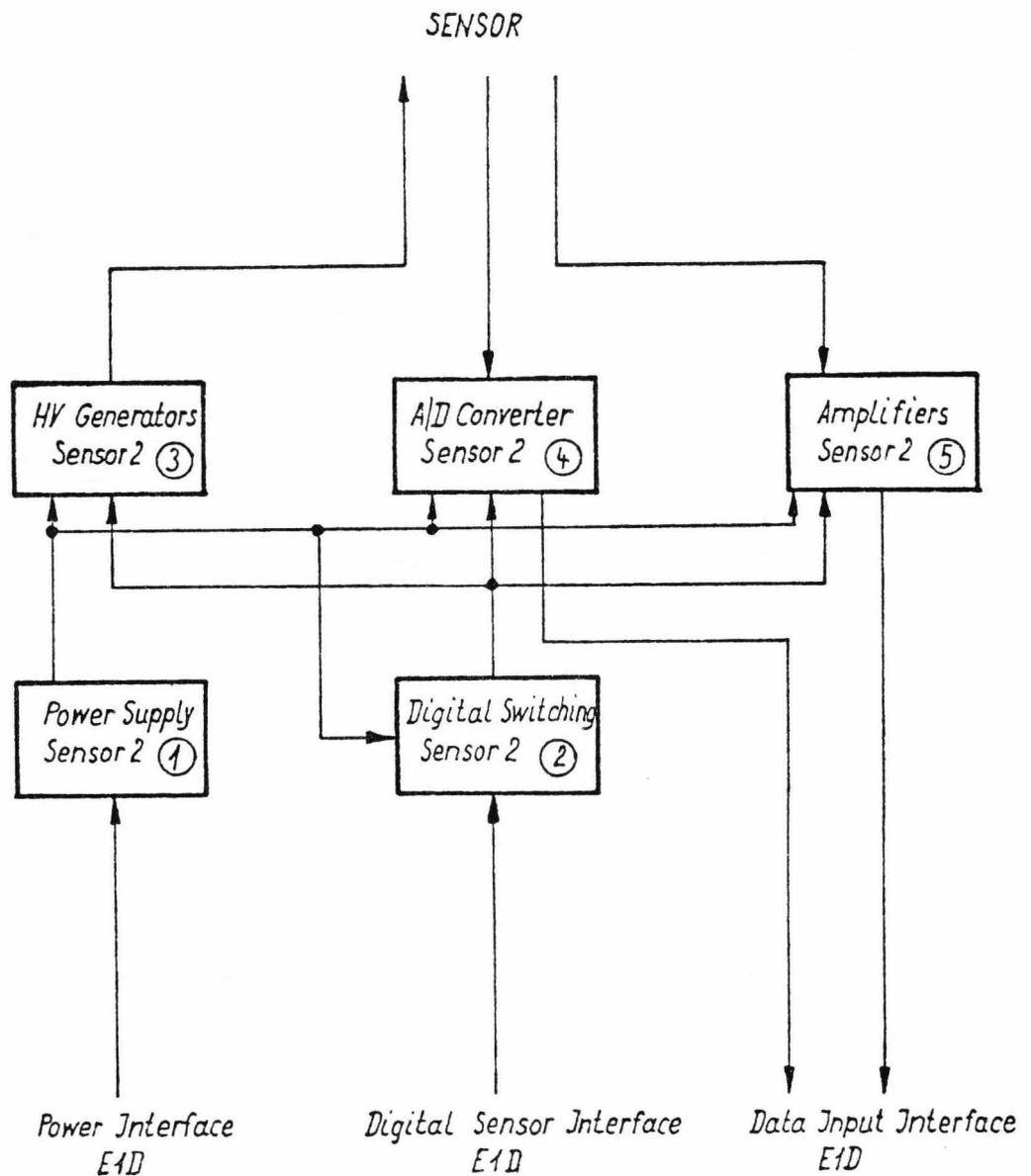


Bild 13: Instrument 2 Elektronikteil (Blockschaltbild)

- Sensorstromversorgung (Power Supply)
- Channeltronverstärkereinheit (Amplifiers)
- Analysatorspannungserzeugung, Spannungserzeugung für UV-Glimmlämpchen sowie Channeltronversorgungsspannungserzeugung (HV-Generator)
- Analog-/Digital-Wandler (A/D-Converter)
- Digitale Steuereinheit (Digital Switching)

Die Sensorstromversorgung erzeugt alle zum Betrieb der Elektronik erforderlichen Spannungen. Sie ist mit dem entsprechenden Kommando ein- und ausschaltbar. Die Channeltronverstärkereinheit besteht aus einem Channeltronverstärker, welcher die von dem Channeltron abgegebenen Impulse verstärkt und in weiterverarbeitbarer Form abgibt; ferner aus einem zweiten solchen Verstärker mit einer höheren "Schwelle". Dieser Verstärker dient während des Inflight-Tests zur Überprüfung der ausreichenden Verstärkung des Channeltrons: Solange die Zählraten von beiden Verstärkern etwa gleich sind und somit unabhängig von der Schwellenhöhe, ist die Verstärkung des Channeltrons ausreichend.

Die Analysatorspannungserzeugung besteht aus zwei Teilen. Der eine Teil dient der Erzeugung der niedrigen Spannungen des Programmteils A und stellt sich als stufenweise schaltbare Referenzspannungsquelle dar; der andere Teil zur Erzeugung der Analysatorspannungen von Programmteil B ist ein stufenweise schaltbarer Hochspannungsgenerator mit sehr kleiner Ein- und Ausschwingzeitkonstante. Der Hochspannungsgenerator für das UV-Glimmlämpchen wird nur während des Inflight-Tests benützt und versorgt das Lämpchen mit der erforderlichen Zünd- und Brennspannung. Die Elektronik zur Erzeugung der Channeltronversorgungsspannung ist ein geregelter Hochspannungsgenerator, der mit einer zwölfstufigen Vervielfacherkaskade arbeitet. Er ist ein/ausschaltbar und besitzt drei Schaltstufen für drei unterschiedliche Ausgangsspannungen (3,3 kV; 3,7 kV; 4,1 kV).

Der Analog-/Digital-Wandler dient der Umwandlung von Analogspannungen in digital verarbeitbare Meßwerte und wird nur für die Überprüfung der Analysatorspannungen während des Inflight-Tests benützt.

Die digitale Steuereinheit bereitet die Programmsteuersignale von der Elektronikbox auf, dekodiert den Stand des Energiekanalzählers und steuert dementsprechend beide Analysatorspannungserzeugungen.

Instrument I3 (in Box E1C)

Mit diesem Instrument sollen die Energie- und Richtungsverteilungen der unterschiedlichen Ionen im Sonnenwind getrennt gemessen werden. Zur Analysierung dient ein winkelauflösender, elektrodynamischer Teilchenpfadanalysator. Er besteht aus zwei Kreissegmentplatten, die entlang dem Radius annähernd cosinusförmig gewellt sind (siehe Bild 14). Durch Anlegen einer elektrischen Wechselspannung gelingt es, positiv geladene Teilchen nach Geschwindigkeit und Masse pro Ladung zu trennen.

Analysatorteil von I3

Die genaue Form der Analysatorplatten wurde aufgrund folgender Überlegungen berechnet:

Die Bewegungsgleichung für ein Teilchen mit der Masse m , der Ladung q und der Geschwindigkeit \vec{w} in einem elektrischen Feld \vec{E} lautet

$$q \cdot \vec{E} = m \cdot \vec{w} \quad .$$

In einem engen Kanal steht der Vektor des elektrischen Feldes mit guter Näherung senkrecht auf dem Vektor der Geschwindigkeit, d.h.

$$\vec{E} \cdot \vec{w} = 0 \quad .$$

Diese Bedingung ist erfüllt, wenn \vec{w} und \vec{E} in Komponentendarstellung die folgende Form haben

$$\begin{aligned} \vec{w} &= \{u, v\} \\ \vec{E} &= \{v, -u\} \frac{E}{w} \quad . \end{aligned}$$

E sei ein elektrisches Wechselfeld mit der Kreisfrequenz ω

$$E = E_0 \cdot \cos \omega t$$

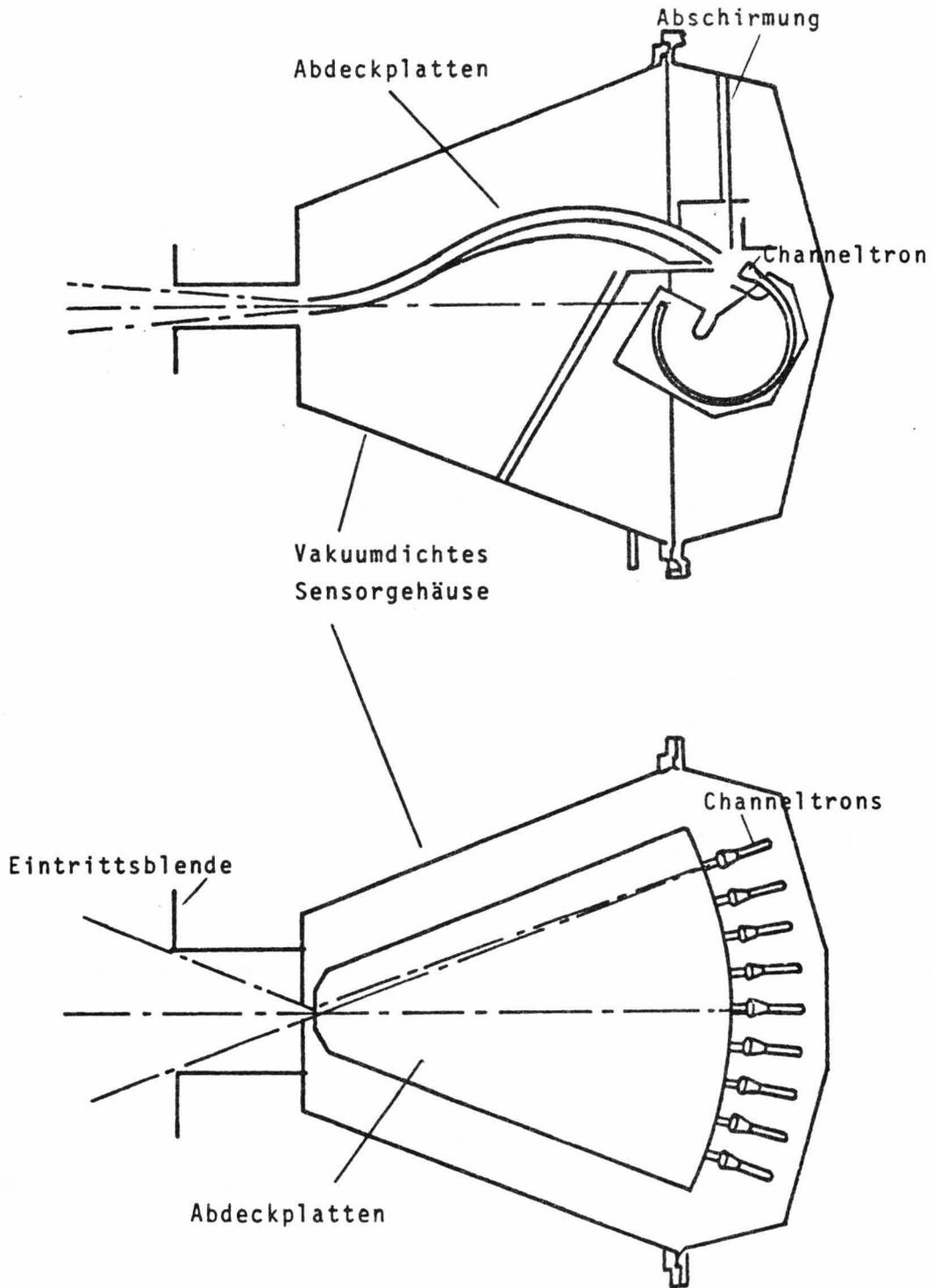


Bild 14: Instrument 3 Funktionsbild

Die Komponenten der Bewegungsgleichung lauten dann

$$u = \frac{q}{m} \cdot \frac{v}{w} E_0 \cos(\omega t + \phi)$$

$$v = - \frac{q}{m} \cdot \frac{u}{w} E_0 \cos(\omega t + \phi),$$

wobei ϕ eine mögliche Phasenverschiebung des Teilchens gegenüber dem elektrischen Feld ist.

Zusammen mit den Differentialgleichungen für die Ortskoordinaten

$$\dot{x} = u \quad \text{und} \quad \dot{y} = v$$

hat man ein System von vier Differentialgleichungen 1. Ordnung, das numerisch mit der Runge-Kutta Methode gelöst wurde.

Aus der Vielzahl der Lösungen dieses Systems wurde zur Verwirklichung im Instrument nach vorwiegend praktischen Gesichtspunkten eine Lösung ausgewählt. Diese Kurve wurde in gleichbleibendem Abstand von 2 mm mit Ablenkplatten "umkleidet". Wir entschieden uns für eine Periodenlänge L von $3/2 \pi$, bei einer gesamten Pfadlänge S durch den Analysator von 133,4 mm. Bei Rotation dieser Parallelkurven um einen Winkel von 45° um eine Achse durch den Kanaleingang wird ein Flächenpaar erzeugt. Am Austrittsrand dieser Platten sind im Winkelabstand von je 5° 9 Channeltrons angebracht, die eine Bestimmung der Teilcheneinfallrichtung bezüglich der Elevation erlauben, wie bei I1a. Auch die Unterteilung in Azimutkanäle erfolgt genau wie bei I1a.

Damit ein Teilchen mit der Geschwindigkeit w den Analysator mit der Länge L (bezogen auf eine volle Periodenlänge 2π) passieren kann, muß es sozusagen "im Takt" mit der elektrischen Spannung (Frequenz $f = \omega/2\pi$) laufen, d.h.

$$w = f \cdot L$$

Wenn die Amplitude U_m dabei noch der Bedingung

$$U_m = \frac{m}{q} \cdot \omega^2 \cdot A \cdot d$$

gehört (A ist die halbe Amplitude, d der Plattenabstand des Analysators, beides in cm), können nur noch Teilchen mit einem festen Masse-pro-Ladungswert m/q bei eben dieser Geschwindigkeit w durchkommen. Natürlich gibt es viele Teilchen, die zwar diese Bedingungen alle erfüllen, aber zum falschen Zeitpunkt am Analysator eintreffen, d.h. also außer Phase mit der Wechselspannung. Diese Einschränkung führt zu der erwähnten Reduzierung der Empfindlichkeit von I3 gegenüber I1a um etwa den Faktor 30, trotz der etwas größeren Eintrittsöffnung.

Im einzelnen wurden folgende Werte gewählt:

$$A = 1,5 \text{ cm}$$

$$d = 0,2 \text{ cm}$$

$$S = 13,34 \text{ cm für } \frac{3}{2} \pi \text{ Periodenlänge.}$$

Meßkanäle von I3

Die Frequenz der Plattenspannung wird von Umdrehung zu Umdrehung in 16 Stufen von 1,058 MHz bis 4,088 MHz hochgeschaltet. Das entspricht Teilchengeschwindigkeiten von 199 bis 769 km s^{-1} (siehe Tabelle 6). Dabei wird die Amplitude zwischen 10,15 und 256,05 V so variiert, so daß M/q -Werte von 1 (Protonen) bis 5,3 ($^{16}\text{O}^{3+}$) erfaßt werden können (siehe Tabelle 7). Der Tabelle 8 kann man die Werte der Plattenspannungen für die einzelnen Kombinationen von Geschwindigkeit und Masse pro Ladung entnehmen. Im unteren Teil sind einige Werte besonders gekennzeichnet. Bei hohen Frequenzen können nämlich aus Leistungsgründen die für große M/q -Werte erforderlichen Spannungen nicht realisiert werden. Deshalb wird dann die jeweils außerhalb der gekennzeichneten Bereiche stehende Spannung bzw. der dazugehörige M/q -Wert entsprechend lange beibehalten. Im M/q -Kanal 16 wird die Spannung auf Null gesetzt.

Frequenzen und Spannungen werden auf $\pm 1 \%$ genau eingehalten.

Die Winkelauflösung in Elevation und Azimut ist völlig analog zu Sensor 1a.

Kanal-Nr.	Geschwindigkeit (km/sec)	Frequenz (MHZ)
1	198,9	1,058
2	217,5	1,157
3	238,0	1,206
4	260,6	1,386
5	286,2	1,517
6	312,1	1,660
7	341,6	1,817
8	373,8	1,988
9	409,1	2,176
10	447,7	2,381
11	489,8	2,605
12	536,0	2,851
13	586,6	3,120
14	641,9	3,414
15	702,4	3,736
16	768,6	4,088

Tabelle 6: Geschwindigkeitskanäle und entsprechende Frequenzen der Analysatorspannungen in Instrument I3.

Kanal-Nr.	Ionenart	m/q
1	${}^4\text{He}^{2+}$	2,00
2	${}^3\text{He}^{2+}$	1,50
3	${}^1\text{H}^+$	1,00
4		1,35
5		1,65
6	${}^{12}\text{C}^{5+}$	2,40
7	${}^{16}\text{O}^{6+}$	2,62
8		3,00
9	${}^{16}\text{O}^{5+}$	3,20
10	${}^{14}\text{N}^{4+}$	3,50
11	${}^{16}\text{O}^{4+}$	4,00
12		4,40
13	${}^{14}\text{N}^{3+}$	4,66
14		4,90
15	${}^{16}\text{O}^{3+}$	5,33
16		0

Tabelle 7: m/q-Kanäle bei Instrument I3.

M/q-Kanal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Atom	He	He	H	-	-	C	0	He	0	N	0	-	N	-	0
Masse M	4.0026	3.0160	1.0078	1.3505	1.6505	12.0000	15.9949	3.0160	15.9949	14.0031	15.9949	4.4005	14.0031	4.9005	15.9949
Ladung q	2	2	1	1	1	5	6	1	5	4	4	1	3	1	3
M/q	2.0013	1.508	1.0078	1.3505	1.6505	2.4000	2.6658	3.0160	3.1990	3.5008	3.9987	4.4005	4.6677	4.9005	5.3316
f [MHz]	1.058	15.19	10.15	13.60	16.62	24.17	26.85	30.38	32.22	35.26	40.28	44.33	47.02	49.36	53.70
v [kms ⁻¹]	198.9	18.16	12.14	16.26	19.88	28.91	32.11	36.33	38.53	42.17	48.17	53.01	56.23	59.03	64.23
	1.266	21.74	14.53	19.47	23.80	34.61	38.44	43.50	46.14	50.49	57.67	63.47	67.32	70.68	76.90
	1.386	26.06	17.41	23.34	28.53	41.48	46.08	52.13	55.30	60.51	69.12	76.07	80.69	84.71	92.17
	1.517	31.22	20.86	27.96	34.17	49.69	55.20	62.45	66.24	72.49	82.81	91.13	96.66	101.48	110.41
	1.660	37.38	24.98	33.48	40.92	59.51	66.10	74.78	79.32	86.80	99.15	109.12	115.74	121.52	132.21
	1.817	44.79	29.93	40.11	49.03	71.29	79.19	89.60	95.03	104.00	118.80	130.73	138.67	145.59	158.40
	1.988	53.62	35.83	48.02	58.69	85.34	94.80	107.25	113.76	124.50	142.21	156.50	166.00	174.28	189.62
	2.176	64.24	42.92	57.53	70.31	102.25	113.58	128.50	136.30	149.16	170.38	187.50	198.88	208.81	208.81
	2.881	76.91	51.39	68.88	84.18	122.42	135.98	153.85	163.19	178.58	203.99	224.49	238.12	250.00	250.00
	2.605	92.06	61.52	82.45	100.77	146.54	162.77	184.16	195.34	213.77	213.77	213.77	213.77	213.77	213.77
	2.851	110.27	73.68	98.75	120.70	175.52	194.97	220.59	233.97	256.05	256.05	256.05	256.05	256.05	256.05
	3.120	132.06	88.24	118.27	144.55	210.21	233.49	233.49	233.49	233.49	233.49	233.49	233.49	233.49	233.49
	3.414	158.13	105.66	141.61	173.08	173.08	173.08	173.08	173.08	173.08	173.08	173.08	173.08	173.08	173.08
	3.736	189.36	126.53	169.58	207.26	207.26	207.26	207.26	207.26	207.26	207.26	207.26	207.26	207.26	207.26
	4.088	226.72	151.49	203.04	248.16	248.16	248.16	248.16	248.16	248.16	248.16	248.16	248.16	248.16	248.16

Tabelle 8: Geschwindigkeits- und m/q-Kanäle sowie die Analysatorspannungen (in V/eff) und -frequenzen (in MHz). Bei hohen Frequenzen können aus Leistungsgründen nicht mehr alle m/q-Kanäle durchfahren werden. Hier wird dann der jeweils außerhalb der gekennzeichneten Bereiche stehende m/q-Wert beibehalten. Im m/q-Kanal 16 wird die Spannung auf Null gesetzt.

Stimulation im Inflight-Test

Zur Anregung der Channeltrons beim Inflight-Test dient ein UV-Glimmlämpchen; es ist in der Nähe der Channeltron-Trichter angebracht, so daß es alle Channeltrons entsprechend ausleuchtet. Seine Intensität ist so eingestellt, daß aussagekräftige Zählraten entstehen.

Elektronikteil von I3 (siehe Blockschaltbild Bild 15)

Instrument I3 wird von der Elektronikbox nur mit Steuersignalen versorgt, die den Programmablauf bestimmen, sowie mit einer Spannung von 28 V direkt vom Hauptstromwandler (Main Converter). Die Sensorelektronik liefert die vorverstärkten Zählpulse an die Elektronikbox zur Registrierung, Auswertung und Abspeicherung. Die gesamte Elektronik zur Versorgung und Steuerung des Instruments sowie zur Datenaufbereitung befindet sich mit Ausnahme der Hochspannungskaskaden im Elektronikteil der Sensorbox. Die Elektronik des Sensors besteht aus folgenden Einheiten (siehe Bild 16):

- Sensorstromversorgung (Power Supply)
- Channeltronverstärkereinheit (Amplifiers)
- Spannungserzeugung für UV-Glimmlämpchen und Channeltronversorgungserzeugung (HV-Generators)
- Analog-/Digital-Wandler (A/D-Converter)
- Digitale Steuereinheit (Digital Switching)
- Hochfrequenzgenerator zur Plattenspannungserzeugung (HF-Power Generator) mit Dekodiereinrichtung (Digital Control Unit)

Die Sensorstromversorgung erzeugt alle zum Betrieb der Elektronik erforderlichen Spannungen. Sie ist mit dem entsprechenden Kommando ein- und ausschaltbar. Die Channeltronverstärkereinheit besteht aus 9 Channeltronverstärkern, welche die von den Channeltrons abgegebenen Impulse verstärken und in weiterverarbeitbarer Form abgeben. Ferner beinhaltet diese Einheit einen sog. CCO (current controlled oscillator), der während des Inflight-Tests die von den einzelnen Channeltrons abgegebene Ladung quantisiert und somit eine Bestimmung der augenblicklichen Verstärkung der Channeltrons gestattet.

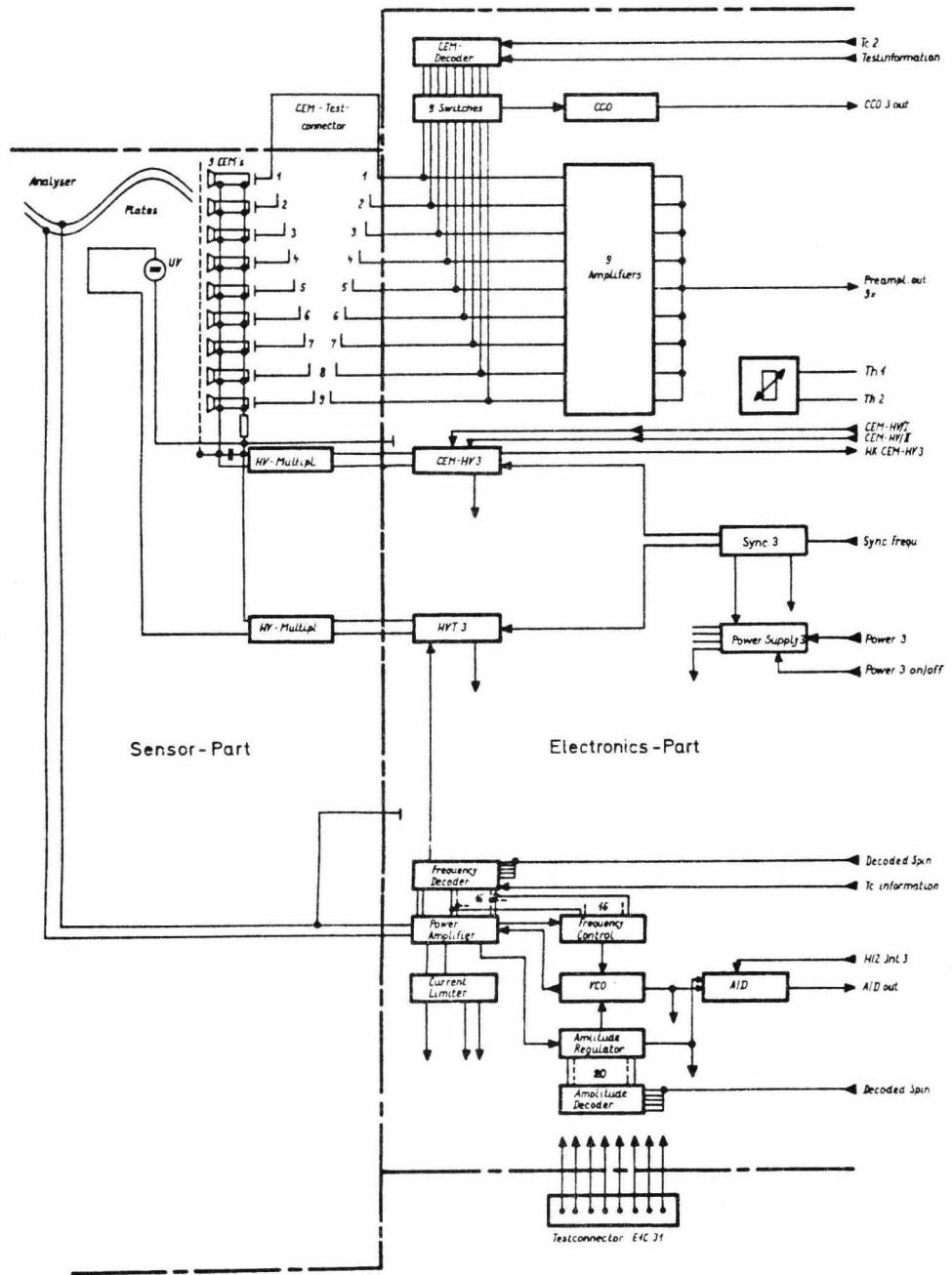


Bild 15: Instrument I3, Blockschaltbild

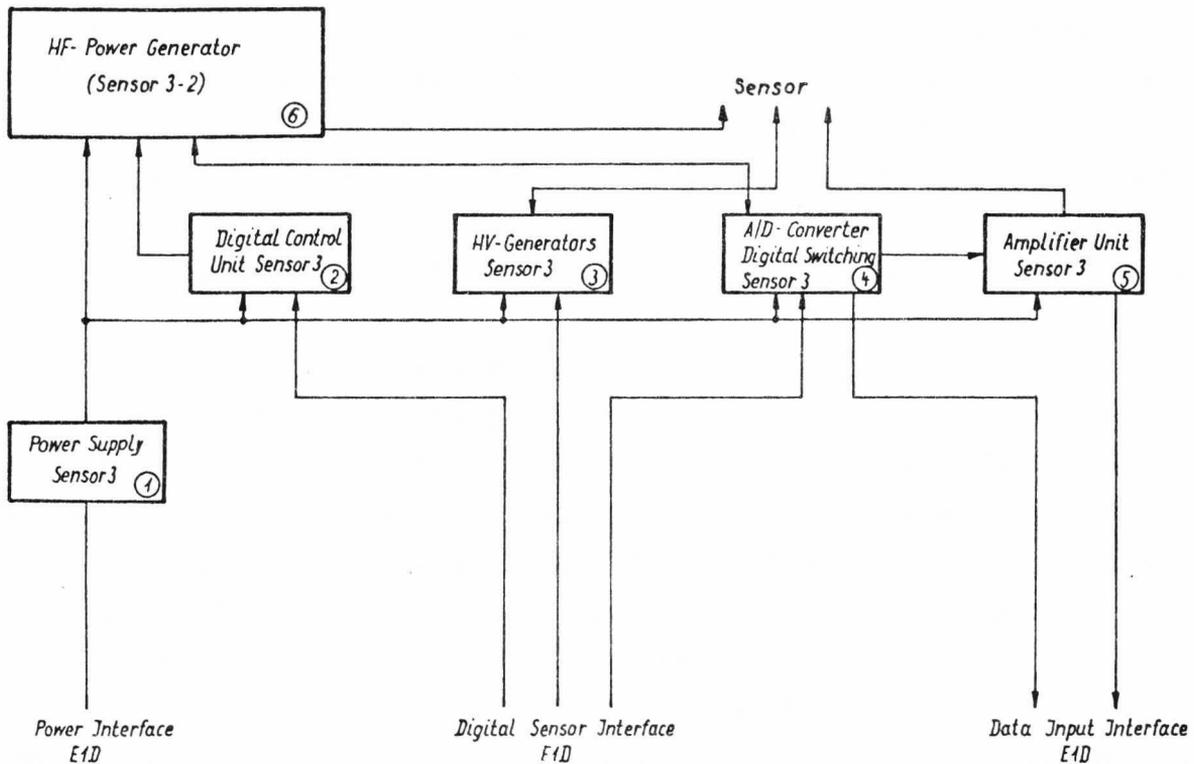


Bild 16: Instrument I3, Elektronikteil, Blockschaltbild

Der Hochspannungsgenerator für das UV-Glimmlämpchen wird nur während des Inflight-Tests benutzt und versorgt das Lämpchen mit der erforderlichen Zünd- und Brennspannung.

Die Elektronik zur Erzeugung der Channeltronversorgungsspannung ist ein geregelter Hochspannungsgenerator, der mit einer zwölfstufigen Vervielfacherkaskade arbeitet. Er ist ein- und ausschaltbar und besitzt drei Schaltstufen für drei unterschiedliche Ausgangsspannungen (3,3 kV; 3,7 kV; 4,1 kV).

Der Analog-/Digital-Wandler dient der Umwandlung von Analogspannungen in digital verarbeitbare Meßwerte und wird nur für die Überprüfung der Amplitude der Hochfrequenz-Spannung während des Inflight-Tests benutzt.

Die digitale Steuereinheit ist bei diesem Sensor stark vereinfacht gegenüber Sensor 1a. Sie übernimmt hier nur die Steuerung der Auswahl desjenigen Channeltrons, welches während des Inflight-Tests auf den CCO geschaltet wird.

Die Steuerung der Analysatorspannungen und -frequenzen übernimmt hier (da wesentlich komplizierter) eine gesonderte Dekodiereinrichtung, welche direkt mit dem Hochfrequenzgenerator zusammenarbeitet. Der Hochfrequenzgenerator (siehe Bild 17) zur Erzeugung der Plattenspannungen arbeitet als Resonanzkreis, wobei die Kapazität der Platten zusammen mit Streukapazitäten und einer Spule den Kreis bilden. Die Resonanzfrequenz ist so ausgelegt, daß sie die höchste Frequenz, also F16 realisiert. Die anderen niedrigeren Frequenzen werden dadurch abgestimmt, daß entsprechende Kapazitäten der Plattenkapazität parallel geschaltet werden. Gleichzeitig werden natürlich die Steuerfrequenzen der 16 spannungsgesteuerten Oszillatoren entsprechend geschaltet. Diese Steuerfrequenz wird über einen Regelkreis der Resonanzfrequenz der Endstufe nachgeführt. Die Ausgangsamplitude der hochfrequenten Spannung wird durch einen Referenzgenerator (Gleichspannung) festgelegt und in einer Vergleichsschaltung mit der gleichgerichteten Ausgangsspannung verglichen und mittels einer Regelschaltung nachgeregelt. Die entsprechende Auswahl der Frequenz und der gewünschten Spannung wird von der oben bereits erwähnten Dekodiereinrichtung durchgeführt, welche aus den von der Elektronikbox gelieferten Informationen die gewünschten Kanalzugehörigkeiten auswählt.

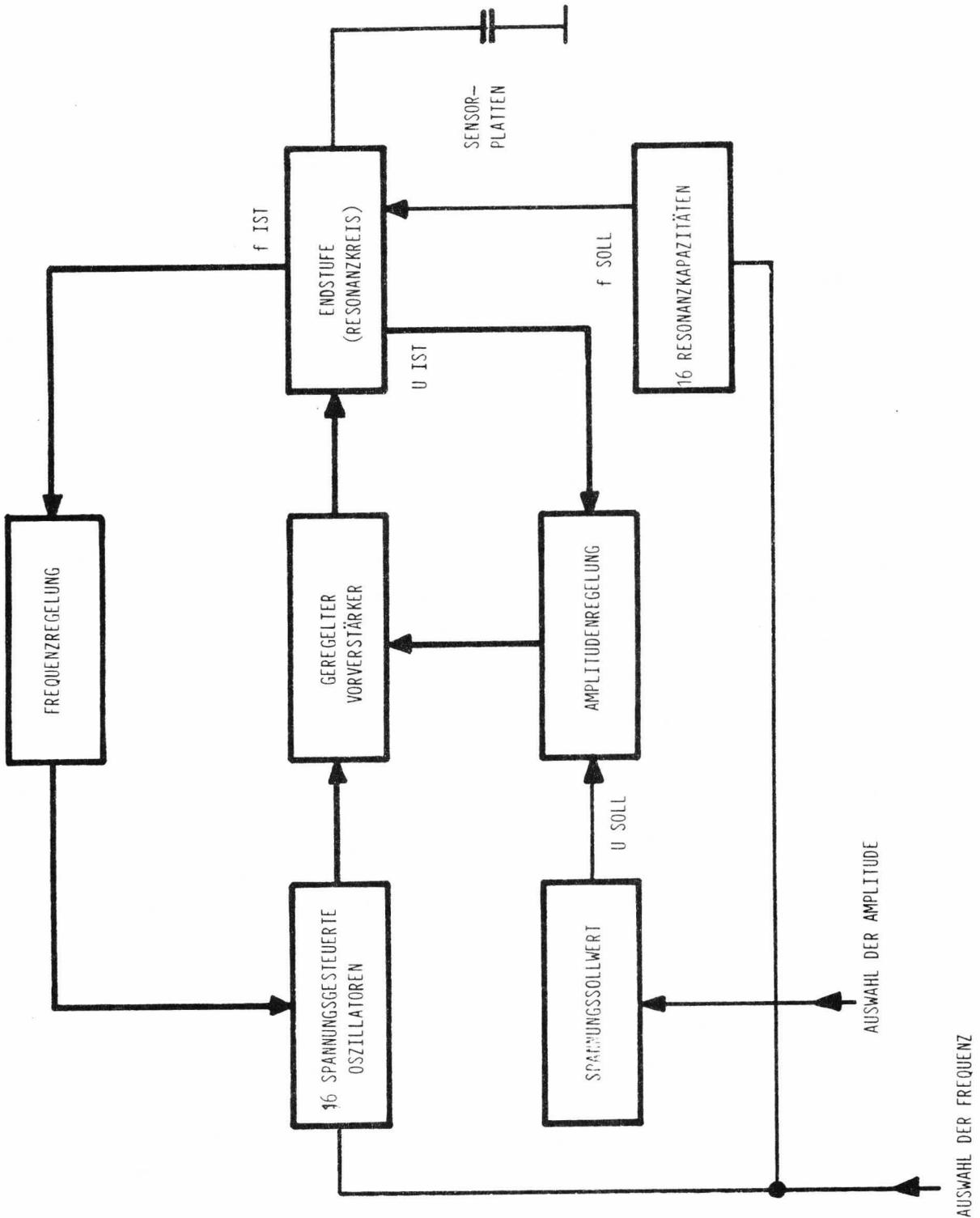


Bild 17: Hochfrequenzgenerator (Prinzip) für Instrument I3

Elektronikbox (in Box E1D)

Die Einheiten der Elektronikbox haben folgende Hauptaufgaben:

- Spannungsversorgung der vier Sensoren
- Spannungsversorgung der Einheiten der Elektronikbox
- Verarbeitung der Daten von den Sensoren
- Abspeichern der ausgewählten Daten
- Übertragung der gespeicherten Daten an die Telemetrie
- Erzeugung des Meßzeitrasters (spinsynchron)
- Erzeugung der Signale zur Ablaufsteuerung und Programmsteuerung der Sensoren
- Verarbeitung der Telekommandos
- Weitergabe von Housekeeping Daten, Temperaturen.

Wie aus Bild 18 und 19 ersichtlich, laufen die Zählpulse aus den Sensoren über eine entsprechende Umschaltlogik in eine der beiden redundanten Digitalelektroniken. Die Pulse werden in den jeweiligen zugeordneten Zählern gezählt. Die Steuerung der Zähler, d.h. die Bildung der entsprechenden Azimutwinkel wird von der Ablaufsteuerung besorgt.

In den Tabellen 9 und 10 sind die azimutalen Meßbereiche aller Instrumente angegeben. HELIOS 2 unterscheidet sich in mehreren Punkten von HELIOS 1:

- HELIOS 2 steht "auf den Kopf", d.h. der Spinvektor zeigt nach Süden. Daher schwenkt die Blickrichtung von E1 bei HELIOS 2 von Ost nach West über die Sonne, gerade umgekehrt wie bei HELIOS 1.
- Die Lage der Mitte der Gesamtbereiche ist verschieden (unterschiedlicher "Vorhalt").
- Bei HELIOS 2 kann der Vorhalt durch ein Telekommando um $7,03^\circ$ verschoben werden.
- Die Breite der Azimutkanäle von I2 beträgt bei HELIOS 2 nur $11,25^\circ$, statt $28,1^\circ$.
- Die Verschiebung der I2-Kanäle in jedem 2. Spektrum von HELIOS 2 beträgt $22,5^\circ$. Dadurch bilden zwei aufeinanderfolgende Messungen ein Raster aus 16 äquidistanten Kanälen.

Die Ablaufsteuerung sorgt auch für die zeitlich koordinierte Auslesung der Zähler und den Transfer der Daten in das Reduzierwerk. Nach der Re-

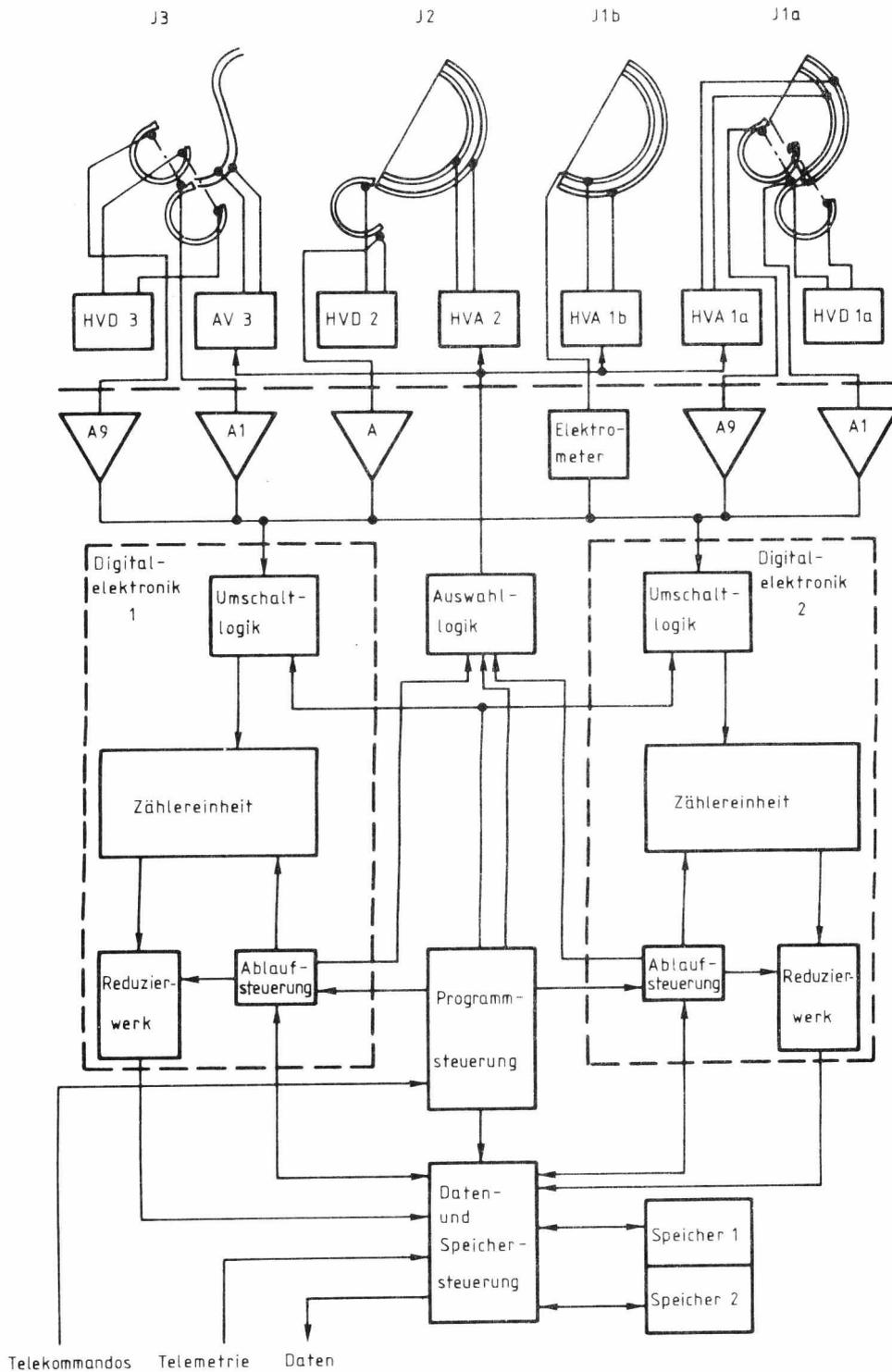


Bild 18: Elektronikbox, Funktionsdiagramm

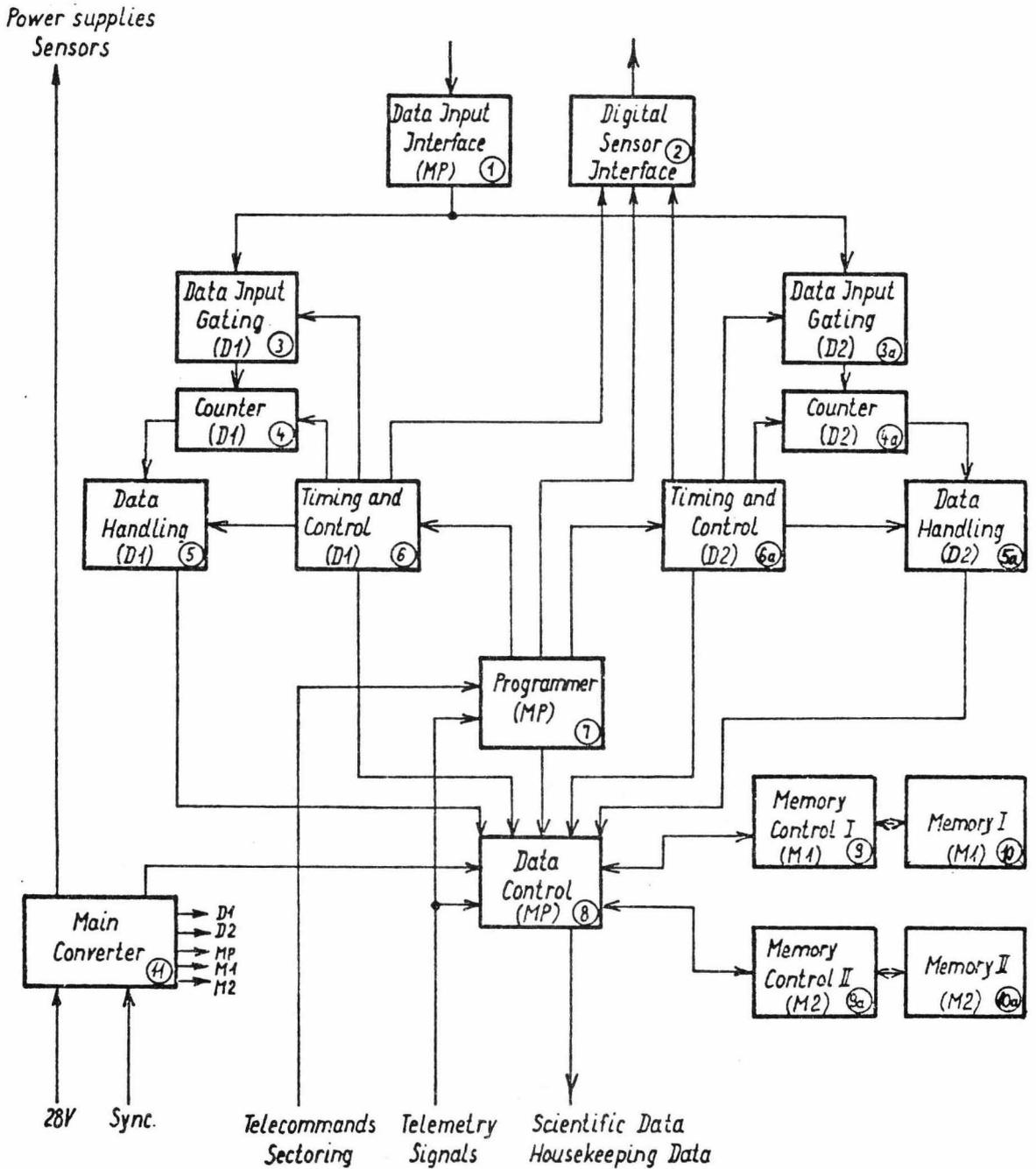


Bild 19: Elektronikbox, Blockdiagramm

SENSOR	MESSWINKEL	OHNE VERSCHIEBUNG		MIT VERSCHIEBUNG	
		ANFANG	ENDE	ANFANG	ENDE
Sensor 1a und Sensor 3	1. Azimut	- 56,36 ⁰	- 52,84 ⁰	- 53,55 ⁰	- 50,03 ⁰
	2. Azimut	- 50,74 ⁰	- 47,22 ⁰	- 47,93 ⁰	- 44,41 ⁰
	3. Azimut	- 45,12 ⁰	- 41,60 ⁰	- 42,31 ⁰	- 38,79 ⁰
	4. Azimut	- 39,50 ⁰	- 35,98 ⁰	- 36,69 ⁰	- 33,17 ⁰
	5. Azimut	- 33,88 ⁰	- 30,36 ⁰	- 31,07 ⁰	- 27,55 ⁰
	6. Azimut	- 28,26 ⁰	- 24,74 ⁰	- 25,45 ⁰	- 21,93 ⁰
	7. Azimut	- 22,64 ⁰	- 19,12 ⁰	- 19,83 ⁰	- 16,31 ⁰
	8. Azimut	- 17,02 ⁰	- 13,50 ⁰	- 14,21 ⁰	- 10,69 ⁰
	9. Azimut	- 11,40 ⁰	- 7,88 ⁰	- 8,59 ⁰	- 5,07 ⁰
	10. Azimut	- 5,78 ⁰	- 2,26 ⁰	- 2,97 ⁰	+ 0,55 ⁰
	11. Azimut	0,00 ⁰	+ 2,81 ⁰	+ 3,51 ⁰	+ 6,32 ⁰
	12. Azimut	+ 5,62 ⁰	+ 9,13 ⁰	+ 8,43 ⁰	+ 11,94 ⁰
	13. Azimut	+ 11,24 ⁰	+ 14,75 ⁰	+ 14,05 ⁰	+ 17,56 ⁰
	14. Azimut	+ 16,86 ⁰	+ 20,37 ⁰	+ 19,67 ⁰	+ 23,18 ⁰
	15. Azimut	+ 22,48 ⁰	+ 25,99 ⁰	+ 25,29 ⁰	+ 28,80 ⁰
	16. Azimut	+ 28,10 ⁰	+ 31,61 ⁰	+ 30,91 ⁰	+ 34,42 ⁰
Integrations- Zähler	Öffnungszeit ist identisch mit AZ 1 bis AZ 16	- 56,36 ⁰	+ 31,61 ⁰	- 53,55 ⁰	+ 34,42 ⁰
Sensor 1b	Meßphase	- 56,36 ⁰	+ 137,54 ⁰	- 53,55 ⁰	+ 140,35 ⁰
	Nullp. korr.	- 87,27 ⁰	- 84,46 ⁰	- 84,46 ⁰	- 81,65 ⁰
Sensor 2	1. Azimut	+ 154,40 ⁰	- 177,19 ⁰	+ 157,21 ⁰	- 174,38 ⁰
	2. Azimut	- 160,33 ⁰	- 132,23 ⁰	- 157,52 ⁰	- 129,42 ⁰
	3. Azimut	- 115,37 ⁰	- 87,27 ⁰	- 112,56 ⁰	- 84,46 ⁰
	4. Azimut	- 70,41 ⁰	- 42,31 ⁰	- 67,60 ⁰	- 39,50 ⁰
	5. Azimut	- 25,45 ⁰	+ 2,65 ⁰	- 22,64 ⁰	+ 5,62 ⁰
	6. Azimut	+ 19,67 ⁰	+ 47,77 ⁰	+ 22,48 ⁰	+ 50,58 ⁰
	7. Azimut	+ 64,63 ⁰	+ 92,73 ⁰	+ 67,44 ⁰	+ 95,54 ⁰
	8. Azimut	+ 109,59 ⁰	+ 137,69 ⁰	+ 112,40 ⁰	+ 140,50 ⁰

Tabelle 9: Azimutale Meßwinkel der Sensoren für F1, bezogen auf die HELIOS-Sonne-Linie. Negative Vorzeichen beziehen sich auf westliche Richtungen. Die Reihenfolge der Kanäle entspricht der Drehung von HELIOS 1 von West nach Ost, d.h. gegen den Uhrzeigersinn bei Betrachtung von Norden.

SENSOR	MESSWINKEL	KEIN VORHALT			
		OHNE VERSCHIEBUNG		MIT VERSCHIEBUNG	
		ANFANG	ENDE	ANFANG	ENDE
Sensor 1a und Sensor 3	1. Azimut	- 40,78°	- 37,26°	- 43,59°	- 40,07°
	2. Azimut	- 35,16°	- 31,64°	- 37,97°	- 34,45°
	3. Azimut	- 29,53°	- 26,01°	- 32,34°	- 28,82°
	4. Azimut	- 23,91°	- 20,38°	- 26,72°	- 23,20°
	5. Azimut	- 18,29°	- 14,77°	- 21,10°	- 17,58°
	6. Azimut	- 12,67°	- 9,15°	- 15,48°	- 11,96°
	7. Azimut	- 7,05°	- 3,53°	- 9,86°	- 6,34°
	8. Azimut	- 1,43°	+ 2,09°	- 4,24°	- 0,72°
	9. Azimut	+ 4,19°	+ 7,71°	+ 1,38°	+ 4,90°
	10. Azimut	+ 9,81°	+ 13,33°	+ 7,00°	+ 10,52°
	11. Azimut	+ 15,43°	+ 18,95°	+ 12,62°	+ 16,14°
	12. Azimut	+ 21,05°	+ 24,57°	+ 18,24°	+ 21,76°
	13. Azimut	+ 26,67°	+ 30,19°	+ 23,86°	+ 27,38°
	14. Azimut	+ 32,29°	+ 35,81°	+ 29,48°	+ 33,00°
	15. Azimut	+ 37,91°	+ 41,43°	+ 35,10°	+ 38,62°
	16. Azimut	+ 43,53°	+ 47,05°	+ 40,72°	+ 44,24°
Integrations- Zähler	Öffnungszeit ist identisch mit AZ 1 bis AZ 16	- 40,78°	+ 47,05°	- 43,59°	+ 44,24°
Sensor 1b	Meßphase	- 40,78°	+ 153,28°	- 43,59°	+ 150,47°
	Nullp. korr.	- 68,20°	- 65,38°	- 71,00°	- 68,20°
Sensor 2	1. Azimut	- 172,97°	- 161,72°	+ 164,53°	+ 175,78°
	2. Azimut	- 127,97°	- 116,72°	- 150,47°	- 139,22°
	3. Azimut	- 82,97°	- 71,72°	- 105,47°	- 94,22°
	4. Azimut	- 37,97°	- 26,72°	- 60,47°	- 49,22°
	5. Azimut	+ 7,03°	+ 18,28°	- 15,47°	- 4,22°
	6. Azimut	+ 52,03°	+ 63,28°	+ 29,53°	+ 40,78°
	7. Azimut	+ 97,03°	+ 108,28°	+ 74,53°	+ 85,78°
	8. Azimut	+ 142,03°	+ 153,28°	+ 119,53°	+ 130,78°
MIT VORHALT: 7,03° zeitlich später					

Tabelle 10: Azimutale Meßwinkel der Sensoren für F2 und P, bezogen auf die HELIOS-Sonne-Linie. Negative Vorzeichen beziehen sich auf östliche Richtungen. Die Reihenfolge der Kanäle entspricht der Drehung von HELIOS 2 von Ost nach West, d.h. im Uhrzeigersinn bei Betrachtung von Norden.

duzierung laufen die Daten in die Daten- und Speichersteuerung. Hier werden diejenigen Daten ausgewählt, die an die Speicher übergeben werden sollen. Gleichzeitig besorgt diese Einheit - gesteuert von der Ablaufsteuerung -, daß die jeweiligen Daten im vorgeschriebenen Speicherplatz eingeschrieben werden. Ein weiterer Teil dieser Einheit sorgt dafür - gesteuert von der Satelliten-Telemetrie -, daß der Speicherinhalt an die Telemetrie bit- und wortseriell abgegeben wird.

Aus der Ablaufsteuerung werden gleichzeitig diejenigen Signale gewonnen, welche die Sensoren steuern, d.h. die entsprechenden Energiekanäle usw. einstellen. Diese Signale werden zusammen mit Steuersignalen aus der Programmsteuereinheit über eine Auswahllogik von der jeweils eingeschalteten Digitalelektronik den Sensoren zugeführt. Aus Bild 18 wird ferner deutlich, welche Teile der Elektronikbox redundant ausgelegt sind, nämlich:

- Datenumschaltlogik
- sämtliche Zähler
- Reduzierwerk
- Ablaufsteuerung.

Es scheint so, als ob die Daten- und Speichersteuerungseinheit bezüglich der Zuverlässigkeit bei der Datenverarbeitung einen Engpaß darstellen würde. Daß dem nicht so ist, wird aus Bild 19 deutlich, welches die Einheiten der Elektronikbox etwas deutlicher zeigt.

Die Datensteuerung enthält prinzipiell nur den Maximumsucher für die Daten von Sensor 1a und Sensor 3. Außerdem ist jedem Speicher (funktionell bedingt - ein Speicher wird mit Experimentdaten spinsynchron eingeschrieben, der andere wird von der Telemetrie zeitsynchron ausgelesen -) eine eigene Speichersteuerung zugeordnet. Somit wird eine Datensteuerung, d.h. Auswahl der Daten, die abgespeichert werden sollen, nur im Normal-Data-Mode von dieser Einheit durchgeführt. Im High-Data-Mode stellt diese Einheit praktisch einen Kurzschluß dar, da die Datenauswahl in diesem Programm direkt von der Ablaufsteuerung durchgeführt wird, welche redundant ausgeführt ist.

Das bedeutet, daß im Normal-Data-Mode-Betrieb bei Ausfall des Maximum-

suchers (Datensteuerung) die Daten unter Umständen nicht zu gebrauchen sind. In diesem Fall kann sofort auf High-Data-Mode-Programm umgeschaltet werden, da hierbei der Maximumsucher zwar mitläuft, aber nicht benötigt wird, denn die Datensteuerung wird in diesem Programm von der redundanten Ablaufsteuerung durchgeführt. Der Ausfall einer Speichersteuerung oder eines Speichers dagegen hat schwerwiegendere Folgen. Während im obigen Falle keinerlei Daten verlorengehen, ist in diesem Falle im Normal-Data-Mode-Betrieb nur noch die halbe Zeitauflösung gegeben, d.h. nur jeder zweite Datenblock ist auswertbar. Im High-Data-Mode-Betrieb wird bei Ausfall einer Speichersteuerung oder eines Speichers nur noch jeder zweite Datenblock übertragen, d.h. daß nur die Hälfte der Energiekanäle übertragen werden. In diesem Falle schafft die Umschaltung auf das Normal-Data-Mode-Programm sofort Abhilfe.

Solche Notfälle traten bis Ende 1979 nicht auf. Die redundante Digitalelektronik D2 (siehe Bild 18) wurde nach dem Start zwar jeweils getestet, brauchte aber seitdem nicht mehr verwendet zu werden.

In der Programmsteuereinheit ist außerdem noch das Telekommando-Empfangsregister untergebracht. Hier werden alle empfangenen Kommandos abgespeichert und deren Ausführung zum entsprechenden Zeitpunkt ausgelöst.

Die Stromversorgung des Experimentes erfolgt über einen Hauptstromwandler (Main Converter), welcher die von der Sonde gelieferte auf sog. "power-ground" bezogene 28 V main-bus-Spannung umwandelt und auf "signal-ground" bezieht. Dies erfolgt in einem Wandler, der mit der 120 kHz Synchronisationsfrequenz der Sonde synchronisiert ist. Das Ein- bzw. Ausschalten des Experimentes geschieht durch Ein- bzw. Ausschalten der 28 V Spannung auf der SONDENSEITE.

Dieser Hauptstromwandler liefert für folgende Einheiten getrennte Spannungen, welche permanent anliegen, sobald das Experiment eingeschaltet ist.

- Speicher 1 mit Speichersteuerung 1 (M1)
- Speicher 2 mit Speichersteuerung 2 (M2)
- Datensteuerung
- Programmsteuerung (MP)
- Dateninterface

Die getrennten Spannungen für die Digitalelektroniken sind über Telekommando schaltbar.

Ferner liefert der Hauptstromwandler noch eine + 28 V Spannung, die den einzelnen Sensoren über getrennte, mit Telekommandos zu steuernde, Schalter zugeführt wird. Bild 20 zeigt die Spannungsverteilung innerhalb des Experimentes sowie die Ein- und Ausschaltmöglichkeiten.

Die Einheit Auswahllogik (Digital Sensor Interface) wird von den einzelnen Sensoren mit Spannung versorgt. Das bedeutet, daß jeweils nur diejenigen Baugruppen in Betrieb sind, die tatsächlich gebraucht werden, d.h. wenn die zugehörigen Sensoren, an welche die Steuersignale geleitet werden, eingeschaltet sind.

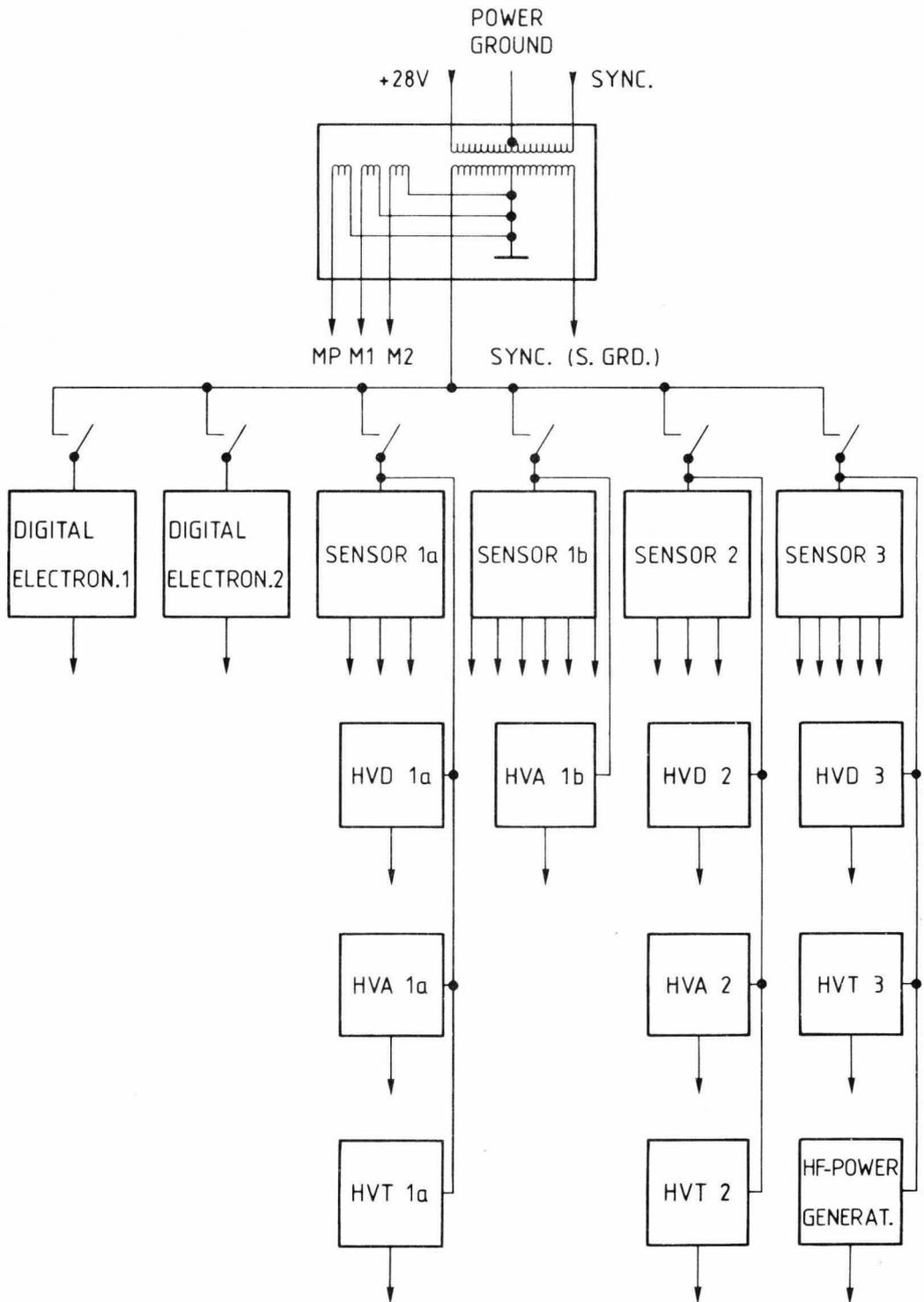


Bild 20: Spannungsverteilung im Experiment

4. Organisation der Datenerzeugung und Datenübertragung

Das Instrument 1a produziert in jeder HELIOS-Umdrehung, also pro Sekunde in 9 Elevations- und 16 Azimutkanälen zusammen 144 Meßwerte in Form von 16-Bit-Zählerständen. Das allein übersteigt schon die größtmögliche Übertragungsrate von HELIOS. Es muß also noch an Bord eine Vorauswertung und Reduzierung der Daten stattfinden. Zunächst werden - wie später beschrieben wird - sämtliche Meßdaten in 8 bit-Worte umgewandelt.

Weiterhin wurden zur Datenreduktion zwei unterschiedliche Meßprogramme vorgesehen, die noch eine gewisse Anpassung an die stark variierenden Bitraten der Sonde erlauben.

Normal Data Mode (NDM)

Der interessanteste Teil des Ionenspektrums - Protonen und α -Teilchen - erfüllt meistens nur einen kleinen Ausschnitt des gesamten Meßbereichs, verlagert sich aber durch die bekannten Fluktuationen des Sonnenwindes ständig. Dem angepaßt ist das "Normal-Data-Mode"-Meßprogramm (NDM) für mittlere und niedrige Bitraten. Von einer experimentinternen Logik wird hier zunächst das Maximum der Protonenintensität gesucht, d.h. die Adresse des Meßkanals in Energie (EN), Azimut (AZ) und Elevation (EL), bei dem die höchste Zählrate aufgetreten ist. Im folgenden Meßzyklus wird dann nur noch eine begrenzte Anzahl von Meßkanälen um dieses Maximum herum registriert, nämlich $9 \times 5 \times 5$ (EN x AZ x EL), also 225 Werte. Die neun Energiekanäle sind so gelegt, daß auch die Helium-Ionen - etwa beim zweifachen E/q-Wert der Protonen - noch erfaßt werden. Währenddessen wird im gesamten Meßbereich schon ein neues Maximum für den nächsten Zyklus bestimmt.

Zusätzlich liefert der "Integrationszähler" für I1a und I3 in jedem Energiekanal eine Zählrate, die durch Summierung aller Azimut- und Elevationskanäle - auch derer, die aufgrund des gewählten Maximums gerade nicht übertragen werden - entsteht. Dadurch wird die Abschätzung der bei der dreidimensionalen Messung gelegentlich abgeschnittenen Randbereiche ermöglicht, sowie auch ein direkter Vergleich mit dem ebenfalls integrierenden, aber den Ionenstrom direkt messenden Instrument 1b. Auch dessen 32 Meßergebnisse pro Zyklus werden stets übertragen.

Wenn I3 anstelle von I1a angeschaltet ist, gilt im NDM ein ähnliches Auswahlverfahren, mit einigen Unterschieden: Bei den ersten 16 Umdrehungen eines Zyklus wird der volle Geschwindigkeitsbereich wieder nach einem Maximum der Protonenverteilung (also für $M/q = 1$) durchsucht. Dieses dient dann wie bei I1a als Zentrum für die 225 Meßwerte aus den ersten 16 Umdrehungen des nächsten Zyklus. Jeweils während der Umdrehungen 17 - 32 arbeitet nur noch der Integrationszähler. Mit einem fest eingestellten "Geschwindigkeitskanal", bei dem die Protonen zuvor die höchste Intensität hatten, werden alle M/q -Werte der Reihe nach eingestellt. Dieses Meßprogramm basiert auf der Beobachtung, daß die mittlere Geschwindigkeit der verschiedenen Ionen stets ziemlich genau gleich der der Protonen ist. Die Integration über die Winkel ist sinnvoll aufgrund der äußerst niedrigen Flußdichte der schweren Ionen.

So wußten wir es bis 1974. Inzwischen haben gerade die HELIOS-Messungen gezeigt, daß α -Teilchen oft deutlich schneller sind als Protonen, nämlich vor allem in schnellen Sonnenwindströmen (oft auch in langsamen), und besonders drastisch in Perihelnähe. Bei Betrieb im NDM muß I3 hier die α -Teilchen fast zwangsläufig verfehlen. Zum anderen sind gerade hier die von α -Teilchen völlig gereinigten Protonenspektren besonders interessant.

Bei Betrieb von I3 kann im NDM ein Sonderfall eintreten: Liegt der Maximumkanal höher als in Kanal V_{10} , so sind mit Ablauf der 16. Umdrehung noch keine 225 Ergebnisse gemessen. In diesem Fall wird in Umdrehung 17, 18 usw. ebenfalls in jeweils 5×5 Richtungskanälen weitergemessen, bis der Speicher mit den 225 Datenwerten gefüllt ist. Dabei ist, entsprechend dem ab Umdrehung 17 gültigen Programmablauf, der Geschwindigkeits-Maximumkanal eingestellt, und nach jeder Umdrehung wird der M/q -Kanal weitergeschaltet. In diesem Fall erhält man außer dem integrierten M/q -Spektrum aus Umdrehung 17 bis 32 auch noch die Richtungsverteilung in einigen M/q -Kanälen. Damit dieser Effekt gut auszunützen ist, wurde auch die etwas ungewöhnliche Reihenfolge der M/q -Kanäle (siehe Tabelle 7) gewählt.

Von I2 werden alle 16 Energiekanäle entweder von Teil A oder Teil B in 8 Azimutkanälen übertragen, zusammen also 128 Werte pro Zyklus. Die Auswahl von Teil A oder B erfolgt durch Kommando.

Die Anordnung der Daten der einzelnen Instrumente im Datenrahmen wird in Bild 21 gezeigt.

Normal-Data-Mode

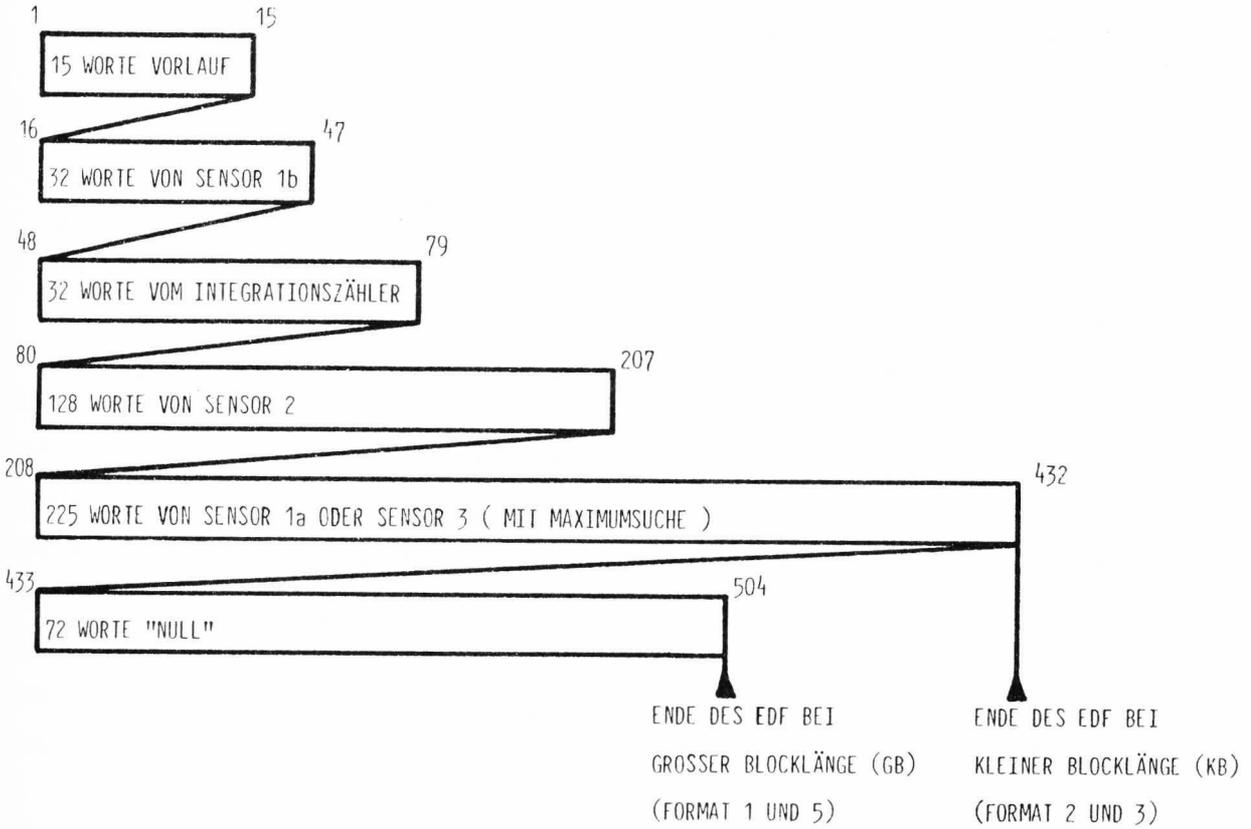


Bild 21: Struktur des Experiment-Daten-Rahmens (EDF) bei Normal-Data-Mode (NDM).

High Data Mode (HDM)

Im Falle von hohen Bitraten kann auf ein Kommando hin auf das Meßprogramm "High-Data-Mode" (HDM) umgeschaltet werden. Hier entfällt die Bereichsauswahl durch Maximumbestimmung. Von I1a und I3 wird für je 8 Energiekanäle ein festes Raster von 7 x 7 Winkelkanälen übertragen. Das sind die Kanäle AZ 5 bis AZ 11 bzw. EL 2 bis EL 8. Wenn HDM laufen soll, trotz niedriger Bitrate und entsprechend kürzerer Blocklänge von 432 statt 504 Worten, wird auch EL 8 noch weggelassen.

Leider weht der Sonnenwind manchmal aus einer anderen Richtung, als für die Auswahl von AZ 5 bis AZ 11 angenommen. Wir hatten uns dabei und auch bei der Wahl des "Vorhaltewinkels" von $11,2^\circ$ am langsamen Wind im Perihelbereich orientiert. Bei $v \approx 300 \text{ km s}^{-1}$ und einer HELIOS-Bahngeschwindigkeit von 60 km s^{-1} fällt ein radial abströmender Wind unter $\alpha \approx -12^\circ$ auf HELIOS 1 ein. Viel öfter fanden wir jedoch schnellen Wind ($v > 600 \text{ km s}^{-1}$) im Aphel, wo die Bahngeschwindigkeit nur 25 km s^{-1} beträgt. Dort ist die "Mißweisung" nur noch 2° , also fast 2 Azimutkanäle neben der gewählten Mitte des Meßbereichs (siehe Tabelle 9). Im HDM wurden deshalb leider manchmal wichtige Teile der Verteilung abgeschnitten. In extremen Fällen waren wir sogar trotz verfügbarer hoher Bitrate zum Betrieb im NDM gezwungen, wo diese Festlegung ja keine Rolle spielt. Dies rechtfertigt nachträglich unseren Beschluß, die Wahl von NDM und HDM nicht automatisch durch die Bitrate sondern per Bodenkommando zu steuern.

Aufgrund dieser Erfahrung nahmen wir bei HELIOS 2 eine Veränderung vor: Wir führten ein zusätzliches Kommando ein, mit dem der gesamte Meßbereich aller Instrumente um $7,03^\circ$ verschoben werden kann. In dieser Stellung wird die "Mißweisung" aufgrund der hohen Bahngeschwindigkeit in den Perihelphasen im Mittel recht gut kompensiert, (siehe Tabelle 10).

Die 32 Energiekanäle sind in 4 Blöcke (HDM 1 bis HDM 4) zu je acht Kanälen aufgeteilt. Jede dieser Gruppen füllt für sich einen ganzen Datenrahmen (EDF). Bei der höchsten Datenrate von 2048 BPS kann alle 10,125 s

ein HDM-Block gesendet werden, so daß nach 40,5 s alle 4 Blöcke eines Meßzyklus in voller Energieauflösung mit je 7 x 7 Richtungskanälen vorliegen. Das ergibt wieder die höchstmögliche Zeitauflösung, die im NDM allerdings schon mit 256 BPS erreicht werden kann. Wenn die Bitrate niedriger ist als 2048 BPS (z.B. 1024, 512 etc. BPS), werden im HDM entsprechend lange Pausen zwischen den HDM-Blöcken eingeschoben (10,25 s; 20,25 s; 40,5 s etc.).

Wenn diese Pausen länger als 20,25 s werden, hat der Betrieb in HDM vielfach keinen Sinn mehr, weil wegen schneller zeitlicher Veränderungen im Sonnenwind die HDM-Blöcke nicht mehr zusammenpassen. Die Missionskontrolle wurde deshalb angewiesen, immer von HDM auf NDM zu schalten, wenn die Pausen länger als 10,125 s werden.

Bei I3 werden im zweiten Teil des Zyklus zwar wieder der Geschwindigkeitskanal festgehalten und die Massenkänäle - diesmal winkelaufgelöst - durchgefahren, aber der Geschwindigkeitskanal wird unabhängig vom Protonenmaximum nach jedem Zyklus weiterschaltet. Nach 16 Zyklen liegen somit für alle 16 M/q-Werte je ein dreidimensionales Spektrum sowie zusätzlich 16 Protonenspektren vor.

Von I2 werden im HDM stets beide Programmteile vollständig übertragen, ebenso von I1b und vom I1a/I3-Integrationszähler.

Die Anordnung der Daten eines HDM-Blocks im Datenrahmen zeigt Bild 22.

High-Data-Mode

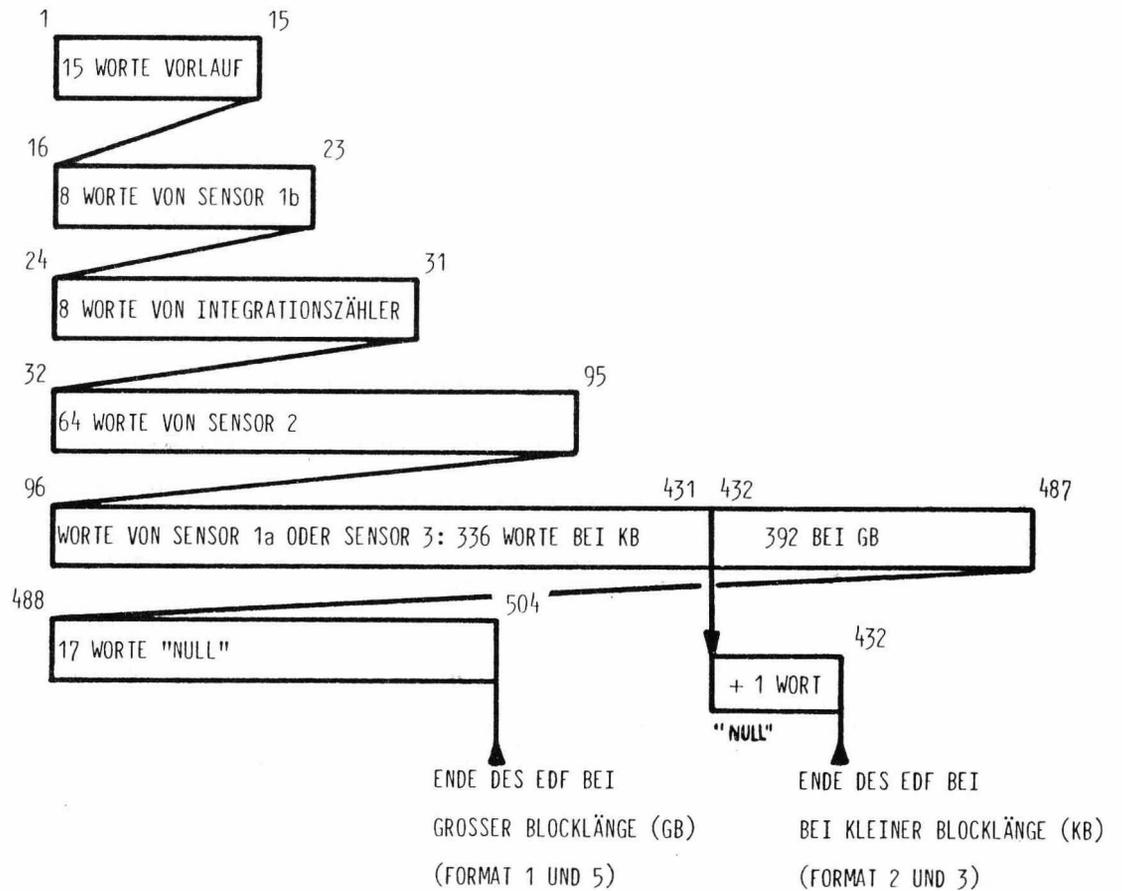


Bild 22: Struktur des Experiment-Daten-Rahmens (EDF) bei High-Data-Mode (HDM).

Die E1-Daten im Strom der Telemetriedaten von HELIOS

Zunächst wird erläutert, wie die E1-Meßdaten in die Telemetriedaten der Sonde eingefügt werden. Wegen der stark veränderlichen Telemetriebedingungen entsprechend der Entfernung HELIOS - Erde, die zwischen 0 und 2 AE schwankt, gibt es viele Variationen. Durch Telekommandos kann der Betrieb von E1 jeweils optimal den äußeren Bedingungen angepaßt werden.

Das Sonden-Telemetrie-System

Aufgrund der während der HELIOS-Mission stark wechselnden Telemetriebedingungen (zu überbrückende Entfernung bis 2 AE d.h. 300 Mio km, 3 verschiedene Bordsendeantennen, 3 verschiedene Sendeleistungen, 3 verschiedene Empfangsantennensysteme auf der Erde) beträgt die Übertragungsbitrate der Sonde zwischen 8 BPS bis 4096 BPS. Zu gewissen Zeiten ist überhaupt keine Telemetrie Verbindung möglich ("Blackout" vor und hinter der Sonne); dann werden Daten in den großen 500 k-Bordspeicher eingeschrieben und später zur Erde übermittelt.

Die Tabelle 11 zeigt alle möglichen Telemetriebedingungen und ihre Konsequenzen für E1.

Einige Erklärungen dazu:

- Ein "Wort" (word) der HELIOS-Telemetrie besteht aus 8 bit.
- Ein "Rahmen" (s/c-frame) enthält 155 Worte (1142 bit), die auf die Experimente aufgeteilt sind und auch Housekeepingdaten umfassen.
- Die sechs "Formate" (formats, FM1, FM2...FM6), regeln die Aufteilung der Worte eines Rahmens zu den einzelnen Experimenten.
(FM4 enthält nur Housekeepingdaten, und an FM6 ist E1 nicht beteiligt. Beide sind deshalb in Tabelle 11 nicht aufgeführt).
- Ein "Hauptrahmen" (main frame) enthält 72 Rahmen, unabhängig von Format und Bitrate.
- Ein "Experimentdatenrahmen" (Experiment data frame, EDF) umfaßt einen in sich abgeschlossenen Datenblock eines Experiments, d.h. einen kompletten Meßzyklus im NDM, bzw. ein Viertel eines Meßzyklus im HDM.

FORMAT	FM 1	FM 2	FM 3	FM 5
	HIGH RATE	NORMAL RATE	REDUCED RATE	VERY HIGH RATE
BITRATEN (bps)	512 1024 2048	32 64 128 256 512	8 16 32 64	4096
BLOCKLÄNGE : 8 BIT-WORTE BITS	504 4032	432 3456	432 3456	504 4032
WORTE/RAHMEN	28	48	24	14
SUBKOMMUTIERUNGSRATE	18	9	18	36
AUSLESEZEIT FÜR 1 SPEICHER	10,125 s at 2048 bps	40,5 s at 256 bps		10,125 s
DATENANTEIL DES EXPERIMENTS %	20,6 %	35,3 %	17,6 %	9,7 %

Tabelle 11: Übersicht über die Datenformate und die Anteile von E1.

- Die "Subkommunikationsrate" (subcommrate) gibt an, auf wieviele Rahmen ein EDF aufgeteilt ist.
- Die "Auslesezeit" für 1 EDF ist gegeben durch

$$\frac{\text{Subkommunikationsrate} \times \text{Rahmenlänge (Bit pro Rahmen)}}{\text{Bitrate}}$$

Die E1 zur Verfügung gestellte Blocklänge ist abhängig vom Format. In FM1 und FM5 beträgt sie 504 Worte (Große Blocklänge, GB), in FM2 und FM3 432 Worte (Kleine Blocklänge, KB).

In Tabelle 12 sind die Auslesezeiten für je 1 EDF für die verschiedenen Formate und Bitraten zusammengestellt. Man erkennt hier, daß z.B. bei 32 BPS die Auslesezeit in FM2 mit 364 s nur halb so lang ist wie in FM3 bei gleicher Bitrate. Ähnliches gilt für 512 BPS zwischen FM1 und FM2. Auch hier ist FM2 für E1 günstiger.

Natürlich geht der hohe Anteil von E1 an der Gesamtdatenrate von 35,3 % in FM2 zu Lasten der anderen Experimente. Deshalb wurde zwischen den Experimentatoren dieser Kompromiß ausgehandelt: Für die Zeiten, in denen überhaupt zwischen FM2 und FM1 bzw. FM3 gewählt werden kann, wird zu 50 % FM2 benutzt. Meistens wird abwechselnd je eine ganze Passage (über einer Bodenstation) in einem oder dem anderen Format gefahren.

Blockstruktur der E1-Telemetriedaten

Zunächst wird auf die Bilder 21 und 22 verwiesen, die den Blockaufbau der Datenrahmen von E1 zeigen.

Die Tabellen 13 und 14 zeigen nochmals die Struktur der Experiment-Datenrahmen getrennt nach Normal-Data-Mode und High-Data-Mode. Beide Datenrahmen unterscheiden sich nur durch die Datenanteile der einzelnen Instrumente. Jeder EDF beginnt mit 15 Worten (W) "Vorlauf"-daten, die in digitaler Kodierung den Betriebszustand des Experimentes für die nachfolgenden Daten angeben.

Die Anzahl der wirklichen Experimentdaten ist aus technischen Gründen nicht vollständig der Länge eines EDF angepaßt. Dies ist aus der folgenden Aufstellung ersichtlich:

Format	Bitrate (bit/s)	Auslesezeit für 1 EDF (s)	Meßdauer (s) $\pm 1,7\%$	Abstand zweier Daten- blöcke (s)	Programm
3	8	2592	32	2592	NDM
	16	1296	32	1296	NDM
	32	648	32	698	NDM
	64	324	32	324	NDM
	(64	324	$(9+311)x3+9$	$324x4$	HDM)
2	64	162	32	162	NDM
	(64	162	$(9+151)x3+9$	$162x4$	HDM)
	128	81	32	81	NDM
	(256	81	$(9+ 71)x3+9$	$81x4$	HDM)
	256	40,5	32	40,5	NDM
	(256	40,5	$(9+ 31)x3+9$	$40,5x4$	HDM)
	512	20,25	32	40,5	NDM
512	20,25	$(9+ 11)x3+9$	$20,25x4$	HDM	
1	512	40,5	32	40,5	NDM
	(512	40,5	$(9+ 31)x3+9$	$40,5x4$	HDM)
	1024	20,25	32	40,5	NDM
	1024	20,25	$(9+ 11)x3+9$	$20,25x4$	HDM
	2048	10,125	32	40,5	NDM
	2048	10,125	$(9+ 1)x3+9$	$10,125x4$	HDM
5	2048	20,25	32	40,5	NDM
	2048	20,25	8	$20,25x4$	HDM
	4096	10,125	32	40,5	NDM
	4096	10,125	8	$10,125x4$	HDM

Tabelle 12: Zeitauflösung und Programmmöglichkeiten in Abhängigkeit von Format und Bitrate.
 Man beachte: Im HDM besteht eine Messung aus 4 EDFs. Deshalb wird HDM nicht benutzt, wenn der Abstand zwischen den EDFs größer als 20,25 s ist (Eingeklammerte Werte).

Normal-Data-Mode

WORT- Nr.	INFORMATION	ANZAHL DER WORTE
1 ⋮ 15	VORLAUF	15
16 ⋮ 47	DATEN SENSOR 1b	32
48 ⋮ 79	DATEN INTEGRATIONSZÄHLER	32
80 ⋮ 207	DATEN SENSOR 2	128
208 ⋮ 432	DATEN SENSOR 1a ODER SENSOR 3	225
----- EDF - ENDE BEI KB -----		
433 ⋮ 504	"NULL"	72
----- EDF - ENDE BEI GB -----		

Tabelle 13: Aufbau des Experiment-Daten-Rahmens (EDF) bei Normal-Data-Mode.

High-Data-Mode

WORT- Nr.	INFORMATION	ANZAHL DER WORTE
1 ⋮ 15	VORLAUF	15
16 ⋮ 23	DATEN SENSOR 1b	8
24 ⋮ 31	DATEN INTEGRATIONSZÄHLER	8
32 ⋮ 95	DATEN SENSOR 2	64
96 ⋮ 431	DATEN SENSOR 1 ODER SENSOR 3 BEI KB + 1 WORT	336
----- EDF - ENDE BEI KB -----		
487	DATEN SENSOR 1 ODER SENSOR 3 BEI GB	56 (392)
488 ⋮ 504	"NULL"	17
----- EDF - ENDE BEI GB -----		

Tabelle 14: Aufbau des Experiment-Daten-Rahmens (EDF) bei High-Data-Mode.

	verfügbare EDF-Länge	erzeugte Daten pro NDM	EDF HDM
Format 2 und 3 (KB)	432 W	432 W	431 W
Format 1 und 5 (GB)	504 W	432 W	487 W

Diejenigen Worte eines EDF, die nicht mit Daten gefüllt werden, sind durch "Nullen" - aber ebenfalls kodiert - ausgefüllt.

Wie man aus der obigen Aufstellung sieht, ist das HDM-Programm an die Formate 1 und 5 (GB) mit den hohen Bitraten angepaßt. Dieses Programm ist selbstverständlich auch bei den niedrigeren Bitraten der Formate 2 und 3 (KB) anwendbar. Dann werden gegenüber dem normalerweise zu übertragenden Datenblock von 487 Worten aus dem Datenblock von I1a oder I3 56 Worte weniger übertragen. Dies geschieht durch Weglassen des Kanals EL 8 in allen 7 Azimutkanälen bei allen 8 Energiekanälen des jeweiligen HDM-Blocks.

Die Tabellen 15 bis 25 lassen die Anordnung jedes einzelnen Meßwerts aller Instrumente in den verschiedenen Moden von E1 genau erkennen.

Normal-Data-Mode

WORT-Nr.	KANAL	BEDEUTUNG
16	EN 1	ZÄHLERGEBNIS
17	EN 2	ZÄHLERGEBNIS
⋮	⋮	⋮
47	EN 32	ZÄHLERGEBNIS

High-Data-Mode

WORT-Nr.	KANAL				BEDEUTUNG
	HDM 1	HDM 2	HDM 3	HDM 4	
16	EN 1	EN 9	EN 17	EN 25	ZÄHLERGEBNIS
17	EN 2	EN 10	EN 18	EN 26	ZÄHLERGEBNIS
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
23	EN 8	EN 16	EN 24	EN 32	ZÄHLERGEBNIS

Tabelle 15: Struktur der Daten von Sensor I1b.

Normal-Data-Mode

INTEGRATIONSZÄHLER SENSOR 1a

WORT-Nr.	KANAL	BEDEUTUNG
48	EN 1	ZÄHLERGEBNIS
49	EN 2	ZÄHLERGEBNIS
⋮	⋮	⋮
79	EN 32	ZÄHLERGEBNIS

High-Data-Mode

WORT-Nr.	KANAL				BEDEUTUNG
	HDM 1	HDM 2	HDM 3	HDM 4	
24	EN 1	EN 9	EN 17	EN 25	ZÄHLERGEBNIS
25	EN 2	EN 10	EN 18	EN 26	ZÄHLERGEBNIS
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
31	EN 8	EN 16	EN 24	EN 32	ZÄHLERGEBNIS

Tabelle 16: Struktur der Daten des Integrationszählers von I1a.

Normal-Data-Mode

INTEGRATIONSZÄHLER SENSOR 3

WORT-Nr.	KANAL	BEDEUTUNG
48	F1 M3	ZÄHLERGEBNIS ⋮ ZÄHLERGEBNIS
49	F2 M3	
⋮	⋮	
63	F16 M3	
64	F(z) M1	
65	F(z) M2	
⋮	⋮	
79	F(z) M16	

High-Data-Mode

WORT-Nr.	KANAL				BEDEUTUNG
	HDM 1	HDM 2	HDM 3	HDM 4	
24	F1 M3	F9 M3	F(1-16) M1	F(1-16) M9	ZÄHLERGEBNIS ⋮ ZÄHLERGEBNIS
25	F2 M3	F10 M3	F(1-16) M2	F(1-16) M10	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
31	F8 M3	F16 M3	F(1-16) M8	F(1-16) M16	

LEGENDE: F(z) = FREQUENZKANAL (GESCHWINDIGKEITSKANAL) DES MAXIMUMS
 F(1-16) = FREQUENZKANAL (GESCHWINDIGKEITSKANAL) DES HDM- ZÄHLERS SENSOR 3
 (GESCHWINDIGKEITSKANALZÄHLER)

Tabelle 17: Struktur der Daten des Integrationszählers von I3.

Normal-Data-Mode

SENSOR 2

WORT-Nr.	KANAL		BEDEUTUNG
	PROGRAMM A	PROGRAMM B	
80	Az 1	Az 1	ZÄHLERGEBNIS
81	Az 2	Az 2	
82	Az 3	Az 3	
83	Az 4	Az 4	
84	Az 5	Az 5	
85	Az 6	Az 6	
86	Az 7	Az 7	
87	Az 8	Az 8	
88	Az 1	Az 1	
...	
95	Az 8	Az 8	
96	Az 1	Az 1	
...	
103	Az 8	Az 8	
104	Az 1	Az 1	
...	
207	Az 8	Az 8	

PROGRAMM A		PROGRAMM B	
EN 1	EN 17	EN 2	EN 18
EN 3	EN 19	EN 4	EN 20
EN 16	EN 32		

Tabelle 18: Struktur der Daten von I2, Normal-Data-Mode.

High-Data-Mode

SENSOR 2

WORT-Nr.	KANAL				BEDEUTUNG			
	HDM 1	HDM 2	HDM 3	HDM 4				
32	Az 1	}	}	}	ZÄHLERGEBNIS			
33	Az 2							
34	Az 3							
35	Az 4							
36	Az 5 } EN 1							
37	Az 6							
38	Az 7							
39	Az 8							
40	Az 1	}	}	}				
⋮	⋮							
47	Az 8 } EN 2							
48	Az 1					EN 11	EN 19	EN 27
⋮	⋮					⋮	⋮	
95	Az 8					EN 16	EN 24	EN 32
	EN 3							
	EN 8							
					ZÄHLERGEBNIS			

Tabelle 19: Struktur der Daten von I2, High-Data-Mode.

Normal-Data-Mode

SENSOR 1a

WORT-Nr.	KANAL			BEDEUTUNG		
208	EL (x-2)	}	}	ZÄHLERGEBNIS		
209	EL (x-1)					
210	EL (x)				Az (y-2)	
211	EL (x+1)					
212	EL (x+2)					
213	EL (x-2)	}	EN (z-2)			
214	EL (x-1)					
215	EL (x)				Az (y-1)	
216	EL (x+1)					
217	EL (x+2)					
218	EL (x-2)	}	}			
222	EL (x+2)					
223	EL (x-2)				Az (y)	
227	EL (x+2)					
228	EL (x-2)					
232	EL (x+2)	}	}			
233	EL (x-2)				Az (y+1)	
257	EL (x+2)				Az (y+2)	
258	EL (x-2)				Az (y-2)	EN (z-1)
432	EL (x+2)				Az (y+2)	EN (z)
			EN (z+6)	ZÄHLERGEBNIS		

LEGENDE: EL (x) = MAXIMUMELEVATIONSKANAL
 Az (y) = MAXIMUMAZIMUTKANAL
 EN (z) = MAXIMUMENERGIEKANAL

Tabelle 20: Struktur der Daten von I1a, Normal-Data-Mode.

High-Data-Mode und große Blocklänge

SENSOR 1a

WORT-Nr.	KANAL				BEDEUTUNG
	HDM 1	HDM 2	HDM 3	HDM 4	
96	EL 2 } EL 3 } EL 4 } EL 5 } Az 5 EL 6 } EL 7 }	} } } } }	} } } } }	} } } } }	ZÄHLERGEBNIS
97					
98					
99					
100					
101	EL 8 } EN 1	} EN 9	} EN 17	} EN 25	
102					
103	EL 2 } ... } Az 6 EL 8 }	} } } } }	} } } } }	} } } } }	
109					
110	EL 2 } Az 7 ... } EL 8 } Az 11	} } } } }	} } } } }	} } } } }	
144					
145	EL 2 } Az 5 } ... } EL 8 } Az 11 } EN 2	} } } } }	} } } } }	} } } } }	
193					
194	EL 2 } Az 5 } EN 3 ... } EL 8 } Az 11 } EN 8	} EN 11 ... } } EN 16	} EN 19 ... } } EN 24	} EN 27 ... } } EN 32	ZÄHLERGEBNIS
487					

Tabelle 21: Struktur der Daten von I1a, High-Data-Mode und große Blocklänge.

High-Data-Mode und kleine Blocklänge

SENSOR 1a

WORT-Nr.	KANAL				BEDEUTUNG
	HDM 1	HDM 2	HDM 3	HDM 4	
96	EL 2	}	}	}	ZÄHLERGEBNIS
97	EL 3				
98	EL 4				
99	EL 5 } Az 5				
100	EL 6				
101	EL 7				
102	EL 2 } EN 1				
...	...				
107	EL 7 } Az 6				
108	EL 2 Az 7				
...	...				
137	EL 7 Az 11				
138	EL 2 Az 5 } EN 2				
...	...				
179	EL 7 Az 11				
180	EL 2 Az 5 EN 3	EN 11	EN 19	EN 27	
...	...				
431	EL 7 Az 11 EN 8	EN 16	EN 24	EN 32	ZÄHLERGEBNIS

Tabelle 22: Struktur der Daten von I1a,
High-Data-Mode und kleine Blocklänge.

Normal-Data-Mode

SENSOR 3

WORT-Nr.	KANAL			BEDEUTUNG
208	EL (x-2)	}	Az (y-2)	ZÄHLERGEBNIS
209	EL (x-1)			
210	EL (x)			
211	EL (x+1)			
212	EL (x+2)			
213	EL (x-2)	}	Az (y-1)	
214	EL (x-1)			
215	EL (x)			
216	EL (x+1)	}	F (z-2), M3	
217	EL (x+2)			
218	EL (x-2)			
222	EL (x+2)			
223	EL (x-2)			
227	EL (x+2)	}	Az (y+1)	
228	EL (x-2)			
232	EL (x+2)			
233	EL (x-2)	}	Az (y+2)	
257	EL (x+2)			
258	EL (x-2)			
432	EL (x+2)	}	Az (y-2)	F (z-1), M3
		}	Az (y-2)	F (z), M3
		}	Az (y+2)	F (z+6), M3
				ZÄHLERGEBNIS

LEGENDE: EK (x) = MAXIMUMELEVATIONSKANAL
 Az (y) = MAXIMUMAZIMUTKANAL
 F (z) = MAXIMUMFREQUENZ-(GESCHWINDIGKEITS)KANAL
 M = MASSENKANALNUMMER

Tabelle 23: Struktur der Daten von I3, Normal-Data-Mode.

High-Data-Mode und große Blocklänge

SENSOR 3

WORT-Nr.	KANAL				BEDEUTUNG
	HDM 1	HDM 2	HDM 3	HDM 4	
96	EL 2				ZÄHLERGEBNIS
97	EL 3				
98	EL 4				
99	EL 5 } Az 5				
100	EL 6				
101	EL 7				
102	EL 8 } F1, M3	F9, M3	F(1-16), M1	F(1-16), M9	
103	EL 2				
	... } Az 6				
109	EL 8				
110	EL 2 } Az 7				
	... } ...				
144	EL 8 } Az 11				
145	EL 2 } Az 5	F10, M3	F(1-16), M2	F(1-16), M10	
	... } F2, M3				
193	EL 8 } Az 11				
194	EL 2 } Az 5	F11, M3	F(1-16), M3	F(1-16), M11	
	... } F3, M3				
487	EL 8 } Az 11	F16, M3	F(1-16), M8	F(1-16), M16	
	... } F8, M3				
					ZÄHLERGEBNIS

LEGENDE: F(1-16) = FREQUENZKANAL GEMÄSS HDM-ZÄHLER SENSOR 3
(GESCHWINDIGKEITSKANALZÄHLER)

Tabelle 24: Struktur der Daten von I3,
High-Data-Mode und große Blocklänge.

High-Data-Mode und kleine Blocklänge

SENSOR 3

WORT-Nr.	KANAL				BEDEUTUNG								
	HDM 1	HDM 2	HDM 3	HDM 4									
96	EL 2	}	}	}	ZÄHLERGEBNIS								
97	EL 3												
98	EL 4					Az 5							
99	EL 5												
100	EL 6												
101	EL 7												
102	EL 2					F1, M3	F 9, M3	F(1-16), M1	F(1-16), M9				
...	...					Az 6							
107	EL 7												
108	EL 2					Az 7							
...							
137	EL 7					Az 11							
138	EL 2					Az 5	}	}					
...							
179	EL 7					Az 11				F2, M3	F 10, M3	F(1-16), M2	F(1-16), M10
180	EL 2					Az 5				F3, M3	F 11, M3	F(1-16), M3	F(1-16), M11
...							
431	EL 7	Az 11	F8, M3	F 16, M3	F(1-16), M8	F(1-16), M16	ZÄHLERGEBNIS						

LEGENDE: F(1-16) = FREQUENZKANAL GEMÄSS HDM-ZÄHLER SENSOR 3
(GESCHWINDIGKEITSKANALZÄHLER)

Tabelle 25: Struktur der Daten von I3,
High-Data-Mode und kleine Blocklänge.

Vorlaufworte

Jedes EDF beginnt mit einem Satz von 15 8-Bit-Worten, die neben einigen Codeworten eine Reihe von Informationen über den Betriebszustand des ganzen Experiments enthalten. Die Codeworte heißen

L L L L 0 0 0 0 .

Dieses Muster ist leicht zu erkennen und wird in der Tat bei jeder Form von Datenauswertung zur Identifizierung der EDF-Anfänge benutzt. Wollte man ein Codewort als Zählrate interpretieren und dekodieren, würde sich dies Bitmuster als illegal erweisen.

Die Bedeutung aller Vorlaufworte geht aus den Tabellen 26 und 27 hervor. Im Testzyklus haben die letzten 5 Worte eine andere Bedeutung; insbesondere macht die Vertauschung der Codeworte Testzyklen leicht kenntlich.

Einige Anmerkungen zu den Tabellen 26 und 27

- Zur Sicherheit wird die Maximumsadresse zweimal übertragen.

Das hilft nicht viel. Bei Datenausfällen sind fast immer ganze Telemetrierahmen betroffen, von E1 also mindestens 14 Worte (siehe Tabelle 11). Heute würden wir uns ein Duplikat der Vorlaufworte in der Mitte eines jeden EDF wünschen.

- Die S/C-Time bezieht sich auf den ersten Meßkanal des betreffenden Spektrums. Somit kann jeder Meßwert auf 2^{-3} s, d.h. $1/8$ s genau eingeordnet werden.

Das war bei der Identifizierung einiger Schockereignisse sehr hilfreich. Aber unzureichend ist die "Größe" der Uhr mit 2^{12} s: Alle 68 min 16 s fängt sie von vorne an zu zählen. Damit ist sie für die Einordnung der Daten, die während Stationslücken in den Bordspeicher geschrieben wurden, unbrauchbar. Eine Erweiterung der Zeitworte um 8 bit wäre vorteilhaft gewesen.

- Wort 5 / Bit 1 zeigt, ob die Energie und Azimutkanäle verschoben sind (MV) oder nicht (KV).
- Die Vorlaufworte lassen nichts über den Schaltzustand der Channeltrons erkennen.

Dadurch wird die Datenauswertung etwas erschwert, vor allem bei den im Perihel häufigen Umschaltungen zwischen I1a und I3, die auch eine Umschaltung der Channeltronspannungen erfordern. Von 4,1 kV nach 3,3 kV kommt man nur über ein "Reset"-kommando, das die CEM-HV zuerst auf Null setzt. Es kann also geschehen, daß mitten in einem Meßzyklus bis zum Wiedereinschalten kurzzeitig alle Zählraten Null sind, ohne daß der Grund leicht erkennbar wird. Denn auch die Housekeepingdaten, aus denen die CEM-HV zu erkennen wären, werden nur in größeren Abständen abgefragt. Eine weitere Schwierigkeit ergibt sich daraus, daß auch die Instrumente mitten im Meßzyklus umgeschaltet werden. Wünschenswert wäre deshalb eine Verzögerung der Umschaltung bis zum Ende des laufenden Meßzyklus sowie auch ein neuer Satz von Kontrollworten am Ende jeder Messung.

WISSENSCHAFTLICHER ZYKLUS		TESTZYKLUS	
WORT-Nr.	BEDEUTUNG	WORT-Nr.	BEDEUTUNG
1	CODEWORT	1	CODEWORT
2	S/C TIME WORT 1	2	S/C TIME WORT 1
3	S/C TIME WORT 2	3	S/C TIME WORT 2
4	CODEWORT	4	CODEWORT
5	MAXIMUM REGISTER 1	5	MAXIMUM REGISTER 1
6	MAXIMUM REGISTER 2	6	MAXIMUM REGISTER 2
7	CODEWORT	7	CODEWORT
8	PROGRAMM-WORT 1	8	PROGRAMM-WORT 1
9	PROGRAMM-WORT 2	9	PROGRAMM-WORT 2
10	CODEWORT	10	CODEWORT
11	MAXIMUM REGISTER 1	11	CODEWORT
12	MAXIMUM REGISTER 2	12	CODEWORT
13	CODEWORT	13	ZUFALLSGENERATOR WORT 1
14	CODEWORT	14	ZUFALLSGENERATOR WORT 2
15	CODEWORT	15	CODEWORT

Tabelle 26: Aufbau der Vorlaufworte

Wort Nr. 1

Codewort

Bit 1	L
Bit 2	L
Bit 3	L
Bit 4	L
Bit 5	Ø
Bit 6	Ø
Bit 7	Ø
Bit 8	Ø

Wort Nr. 2

S/C-Time Wort 1

Bit 1	2^{12}	sec
Bit 2	2^{11}	sec
Bit 3	2^{10}	sec
Bit 4	2^9	sec
Bit 5	2^8	sec
Bit 6	2^7	sec
Bit 7	2^6	sec
Bit 8	2^5	sec

Wort Nr. 3

S/C-Time Wort 2

Bit 1	2^4	sec
Bit 2	2^3	sec
Bit 3	2^2	sec
Bit 4	2^1	sec
Bit 5	2^0	sec
Bit 6	2^1	sec
Bit 7	2^2	sec
Bit 8	2^{-3}	sec

Tabelle 27: Bedeutung der Vorlaufworte (Wort 1 mit 3)

Wort Nr. 4

Codewort

wie Wort Nr. 1

Wort Nr. 5

Maximum-Register Wort 1

Bit 1	Ø = KV, L = MV	Verschiebung	
Bit 2	Ø	konstante Null	
Bit 3	Ø = NDM, L = HDM	Data Mode	
Bit 4	ENR B1	} Maximumadresse Energie (ØØØØ = EN1)	Energiekanal B2 ⁴
Bit 5	ENR B2		Energiekanal B2 ³
Bit 6	ENR B3		Energiekanal B2 ²
Bit 7	ENR B4		Energiekanal B2 ¹
Bit 8	ENR B5		Energiekanal B2 ⁰

Wort Nr. 6

Maximum-Register Wort 2

Bit 1	ELR B1	} Maximumadresse Elevation (ØØØL = EL1)	Elevationskanal B2 ³
Bit 2	ELR B2		Elevationskanal B2 ²
Bit 3	ELR B3		Elevationskanal B2 ¹
Bit 4	ELR B4		
Bit 5	AZR B1	} Maximumadresse Azimuth (ØØØØ = AZ1)	Azimuthkanal B2 ³
Bit 6	AZR B2		Azimuthkanal B2 ²
Bit 7	AZR B3		Azimuthkanal B2 ¹
Bit 8	AZR B4		Azimuthkanal B2 ⁰

Tabelle 27 (Fortsetzung): Bedeutung der Vorlaufworte
(Wort 4 mit 6)

Wort Nr. 7

Codewort
wie Wort Nr. 1

Wort Nr. 8

Programm-Wort 1

Bit 1	∅ = Sp 2, L = Sp 1	Auslesespeichernummer
Bit 2	∅	konstante Null
Bit 3	ENZ B1	} HDM-Blocknummer HDM 2 ¹ (∅∅ = HDM1) HDM 2 ⁰
Bit 4	ENZ B2	
Bit 5	HDMZS3 B1	} HDM-Massenka- 2 ³ nalzähler 2 ²
Bit 6	HDMZS3 B2	
Bit 7	HDMZS3 B3	} Sensor 3 2 ¹ (∅∅∅∅ = MK 1) 2 ⁰
Bit 8	HDMZS3	

Wort Nr. 9

Programm-Wort 2

Bit 1	L = S1A on, ∅ = off	Sensor 1a ein/aus
Bit 2	L = S1B on, ∅ = off	Sensor 1b ein/aus
Bit 3	L = S2 on, ∅ = off	Sensor 2 ein/aus
Bit 4	L = S3 on, ∅ = off	Sensor 3 ein/aus
Bit 5	L = D1 on, ∅ = off	Digitalelekt. 1 ein/aus
Bit 6	L = D2 on, ∅ = off	Digitalelekt. 2 ein/aus
Bit 7	L = AVL off, ∅ = on	Vorhaltewinkelverschiebung ein/aus
Bit 8	L = S2A, ∅ = S2B	Programmart Sensor 2

Tabelle 27 (Fortsetzung): Bedeutung der Vorlaufworte
(Wort 7 mit 9)

Wort Nr. 10

Codewort
wie Wort Nr. 1

Wort Nr. 11 bei wissenschaftlichem Zyklus

Maximum-Register Wort 1
wie Wort Nr. 5

Wort Nr. 11 bei Testzyklus

Codewort
wie Wort Nr. 1

Wort Nr. 12 bei wissenschaftlichem Zyklus

Maximum-Register Wort 2
wie Wort Nr. 6

Wort Nr. 12 bei Testzyklus

Codewort
wie Wort Nr. 1

Wort Nr. 13 bei wissenschaftlichem Zyklus

Codewort
wie Wort Nr. 1

Tabelle 27 (Fortsetzung): Bedeutung der Vorlaufworte
(Wort 10 mit 13)

Wort Nr. 13 bei Testzyklus

Zufallsgenerator Wort 1

Bit 1	∅	konstante Null	
Bit 2	ELZG B1	} Zufallsgenerator Elevationskanal (000 = E1 1)	2 ²
Bit 3	ELZG B2		2 ¹
Bit 4	ELZG B3		2 ⁰
Bit 5	AZZG B1	} Zufallsgenerator Azimuthkanal (0000 = Az1)	2 ³
Bit 6	AZZG B2		2 ²
Bit 7	AZZG B3		2 ¹
Bit 8	AZZG B4		2 ⁰

Wort Nr. 14 bei wissenschaftlichem Zyklus

Codewort

wie Wort Nr. 1

Wort Nr. 14 bei Testzyklus

Zufallsgenerator Wort 2

Bit 1	L = Tc2, ∅ = Tc1	Testzyklusnummer	
Bit 2	∅	Konstante Null	
Bit 3	∅	Konstante Null	
Bit 4	ENZG B1	} Zufallsgenerator Energiekanal (0000 = EN1)	2 ⁴
Bit 5	ENZG B2		2 ³
Bit 6	ENZG B3		2 ²
Bit 7	ENZG B4		2 ¹
Bit 8	ENZG B5		2 ⁰

Wort Nr. 15

Codewort

Wie Wort Nr. 1

Tabelle 27 (Fortsetzung): Bedeutung der Vorlaufworte
(Wort 13 mit 15)

Kommandos und Überprüfung der Ausführung

Der Betrieb der Instrumente wird durch Telemetrikommandos vom Missionskontrollzentrum aus ferngesteuert. Die Ausführung der Kommandos sowie andere wichtige Funktionen werden mit Hilfe von "Housekeeping"-Daten am Bildschirm von der Missionskontrolle laufend überwacht. Darüberhinaus erlaubt ein durch Kommando einschaltbarer automatischer Testzyklus ("Inflighttest") eine genaue Prüfung des Zustands der Instrumente.

Telemetrikommandos

Es stehen 19 Kommandos auf getrennten Leitungen vom Satelliten als sog. "low-power-commands" zur Verfügung.

Neben dem Ein- und Ausschalten des gesamten Experimentes, werden alle Umschaltungen der einzelnen Instrumente, der Digitalelektroniken, der Channeltronhochspannungen und der Meßprogramme mit Hilfe dieser Kommandos durchgeführt.

In Tabelle 28 sind die Kommandos aufgeführt. Die Kommandonummern und -namen (z.B. 374-1SOF) sind die im Missionsbetrieb benutzten Bezeichnungen.

Einige Kommandos werden sofort nach Eintreffen ausgeführt, andere aber erst nach Beendigung des laufenden Meßzyklus (durch X gekennzeichnet).

Mit Kommando 004-E10N wird vom Sondensystem die 28 V-Stromversorgung für E1 angeschaltet. Dadurch wird der Main Converter angeworfen und das ganze Experiment in einen betriebsbereiten Zustand versetzt, und zwar durch die automatische Ausführung aller Kommandos, die in Tabelle 30 durch "Zwang" markiert sind. Es sind also alle Instrumente sowie die Digitalelektroniken und auch die Channeltronhochspannungen ausgeschaltet. Die beiden Speicher sind schon aktiv und können ausgelesen werden. Solange aber keine Digital-elektronik läuft, arbeitet auch die Speicher- und Programmsteuerung nicht. Deshalb wird in diesem Zustand immer wieder derselbe Speicher ausgelesen.

Dadurch entstanden manchmal Mißverständnisse. Nach dem Einschalten mit Kommando 004-E10N enthalten die Speicher meistens erkennbar wertlose Information - sie waren ja vorher stromlos gewesen. Wenn jedoch der normale Betrieb von E1 durch Kommando 374-1SOF abgebrochen wird, erscheint von da an immer wieder der letzte sinnvolle Meßzyklus. Dieser

NR.	KOMMANDO-NR.	FUNKTION	ZWANG	AUSFÜHRUNG	VERIFIKATION (DHK)	RÜCKSETZEN DURCH KOMMANDO-NR.
1	003-1S1A	I1a on, I3 off		direkt	W2 B5, B6	4; 7
2	024-1S1B	I1b on		direkt	W2 B4	7
3	353-1SE2	I2 on		direkt	W2 B3	7
4	045-1SE3	I3 on, I1a off		direkt	W2 B6, B5	1; 7
5	066-1DE1	Dig. 1 on, Dig. 2 off		direkt	W2 B7, B8	6; 7
6	311-1DE2	Dig. 2 on, Dig. 1 off		direkt	W2 B8, B7	5; 7
7	374-1S0F	All off	Zwang	direkt		
8	332-1TCY	Tc on (autom. reset)		X	W1 B3	7; autom.
9	107-1V11	CEM HV 1a/3 I		direkt		(9);7
10	270-1V12	CEM HV 1a/3 II		direkt	W1 B5, B6	10; 7
11	151-1V1R	CEM HV 1a/3 off	Zwang	direkt	XX	9; 10
12	172-1V21	CEM HV 2 I		direkt	W1 B7, B8	(13);10
13	205-1V22	CEM HV 2 II		direkt	XX	12; 7
14	226-1V2R	CEM HV 2 off	Zwang	direkt		12;13
15	122-1HDM	High-Data-Mode		X	W1 B1	16; 7
16	213-1NDM	Normal-Data-Mode	Zwang	X		15
17	234-1PGA	I2A Programm		X	W1 B2	18; 7
18	247-1PGB	I2B Programm	Zwang	X		17
19	130-1AVL	Perine1/Azim. (HELIOS-2)		direkt	W1 B4	7
		SONDEN-KOMMANDOS				
	004-E10N	E1 on		direkt		
	277-E10F	E1 off		direkt		

Tabelle 28: E1-Kommandoliste

läßt für sich allein betrachtet nicht erkennen, daß alles längst abgeschaltet ist, denn alle Codeworte, Statusbits und Zählraten sind scheinbar in Ordnung.

Erst das Kommando 066-1DE1 oder 311-1DE2 sorgt dafür, daß auch die Speichereinlesung arbeitet. Deshalb werden erst dann - solange noch keine Instrumente laufen - Nullen erzeugt und so die wertlosen Speicherreste gelöscht. Ab jetzt werden auch die Codeworte, Zeitworte und Statusbits des Vorlaufs richtig gesetzt und man kann erkennen, was wirklich ein- oder ausgeschaltet ist.

Das Kommando 130-1AVL hat bei HELIOS 1 keine Funktion. Bei HELIOS 2 dient es zur Umschaltung des Vorhaltewinkels in die Perihelstellung. Es kann leider nur durch 374-1SOF wieder zurückgenommen werden.

Die Instrumente können nicht einzeln sondern nur gemeinsam mit 374-1SOF abgeschaltet werden.

Das erwies sich als ungeschickt. In der Spätphase der Mission müssen aus Leistungsgründen zeitweilig einzelne Instrumente ausgeschaltet werden. Daß dabei auch die jeweils nicht betroffenen Instrumente sowie die Digitalelektroniken mit ausgeschaltet und dann erst wieder eingeschaltet werden müssen, erhöht sicher das Risiko.

Je drei Kommandos besorgen die Schaltung der Channeltronhochspannungen. Mit Kommando 107-1V11 (bzw. 172-1V21) wird die CEM-HV auf 3,3 kV gesetzt. Erst dann kann man mit 270-1V12 (bzw. 205-1V22) auf 3,7 kV hochschalten. 4,1 kV werden durch nochmaliges Senden von 107-1V11 (bzw. 172-1V21) erreicht. Direktes Herunterschalten auf 3,3 oder 3,7 kV ist nicht möglich. Dazu muß mit 151-1V1R (bzw. 226-1V2R) auf Null und dann erneut hochgeschaltet werden.

Die CEM-HV-Kommandos sind wirkungslos, wenn nicht auch die entsprechenden Sensoren eingeschaltet sind. Bei Umschaltung von I1a nach I3 oder umgekehrt wird automatisch auch die jeweilige CEM-HV mit an- oder abgeschaltet.

Die Kommandos 234-1PGA und 247-1PGB steuern das Meßprogramm von I2. Das wirkt sich jedoch nur im NDM aus, weil im HDM ohnehin immer beide Programmteile übertragen werden.

Digitale Housekeeping-Kanäle (DHK)

Die Digitalen Housekeeping-Kanäle dienen zur Überwachung der Kommandoausführung in den Instrumenten. Es stehen 4 Worte mit je 8 Bit zur Verfügung, die mit 4 Leitungen parallel dem Sondensystem angeboten, von der Telemetrie bitseriell übernommen und in das Format 4 (Engineering-Format) subkommutiert werden. Dort heißen sie B016 bis B019. B016 und B017 stellen den Stand des Kommandoregisters dar (d.h. sie zeigen, ob gesendete Kommandos am Experiment angekommen sind). Die Worte B018 und B019 lassen erkennen, ob das Experiment die Kommandos ausgeführt hat. In Tabelle 29 ist die Bedeutung aller Bits aufgeschlüsselt. Jedes Bit hat ein Acronym als "Namen", das die Erkennung erleichtert. Diese Namen erscheinen auch auf den Bildschirmen des Missionskontrollzentrums, wo die Funktion aller Einheiten routinemäßig überwacht wird.

Analoge Housekeeping-Kanäle

Es gibt neun Kanäle zur analogen Messung von Eingangsströmen (bei Sensoren und Elektroniken, Worte B020 bis B023, C020, C021) und von den CEM-Hochspannungen (Worte C022 bis C024). Die einzelnen gemessenen Daten sind in Tabelle 30 dargestellt. Auch diese Daten werden von der Elektronikbox auf getrennten Leitungen dem Satelliten übergeben, wo sie ebenfalls in bestimmten Zeitintervallen abgefragt und in die "Engineering-Daten" des FM4 eingereiht werden.

Ferner werden an allen 4 Geräten Temperaturen mit Thermistoren gemessen. Die Analogwerte dieser Thermistoren werden auf zusätzlichen Leitungen an die Telemetrie des Satelliten übergeben und dort weiter verarbeitet. Die digitalen und analogen Housekeepingdaten sowie die Temperaturen werden - je nach Mode - etwa jeden zweiten Meßzyklus übertragen.

S/C Wd Nr.	Bit Nr.	Acronym	Meaning													
B016	1	NORMDM	Normal Data Mode (0)													
	2	I2PROA	I2 Program A (L)													
	3	CREGTC	Testcycle on (L)													
	4	I1BLIM	No meaning													
	5	I13CEM	CEM HV I1A/3 I	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td>0</td><td>L</td><td>0</td><td>L</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>L</td><td>L</td></tr> <tr><td>0</td><td>3.7</td><td>3.7</td><td>4.1</td></tr> </table>	0	L	0	L	0	0	L	L	0	3.7	3.7	4.1
	0		L		0	L										
	0	0	L	L												
	0	3.7	3.7	4.1												
6	CEM HV I1A/3 II															
7	I2HCEM	CEM HV I2 I	[kV]													
8		CEM HV I2 II														
B017	1	CREGM2	Memory 2 on (L)													
	2	ZERO	Must be zero													
	3	CREGI2	I2 on (L)													
	4	CREGIB	I1b on (L)													
	5	CREGIA	I1a on (L)													
	6	CREGI3	I3 on (L)													
	7	CREGD1	D1 on (L)													
	8	CREGD2	D2 on (L)													
B018	1	ENCHAN	Number of energy channel <table style="display: inline-table; vertical-align: middle; margin-left: 10px;"> <tr><td rowspan="5" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td><td>2⁴</td></tr> <tr><td>2³</td></tr> <tr><td>2²</td></tr> <tr><td>2¹</td></tr> <tr><td>2⁰</td></tr> </table>	}	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰							
	}				2 ⁴											
					2 ³											
					2 ²											
					2 ¹											
		2 ⁰														
	2															
	3															
4																
5																
6	STATTC	Testcycle on (L)														
7	STATC2	Testcycle Part 2 (L)														
8	PRENDS	Program end signal (L)														
B019	1	STATIA	I1a on (L)													
	2	STATIB	I1b on (L)													
	3	STATI2	I2 on (L)													
	4	STATI3	I3 on (L)													
	5	STATD1	D1 on (L)													
	6	STATD2	D2 on (L)													
	7	CONPOW	Power for CMD-register on (L)													
	8	STATM1	Memory 1 on (L)													

Tabelle 29: Digitale Housekeeping Daten (DHK)

Bild 23 zeigt ein Beispiel für die praktische Verwendung der Housekeepingdaten bei der Missionskontrolle. Hier wird am Bildschirm überwacht, ob Ströme, Spannungen oder Temperaturen sich innerhalb erlaubter Grenzen bewegen. Das Überschreiten von "soft limits" - markiert durch ein S+ oder S- hinter dem Zahlenwert - ist meistens noch unkritisch. Die beiden S+ in Bild 23 etwa sind lediglich auf etwas zu enge Bereichsangaben zurückzuführen. Wenn Überschreitungen von "hard limits" durch H+ oder H- gemeldet werden, bedeutet das für die Missionskontrolle den Alarmfall, der sofortige Klärung durch die Betroffenen erfordert. Außerdem wird mit diesem Bildschirmformat das Eintreffen von Kommandos verifiziert und deren Ausführung überwacht.

In der Praxis haben wir wenig Nutzen aus den Analog-Housekeeping-Daten ziehen können. Das liegt zum Teil natürlich daran, daß nie kritische Phasen oder gar Ausfälle auftraten. Zum anderen aber sind die Werte nicht repräsentativ genug. Denn die Stromaufnahmen z.B. schwanken während des Meßzyklus recht stark, aufgrund der veränderlichen Plattenspannungen, so daß zufällige Momentaufnahmen kaum Aussagekraft besitzen.

Testzyklus (Inflight-Test)

Der Testzyklus soll Auskunft geben über den technischen Zustand des gesamten Experimentes. Dieser Testzyklus besteht aus zwei aufeinanderfolgenden Teilen und wird anstelle von Meßzyklen ausgeführt. Das Experiment verbleibt dabei in dem vorher bestehenden Einschaltzustand.

Der Testzyklus wird mit dem Kommando 332-1TCY gestartet. Die Kommandorückstellung erfolgt automatisch nach Beendigung des zweiten Teils.

Die Erklärung des Ablaufs eines Testzyklus erfolgt am zweckmäßigsten anhand eines praktischen Beispiels. Die Bilder 24 und 25 zeigen einen in Echtzeit im Missionskontrollzentrum erzeugten Papierausdruck eines Testzyklus im NDM. Alle notwendigen Erklärungen dazu findet man in den Anmerkungen. Im HDM sieht ein Testzyklus entsprechend verändert aus.

KANAL-Nr.	ACRONYM	LEITUNG	BEDEUTUNG
1	CURRIA	ASE SA +	Eingangsstrom Sensor 1a
2	CURRIB	ASE SB +	Eingangsstrom Sensor 1b
3	CURRI2	ASE S2 +	Eingangsstrom Sensor 2
4	CURRI3	ASE S3 +	Eingangsstrom Sensor 3
5	CURRD1	ASE E1 +	Eingangsstrom Digitalelektronik 1
6	CURRD2	ASE E2 +	Eingangsstrom Digitalelektronik 2
7	CEMI1A	ASE V1 +	Channeltronhochspannung Sensor 1a
8	CEMHI2	ASE V2 +	Channeltronhochspannung Sensor 2
9	CEMHI3	ASE V3 +	Channeltronhochspannung Sensor 3

Tabelle 30: Analoge Housekeeping-Kanäle
 Das least significant bit bedeutet 20 mV.
 Diese Spannungen sind direkt proportional
 den zu messenden Strömen und Spannungen.

```

H-91 DSS-63 77 105 07:53:00 FORMAT 13: PAYLOAD1-E1
  B/R:2048   FM 1      DM 3-0                      FN: 103

CURRIA MA +.1360E+01          STATUS   E1PWR   ON
CURRIB MA +.1240E+01
CURRI2 MA +.9800E+00          CREGM2  ON    STATM1  ON
CURRI3 MA +.4000E-01          ZERO    0     CONPOW  ON
CURRD1 MA +.3120E+01          CREGI2  ON    STATI2  ON
CURRD2 MA +.0000E+00          CREGIB  ON    STATIB  ON
CEMI1A KV +.4080E+01 S+      CREGIA  ON    STATIA  ON
CEMHI2 KV +.3640E+01          CREGI3  OFF   STATI3  OFF
CEMHI3 KV +.2800E+00 S+      CREGD1  ON    STATD1  ON
ENCHAN      25                CREGD2  OFF   STATD2  OFF

TEMPERATURES
E1ELEC  C +.1295E+02          NORMDM  HIG    STATTC  OFF
E1SEN1  C +.1540E+02          I2PROA  B     STATC2  OFF
E1SEN2  C +.2700E+02          CREGTC  OFF   PRENDS  OFF
E1SEN3  C +.1540E+02          AZSHFT  PER
                                      I13CEM  4.1
                                      I2HCEM  3.7
    
```

Bild 23: Darstellung der digitalen und analogen Housekeepingdaten von E1 im Bildschirmformat der Missionskontrolle.

H-90 DSS--67 RO 187 06:40:49 p/r 128 FM 2 FHT 216 I1B-ON WS IS-OFF ①

STATUS: TCI NDM TIME 0 00:42:12.457 MEM2 01-ON 02-OFF I1A-ON I2-ON

INITIAL DATA: W1-2 11110000 10011110 01000111 11110000 10001000 01001010 11110000 00001000 ①

W2-15 11101010 11110000 11110000 00001011 00001111 11110000

I1R EM1-16 544 640 736 894 922 1152 1344 1536 1792 2048 2304 2608 3200 3584 4096 4864 ②

EM17-32 5632 6656 7680 8704 10240 11776 13824 15872 18432 20480 24576 27672 32768 36864 43008 51200

I1A INTER. EM11-16 272 320 368 416 470 544 640 736 864 992 1152 1344 1536 1792 2048 2432 ③

EM17-32 2616 3200 3712 4352 4864 5632 6656 7680 8704 10240 11776 13824 15872 18432 21504 24576

I2R A21 0 0 100 150 200 272 384 544 768 1088 1472 2048 2944 4096 5888 8192

A22 0 72 100 150 200 272 384 544 768 1088 1472 2048 2944 4096 5888 8192

A23 11 72 100 150 200 272 384 544 768 1088 1472 2048 2944 4096 5888 8192

A24 0 0 100 150 200 272 384 544 768 1088 1472 2048 2944 4096 5888 8192

A26 50 68 100 144 200 272 384 544 768 1088 1472 2048 2944 4096 5888 8192

A27 50 72 100 150 200 272 384 544 768 1088 1472 2048 2944 4096 5888 8192

A28 50 72 100 150 200 272 384 544 768 1088 1472 2048 2944 4096 5888 8192

I1A/S TASK AT: EN9 EL2 EL3 EL4 4711 EL5 EL6 EL7 ZENTRAKT: EUI6 EUS AZ12 ⑦

EN9 EL2 EL3 EL4 EL5 EL6 EL7 EN9 EL2 EL3 EL4 EL5 EL6 EL7 EN9 EL2 EL3 EL4 EL5 EL6 EL7

A20 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536

A21 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536

A22 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536

A23 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536

A24 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536

A26 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536

A27 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536

A28 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536

A20 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536

A21 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536

A22 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536

A23 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536

A24 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536

A26 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536

A27 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536

A28 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536 1536

MIN GC=4

Bild 24: Inflight-Test im NDM, erster Teil (Erklärungen auf S. 117).

Bild 24 Inflight-Test im NDM, erster Teil

- (1) Der Status von E1 für diesen TC wird aus den 15 Vorlaufworten ("Initial data") dekodiert (siehe Tabelle 27).
- (2) Diese Zählraten sind den Plattenspannungen von I1b proportional.
- (3) dasselbe für I1a. Falls I3 statt I1a läuft, gilt die Kodierung gemäß Tabelle 32.
- (4) dasselbe für I2.
- (5) Im NDM liegt wegen der zu langen Umschaltzeit von dem Niederenergiebereich A zum Hochenergiebereich B in den ersten 4 AZ-Kanälen noch nicht die richtige Spannung an.
- (6) Ähnliches gilt für EN25 bei AZ1 und AZ2. Diese Kanäle sind also bei der Datenauswertung wegzulassen. Im HDM tritt dieses Problem nicht auf, da vor EN17 bzw. EN25 jeweils (mindestens) 2 s Pause sind; denn für jeden HDM-Block von 8 EN-Kanälen stehen 10 Umdrehungen zur Verfügung.
- (7) ZGMax gibt die von einem Zufallsgenerator erfundene Adresse eines Kanals im I1a/I3-Raster an, in den jetzt eine erhöhte Frequenz eingespeist wird. So wird der Maximumsucher, der diese künstliche Maximum finden muß, getestet, und auch die entsprechende Verschiebung des Meßrasters im Gesamtraster. Die Adresse dieses künstlich erzeugten Maximums steht in den Worten 13 und 14 des Vorlaufs (siehe Tabelle 27). Die Kodierung der Adresse ist für I1a und I3 unterschiedlich (Tabellen 31 und 32).
- (8) Dies sind die 5 x 5 x 5 Kanäle von I1a/I3, die hier mit einer festen Frequenz belegt werden, so daß die Funktion der Zähler getestet werden kann. Würde ZGMax zufällig in dieses Raster fallen, wäre an dieser Stelle eine Zählrate von 3072 zu sehen, eben das künstliche Maximum.

Bild 25 Inflight-Test im NDM, zweiter Teil

- (1) Von EN1 bis EN16 wird hier der Zähler von I1b mit Hilfe einer Testfrequenz getestet.
- (2) Von EN 17 bis EN32 wird das Elektrometer mit einer Testladung beaufschlagt, so daß die Konstanz der Quantisierungseinheit (1000 Ladungen) im Flug überprüft werden kann (siehe auch Bild 23).
- (3) Hier wird der I1a-Integrationszähler mit einer Festfrequenz getestet.
- (4) Bei EN15 - das ist an der Stelle des künstlichen Maximums - wird die Zählrate des CCO's angezeigt, die dem Ausgangsstrom des zu testenden CEMs (hier von CEM6 entsprechend ZGMax) von I1a/I3 entspricht.
- (5) In den ersten vier Umdrehungen (EN17 - 20) wird auch der I2-Zähler mit einer Festfrequenz getestet.
- (6) Danach wird wieder das CEM von I2 an den Zähler gehängt und das UV-Glimmlämpchen angeschaltet. Die Plattenspannung ist dabei abgeschaltet.

Im Flug zeigte sich, daß offenbar doch noch gewisse Restspannungen (von ein paar mV) an den Platten liegen, so daß Sonnenwind-Elektronen eindringen können. Nur so ist zu erklären, daß eine deutliche Abhängigkeit der Testzählrate vom AZ-Kanal zu beobachten ist, ganz ähnlich, wie sie im niedrigsten EN-Kanal auftreten. Das erschwert etwas die Auswertung des Testzyklus. Diese Restspannung steigt jede Umdrehung etwas an. Dies wiederholt sich alle 8 Umdrehungen, entsprechend der in 4 Achtergruppen unterteilten Plattenspannungserzeugung. Deshalb entsprechen die Zählraten in den Kanälen EN21-24 ziemlich genau denen von EN29-32.

- (7) Ab hier wird die Schwelle des CEM-Verstärkers vom normalen Wert von 5×10^5 für den Rest des Tests auf 1×10^7 Ladungen angehoben. Wenn die Testzählraten bei beiden Schwellen etwa gleich sind, beweist das, daß das CEM noch ausreichende Verstärkung hat. Wenn bei erhöh-

ter Schwelle die Zählraten niedriger sind, heißt das, daß ein Teil der Pulse weniger als 10^7 Ladungen enthält. Dann ist Vorsicht geboten, und es empfiehlt sich, die CEM-Spannung anzuheben. Im vorliegenden Fall finden wir: Die Summe aller counts von EN21 bis EN24 ist 39936, die vergleichbare Summe von EN29 bis EN32 ist 31872, also um 25 % niedriger. Dies Ergebnis dürfte etwas verfälscht sein durch zeitliche Schwankungen der Intensität des UV-Lämpchens und den nicht genau bekannten Einfluß der Plasmaelektronen. Langzeittrends sind so jedenfalls genau genug zu erkennen.

- (8) Der Maximumsucher hat das künstliche Maximum also wirklich erkannt.
- (9) Auch in I1a/I3 brennt jetzt das UV-Lämpchen, und die Plattenspannungen sind abgehängt. Die Zählraten sind unterschiedlich in den einzelnen EL-Kanälen, weil die Ausleuchtung der Channeltrons durch das UV-Lämpchen nicht gleichmäßig ist.
- (10) An der ZGMax-Adresse wird eine Festfrequenz eingegeben. Die mittlere Zählrate des betreffenden Channeltrons (hier 268) zusammen mit der CCO-Zahl 10752 ergibt gemäß der Formel von S. 134 die mittlere Verstärkung $\bar{G} = 1.248 \times 10^6 \times 10752/268 = 5.0 \times 10^7$.

ENERGIE EN ZG

(Vorlaufwort 14,
bit 4 - 8)

BIT					BEDEUTUNG
B1	B2	B3	B4	B5	
∅	∅	∅	∅	∅	EN-Kanal 1
∅	∅	∅	∅	L	EN-Kanal 2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
L	L	L	L	L	EN-Kanal 32

AZIMUT Az ZG

(Vorlaufwort 13,
bit 5 - 8)

BIT				BEDEUTUNG
B1	B2	B3	B4	
∅	∅	∅	∅	Az-Kanal 1
∅	∅	∅	L	Az-Kanal 2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
L	L	L	L	Az-Kanal 32

ELEVATION EL ZG

(Vorlaufwort 13
bit 2 - 4)

BIT			BEDEUTUNG
B1	B2	B3	
∅	∅	∅	EL-Kanal 5
∅	∅	L	EL-Kanal 2
∅	L	∅	EL-Kanal 3
∅	L	L	EL-Kanal 4
L	∅	∅	EL-Kanal 5
L	∅	L	EL-Kanal 6
L	L	∅	EL-Kanal 7
L	L	L	EL-Kanal 8

Tabelle 31: Dekodierung des Zufallsgenerators für I1a

AZIMUT Az ZG

(Vorlaufwort 13
bit 5 - 8)

BIT				BEDEUTUNG
B1	B2	B3	B4	
∅	∅	∅	∅	Az-Kanal 1
∅	∅	∅	L	Az-Kanal 2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
L	L	L	L	Az-Kanal 32

ELEVATION EL ZG

(Vorlaufwort 13
bit 2 - 4)

BIT			BEDEUTUNG
B1	B2	B3	
∅	∅	∅	EL-Kanal 5
∅	∅	L	EL-Kanal 2
∅	L	∅	EL-Kanal 3
∅	L	L	EL-Kanal 4
L	∅	∅	EL-Kanal 5
L	∅	L	EL-Kanal 6
L	L	∅	EL-Kanal 7
L	L	L	EL-Kanal 8

FREQUENZ

Da bei Sensor 3 die Energiekanäle durch Frequenzkanäle ersetzt werden und ein Maximum nur in den ersten 16 Kanälen gesucht wird, wird der betreffende Frequenzkanal nach der nebenstehenden Tabelle dekodiert:

(Vorlaufwort 6
bit 1 - 3 und
Vorlaufwort 5
bit 7)

EL-ZG		EN ZG		ZUSAMMENSETZUNG
B1	B2	B3	B4	
B1	B2	B3	B4	BEDEUTUNG
∅	∅	∅	∅	F 1
∅	∅	∅	L	F 2
∅	∅	L	∅	F 3
∅	∅	L	L	F 4
∅	L	∅	∅	F 5
∅	L	∅	L	F 6
∅	L	L	∅	F 7
∅	L	L	L	F 8
L	∅	∅	∅	F 9
L	∅	∅	L	F 10
L	∅	L	∅	F 11
L	∅	L	L	F 12
L	L	∅	∅	F 13
L	L	∅	L	F 14
L	L	L	∅	F 15
L	L	L	L	F 16

Tabelle 32: Dekodierung des Zufallsgenerators für Sensor 3

Testzyklen dienten auch schon vor dem Start zur genauen Kontrolle der Funktion des gesamten Experiments. Bei Qualifikations- und Abnahmetests auf Experimentebene wurden die vier Boxen jeder E1-Einheit zusammenschaltet, wie später in der Sonde. Deren Aufgaben, wie Stromversorgung, Sonnenpuls, verschiedene Telemetriepulse, Datenübernahme, Housekeepingworte etc., wurden von einem speziellen Testgerät übernommen. Hier überwachte ein Kleinrechner die erzeugten Daten und meldete unzulässige Abweichungen von den Sollwerten. Der Rechner simulierte außerdem Kommandos, die das Experiment nach und nach in die verschiedensten Schaltzustände versetzte, in denen es dann getestet wurde. Ein ganz ähnliches Testprogramm wurde auch stets mit dem in die Sonde integrierten Experiment durchgeführt. Bei diesen Systemtests wurde das Testprogramm vom "HELIOS Test Set" (HTS) gesteuert und ausgewertet.

Nach dem Start wurde zunächst ein ähnliches Testprogramm kommandiert, wie bei den Funktionstests am Boden. Seitdem wird im Routinebetrieb nur noch einmal pro Tag ein Testzyklus kommandiert, in Echtzeit als Papiausdruck aufgezeichnet, dann mit der Post verschickt und "von Hand" ausgewertet.

Das reicht völlig aus; eine Umstellung auf Bandaufzeichnung und Rechnerauswertung war einige Zeit geplant, dann wieder fallen gelassen worden. Nach wie vor ist das scharfe Auge eines versierten Kenners der Instrumente unersetzlich ...

5. Beschreibung einiger wichtiger Baugruppen

Channeltronverstärker

Die Channeltronverstärker sind ladungsempfindliche Verstärker, die innerhalb gewisser Grenzen unabhängig von der am Eingang vorhandenen Streukapazität eine der Ladung proportionale Spannung am Ausgang abgeben. Die Channeltronverstärker (siehe Bild 26) besitzen am Eingang eine Schutzschaltung, die bei evtl. Hochspannungsüberschlägen am Channeltron eine Beschädigung der Eingangsstufe verhindern. Danach folgt der Ladungsverstärker,

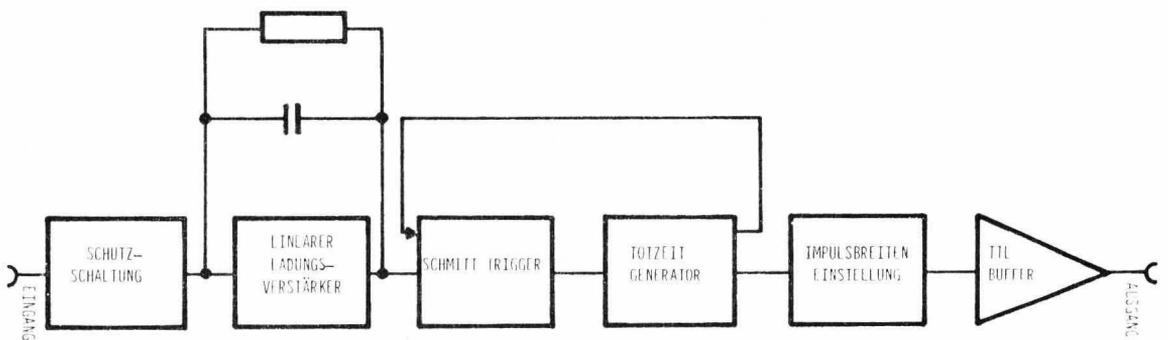


Bild 26: Channeltronverstärker, Blockschaltbild

an dessen Rückführungskapazität ein Widerstand parallel geschaltet ist. Die Zeitkonstante ist für die höchste Zählfrequenz von 2 MHz ausgelegt.

Die nachfolgende Schaltung ist ein Schwellendiskriminator, der die Eingangsempfindlichkeit festlegt. Sie beträgt einheitlich 8×10^{-14} As, entsprechend einer minimalen Verstärkung der Channeltrons von 5×10^5 . Mit der nachfolgenden Totzeitstufe wird der Eingang des Diskriminators für eine bestimmte Zeit - die sog. "Totzeit" - blockiert. Diese sollte bei allen Verstärkern 5×10^{-7} s \pm 10 % betragen. Die nachfolgende Impulsformstufe sorgt für eine definierte Ausgangsimpulsbreite bei unterschiedlicher Höhe der Ladungsimpulse. Die nachfolgende TTL-Anpaßschaltung schließlich sorgt für die erforderliche Entkopplung sowie die TTL-Kompatibilität der Ausgangsimpulse.

Beim Entwurf des Verstärkers war neben hoher Schwellenkonstanz und Temperaturkonstanz der Zeitkonstanten besonderes Augenmerk auf eine hohe Übersteuerungsfestigkeit zu richten, da die Schaltung, solange volle Channeltronverstärkung vorhanden ist, erheblich übersteuert wird.

Leider erfüllte der Verstärker nicht alle an ihn gestellten Anforderungen. Die Totzeit würden wir uns jetzt noch kürzer wünschen. Denn in einigen extremen Fällen war bis zu 75 % der Meßzeit einzelner Kanäle durch Totzeit blockiert, so daß eine Hochrechnung auf die wirklichen Teilchenflüsse nur ungenau sein kann. Zwar wurde die Totzeit der Verstärker mit Hilfe künstlicher Pulse aus Pulsgeneratoren vermessen und eingestellt. Diese Werte wurden bei der Eichung im realistischen Zusammenwirken von Analysator, Channeltron, Verstärkern und Zählern auch kontrolliert. Heute erscheint uns aber eine noch genauere Messung im fertigen Instrument wünschenswert, wobei auch ein möglicher Temperaturgang sowie der Einfluß veränderter Channeltronverstärkung - beides tritt im Laufe der Mission ein - untersucht werden sollten.

Elektrometer

Das Blockschaltbild des Elektrometers ist in Bild 27 dargestellt. Wie daraus ersichtlich, gliedert sich die Schaltung in zwei Teile: den eigentlichen Elektrometerverstärker und eine Quantisierungseinrichtung auf der Basis eines CCO (current controlled oscillator).

Der vom Auffänger kommende Signalstrom fließt zum Eingang des Elektrometerverstärkers und gleicht sich dort mit dem über den Gegenkopplungswiderstand zugeführten Strom aus. Proportional zu der je nach Größe des Eingangstromes entstehenden Ausgangsspannung fließt ein entsprechender Strom in den Integrator. Überschreitet die Ausgangsspannung des Integrators einen Schwellwert des Diskriminators, so spricht der Quantisierer an und gibt eine in einem Kondensator gespeicherte gegenpolige Ladung in den Integrator, welche die Ausgangsspannung des Integrators auf null zurücksetzt. Zugleich mit der Betätigung des Quantisierers wird am Ausgang ein Impuls erzeugt, der einem Zähler zugeführt wurde. Die jedem Ausgangsimpuls zugeordnete Quantisierungseinheit QE beträgt $1,6 \cdot 10^{-16}$ Asec, das sind 1000 Elementarladungen.

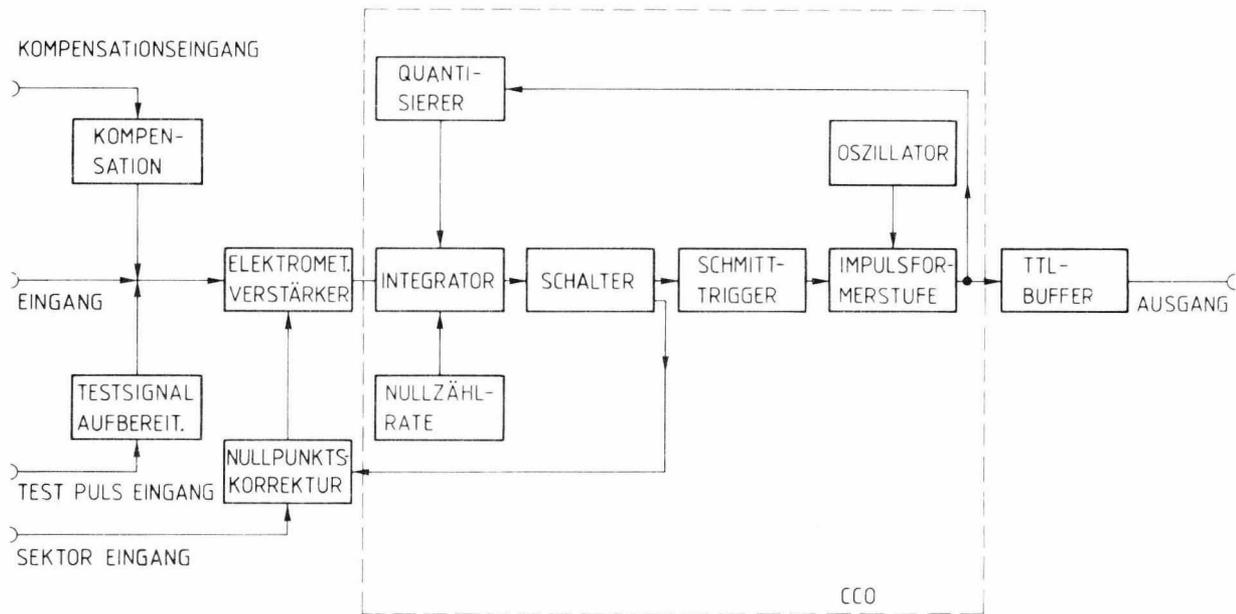


Bild 27: Elektrometer für I1b, Blockschalbild

Bei einer logarithmischen Ergebnisdarstellung, wie sie hier angewendet werden muß, stört eine größere Fehleinströmung, auch wenn sie zeitlich konstant ist, da kleine Meßgrößen dann nicht mehr zu erkennen sind. Aus diesem Grunde ist eine sog. "Nullpunktskorrektur" vorgesehen. Dabei wird die Tatsache ausgenützt, daß nur während etwa einer halben Sondenumdrehung gemessen wird, während in der übrigen Zeit keine Teilchen auf den Auffänger gelangen, da aus der der Sonne abgewandten Richtung keine Teilchen in den Analysator eintreten. In dieser Phase zwingt eine über den Schalter eingeschaltete zusätzliche Gegenkopplung den Verstärkerausgang auf Null. Die damit dem zweiten Verstärkereingang zugeführte Korrekturspannung bleibt durch die Speichereigenschaft des Kondensators auch während der nachfolgenden Meßphase wirksam.

Die Kalibrierung des Elektrometers ist mit Hilfe einer linear ansteigenden Spannung über einen Kondensator als konstante Einströmung in den Verstärkereingang möglich und erzeugt somit am Ausgang eine bestimmte Zählrate. Da ein gewisser kapazitiver Durchgriff der an den Analysatorplatten an-

liegenden Plattenspannung auf den Auffänger nicht zu vermeiden ist, wird über den Kompensationseingang der invertierte und gedämpfte Verlauf der Analysatorspannung angelegt. Damit wird die beim Schalten der Plattenspannung am Auffänger erzeugte Ladung kompensiert.

Um eine Integration über das Verstärkerrauschen zu erreichen - insbesondere bei kleinen Zählraten - wird am Elektrometer eine sog. Nullzählrate von ca. 20 pro Meßkanal eingestellt.

Das Elektrometer arbeitet in gewissem Sinne ähnlich wie ein Kondensatormikrofon: Vor dem Ionenauffänger muß ein Gitter mit negativem Potential gespannt sein, das Sekundärelektronen zum Auffänger zurücktreibt. Wenn dieses Gitter mechanisch erschüttert wird, koppelt es kapazitiv auf den Auffänger und täuscht Ladungen vor. Das ist hier natürlich nicht erwünscht. Als aber bald nach dem Start von HELIOS 1 der Motor für die Hochgewinnantenne in Gang gesetzt wurde, "hörte" I1b leider sehr deutlich den offenbar durch Lagerreibung entstehenden Körperschall: Die eingestellte Nullzählrate von 22 Counts, die vorher im Mittel nur um 1 - 2 Counts schwankte, sprang nun zwischen 5 und 40 Counts. Später ging diese Streuung zwar etwas zurück, aber es blieb eine Unsicherheit für jeden Meßwert von etwa ± 5 Counts. Das bedeutet nichts anderes als eine Reduzierung der Empfindlichkeit, und zwar etwa um einen Faktor 5. Für HELIOS 2 wurden in aller Eile noch einige Veränderungen am I1b-Verstärker vorgenommen. Die Schwankung der Zählraten beträgt hier weniger als 1 Count. Dadurch kann die hohe Empfindlichkeit des Elektrometers von I1b voll ausgenutzt werden.

Für die Größe der im Inflight-Test eingespeisten Testladung war vom Hersteller eine Temperaturabhängigkeit gemessen worden. Im Flug zeigte sich aber, daß nicht die eingekoppelte Testladung mit steigender Temperatur abnimmt, sondern die Empfindlichkeit des Verstärkers. Das ergibt sich aus dem Vergleich der gemessenen Plasmadichten von I1a und I1b. Das Teilchen zählende Instrument I1a hat natürlich keinen Temperaturgang. Deshalb kann aus dem Verhältnis V_D der Dichten, das bei 1 AU den Wert 1 hat und im Perihel bis auf etwa 0,6 absinkt, die

Veränderung der I1b-Empfindlichkeit mit der Temperatur direkt ableiten. Es zeigte sich, daß V_D genau der Veränderung der Testzählrate im Verhältnis zu ihrem Wert bei 1 AU folgt (siehe Bild 28). Da die Testzählrate bei den Inflight-Tests regelmäßig gemessen wird, kann man daraus die tatsächliche Elektrometerempfindlichkeit für I1b leicht ableiten. Deshalb hat diese Schwäche des Instruments keine schwerwiegenden Folgen.

Um diesen Effekt vor dem Start zu finden, hätten wir bei den Temperaturtests außer der Prüfung der technischen Funktion auch realistischen Betrieb mit Teilchen - z.B. an der Eichanlage - durchführen müssen.

Einige Kenndaten des Elektrometers:

- Eingangsempfindlichkeit	: $1,6 \cdot 10^{-15} \text{As}$
- Dynamikbereich	: $1,6 \cdot 10^{-15} \text{As} \dots 4 \cdot 10^{-11} \text{As}$
- Ausgangsfrequenzbereich	: 10 Hz ... 250 kHz
- Quantisierungseinheit (QE)	: $1,6 \cdot 10^{-16} \text{As}$
- Zeitkonstante	: < 60 ms
- Genauigkeit	: $\pm 10 \%$ für Q $1,6 \cdot 10^{-14} \text{As}$: $\pm 8 \%$ für Q $1,6 \cdot 10^{-13} \text{As}$
- Eingestellte Nullzählrate	: 15 - 20 QE/Messung
- Nullpunktskonstanz	: 1 QE

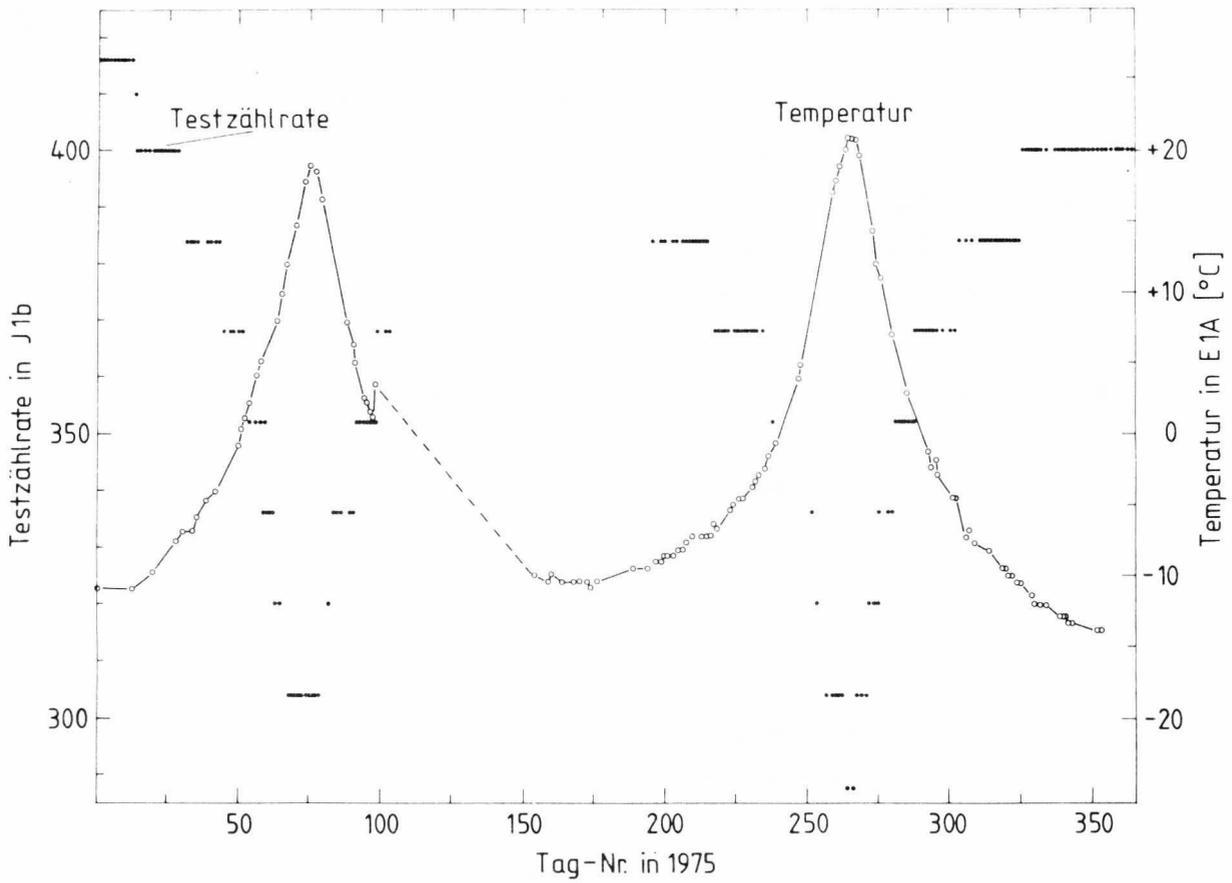


Bild 28: Veränderungen der Testzählraten von I1b, dem Verhältnis der gemessenen Protonendichte von I1a/I1b sowie der I1b-Temperatur während des ersten Missionsjahres von HELIOS 1.

Analysatorhochspannungserzeugung

Diese Hochspannungsgeneratoren arbeiten alle nach dem Prinzip des Operationsverstärkers (siehe Blockschaltbild Bild 29). Die Schaltungsart ist nichtinvertierend. Das bedeutet, daß die Übertragungsfunktion lautet

$$U_a = U_e \cdot \left(1 + \frac{R_f}{R_e}\right).$$

Somit arbeitet die Schaltung folgendermaßen:

Eine Referenzspannung U_e (umschaltbar für die Betriebsfälle "mit Verschiebung" und "ohne Verschiebung") wird über einen Spannungsteiler dem nicht invertierenden Eingang des Differenzverstärkers zugeführt. Der Ausgang betätigt ein Stellglied, welches die Amplitude der Schaltspannung eines Resonanzwandlers regelt. Die sinusförmige Ausgangsspannung wird in einer Vervielfacherkaskade hochtransformiert. Die Ausgangsspannung U_a wird nun über den hochohmigen Widerstand R_f auf den invertierenden Eingang des Differenzverstärkers gegengekoppelt, an dem auch der Einspeisewiderstand nach Masse liegt. Das Schalten der 32 logarithmisch gestuften Ausgangsspannungen erfolgt derart, daß für jeweils eine Gruppe von acht aufeinanderfolgenden Kanälen eine bestimmte Referenzspannung (durch Einschalten eines bestimmten Teilerwiderstandes) angelegt wird. Das bedeutet also:

- U_{e_1} für die Kanäle 1 - 8
- U_{e_2} für die Kanäle 9 - 16
- U_{e_3} für die Kanäle 17 - 24
- U_{e_4} für die Kanäle 25 - 32
- und 0V für 0V Ausgangsspannung.

Die jeweiligen acht Einzelkanäle innerhalb der vier Gruppen werden dadurch eingestellt, daß acht verschiedene Verstärkungen (Umschalten von R_e) eingestellt werden. Dies soll nun an einem Beispiel klar gemacht werden: Es soll z.B. Kanal 12 eingestellt werden. Dazu wird U_{e_2} angelegt und R_e Nr. 4 eingeschaltet. Durch diese Schaltungsart vereinfacht sich der Dekodieraufwand für die Kanäle erheblich, da nur $8 + 3 = 11$ Informationen dekodiert werden müssen, dazu noch eine über "Verschiebung" oder "ohne Verschiebung". Die Spannung U_{e_4} ist die volle Referenzspannung, wodurch ein Schalter gespart wird.

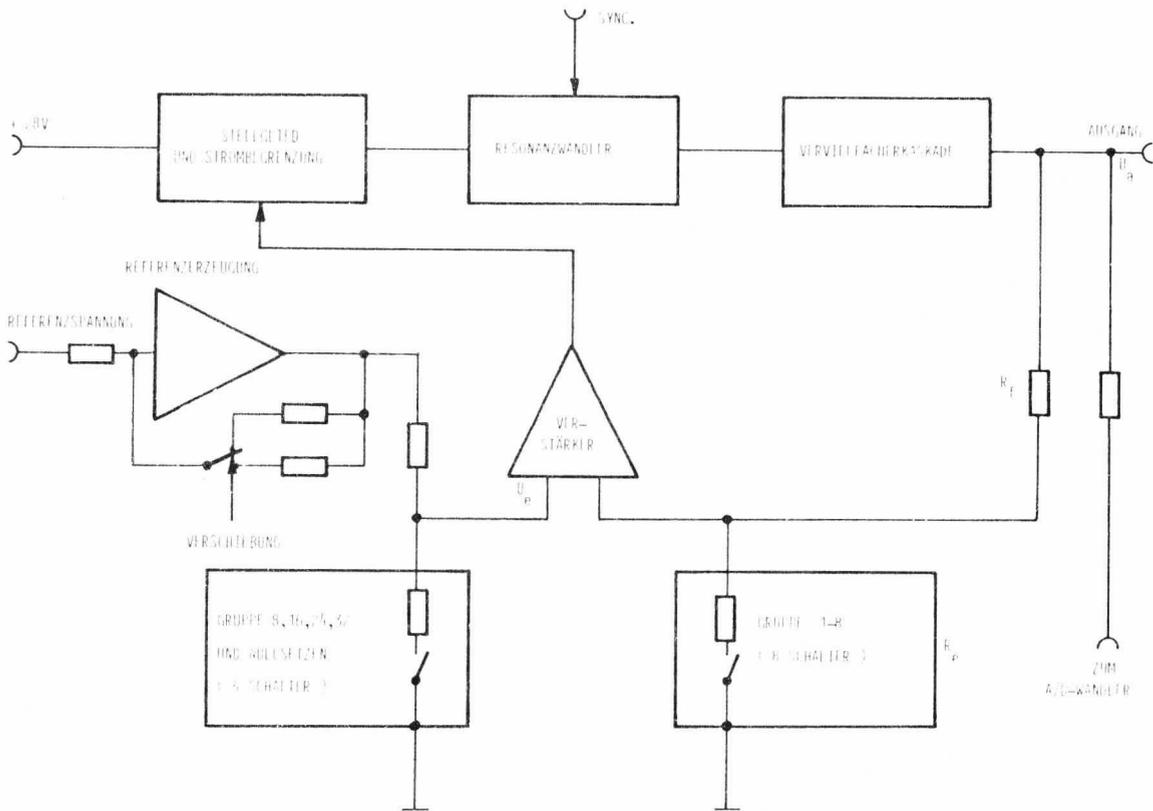


Bild 29: Analysatorhochspannungserzeugung, Blockschaltbild

Als Zerhackerfrequenz und somit Resonanzfrequenz des Kreises wurde 60 kHz gewählt. Bei dieser Frequenz ist die Streukapazität des Übertragers noch genügend klein, ausreichend schnelle Dioden sind verfügbar und die Kapazitäten der Kaskade können klein genug gewählt werden, um einerseits die geforderte Unterdrückung der Restwelligkeit der Ausgangsspannung zu gewährleisten und andererseits ein schnelles Laden und Entladen der Kaskade sicherzustellen. Maßgebend für das Hochfahren der Spannung am Ausgang sind der Ladestrom und die Kaskadenkapazitäten, maßgebend für das Zurücksetzen der Ausgangsspannung vom höchsten zum niedrigsten Wert sind der Rückführwiderstand und die Kaskadenkapazitäten. Im Interesse geringster Stromaufnahme und geringer Schaltstromstöße müssen somit die Kaskadenkapazitäten möglichst klein und der Rückführwiderstand möglichst groß sein. Das Stellglied beinhaltet selbstverständlich eine Strombegrenzung, die den Ladestrom beim Hochfahren der Spannung begrenzt und im Falle eines Kurzschlusses auf der Hochspannungsseite nur einen bestimmten Strom zuläßt.

Einige Kenndaten der Analysatorhochspannungserzeugung:

- 64 Schaltstufen logarithmisch gestuft
- Genauigkeit der Ausgangsspannung : besser 1 %
- Temperaturabhängigkeit der Ausgangsspannung für Sensor 1a und Sensor 2 : $\pm 1 \% \pm 50 \text{ mV}$ (-30°C ./ $+60^{\circ}\text{C}$)
- Temperaturabhängigkeit der Ausgangsspannung bei Sensor I1b : $\pm 1 \% \pm 250\text{mV}$ (-30°C ./ $+60^{\circ}\text{C}$)
- Ausgangsbrummspannung : 2 % ss
- Abfallzeitkonstante von K32 nach K1 : 200 ms
- Settling time : 3 ms

Im Programmteil A von I2 beträgt die maximale Plattenspannung nur 3.33 V (siehe Tabelle 5). Für diese niedrigen Spannungen wird die Referenzspannung direkt übernommen. Dazu wird über ein Relais die HV-Kaskade stillgelegt. Das dafür verwendete Quecksilberfadenrelais hat typische Schaltzeiten von weniger als 100 ms und zeichnet sich vor allem dadurch aus, daß es keinerlei magnetische Komponenten enthält. Dieses Relais besteht aus einer Glaskapillare, in der ein Quecksilberfaden durch Erhitzung eines kleinen Gasvolumens bewegt wird und dadurch Schaltkontakte verbindet oder trennt. Die Rückstellung erfolgt nach Abschaltung des Heizfadens durch Abkühlung des Heizvolumens. Die Abschaltgeschwindigkeit hängt nur vom Grad der Kühlung ab, wofür normalerweise die Luft ausreicht. Für Betrieb im Vakuum muß das Glasröhrchen in eine Metallblechmanschette genau eingepaßt werden. Dies bereitete unerwartete Schwierigkeiten verschiedener Art. Um nur einige in Stichworten zu nennen: Stark wechselnde thermische Belastungen, unsere extremen Anforderungen an Bauteile in Sensorinnenräumen sowie schließlich der plötzliche Tod des Herstellers dieser Relais kurz vor Fertigstellung. Deshalb mußten wir schließlich selbst noch die Endmontage übernehmen. Dabei wurde zur Verbesserung des Wärmeüberganges zwischen Glas und Metall noch ein Indium-Ring gequetscht. In Ruhestellung des Relais läuft I2 in Programmteil B, bei angeschaltetem Heizer in Teil A.

Dies alles wurde deshalb so ausführlich erklärt, um den Teilausfall von I2 auf HELIOS 2 zu erläutern. Hier verschlechterte sich nach ca. 18 Monaten Missionsdauer der beschriebene Wärmeübergang derart, daß die Umschaltung von Programm A nach B d.h. die Abschaltung des Relais immer

langsamer ging. Die Relaisumschaltung erfolgt in jedem Meßzyklus, unabhängig von Meßprogramm und Datenrate. Deshalb fehlten nun in allen Zyklen zunehmend mehr Energiekanäle von Teil B. Schließlich wurde der Kontakt so schlecht, daß der Ruhezustand des Relais wohl überhaupt niemehr erreicht wird. Deshalb läuft seit dieser Zeit (etwa September 77) I2 auf HELIOS-2 nur noch im A-Programm.

Channeltronhochspannungserzeugung

Die Hochspannungen für die Channeltrons werden ganz ähnlich erzeugt wie die für die Analysatoren. Deshalb hier nur einige Kenndaten:

- 4 Schaltstufen	: 0 V; 3,3 kV; 3,7 kV; 4,1 kV
- Genauigkeit	: ± 50 V
- Innenwiderstand	: $1 \text{ M}\Omega$
- Nennlast bei I1a und I3	: $1,6 \cdot 10^8 \Omega$
- Nennlast bei I2	: $1,5 \cdot 10^9 \Omega$
- Temperaturabhängigkeit der Ausgangsspannung bei Nennlast	: $\pm 1 \%$ (-30°C ./ $+60^\circ\text{C}$)
- Ausgangsbrummspannung bei Nennlast	: $1,5 \text{ V}_{\text{SS}}$

Current Controlled Oscillator (CCO) zur Channeltronverstärkungsmessung

Diese Schaltung dient zusammen mit dem Channeltronverstärker während des Inflight-Tests zur Messung der Channeltronverstärkung. Die prinzipielle Arbeitsweise der Verstärkungsmessung ist folgende: Die Ausgangsimpulse eines Channeltrons (von der Eichquelle angeregt) werden einerseits über den Channeltronverstärker registriert und im nachfolgenden Zähler gezählt, andererseits wird der Ladungsinhalt der Channeltronimpulse in eine proportionale Impulsanzahl verwandelt. Die Ladungsimpulse des Channeltrons vom Auffänger werden dazu zunächst als Strom einem Integrator zugeführt, dessen Integrationskondensator, sobald die Ausgangsspannung eine bestimmte Schwell-

1e überschreitet, wieder entleert wird. Gleichzeitig wird am Ausgang ein Impuls erzeugt, der gezählt werden kann. Somit findet also eine Strom-/Frequenzwandlung statt.

Der Zusammenhang zwischen Verstärkung des Channeltrons und dem Eingangsstrom des CCO ist

$$\bar{G} = \frac{i}{e \cdot f_{\text{CEM}}} ,$$

wobei \bar{G} die Channeltronverstärkung, i der erzeugte Strom, e die Elektronenladung ($e = 1,6 \times 10^{-19}$ As) und f_{CEM} die Anzahl der Channeltronimpulse pro Sekunde sind. Die Umwandlung des Stromes i in eine Frequenz f_{CCO} am Ausgang des CCO erfolgt nach der Übertragungskonstante

$$1 \text{ Hz} \hat{=} 5 \text{ pA.}$$

Somit wird

$$\bar{G} = \frac{5 \cdot 10^{-12} \text{ Asec} \cdot f_{\text{CCO}}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Asec} \cdot f_{\text{CEM}}} = 3,12 \times 10^7 \cdot \frac{f_{\text{CCO}}}{f_{\text{CEM}}} .$$

Ersetzt man auf je 1 sec bezogenen Frequenzen durch die beim Inflight-Test auftretenden Zählergebnisse n_{CCO} und n_{CEM} , so lautet die Formel

$$\bar{G} = 1,248 \times 10^6 \cdot \frac{n_{\text{CCO}}}{n_{\text{CEM}}} .$$

Während des Inflight-Tests wird je nach Stand des Zufallsgenerators ein Channeltron der Nummern 2 mit 8 über einen Multiplexer auf den CCO geschaltet. Dieser Multiplexer beinhaltet gleichzeitig noch eine Gleichspannungsbegrenzerschaltung. Die Anschaltung des CCO in Verbindung mit dem Channeltronverstärker zeigt Abbildung Bild 30. Die Temperaturabhängigkeit der Umsetzung von Strom in Frequenz des CCO ist gering ($\sim 4\%$ zwischen -40° und $+50^\circ$ C).

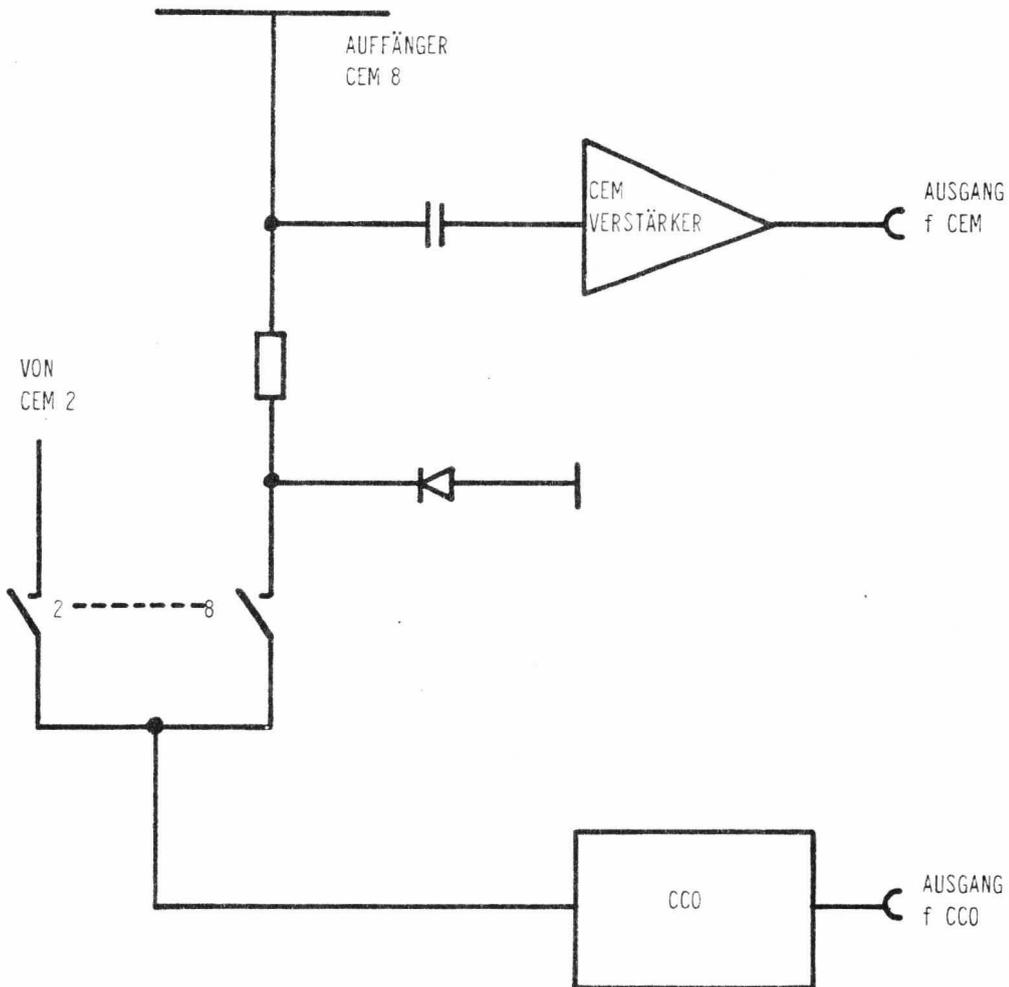


Bild 30: Verstärkungsmessung der Channeltrons

Die Anstrengungen zur Messung der Channeltronverstärkung im Fluge haben sich außerordentlich gelohnt. Erstmals konnte dadurch das Langzeitverhalten von Channeltrons im Weltraum direkt und quantitativ verfolgt werden, während bisher nur indirekte Verfahren zur qualitativen Kontrolle der Funktion üblich waren. Diese Daten können durchaus als wichtiges eigenständiges Ergebnis betrachtet werden, das für zukünftige Experimente von großer Bedeutung ist.

Hochfrequenzgenerator

Die prinzipielle Arbeitsweise des Hochfrequenzgenerators wurde bereits in Kapitel über I3 erläutert. Es soll daher hier nur auf einige wichtige Details eingegangen werden.

In Bild 31 ist das Blockschaltbild des Hochfrequenzgenerators dargestellt. Man erkennt wiederum die beiden ineinandergreifenden Regelkreise

- den Amplitudenregelkreis und
- den Frequenzregelkreis.

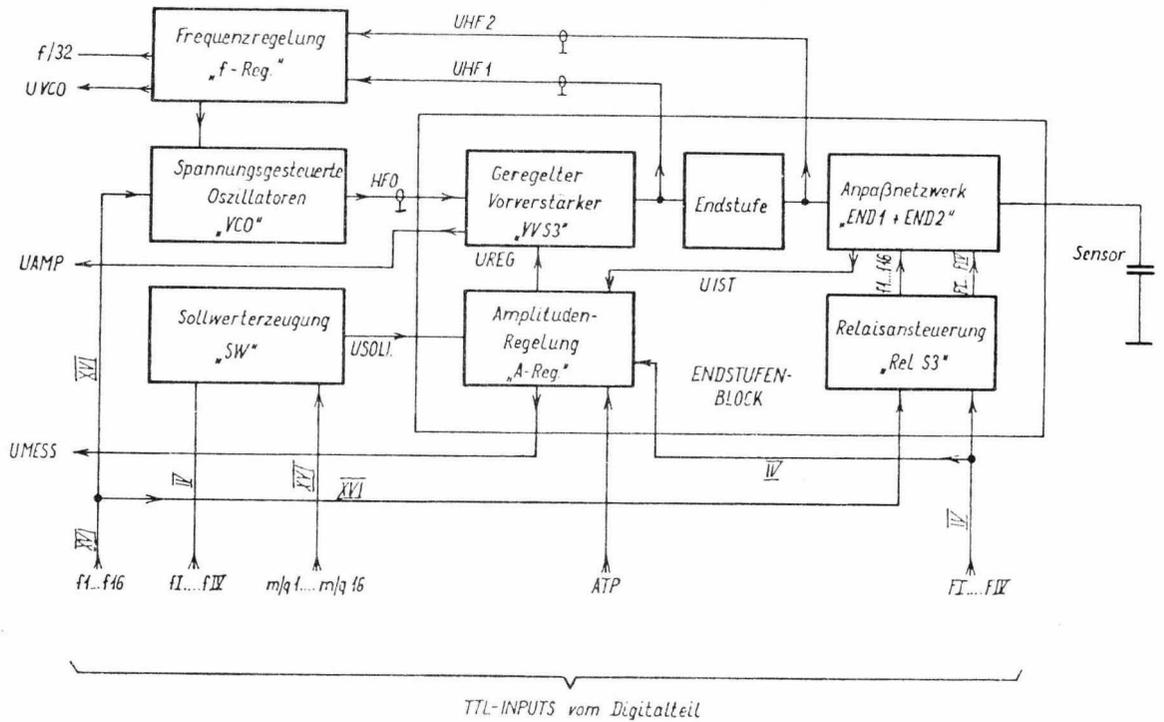


Bild 31: Hochfrequenzgenerator für I3, Blockschaltbild

Der Amplitudenregelkreis erhält seine Referenz von der Sollwertzeugung und besitzt als Stellglied den geregelten Vorverstärker, wo eine Verstärkungsregelung mittels eines FET durchgeführt wird (AGC). Der Frequenzregelkreis erhält seine Referenz von der Resonanzfrequenz der Endstufe und besitzt als

Stellglied 16 spannungsgesteuerte Oszillatoren, an denen die Frequenz mittels einer Kapazitätsdiode nachgestimmt wird.

Ein Verzicht auf die Frequenzregelung war wegen der geforderten Amplitudengenauigkeit von $\pm 1\%$ und der Forderung nach geringster Stromaufnahme nicht möglich (eine geringe Abweichung der Ansteuerfrequenz gegenüber der Resonanzfrequenz der Endstufe erhöht bei der hohen Güte des Endstufenkreises den Stromverbrauch drastisch). Aus dem gleichen Grunde schied die Verwendung von 16 Quarzen aus. Die Verwendung von nur einem VCO für alle 16 Frequenzen war wegen des weiten erforderlichen Frequenzbereiches und der erforderlichen schnellen Einschwingzeit der einzelnen Kanäle nicht möglich. Daher wurden 16 einzelne VCO eingesetzt, die außerdem den Vorteil einer erheblich höheren Zuverlässigkeit aufweisen.

Der Endstufenkreis ist als Serienresonanzkreis, gesteuert vom Endstufen-transistor in Basisschaltung, ausgebildet. Dabei wird als Kondensator die Plattenkapazität benützt und als Induktivität eine Luftspule, die in einem gesonderten Abschirmgehäuse untergebracht ist. Diese Induktivität bestimmt zusammen mit der Plattenkapazität, der Streukapazität, der Abgleichkapazität sowie der Lastkapazität des kapazitiven Ausgangsspannungsteiles die höchste Frequenz. Zur näheren Erläuterung der Frequenzumschaltung und der Gewinnung der Regelspannungen für den Frequenzregelkreis und den Amplitudenregelkreis ist in Bild 32 ein Prinzipschaltbild angegeben. Aus diesem ist ersichtlich, daß die Frequenzeinstellung durch 16 Kapazitäten erfolgt, die der Spule parallel geschaltet werden. Dadurch wird die erforderliche Leistung der Endstufe verringert. Die Regelspannung für die Frequenzregelung wird durch 4 kapazitive Teiler erzeugt. Diese Aufteilung in 4 Gruppen ist notwendig, um den Ausgangsamplitudenbereich der Regelspannung in entsprechenden Grenzen zu halten. Die gleiche Aufteilung in 4 Frequenzgruppen erfolgt auch bei der Gewinnung der Regelspannung für den Amplitudenregelkreis. Es wird dabei jeweils pro Gruppe ein gesonderter kapazitiver Teiler mit Gleichrichtung eingeschaltet, während bei der Frequenzregelung nur ein Teilerkondensator mit dem gleichen Relais eingeschaltet wird. Gleichzeitig legt dieses Relais die Kondensatoren zur Frequenzbestimmung der entsprechenden Vierergruppe am Ausgang an. Um die kapazitive Belastung am Ausgang durch die abgeschalteten Teiler klein zu halten, wird ein Umschaltrelais verwendet, das die nicht eingeschalteten Gruppen an Masse legt. Damit wer-

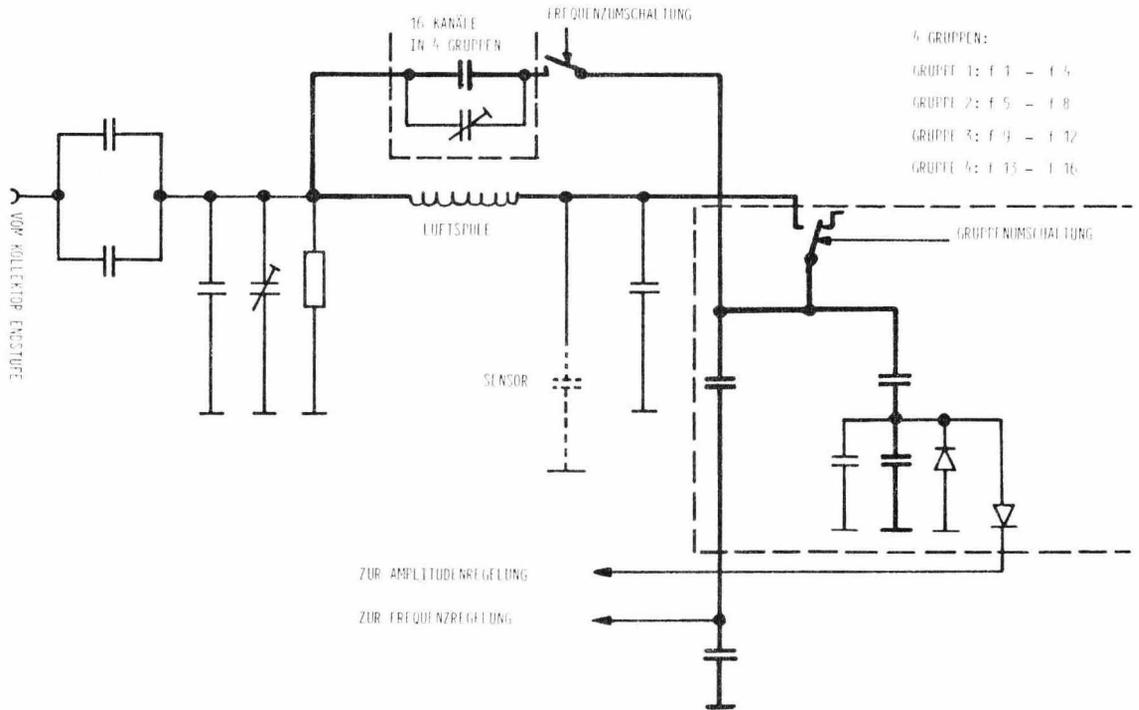


Bild 32: Hochfrequenzgenerator für I3, Endkreis

den gleichzeitig die nicht eingeschalteten Kondensatoren zur Frequenzbestimmung ebenfalls an Masse gelegt. Hier wurden ebenfalls die schon erwähnten Quecksilberrelais verwendet. Der Wärmekontakt wurde hier durch eine normale Zinnlötung verbessert, weil sich diese Relais im Elektronikteil befinden.

Bisher ist noch keines ausgefallen.

Eine weitere wichtige Einrichtung des Hochfrequenzgenerators, die in der Amplitudenregelung untergebracht ist, dient dazu, die Ausgangsspannung während der Frequenzumschaltung auf Null zu halten. Dies ist erforderlich, um die Relais stromlos zu schalten. Gleichzeitig wurde dafür gesorgt, daß die Endstufe nur arbeitet, wenn auch gemessen wird. Dies wirkt sich sowohl auf die mittlere Stromaufnahme wie auch auf das EMC-Verhalten positiv aus. Die Freigabe des HF-Generators wird mit ATP durchgeführt, wobei die Freigabe

so rechtzeitig vor Beginn des ersten Azimutkanals erfolgt, daß der HF-Generator eingeschwingen ist, andererseits aber der Umschaltvorgang der Relais garantiert abgeschlossen ist.

Zur Messung der Frequenz der Ausgangsspannung während des Inflight-Tests wird die Frequenz der ausgekoppelten HF-Spannung um den Faktor 32 geteilt und einem Zähler zugeführt.

Zur Messung der Amplitude der Ausgangsspannung während des Inflight-Tests wird die entkoppelte Regelspannung des Endkreises einem Analog-/Digitalwandler zugeführt.

Die Auskopplung der Amplitudenregelspannung in 4 Frequenzgruppen erleichtert auch die Erzeugung der $16 \times 16 = 256$ Sollspannungen (siehe Tabelle 8). Es werden zunächst aus einer Referenzspannung mittels 16 Schaltern die den 16 M/q-Verhältnissen entsprechenden Spannungen erzeugt. Schaltet man nun diese Referenzspannung mit der Frequenz um, erhält man die erforderlichen Kombinationen. Es sind jedoch nur vier Schalter erforderlich, nämlich für die vier Frequenzen innerhalb der Vierergruppen, da die Umschaltung der Vierergruppen durch die Umschaltung der Ausgangsspannungsteiler erfolgt. Zum besseren Verständnis ist für die im Blockschaltbild Bild 31 verwendeten Bezeichnungen in Tabelle 33 die Dekodierung des Energiekanalzählers angegeben. Diese Dekodierung besorgt noch eine weitere Besonderheit, nämlich den Ausschluß bestimmter Frequenz-M/q-Kombinationen. Da die zulässige Leistungsaufnahme begrenzt ist, können die in Tabelle 8 angegebenen Spannungsamplituden nicht überschritten werden. Die Einrichtung sorgt nun dafür, daß der jeweils letztzulässige M/q-Kanal eingeschaltet bleibt. Es werden also in den nicht zulässigen Kanälen jeweils Messungen in dem letztzulässigen M/q-Kanal durchgeführt.

Einige Kenndaten des Hochfrequenzgenerators:

- Frequenzbereich : 1 MHz ./ 4 MHz
- Anzahl der Kanäle : 16
- Max. Ausgangsspannung (Last = 75 pF) : $720 V_{SS}$
- Anzahl der Spannungskanäle : $16 \times 16 = 256$

EN	m/q	f arab.	f röm.	F röm.	BEMERKUNGEN
1	3	1	I	I	FREQUENZEN VON f 1 BIS f 16 BEI m/q-KANAL 3
2	3	2	II	I	
3	3	3	III	I	
4	3	4	IV	I	
5	3	5	I	II	
6	3	6	II	II	
7	3	7	III	II	
8	3	8	IV	II	
9	3	9	I	III	
10	3	10	II	III	
11	3	11	III	III	
12	3	12	IV	III	
13	3	13	I	IV	
14	3	14	II	IV	
15	3	15	III	IV	
16	3	16	IV	IV	
17	1	6	II	II	FREQUENZ NACH MAXIMUM- REGISTER BEI NDM, NACH HDM-ZÄHLER BEI HDM (ANGENOMMEN f 6) m/q-KANAL VON 1 BIS 16
18	2	6	II	II	
19	3	6	II	II	
20	4	6	II	II	
21	5	6	II	II	
22	6	6	II	II	
23	7	6	II	II	
24	8	6	II	II	
25	9	6	II	II	
26	10	6	II	II	
27	11	6	II	II	
28	12	6	II	II	
29	13	6	II	II	
30	14	6	II	II	
31	15	6	II	II	
32	16	6	II	II	

Tabelle 33: Dekodierung zur Steuerung des Hochfrequenzgenerators für I3

- Einschwingzeit : 30 ms
- Genauigkeit der Ausgangsspannungen : $\pm 1 \%$
- Temperaturabhängigkeit der Ausgangsspannungen : $\pm 1 \%$ (-25°C ./ . $+55^{\circ}\text{C}$)
- Genauigkeit der Frequenzen : $\pm 0,5 \%$
- Temperaturabhängigkeit der Frequenzen : $\pm 0,5 \%$ (-25°C ./ . $+55^{\circ}\text{C}$)
- Oberwellenanteil der Ausgangsspannung : -34 dB gegenüber der Grundwelle

Zähler

Die Zähler sind als 16stufige Binärzähler aufgebaut, deren Öffnungszeit von der Ablaufsteuerung bestimmt wird. Diese steuert ebenfalls die parallele Übergabe der Zählergebnisse in ein Schieberegister, welches seriell ausgelesen wird. Diese Lösung wird zum einen ausgewählt, um den Verdrahtungsaufwand in Grenzen zu halten, zum anderen ist die serielle Übernahme der Zählergebnisse zur Gewinnung einer quasi-logarithmisch komprimierten 8-bit-Darstellung erforderlich.

Die Zähler wurden zur Verringerung des Aufwandes und des Leistungsverbrauches nicht als selbstreduzierende Zähler aufgebaut, sondern es wird ein zentrales Reduzierwerk für alle 12 Zähler verwendet.

Reduzierwerk

Das Reduzierwerk hat die Aufgabe, ein binäres Zählergebnis mit 16 bit in eine Darstellung mit 4-bit-Exponent und 4-bit-Mantisse zu überführen. Dadurch wird die erforderliche Datenübertragungsrate halbiert, bei einer nur geringen Reduzierung der Genauigkeit.

Die Bestimmung des Exponenten erfolgt dadurch, daß bei dem zu reduzierenden 16-bit-Wort vom bit mit der höchsten Wertigkeit aus die Anzahl der Nullen vor der führenden "L" gezählt wird, jedoch nicht über $16-4 = 12$ hinaus. Die Mantisse sind die nächsten der führenden "L" folgenden 4 bit.

Die Dekodierung erfolgt nach der Formel

$$\text{Zählrate} = \begin{cases} (M + 16) \cdot 2^{11-E} & \text{für } E \leq 11 \\ M & \text{für } E = 12 \\ \text{fehlerhaft} & \text{für } E > 12. \end{cases}$$

Die Zahl 17 z.B. wird wie folgt dargestellt:

L Ø L L Ø Ø Ø L

Die Tabelle 34 zeigt die Darstellung aller Zählergebnisse, die auftreten können. Man erkennt daraus, daß bei Zählraten ab 32 die dekodierten Werte im Mittel niedriger liegen werden als die ursprünglichen; z.B. werden die Zahlen 64, 65, 66, 67 alle als 64 kodiert. Bei der Auswertung machen wir daraus den Wert 66, entsprechend der Mitte des Bereichs. Die maximale Abweichung vom wahren Wert beträgt somit im ungünstigsten Fall 3,1 %.

Die technische Realisierung sieht wie folgt aus:

Ist in einem Sektor der Zählvorgang abgeschlossen, bekommt das Steuerwerk des Reduzierwerkes von der Ablaufsteuerung die Anweisung, einen bestimmten Zähler auszuwerten. Dazu wird der Zählerinhalt in das Zählerschieberegister übernommen (anschließend können die Zähler schon zurückgestellt und wieder aufgerufen werden). Nun wird die Information solange verschoben, bis die führende "L" gefunden ist oder nur noch 4 bit nicht geprüft wurden. Dabei wird die Zahl der Verschiebungen im Exponentenzähler gezählt. Jetzt sind 2 Fälle zu unterscheiden:

a) Es wurde eine "L" innerhalb der ersten 12 bit gefunden:

Das Zählerregister wird ein bit weitergeschoben, jedoch nicht der Exponentenzähler. Dadurch wird die führende "L" eliminiert; ihre Existenz und genaue Position hat der Exponentenzähler schon registriert. Nun wird der Stand des binären Exponentenzählers parallel in das Exponentenregister (4 bit) übernommen. Exponentenregister und Zählerregister werden in Serie geschaltet und diese 8 bit dann in das Speichereingangsregister geschoben und abgespeichert. Anschließend kann der Vorgang schon erneut beginnen, falls eine Gruppe von Zählern reduziert werden soll (bei I1a oder I3).

LL000000	0	LOLO0000	32
LL00000L	1	LOLO000L	34
LL0000LO	2	LOLO00LO	36
LL0000LL	3	LOLO00LL	38
LL000LOO	4	LOLO0LOO	40
LL000LOL	5	LOLO0LOL	42
LL000LLO	6	LOLO0LLO	44
LL000LLL	7	LOLO0LLL	46
LL00LOOO	8	LOLOLOOO	48
LL00LOCL	9	LOLOLOCL	50
LL00LOLO	10	LOLOLOLO	52
LL00LOLL	11	LOLOLOLL	54
LL00LLOO	12	LOLOLLOO	56
LL00LLOL	13	LOLOLLOL	58
LL00LLLO	14	LOLOLLLO	60
LL00LLLL	15	LOLOLLLL	62
LOLL0000	16	LOLO0000	64
LOLL000L	17	LOLO000L	68
LOLL00LO	18	LOLO00LO	72
LOLL00LL	19	LOLO00LL	76
LOLL0LOO	20	LOLOLOOO	80
LOLL0LOL	21	LOLOLOCL	84
LOLL0LLO	22	LOLOLOLO	88
LOLL0LLL	23	LOLOLOLL	92
LOLLLOOO	24	LOLOLLOO	96
LOLLLOOL	25	LOLOLLOL	100
LOLLLOLO	26	LOLOLLOLO	104
LOLLLOLL	27	LOLOLLOLL	108
LOLLLLOO	28	LOLOLLOO	112
LOLLLLOL	29	LOLOLLOL	116
LOLLLLOO	30	LOLOLLOO	120
LOLLLLLL	31	LOLOLLLL	124

Tabelle 34: Quasilogarithmische Kompression
(Zahlen 0 - 124)

L0000000	128	OLLO0000	512
L000000L	136	OLLO000L	544
L00000LO	144	OLLO00LO	576
L00000LL	152	OLLO00LL	608
L0000LOO	160	OLLOOLOO	640
L0000LOL	168	OLLOOLOL	672
L0000LLO	176	OLLOOLLO	704
L0000LLL	184	OLLOOLLL	736
L000LOOO	192	OLLOOLOO	768
L000LOOL	200	OLLOOLOL	800
L000LOLO	208	OLLOOLOLO	832
L000LOLL	216	OLLOOLOLL	864
L000LLOO	224	OLLOOLLOO	896
L000LLOL	232	OLLOOLLOL	928
L000L LLO	240	OLLOOL LLO	960
L000LLLL	248	OLLOOLLLL	992
OLLLO000	256	OLOLO0000	1024
OLLLO00L	272	OLOLO000L	1088
OLLLO0LO	288	OLOLO00LO	1152
OLLLO0LL	304	OLOLO00LL	1216
OLLLOLCO	320	OLOLO01CO	1280
OLLLOLOL	336	OLOLO01LO	1344
OLLLOLLO	352	OLOLO01LO	1408
OLLLOLLL	368	OLOLO01LL	1472
OLL LLOOO	384	OLLOLLOOO	1536
OLL LLOOL	400	OLLOLLOOL	1600
OLL LLOLO	416	OLLOLLOLO	1664
OLL LLOLL	432	OLLOLLOLL	1728
OLL L LLOO	448	OLLOL LLOO	1792
OLL L LLOL	464	OLLOL LLOL	1856
OLL L L LLO	480	OLLOL L LLO	1920
OLL L L LLL	496	OLLOL L LLL	1984

Tabelle 34 (Fortsetzung): Quasilogarithmische
Kompression (Zahlen 128 - 1984)

OLOOOOOO	2048	OOLOOOOO	8192
OLOOOOOL	2176	OOLOOOOL	8704
OLOOOOOL	2304	OOLOOOLO	9216
OLOOOOLL	2432	OOLOOOLL	9728
OLOOOOLO	2560	OOLOOOLC	10240
OLOOOOLL	2688	OOLOOOLL	10752
OLCOOOLLO	2816	OOLOOOLLO	11264
OLOOOOLL	2944	OCLOOCLLL	11776
CLOOCLOCO	3072	OOLOLOCOO	12288
OLOOOLCLO	3200	OCLOLOOOL	12800
OLOOOLCLO	3328	COLOLOCLO	13312
OLOOOLLOL	3456	OCLOLOLOL	13824
OLOOLLCOO	3584	OOLOLLCOO	14336
OLOOLLLOL	3712	OCLOLLLOL	14848
OLOOLLLOO	3840	COLOLLLOO	15360
OLOOLLLOL	3968	OCLOLLLOL	15872
OCLLOCOOO	4096	OOOLOCOOO	16384
OCLLOCOOL	4352	OOOLOCOOL	17408
OCLLOCOLO	4608	OOOLOCOLO	18432
OCLLOCOLL	4864	OOOLOCOLL	19456
OCLLOLOCO	5120	OOOLOLOCO	20480
OCLLOLOLO	5376	OOOLOLOLO	21504
OCLLOLLOO	5632	OOOLOLLOO	22528
OCLLOLLOL	5888	OOOLOLLOL	23552
OCLLLOCOO	6144	OOCLLOCOO	24576
OCLLLOCOL	6400	OOCLLOCOL	25600
OCLLLOLOO	6656	OOCLLOLOO	26624
OCLLLOLOL	6912	OOCLLOLOL	27648
OCLLLOLOO	7168	OOCLLLOOO	28672
OCLLLOLOL	7424	OOCLLLOLO	29696
OCLLLOLLO	7680	OOCLLLOLO	30720
OCLLLOLLL	7936	OOCLLLOLL	31744

Tabelle 34 (Fortsetzung): Quasilogarithmische Kompression (Zahlen 2048 - 31744)

00000000	32768
0000000L	34816
000000LO	36864
000000LL	38912
00000LOO	40960
00000LOL	43008
00000LLO	45056
00000LLL	47104
0000LOOO	49152
0000LOOL	51200
0000LOLO	53248
0000LOLL	55296
0000LLOO	57344
0000LLOL	59392
0000LLLO	61440
0000LLLL	63488

Tabelle 34 (Fortsetzung): Quasilogarithmische
Kompression (Zahlen 32768 - 63488)

b) Es wurde keine "L" gefunden:

Dann sind im Zählerregister nur noch vier ungeprüfte bits. Nun wird sofort der Stand des Exponentenzählers (binär 12) in das Exponentenregister übernommen. Anschließend wird analog zu a) verfahren.

Aufgrund der seriellen Reduktion, die sich aus Gründen der einfacheren Verdrahtung und des einfachen Zähleraufbaues anbietet, wird bezüglich der Zuverlässigkeit ein Engpaß geschaffen. Dieses Problem wurde jedoch dadurch gelöst, daß sowohl Zähler als auch Reduzierwerk redundant ausgeführt wurden.

Das maximal mögliche Zählergebnis von 63488 erwies sich als gerade ausreichend. Nur in einigen Fällen im Perihel wurden von I2 Werte von über 50000 erreicht, jedoch nie über 63488. Der volle dynamische Bereich von I2 von über 10^5 (bei so hohen Zählraten spielt die Verstärkertotzeit schon eine wesentliche Rolle) wurde somit voll ausgenutzt.

Speicher

Der Meßzyklus der Sensoren und damit des Experimentes erfolgt spin-synchron, die Übertragung der Meßergebnisse zur Telemetrie dagegen zeitsynchron. Somit ergibt sich eine laufende Verschiebung der Meßzyklen innerhalb des Zeitraumes der Telemetrie. Zum Ausgleich dieser Zeitverschiebung dienen die beiden Experimentspeicher, die je einen ganzen Datenblock aufnehmen. Die Größe des Speichers ist durch die Randbedingungen des Telemetriesystems d.h. die Blocklänge eines Datenrahmens festgelegt:

- Normal-Data-Mode: 432 Worte = 3456 bit
- High-Data-Mode: 504 Worte = 4032 bit

Deshalb wurde eine Speichergröße von 4096 bit pro Speicher ausgewählt.

Während in einem Speicher Meßdaten eingeschrieben werden, wird der andere Speicher von der Telemetrie ausgelesen.

Ursprünglich waren dafür Halbleiterspeicher in COSMOS-Technik vorgesehen, die sich durch äußerst geringen Leistungsverbrauch auszeichnen. Zu dem Zeitpunkt, als aus Termingründen die Ausführung festgelegt werden mußte, war das Qualifikationsverfahren zum Nachweis der Flugtauglichkeit für die COSMOS-Bausteine noch nicht ganz abgeschlossen. Von der Projektleitung wurde entschieden, COSMOS-Logik ganz von der Verwendung auszuschließen. Dies zwang uns unter erheblichen Mehrkosten zur Umstellung auf Kernspeicher sowie Low-Power-TTL-Technik. Dadurch bedingt erhöhte sich auch der Leistungsverbrauch des Plasmaexperiments um ca. 6 W.

Das erwies sich im späteren Verlauf der Mission unerwartet von Vorteil: Wenn bei 1 AE die verfügbare Leistung nicht mehr zum Betrieb der Heizmatten im Zentralteil von HELIOS anreicht, wird E1 in seiner Eigenschaft als Heizofen sehr geschätzt und erfreut sich hoher Priorität...

Die innere Struktur des Speichers ist aus dem Blockschaltbild Bild 33 ersichtlich. Wie in jedem Stromkoinzidenzkernspeicher wird mit Hilfe je eines Halbstromes auf einer X- und einer Y-Auswahlleitung in zeitlicher Koinzidenz die Information aus einem Kern der Speichermatrix gelesen. Dieser Vorgang entspricht gleichzeitig dem Einschreiben einer "0". Zum Einschreiben einer "1" in denselben Kern müssen die gleichen Auswahlleitungen mit je einem Halbstrom der entgegengesetzten Polarität gleichzeitig erregt werden. Beim Lesen wird also der ausgewählte Speicherkern in seinen "0"-Zustand geschaltet. In Abhängigkeit von der gespeicherten Information liefert der Kern ein unterschiedliches Lesesignal, das im Leseverstärker nach Amplitude und zeitlicher Lage abgefragt wird. Das damit digitalisierte Signal wird in einem dem Leseverstärker nachgeschalteten Flipflop gespeichert und steht bis zum nächsten Speicherzyklus am Datenausgang LI zur Verfügung. Soll die gelesene Information noch weiter gespeichert werden, so wird sie in dem unmittelbar auf jedem Lesevorgang ablaufenden Schreibvorgang in dieselbe Speicherzelle wiedereingeschrieben. Statt der gelesenen Information kann wahlweise die am Dateneingang SI liegende Information eingeschrieben werden.

- Legende:
 TA: Taktausgang ¹⁾
 TU: Taktumschaltung ¹⁾
 TE: Takteingang ¹⁾
 UT: Untertakt
 BT: Bitttakt
 BA: Betriebsart ²⁾
 UeB: Übernahmebefehl ²⁾
 LB: Lesebefehl
 SB: Schreibbefehl
 SI: Schreibinformation
 LI: Leseinformation
^{1), 2)} Sonderausführung

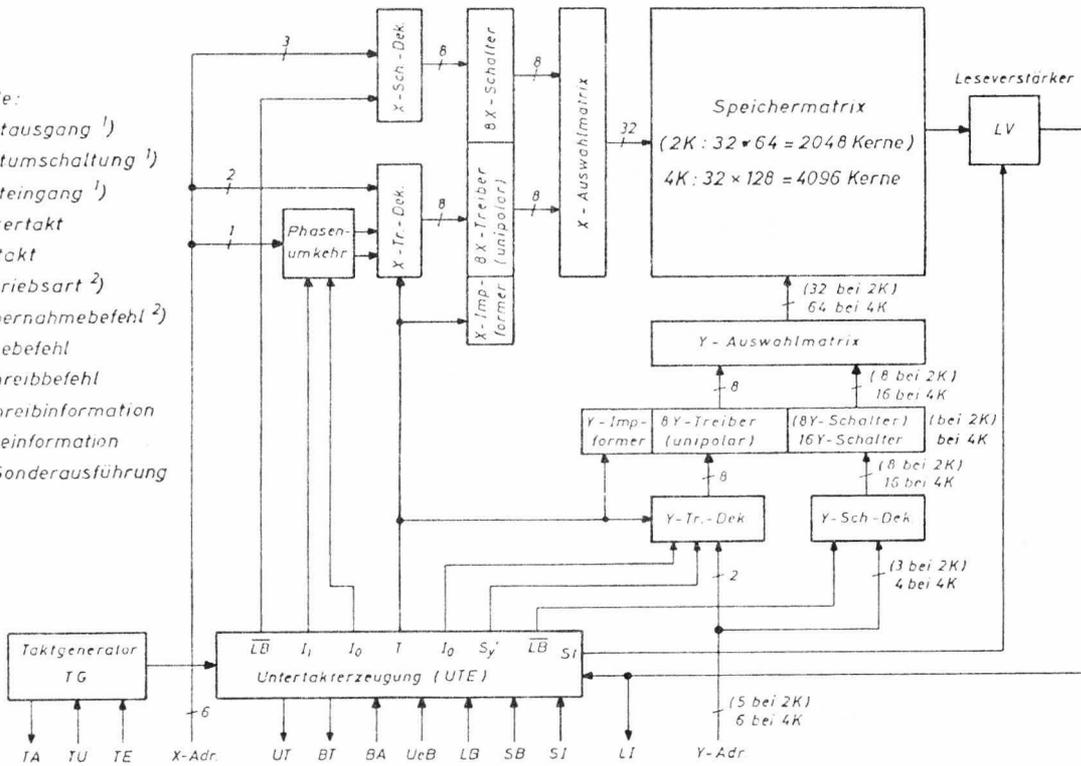


Bild 33: Blockschaltbild der Kernspeicher

Die erforderlichen Stromimpulse werden für jede Koordinate der Speichermatrix von einem der je 8 unipolaren Stromtreibern, die logisch zu je 4 bipolaren Treiberpaaren zusammengefaßt sind, erzeugt und mit Hilfe der 8 bzw. 16 jeweils vorhandenen Schalter über die zugehörige Auswahlmatrix auf die Auswahlleitungen der Speichermatrix verteilt. Die Auswahlmatrizen sind der Stromsteuerung speziell angepaßte Dekodierschaltungen, die zu jeder Treiber-Schalter-Kombination den Treiberstrom mit der festgelegten Polarität in den zugehörigen Auswahldraht der Speichermatrix leiten. Die Ansteuerung der Treiber und Schalter wird über eine Dekodierung der Adresse mit Lp-TTL-Gattern durchgeführt. In diese Dekodierung werden auch die aus der Untertakterzeugung gelieferten Impulse eingespeist, die den richtigen zeitlichen Ablauf des Speicherzyklus bewirken. Um in einer Koordinate die Anzahl der Eingänge von Auswahlleitungen auf die Hälfte zu verringern, arbeitet der Speicher nach dem Prinzip der Phasenumkehr, das

später näher erläutert wird. Die Phasenumkehrsteuerung ist der X-Treiberdekodierung vorgeschaltet.

Damit zwei Speicher an einem Taktgenerator synchron betrieben werden können und die gesamte Datenverarbeitung (Reduzierwerk, Datenübergabe, Speichersteuerung), wird das Ausgangssignal des Taktgenerators ausgegeben. Mit Hilfe der Taktumschaltung TU kann zwischen internem und externem Takt umgeschaltet werden. Genauere Angaben hierüber befinden sich in der Technischen Beschreibung des Kernspeichers mit Betriebs- und Handhabungsanleitung.

Speichersteuerung

Die Speichersteuerung hat während des Einschreibens von Daten mit dem speicherinternen Takt folgende Aufgaben:

- Formatierung der Daten im Speicher
- Aufrufen der entsprechenden Speicherplätze
- Abgabe der Daten an den Speicher

Während des Auslesens eines Speichers durch die Telemetrie hat die Speichersteuerung folgende Aufgaben:

- Serielle Auslesesteuerung der einzelnen Speicherplätze
- Steuerung durch den Telemetrietakt
- Abgabe der Daten an die Telemetrie.

Die Speicherformatierung war für die beiden Datenformate in den Bildern 21 und 22 gezeigt worden. Diese Formate sowie die Bedeutung der einzelnen Daten wurden schon ausführlich erklärt. Das Einschreiben des "Vorlaufes" - das sind allgemeine Daten über den Schaltzustand der Instrumente, Zeitinformation sowie Codeworte - erfolgt durch parallele Datenübernahme und serielle Abgabe an den Speicher im Speichertakt. Dabei wird in den Registern, in denen der Vorlauf gebildet wird, derjenige Wert festgehalten, der vorliegt, wenn der erste Kanal eines Meßzyklus eingeschaltet wird.

Das gilt auch für die S/C-Time. Zur Auswahl der Speicherplätze ist ein Zähler vorgesehen, der die 15 Worte abzählt.

Bezüglich der Daten gibt die Ablaufsteuerung zusammen mit der Programmsteuerung bekannt, von welchem Sensor die gerade anliegenden Daten stammen. Jedem Instrument und dem Integrationszähler ist ein Zähler zugeordnet, aus dessen Stand der entsprechende Speicherplatz ausgewählt wird. Mit jedem eingeschriebenen Wort wird der entsprechende Zähler weitergeschaltet, wobei jedem Zähler ganz bestimmte Speicherplätze zugeordnet sind. Die Aufteilung der Speicherplätze auf die einzelnen Instrumente ist ebenfalls aus den Bildern 21 und 22 ersichtlich. Die Anzahl der Worte ist in den beiden Datenmoden unterschiedlich. Die hierfür erforderliche Zählerlänge und Vorgabe des Wortnummernbereiches wird von der Programmsteuerung durchgeführt.

Beim Auslesen des Speichers werden nun die einzelnen Zähler hintereinandergeschaltet, und mit jedem sog. "Word transfer control pulse" (WTC) wird dieser Gesamtzähler um ein Wort weitergeschaltet. Damit wird der Speicher seriell ausgelesen. Zur Steuerung des Auslesens werden von der Satellitentelemetrie folgende Signale verwendet:

- BTC (Block Transfer Control Signal)

Es sagt, wann die Telemetrie das Auslesen eines Speichers beginnt, und wann sie fertig ist.

- WTC (Word Transfer Control Signal)

Es sagt dasselbe wie oben, nur bezogen auf ein einzelnes 8-bit-Wort. Mit diesem wird die Speichersteuerung geschaltet.

- BSP (Bit Shift Pulse)

Das ist der Datenübergabetakt, mit dem auch die Taktung des Speichers erfolgt.

Maximumsucher und Datensteuerung

Der Maximumsucher ist ein Teil der Programmsteuerung für die datenintensivsten Instrumente I1a bzw. I3.

- Feststellung des Kanales mit der höchsten Zählrate
- Abspeichern der Adresse dieses Kanales
- Auswahl der abzuspeichernden Daten des darauffolgenden Meßzyklus gemäß dieser Adresse

Wenn alle 4608 Zählraten (9 Elevationskanäle, 16 Azimutkanäle, 32 Energiekanäle) einer Messung von I1a oder I3 zur Erde übermittelt werden sollten, würde bei der gegebenen Telemetrierate eine völlig unzureichende zeitliche Auflösung erreicht. Daher wird nur eine bestimmte Auswahl von Daten übertragen, die die wichtigsten Teile eines Spektrums enthält. Dies wird später genau erklärt. Hier zunächst nur die Technik.

Während eines Meßzyklus des Sensors 1a bzw. 3 wird aus sämtlichen Zählergebnissen zunächst das höchste Zählergebnis und die dazugehörige Adresse ermittelt. Diese Adresse dient dann im darauffolgenden Meßzyklus, in dem natürlich wieder die Adresse des Kanals mit der höchsten Zählrate bestimmt wird, zur Auswahl der abzuspeichernden Daten. Sind die drei Koordinaten der Maximumadresse EL (ϵ), AZ (β) und EN (α), so werden dann die Kanäle mit folgenden Adressen abgespeichert:

EL ($\epsilon-2$), EL ($\epsilon-1$), EL (ϵ), EL ($\epsilon+1$), EL ($\epsilon+2$)
also 5 Elevationskanäle

AZ ($\beta-2$), AZ ($\beta-1$), AZ (β), AZ ($\beta+1$), AZ ($\beta+2$)
also 5 Azimutkanäle,

EN ($\alpha-2$), AZ ($\alpha-1$), AZ (α), , AZ ($\alpha+6$)
also 9 Energiekanäle.

Das sind insgesamt nur $5 \times 5 \times 9 = 225$ Worte von den ursprünglichen 4608. Für diejenigen Fälle, in denen die Maximumadresse so nahe am Rand des Meßbereiches liegt, daß nicht der gesamte Übertragungsbereich in den Meßbereich fallen würde, wird der Block so verschoben, daß sein Rand mit dem Rand des Meßbereiches zusammenfällt.

Die Ermittlung der Adresse des Kanals der höchsten Zählrate erfolgt mit einem binären Komparator. In einem Register befindet sich das Zählergebnis, das bisher als größtes ermittelt wurde. In ein zweites Register wird das jeweilige neue Ergebnis geladen. Ist dieses größer, teilt dies der Komparator mit. Dann werden in das sog. Adressenregister (EL, AZ und EN) die Stände der drei Kanalzähler (EL, AZ und EN) geladen. Am Ende eines Meßzyklus wird der Stand dieses Such-Registers in das Arbeitsregister geladen und das Such-Register wieder gelöscht. Dieses letztere sucht nun wieder im nächsten Zyklus die Adresse des Maximumkanals. Das Arbeitsregister wird nun um 2 Takte zurückgezählt und kann damit die Abspeicherung der Daten steuern. Es beginnt also jeweils zwei Kanäle vor dem Maximum. Das jeweilige Ende der Übertragung (5 Takte bei EL, 5 Takte bei AZ und 8 Takte bei EN) sind fest programmiert. Liegen die Adressen zu nahe am Rand (s.o.) so wird, wenn sie am Ende liegen, solange zurückgetaktet bis der letzte Kanal übertragen werden kann; wenn sie am Anfang liegen, wird nur bis Registerstand 0000 ... getaktet, was dem ersten Kanal entspricht. Die Datensteuerung geschieht nun derart, daß das Maximum-Arbeitsregister mit dem Elevationskanalzähler, Azimutkanalzähler und Energiekanalzähler verglichen wird. Ist die Kanalnummer des Maximum-Arbeitsregisters in EL, AZ und EN erreicht, die durch die Rückstellung als Startpunkt für die Datenabspeicherung bestimmt wurde, so läuft das Register mit den Kanalzählern mit. Eine Datenabspeicherung erfolgt immer dann, wenn der Registerstand innerhalb des programmierten Bereiches liegt.

Ablaufsteuerung

Die Ablaufsteuerung hat folgende Aufgaben:

- Erzeugung des Winkelrasters (Öffnen und Schließen der Zähler)
- Erzeugung des Rasters zum Lesen und Rückstellen der Zähler
- Erzeugung des Kanalrasters (EN)
- Erzeugung der Meßzykluszeiten
- Erzeugung aller zur Steuerung der Sensoren erforderlichen Impulse

Sie benutzt im wesentlichen die vom Sondensystem angebotene spinsynchrone Pulschette von 512 Pulsen pro Umdrehung. Somit besteht der eine Teil der Ablaufsteuerung aus einem Zähler, der diese 512 Impulse pro Umdrehung zählt. Daraus werden sämtliche Sektoren (AZ) dekodiert, ferner alle Impulse, die zur Steuerung der Sensoren erforderlich sind. In Tabelle 9 wurden für HELIOS 1 sämtliche wichtigen Meßwinkel dargestellt, (in Tabelle 10 für HELIOS 2). Nach einer Messung in einem Azimutkanal müssen bei Sensor 1a und 3 neun Zähler gelesen werden. Dies geschieht mittels eines Untertaktes des Speichertaktes. Letzterer dient der Übertragung der seriellen Daten, während der Untertakt synchron dazu jeweils die einzelnen Zähler abrufen.

Der zweite Teil der Ablaufsteuerung besteht aus 3 Zählern:

- dem Elevationskanalzähler
- dem Azimutkanalzähler
- dem Energiekanalzähler

Der Elevationskanalzähler ist ein Modulo-9-Zähler, der vom Speicheruntertakt nach jedem Azimutkanal jeden Energiekanales durchgetaktet wird.

Der Azimutzähler ist ein Modulo-16-Zähler, der von den Azimutsektorimpulsen getaktet wird und je einmal pro Energiekanal durchzählt.

Der Energiekanalzähler zählt bis 32 und gibt damit das Ende eines Meßzyklus an. Dieser wird vom Sonnenimpuls "see sun pulse" getaktet, der den Zählerstand pro Satellitenumdrehung um eins erhöht.

Aufbautechnologie

Die grundsätzliche Aufbautechnologie der Elektronik basiert auf der Verwendung von Bilayern in durchkontaktierter Ausführung mit Anordnung der Bauelemente auf einer Seite. Bild 34 zeigt eine solche Ausführung mit digitalen Bauelementen (Integrierte Schaltkreise), während Bild 35 eine Ausführung mit diskreten Bauelementen zeigt.

Im folgenden soll nur auf einige besondere Lösungswege der Aufbautechnik eingegangen werden.

Dabei ist zunächst eine sog. "Motherboard"-Stecktechnik zu erwähnen, die beim Aufbau der neun Channeltronverstärker angewandt wurde. Es wurde hier eine Grundplatine verwendet, die sämtliche Eingänge, Ausgänge und Anschlüsse beinhaltet sowie die Verdrahtung der einzelnen Platinen untereinander. Gleichzeitig ist diese Platine Träger der neun CEM-Verstärker, zehn Abschirmplatinen sowie des CCO. Diese Platinen werden mittels Steckern in diese Grundplatine eingesteckt. Auf den einzelnen Platinen sind den Abständen entsprechende Abstandsrollen aufgebracht, so daß die Montage des gesamten "Channeltronverstärkerblockes" im Sensorelektronikgehäuse mittels Bolzen erfolgen kann. Bild 36 zeigt diesen Block.

Eine weitere besondere Form des Aufbaus stellt das Elektrometer dar, das in einem durch die halbkugelförmigen Platten entstehenden Hohlraum untergebracht wurde, um geringste Entfernung zwischen Auffänger und Elektronik zu gewährleisten. Der Aufbau hatte also rund und halbkugelförmig zu erfolgen. Bild 37 zeigt diesen Aufbau.

Eine besondere Aufbautechnik war bei den Hochspannungseinrichtungen anzuwenden im Interesse einer Gewichtersparnis und der erforderlichen Sicherheit der Hochspannungsgeräte. Gegenüber der konventionellen Vergußtechnik der Kaskaden und der Hochspannungsübertrager wurde folgende Lösung gewählt:

- Übertrager mit maximal 350 V Scheitelspannung
- Keramik-Dickfilmschaltungen mit eingelöteten konzentrierten Bauelementen für die Kaskaden

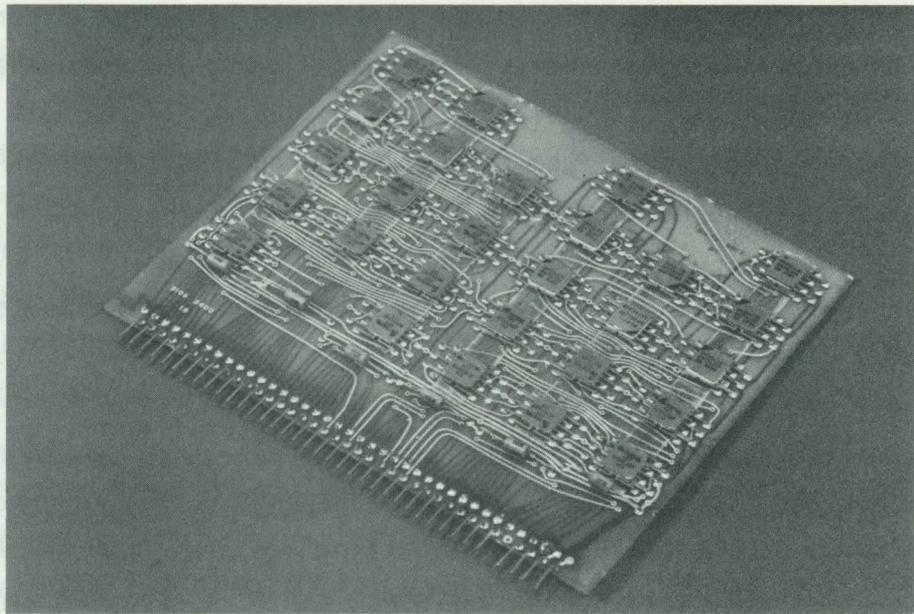


Bild 34: Digitalplatine

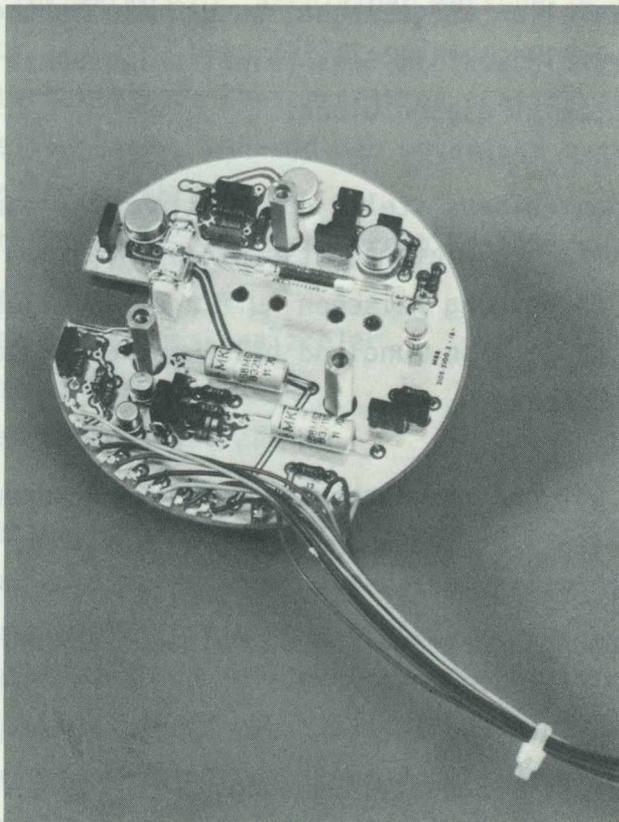


Bild 35: Analogplatine

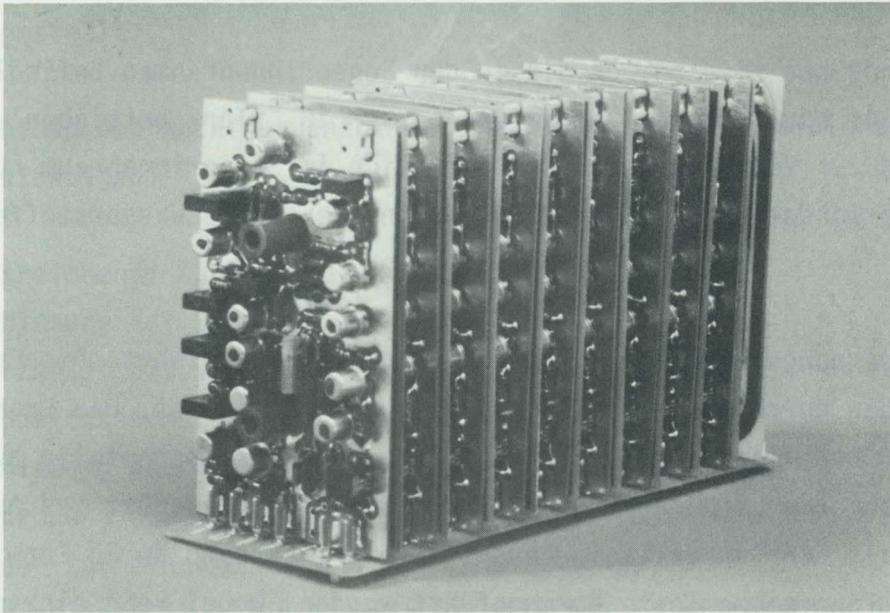


Bild 36: Channeltronverstärkerblock

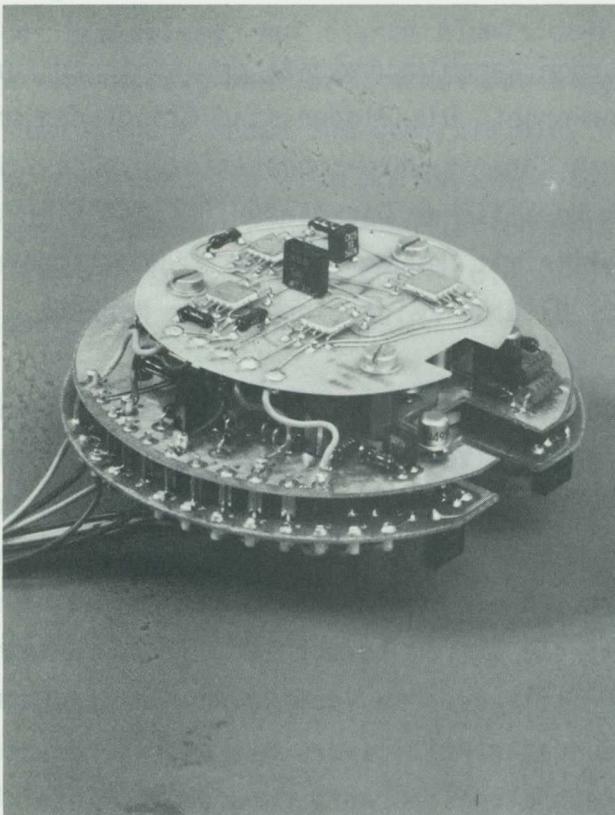


Bild 37: Elektrometer

- Unterbringung der Kaskaden im Sensorinnenraum
- Unvergossene belüftete Hochspannungsübertrager

Diese Lösung bot sich an, da die in den Sensorinnenräumen befindlichen Channeltrons nur in einem Vacuum von besser 10^{-6} Torr betrieben werden können und zur Vermeidung von Kontamination im Sensorinnenraum nur Materialien verwendet werden dürfen, die keinerlei Kohlenwasserstoffe abdampfen.

Die Hochspannungsübertrager wurden unvergossen ausgeführt. Die Ferritkerne werden durch das Mittelloch ausreichend entlüftet. Die Drahtisolation ist Doppelseide, die Lagenisolation ist mit Kaptonfolie ausgeführt, wobei die Lagenspannung nur 20 V beträgt. Diese Art des Aufbaus hat sich als sehr zuverlässig herausgestellt. Es sind an 20 Entwicklungsmustern umfangreiche Tests durchgeführt worden, wobei kein einziger Ausfall zu verzeichnen war. In den einzelnen Modellen wurden insgesamt 36 Übertrager eingebaut, wo ebenfalls kein einziger Ausfall bis heute feststellbar ist.

Beim Aufbau der Kaskaden wurden Keramiksubstrate der gleichen Form wie die Channeltronsubstrate verwendet. Die Dioden sind Glasdioden ohne Lackierung, die Kondensatoren Keramik-Chip-Kondensatoren ohne Umhüllung, die Dickfilmwiderstände mit keramischer Deckglasur. Es ist hier gelungen, Hochohmwiderstände herzustellen mit Werten von $180 \text{ m}\Omega$ und Temperaturkoeffizienten $\leq 1 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$. Bild 38 zeigt eine solche Kaskade.

Eine weitere besondere Aufbautechnik stellt die Verdrahtung der Elektronikbox dar. Hier wurde die gesamte Verdrahtung der Platinen untereinander auf dem Multilayer durchgeführt. Lediglich die Verdrahtung vom Multilayer zu den Anschlußsteckern und die Verdrahtung der Stromversorgung wurde mittels Drähten durchgeführt. In diesem Zusammenhang wurde eine spezielle Steckeinrichtung entwickelt, die extrem leicht ist und es gestattet, die einzelnen Platinen in den Multilayer ohne Verwendung von Steckern einzustecken. Die Größe des verwendeten Multilayers mit fünf Verdrahtungsebenen stellte erhebliche technologische Anforderungen an Entwicklung

und Fertigung. Die Größe und Komplexität ist aus Bild 39 ersichtlich. Der Einbau in die Elektronikbox ist in Bild 40 (von unten) und Bild 41 (von oben) dargestellt.

Bei dem Aufbau des Hochfrequenzgenerators waren folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

- ausreichende Kühlung des Leistungstransistors
- Schirmung der Spule
- kürzeste Leitungen im Endkreis
- Kapazitätsärmster Aufbau des Endkreises
- Schirmung der gesamten Endstufe gegenüber der anderen Elektronik
- Anordnung der Quecksilberrelais in einer bestimmten Lage (quer zur z-Achse und parallel zur y-Achse)
- Zugänglichkeit aller Abgleichkapazitäten im eingebauten Zustand

Dies hat zu einem Aufbau geführt, der in Bild 42 gezeigt ist. Das gesonderte Schirmgehäuse ist ersichtlich, ebenso die Schirmung vor den beiden Platinen des Endkreises. Auf diesem Aluminium-Frästeil ist auch der Endtransistor zur Kühlung montiert, wobei der Eingang über der Schirmplatte liegt und der Ausgang unten zum Endkreis hin. Die beiden Platinen des Endkreises, von denen die unterste im eingebauten Zustand zugänglich ist, sind aus speziellem kapazitätsarmen Teflon-Leiterplattenmaterial gefertigt. Der Stecker an der Seite stellt die Verbindung zur gesamten Boxverdrahtung dar.

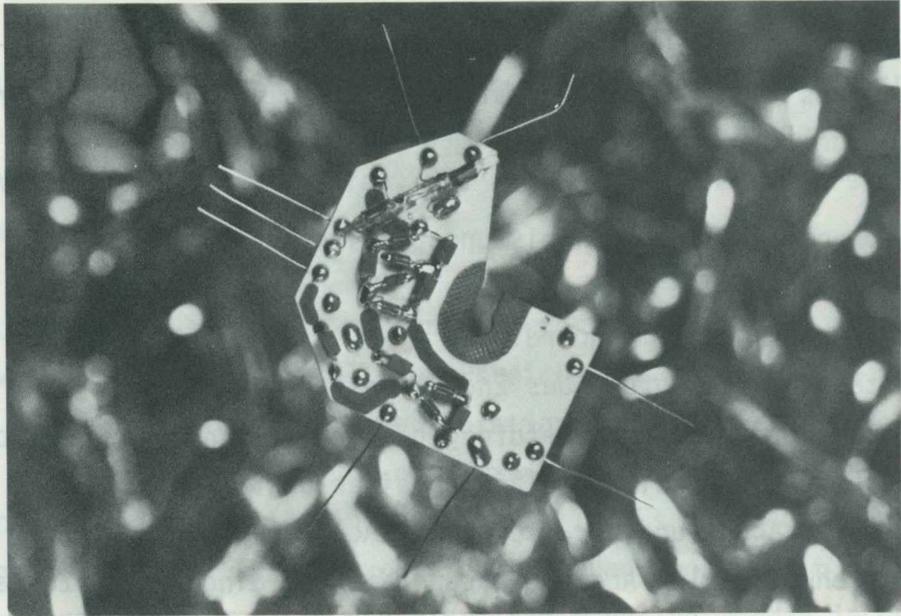


Bild 38: Hochspannungskaskade in Keramik-Dickfilmtechnik

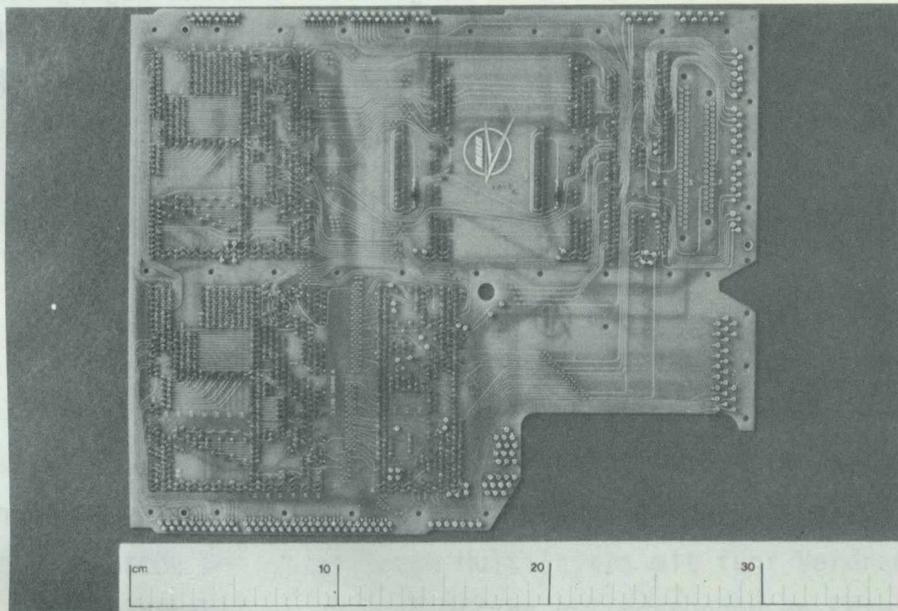


Bild 39: Multilayer

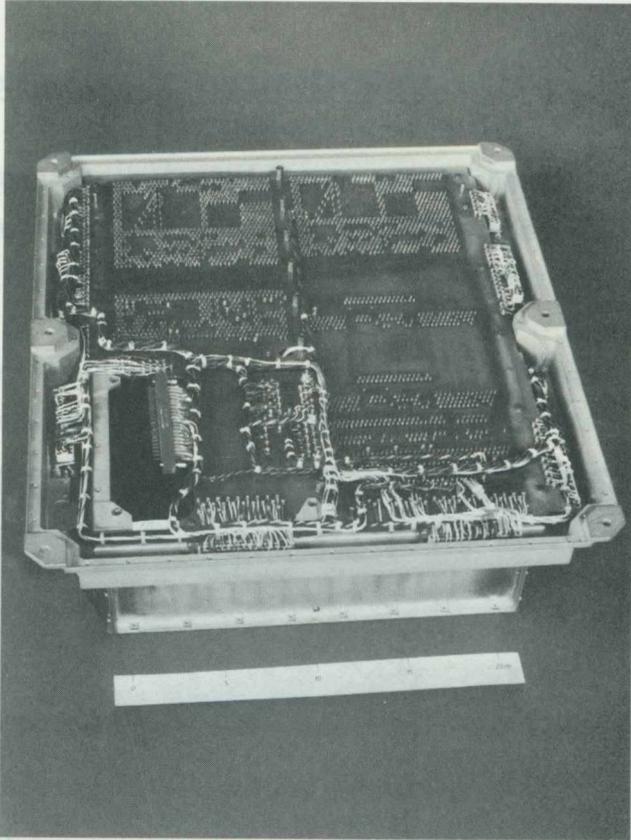


Bild 40: Elektronikbox (von unten)

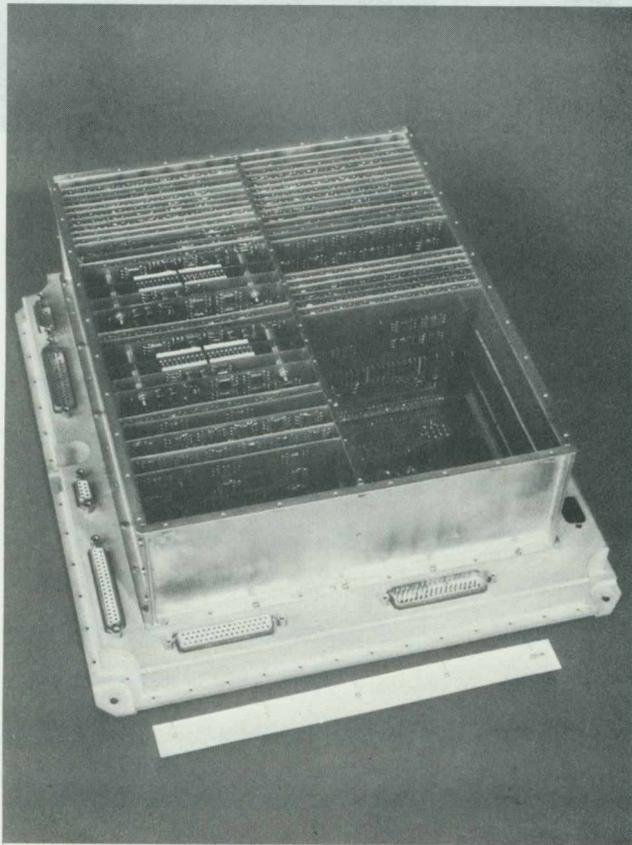


Bild 41: Elektronikbox (von oben)

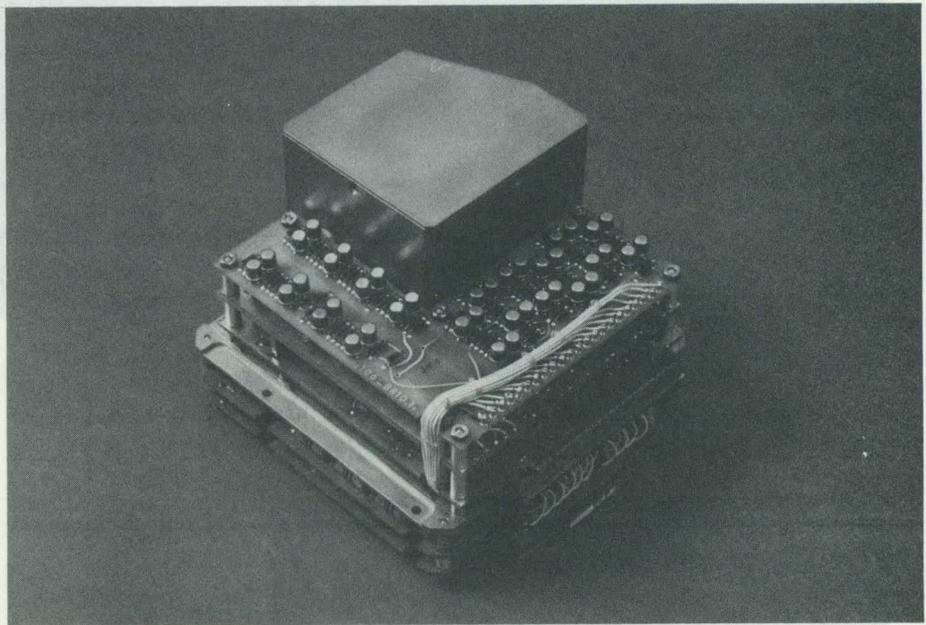


Bild 42: HF-Generator

Elektromagnetische Verträglichkeit

Daß beim Aufbau des Experimentes sämtliche bekannten Regeln zur Erzielung der geforderten elektromagnetischen Verträglichkeit angewendet wurden, wie z.B.

- Verdrillen von Stromversorgungsleitungen
- Abschirmung von HF-Quellen
- Abschirmen von empfindlichen Analogleitungen
- galvanische Trennung von "power ground" und "signal ground"
- HF-Dichtigkeit der Boxen
- besondere Ausbildung der Deckelflansche
- Vergoldung der Boxoberflächen

kann als bekannt vorausgesetzt werden und bedarf keiner weiteren Erläuterung.

Channeltrons

Die Channeltrons (CEM) wurden vom MPE bei einer Abteilung der Firma Bendix gekauft, die sich dann später als "Galileo Optics" selbständig machte. Nach geeigneten Auswahltests am MPE wurden sie dann an MBB zum Einbau übergeben.

Für jedes CEM wurde ein Protokoll angelegt, das die einzelnen Schritte erkennen läßt.

1. Eingangsinspektion am MPE.

Zunächst wurde jedes CEM mit Lupe oder Mikroskop auf sichtbare Fehler oder Verunreinigungen untersucht.

2. Erster Test.

Dann begann die Vorbereitung für den ersten Dauertest. Jeweils 12 CEM wurden einzeln mit Federn aus V4A auf Halterungen montiert. Vor jedem CEM-Trichter steht eine kleine Elektronenquelle (ein Glimmlämpchen mit abgetrenntem Glaskopf). Die Spannungsversorgung für alle 12 CEM ist gemeinsam, aber Pulsauskopplungen und die Heizerversorgungen der Elektronenquellen sind einzeln zugänglich. Die ganze Testanordnung wird in einer ölfreien UHV-Vakuumanlage zunächst mindestens 10 Stunden bei ca. 150° ausgeheizt. Danach beginnt die Dauerbelastung bei Restdrücken von $\sim 10^{-8}$ Torr. Nach Anlegen der HV (3,0 kV) wird zunächst die Nullzählrate aller CEM gemessen. Dann wird die Elektronenquelle jedes einzelnen CEM so hochgeregelt, daß ein Ausgangstrom I von meist 3×10^{-7} A (auch andere Werte wählbar) konstant gehalten wird. Die entsprechend der mittleren Verstärkung \bar{G} sich einstellende Zählrate wird in regelmäßigen Abständen registriert und als Funktion der aus dem CEM ausgetretenen Ladung $Q = I \cdot t$ aufgetragen. Der Test wird beendet, wenn $Q \approx 0.05$ Cb erreicht ist, also nach etwa zwei Tagen. Meist ist bei $Q \approx 0.01$ Cb der ursprüngliche steile Abfall von \bar{G} zum Stillstand gekommen. Danach tritt bei guten CEM ein schwacher Anstieg von \bar{G} ein, bei schlechten ein weiterer Abfall.

Vor dem Belüften der Testkammer werden noch Pulshöhenanalysen (PHA) der CEM-Pulse bei verschiedenen HV zwischen 3,0 und 4,1 kV vorgenommen sowie die Abhängigkeit von \bar{G} von der Zählrate untersucht. Vor und nach dem Test wird auch der Ohm'sche Widerstand der CEM gemessen und notiert.

3. Auflöten auf Keramiksubstrate

Die CEM werden dem Unterauftragnehmer von MBB, der Firma Lewicki Mikroelektronik zum Auflöten übergeben. Das Auflöten erfolgt unter Schutzgas und ohne jedes Flußmittel mit einem speziell niedrig schmelzenden Lot. Dazu werden das vorbereitete Keramiksubstrat und das CEM langsam auf eine Temperatur nur wenige Grad unter dem Schmelzpunkt des Lots gebracht. Eine feine Heißluftdüse ermöglicht dann ein schnelles, sauberes und fast völlig spannungsfreies Auflöten an den drei vergoldeten Kontaktflächen des CEM sowie auch des Keramikröhrchens mit Metallplatte, die als Elektronenauffänger dient.

4. Erneuter Belastungstest

Dieser Test gleicht dem ersten Test unter 2., ist in der Regel aber kürzer, weil bei den hier noch im Rennen liegenden CEM meist schon bei 0,02 Cb ein stabiler Endzustand erreicht ist. Die abschließenden PHA-Messungen dienen als Kriterien für die endgültige Auswahl.

5. Schütteltest

Bei MBB werden die CEM auf eine Schüttelvorrichtung montiert und mit der für die Qualifikation geforderten Stärke geschüttelt. Dabei gab es anfänglich so viel Bruch, das wir beantragen mußten, die Höhe der Belastung herabzusetzen. Dies war zum Glück möglich.

Hier hätte sehr viel Aufwand an Nerven, Arbeit und Geld gespart werden können, wenn das Projekt sich beizeiten von selbst zur Richtigstellung der Forderungen entschlossen hätte, anstatt immer erst auf dringende Anfrage und viel zu spät.

6. Einbau

Die jetzt noch übriggebliebenen CEM wurden entsprechend ihren Qualitäten für die einzelnen Instrumente ausgewählt und schließlich eingebaut. Dabei ging es nicht ganz ohne Löten mit Flußmitteln ab. Deshalb wurde am Ende der Montage der ganze Sensorraum mit Freon kräftig durchgespült, um alle Rückstände zu beseitigen.

7. Tests im eingebauten Zustand

Bei jedem Systemtest wurde \bar{G} mit Hilfe des automatischen Inflight-Tests gemessen. Bei den Eichungen am MPE wurde jeweils nochmals PHA- und HV-

Abhängigkeit aufgenommen. Für diesen Zweck sind die CEM-Ausgänge an den Instrumenten von außen zugänglich und können von den eingebauten Verstärkern abgetrennt werden. Dieser Vorgang wurde sogar an den in die Sonde integrierten Instrumenten wenige Tage vor dem Start beim "Final Test" noch einmal wiederholt.

Im Verlauf der Arbeiten gewannen wir viel an Erfahrung und veränderten vielfach die Prozedur. So wurden oft die Schritte 4 und 5 vertauscht, Schritt 2 konnte bei Zeitdruck gar entfallen. Schritt 4 wurde für viele CEM dagegen mehrfach wiederholt, aus verschiedenen Gründen.

Das Verhalten der CEM bei Labortests und im Flug soll anhand eines typischen Beispiels aus I1a von HELIOS 1 illustriert werden. Bild 43 zeigt die Zeitabhängigkeit von \bar{G} beim Belastungstest (Schritt 4) für das CEM Nr. C 163, gemessen am 27.8.1973. Bei $Q \approx 0,01$ Cb ist ein "Plateau" erreicht. Es liegt mit $\bar{G} = 2 \times 10^7$ für 3,0 kV relativ niedrig. Dies war bei allen CEM dieser Lieferung ähnlich. Auch der Widerstand war bei all diesen CEM relativ gering: $8,2 \times 10^8 \Omega$ (vor dem Test $8,55 \times 10^8 \Omega$), während bei den CEM aus anderen Lieferungen meist höhere Werte (bis $1,5 \times 10^9 \Omega$) erreicht wurden. Niedrige Widerstände begünstigen aber das Verhältnis bei hohen Zählraten: Der Abfall von \bar{G} wird erst bei $n > 50$ kHz merklich. In Bild 44 sehen wir die HV-Abhängigkeit der Verstärkung vom CEM Nr. 163. Hier ist außer \bar{G} auch G_m , die maximale Verstärkung aufgrund der PHA, sowie die Halbwertsbreite der PHA (in % von G_m) aufgetragen. Die Kurven zeigen das typische Ansteigen von \bar{G} und G_m um etwa einen Faktor 2 pro 300 V Spannungserhöhung; auch das Auftreten eines Minimums der Halbwertsbreite von ≈ 25 % bei $\approx 3,5$ kV kann als typisch für ein "gutes" CEM angesehen werden.

Interessant ist nun das Verhalten dieses (und der anderen) CEM nach dem Start. In Bild 45 sind die \bar{G} -Messungen der CEM von I1a (mit Ausnahme der beiden äußersten) auf HELIOS 1 dargestellt. Auf Platz L6 befindet sich das zuvor beschriebene CEM Nr. 163. Die sprunghaft veränderlichen \bar{G} -Werte vor dem Start rühren vermutlich von den Unterschieden in den Pumpzeiten und den Vorbelastungen der CEM während der verschiedenen Systemtests her. Nach dem Start aber sieht man das übliche "Einbrennverhalten" aller CEM. Natur-

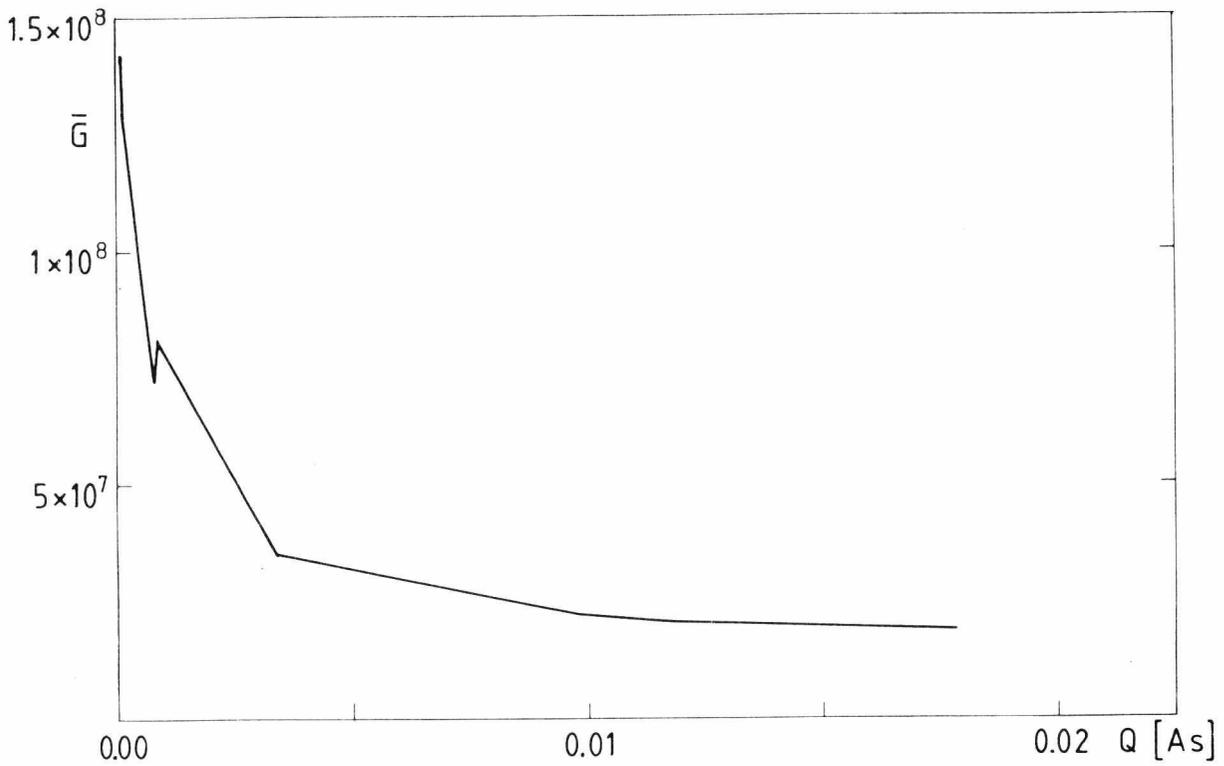


Bild 43: Die Abhängigkeit der mittleren Verstärkung \bar{G} von der insgesamt durch das CEM Nr. 163 geflossene Ladung Q .

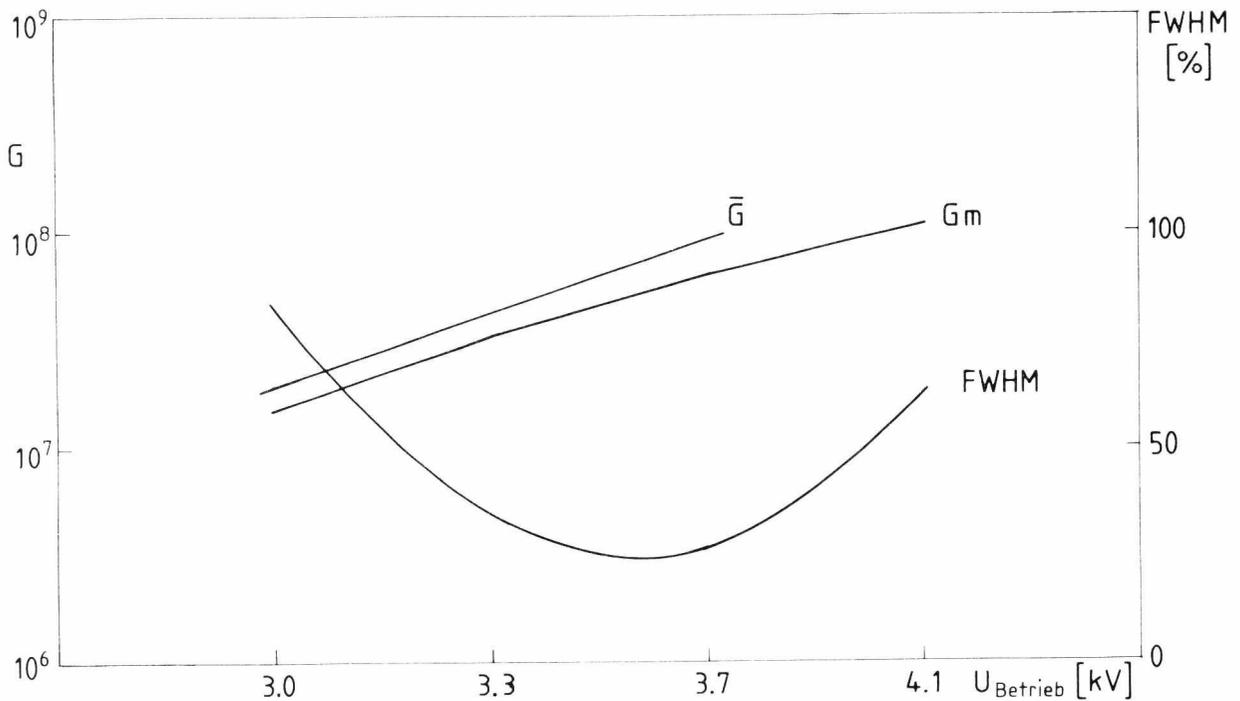


Bild 44: Abhängigkeit von mittlerer Verstärkung \bar{G} , maximaler Verstärkung G_m sowie der Halbwertsbreite der Pulshöhenverteilung von der Betriebsspannung. Die Messung wurde an CEM Nr. 163 nach der Dauerbelastung aufgenommen.

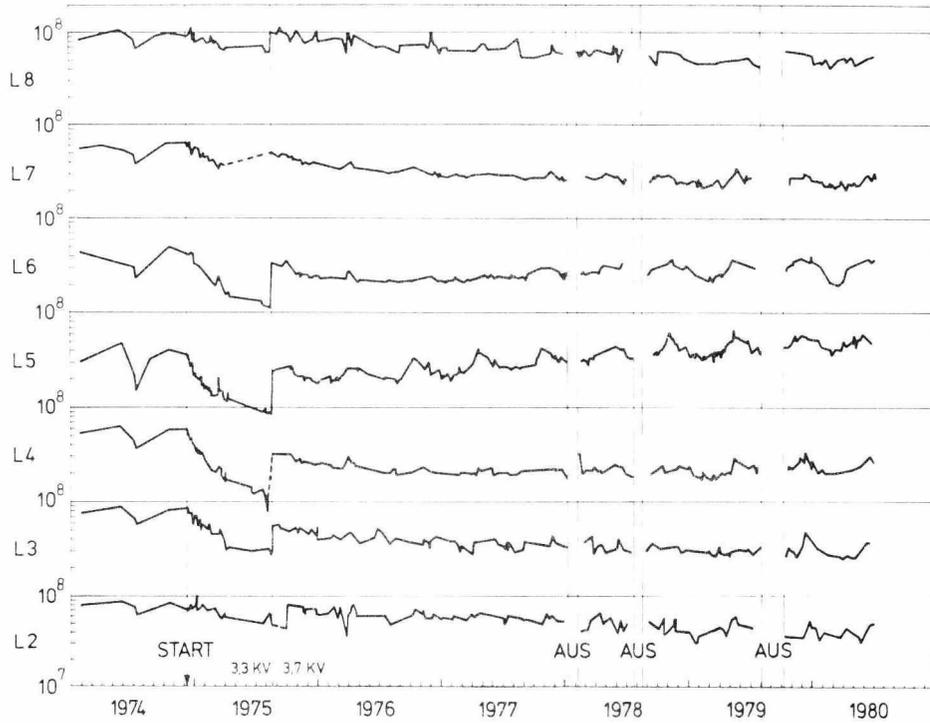


Bild 45: Die mittlere Verstärkung \bar{G} der CEM in I1a auf HELIOS 1 von 1974 bis 1980. L5 bezeichnet das mittlere CEM, das in die Ekliptik blickt.

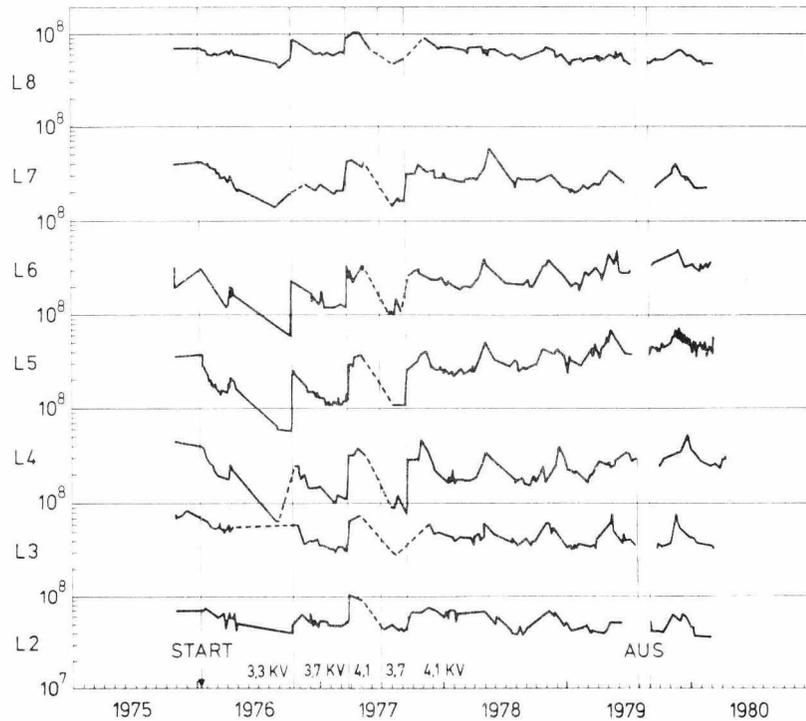


Bild 46: Wie Bild 45, jedoch für I1a von HELIOS 2

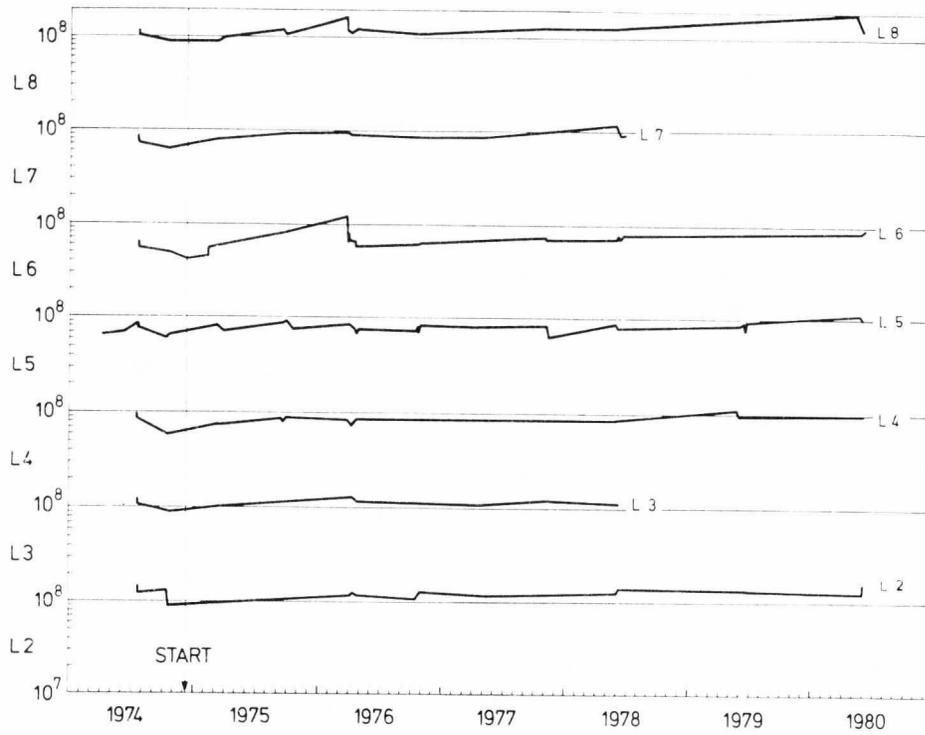


Bild 47: Wie Bild 45, jedoch für I3 von HELIOS 1

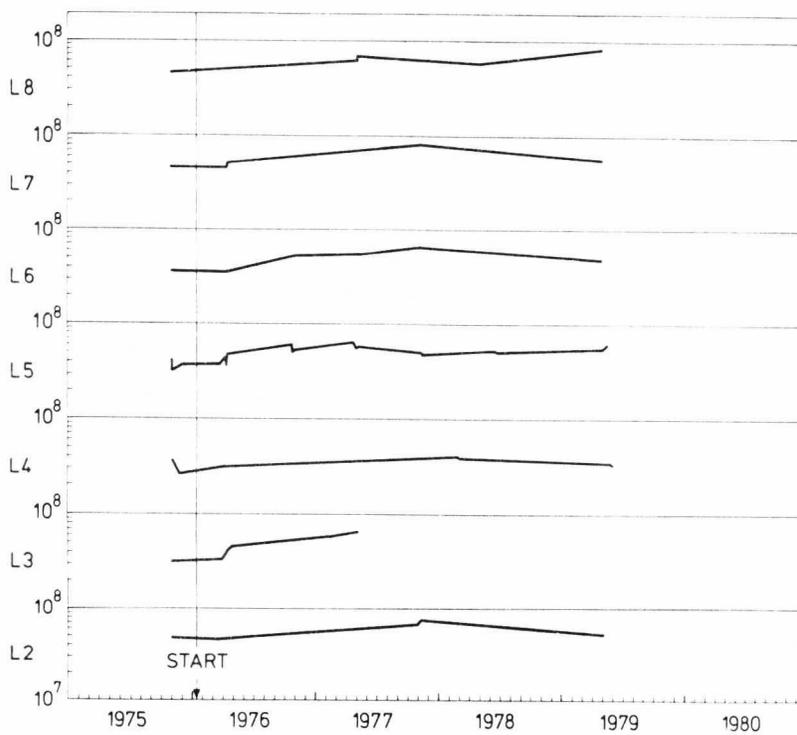


Bild 48: Wie Bild 45, jedoch für I3 von HELIOS 2

lich sinkt \bar{G} bei L5, dem CEM, das in die Ekliptik blickt und weitaus die meisten Teilchen zählt, am schnellsten ab, etwas langsamer bei seinen Nachbarn L4 und L6. Die CEM am Rand L2 und L8 haben wegen der geringen Belastung das "Plateau" bis heute noch nicht erreicht. Vor allem bei L5 ist schon seit 1976 ein deutlicher Aufwärtstrend zu beobachten. Das Plateau von L6 mit $\bar{G} \approx 2,5 \times 10^7$ im Sommer 1976 liegt deutlich niedriger als im Dauertest (Bild 43). Ähnliches wurde bei allen CEM auf HELIOS 1 und HELIOS 2 beobachtet. Der Grund dafür ist unklar; vielleicht spielt die unterschiedliche Restgasatmosphäre in Sensor und Testanlage eine Rolle. Auffällig sind auch die periodischen Schwankungen von \bar{G} , besonders deutlich sichtbar bei L5. Die Maxima von \bar{G} fallen recht gut mit den Periheldurchgängen zusammen, lassen also auf einen Temperatureffekt schließen. Entsprechende Laborversuche stehen noch aus.

Bild 46 zeigt für die CEM in I1a auf HELIOS 2 ganz ähnliches Verhalten. Hier sank \bar{G} nach dem Start allerdings stärker ab, und die HV mußte auf 4,1 kV gesetzt werden (3,7 kV bei HELIOS 1). Bei den I3-CEM hat sich wegen der äußerst geringen Belastung noch überhaupt nichts geändert: \bar{G} blieb überall etwa bei 10^8 (Bilder 47 und 48). Aufgrund dieser Bilder kann kein Zweifel daran bestehen, daß die Lebensdauer von E1 jedenfalls nicht durch Degradation der CEM eingeschränkt sein dürfte.

Für die in I2 eingebauten CEM läßt sich dies nicht so eindeutig sagen. Hier wird ja \bar{G} nicht direkt gemessen, sondern nur durch Vergleich der Zählraten bei unterschiedlichen Verstärkerschwellen qualitativ sichergestellt, daß \bar{G} überhaupt noch ausreicht. Bei beiden Sonden haben wir inzwischen die HV auf 4,1 kV hochgeschaltet, weil der erwähnte Unterschied etwas angestiegen war. Der viel empfindlichere Test, den wir gelegentlich durchführen, nämlich Vergleich der Elektronenzählraten bei verschiedenen HV, würde diese Hochschaltung nicht verlangen, doch wissen wir so, daß mit 4,1 kV die Messungen garantiert unbeeinflusst sind.

Die Nullzählraten (NZR) der CEM zeigen ein paar Besonderheiten. Im Integrationszähler von I1a finden wir als NZR bei HELIOS 2 im Durchschnitt 1 count; das bedeutet also bei 16 AZ x 9 EL-Kanälen mit je 10 ms Meßzeit eine NZR von weniger als 1 s^{-1} . Bei HELIOS 1 beträgt die NZR etwa 2 s^{-1} .

Es fällt auf, daß nach manchen besonders starken Flares auf der Sonne die NZR stark ansteigt, in einzelnen Fällen bis über 200 s^{-1} . Der Grund dafür sind energiereiche Teilchen, vermutlich Elektronen mit mehreren MeV Energie. Der Abfall auf normale Werte dauert meist von einigen Stunden bis zu einigen Tagen. Am 13. Februar 1978 ging nach einem solchen Ereignis die NZR nicht mehr ganz zurück sondern beträgt seit dem ca. 2 s^{-1} . Eine Untersuchung darüber, ob diese Erhöhung auf nur ein CEM oder mehrere zurückgeht, wurde noch nicht durchgeführt.

6. Eichung der Instrumente

Die Instrumente I1a, I1b und I3 wurden an der eigens für diesen Zweck errichteten Anlage am MPE geeicht. Dieses Verfahren und die nötigen Auswertungen werden im einzelnen in einem gesondert erscheinenden Bericht beschrieben, der auch alle technischen Daten enthält. Hier soll nur das Prinzip skizziert und die Ergebnisse aufgelistet werden.

Die Eichanlage

Bild 49 zeigt einen Blick auf das Kernstück der Anlage, die in einem zum Cleanroom umgebauten Container steht. Das obere Ende des ca. 3 m langen Vakuumsystems (mit einer Ionengetterpumpe) enthält eine Ionenquelle. Elektronen aus einer Glühkathode, auf ca. 200 eV beschleunigt, ionisieren in einem feldfrei gehaltenen Raum hindurchströmendes Wasserstoffgas. Dabei entstehen vor allem H_2^+ -Ionen, aber auch H_2O^+ - und H^+ -Ionen. Sie werden durch eine Ziehspannung von wenigen Volt aus dem Ionisationsbereich herausgesaugt und anschließend auf die gerade gewünschte Energie beschleunigt. So entsteht ein in sehr hohem Maße monoenergetischer Fluß von Ionen, deren Energie pro Ladung von 100 V bis 20 kV variiert werden kann.

Am unteren Ende ist über einen in beide Richtungen beweglichen Metallbalg das zu eichende Instrument angeflanscht. Aus konstruktiven Gründen kann die Aufhängung leider keine kardanische sein, d.h. die beiden Drehachsen und die Eintrittsöffnung liegen nicht in einer Ebene. Bei Drehungen verschiebt sich das Instrument folglich auch nach der Seite. Mögliche Inhomogenitäten des Teilchenstrahls müssen deshalb sorgfältig kompensiert werden. Dazu dienen zwei Channeltrons, die 50 cm vor dem Instrument von beiden Seiten bis auf ca. 1 cm an den Strahlengang herangebracht werden. Die hier registrierten Zählraten werden in eine Spannung umgewandelt und über eine Regeleinheit an den Heizer der Ionenquelle herangeführt. So kann die Strahlstärke über Stunden hinweg sehr genau stabil gehalten werden. Bei seitlichen Bewegungen des Instruments in beiden Richtungen laufen die Regelchanneltrons mit, so daß die Strahlstärke auch räumlich konstant bleibt.

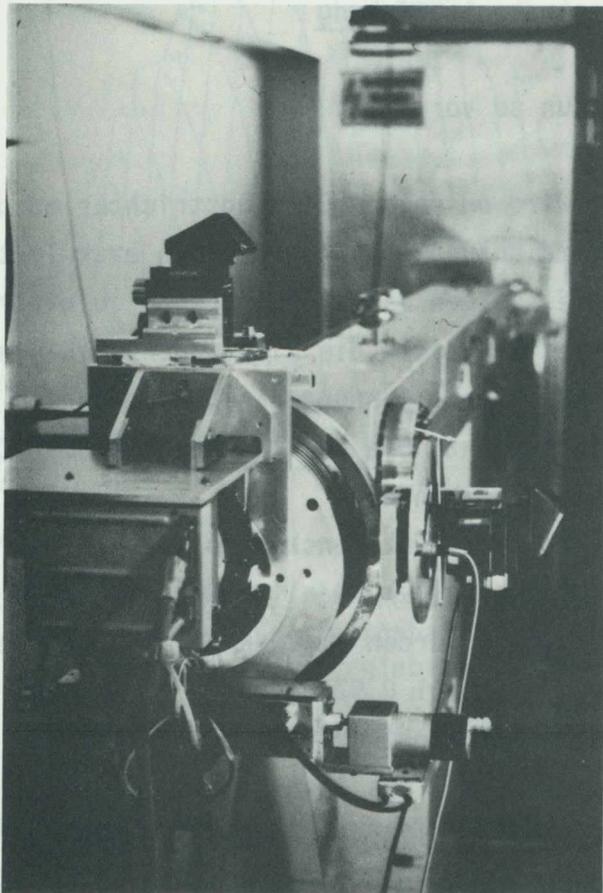


Bild 49: Die Eichanlage für die Ioneninstrumente. Links sieht man die Box F1-E1A, die über ein bewegliches Balgsystem an ein 3 m langes Vakuumsystem angeflanscht ist. Am vorderen Ende enthält dieses eine Ionenquelle, die monoenergetische Ionen mit E/q -Werten von 100 V bis 20 kV liefert.

Die Winkel können mit Genauigkeiten von 15" abgelesen und auch reproduzierbar eingestellt werden. Dazu dienen Stellmotoren, die durch die von M. Bechly entwickelte "Grüne Schrittmaschine" angesteuert werden.

Ablauf einer Instrumenteneichung

Eine Eichung geht nun so vor sich:

- 1.) Das Instrument wird an seinem Eingangstrichter an die Anlage angeflanscht (Indiumdichtung), dann gründlich evakuiert. Gleichzeitig werden schon die nötigen Kabelverbindungen zu einer speziellen Interfaceplatte hergestellt, die die Elektronikbox E1D ersetzt. So gelangen die nötigen Betriebsspannungen, Pulsfrequenzen und Kommandoinformationen ins Instrument; die Normpulsausgänge der CEM werden mit elektronischen Zählern verbunden.
- 2.) Gründliche elektrische Funktionskontrolle des Instruments.
- 3.) Anschalten der Ionenquelle und aller Regelkreise.
Die meisten Eichungen wurden im EN-Kanal 13 durchgeführt, also bei Teilchenenergien von nominell 0.978 kV.
- 4.) Die sogenannte Relativeichung dient zur Bestimmung der relativen Ansprechwahrscheinlichkeit des Instruments in Abhängigkeit von Teilchenenergie und beiden Einfallrichtungen. In einem vollautomatisch ablaufenden Meßprogramm werden im gesamten dreidimensionalen Meßbereich (EN, AZ, EL) die zugehörigen Zählraten Z (EN, AZ, EL) aufgenommen und mitsamt ihren Adressen auf einem Datenband registriert. Bild 50 zeigt eine Meßreihe für einen einzigen Wert von EL, nämlich $\epsilon = 5,07^\circ$. Für einen jeweils festgehaltenen Azimutwinkel wurde der gesamte EN-Bereich in Schritten von 3 V durchgefahren. Der Azimutwinkel wird in Stufen von ca. $0,3^\circ$ verändert. Meßbereiche und Schrittweiten können variiert werden. Natürlich taucht hier sehr oft die Zählrate Null auf. Um Zeit zu sparen, wurden überhaupt nur dann Zählraten notiert, wenn Z in einer ersten "Suchphase" von 0,1 sek einen (einstellbaren) Grenzwert überstieg. Trotzdem dauert eine solche Eichung sehr lange. Pro CEM werden durchschnittlich $10 \times 25 \times 20$ (EN x AZ x EL) signifikante Werte erfaßt; zu diesen 5000 sek kommt etwa noch einmal die gleiche Zeit für die vielen

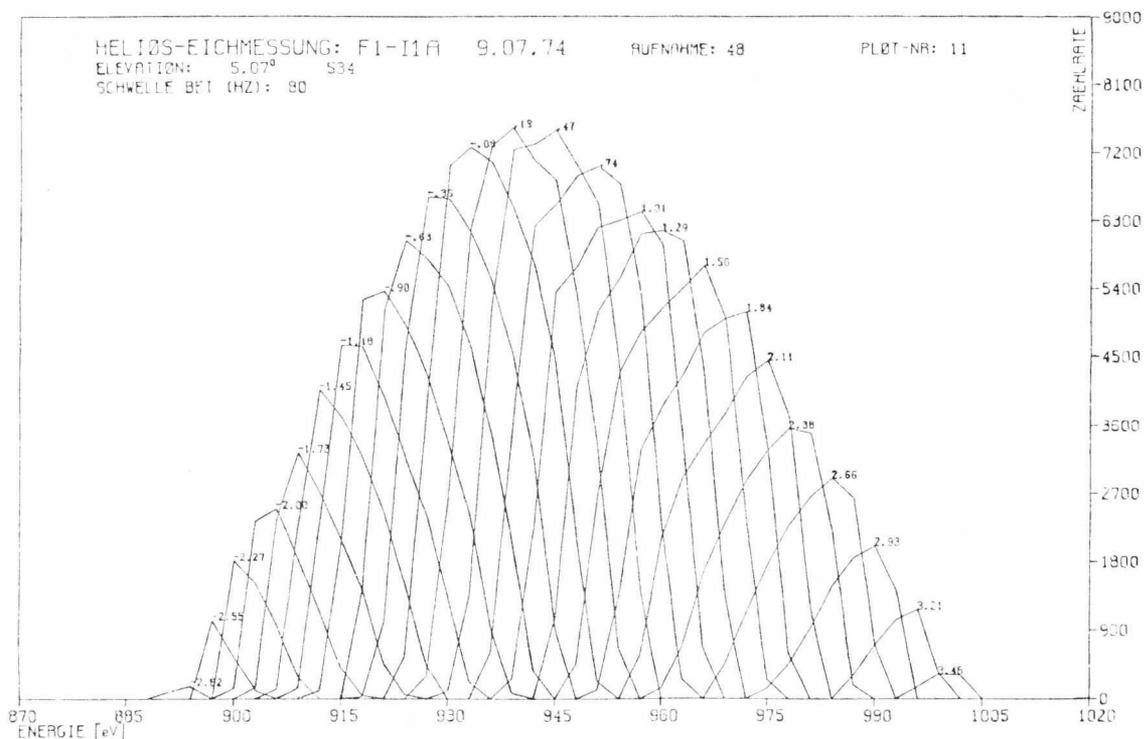


Bild 50: Eine Meßreihe aus der Relativeichung von F1-I1A.
 Für einen jeweils festgehaltenen Azimutwinkel
 wird der gesamte Energiebereich durchfahren.
 Erst dann wird auch der Elevationswinkel
 - hier 5.07° - verändert.

Suchphasen, die Motorlaufzeiten, Bandwechsel etc. Dieser wichtigste Schritt der vollständigen Eichung eines Instruments I1a oder I3 dauert also $9 \times 2 \times 5000$ sek, das sind allein schon 25 Stunden, wobei 45000 signifikante Zählraten zu notieren sind.

5.) Die sogenannte Absoluteichung.

Bei unverändert weiterlaufendem Ionenstrahl wird nun die Absolutintensität des für die Relativeichung verwendeten Strahls gemessen. Dazu dient ein genau geeichtes Elektrometer, das den auf einen speziellen Kollektor auftreffenden Ionenstrom direkt mißt. Dieser Kollektor wird mit Hilfe eines Schwenkarms genau in den Strahlengang des Instruments gebracht, unmittelbar hinter die beiden Stabilisierungschannelltrons. Der gemessene Ionenstrom ist ein Maß für den auf die Eintrittsöffnung des Instruments fallenden Teilchenfluß.

Damit ist die eigentliche Eichung beendet.

- 6.) Totzeitbestimmung. Für jedes CEM des Instruments wird die Zählrate als Funktion des einfallenden Teilchenstroms gemessen. Dazu muß der Ionenstrahl in sehr weiten Grenzen verändert werden. Dies verursachte vielfach Probleme, zum einen mit den CEM der Stabilisierung, deren Verstärker ja ebenfalls endliche Totzeiten haben, zum anderen mit der Ionenquelle, die dadurch vielfach überlastet wurde. Diese Messung hat bei den HELIOS-Instrumenten I1a nie zu befriedigenden Ergebnissen geführt, und schließlich wurde für die Datenauswertung dann doch der Nominalwert von 500 ns verwendet, von dem die elektronisch bestimmten Werte nur unwesentlich abweichen ($\leq 10\%$).
- 7.) Einige spezielle Funktionsprüfungen der Instrumente bei Betrieb im missionsähnlichen Zustand, d.h. bei Einfall von Teilchen. Dazu gehört eine sorgfältige Kontrolle der Überkoppel­eigenschaften der CEM: Wenn ein CEM unter Beschuß steht, darf kein anderes davon etwas merken.

Diese einfach klingende Forderung hat im Verlauf des Projekts viel Ärger bereitet. Schon beim EM von I1a gab es Überkoppel­effekte. Daraufhin wurden die Ausgänge der CEM völlig abgedich­tet. Bei P-I1a gab es wiederum Überkoppeln, diesmal offenbar elektronisch. Daraufhin wurden die Pulsleitungen die von den CEM über Durchführungen in den Sensorgehäusen zu den Vorver­stärkern im Elektronikteil führen, modifiziert. Als bei F1-I1a das Problem erneut auftrat, half nur noch eine energische Ret­tungsaktion in buchstäblich letzter Minute: Eine genaue Analyse zeigte, daß die CEM-Pulse kapazitiv auf die gemeinsame HV-Ver­sorgung überkoppelten und von dort wiederum auf die anderen Puls­leitungen. Diese Störung hängt natürlich stark von Flanken­Steilheit (Anstiegszeiten von ~ 1 ns) und Amplitude der CEM-Pulse ab. Diese Eigenschaften waren bei den F1-CEM besonders gut, aus leicht einsichtigen Gründen; die "müden" CEM des EM und auch bei P hatten solche Effekte nicht mehr zustande ge­bracht. Zur Abhilfe wurden die Pulsauskopplungen erneut ver­ändert; außerdem wurden Abschirmbleche zwischen die relativ dicht gestapelten CEM-substrate eingefügt. Die Geschichte dieses Problems illustriert sehr deutlich, wie notwendig

gründliche Tests unter realistischen Bedingungen sind, denn im Labor und mit simulierten CEM-Pulsen waren solche Probleme nicht aufzudecken.

Weitere Funktionsprüfungen betrafen vor allem die CEM. Außer den üblichen Messungen von Verstärkung und Pulshöhenverteilung wurde u.a. untersucht, ob bei konstantem Teilchenfluß die Zählraten sich womöglich mit der CEM-HV verändern. Das darf natürlich nicht passieren. Dennoch kam es vor, vor allem bei neuen CEM mit besonders starken und langen Pulsen. Hier neigten die CEM-Verstärker zu Übersteuerungen, die sich in der Abgabe von Doppelpulsen äußerten. Auch diese Störung war nur durch realistischen Betrieb zu finden.

Bei I2 war diese Schwäche des Verstärkers, der etwas anders aufgebaut ist als bei I1a und I3, besonders hartnäckig, um nicht zu sagen: vertrackt, und dies führte sogar nach dem Start von HELIOS 1 noch zu einer radikalen Änderung für F2. Doppelpulse traten nämlich nur in einem bestimmten Zählratenbereich auf, zwischen ca. 1 bis 5 kHz, und waren deshalb bei den üblichen Funktionsprüfungen mit ca. 20 kHz nicht entdeckt worden. Die Verfälschung der Zählraten betrug 10 % bis 20 %, und war bei allen noch verfügbaren Exemplaren dieses Verstärkers im Prinzip ähnlich, vermutlich also auch bei dem schon fliegenden F1-Modell. Die Verstärker von F2 und P wurden in einem ungewöhnlichen Kraftakt, vor allem durch H. Rosenbauer und die Elektroniker von MBB, noch umentwickelt und repariert. Vergleichsmessungen zwischen HELIOS 1 und HELIOS 2 zeigen zum Glück, daß Verfälschungen bei dem nicht geänderten F1-I2 nicht erkennbar sind.

- 8.) Vor dem Abnehmen des geeichten Instruments muß noch dessen Lage relativ zur Eichenlage bestimmt werden. Die glatt polierte Vorderfläche des Instruments liegt völlig plan auf dem Anlagenflansch auf. Auf der selben Vorderfläche wird später ein stabiler Deckel plan aufgeschraubt, auf dessen Vorderseite ein Spiegelwürfel geklebt ist. Der Deckel ist durch

Paßstifte gegen Verdrehung gesichert. Mit dem Spiegel läßt sich die Lage des Instruments in der Sonde bestimmen, so daß letztlich ein genauer Bezug zwischen Eichanlage und Blickrichtung von der Sonde hergestellt werden kann. Aus technischen Gründen kann bei der Montage des Sensors an der Eichanlage eine wenn auch minimale Verdrehung des Instruments um die Flächennormale nicht ausgeschlossen werden. Deswegen wird mit einem speziellen Lineal die Stellung des Instruments gegenüber den Paßstiften, die später den Deckel fixieren, gemessen.

- 9.) Schließlich muß noch die exakte Richtung des Eichstrahls gegenüber der Normalen zum Flansch bestimmt werden. Dazu wurde eine Art "Fernrohr" gebaut. Es besteht aus einem 20 cm langen Rohr, das an beiden Enden mit ebenen Platten verschlossen ist. In beide Plattenmittelpunkte sind feine Löcher von 0,5 mm Durchmesser gebohrt. Teilchen, die beide Löcher passieren, werden in einem CEM registriert. Das Fernrohr wird anstelle des Instruments montiert und in den Strahlengang gebracht. Mit Hilfe der Drehvorrichtung wird es solange geschwenkt, bis ein Maximum an Teilchen hindurchkommt; die dann erreichte Richtung wird notiert. Dann wird das Fernrohr abmontiert, um 180° um seine Achse gedreht und wieder anmontiert. Dann wird wieder die Richtung bestimmt. Die Mittelwerte aus beiden Messungen geben genau die gesuchte Richtung des Strahls gegenüber der Befestigungsebene für Fernrohr (und Instrument) an. In der Regel wich die Strahlrichtung nur um wenige Winkelsekunden von der Achsenrichtung ab.

Die Zeitdauer für die gesamte Prozedur betrug pro Instrument je etwa eine Woche, wobei auch einige Nachtschichten erforderlich waren.

Eichdaten

Im Folgenden fassen wir ohne nähere Erklärung in einigen Tabellen die wichtigsten Eichdaten zusammen, wie sie für die Datenauswertung verwendet werden. Wir werten alle Daten nach Momentenverfahren aus, bei denen nur die nullten und ersten Momente der Gerätefunktion $G(\vec{v})$ eingehen.

So ergibt sich z.B. für die Dichte

$$n = \int G(\vec{v}) \cdot f(\vec{v}) d\vec{v}$$

die Näherung

$$n = C \cdot \int f(\vec{v}) d\vec{v}.$$

Dabei ist

$$C = \frac{\text{DELEL} \cdot \text{DELAZ}}{\text{DELZ}} \cdot \frac{1}{G_0} \quad \text{bei der 1D-Auswertung, bzw.}$$

$$C = \frac{1}{\text{DELZ}} \cdot \frac{1}{G_0} \quad \text{bei der 3D-Auswertung.}$$

C ist sozusagen ein Maß für die Empfindlichkeit des jeweiligen Instruments. Die Eichung hat folgende Werte ergeben:

$$\begin{aligned} G_0 &= 4 \cdot 10^{-7} \\ \text{DELEL} &= 0,08727 \\ \text{DELAZ} &= 0,09774 \\ \text{DELZ} &= 0,01 \end{aligned}$$

Sie gelten für die I1a-Instrumente von F1, F2 und P. G_0 muß jeweils noch umgekehrt proportional zur Abweichung der Spinrate vom Nominalwert 60,1 pro Minute korrigiert werden.

Die 1D-Auswertung der Protonendichte aus den gemessenen Einzelzählraten Z_i des Integrationszählers an I1a oder I3 erfolgt dann z.B. nach der Formel

$$n = C \cdot \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{2} \left(\frac{Z_i}{v_i} + \frac{Z_{i+1}}{v_{i+1}} \right) \cdot (v_{i+1} - v_i).$$

Die v_i sind die Mitten der Geschwindigkeitskanäle, die ebenfalls durch die Eichung bestimmt werden (siehe unten).

Die Summe darf sich natürlich nur über die Zählraten erstrecken, die wirklich von Protonen herrühren. Die Unterscheidung verschiedener Ionensorten aus den Meßdaten stellt ein grundsätzliches Auswertungsproblem dar, auf das wir hier nicht weiter eingehen können.

Die Berechnung der anderen Parameter wie Geschwindigkeiten, Temperaturen etc. sowie auch die 3D-Auswertung erfolgt nach im Prinzip ähnlichen Formeln. Daneben gibt es auch noch andere Verfahren, bei denen z.B. analytische Funktionen an die gemessenen Zählraten angepaßt werden. Dies alles kann nicht Gegenstand dieses Berichts sein.

Die Instrumente I1b und I3 haben andere Werte für G_0 , bei gleichen Werten von DELEL, DELAZ, DELZ:

$$\begin{array}{ll} \text{I3} & G_0 = 0,1628 \times 10^{-7} \\ \text{I1b} & G_0 = 0,877 \times 10^{-7} \end{array}$$

Für die 3D-Auswertungen sind die geringfügig unterschiedlichen "Empfindlichkeiten" der einzelnen CEM zu berücksichtigen. Sie lassen sich durch Korrekturen von G_0 ausdrücken, die in Tabelle 35 angegeben sind.

	HELIOS 1		HELIOS 2	
	I1a	I3	I1a	I3
CEM 1	4,626	0,151	4,039	0,163
2	4,956	0,159	4,540	0,159
3	4,687	0,174	4,622	0,168
4	4,527	0,172	4,673	0,162
5	4,393	0,156	4,876	0,162
6	4,588	0,171	4,748	0,162
7	4,730	0,180	4,768	0,166
8	4,591	0,153	4,609	0,163
9	4,915	0,147	4,532	0,161

Tabelle 35: Die G_0 -Werte der CEM in I1a und I3.
Alle Werte sind mit 10^{-7} zu multiplizieren.

Die Lagen der Meßkanäle sind durch die 1. Momente der Gerätefunktion gegeben. Alle Werte sind in den Tabellen 36 (für F1) und 37 (für F2) zusammengefaßt.

Dabei sind noch zwei Punkte anzumerken: Wie schon erwähnt, beschränkte sich die Eichung auf den E/q-Kanal 13. Unmittelbar vor dem Start, beim Finaltest, haben wir sämtliche Plattenspannungen noch einmal genau gemessen. Die relative Lage der E/q-Kanäle wurde dann aus dem Verhältnis der Plattenspannungen zu der von Kanal 13 berechnet. Die Azimutkanäle sind allein durch die Eichmessung sowie den elektronisch eingestellten Kanalabstand gegeben. Hier ist besonders zu beachten, daß bei HELIOS 2 die Lage aller Azimutkanäle aller 4 Instrumente durch das Kommando 130-1AVL um $7,03^\circ$ verschoben werden kann (siehe auch Tabelle 10).

KANAELE FUER INSTRUMENT 1A * HOSI *												
GESCHWINDIGKEITSKANAELE OHNE SHIFT:												
	177.4205	190.8127	205.2966	221.0240	237.4854	255.4281	275.0674	295.9094	317.7935			
341.7998	367.6462	395.6724	425.2297	457.3589	492.6294	529.9421	569.2461	612.1265	658.5171			
708.8071	761.7083	819.1196	882.2610	948.7708	1021.8484	1098.7119	1181.7590	1271.2358	1365.5386			
1468.4735	1580.9919	1699.9663	GESCHWINDIGKEITSKANAELE MIT SHIFT:									
	171.0150	183.9177	197.8889	212.9468	228.9476	246.1972	265.2112	285.3137	306.3555			
329.4519	354.5015	381.4312	409.9836	440.8940	474.9219	510.9014	548.8286	590.1736	624.9250			
653.5317	734.4736	789.7634	850.4597	914.9817	985.1646	1059.4478	1139.4680	1225.8027	1317.2397			
1416.1432	1524.6316	1639.3696	AZIMUTH-KANAL OHNE SHIFT:									
	-54.564	-48.939	-43.314	-37.689	-32.064	-26.439	-20.814	-15.189	-9.554			
-3.939	1.686	7.311	12.936	18.561	24.186	29.811	35.436	41.061	46.686			
AZIMUTH-KANAL MIT SHIFT:												
	-51.751	-46.126	-40.501	-34.876	-29.251	-23.627	-18.002	-12.377	-6.752			
-1.127	4.498	10.123	15.748	21.373	26.998	32.623	38.248	43.873	49.498			
ELEVATIONSKANAL:												
	20.76	15.69	10.61	5.56	0.52	-4.57	-9.65	-14.72	-19.75			
KANAELE FUER INSTRUMENT 3 * HOSI *												
GESCHWINDIGKEITSKANAELE :												
	192.9609	211.0055	230.8934	252.8186	276.6838	302.7808	331.3999	362.6384	396.8843			
424.2215	475.1746	519.9951	569.0942	622.7527	681.4263	745.6497	814.7233	884.8069	959.8905			
AZIMUTH-KANAL OHNE SHIFT:												
	-54.7439	-49.1190	-43.4940	-37.8690	-32.2440	-26.6190	-20.9940	-15.3691	-9.7441			
-4.1191	1.5058	7.1308	12.7558	18.3808	24.0057	29.6307	35.2557	40.8807	46.5057			
AZIMUTH-KANAL MIT SHIFT:												
	-51.9314	-46.3065	-40.6815	-35.0565	-29.4315	-23.8065	-18.1815	-12.5566	-6.9316			
-1.3066	4.3183	9.9433	15.5683	21.1933	26.8182	32.4432	38.0682	43.6932	49.3182			
ELEVATIONSKANAL:												
	20.912	15.842	10.823	5.793	0.823	-4.267	-9.297	-14.377	-19.457			
KANAELE FUER INSTRUMENT 1B * HOSI *												
GESCHWINDIGKEITSKANAELE OHNE SHIFT:												
	171.7435	185.2370	198.7062	214.0882	230.3004	247.0319	265.6782	286.6697	307.5935			
331.8147	355.5197	383.5547	412.4998	442.4983	477.6255	513.3958	551.4827	594.7793	637.9971			
687.3589	739.4268	793.0391	856.0723	920.1711	988.0325	1066.0488	1143.4380	1231.6724	1324.6543			
1420.3792	1532.5949	1647.4070	GESCHWINDIGKEITSKANAELE MIT SHIFT:									
	165.4039	178.4133	191.4100	206.2247	221.8374	237.9380	255.8806	276.1287	295.1597			
319.4558	342.7881	369.2900	397.1763	426.0525	459.9438	494.3591	530.9666	572.7212	614.2681			
661.8203	711.9856	763.5676	824.2412	885.9976	951.3602	1026.1824	1100.6946	1185.9590	1275.3406			
1367.6501	1476.1721	1586.4722										

Tabelle 36: Die Lage der Meßkanäle für die Ioneninstrumente auf HELIOS 1 unter Einbeziehung der Eichungen.

HCS 2 KANAELE FUER INSTRUMENT 1A												
GESCHWINDIGKEITSKANAELE OHNE SHIFT:												
341.4294	366.8901	794.7362	221.1543	237.8146	254.8014	274.9546	295.6865	317.5659	341.4294	366.8901	794.7362	221.1543
707.2450	760.2402	815.8366	455.3274	491.4431	528.6404	563.4856	611.1689	657.0156	707.2450	760.2402	815.8366	455.3274
1463.2292	1578.9460	1693.5481	947.2307	1019.8423	1096.6001	1178.5918	1268.6731	1363.6038	1463.2292	1578.9460	1693.5481	947.2307
GESCHWINDIGKEITSKANAELE MIT SHIFT:												
320.3052	353.8618	380.7192	213.3009	229.3697	245.7532	265.1907	285.1865	306.2891	320.3052	353.8618	380.7192	213.3009
682.1343	733.2437	785.9369	439.1584	473.9915	509.8679	548.2983	589.4661	633.6853	682.1343	733.2437	785.9369	439.1584
1411.2692	1522.8767	1638.2312	913.5937	983.6270	1057.6594	1136.7397	1223.6218	1315.1814	1411.2692	1522.8767	1638.2312	913.5937
AZIMUTH-KANAL OHNE SHIFT O V.:												
39.756	34.136	28.516	22.896	17.276	11.656	6.036	0.416	-5.234	39.756	34.136	28.516	22.896
-10.824	-16.444	-22.064	-33.304	-38.924	-44.544	-49.164	-53.784	-58.404	-10.824	-16.444	-22.064	-33.304
AZIMUTH-KANAL MIT SHIFT O V.:												
42.566	36.946	31.326	25.706	20.086	14.466	8.846	3.226	-2.394	42.566	36.946	31.326	25.706
-8.014	-13.634	-19.254	-30.494	-36.114	-41.734	-47.354	-52.974	-58.594	-8.014	-13.634	-19.254	-30.494
ELEVATIONS-KANAL:												
-20.78	-15.70	-10.59	-5.55	-0.51	4.52	9.63	14.69	19.71	-20.78	-15.70	-10.59	-5.55

HCS 2 KANAELE FUER INSTRUMENT 3												
GESCHWINDIGKEITSKANAELE :												
421.1311	471.6731	516.1533	250.9557	274.6450	300.5496	328.9578	359.9661	393.9597	421.1311	471.6731	516.1533	250.9557
39.5938	34.3338	28.7438	23.1238	17.5038	11.8838	6.2638	0.6438	-4.9752	39.5938	34.3338	28.7438	23.1238
-10.5962	-16.2162	-21.8362	-33.0762	-38.6962	-44.3161	-49.9361	-55.5561	-61.1761	-10.5962	-16.2162	-21.8362	-33.0762
AZIMUTH-KANAL MIT SHIFT O V.:												
42.7938	37.1738	31.5538	25.9338	20.3138	14.6938	9.0738	3.4538	-2.1552	42.7938	37.1738	31.5538	25.9338
-7.7862	-13.4062	-19.0262	-30.2661	-35.8861	-41.5061	-47.1261	-52.7461	-58.3661	-7.7862	-13.4062	-19.0262	-30.2661
ELEVATIONS-KANAL:												
-20.548	-15.473	-10.443	-5.413	-0.395	4.694	9.777	14.837	19.924	-20.548	-15.473	-10.443	-5.413

HCS 2 KANAELE FUER INSTRUMENT 1B												
GESCHWINDIGKEITSKANAELE OHNE SHIFT:												
335.7917	360.7571	388.2131	216.9383	234.0746	250.5906	270.4561	290.6262	311.4346	335.7917	360.7571	388.2131	216.9383
655.0132	748.5520	802.6470	448.1162	483.3787	519.7019	557.7451	601.4404	645.8123	655.0132	748.5520	802.6470	448.1162
1439.1455	1552.1416	1668.6224	930.7544	1000.0188	1078.4387	1157.9849	1246.2710	1342.2422	1439.1455	1552.1416	1668.6224	930.7544
GESCHWINDIGKEITSKANAELE MIT SHIFT:												
323.9666	348.0527	374.5420	209.2987	225.8315	241.7659	260.9319	280.3916	300.5156	323.9666	348.0527	374.5420	209.2987
670.5378	722.1914	774.3813	432.3352	466.3560	501.4004	538.1040	580.2603	623.0596	670.5378	722.1914	774.3813	432.3352
1388.4652	1457.4817	1609.9287	835.1978	964.8027	1040.4609	1117.2056	1202.3831	1294.9744	1388.4652	1457.4817	1609.9287	835.1978

Tabelle 37: Die Lage der Meßkanäle für die Ioneninstrumente auf HELIOS 2 unter Einbeziehung der Eichungen.

Eichung von I2

Die Eichung von I2 war einerseits schwierig, weil dazu ein monoenergetischer Strahl von Elektronen mit niedrigen Energien aus genau bekannter Richtung nötig war. Wegen der Ablenkung solcher Elektronen durch das Erdmagnetfeld und andere Störfelder erforderte dies besondere Maßnahmen. Zum anderen wird nur eindimensionale, ziemlich grobe Richtungsauflösung gefordert.

Dazu bauten wir eine gesonderte Anlage: Das Instrument wird als ganzes in einem großen Vakuumkessel kardanisch aufgehängt. Ein Elektronenstrahl aus einer eigens entwickelten Quelle läuft von dort durch ein Abschirmrohr aus μ -Metall bis in die Eintrittsöffnung. Auch hier gibt es wieder Stabilisierungs- und Regelungselektroniken.

Bei diesen Messungen kam es u.a. besonders auf folgende Punkte an:

- Durch Verändern des Verhältnisses der beiden Plattenspannungen an Platten- und Kugelanalysator mußte sichergestellt werden, daß das Blickfeld des Instruments möglichst senkrecht zur Spinachse und somit annähernd parallel zur Ekliptik liegt. Der dazu nötige Trimmerwiderstand wurde erst danach noch angebracht.
- Messungen mit besonders niederenergetischen Elektronen mußten erweisen, daß die relativen Durchlaßcharakteristiken unabhängig von der Teilchenenergie sind, wie sonst bei allen elektrostatischen Analysatoren. Bei I2 könnten aber im Prinzip lokale Aufladungen der Ablenkplatten von der Größenordnung einiger Millivolt schon zu Verfälschungen führen. Dies war zum Glück nicht der Fall.
- Die Unempfindlichkeit von I2 gegenüber UV-Licht mußte geprüft werden.

Während des Fluges werden die Zählraten $Z(i, k)$ als Funktionen der Energie (Index i) und des Azimutwinkels (Index k) gemessen. Daraus berechnen wir die Werte für die Geschwindigkeitsverteilungsfunktion $f(i, k)$ nach folgender

Formel:

$$f(i, k) = CR \cdot \frac{Z(i, k)}{v_i^4}$$

Dabei ist v_i der Wert der Elektronengeschwindigkeit, die dem i -ten Energiekanal entspricht. CR beschreibt die Gerätekonstante, die durch die Eichung ermittelt wurde. Es ist

$$CR = 1 / (AREA \cdot EK \cdot DELEPS \cdot DELPHI \cdot EFFABS \cdot TAU)$$

Die einzelnen Größen sind

AREA	= 0,3744	}	Eintrittsfläche
EK	= 0,03035		aus der Relativ-Eichung
DELEPS	= 0,117		bestimmt.
DELPHI	= 0,094		
EFFABS	= 0,9		
TAU	= 0,078 (HELIOS 1)		Bruchteil der Meßzeit,
	= 0,031 (HELIOS 2)		pro ganzer Umdrehung.

Bei den Zählraten muß noch die Verstärkertotzeit berücksichtigt werden. Sie beträgt $0,55 \times 10^{-7}$ s bei HELIOS 1 und HELIOS 2.

Die bei der Eichung gemessenen Werte für die Lagen der Meßkanäle sind in Tabelle 38 zusammengefaßt.

Zu Tabelle 38a ist noch zu bemerken, daß wegen der speziellen Montage von I2 in der Sonde die mittlere Blickrichtung von I2 um $11,25^\circ$ von der radialen Richtung abweicht. Deshalb muß von allen Werten für HELIOS 1 noch $11,25^\circ$ abgezogen, bei HELIOS 2 $11,25^\circ$ addiert werden.

Eine ausführlichere Beschreibung dieser Eichung, eine Diskussion der dabei aufgetretenen Probleme sowie Details der gemessenen Durchlaßcharakteristiken werden in einer separaten Veröffentlichung behandelt.

Energiekanal	Programm A	Programm B
1	0.00039	10,69
2	0.468	14,93
3	1,150	20,94
4	1,726	29,26
5	2,317	40,96
6	3,116	57,75
7	3,914	75,80
8	4,723	112,38
9	5,518	157,82
10	6,687	220,56
11	7,835	309,30
12	9,012	432,11
13	10,151	604,68
14	11,882	852,47
15	13,586	1186,06
16	15,457	1657,94

Tabelle 38a: Lage der Energiekanäle von I2; alle Angaben in keV.

Azimutkanal	HELIOS 1		HELIOS 2	
	NS	WS	NS	WS
1	168,75	171,55	167,345	189,845
2	213,75	216,55	122,345	144,845
3	258,75	261,55	77,345	99,845
4	303,75	306,55	32,345	54,845
5	348,75	351,55	- 12,655	9,845
6	33,75	36,55	- 57,655	- 35,155
7	78,75	81,55	-102,655	- 80,155
8	123,75	126,55	-147,655	-125,155

Tabelle 38b: Lage der Azimutkanäle von I2; alle Angaben in Grad, bezogen auf den see-sun-pulse. Bei HELIOS 2 können durch Kommando 130-1AVL alle Kanäle um 7,03° zu negativen Werten hin verschoben werden (kenntlich an DHK Wort B0.. bit 4 in Stellung "PEHEL" statt "APHEL").

7. Tests

In allen Stadien des Projekts wurden und werden immer wieder Tests durchgeführt:

- Entwurfs- und Entwicklungsphase: Tests von Bauteilen, Baugruppen, Schaltungen
- Fertigungsphase: Laufend Funktions- und Umwelttests von Bauteilen, Baugruppen und den integrierten Instrumenten. Danach Qualifikationstests an den Prototyp-Instrumenten (P-Typ) bzw. Abnahmetests an den Flug-Instrumenten (F-Typen).
- Integrationsphase: Laufend Funktionstests im integrierten Gesamtsystem von HELIOS, im Rahmen der Qualifikations- und Abnahmetests der Sonde
- Flugphase: Ausführliche Funktionstests nach dem ersten Einschalten und bei späteren besonderen Anlässen, im übrigen tägliche regelmäßige Testzyklen (Inflight-Tests).

Hier soll nur auf Tests der fertigen Instrumente eingegangen werden. Inflight-Tests wurden schon beschrieben.

Testgerät

Das Experiment ist in seiner Gesamtheit so umfangreich und kompliziert, daß ein relativ aufwendiges Testgerät notwendig ist, um die Funktionen des gesamten Experimentes sowohl nach Durchführung von Umwelttests als auch vor der Gesamtintegration ausreichend zu prüfen.

Die Aufgabe des Testgerätes ist es, bei einfachem Aufbau und leichter Bedienbarkeit die Versorgungsspannung und alle Signale, die von der Sonde an das Experiment geliefert werden, nachzubilden (S/C-Simulator), alle anfallenden Daten des Experimentes aufzunehmen und derart auszuwerten, daß eine Aussage über die einwandfreie oder fehlerhafte Funktion des Experimentes gemacht werden kann. Dabei müssen sämtliche Betriebszustände nacheinander untersucht werden. Sowohl die Ansteuerung der Instrumente als auch die

Testdatenauswertung wird von einem Kleinrechner (HP 2100) vorgenommen.

Das Testgerät soll diese Funktionstests unter Laborbedingungen, mit Nennspannung, Nenn-TTL-Daten etc. durchführen.

Alle Leitungen zwischen Testgerät und Experiment werden über unterbrechende Buchsen geführt, die ein Unterbrechen der Leitungen, Einspeisen von zusätzlichen oder anderen Signalen, Strom- und Spannungsmessungen usw. gestatten.

Das Testgerät hat selbstständig den im Experiment eingebauten automatischen Testzyklus (Inflight-Test) zu simulieren und auszuwerten. Außerdem muß es auch die Durchführung handgesteuerter Tests ermöglichen.

Jede der vier Boxen des Experimentes besitzt neben den Interface-Steckern einen Teststecker, an den die wichtigsten Spannungen herangeführt sind. Die einzelnen Pins dieser Teststecker werden auf entsprechende Adapterbuchsen am Testgerät geführt. Diese Teststecker werden im Flug nicht verwendet und wurden deshalb kurz vor dem Start mit speziellen Kappen abgedeckt. Alle vorkommenden Test-Analogspannungen werden außerdem über ein umfangreiches Interface (Multiplexing) dem Computer zugeführt.

Die Stromversorgung des gesamten Testgerätes einschließlich der Peripherie ist so ausgelegt, daß über einen zwischen 115 V und 220 V umschaltbaren Trenntrafo das Netz an alle Geräte, welche Netzspannung benötigen, verteilt wird. In der eigentlichen Stromversorgung werden die benötigten Gleichspannungen für S/C-Simulator und die Special-Test-Units sowie Spezial-Einsteinheiten hergestellt.

In Bild 51 ist das Blockschaltbild des Testgerätes in Zusammenhang mit dem Experiment dargestellt. Bild 52 zeigt eine fotografische Darstellung des Testgerätes. Das Testgerät ist in insgesamt 6 Kayser-Racks untergebracht, die gleichzeitig als Transportkisten dienen. Ein kompletter Satz war in der Endphase (Integration und letzter Funktionstest vor dem Start) im Kennedy Space Center (KSC) stationiert, ein identischer Satz blieb in Deutschland für gleichzeitige Tests an den anderen Modellen. Auf eine weitere Beschreibung des Testgerätes soll hier verzichtet werden, da eine ausführliche "Beschreibung zum Testgerät für Experiment 1/HELIOS Teil A, B und C" bereits vorliegt.

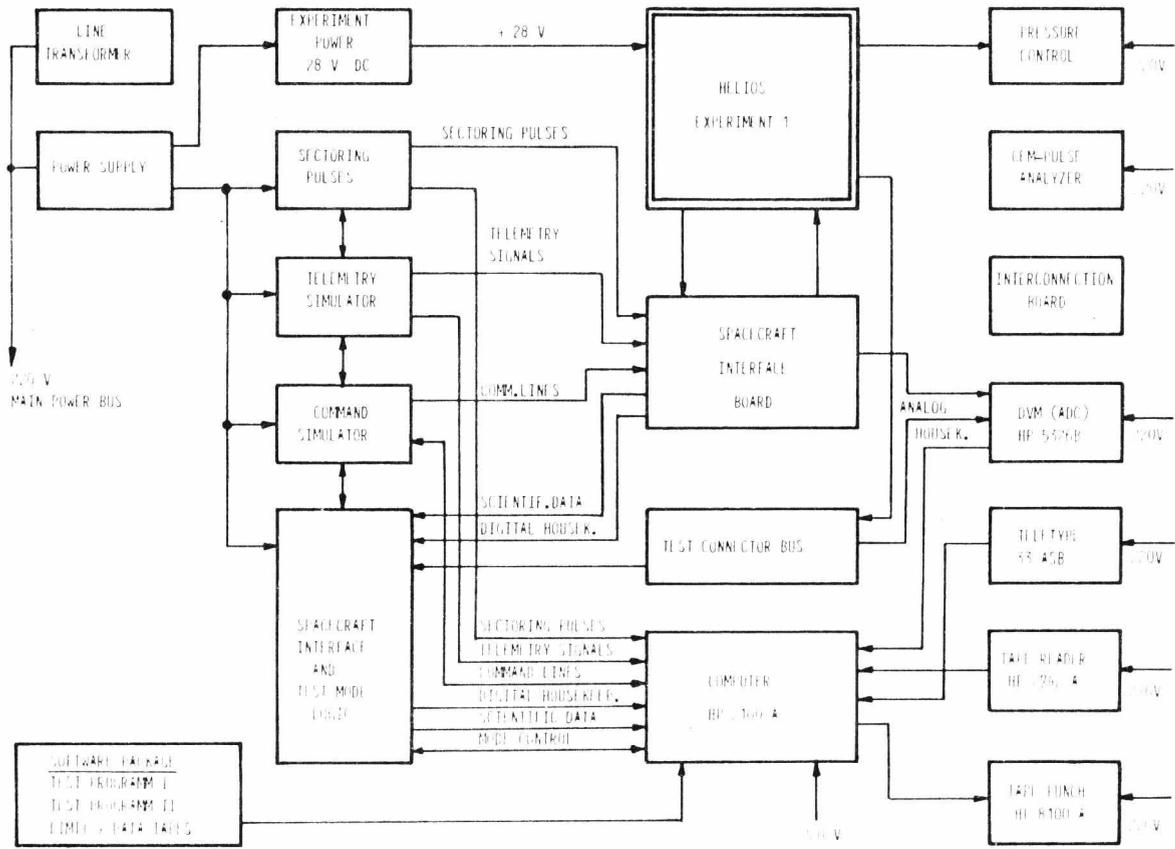


Bild 51: Testgerät, Blockschaltbild

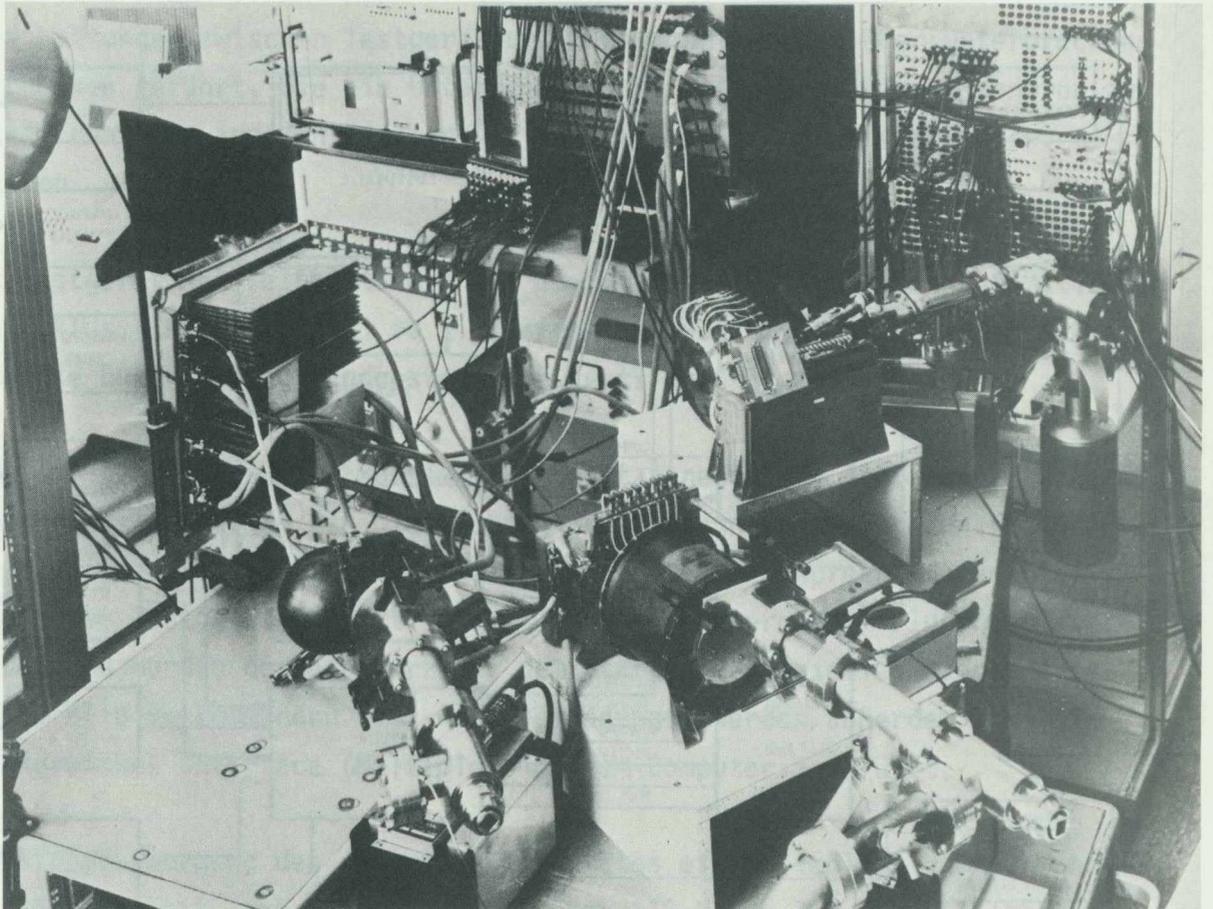


Bild 52: Das Testgerät bei einem der ersten Gesamttests des Ingenieurmodells von E1. Ganz links oben die Teletype für Steuerung und Datenausgabe, daneben der Prozessor (HP 2100). Oben Mitte die "breakout box" für alle Instrumentenleitungen. Rechts die Einheit für "handgesteuerte" Spezialtests.

Qualifikations- und Abnahmetests

Für die Qualifikations- und Abnahmetests sämtlicher HELIOS-Experimente wurden die Umwelt-Testanlagen der IABG in Ottobrunn benützt, die von der GfW für diese Zwecke angemietet wurden.

Das Ingenieurmodell (EM) wurde vor allem zu Entwicklungstests einzelner Baugruppen benutzt. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse flossen in den Bau der nachfolgenden Proto- und Flugtypen ein.

Leider stimmt das nur bedingt, weil der Terminplan zu straff war und das EM "unbedingt" für die Integration in das Sonden EM bereitstehen mußte. Dort gab es jedoch lange Wartezeiten, in denen unser EM ungenutzt herumlag. Dabei hätten wir in weiteren Tests noch sehr viel lernen können und müssen. Heute würden wir dieser Phase erheblich mehr Bedeutung beimessen.

Bei den Qualifikationstests an den Prototyp-Instrumenten (P-Typen) waren die Testanforderungen höher als für die Abnahmetests an den Flugmodellen (F-Typen).

Auch hier gab es aus Zeitgründen praktisch keine Rückwirkung auf den Bau der F-Typen. So war es möglich, daß manche Fehler erst bei oder gar nach den Abnahmetests entdeckt wurden und dann oft nur noch in "Nacht- und Nebel-Aktionen" beseitigt werden konnten.

Die Umwelttests von E1-HELIOS wurden nach Prüfvorschrift PV-E1-100 durchgeführt. Nach bzw. während jedem Umwelttest wurde jeweils eine vollständige Funktionsprüfung des Experiments mit dem rechnergesteuerten Testgerät nach Prüfvorschrift "E1-HELIOS Testprogramm 1" durchgeführt.

Die Experiment-Boxen wurden dazu in ein spezielles Testgestell in der Konfiguration montiert, in der sie sich auch in der Sonde befinden. An die Trichter der Sensoren wurde ein Adsorptionspumpen-System angeflanscht. Die Innenräume der Sensoren wurden evakuiert ($< 10^{-6}$ Torr),

damit die Hochspannungen und die Funktion der Channelmultiplier getestet werden konnte. Hierzu wurde ein ölfreies Vakuum benötigt, um Kontamination der Channeltrons zu vermeiden.

In vielen Fällen war aus Zeitgründen das Evakuieren nicht möglich. Dann wurden spezielle Teststecker aufgesetzt, in denen geeignete Kurzschlußbrücken für die künstliche Niederhaltung der Hochspannungen sorgte. So konnte dann wenigstens die elektronische Funktion des Experiments getestet werden.

Die Testabläufe sind in Tabelle 39 wiedergegeben.

Die während der Qualifikations- und Abnahmetests aufgetretenen Störungen sind in den folgenden Tabellen 40 - 42 zusammengefaßt.

Der P-Typ wurde nach dem Start von F1 mit HELIOS 1 zur Flugersatzeinheit F2 auf HELIOS-B umgebaut und ist deshalb identisch mit F2. Dazu mußte P auch nochmals Abnahmetests bestehen.

Qualifikation (mit den Prototyp-Instrumenten)

- Funktionstest
- Masseeigenschaften
- 1. magnetische Vermessung
- Funktionsüberprüfung
- Vibration (Sinus und Random)
- Funktionstest
- Linear Beschleunigung
- Funktionstest
- Temperaturprüfung und Funktionstest
- Thermovakuum und Funktionstest
- EMV-Test und Funktionstest
- 2. magnetische Vermessung *
- Funktionsprüfung

Abnahme (mit den Flug- und Flugersatzeinheiten)

- Funktionstest
- Masseeigenschaften
- Vibration
- Funktionstest
- Thermovakuum und Funktionstest
- EMV-Test und Funktionstest
- magnetische Vermessung *
- Funktionsprüfung

* Experiment eingeschaltet, aber kein Funktionstest.

Tabelle 39: Testablauf
Qualifikation und Abnahme

Test	Störung	Abhilfe-Maßnahme
1. magn. Vermessung	Kurzschluß in Box E1C	verbesserte Isolation des HF-Generatorblocks gegen Gehäuse
Temperaturtest	Grenzwertüberschreitung der Sensordaten bei -20°, +55°	Austausch von elektr. Bauteilen und 1 Karte. Wiederholung des Temperaturtests, Erniedrigung der Testtemperatur auf +50°
Vibrationstest	Bruch von Anschlüssen in Box E1C	Verbesserung der Abstützung des Elektronikblocks, Wiederholung des Tests nur mit E1C
Wiederholung Temperaturtest	Fehlerhafte Schaltzeit des Quecksilber-Relais	Keine. Verbesserungen für Flugmodelle
TV-Test	Fehlerhaftes Quecksilber-Relais in E1A	Austausch
	Grenzüberschreitungen bei -20°, -30° bei E1C	Keine
	Übersteuerung im A/D Converter	Schaltungsmodifikation
EMV-Test	Lokale Grenzwertüberschreitungen	Keine, da unkritisch

Tabelle 40: Störungen während der Qualifikation am Prototyp

Test	Störung	Abhilfe-Maßnahme
Vibration	Schrauben in E1C gelockert	nachgezogen, gesichert
	Bolzen in E1C gebrochen	ersetzt
TV-Test	Spannungsconverter in E1D läßt sich bei -20° nicht einschalten	kein Fehler im Experiment, ungeeignetes externes Netzgerät
magn. Vermessung	Überschreitung des zulässigen magn. Feldes nach Aufmagnetisierung	Waiver genehmigt. Keine Änderung.

Tabelle 41: Störungen während der Abnahme, F1-Typ

Test	Störung	Abhilfe-Maßnahme
TV-Test	Schraube am Trichter E1C durch Handhabungsfehler abgebrochen	Ersatz
	Ausfall der Stromversorgung im E1B	Ersatz von fehlerhaften Bauteilen Wiederholung des Tests
EMC-Test	Störung durch Einstrahlung elektrischer Felder im Bereich 2 - 10 MHz	fehlende Masseverbindung nachgezogen (auch im F1, P) Testwiederholung

Tabelle 42: Störungen während der Abnahme, F2-Typ

Integration von E1 in die Sonde und Systemtests

Nach erfolgreich abgeschlossener Qualifikation oder Abnahme und Eichung wurde das jeweilige Modell offiziell in die Verantwortung der Projektleitung und von dieser an den Hauptauftragnehmer (MBB) zur Integration in die Sonde übergeben. Wichtigster Teil der Eingangsinspektion war ein Spacecraft-Simulator-Test zur direkten Prüfung aller Interfaceleitungen. Nach dem Einbau in die Sonde konnte E1 wie alle anderen Experimente nur noch über die Sondensysteme betrieben und getestet werden. Diese Integrated System Tests (IST) waren nun auf Sondenebene die Funktionstests nach jedem einzelnen der Qualifikations- und Abnahmeschritte. Ähnlich wie das E1-Testgerät gab auch der HELIOS-Test-Set (HTS) Kommandos an E1, startete Testzyklen, wertete die Daten aus und untersuchte so nacheinander ca. 25 verschiedene Betriebszustände von E1. Nach den wichtigsten Umwelttests wurden für den IST die E1-Instrumente evakuiert, mit Hilfe der vorne an die Trichter angeflanschten Pumpe (siehe Bild 53).

Vor der endgültigen Fertigstellung der Sonde gab es für E1 am KSC noch einen Special Test, den sogenannten Final Test. Dazu wurden die in der Sonde eingebauten Boxen wieder von den Sondensystemen getrennt und mit dem Testgerät verbunden. Dann wurden an den evakuierten Instrumenten im Handbetrieb nochmal sämtliche Spannungen schrittweise gemessen, die Verstärkung der Channeltrons mit dem Vielkanalanalysator genau überprüft etc. Die in diesem Final Test gemessenen Analysatorspannungen dienen als Referenzdaten für die Eichung der Energiekanäle. Danach erfolgte die endgültige Montage der ganzen Sonde.

Unmittelbar vor dem Überstülpen der Raketenspitze über die fertige Sonde wurden die auf die E1-Trichter geschraubten luftdichten Deckel abgenommen und durch leichte, nur durch Federdruck gehaltene Staubschutzdeckel ersetzt. Nach dem Aufsetzen der Spitze samt HELIOS auf die Rakete wurden erst 20 Stunden vor dem Start diese Deckel mit einem Greifwerkzeug durch eine spezielle Öffnung in der Raketenspitze hindurch wieder abgenommen. Auf diese Weise konnten wir das riskante Absprengen der Deckel oder andere

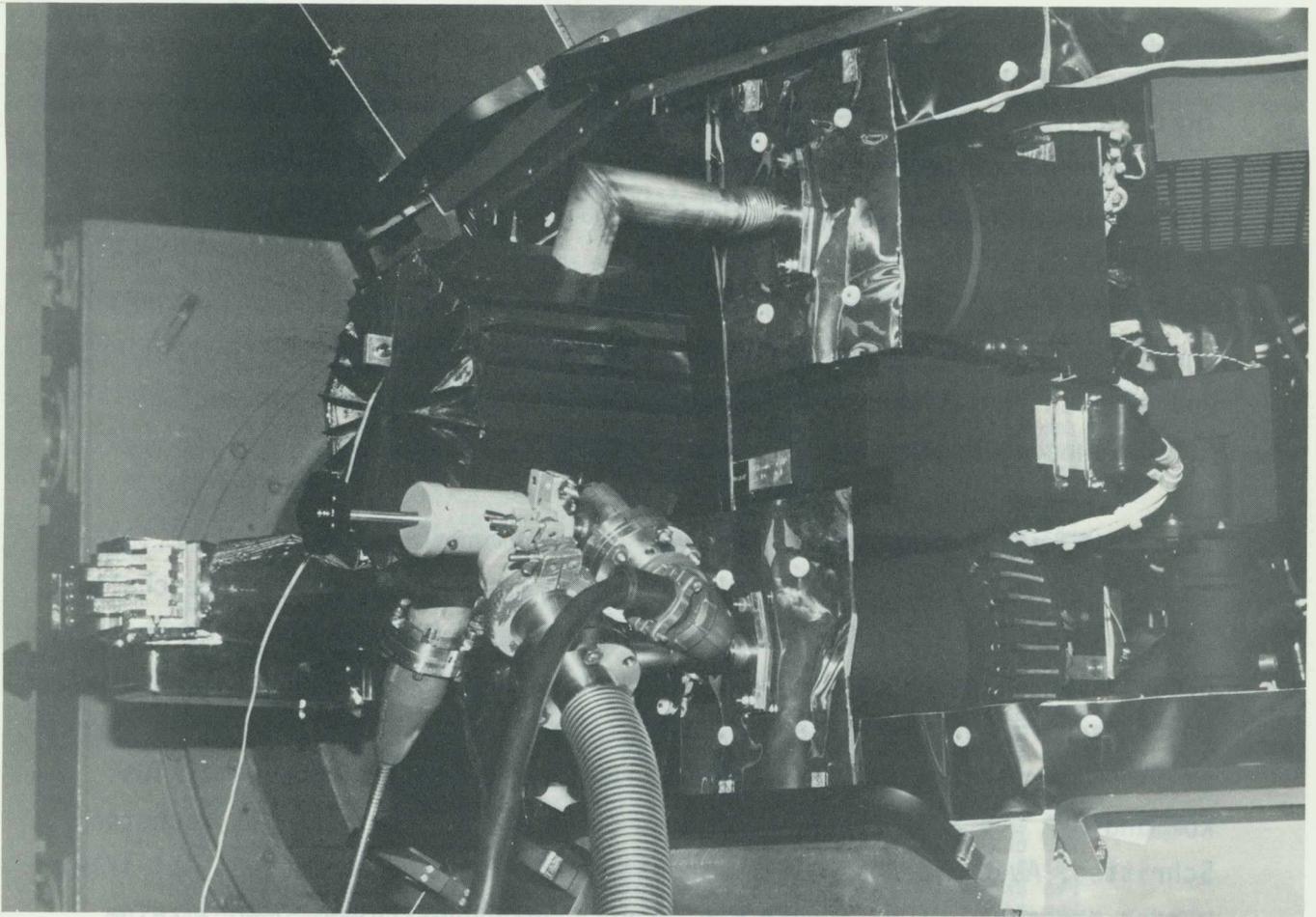


Bild 53: Die Vakuumpumpe zum Test der in die Sonde eingebauten Instrumente von E1.

komplizierte Aktionen im Flug vermeiden und doch die Instrumente recht gut vor Kontamination und Staubeinfall schützen.

Andererseits hat die Durchsetzung dieser ganzen Prozedur, die Entwicklung der Deckel und des Greifwerkzeugs, das Training des Greifers (mit Ersatzmann), das Studium aller Interface Requirements sowie der NASA-Sicherheitsvorschriften und nicht zuletzt die Verhandlungen und der Papierkrieg mit allen Beteiligten teilweise groteske Anstrengungen erfordert. Vielleicht gibt es doch einfachere Techniken...

Erstes Einschalten der Instrumente

Zwei Tage nach dem Start von HELIOS 1 am 10.12.1974 begann die Einschaltung der E1-Instrumente. Bis dahin waren alle Sensoren und Elektroniken sicher ausreichend evakuiert. Die Einschaltsequenz war schon lange vorher im Detail festgelegt worden. Teile davon wurden während des "end to end test" von Raumsonde (damals noch am KSC) und Missionskontrolle (am JPL) und später während des "operational demonstration test" schon erprobt und dienten vor allem zur Einübung der Beteiligten (K. Müller und R. Schwenn) im Umgang mit den Missionskontrollsystemen.

Tabelle 43 zeigt einen Ausschnitt aus dem Kommandologbuch vom 12.12.1974. Um 0115 GMT wurde mit CMD 004-E10N die Stromversorgung von E1 angeschaltet. Dann folgten die eigentlichen E1-Kommandos. Jedes Instrument wurde zunächst einzeln genau untersucht, und zwar wurden die AHK- und DHK-Kanäle am Bildschirm verfolgt (siehe Bild 31), die wissenschaftlichen Daten direkt am Schnelldrucker. Nach jeder Veränderung wurde jeweils ein Testzyklus kommandiert und abgewartet, dann erst erfolgte die Freigabe des nächsten Schrittes. Auch die Abschaltkommandos für die Hochspannung (z.B. 151-1V1R) wurden probiert, nicht jedoch die höheren Spannungsstufen. Obwohl keine ausreichenden Zählraten zu erwarten waren, untersuchten wir auch I3 und die Umschaltung zwischen I1a und I3. Dann kamen noch Umschaltungen zwischen NDM und HDM und zwischen den Digitalelektroniken. Während der gesamten Prozedur gab es keinerlei Anomalien, alles entsprach genau den letzten Bodentests, mit Ausnahme der nun endlich sichtbaren Sonnenwindteilchen. Erst zuletzt wurden alle Instrumente zusammen eingeschaltet, und der eigentliche Missionsbetrieb konnte um 0255 GMT beginnen.

S/C ID	CMD CTR	STATUS TIME	SPACECRAFT TIME	COMMAND	STATUS	CMD MES	FMT
90	0	0-0 00/00/00	000/00/00/00.0	MANUAL	V	940 601	
90	0	0-0 00/00/00	000/00/00/00.0	MANUAL	V	970 601	
90	0	0-0 00/00/00	000/00/00/00.0	MANUAL	V	980 601	
90	50	346-74 01/15/00	000/16/48/49.5	004-E10N		120 601	
90	51	346-74 01/15/20	000/16/48/12.8	004-E10N	V	120 601	
90	51	346-74 01/16/10	000/16/48/12.8	374-1SOF		130 601	
90	51	346-74 01/16/28	000/16/49/21.4	374-1SOF	V	130 601	
90	51	346-74 01/17/50	000/16/49/21.4	066-1DE1		140 601	
90	52	346-74 01/18/09	000/16/51/01.5	066-1DE1	V	140 601	
90	0	0-0 00/00/00	000/00/00/00.0	MANUAL	N	970 601	
90	0	0-0 00/00/00	000/00/00/00.0	MANUAL	N	980 601	

S/C ID	CMD CTR	STATUS TIME	SPACECRAFT TIME	COMMAND	STATUS	CMD MES	FMT
90	0	0-0 00/00/00	000/00/00/00.0	MANUAL	N	70 601	
90	0	0-0 00/00/00	000/00/00/00.0	MANUAL	N	80 601	
90	0	0-0 00/00/00	000/00/00/00.0	MANUAL	V	70 601	
90	0	0-0 00/00/00	000/00/00/00.0	MANUAL	V	80 601	
90	52	346-74 01/20/20	000/16/51/01.5	122-1HDM		150 601	
90	54	346-74 01/20/51	000/16/53/43.5	122-1HDM	V	150 601	
90	54	346-74 01/22/00	000/16/53/43.5	024-1S1B		160 601	
90	55	346-74 01/22/32	000/16/55/24.8	024-1S1B	V	160 601	
90	55	346-74 01/23/40	000/16/55/24.8	332-1TCY		170 601	
90	56	346-74 01/24/13	000/16/57/06.0	332-1TCY	V	170 601#	
90	56	346-74 01/27/20	000/16/57/06.0	374-1SOF		180 601	
90	57	346-74 01/27/56	000/17/00/48.8	374-1SOF	V	180 601	
90	57	346-74 01/29/00	000/17/00/48.8	066-1DE1		190 601	
90	58	346-74 01/29/37	000/17/02/30.0	066-1DE1	V	190 601	
90	58	346-74 01/31/30	000/17/02/30.0	122-1HDM		200 601	
90	59	346-74 01/31/59	000/17/04/52.9	122-1HDM	V	200 601	
90	59	346-74 01/33/10	000/17/04/52.9	003-1S1A		210 601	
90	60	346-74 01/33/40	000/17/06/33.0	003-1S1A	V	210 601	
90	60	346-74 01/34/50	000/17/06/33.0	332-1TCY		220 601	
90	61	346-74 01/35/21	000/17/08/14.3	332-1TCY	V	220 601	
90	61	346-74 01/38/30	000/17/08/14.3	107-1V11		230 601	
90	62	346-74 01/39/04	000/17/11/57.0	107-1V11	V	230 601	
90	62	346-74 01/40/10	000/17/11/57.0	332-1TCY		240 601	
90	63	346-74 01/40/45	000/17/13/38.3	332-1TCY	V	240 601	
90	63	346-74 01/42/20	000/17/13/38.3	151-1V1R		250 601	

S/C ID	CMD CTR	STATUS TIME	SPACECRAFT TIME	COMMAND	STATUS	CMD MES	FMT
90	64	346-74 01/42/47	000/17/15/39.8	151-1V1R	V	250 601	
90	64	346-74 01/44/00	000/17/15/39.8	374-1SOF		260 601	
90	65	346-74 01/44/28	000/17/17/21.0	374-1SOF	V	260 601	
90	65	346-74 01/45/40	000/17/17/21.0	066-1DE1		270 601	
90	66	346-74 01/46/09	000/17/19/02.3	066-1DE1	V	270 601	
90	66	346-74 01/48/10	000/17/19/03.4	122-1HDM		280 601	
90	66	346-74 01/48/31	000/17/21/24.0	122-1HDM	V	280 601	
90	66	346-74 01/49/50	000/17/21/24.0	353-1SE2		290 601	
90	67	346-74 01/50/12	000/17/23/05.3	353-1SE2	V	290 601	
90	67	346-74 01/51/30	000/17/23/05.3	332-1TCY		300 601	
90	68	346-74 01/51/53	000/17/24/46.5	332-1TCY	V	300 601#	
90	68	346-74 00/10/59	000/17/24/46.5	U		1 601	
90	69	346-74 01/54/29	000/17/27/21.8	U	N	1 601	
90	69	346-74 01/54/40	000/17/27/24.0	172-1V21		310 601	
90	69	346-74 00/10/59	000/17/27/58.9	U		1 601	
90	70	346-74 01/55/16	000/17/28/09.0	172-1V21	V	310 601	
90	70	346-74 00/03/35	000/17/28/20.3	U		1 601	
90	70	346-74 01/55/30	000/17/28/22.5	U	N	1 601	
90	70	346-74 01/55/43	000/17/28/42.8	U		1 601	
90	70	346-74 01/56/20	000/17/29/18.8	332-1TCY		320 601	
90	71	346-74 01/56/57	000/17/29/50.3	332-1TCY	V	320 601	
90	71	346-74 01/59/30	000/17/32/28.9	234-1PGA		330 601	
90	72	346-74 01/59/59	000/17/32/52.5	234-1PGA	V	330 601	
90	72	346-74 02/01/10	000/17/34/07.9	332-1TCY		340 601	
90	73	346-74 02/01/41	000/17/34/33.8	332-1TCY	V	340 601	

Tabelle 43: Dieser Ausschnitt aus dem Kommandologbuch von HELIOS 1 vom 12.12.1974 zeigt die Einschaltsequenz für die E1-Instrumente.

S/C ID	CMD CTR	STATUS TIME	SPACECRAFT TIME	COMMAND	STATUS	CMD MES	FMT
90	73	346-74 02/04/20	000/17/37/20.3	247-1PGB		350	601
90	73	346-74 02/04/44	000/17/37/37.2	247-1PGB	V	350	601
90	74	346-74 02/06/00	000/17/38/58.2	226-1V2R		360	601
90	75	346-74 02/06/26	000/17/39/18.4	226-1V2R	V	360	601
90	75	346-74 02/07/40	000/17/40/39.4	374-1SOF		370	601
90	76	346-74 02/08/06	000/17/40/58.5	374-1SOF	V	370	601
90	76	346-74 02/03/35	000/17/41/27.8	U	I	601	
90	76	346-74 02/09/20	000/17/42/18.4	066-1DE1		380	601
90	77	346-74 02/09/47	000/17/42/39.8	066-1DE1	V	380	601
90	77	346-74 02/11/50	000/17/44/48.0	122-1HDM		390	601
90	77	346-74 02/12/10	000/17/45/02.7	122-1HDM	V	390	601
90	78	346-74 02/12/55	000/17/45/55.5	U	I	601	
90	78	346-74 02/13/30	000/17/46/28.2	045-1SE3		400	601
90	78	346-74 02/13/50	000/17/46/42.8	045-1SE3	V	400	601
90	79	346-74 02/15/10	000/17/48/09.4	332-1TCY		410	601
90	79	346-74 02/15/31	000/17/48/24.0	332-1TCY	V	410	601
90	80	346-74 02/18/20	000/17/51/20.7	107-1V11		420	601
90	80	346-74 02/18/59	000/17/51/20.7	U DTV OVER	I	601	
90	81	346-74 02/18/54	000/17/51/46.5	107-1V11	V	420	601#

90	81	346-74 02/20/00	000/17/52/58.5	332-1TCY		430	601
90	82	346-74 02/20/36	000/17/53/28.9	332-1TCY	V	430	601
90	82	346-74 02/23/10	000/17/56/08.7	151-1VIR		440	601
90	82	346-74 01/55/43	000/17/56/08.7	U DTV OVER	I	601	
90	83	346-74 02/23/37	000/17/56/30.0	151-1VIR	V	440	601
90	83	346-74 02/24/50	000/17/57/48.8	374-1SOF		450	601

S/C ID	CMD CTR	STATUS TIME	SPACECRAFT TIME	COMMAND	STATUS	CMD MES	FMT
90	84	346-74 02/25/18	000/17/58/11.3	374-1SOF	V	450	601
90	84	346-74 02/26/30	000/17/59/30.0	066-1DE1		460	601
90	85	346-74 02/27/01	000/17/59/53.7	066-1DE1	V	460	601
90	85	346-74 02/28/10	000/18/01/07.9	311-1DE2		470	601
90	86	346-74 02/28/42	000/18/01/34.9	311-1DE2	V	470	601
90	86	346-74 01/55/43	000/18/03/34.2	U	I	601	
90	86	346-74 02/30/40	000/18/03/39.8	122-1HDM		480	601
90	86	346-74 02/31/03	000/18/03/55.5	122-1HDM	V	480	601
90	87	346-74 02/32/20	000/18/05/18.8	024-1S1B		490	601
90	87	346-74 02/32/44	000/18/05/36.8	024-1S1B	V	490	601
90	88	346-74 02/34/00	000/18/06/58.9	003-1S1A		500	601
90	88	346-74 02/03/35	000/18/06/58.9	U DTV OVER	I	601	
90	89	346-74 02/34/25	000/18/07/18.0	003-1S1A	V	500	601
90	89	346-74 02/35/40	000/18/08/40.2	107-1V11		510	601
90	90	346-74 02/36/08	000/18/09/00.4	107-1V11	V	510	601
90	90	346-74 02/37/20	000/18/10/18.0	353-1SE2		520	601
90	91	346-74 02/37/49	000/18/10/41.7	353-1SE2	V	520	601
90	91	346-74 02/39/00	000/18/11/58.2	172-1V21		530	601
90	91	346-74 02/12/55	000/18/11/58.2	U DTV OVER	I	601	
90	92	346-74 02/39/29	000/18/12/21.8	172-1V21	V	530	601
90	92	346-74 02/40/40	000/18/13/39.4	332-1TCY		540	601
90	93	346-74 02/41/10	000/18/14/03.0	332-1TCY	V	540	601
90	93	346-74 02/44/20	000/18/17/18.8	213-1NDM		550	601
90	94	346-74 02/44/53	000/18/17/45.8	213-1NDM	V	550	601#

90	94	346-74 02/46/00	000/18/18/58.9	332-1TCY		560	601
----	----	-----------------	----------------	----------	--	-----	-----

S/C ID	CMD CTR	STATUS TIME	SPACECRAFT TIME	COMMAND	STATUS	CMD MES	FMT
90	94	346-74 02/10/59	000/18/18/58.9	U TBL OVER	I	601	
90	95	346-74 02/46/34	000/18/19/27.0	332-1TCY	V	560	601
90	95	346-74 02/47/10	000/18/20/09.8	066-1DE1		570	601
90	96	346-74 02/47/35	000/18/20/27.8	066-1DE1	V	570	601
90	96	346-74 02/48/50	000/18/21/49.9	332-1TCY		580	601
90	96	346-74 01/55/43	000/18/21/49.9	U TBL OVER	I	601	
90	97	346-74 02/49/16	000/18/22/09.0	332-1TCY	V	580	601
90	97	346-74 02/51/15	000/18/24/13.9	U	I	601	
90	97	346-74 02/52/00	000/18/24/57.8	122-1HDM		590	601
90	97	346-74 02/52/19	000/18/25/11.3	122-1HDM	V	590	601
90	98	346-74 02/54/50	000/18/27/48.8	332-1TCY		600	601
90	99	346-74 02/55/22	000/18/28/14.7	332-1TCY	V	600	601
90	99	346-74 02/59/02	000/18/32/00.8	201-0TST		610	601
90	99	346-74 01/55/43	000/18/32/00.8	U DTV OVER	I	601	
90	100	346-74 03/00/00	000/18/32/52.5	201-0TST	N	610	601

Tabelle 43: Fortsetzung

Spätere Spezialtests

Das völlig störungsfreie Arbeiten der Instrumente machte Spezialtests während der Mission praktisch unnötig. Veränderungen der Channeltrons haben wir wegen der genauen Verstärkungsmessung beim täglich regelmäßig durchgeführten Inflighttest - davon erhalten wir jeweils Papierausdrucke - sicher unter Kontrolle. Trotzdem haben wir gelegentlich Testsequenzen kommandiert, in denen wir die einzelnen Instrumente mit verschiedenen Channeltronhochspannungen untersuchten. Durch direkten Vergleich der gemessenen Teilchenzählraten und -verteilungen können wir sicherstellen, daß zu keiner Zeit eine Verfälschung der gemessenen Teilchenflüsse durch Veränderungen der Channeltrons eintrat.

8. Flugerrfahrungen mit den E1-Instrumenten

In diesem letzten Kapitel wollen wir noch einiges über unsere Erfahrungen mit den Instrumenten während der Mission berichten. Vieles ist ja schon bei der Beschreibung der Instrumente in Form von Anmerkungen im Detail diskutiert worden.

Zur Technik der Instrumente nun nur noch soviel: Abgesehen von dem Ausfall des Relais in I2 (S. 133) hat es bisher keine Probleme gegeben. Die durch Tests verifizierten Extremwerte der Temperaturen wurden im wesentlichen eingehalten; es gab bisher nur wenige Überschreitungen (bis -34° in I1a/b, in Betrieb und -42° bei Abschaltung). Die Thermalauslegung von I2 hatte vor dem Start wegen der großen Eintrittsöffnung viel Sorgen bereitet, so daß noch relativ spät eine große kammartige Kühlrippe aufgesetzt werden mußte (s. Bild 1). Die Temperatur von I2 hielt sich in der Tat im Rahmen und erreichte in den Perihelia Werte von $32,10^{\circ}$ bis $44,44^{\circ}$ (HELIOS 1) bzw. $36,6^{\circ}$ bis $49,28^{\circ}$ (HELIOS 2).

Abschließend sollen einige Meßdaten illustrieren, was mit diesen Instrumenten zu erreichen ist und auch, wo ihre Grenzen liegen.

Die während der Mission gewonnenen Daten sind von einer außerordentlichen Vielfalt, und selbst nach über fünf Jahren Missionsdauer gibt es immer noch neue Überraschungen in Form von Daten, wie sie niemand erwarten konnte. Natürlich verhält sich der Sonnenwind in den meisten Fällen "normal", und die Auslegung der Instrumente erweist sich hierfür als ausgezeichnet. Beispiele für "normale" Meßdaten sind in den Bildern 54 und 55 gezeigt. Viel interessanter aber sind natürlich jene Ereignisse, die von der Norm abweichen und die in vielen Fällen noch von niemand bisher beobachtet wurden. Es zeigte sich, daß auch in den meisten der verschiedenen Extremfälle unsere Instrumente noch mithalten können und dem Unverhofften durchaus einigen Spielraum lassen. Nur bei bisher zwei Ereignissen reichten unsere Meßbereiche wirklich nicht mehr aus, weil im einen Fall die Sonnenwindgeschwindigkeit unter 170 km s^{-1} (Bild 56) fiel, im anderen weit über 1700 km s^{-1} hinausging (Bild 57). Etwas schmerzhafter wirkte sich die gewählte Energieauflösung

aus. Es geschah gelegentlich, daß bei besonders niedrigen Temperaturen praktisch die gesamte Protonenverteilung in einen einzigen Meßkanal fiel (Bild 58) oder sogar sozusagen durch den Rost fiel (Bild 59). Solche Daten sind dann nur noch mit Einschränkungen brauchbar.

Als erstaunlich gut hat sich dagegen die Dimensionierung der Empfindlichkeiten herausgestellt. Die Plasmadichten variierten bisher zwischen 0,1 (Bild 60) und 1500 cm^{-3} (Bild 61), also um einen Faktor $1,5 \times 10^4$. Um in allen Fällen noch ausreichend genau zu messen, ist ein dynamischer Bereich von mindestens 10^5 erforderlich. Hier machte sich die Zusammenstellung mehrerer Instrumente zu einem "Paket" wirklich bezahlt. I1a deckte mit seiner hohen Empfindlichkeit bei gleichzeitig sehr niedriger NZR vor allem den Bereich niedriger Teilchenflüsse ab. Selbst so niedrige Zählraten im Protonenpeak von 10 counts (Bild 60) können noch ausgewertet werden, da die NZR bei ≈ 2 liegt. I3 war besonders für die hohen Flüsse in Perihelnähe geeignet. Die von I3 gemessene bisher höchste Zählrate von 6656 counts (Bild 61) entspricht bei I1a einer Zählrate von 200 000 counts (gemessen in 10 ms, d.h. die wirkliche Zählrate wäre 20 MHz, der natürlich die CEM-Verstärker mit ihrer Totzeit von rund 500 ns entsprechend 2 MHz längst nicht mehr gewachsen wären). Das in allen Fällen simultan arbeitende Instrument I1b liegt mit seiner Empfindlichkeit etwa in der Mitte und ermöglichte genaue Kreuzzeichnungen der Instrumente im Fluge.

Auch I2 bewährte sich ausgezeichnet. An mehreren der Beispiele kann man erkennen, daß die gewählte Empfindlichkeit gut mit dem gewählten Energiebereich harmonierte: Das 1-count-Niveau wurde meist erst in den beiden obersten Kanälen erreicht, während der Kern der Verteilung gleichzeitig Zählraten bis zu 50 000 counts lieferte (Bild 62). Auch I2 deckte also einen dynamischen Bereich von fast 10^5 ab. Übrigens wurde die maximal mögliche Zählrate von 63 488 counts (siehe Tabelle 34 auf S. 143 ff) nie überschritten, aber vielfach nur knapp verfehlt (Bild 61).

Die Bilder 63 bis 68 zeigen einige weitere auffällige Besonderheiten in den Daten, die in den Bildunterschriften jeweils beschrieben werden.

Die gezeigten Beispiele illustrieren die Vielfalt an Daten, die uns im Verlauf der Mission immer wieder aufs neue überraschte. Der sachverständige Betrachter dieser Beispiele wird sich dem enormen Reiz, der von ihnen ausgeht, kaum entziehen können. Was bedeutet dies alles? Gibt es "Löcher" im Sonnenwind? Oder gar Sonnenwind ohne Elektronen? Unbekannte Ionen? Man ist versucht, sich sofort auf die Auswertung zu stürzen. So ergeht es auch uns noch heute, nach fast sechs Jahren Missionszeit. Und deshalb freuen wir uns auf die weitere Arbeit mit diesem Experiment und seinen Daten, die uns noch einige Jahre in Atem halten werden.

DEVLE-GSUC 8031 OBERPFAFFENHOFEN GERMAN SPACE OPERATION CENTER 28. 4.79 GMT 19H 40H 28S 190MS PAGE-NO.
 MISSION HELIOS-A ***AUSGABE GEPUFFERT***
 H=90 DSS=-67 79 118 16:04:02 B/R 512 D/M 3-0 FIT 34: EXPT-HIGH
 STATUS: PLA HD12 MCF TIME 0 00:47:54.875 MEM2 D1-ON D2-OFF I1A-ON I2-ON I1B-ON NS I3-OFF
 FB/FF= 1/ 47
 INITIAL DATA W1-8 11110000 10110011 10101110 11110000 00101011 00110101 11110000 00011000
 CW: 5 11101010 11110000 00101011 00110101 11110000 11110000 11110000

11B	EN1-8	25	32	62	400	1280	1408	368	64
11A INTEGR.	EN1-6	5	76	496	3072	6912	4608	756	100
12B	AZ1	1068	1472	1728	2176	2432	2616	3456	3584
	AZ2	1068	1472	1728	2048	2432	2944	3328	3840
	AZ3	1472	1856	2432	2944	3456	4096	4608	5376
	AZ4	2048	2688	3328	3968	4608	5632	6656	7424
	AZ5	2176	3072	3840	4608	5376	6400	7680	8704
	AZ6	2048	2688	3456	3968	4608	5888	6656	7680
	AZ7	1664	2048	2488	3200	3840	4608	5376	5888
	AZ8	1216	1728	2048	2432	2844	3584	4096	4352

I1A73

I1A73 MCF MAX AT: EN12 EL3 #20

	EN1	EN2	EN3	EN4	EN5	EN6	EN7	EN8
AZ5	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ6	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ7	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ8	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ9	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ10	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ11	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ5	1	0	0	0	0	0	0	0
AZ6	1	0	0	0	0	0	0	0
AZ7	1	6	10	13	5	2	15	76
AZ8	2	21	56	50	26	5	64	368
AZ9	7	12	64	104	27	5	62	416
AZ10	2	5	14	32	10	4	26	136
AZ11	1	1	2	5	2	0	1	11
AZ5	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ6	0	2	6	4	1	1	0	0
AZ7	1	24	104	128	24	3	10	64
AZ8	12	136	832	1024	256	26	54	576
AZ9	9	160	1024	1536	608	24	8	704
AZ10	2	26	288	608	208	20	6	176
AZ11	0	5	13	18	12	2	3	19
AZ5	0	0	1	1	0	0	0	0
AZ6	0	0	0	1	4	0	0	0
AZ7	0	2	10	20	1	0	0	0
AZ8	2	6	96	108	24	5	2	14
AZ9	2	9	92	192	48	5	0	18
AZ10	0	7	38	36	16	1	5	20
AZ11	0	2	1	1	5	1	0	3

HELIOS 1
 $r = 0,45 \text{ AU}$
 $v_p = 395 \text{ kms}^{-1}$
 $n_p = 54 \text{ cm}^{-3}$
 $T_p = 160 \text{ 000 K}$

Bild 55: "Normaler" langsamer Sonnenwind, nahe der Sonne. Beispiel für einen HDM2-Block mit kleiner Blocklänge (S. 89), wo die EL8-Daten entfallen. Trotzdem wird die Protonenverteilung gut erfaßt.

DFVLR-GSDC 8031 OBERPFAFFENHÜFEN GERMAN SPACE OPERATION CENTER 4. 1.76 GMT 23H 26M 57S 60TMS PAGE=NO. 25
 MISSION HELIOS-A ***AUSGABE GEPUFFERT*** DM 7-1 FMT 34: EXP1-NUR
 DSS- 11 78 4 20:19:00 B/R 512 FM 3 +READOUT+ FN : 0 FB/FF= 1/ 3
 STATUS: PLA NDM TIME 0 01:03:37.250 MEM2 D1-ON D2-OFF I1A-ON I2-ON I1B-ON WS I3-OFF

INITIAL DATA W1-6 11110000 11101110 10010100 11110000 10010000 01011001 11110000 00001000
 CW: 5 W9-15 11101010 11110000 10010000 01011001 11110000 11110000 11110000
 I1B EN1-16 16 20 32 15 15 19 21 44 38 21 30 32 32 30 23 15
 EN17-32 28 432 40 38 20 28 152 36 28 34 34 36 21 25 17 18
 I1A INTEGR. EN1-16 2 0 5 4 1 1 1 1 2 3 2 1 0 0 0 2 2
 EN17-32 5 6144 3 3 1 4 3 7 7 3 1 4 2 1 1 4 0
 I2B AZ1 0 26 26 26 25 10 9 6 6 4 4 2 4 0 0 1
 AZ2 0 44 30 32 36 18 11 7 5 3 1 2 0 2 1 0
 AZ3 0 26 28 29 24 5 4 3 0 0 0 1 1 0 0 0
 AZ4 100 92 64 76 38 20 8 3 1 0 0 0 0 0 0 0
 AZ5 216 248 224 160 152 84 40 21 6 5 2 1 1 0 0 0
 AZ6 192 200 200 168 124 96 54 27 8 7 5 2 1 1 0 0
 AZ7 96 72 76 58 38 17 7 1 0 1 0 0 0 1 0 0
 AZ8 34 36 20 20 10 3 4 1 0 0 0 0 0 0 0 0

I1A/S MAX AT: EN17 EL5 AZ10 EN15 EN16 EN17 EN18 EN19 EN20 EN21 EN22 EN23

	EL3	EL4	EL5	EL6	EL7	EL8	EL9	EL10	EL11	EL12	EL13	EL14	EL15	EL16	EL17	EL18	EL19	EL20	EL21	EL22	EL23	EL24	EL25	EL26	EL27	
AZ8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

HELIOS 1

$r = 0,952 \text{ AU}$
 $v_p \approx 600 \text{ kms}^{-1}$
 $n_p \approx 5 \text{ cm}^{-3}$
 $T_p \approx 10 \text{ 000 K}$

Bild 58: Extrem kalter Sonnenwind.
 (1) Die gesamte Protonenverteilung fällt in einen einzigen 3D-Meßkanal.
 (2) Die ebenfalls extrem kalten α -Teilchen fallen bei I1a durch den Rost.

DFVLR-GSOC 8031 OBERPFAFFENHOFEN GERMAN SPACE OPERATION CENTER 4. 1.76 GMT 20H 21H 5S 994MS PAGE-NO. 35
 MISSION HELIOS-B ***AUSGABE GEPUFFERT*** DM 7-1 FMT 34: EXP1=NUR
 H-91 DSS- 67 78 4 17:46:13 B/R 2048 FM 3 +READOUT+ FN : 252 FB/FF= 4/ 3
 STATUS: PLA NCM TIME 0 00:02:11.187 MEM2 D1-ON D2-OFF I1A-ON I2-ON I1B-ON WS I3-OFF PEHEL

INITIAL DATA W1-R 11110000 00010000 00110011 11110000 10010001 01100110 11110000 00001110
 CW: 5 W9-15 111101001 11110000 10010001 01100110 11110000 11110000 11110000 11110000

I1R	24	23	24	24	24	24	24	24	24	23	23	23	24	24	24	23	24	24	24	23	23	23	24	24	24	23	23	23
EN1-16	24	23	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	23	24	24	24	23	23	23	24	24	24	23	23	23
EN17-32	23	32	88	24	24	24	48	25	25	24	25	24	25	24	25	24	25	25	25	24	25	24	25	25	25	25	25	23

I1A INTEGR. EN1-16 1 0 0 1 1 1 1 2
 EN17-32 4 42 3 1 2 0 4 2 0 3 0

I2A AZ1 0 0 0 1 1 1 1 2 3 5 2 7 7 7 7 7 5 8 9 16 14
 AZ2 0 0 0 0 2 2 1 3 2 2 1 5 2 2 2 2 4 3 7 3 4
 AZ3 0 0 0 1 1 2 3 7 9 5 5 6 5 6 5 5 9 6 10 10 4
 AZ4 0 128 208 176 112 64 80 54 64 60 50 52 58 46 25 26
 AZ5 0 224 336 256 160 116 76 108 104 120 104 112 112 104 76 80
 AZ6 0 232 416 320 176 84 64 68 58 50 72 50 60 64 76
 AZ7 0 2 7 5 6 7 11 22 15 23 25 22 27 36 44
 AZ8 0 0 0 3 5 6 6 6 6 10 9 11 19 18 20 29

I1A/3 MAX AT: EN1R EL6 AZ7 EN16 EN17 EN18 EN19 EN20 EN21 EN22 EN23 EN24

	EL4	EL5	EL6	EL7	EL8	EL4	EL5	EL6	EL7	EL8	EL4	EL5	EL6	EL7	EL8	EL4	EL5	EL6	EL7	EL8	EL4	EL5	EL6	EL7	EL8	
AZ5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

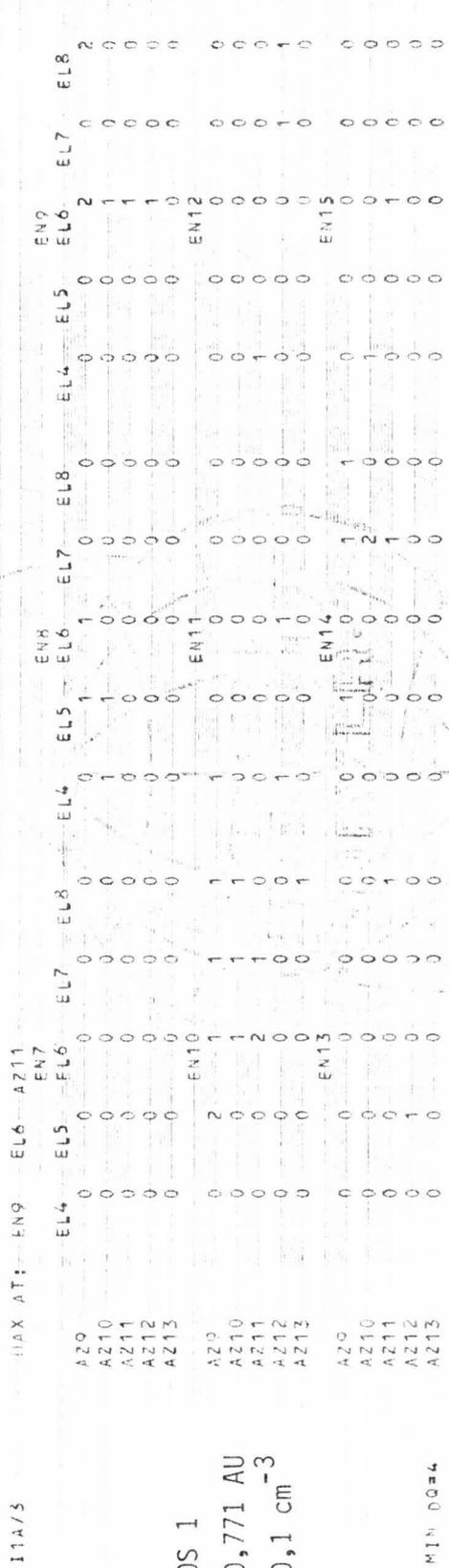
HELIOS 2
 $r = 0,98 \text{ AU}$
 $v_p \approx 600 \text{ kms}^{-1}$

Bild 59: Extrem kalter Sonnenwind, nicht auswertbar.
 (1) Diese 42 counts repräsentieren nur einen Bruchteil der wirklichen Protonenverteilung. Selbst I1b, das um ca. fünfmal unempfindlicher ist, zählt schon (88 - 24) = 64 counts. Die Protonenverteilung ist offenbar so schmal, daß die meisten Protonen bei I1a durch den Rost gefallen sind.
 (2) Auch die α -Teilchen sieht I1a nicht.

MISSION HELIOS-A
 H-90 DSS= 44
 78 353 09:16:23 B/R 512 FN 1 DM 2=0
 SOTIME 60 11:17:51.468
 PLA NDM TIME 0 00157:10.062 HEH1 D1=ON D2=OFF I1A=ON I2=ON I1B=ON WS I3=OFF
 FHT 3=4 EXP1=NR
 FR/FF= 0/ 13

STATUS: INITIAL DATA W1=8 11110000 10001011 01110000 11110000 10001000 01101010 11110000 10001000
 CW: 5 W9=15 11101010 11110000 10001000 01101010 11110000 11110000 11110000 11110000

	21	24	24	26	22	27	21	25	22	24	24	26	21	28	20	26
EN17-32	25	26	21	22	24	22	19	18	28	28	22	22	19	27	26	23
EN1-16	0	1	0	5	2	4	1	6	10	13	10	9	4	10	4	8
EN17-32	6	7	4	4	2	2	2	1	2	1	3	1	3	2	1	3
AZ1	108	184	336	640	736	224	48	168	6	7	2	1	0	0	0	0
AZ2	88	76	96	64	44	19	10	5	0	0	0	0	1	0	0	0
AZ3	96	64	36	36	22	5	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0
AZ4	176	184	116	96	68	36	20	13	3	3	3	0	0	0	0	0
AZ5	248	336	608	896	1216	1344	1344	1088	736	544	288	92	27	6	2	2
AZ6	108	152	136	92	52	21	11	7	5	3	2	2	0	1	0	0
AZ7	112	128	60	58	42	15	7	5	1	0	0	0	1	0	0	0
AZ8	104	128	200	232	240	124	42	12	17	4	0	0	0	0	0	0



HELIOS 1
 $r = 0,771 \text{ AU}$
 $n < 0,1 \text{ cm}^{-3}$

MIN DO=4

Bild 60: Ein "Loch" im Sonnenwind.
 (1) Seit 1977 sehen wir gelegentlich Plasmen mit extrem niedrigen Dichten, bis weniger als $0,1 \text{ cm}^{-3}$. Das äußert sich in den auffällig niedrigen Zählraten, die bis an den unteren Pegel des Signifikanzniveaus reichen.
 (2) Bei I1b ist die Verteilung völlig im Rauschen der NZR untergegangen.

EDF IN RECORD: 2 PAGE: 22

HELICS/A MPE-PRINTOUT DER EDF'2 VOM SORTIC DATA TAPE
 GRI 150 12:20:13.387 SCT 150 12:14:15.487 E/R 512
 CRTEF 12:20:53.890 SCIEF 12:14:56.187 NDM WS
 INITIAL TIME: 14701 SDIEF 12:14:16.405
 INITIAL DATA W1-8 1111000 0111000 1001100 1001100 1111000 00001111
 W9-15 0111010 1111000 1001100 1001100 1111000 1111000
 ALLGEM. QW 0000111 1111110
 I1A QW 0000011 1111110
 I2 QW 0000011 1111110
 I3 QW 0000011 1111111
 I1B QW 0000011 1111111

DM 2 FM 1

MISSING EI DATA: 0
 BIT ERRORS RATE: 0

X: -33(198) Y: 50(93) Z: -349(124) NR.CF VALUE IN AVERAGE: 160

ENI	-16	7	12	18	20	12	8	18	17	25	23	36	30	52	96	320	1984
ENI-16	7	12	18	20	12	8	18	17	25	23	36	30	52	96	320	1984	
ENI7-32	10752	20656	27648	6056	960	4864	21504	4096	256	128	60	18	7	3	9	10	

ENI	-16	0	3	0	1	0	0	1	0	10	25	208	2176	4352	464	1
ENI-16	0	3	0	1	0	0	1	0	10	25	208	2176	4352	464	1	
ENI7-32	1520	110656	206	4	152	6	6	6	6	3	7	6	7	10	7	2

AZ	1	36864	43008	47104	45056	38512	23552	9216	1024	640	480	256	168	80	64	
AZ1	1	36864	43008	47104	45056	38512	23552	9216	1024	640	480	256	168	80	64	
AZ2	7536	20912	45256	49152	43008	27648	11264	3968	1088	672	448	288	152	100	58	
AZ3	1344	47104	53248	55296	53248	43008	21504	6144	1472	800	576	320	184	116	72	
AZ4	20656	55296	55296	55296	55296	55296	40960	12288	2688	1088	736	416	224	124	64	
AZ5	51200	55256	55296	55296	55296	55296	49152	17408	4096	1536	704	480	256	128	100	
AZ6	47104	55296	55296	55296	55296	55296	45056	15360	3200	1280	736	432	240	124	80	
AZ7	30912	49152	53248	55296	55296	55296	49152	26624	7936	1664	576	368	184	112	52	
AZ8	31744	40960	49152	51200	51200	47104	32768	13312	3456	1152	672	416	272	160	76	64

MAX ADR: ENI3 EL5 AZ9 MASS CHNL.NR.: 16

AZ	ENI3	EL4	ENI1	ENI5	EL6	ENI2	ENI4	ENI3	EL7	ENI6	ENI7	ENI8	ENI9	ENI10	ENI11	ENI12	ENI13	ENI14	ENI15	ENI16
AZ7	21	192	192	88	9	7	11	31	8	1	0	0	84	320	336	116	8			
AZ8	108	672	560	352	30	13	42	84	30	3	0	0	288	1152	1344	544	46			
AZ9	88	512	736	288	16	12	46	80	36	5	0	0	152	736	1024	368	34			
AZ10	9	64	104	26	5	3	6	15	4	1	0	0	21	88	128	42	9			
AZ11	1	1	7	3	1	1	0	3	1	1	0	0	1	5	8	4	2			

HELIOS 1
 $r = 0,31 \text{ AU}$
 $v_p = 574 \text{ kms}^{-1}$
 $n_p > 1500 \text{ cm}^{-3}$
 $T_p = 210 \text{ 000 K}$
 $\frac{n_{\alpha}}{n_p} > 10 \%$

Bild 61: Extreme Plasmadichte.
 Nach einem Schock stieg die Dichte auf den Rekordwert von über 1500 cm^{-3} an.
 (1) Solche Zählraten in I1b und I3 sind zehnmal größer als die "normalen" Zählraten in Sonnennähe. Die geringe Empfindlichkeit von I3 erwies sich hier als großer Vorteil.
 (2) Die Zählraten von I2 nähern sich dem möglichen Maximalwert von 63 488, über-schreiten ihn jedoch nie.

MISSION HELIOS-A
 H-90 DSS--67 RO 144 08:02:29 B/R 512 DM 3-0 FMT 34: EXP1-NUR
 STATUS: PLA NDM TIME 0 00:59:54.125 MEM1 D1-ON D2-OFF I1A-OFF I2-ON FN : 72 .FB/FFE 0/ 1
 I1B-ON NS I3-ON

INITIAL DATA W1-8 11110000 10100010 11110000 00000111 01101000 11110000 10001111
 W9-15 01111010 11110000 00000111 01101000 11110000 11110000 11110000

11B	EN1-16	18	23	22	23	22	24	40	80	232	640	1024	800	136	68	96	152
EN17-32	EN1-16	136	62	44	44	32	27	29	21	17	28	25	19	19	23	24	21
11A INTEGR.	0	0	1	256	8	5	36	120	256	124	9	20	9	3	0	0	2
	3	11	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0

12B	AZ1	7936	11776	15360	17408	17408	12800	5888	8192	512	102	58	18	4	3	0
AZ2	AZ3	7936	11776	14848	16384	15360	11264	5376	2332	672	184	68	28	8	4	0
AZ4	AZ5	8192	12288	15872	17408	15360	9728	4096	1344	496	216	84	42	13	2	0
AZ6	AZ7	9728	14336	17408	20480	21504	18432	9728	3072	640 <th>216</th> <th>68</th> <th>32</th> <th>8</th> <th>5</th> <th>0</th>	216	68	32	8	5	0
AZ8	AZ9	9728	13824	18432	22528	27648	30720	32768	34816	30720	25600	12800	5120	2304	304	12
AZ10	AZ11	6400	9216	13824	18432	21504	23552	20480	13824	6656	1792	256	100	32	2	1
AZ12	AZ13	5888	8192	12288	17408	18432	12288	5376	1536	496	208	96	29	9	0	2
AZ14	AZ15	5120	8192	12288	15872	17408	16384	12288	5632	672	248	100	32	6	1	0

11A/3 MAX AT: EN8 EL6 AZ9

	EN4	EL5	EN6	EL6	EN7	EL7	EL8	EL9	EN10	EL10	EN11	EL11	EN12	EL12	EN13	EL13	EN14	EL14	EN15	EL15	EN16	EL16	EN17	EL17	EN18	EL18	EN19	EL19	EN20	EL20									
AZ7	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
AZ8	0	2	0	2	2	0	2	0	10	8	3	0	1	19	8	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
AZ9	2	2	2	5	0	2	0	20	26	8	8	1	12	68	50	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
AZ10	1	3	3	3	0	4	1	8	11	5	5	0	4	40	32	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
AZ11	0	2	2	2	0	3	0	2	2	3	3	1	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
AZ7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
AZ8	1	3	5	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
AZ9	5	36	29	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AZ10	2	14	17	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AZ11	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AZ7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AZ8	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AZ9	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

HELIOS 1
 r = 0,333 AU
 v_p = 340 kms⁻¹
 n_p = 82 cm⁻³
 T_p = 180 000 K

Bild 62: Eine Messung mit I3 statt I1a.

- (1) Hier fällt sofort die deutlich reduzierte Zählrate auf, im Vergleich zu I1b.
- (2) Bei einer Messung mit I1b allein wäre dieses Nebenmaximum als α-Teilchen ge- deutet worden. I3 sieht im Protonenzyklus diesen Peak jedoch gleichfalls und beweist, daß dies eine zweite Protonenkomponente ist.
- (3) Dies sind die wirklichen α-Teilchen (vergl. Tab. 7 auf S. 61).
- (4) Ein starker Strahl in der Elektronenverteilung.

PAGE-NO. 12

1. 1.79 GMT 8H 40M OS 567MS

DEVLR-GS0C 8031 UBERPFAFFENHUFEN GERMAN SPACE OPERATION CENTER

MISSION HELIOS-A ***AUSGABE GEPUFFERT*** DM 3=0 FMT 34: EXP1-NOR
 H=90 DSS= 44 79 1 08:12:50 B/R 512 FH 1 FB/FF= 0/33
 STATUS: PLA NDR TIME 0 00:56:33.687 MEM2 DT-ON D2-OFF I1A-ON I2-ON I1B-ON NS I3-OFF

INITIAL DATA W1-8 11110000 11010100 00011011 11110000 00001100 01001010 11110000 00001000
 CW: 5 11101010 11110000 00001100 01001010 11110000 11110000 11110000

	19	15	19	22	21	19	21	20	25	22	63	160	72	32
I1B	EM1-16	27	25	27	26	21	23	22	25	27	28	19	22	26
I1A INTEGR.	EM1-16	3	5	1	0	2	3	1	0	3	9	84	400	320
	EM17-32	15	32	13	12	10	15	17	13	17	5	3	4	1
I2B	AZ1	0	168	64	60	40	27	29	32	27	15	3	11	3
	AZ2	1	124	44	44	34	22	25	12	25	19	6	7	1
	AZ3	0	272	240	84	35	23	30	6	31	15	6	4	0
	AZ4	384	496	608	544	144	46	14	68	34	38	3	3	1
	AZ5	576	736	800	736	544	144	168	60	60	42	3	3	2
	AZ6	800	768	992	832	480	216	160	23	40	108	7	3	2
	AZ7	544	480	400	320	58	58	12	26	34	15	5	1	1
	AZ8	384	224	192	68	36	12	40	36	27	15	7	1	3

	MAX	AT:	EN13	EL4	AZ11	EN11	EN12	EL5	EL6	EL2	EL3	EL4	EL5	EL6	EL2	EL3	EL4	EL5	EL6	EN13	EL4	EL5	EL6
AZ9	0	0	0	16	EN14	0	0	8	0	1	38	76	10	0	0	7	152	44	11	44	11	3	
AZ10	0	2	25	25	12	25	80	23	0	2	80	116	10	0	18	232	96	16	96	16	1		
AZ11	0	0	0	1	7	0	17	7	0	1	21	0	3	4	2	50	11	1	11	1	0		
AZ12	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	3	1	0	1	0	1	0	0	0		
AZ13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		
AZ0	0	6	12	12	4	0	0	12	4	0	0	EN15	17	2	0	1	1	1	EN16	1	0		
AZ10	7	31	76	48	3	1	4	48	3	1	4	20	40	2	0	2	3	2	3	3	2	0	
AZ11	4	56	32	18	0	0	1	18	0	0	1	10	11	2	0	1	6	2	6	6	2	0	
AZ12	1	5	2	0	0	1	1	0	0	1	1	1	2	1	0	0	1	0	0	0	0	1	
AZ13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	EN18	0	0	0	0	0	0	EN19	0	0	0	
AZ0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	EN18	0	1	0	0	0	2	2	2	1	1	
AZ10	0	0	5	3	0	0	3	3	0	0	3	1	2	1	0	0	0	0	2	0	0	1	
AZ11	0	0	3	2	1	0	2	2	1	0	2	6	7	2	0	0	0	0	2	0	0	2	
AZ12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
AZ13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	

HELIOS 1
 $r = 0,866 \text{ AU}$
 $V_p = 435 \text{ kms}^{-1}$
 $n_p = 5,9 \text{ cm}^{-3}$
 $T_p = 123 \text{ 000 K}$

Bild 63: Ruhiger Sonnenwind unmittelbar vor einem Schock, unmittelbar vor Bild 64.

DEVLH-GSUC 0151 OBERPFAFFENHOFEN GERMAN SPACE OPERATION CENTER 1. 1.79 GMT 0H 40H 50 50MS PAGE-NO. 13
 MISSION HELIOS-A ***AUSGABE GEPLANNTE***
 H-90 058-44 79 1 08:15:50 9/R 512 512 0H 3-0 ENT 34: EXP1-MUR
 STATUS: SOLTIME 73 10:14:43.963 PH: 36 EB/FF= 9/33
 PLA RDP: WTHE 0 00:57:14.637 DEM1 01-ON 02-OFF 11A-ON 12-UN 11B-ON WS 13-OFF

INITIAL DATA
 CW: 5

11B	EN1-16	17	17	19	21	12	13	21	20	18	13	27	36	76	128	192
	EN17-32	272	232	240	120	68	56	42	52	28	22	29	24	26	29	26
11A INTEGR.	EN1-10	0	1	4	2	0	2	1	2	3	7	15	110	352	576	832
	EN17-32	1280	800	768	304	152	96	88	54	10	6	2	7	3	3	3
12B	AZ1	432	640	384	224	112	60	46	30	16	17	3	5	4	2	1
	AZ2	1	336	448	320	168	64	42	21	13	5	4	3	2	2	0
	AZ3	5	768	800	332	216	112	64	44	27	13	5	8	1	1	0
	AZ4	1024	1664	2304	1600	512	216	126	72	58	20	12	6	2	1	0
	AZ5	1024	1984	2944	3200	1536	544	192	80	52	19	7	7	0	1	0
	AZ6	1024	1408	2432	2592	1934	464	160	64	46	24	16	9	1	2	0
	AZ7	1216	1152	1728	1728	400	152	88	58	34	22	12	1	5	2	0
	AZ8	864	1216	1216	632	512	104	58	40	40	18	9	2	1	0	0

11A/3	ENK AT:	EN13	EL5	AZ10	EN11	EL3	EN12	EL5	EN13	EL3	EN14	EL5	EN15	EL3	EN16	EL5	EN17	EL3	EN18	EL5	EN19	EL3	EN20	EL5	
HELIOS 1	AZ8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
r = 0,866 AU	AZ9	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
v _p = 560 kms ⁻¹	AZ10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n _p = 14,7 cm ⁻³	AZ11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T _p = 570 000 K	AZ12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	AZ13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	AZ14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	AZ15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	AZ16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	AZ17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	AZ18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	AZ19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	AZ20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	AZ21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	AZ22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bild 64: Erstes Spektrum nach dem Schock, nur 40 s nach Bild 63 aufgenommen.
 (1) Das Maximum ist jetzt nach EN17 gerückt (vorher bei EN13).
 Die Lage des 3D-Meßbereichs richtet sich jedoch nach dem alten Maximum, so daß die neue Verteilung nur schlecht hineinpaßt.
 (2) Die Elektronenflüsse sind hier viermal größer als vorher.

DFVLR-GSOC 8031 OBERPFAFFENHOFEN GERMAN SPACE OPERATION CENTER 21. 2.79 GMT 15H 0M 8S 159MS PAGE-NO. 10
 MISSION HELIOS-A ***AUSGABE GEPUFFERT***
 H-90 79 52 13:43:23 B/R 128 DM 3=0 FMT 34: EXP1-NOR
 DSS- 62 SCTIME124 15:42:13.968 FN : 18 .FB/FF= 1/ 5
 STATUS: PLA NDM TIME 0 00:27:47.562 MEM1 D1-ON D2-OFF I1A-ON I2-ON I1B-ON WS I3-OFF

INITIAL DATA W1-8 11110000 01110000 00111001 11110000 10001111 01011001 11110000 10001000
 CW: 5 W9-15 11101010 11110000 10001111 01011001 11110000 11110000 11110000

I1B EN1-16 22 18 10 3 19 12 22 21 20 14 20 17 11 13 38 128
 EN17-32 136 58 50 29 17 20 19 11 31 18 18 18 21 27 32 10

I1A INTEGR. EN1-16 2 3 2 0 0 3 1 1 0 3 4 3 4 3 4 11 184 672
 EN17-32 304 100 64 27 10 7 6 5 1 2 1 1 0 0 1 2 1

I2B AZ1 0 288 320 352 184 56 19 11 17 2 3 0 0 2 1 1 0
 AZ2 0 176 152 152 104 42 22 10 5 4 1 0 0 0 0 0 0
 AZ3 0 184 160 96 50 13 7 8 4 5 1 1 0 0 0 0 0
 AZ4 320 544 608 480 288 100 31 20 12 7 2 1 0 0 0 0 0
 AZ5 544 736 992 1152 1472 2176 2816 3072 2432 1920 1088 496 208 76 32 14
 AZ6 544 768 864 704 384 168 44 20 12 12 4 4 1 1 0 0 0
 AZ7 384 496 416 256 136 64 21 15 4 10 3 3 0 0 0 0 0
 AZ8 304 368 384 336 248 100 23 17 5 6 2 1 0 0 0 0 0

I1A/3 MAX AT: EN16 EL5 AZ10
 EN14
 EN15
 EN18
 EN19
 EN20
 EN21
 EN22

	EL3	EL4	EL5	EL6	EL7	EL3	EL4	EL5	EL6	EL7	EL3	EL4	EL5	EL6	EL7	EN16	EN15	EN14	EN18	EN19	EN20	EN21	EN22
AZ8	0	1	0	0	0	0	10	11	4	0	0	2	15	23	16	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ9	0	1	2	4	0	6	38	30	19	2	21	84	128	48	6	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ10	0	0	0	1	0	3	13	29	10	0	13	80	112	38	5	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ11	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	19	26	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ8	4	3	12	5	1	1	2	9	1	0	1	7	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ9	5	22	19	8	1	2	11	21	6	1	1	11	13	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ10	8	58	56	24	4	1	10	17	4	0	1	5	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ11	5	18	44	11	0	0	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ8	2	1	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ9	2	5	3	2	0	1	2	3	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ10	0	0	3	1	0	0	1	1	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ11	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

HELIOS I
 $r = 0,97 \text{ AU}$
 $v_p = 525 \text{ kms}^{-1}$
 $n_p = 3,9 \text{ cm}^{-3}$
 $T_p = 180 \text{ 000 K}$

Bild 65: Extremer Strahl in der Elektronenverteilung.
 (1) In AZ5 tauchen stark überhöhte Zählraten auf, ein Hinweis auf eine gerichtete Komponente in der Elektronenverteilung. Dieser "Strahl" wurde mit unserem Instrument entdeckt.
 (2) Die markierten Zählraten sind ungültig (S. 117).
 (3) Die NZR von I1b schwankt bei HELIOS 1 typisch um + 5 counts.

DEVELOPMENT 8031 OPERATIONAL CENTER 16. 2.76 GMT 3H 32M 22S 676MS PAGE-NO. 4
 HELIOS-A ***ANSAGRE GEPUFFERT*** DM 7-1 ENT 34: EXP1-40R
 PSS- 43 75 47 02:30:17 B/P 2048 FN 2 +READOUT+ FN : 124 FB/FE 0/ 5
 SCHEDULE 00 17:57:20.86d 114-ON 12-ON 114-ON WS 13-OFF
 STATUS: PLA OFF TIME 0 00:25:08.512 REU1 01-ON 02-OFF 114-ON 12-ON 13-OFF

INITIAL DATA
 C-1 5 11110000 01011110 01011101 11110000 10010001 01011000 11110000 10001000
 114 INTGR. 5 1 6 1 0 1 3 1 2 2 1 3 3 2 2 2 1 1
 12F 368 432 448 432 240 104 68 29 29 36 4 9 7 6
 352 432 464 364 184 92 50 23 23 14 7 5 12 6
 416 608 672 640 400 168 52 32 25 3 2 10 10 2
 704 1008 1408 1472 1216 608 208 80 48 32 25 14 14 15
 864 1280 1856 2048 1728 992 384 168 104 60 31 13 15 8
 1056 1472 1600 1280 640 216 68 46 24 24 23 11 13 5
 1280 1632 1960 1576 576 32 20 13 12 12 18 7 5 6
 1512 1904 2304 1840 496 62 34 25 14 14 16 7 4 11

114/5 EN18 EN17 EN16 EN15 EN14 EN13 EN12 EN11 EN10 EN9 EN8 EN7 EN6 EN5 EN4 EN3 EN24 EN23 EN22 EN21 EN20 EN19 EN18

A27	0	0	1	4	1	0	1	40	56	16	13	72	42	7
A28	0	0	3	11	3	0	0	46	88	23	0	17	124	20
A29	0	0	0	1	0	1	0	5	27	17	0	0	84	19
A30	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	80	19
A31	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	11	9
A32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
A33	0	0	15	16	5	0	3	17	2	1	0	2	1	1
A34	0	38	48	34	13	0	4	10	10	2	0	0	0	1
A35	0	11	65	42	7	0	6	4	11	4	2	2	2	0
A36	0	0	12	21	5	0	0	3	4	0	0	0	0	0
A37	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
A38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A39	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
A40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A43	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
A44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

HELIOS 1
 $r = 0,944 \text{ AU}$
 $v_p = 585 \text{ kms}^{-1}$
 $n_p = 4,8 \text{ cm}^{-3}$
 $T_p = 150 \text{ 000 K}$

Bild 66: Hochoenergetische Elektronen.
 (1) Nach starken Flares auf der Sonne beobachtet I2 in den oberen Energiekanälen gelegentlich für einige Zeit erhöhte Zählraten. Dies scheint das niederenergetische Ende des Spektrums von flare-erzeugten solaren Elektronen zu sein. Solche Elektronen verursachen Typ III-Radiobursts. Hier hätten wir uns eine Ausdehnung des Meßbereichs zu höheren Energien gewünscht.

```

**HELICS/A** MPE-PRINTOUT DER EDF*2 VHM SORTED DATA TAPE
GRT 29 10:39:13.356 SCT 29 10:34: 7.572 B/R 512 DM 3 FM 1 NS
GRIEF 10:39:13.356 SCIEF 10:34: 7.572 NDM
INITL TIME: 12721 SOTEF 10:33:27.700
INITIAL DATA W1- 8 11110000 00110001 10111011 11110000 00001110 01011001 11110000 10001000
W5-15 11101010 11110000 00001110 01011001 11110000 11110000 11110000 11110000
ALLGEM. QM 00000111 11111110
I1A QM 00000011 11111111
I2 QM 00000011 11111100
I3 QM CCCCCGGC 00001111
I1B QM C0000011 11111111
    
```

EDF IN RECORD: 1 PAGE: 29
 MISSING EI DATA: 0
 BIT ERROR RATE: 0

EL	X:	B3(13)	Y:	111(11)	Z:	256(2)	NR.OF VALUE IN AVERAGE:163																		
							EN1-16	EN17-32	EN1-16	EN17-32	EN1-16	EN17-32	EN1-16	EN17-32	EN1-16	EN17-32	EN1-16	EN17-32	EN1-16	EN17-32	EN1-16	EN17-32	EN1-16	EN17-32	
I1B	EN1-16	14	17	30	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	EN17-32	20	34	20	224	15	26	20	21	50	22	17	27	24	32	3584	128	24	26	28	24	24	24	24	24
I1A INTEGR.	EN1-16	2	3	0	0	2	5	2	1	0	2	2	3	5	1024	8704	40	3	0	2	1	0	0	0	0
	EN17-32	7	1	38	6	5	5	5	6	4	3	0	3	0	2	1	0	3	0	2	1	0	0	0	0
J2B	AZ1	56	50	46	32	44	44	20	28	38	19	13	6	2	0	0	0	6	2	0	0	0	0	0	0
	AZ2	2	58	54	44	46	34	40	28	34	11	12	6	1	1	0	0	6	1	1	0	0	0	0	0
	AZ3	0	144	112	84	46	44	52	40	40	21	9	3	2	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0
	AZ4	416	464	416	194	88	84	62	40	44	24	11	5	3	1	0	0	5	3	1	0	0	0	0	0
	AZ5	1024	1024	800	464	232	144	88	76	46	28	15	8	3	0	0	0	8	3	0	0	0	0	0	0
	AZ6	768	896	640	448	200	128	104	80	68	42	19	6	1	1	1	1	6	1	3	1	1	1	1	1
	AZ7	400	336	256	134	103	62	63	53	31	25	15	6	2	1	0	1	6	2	1	0	1	0	1	0
	AZ8	136	136	116	34	48	52	60	46	15	30	10	7	1	0	1	0	7	1	0	1	0	1	0	0

I1A/2 MAX ACR: EN15 EL5 AZ10 MASS CHIL.NR.: 9

	EN3	EN4	EN5	EN13	EN14	EN15	EN16	EN17	EN18	EN19	EN20	EN21	EN22
AZ8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ9	0	1	0	0	0	1	38	3	0	0	0	0	0
AZ10	0	0	0	0	1	58	928	11	4	4	1280	7936	18
AZ11	0	0	1	1	0	1	2	6	1	2	16	208	0
AZ12	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0

HELIOS 1

$r = 0,95 \text{ AU}$
 $v_p = 475 \text{ kms}^{-1}$
 $n_p = 15 \text{ cm}^{-3}$
 $T_p = 17 \text{ 000 K}$

Bild 67: Entdeckung von einfach ionisiertem Helium.
 (1) Dieser ungewöhnliche dritte Peak konnte auf einfach ionisiertes Helium zurückgeführt werden. Die Verteilungen von Protonen und α -Teilchen sind außerordentlich schmal, d.h. "kalt". Es handelt sich um "Kolbengas" im Gefolge einer interplanetaren Stoßwelle.

DFVLR-GSCC 8031 OBERPFAFFERHOFEN GERMAN SPACE OPERATION CENTER 2. 4.80 GMT 7H 5M 57S 980MS PAGE=NO. 25
 MISSION HELIOS-A ***AUSGABE GEPUFFERT***
 H=90 80 92 13:43:00 B/R 128 FM 2 DM 1=0 FMT 341 EXP1=NOR
 DSS=67 SCTIME 50 18:29:06.468 MEM1 D1=ON D2=OFF I1A=ON I2=ON FN : 99 FB/FF= 0/ 2
 STATUS: PLA NDM TIME 0 01:02:32.500

INITIAL DATA W1=8 11110000 11101010 10001000 11110000 10001011 01011001 11110000 10001000
 CW: 5 W9=15 11101010 11110000 10001011 01011001 11110000 11110000 11110000 11110000

	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
I1B	EN17=16	168	58	30	12	7	10	22	30	22	27	27	18	18	15	512	1984	128	15	7																
	EN17=32	1024	10	8	4	1	1	2	0	0	1	1	3	2	0	2	1	0	3	0																
I1A INTEGR.	AZ1	0	0	2	2	3	3	4	2	11	7	6	6	6	2	4	1	2	1	1																
	AZ2	0	0	2	2	5	4	6	5	7	7	8	8	8	6	4	3	2	3	2																
	AZ3	0	0	3	3	7	6	8	8	9	9	10	10	10	9	7	3	3	1	2																
	AZ4	2	2	7	7	3	2	17	9	10	12	12	12	12	10	4	3	2	0	0																
	AZ5	4	4	4	4	8	7	9	11	14	14	11	12	10	4	1	1	1	1	1																
	AZ6	4	3	5	0	0	11	11	21	11	11	10	11	9	1	1	2	2	1	1																
	AZ7	5	2	5	5	6	12	11	3	9	10	10	9	6	1	3	3	0	0	0																
	AZ8	3	2	5	5	3	10	4	9	10	6	5	5	2	0	2	1	1	1	1																

I1A/3 MAX AT: EN12 EL5 AZ10

	EL3	EL4	EL5	EN10	EL6	EL7	EL3	EL4	EL5	EN11	EL6	EL7	EL3	EL4	EL5	EN12	EL6	EL7	EN13	EL6	EL7	EN14	EL6	EL7	EN15	EL6	EL7	EN16	EL6	EL7	EN17	EL6	EL7	EN18			
AZ8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AZ9	0	1	1	1	0	0	0	9	108	0	10	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AZ10	0	0	0	0	0	1	0	0	52	0	6	0	0	0	0	2432	184	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AZ11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2432	248	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AZ12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AZ8	0	2	0	0	0	0	0	0	EN14	0	0	0	0	0	0	EN15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AZ9	0	48	1152	54	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AZ10	0	64	2176	208	0	0	0	4	17	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AZ11	0	0	12	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AZ12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AZ8	0	0	0	0	0	0	0	0	EN16	0	0	0	0	0	0	EN17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AZ9	0	0	0	3	0	0	0	0	432	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AZ10	0	0	0	0	0	0	0	0	576	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AZ11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AZ12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

HELIOS 1

r = 0,869 AU

V_p = 381 kms⁻¹

n_p = 42 cm⁻³

T_p = 20 000 K

Bild 68: Der elektronenlose Sonnenwind.

Diese merkwürdige Erscheinung trat während der ganzen Mission nur ein einziges Mal für mehrere Stunden auf, nach 5 1/4 Jahren!

(1) Es scheint, als ob der Hauptanteil der Elektronenverteilung, der hier normalerweise zu sehen ist, verschwunden ist. Gleichzeitig ist die Protonenverteilung aber durchaus normal. Könnte sich die Sonde derart hoch negativ aufgeladen haben, daß die Plasmaelektronen abgeschirmt werden? Wir haben bisher keine Erklärung.

SCHLUSSWORT

Mit der Fertigstellung dieses Berichts findet die Hardware-Phase des Plasmaexperiments ihren endgültigen Abschluß. Nicht nur, weil er so lange überfällig war, befindet er sich in würdiger Nachfolge eines ähnlichen Werks, das allerdings ganz zu Anfang des Projekts stand, nämlich der berühmten "Anlage A" zum Vertrag zwischen dem MPE und MBB. Warum dies damals so kam und einiges mehr über die Geschicke des nunmehr dreizehn Jahre laufenden Projekts, ist weiter vorne ausführlich beschrieben. Dieser Bericht kommt spät, einfach weil er wegen der ständig sprudelnden Fülle von immer neuen aufregenden Ergebnissen immer wieder hintan gestellt werden mußte. Diese Datenfülle wird uns noch viele Jahre beschäftigen; uns - dazu gehören bald auch einige, die ihre Kenntnisse über die Instrumente nur noch aus diesem Bericht beziehen können. Zum anderen ist nicht zu vergessen: die Instrumente laufen ja immer noch und liefern Daten von unveränderter Qualität, inzwischen aber aus einer ganz anderen Phase des Sonnenzyklus, als wir sie beim Start hatten.

Dieser unverhofft üppige Datensegen kann als besonderer Erfolg eines ehrgeizigen, aufwendigen und oft mühseligen Projekts angesehen werden. Zu seinem Gelingen haben so viele Individuen, Organisationen und Firmen beigetragen, daß es uns schwerfällt, keinen zu übersehen, wenn wir hier noch einmal darangehen wollen, ihnen allen unsere Dankbarkeit auszudrücken.

Das HELIOS-Projekt war ein gemeinsames Unternehmen der Bundesrepublik Deutschland und der USA. Wir wollen nicht versäumen, besonders den deutschen Steuerzahlern zu danken, die für HELIOS über 450 Millionen DM aufgebracht haben, davon ca. 13 Millionen direkt für unser Experiment. Unter Bewilligung WRS 10/7 erhielten wir dies Geld vom Bundesministerium für Forschung und Technologie, das zur Zeit auch noch unsere Datenauswertung finanziert. Dafür sagen wir Dank insbesondere dem deutschen Programmwissenschaftler Dr. Otterbein und dem Programmanager Herrn Käsmeier.

Der deutsche Teil des Projekts wurde geleitet von Ants Kutzer und seinem Vertreter, Dr. Unz (in der DFVLR-BPT, der früheren GfW), der amerikanische von Gil Ousley (NASA - Goddard Space Flight Center). Wir heben besonders hervor die gute, wenn auch oft einem zähen Ringen gleichende Zu-

sammenarbeit mit den Mitgliedern des Projektteams, die sich direkt mit den Experimenten befaßten: Dr. Kasten, Dr. Wodsak, Dr. Dodeck, Dr. Kempe und H. Galle und natürlich unserem direkten Partner, Dr. Stampfl. Wir freuen uns insbesondere darüber, daß dieser Gruppe - und durch sie vielleicht auch der Projektleitung - allmählich klar wurde, wie leidenschaftlich auch wir für den Erfolg der Mission und unserer Experimente kämpften; das allein war der Grund dafür, daß wir Papierarbeiten nicht immer die allererste Priorität beimaßen... Hier danken wir auch den Projektwissenschaftlern, den Herren Porsche, Meredith und Trainor für ihr unermüdliches Bemühen, die Interessen von Experimentatoren und Projektmannschaften unter einen Hut zu bringen.

Unsere Instrumente wurden zur Flugreife entwickelt und schließlich auch gefertigt von der Firma MBB, die Unteraufträge an die Firmen Lewicki, Zeiss und Dornier-System vergab. Der Projektmanager Dr. Brauer zusammen mit seinem Vertreter, H. Wagner und dazu H. Jochimsen war verantwortlich für Entwurf und Fertigung der Mechanik. Die Herren Stiller, Friedrich und Nogai und ihre Kollegen entwickelten die komplizierte Elektronik. Dem Geschick, der äußersten Sorgfalt und auch dem ungewöhnlichen persönlichen Engagement dieser MBB-Mannschaft ist es zu verdanken, daß unsere Instrumente heute noch mit zu den modernsten gehören, die es gibt und daß sie bis heute immer noch fehlerfrei arbeiten. Wir bedanken uns auch beim MBB-HELIOS-Team, insbesondere bei den Herren Grün, Schuran und Ziegler für das Verständnis, das wir stets bei ihnen fanden. Die NASA-Mannschaft am KSC sorgte für zwei problemlose Starts der Sonden, die von der Missionskontrolle am JPL bzw. GSOC dann weitergesteuert wurden. Weiterhin sagen wir Dank H. Heftman am JPL für seine ständige Hilfe im Kampf um Bodenstationen, sowie auch Prof. Hachenberg und seinen Kollegen am MPI für Radioastronomie für die Möglichkeit, das 100 m Radioteleskop in Effelsberg für den HELIOS-Datenempfang einzusetzen.

Die DFVLR-Mannschaft im GSOC - jahrelang unter Leitung von H. Panitz - bemühte sich von Anfang an sehr sorgfältig um die Missionskontrolle, steuerte den HELIOS-2-Start sogar in eigener Regie. Später leitete erst H. Kehr die HELIOS-Mission, dann H. Hiendlmayer. Er und seine Kollegen

sind wahre Virtuosen geworden im optimalen Ausnutzen aller Möglichkeiten, insbesondere des Bordspeichersystems, wenn es darum geht, Stationslücken zu überbrücken. Auch H. Wiegand, H. Piotrowski sowie Frau Dusl und ihren Kollegen danken wir für ihre sorgfältige Arbeit bei der Definition und Herstellung unserer Datenbänder.

Am MPE war das Experiment über mehr als zehn Jahre von Prof. Lüst und Prof. Pinkau kontinuierlich gefördert worden. H. Pellkofer, der erste Projektmanager, die Herren Ludwig, Müller, Kaiser, Fischer, dazu noch FrI. Kusser und FrI. Wantosch und schließlich H. Mühlhäuser trugen jahrelang die Hauptlast bei Entwicklung, Tests und Eichung. H. Antrack, H. Kipp und FrI. Lipp besorgten die Aufbereitung der Datenbänder am MPE bzw. führen sie auch heute noch aus.

Allen diesen Personen und den vielen, deren Namen hier eigentlich auch noch erwähnt werden müßten, gebührt unser herzlichster Dank.

Der Autor und Redakteur dieses Berichts, Rainer Schwenn, möchte es nicht versäumen, sich persönlich auch noch bei allen denen zu bedanken, deren frühere Berichte und sonstige Unterlagen er hier einarbeiten konnte ("Anlage A", "Schlußbericht" etc.), sowie - last not least - bei Frau Spilker, die mit erstaunlicher Geduld das langsam wachsende Manuskript zur Druckreife brachte.

LITERATUR

- Bechly, M., Entwurf und Bau einer Steuereinheit für die automatische Eichung von Sonnenwind-Meßgeräten, TU München, Diplomarbeit, 1974.
- Burlaga, L.F., N.F. Ness, F. Mariani, B. Bavassano, U. Villante, H. Rosenbauer, R. Schwenn und J. Harvey, Magnetic Fields and Flows between 1 and 0.3 AU during the Primary Mission of Helios-1, J. Geophys. Res. 83, 5167, 1978.
- Burlaga, L.F., R. Lepping, R. Weber, T. Armstrong, C. Goodrich, J. Sullivan, D. Gurnett, P. Kellogg, E. Keppler, F. Mariani, F. Neubauer und R. Schwenn, Interplanetary Particles and Fields, November 22 - December 6, 1977: Helios, Voyager, and Imp Observations between 0.6 AU and 1.6 AU, J. Geophys. Res. 85, 2227, 1980.
- Cuperman, S., B. Levush, M. Dryer, H. Rosenbauer und R. Schwenn, On the Radial Expansion of the Solar Wind Plasma between 0.3 and 1.0 Astronomical Units, Astrophys. J. 226, 1120, 1978.
- Dum, C.T., E. Marsch, W. Pilipp und D.A. Gurnett, Ion Sound Turbulence in the Solar Wind, to be published in Lecture Notes in Physics, Springer-Verlag, Berlin, 1979.
- Gurnett, D.A., M.M. Baumbach und H. Rosenbauer, Stereoscopic Direction Finding Analysis of a Type III Solar Radio Burst: Evidence for Emission at $2 f_p$, J. Geophys. Res. 83, 616, 1978.
- Gurnett, D.A., F.M. Neubauer und R. Schwenn, Plasma Wave Turbulence Associated with an Interplanetary Shock, J. Geophys. Res. 84, 541, 1979.
- Gurnett, D.A., E. Marsch, W. Pilipp, R. Schwenn und H. Rosenbauer, Ion-acoustic Waves and Related Plasma Observations in the Solar Wind, J. Geophys. Res. 84, 2029, 1979.

- Lichti, G., Absolutmessung der Ansprechwahrscheinlichkeit von Channeltrons, TU München, Diplomarbeit, 1972.
- Marsch, E., K.-H. Mühlhäuser, W. Pilipp, R. Schwenn und H. Rosenbauer, Initial Results on Solar Wind Alpha Particle Distributions as Measured by Helios between 0.3 and 1 AU, to be published in Lecture Notes in Physics, Springer-Verlag, Berlin, 1979.
- Marsch, E., W.G. Pilipp, und R. Schwenn, Some Characteristics of Proton Velocity Distributions in the Solar Wind as Observed by the Helios Solar Probes, to be published in Lecture Notes in Physics, Springer-Verlag, Berlin, 1979.
- Mühlhäuser, K.-H., R. Schwenn und H. Rosenbauer, Das Helios-Plasma-Experiment. Ein Beispiel für die Erzeugung und Verarbeitung großer Datenmengen, Kleinheubacher Ber. 21, 475, 1978.
- Pilipp, W.G., R. Schwenn, E. Marsch, K.-H. Mühlhäuser und H. Rosenbauer, Electron Characteristics in the Solar Wind as Deduced from Helios Observations, to be published in Lecture Notes in Physics, Springer-Verlag, Berlin, 1979.
- Rosenbauer, H., Der solare Wind; Theorien, Meßergebnisse, Meßprobleme, Raumfahrtforschung XIII, 38, 1968.
- Rosenbauer, H., Measurements of Interplanetary and Magnetospheric Plasmas, Industries Atomiques & Spatiales, 1973.
- Rosenbauer, H., Possible Effects of Photoelectron Emission on a Low-energy Electron Experiment, in Photon and Particle Interactions with Surfaces in Space, R.J.L. Grard (ed.), D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 139, 1973.

- Rosenbauer, H., H. Miggenrieder, M. Montgomery und R. Schwenn, Preliminary Results of the Helios Plasma Measurements, Proc. of the International Symposium on Solar-Terrestrial Physics, Boulder, June 1976, D.J. Williams (ed.), American Geophysical Union, 319, 1976.
- Rosenbauer, H., R. Schwenn, E. Marsch, B. Meyer, H. Miggenrieder, M. Montgomery, K.-H. Mühlhäuser, W. Pilipp, W. Voges und S.K. Zink, A Survey on Initial Results of the Helios Plasma Experiment, J. Geophys. 42, 561, 1977.
- Rosenbauer, H., R. Schwenn und S. Bame, The Prediction of Fast Stream Front Arrivals at the Earth on the Basis of Solar Wind Measurements at Smaller Solar Distances, Proc. of AGARD-Symposium on 'Operation Modeling of the Aerospace Propagation Environment', Ottawa, Canada 24. - 28.4.1978, H. Soicher (ed.), AGARD-CP-238, 32-1, 1978.
- Schwenn, R., H. Rosenbauer und H. Miggenrieder, Das Plasmaexperiment auf Helios (E1), Raumfahrtforschung 226, Heft 5, 1975.
- Schwenn, R., H. Rosenbauer, H. Miggenrieder und B. Meyer, Preliminary Results of the Helios Plasma Experiment, Proceedings of the 18th Plenary Meeting of COSPAR, Varna, 1975, in Space Research XVI, M.J. Rycraft (ed.), Akademie-Verlag Berlin, 671, 1976.
- Schwenn, R., H. Rosenbauer und K.-H. Mühlhäuser, The Solar Wind during STIP II Interval: Stream Structures, Boundaries, Shocks and other Features as Observed on Helios-1 and Helios-2, Proceedings of COSPAR Symposium B, Study of Traveling Interplanetary Phenomena, Tel Aviv, June 1977, M.A. Shea, D.F. Smart, S.T. Wu (ed.), Air Force Geophysics Laboratory Rep. Nr. 77-309, 351, 1977.
- Schwenn, R., M. Montgomery, H. Rosenbauer, H. Miggenrieder, K.-H. Mühlhäuser, S.J. Bame, W.C. Feldmann und R.T. Hansen, Direct Observations of the Latitudinal Extent of a High-speed Stream in the Solar Wind, J. Geophys. Res. 83, 1011, 1978.

- Schwenn, R., K.-H. Mühlhäuser und H. Rosenbauer, Two States of the Solar Wind at the Time of Solar Activity Minimum, to be published in Lecture Notes in Physics, Springer-Verlag, Berlin, 1979.
- Schwenn, R., K.-H. Mühlhäuser, E. Marsch und H. Rosenbauer, Two States of the Solar Wind at the Time of Solar Activity Minimum, II. Radial Gradients of Plasma Parameters in Fast and Slow Streams, to be published in Lecture Notes in Physics, Springer-Verlag, Berlin, 1979.
- Schwenn, R., H. Rosenbauer und K.-H. Mühlhäuser, Singly-ionized helium in the driver gas of an interplanetary shock wave, Geophys. Res. Lett. 7, 201, 1980.

LISTE DER ABKÜRZUNGEN

AG	Auftraggeber
AHK	analoge house-keeping-Daten
AN	Auftragnehmer
BM	bitrate mode
BMFT	Bundesministerium für Forschung und Technologie
BPS	Bits pro Sekunde
BPT	Bereich für Projektträgerschaften in der DFVLR
BSP	bit shift pulse
BTC	block transfer clock pulse
CEM	channel electron multiplier ("Channeltron")
CMD	Telemetrie Kommando
CP	Änderungsantrag
DFVLR	Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V.
DHK	digitale house-keeping-Daten
DM	distribution mode
E1	Experiment 1
E1A	Box, die I1a, I1b und Elektronik enthält
E1B	Box, die I2 und Elektronik enthält
E1C	Box, die I3 und Elektronik enthält
E1D	Box, die Digitalelektronik enthält
EDF	experiment data frame
EM	Ingenieurmodell
F1	Flugereinheit für HELIOS-1
F2	Flugereinheit für HELIOS-2
FM	format (Telemetrieformat)
GB	große Blocklänge
GfW	Gesellschaft für Weltraumforschung in der DFVLR
GMT	Greenwich Mean Time
HAN	Hauptauftragnehmer (MBB)
HDM	high data mode
HP	Hewlett-Packard
HTS	HELIOS test set

HV	Hochspannung
I1a	3D-Ioneninstrument mit CEMs
I1b	1D-Ioneninstrument mit Elektrometer
I2	2D-Elektroneninstrument
I3	3D-Ioneninstrument mit CEMs, dynamisches Massenspektrometer
IABG	Industrie-Anlagen Betriebsgesellschaft in Ottobrunn
IST	integrated system test
JPL	Jet Propulsion Laboratory
KB	kleine Blocklänge
KSC	Kennedy Space Center, Florida, USA
KV	keine Verschiebung (KV \equiv NS)
MBB	Messerschmitt-Bölkow-Blohm in Ottobrunn
MV	mit Verschiebung (MV \equiv WS)
NDM	normal data mode
NS	ohne Verschiebung
NZR	Nullzählrate
P	Prototyp
PHA	Pulshöhenanalyse
S/C	Raumsonde
UHV	Ultrahochvakuum
UT	Universal Time
UV	Ultraviolett
WS	mit Verschiebung
WTC	word transfer clock pulse

