

Werk

Jahr: 1970

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 Z NAT 2148:36

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0036

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0036

LOG Id: LOG_0098

LOG Titel: Der Forschungssatellit AZUR

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

Der Forschungssatellit AZUR

The Research Satellite AZUR

Von E. KEPPLER, Lindau (Harz)¹⁾

Eingegangen am 21. April 1970

Zusammenfassung: Es wird eine Übersicht über die Meßaufgaben des Forschungssatelliten AZUR gegeben. Danach werden die wissenschaftlichen Meßinstrumente beschrieben. Der technische Aufbau des Satelliten und die wichtigsten Entwurfs-Parameter werden dargestellt. Über das Flugverhalten nach dem Start wird kurz berichtet.

Summary: A summary on the scientific aims to be reached with the satellite AZUR is given. The scientific instruments are described. The technical construction and the most important design parameters of the Satellite are summarized. The observed flight performance is reported briefly.

1. Einleitung

Am 8. November 1969, 01.52 UT, wurde AZUR (Internationale Bezeichnung: 1969-097 A) (Abb. 1) von amerikanischen Raketenstartplatz Vandenberg (Western Test Range) aus mit einer SCOUT-Rakete in eine elliptische Umlaufbahn geschossen. Der vorliegende Artikel soll die wissenschaftliche Zielsetzung des Satelliten umreißen und eine Übersicht über die Meßinstrumente und den technischen Aufbau des Satelliten geben.

AZUR ist der erste im nationalen Raumfahrtprogramm der Bundesrepublik gebaute Forschungssatellit. An der Durchführung dieses Projekts waren insgesamt sieben Firmen aus dem Bereich der Raumfahrt- und Elektronikindustrie beteiligt. Die Projektleitung lag bei der Gesellschaft für Weltraumforschung (GfW) in Bad Godesberg, die Programmdirektion beim Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft. Der Satellit wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Wissenschaft erbaut.

Das gesamte Projekt war das erste einer Serie bilateraler Gemeinschaftsprojekte zwischen der BRD und den USA. Der amerikanische Partner ermöglichte unseren Ingenieuren und Wissenschaftlern im Rahmen dieses Projekts ein umfangreiches Training. Die Bereitstellung der SCOUT-Rakete wurde ebenso wie die Startdurchführung, die Bahnbestimmung im Flug und ein Teil des Datenempfangs von NASA übernommen.

¹⁾ Dr. Erhard KEPPLER, Max-Planck-Institut für Aeronomie, Institut für Stratosphärenphysik, 3411 Lindau (Harz).

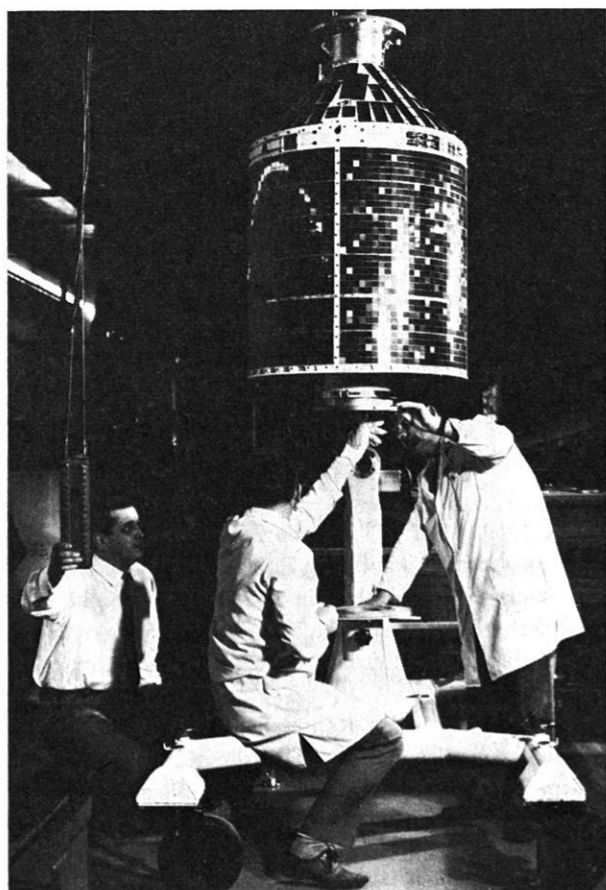


Abb. 1: Der erste im nationalen Raumfahrtprogramm der Bundesrepublik Deutschland erbaute Satellit AZUR, hier auf dem Montagedolly.

AZUR, the first satellite being built in the frame of the national space research program of the Federal Republic of Germany. The satellite is shown on the dolly.

Im folgenden wird zunächst eine kurze Übersicht über die wissenschaftliche Aufgabenstellung gegeben, danach werden die Meßinstrumente beschrieben, schließlich wird der technische Aufbau des Satelliten skizziert und über den bisherigen Missionsverlauf berichtet.

2. Wissenschaftliche Zielsetzung

Die Mission des Satelliten AZUR wurde bestimmt durch drei voneinander weitgehend unabhängige Fragestellungen. Der Satellit sollte gestatten,

- Untersuchungen in der Polarlichtzone,
- Untersuchungen im Bereich des inneren Strahlungsgürtels und
- Untersuchungen solarer Teilchenereignisse

durchzuführen. Dementsprechend erlaubt die Nutzlast, das Energiespektrum von Protonen im Bereich 0,25 bis 100 MeV direktional sowie omnidirektional mit mäßiger Zeitauflösung (10 sec) zu bestimmen, Elektronen von 40 keV bis 4 MeV direktional und omnidirektional zu erfassen, die Intensität von zwei Polarlichtlinien (3914 Å und 2972 Å) zu registrieren und schließlich transversale hydromagnetische Wellen nachzuweisen.

Diese Aufgaben betreffen Untersuchungen im Bereich der äußeren und der inneren Magnetosphäre. Dementsprechend wurde für den Satelliten eine polare elliptische Bahn gewählt, deren Parameter in Tabelle 1 zusammengestellt sind. Diese Bahn gestattet Messungen in allen Breiten außerhalb des Erdstrahlungsgürtels (Perigäumspassagen); sie führt in Apogäumspassagen am Äquator bis in die Nähe des Intensitätsmaximums für energiereiche Protonen.

Tabelle 1: Bahndaten.

Bahnelement	Nominalbahn	Istbahn
Große Halbachse (km)	8179,09	8142,80
Exzentrizität	0,17337	0,16957
Inklination (Grad)	102,671	102,975
Argument des Perigäums (Grad)	161,801	161,906
Rektaszension des aufst. Knotens (Grad)	125,490	126,564
Anomalistische Periode (min)	122,688	121,87603
Höhe des Perigäums (km)	382,69	383,84
Höhe des Apogäums (km)	3218,72	3145,43
Geozentrische Breite des Perigäums bei Injektion	17,741 N	17,617 N
Progression des Perigäums (Grad/Tag) ($d\omega/dt$)	1,667	1,671
Progression der Knotenlinie ($d\Omega/dt$) (Grad/Tag)	0,96	

3. Geophysikalischer Hintergrund

Im Strahlungsgürtel gilt das Interesse in besonderem Maße den Quell- und Verlustprozessen für geladene Teilchen. Die absoluten Verluste sind im wesentlichen auf die atmosphärischen Verluste (Absorption in der Atmosphäre) zurückzuführen. Andere Verlustprozesse sind in jüngerer Zeit von KENNEL und PETCHEK [1966], CORNWALL [1966] und HAERENDEL [1969] untersucht worden. Anisotrope Pitchwinkelverteilungen von Protonen können zu Instabilitäten und damit zur Emission von Ionenzyklotronwellen führen, die Energie entlang der Feldlinien in die Ionosphäre leiten und dort dissipieren. Als Quellprozesse kommen in erster Linie Diffusionsprozesse in Betracht, von denen die radiale Diffusion [NAKADA und MEAD 1965] wahrscheinlich die niederenergetische Population erklären kann. Pitchwinkeldiffusion ist ein anderer, sicherlich wirksamer Prozeß, der zu einer Bewegung der Spiegelpunkte der Teilchen führt. Diese Prozesse sind jedoch gegenwärtig noch nicht vollständig behandelt worden. Ausführlich untersucht sind die auf Zerfall von Albedoneutronen beruhenden Injektionsprozesse [HESS 1968]. Sie tragen jedoch nicht wesentlich zum Aufbau der beobachteten Protonenpopulation im inneren Strahlungsgürtel bei. Es wird daher weiterer sehr präziser Messungen insbesondere des zeitlichen Verhaltens und der räumlichen Verteilung der Teilchenflüsse bedürfen, um diese Fragen beantworten zu können.

Das dynamische Verhalten gefangener Teilchen in der Nähe der Grenze der Speicherzonen, speziell in der Nähe der Polarlichtzone, zeigt besondere tageszeitabhängige Variationen. Hier spielen sicherlich Prozesse eine Rolle, die mit dem Wechselspiel zwischen Speicherzonen und Magnetosphärenschweif zusammenhängen. Der magnetosphärische Teilsturm beeinflusst offensichtlich die niederenergetische Teilchenpopulation am äußeren Rand des Strahlungsgürtels. Jenseits der Speicherzone lassen sich angesichts der schnell über hohe Dynamikbereiche variierenden eigentlichen Polarlichtzonenphänomene gegenwärtig so fundamentale Fragen wie die nach der Herkunft der Teilchen und nach der Natur der Beschleunigungsprozesse nicht schlüssig beantworten (vgl. z. B. HULTQVIST [1968]).

Innerhalb der eigentlichen Polkappe haben in letzter Zeit an Bord von Satelliten auf polaren Bahnen durchgeführte Messungen während durch solare Protonen hervorgerufener PCA-Ereignisse bemerkenswerte Strukturen in der räumlichen Verteilung des Teilchenflusses erkennen lassen [PAULIKAS et al. 1968]. Hinter diesen Befunden steht die noch immer offene Frage, ob geladene Teilchen aus dem interplanetaren Raum direkten Zugang zu den Polregionen haben, oder ob die Teilchen nach Feldlinienverschmelzung im Bereich des Magnetosphärenschweifs auf dem Umweg über den Schweif in die Polkappe gelangen.

Eine Übersicht über den gegenwärtigen Stand unseres Wissens und die daraus sich für AZUR konkret ergebenden primären Meßaufgaben ist bei ACHTERMANN et al. [1970] zu finden.

4. Beschreibung der Meßinstrumente an Bord von AZUR

Sieben Meßinstrumente wurden zur Erfüllung der in Abschnitt 2 genannten Meßaufgaben ausgewählt. Die Geräte sind in Tabelle 2 einschließlich einiger charakteristischer Parameter zusammengestellt. Die Lage der einzelnen Meßgeräte ist in Abb. 2 angegeben, in Tabelle 3 sind die Namen der Wissenschaftler angegeben, die die einzelnen Instrumente entworfen und hergestellt haben.

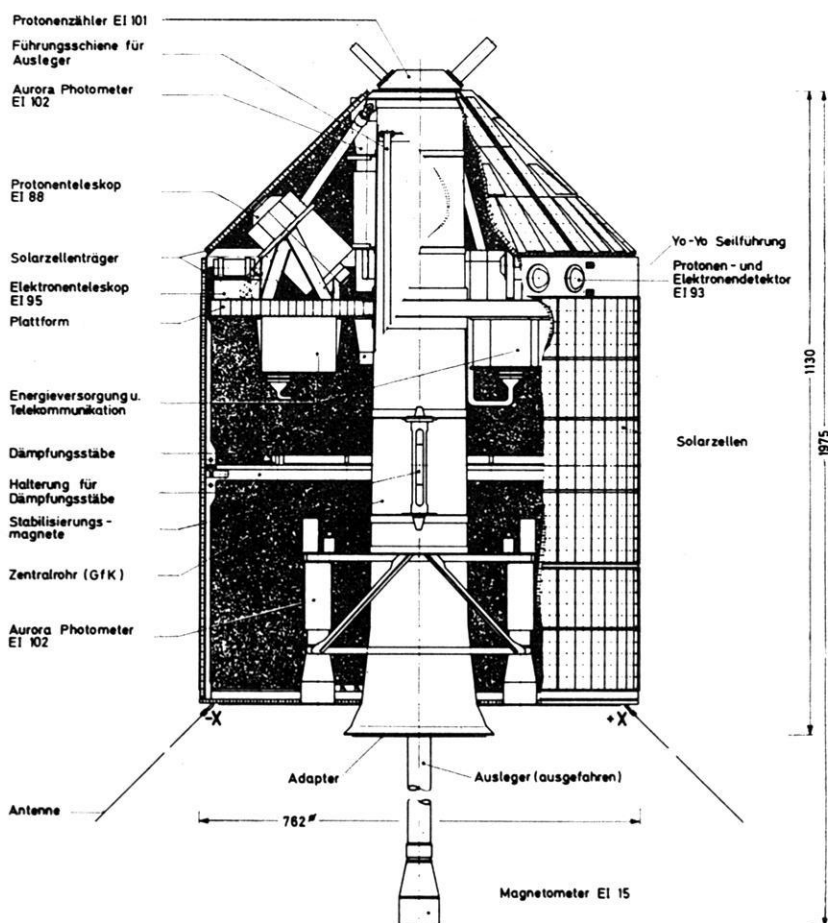


Abb. 2: Querschnitt durch den Satelliten.

Cross sections through the satellite.

Tabelle 2: Charakteristische Daten der Experimente.

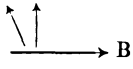
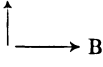
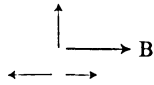
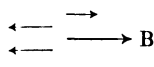
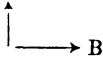
Experiment	Orientierung relativ zum Magnetfeld	Öffnungswinkel	Gewicht [kg]	Leistungs- verbrauch [W]
EI 88		28°	$2 \times 2,82$	$2 \times 1,330$
EI 92		$20,4^\circ$	1,67	0,43
EI 93		2π	1,30	0,64
EI 95		50° 50° 25° 4π	1,97	0,2
EI 101		2π 2π	0,80	0,08
EI 102		10°	2,55	0,72
EI 15		—	3,41	4,34

Tabelle 3: Meßinstrumente im AZUR. — Übersicht.

Bezeichnung	Type	Kanalzahl	Energie-Bereich	Verantwortl. Wissenschaftler	Institut
EI 88/1 EI 88/2	p- α -Teleskop	8 + 8	1,4— 2,6 MeV (p) 6,5— 19 MeV (α) 2,6— 4,9 MeV (p) 4,9— 10,4 MeV (p) 10,4— 22 MeV (p) 22 — 44 MeV (p) 44 —100 MeV (p) Untergrund	Dr. D.HOVESTADT	Max-Planck-Institut für Extraterr. Physik Garching bei München
EI 93	p-e ⁻ -Detektor	4	20 — 45 MeV (p) 20 — 80 MeV (p) > 1,5 MeV (e ⁻) > 4,0 MeV (e ⁻)	Dr. D.HOVESTADT	Max-Planck-Institut für Extraterr. Physik Garching b. M.
EI 92	p-Spektrometer	6	1,65—13,5 MeV (p) 0,25—12,5 MeV (p) 0,25— 1,65 MeV (p) 0,5 — 1,65 MeV (p) 1,0 — 1,65 MeV (p) 2,0 — 6,4 MeV (α)	J. MORITZ	Inst. für Reine u. Angewandte Kernphysik der Universit. Kiel, Kiel
EI 95	e ⁻ -Zähler	4	E > 40 keV (e ⁻) E > 0,7 MeV (p) Untergrund	Dr. L. ROSSBERG	Max-Planck-Inst. f. Aeronomie, Inst. für Stratosphärenphysik Lindau/Harz
EI 101	p-Zähler	2	E > 12 MeV (p) E > 30 MeV (p) E > 0,7 MeV (e ⁻) E > 3,2 MeV (e ⁻)	Dr. E.KIRSCH	Max-Planck-Inst. f. Aeronomie, Inst. für Stratosphärenphysik Lindau/Harz
EI 102	Photometer	3	$\lambda = 3914 \text{ \AA}$ $\lambda = 2972 \text{ \AA}$	Dr. A. ROSSBACH	DFVLR-Inst. f. Phys. d. Atmosphäre Oberpfaffenh./Obb.
EI 15	Magnetometer	2	$\Delta B \geq 5\gamma$ $5 \cdot 10^{-3} - 8 \text{ Hz}$	Dr. G.MUSMANN	Inst. f. Geophysik u. Meteorologie d. Techn. Universität Braunschweig

4.1 Omnidirektionaler Teilchenzähler (EI 101)

Auf der konischen Spitze des Satelliten ist ein aus zwei zylindrischen Zählrohren bestehendes Instrument befestigt. Unterschiedliche Wandstärken beider Zählrohre machen sie empfindlich für Protonen oberhalb 10 bzw. 30 MeV und für Elektronen oberhalb von 0,7 und 3,2 MeV. Beide Zählrohrachsen sind senkrecht zueinander und senkrecht zur benachbarten Satellitenoberfläche angeordnet.

Die von Teilchen in den Zählrohren ausgelösten Impulse werden in Registern gespeichert und alle 5 sec (10 MeV Zähler) bzw. alle 10 sec (30 MeV Zähler) ausgelesen und jeweils als quasilogarithmisch komprimiertes 11-bit-Wort übertragen.

Wegen der Totzeit der Zählrohre (ca. 150 μ sec) durchläuft die Zählrate mit zunehmendem Teilchenfluß ein Maximum, während der Strom steigt. Zur Unterscheidung, auf welcher Seite des Maximums die Zählrate liegt, triggert der Zählerstrom einen Schwellendiskriminator. 1 bit im Telemetrierahmen indiziert, ob die Zählrate diesseits oder jenseits des Maximums lag. Der Geometriefaktor von 10 cm² pro Zählrohr erlaubt den Nachweis bereits kleiner Teilchenflüsse.

4.2 Direktionaler Elektronenzähler (EI 95)

Die Öffnungskegel von vier sonst gleichartigen Geiger-Müller-Zählrohren mit dünnem Glimmerfenster (Fensterdicke äquivalent der Reichweite von 40-keV-Elektronen) sind im Satelliten so orientiert, daß einer senkrecht, ein zweiter parallel, ein dritter antiparallel zur Figurenachse des Satelliten mit den in Tabelle 2 angegebenen Öffnungswinkeln weist. Ein viertes Zählrohr ist allseitig geschirmt und dient zur Bestimmung des Untergrundes.

Die von den Zählrohren erzeugten Impulse werden wie unter 4.1 beschrieben, in Binärspeichern gezählt und nach quasilogarithmischer Kompression alle 5 Sekunden übertragen. Zusätzlich werden die Zählerstände von je 4 aufeinanderfolgenden Binärzählern der drei erstgenannten Zählrohre mit einer zeitlichen Auflösung von 12,5 msec in Echtzeit übertragen.

4.3 Photometer (EI 102)

Zwei Photometer — Interferenzfilter mit Photomultiplier — registrieren unter Nachtbedingungen die Intensität der Polarlichtlinien bei 3914 und 2972 Å. Die Photometer sind an der Unterseite des Satelliten montiert. Die Multiplierströme werden durch Kondensatorentladung mittels Glimmlampen digitalisiert und als Pulsraten in Echtzeit übertragen. Ein drittes, im Oberteil des Satelliten angeordnetes Photometer wird als Referenz gegen die Nachthimmelhelligkeit benutzt. Ein Dämmerungsschalter schaltet die Versorgungsspannung des Instruments ab, sobald die Sonne über dem Horizont erscheint.

4.4 Magnetometer (EI 15)

Eine Zwei-Komponenten-Förstersonde ist auf einem etwa 80 cm langen „Boom“ montiert. Die beiden Magnetometer sind senkrecht zueinander und senkrecht zur Figurenachse des Satelliten montiert.

Die Magnetometer können in zwei Meßbereichen ($\pm 70000 \gamma$ und $\pm 10000 \gamma$ Vollausschlag) betrieben werden. Die analogen Ausgangssignale werden alternierend von einem 12-bit-Analog-Digitalwandler mit einer zeitlichen Auflösung von 62,5 msec digitalisiert. Die 12 bit werden alle 5 Sekunden übertragen, die letzten 6 bit alle 62,5 msec in Echtzeit.

Das Instrument dient, neben der Lagemessung, mittels der in Echtzeit zeitlich hochaufgelöst übertragenen Daten dem Nachweis transversaler hydromagnetischer Wellen.

4.5 Protonenspektrometer (EI 92)

Zur Untersuchung von Intensität und Energiespektrum niederenergetischer Protonen (Energiebereich 0,25 bis 1,65 MeV) dient ein aus zwei Halbleiterdetektoren (je 33μ dick, Oberflächengrenzschichtdetektoren) aufgebautes Spektrometer. Protonen, die im vorderen Detektor ihre gesamte Energie verlieren, werden in die Energiebereiche 0,25—1,65; 0,5—1,65; 1,0—1,65 MeV klassiert und, nach Speicherung der Pulse in Binärzählern, quasilogarithmisch komprimiert und alle 10 Sekunden übertragen.

Der zweite Detektor dient als Antikoinzidenzgeber und begrenzt den Energiebereich nach oben. In zwei weiteren Zählkanälen wird die Zahl der Antikoinzidenzen — entsprechend dem Protonenfluß im Energiebereich oberhalb von 1,65 MeV — und der Fluß von Alpha-Teilchen im Energiebereich 2—6,4 MeV bestimmt.

Ein mechanischer Kollimator definiert den Öffnungswinkel des Instruments von $20,4^\circ$ (Vollwinkel). Im Kollimator sorgt ein Permanentmagnet für die quantitative Eliminierung von Elektronen mit Energien bis etwa 0,5 MeV. Das Instrument ist senkrecht zur Figurenachse des Satelliten eingebaut.

4.6 Protonen-Alpha-Teilchen-Teleskop (EI 88)

Zwei sonst gleiche Halbleiter-Teleskope sind im Satelliten senkrecht und unter 135° zur Figurenachse eingebaut.

Die Teleskope bestehen aus 7 hintereinanderliegenden Halbleiterzählern mit zwischengeschobenen Absorberplättchen. Die gesamte Anordnung ist zur Definition des Öffnungswinkels und zur Unterdrückung von Teilchen aus unerwünschten Richtungen von einem Plastik-Szintillationszähler umgeben.

Die energiemäßige Analyse der einfallenden Teilchen geschieht mittels einer Vierfach-Koinzidenz-Antikoinzidenz-Logik nach dem Schema $ABC\bar{S}$, wo A, B, C irgend drei aufeinanderfolgende Halbleiterzähler (Oberflächengrenzschichtzähler) bezeichnen, S den umgebenden Szintillationszähler. In der Apertur sorgt ein Permanentmagnet für die Eliminierung eventuell störender Elektronen.

Tabelle 4: Energiekanäle von EI 88.

Kanal Nr.	Teilchenart	Energiebereich	Logik
1	p	1,4— 2,6 MeV	\overline{ABCS}
2	α	6,5— 19 MeV	$A_x B_x \overline{DS}$
3	p	2,6— 4,9 MeV	\overline{BCDS}
4	p	4,9— 10,4 MeV	\overline{CDES}
5	p	10,4— 22,0 MeV	\overline{DEFS}
6	p	22,0— 44,0 MeV	\overline{EFGS}
7	p	44,0—100 MeV	\overline{FGS}
8		Untergrund	S

Der Öffnungswinkel beider Instrumente beträgt jeweils 28° Vollwinkel, entsprechend einem Geometriefaktor von $0,04 \text{ cm}^2\text{ster}$. Die Energiekanäle sind in Tabelle 4 aufgelistet. Jedem Kanal ist ein Binärzähler zugeordnet, aus dem die Daten alle 10 sec nach quasilogarithmischer Kompression als 11-bit-Wort ausgelesen werden.

4.7 Omnidirektionaler Protonen-Elektronen-Detektor (EI 93)

Zwei durch halbkugelförmige Absorberkappen verschieden stark abgeschirmte, auf der Oberfläche des Satelliten montierte kubische Halbleiterdetektoren (Lithium-Drift-Detektoren, Öffnungswinkel 2π , Geometriefaktor $0,0185 \text{ cm}^2$ und $0,0475 \text{ cm}^2$) gestatten den Nachweis von Protonen in den Energiebereichen 20—45 MeV und 40 bis 80 MeV, und von Elektronen in den Energiebereichen $> 1,5 \text{ MeV}$ und $> 4,0 \text{ MeV}$.

Die Zählraten dieser Detektoren werden in 4 Binärzählern gespeichert und wie bei den anderen Instrumenten alle 10 Sekunden übertragen.

5. Technischer Aufbau des Satelliten

Die Grundstruktur des Satelliten besteht aus einem Zentralrohr aus glasfaserverstärktem Kunststoff, an dem eine Plattform aufgehängt ist (vgl. Abb. 2). Das Ganze wird umhüllt von einem zylindrischen Paneel, das auf der Unterseite über eine weitere Plattform mit dem Zentralrohr verbunden ist. Über der oberen Plattform verjüngt sich das Paneel kegelförmig zur Spitze. Im Zentralrohr wurde der ausfahrbare „Boom“ montiert, der das Magnetometer trägt. Experimente und Bordgeräte sind, soweit nicht andere Gründe dagegenstanden, auf und unter der oberen Plattform befestigt.

Etwa in der Mitte des Satelliten sind am Zentralrohr zwei ellipsoidförmige Permanentmagnete (Stabilisierungsmagnete, vgl. unten) angeordnet. Zwei Schleifen aus weichmagnetischen Dämpferstäben dienen dem Abbau des Restspins.

Die Oberfläche des Paneels (Zylinder, Kegel und Bodenpaneel) ist mit insgesamt 5040 n-auf-p-Silizium-Solarzellen bedeckt. Jede Zelle hat eine Fläche von $2 \times 2 \text{ cm}^2$.

Die einzelnen Zellen sind in Streifen zusammengefaßt, so daß die von der Solarzellenanlage angebotene Ausgangsspannung zwischen 6,5 und 11,5 V liegt. Die insgesamt 2,3 m² Solarzellenfläche bietet bis zu 41 W Leistungsangebot. Jede Zelle ist zur Verminderung der Strahlenschädigung mit einer 0,5 mm starken Quarzscheibe abgedeckt. Im Schatten wird der Betrieb des Satelliten durch eine aus 7 Zellen bestehende Ag-Cd-Batterie (16 Ah, maximale Leistungsabgabe: 29 W) ermöglicht. Die Batterie wird auf der Tagseite ständig aufgeladen.

Der Satellit rotierte zusammen mit der 4. Raketenstufe beim Einschub in die Bahn mit 160 RPM (Spin). Nach Trennung von der Rakete wurde der Spin des Satelliten mit Hilfe eines zweistufigen Yo-Yo-System auf etwa 1 RPM abgebaut. Die Dämpferstäbe reduzierten den Spin weiter. Etwa ab 0,1 RPM begann sich der Satellit ins Erdmagnetfeld einzustellen.

Eine Gewichtsbilanz ist in Tabelle 5 wiedergegeben.

Die von den Meßinstrumenten gewonnenen Daten werden, soweit sie nicht bereits digital vorliegen, mit Analog-Digitalwandlern digitalisiert. Übertragen werden Daten in 33 wissenschaftlichen Haupt-Datenkanälen mit 5 bzw. 10 Sekunden zeitlicher Auf-

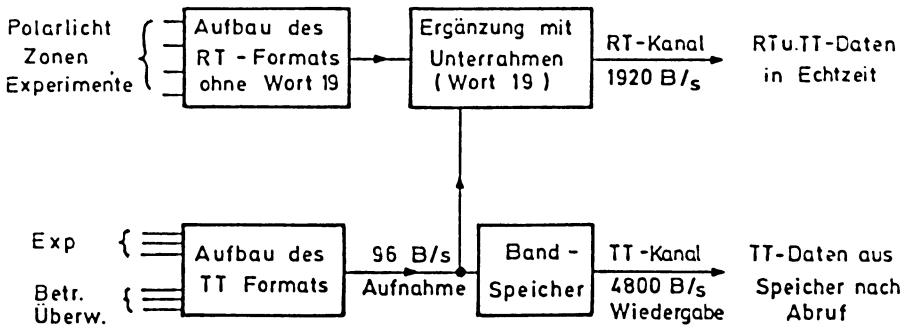
Tabelle 5: Gewichtsbilanz.

Wissenschaftliche Nutzlast	14,28 kg
Lageregelung	4,75 kg
Telekommunikation ¹⁾	12,10 kg
Boom	3,62 kg
Energieversorgung ²⁾	13,27 kg
Struktur	20,82 kg
Ballance Gewichte	1,3 kg
Sonstiges	1,99 kg
<hr/>	
Flugkonfiguration	72,12 kg
YO Yo	0,39 kg
Startgewicht	81,7 kg

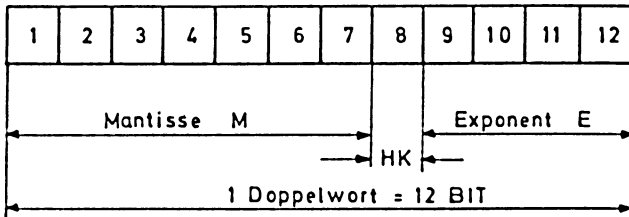
1) Enthält die zu den Experimenten gehörenden Pulszählereinheiten. — 2) Mit Solarzellen.

lösung, 17 zeitlich hochaufgelösten wissenschaftlichen Datenkanälen, 56 Zustandsindikationen (1 bit), 58 Betriebsüberwachungskanälen (6 bit pro Kanal), 2 Betriebsüberwachungskanälen (12 bit). Von diesen dienen 30 der Zustandsanzeige bei den Meßinstrumenten, 14 der Betriebsüberwachung der Instrumente. Die in den Hauptdatenkanälen erzeugten Impulse werden in Binärzählern gespeichert und im Takt des Telemetriesystems alle 5 bzw. 10 Sekunden ausgelesen. Dabei wird eine quasilogarithmische Datenreduktion durch Gleitkommadarstellung mit 4-bit-Charakteristik und 7-bit-Mantisse vorgenommen. Diese Daten werden der digitalen Telemetrieinheit im 6-bit-Parallel-Zeitmultiplex angeboten. Um Daten während eines ganzen Umlaufs gewinnen zu können, wurde ein Magnetbandspeicher (Telefunken) mit einer Speicherkapazität von $1,5 \cdot 10^6$ bit eingebaut, auf dem die Daten abgespeichert werden. Der

Zum Telemetrieformat Azur



Zahlendarstellung der Meßwerte
(Gleitkommadarstellung)



$M \cdot 2^E = n \cdot K$, $n =$ mittlere Zählrate, $K =$ Konstante
 HK = Betriebsüberwachungs - Information

Abfragehäufigkeit der Speicher 0,1 Hz

1 Datenrahmen : 80 Worte zu je 12 BIT

Abb. 3a: Wort-Formatierung im AZUR. — Word-formatting in AZUR.

1		2		3		4		5		6		7		8	
1 SYNCHRON- WORT						4 Digitale Housekeeping Dat.						7 LM X		8 LM Y	
9 EI95-1		10 EI95-2		11 EI95-3		12 EI95-4		13 EI95 EI95		14 EI95 EI101		15 EI101		16 Eichwort PZE2	
17 EI88/1-1 1		18 EI88-2 2		19 EI88/1 3		20 EI88/1 4		21 EI88/1 5		22 EI88/1 6		23 EI88/1 7		24 EI88/2 1	
25 EI88/2 2		26 EI88/2 3		27 EI88/2 4		28 EI88/2 5		29 EI88/2 6		30 EI88/2 7		31 EI92-1		32 EI92-2	
33 EI92-3		34 EI92-4		35 EI92-5		36 EI92-6		37 EI89-1		38 EI89-2		39 EI89-3		40 EI89-4	
41 Format- zähler		42 Orbit- zähler		43 EI93-1		44 EI93 -2		45 EI93-3		46 EI93-4		47 LM X nur bei		48 LM Y RTM	
49 EI95-1		50 EI95-2		51 EI95-3		52 EI95-4		53 EI95 EI95		54 EI95 EI101		55 EI101		56 Eichwort PZE1	
57 88/1-1		58 88/2-1		59 RES.		60 RES.		61 1.1.1		62 3.2.2		63 4.2		64 4.5	
65 4.7		66 5.1.2		67 6.2		68 6.4		69 6.6		70 6.8		71 6.11		72 6.13	
73 6.15		74 6.16.2		75 6.16.3		76 6.16.4		77 7.2		78 7.8.1		79 7.9		80 RESERVE	
88/1-2		88/2-2		RES.		RES.		3.2.1		4.1		4.3		4.6	
5.1.1		6.1		6.3		6.5		6.7		6.10		6.12		6.13.2	
6.14		6.16.2		6.16.4		6.16.5		7.4		7.8.3		7.9		RESERVE	

10 sec. →

Abb. 3b: TT-Datenrahmen. — TT-data frame.

Speicher erlaubte eine Aufnahmezeit von 250 Minuten mit einer Bitfolgefrequenz von 96 bit/sec (split phase). Durch Telekommando wurde die Bandwiedergabe (4800 bit/sec) über einer Bodenstation ausgelöst.

Die Daten sind in einem Rahmen von 80 Worten (960 bit) mit einer Rahmenlänge von 10 Sekunden angeordnet, der mit einem Synchronisationswort (24 bit) beginnt. Die 11-bit-Hauptdatenworte werden dabei jeweils noch durch ein Zustandsindikationsbit ergänzt, so daß eine einheitliche Wortlänge von 12 bit erreicht wird (TT-Rahmen) (Abb. 3a, b).

Daten mit höherer zeitlicher Auflösung werden ohne Zwischenspeicherung direkt in Echtzeit übertragen. Diese Echtzeitdaten werden zu einem separat gebildeten Format (RT-Format) (Abb. 3c) von 5 × 24 bit (62,5 msec) zusammengefaßt. In jedem dieser RT-Formate wird je ein Halbwort des TT-Rahmens zusammen mit der Wortnummer des TT-Formats übertragen. Dadurch wird sichergestellt, daß in Echtzeit in jedem Fall alle Daten übertragen werden können. Zur Übertragung stehen zwei Sender (136,56 und 136,74 MHz) mit einer HF-Ausgangsleistung von 0,5 W zur Verfügung, die mit PCM/PSK/PM moduliert werden. Ein Sender wird mit RT-Daten moduliert, der andere dient zum Abspielen des Bandgerätes, doch kann durch Telekommando die Modulation vertauscht werden. Die Abstrahlung erfolgt über 4 Halbwelligendipolantennen.

Der Betrieb des Satelliten wird durch 70 verschiedene Telekommandos ermöglicht. Die vom Boden gesendeten Kommandos (148,25 MHz) werden von einem AM/PM-

1	Schweizer	EI95	Kanal	1	EI95	Kanal	2	EI95	Kanal	3	EI102	Abg.	E195	Schw2	Schw3	EI 15	Kanal 1	(X)
2	SI	1	2	3	4	1	2	3	4	Kanal	Kanal	Kanal	EI 95	Schw2	Schw3	EI 15	Kanal 2	(Y)
3	95	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	E1102 K1	Abg.2	Abg.3	Format-		
4	-	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	E1102 K2	Abg.2	Abg.3	nummer		
5													E1102 K3	Abg.2	Abg.3	1/2 Wort des Bandformates		
													Abg.2	Abg.3				62,5 msec

Teilformat I (TF I)

1	Rahmensynchronisation																							
2																								
3																								
4	Wie Zeile 2...5 TF I																							
5																								

Teilformat II (TF II)

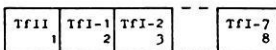


Abb. 3c: RT-Datenrahmen. — RT-data frame.

Empfänger an Bord empfangen (7,7 kHz Unterträger pulsdauermoduliert) und dekodiert. Ein Tone-Digital-Command-System [COATES 1969] mit der Adresse LLLO LLLO wird benutzt. Jede Adresse wird zweimal gesendet und muß zweimal richtig erkannt werden, ehe der darauffolgend dreimal gesendete Befehl (4 aus 8 Code, einmal erkannt) exekutiert wird.

6. Stabilisierung

Der Satellit wird mittels der oben erwähnten Permanentmagnete (magnetisches Moment 80 Am^2) magnetisch stabilisiert. Der Anfangsspin wird deshalb mittels Yo Yo mit Hilfe weichmagnetischer Dämpferstäbe abgebaut. Die Stabilisierung ist so ausgelegt, daß die Figurenachse des Satelliten in keinem Punkt der Bahn mehr als 10° vom erdmagnetischen Feldvektor abweicht. Damit ergibt sich für die Teilchenmessungen ein natürliches Referenzsystem: Der Winkel des Geschwindigkeitsvektors der Teilchen zum lokalen Feldvektor (Pitchwinkel) ist hier von besonderem Interesse.

7. Bahn- und Lagebestimmung, Datenempfang

Die Bahnbestimmung wird vom weltweiten STADAN-Bodenstationsnetzwerk (Abb. 4) der NASA durchgeführt. Aus den wöchentlich an das deutsche Kontrollzentrum in Oberpfaffenhofen b. München übermittelten Bahnelementen werden jeweils für die kommende Woche Bahnvorhersagen berechnet und Kontaktzeiten mit den verschiedenen Bodenstationen bestimmt. Jeweils nach einer bestimmten Zeit werden retrospektiv definitive Bahnbestimmungen durchgeführt, die später der Datenauswertung zugrundegelegt werden.

Die momentane Lage der Satellitenachse relativ zum Erdmagnetfeld wird aus den Magnetometermessungen (2 Komponenten senkrecht zur Figurenachse) und dem an jedem Punkt der Bahn nach Größe und Richtung hinreichend genau bekannten Erdmagnetfeld ermittelt. Vier auf dem Mantel des Satelliten angeordnete Solar-Aspekt-Sensoren gestatten darüber hinaus, die Roll-Lage des Satelliten zu bestimmen. Die Bahn des Satelliten wurde so gewählt, daß sich das Perigäum der Bahn nach dem Start langsam über die nördliche Polkappe bewegte. Der Satellit tauchte dabei für knapp 3 Monate maximal 22 Minuten in den Erdschatten ein. Nach dieser Periode bleibt die Bahn ständig sonnenbeschienen.

Abb. 4 (als Kartenbeilage am Schluß des Heftes):

Bodenstationen im AZUR-Programm mit Subsattellitenbahn.

Die magnetischen Breiten $\varphi_m = 60^\circ \text{ N}$ und $\varphi_m = 70^\circ \text{ N}$ sind mit eingezeichnet.

Ground stations used in the AZUR-program. The sub-satellite track is also shown.

Magnetic latitudes $\varphi_m = 60^\circ \text{ N}$ and $\varphi_m = 70^\circ \text{ N}$ are also shown.

Für den Datenempfang wurde Vorsorge in zweifacher Hinsicht getroffen:

Zum Empfang der Daten bei Bandwiedergabe wurden neben der zentralen deutschen Bodenstation (ZDBS) Weilheim/Obb. die für Telekommandogabe ausgerüsteten ESRO-Stationen Spitzbergen, Fairbanks/Alaska und Falkland-Inseln vorgesehen. Zum Empfang der ständig abgestrahlten Echtzeit-Telemetriedaten, die besonders im Bereich der Polarlichtzone von Interesse sind, wurden eigene Empfangsstationen in

Tabelle 6: Bodenstationen in der Betriebsphase von AZUR.

	Länge	Breite	Daten- empfang	Kommando- gabe	Tracking
1. Deutsches Bodenstations-Netzwerk					
Weilheim/Obb.	11,05° E	47,52° N	×	×	
Kevo/Finnland	27° E	69,75° N	×		
Reykjavik/Island	21,8° W	64,1° N	×		
Fort Churchill/Kanada	147,5° W	64,9° N	×		
2. ESRO-Stationen					
Redu/Belgien	5° E	50° N	(×)	(×)	
Ny Alesund/Spitzbergen	12° E	79° N	×	×	
Fairbanks/Alaska	140° W	65° N	×	×	
Port Stanley/Falkland-Inseln	58° W	52° S	×	×	
3. NASA-Stationen					
Fairbanks/Alaska	140° W	65° N		+	×
Fort Myers/Florida	81,9° W	26,5° N	×	+	×
Johannesburg/Südafrika	27,7° E	25,9° S		+	
Kauai/Hawaii (ca.)	160° W	20° N	×	+	
Lima/Peru	77,2° W	11,8° S	×	+	×
Orroral/Australien (ca.)	150° E	35° S		+	×
Quito/Ecuador	78,4° W	0,6° S	×	+	×
Rosman/North Carolina	82,9° W	35,2° N		+	
St. John's/Neufundland	52,7° W	47,7° N		+	×
Santiago/Chile	70,7° W	33,1° S		+	×
Tananarive/Madagaskar (ca.)	50° E	20° S	×	+	×
Winkfield/England	0,7° W	51,4° S		+	×

(×) Backup-Stationen

+ Protektive Kommandos

Kevo/Finnland, Reykjavik/Island und Fort Churchill/Kanada aufgebaut [DEISS et al. 1968/1969]. Darüber hinaus werden diese Daten von den ESRO-Stationen Spitzbergen und Fairbanks aufgenommen.

Für den Fall eines Ausfalls des Bandgerätes wurde mit NASA ein beschränkter Einsatz von äquatornahen STADAN-Stationen zur Aufzeichnung von Echtzeit-Telemetriedaten vereinbart. Darüber hinaus wurde mit CNAE (Brasilien) der Einsatz der Station San José dos Campos (São Paulo) und mit CNES (Frankreich) der Einsatz der Stationen Courou, Fortaleza (Südamerika), Las Palmas (Azoren) und Brazzaville (Kongo) zur Gewinnung zusätzlicher Daten aus dem Bereich der südatlantischen Anomalie verabredet. Eine Übersicht über die verschiedenen Bodenstationen ist in Tabelle 6 zu finden.

Eine laufende Überwachung des Satellitenzustandes (Quick Look) wird bei Echtzeitübertragungen im Kontrollzentrum vorgenommen. Dort wird auch festgelegt, welche Station zu welcher Zeit Kommandos zum Satelliten sendet.

8. Datenverarbeitung

An den Empfangsstationen werden die Daten direkt, d. h. nach HF-Demodulation, zusammen mit einem Zeitcode auf Magnetband aufgezeichnet. Kontaktzeiten und Satellitenposition werden für jede Station bestimmt und den Stationen als wöchentliche Vorhersage übermittelt. Die Daten werden im bestimmten Zeitabständen per Post an das Kontrollzentrum geschickt, wo sie nach Qualitätsprüfung zur weiteren Aufbereitung freigegeben werden. Diese „Analogbänder“ werden im Prozeß der Datenaufbereitung zunächst in rechnerkompatible Digitalbänder (Pufferbänder) umgesetzt. Hierbei wird jedem Datenrahmen eine Qualitätskennung (Bitfehler) und die Zeit zugeordnet. Im Prozeß der Datenverarbeitung werden aus den Pufferbändern digitale Editionsblätter, für RT- und TT-Daten getrennt, erstellt. Redundante Daten, die etwa durch gleichzeitigen Empfang von mehreren Bodenstationen aus erhalten werden, werden zunächst nicht beseitigt. Bei der Editierung werden die separat erstellten Blätter mit Bahninformationen mitverwertet. Jedem Rahmen wird so zusätzlich der Ort und die Lage zugeordnet.

Aus den Editionsblättern werden schließlich durch Abspeicherung ausgewählter Daten und durch Hinzufügen gewisser, in parallel laufenden Rechenprozessen gewonnener Zusatzinformationen (geomagnetische Koordinaten, B-L-Koordinaten, Weltzeit usw.) Experimentatorenblätter hergestellt, die dann den beteiligten Wissenschaftlern zur Datenweiterverarbeitung zur Verfügung stehen. Die Experimentatorenblätter sind bereits auf die Erfordernisse der den Wissenschaftlern zur Verfügung stehenden Datenverarbeitungsanlagen zugeschnitten (Spurzahl der Blätter, Code usw.). Die Experimentatorenblätter werden Qualitätskontrollen unterworfen, dann werden Redundanzen eliminiert und die Daten in physikalische Größen transformiert (Analysenband). Das Analysenband ist schließlich die Grundlage für die beabsichtigte Interpretation der Messungen.

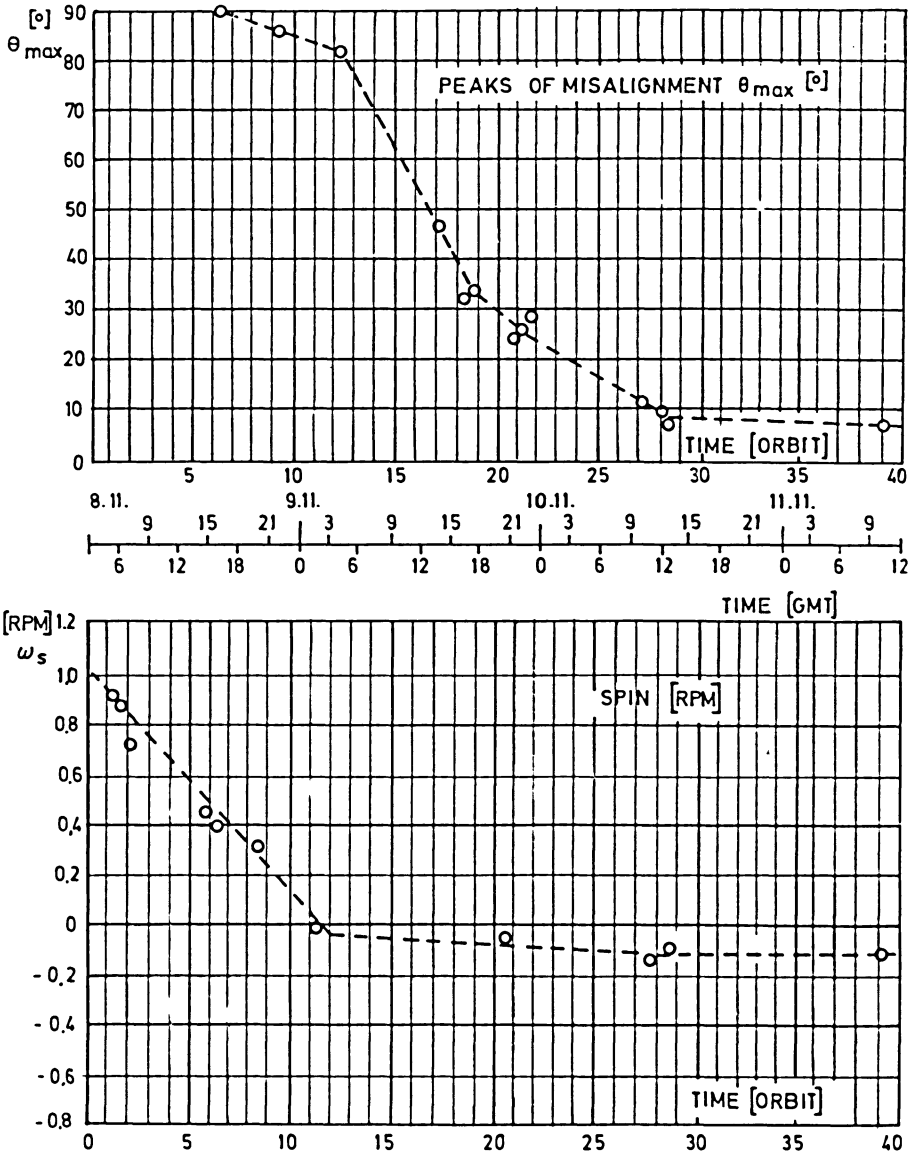


Abb. 5: Einfangphase.

Initial orbital period during which magnetic stabilization is achieved.

9. Missionsverlauf während der ersten 1000 Umläufe

Der Satellit erreichte nach einem erfolgreichen Start praktisch seine Nominalbahn (vgl. Tabelle 1). Zunächst arbeiteten alle Teilsysteme zufriedenstellend. Das Abspinnen verlief planmäßig, ebenso das Ausfahren des Magnetometerbooms. Sehr bald zeigte sich jedoch eine verhältnismäßig hohe Empfindlichkeit des Kommandoempfängers. Der Satellit empfing von Zeit zu Zeit Kommandos, die ihn in willkürliche Betriebszustände brachten. Dies ist vermutlich auf eine Schwäche im Entwurf des Kommando-Dekoders zurückzuführen, in dem ein Zeitglied, das die Erkennung von Adresse und Befehl innerhalb einer bestimmten Zeit verlangt, fehlt. Der Satellit wurde dabei hauptsächlich beim Überfliegen von Gegenden mit starkem Funkverkehr beeinflusst

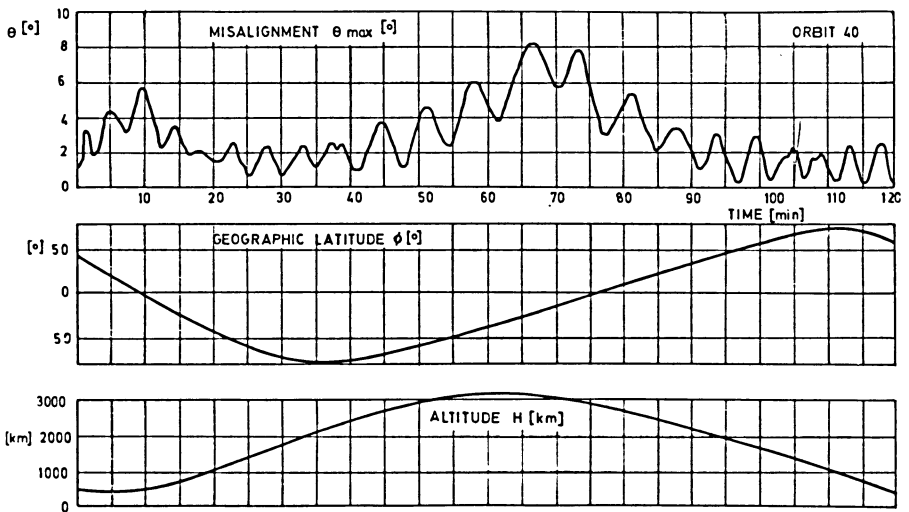


Abb. 6: Ablage der Satellitenachse vom Erdmagnetfeld während eines Umlaufs.

Deviation of the satellite axis versus the geomagnetic field vector during one orbit.

(falsche Kommandos werden im Mittel etwa in jedem 10. Orbit exekutiert). Zur Verbesserung der Situation wird der Satellit seitdem von verschiedenen Bodenstationen aus routinemäßig etwa alle 2 Stunden durch eine Serie von Kommandos in den gewünschten Betriebszustand gebracht. Durch diese Maßnahme wird der Betrieb des Satelliten durch Falschkommandos kaum mehr beeinträchtigt.

Alle Meßinstrumente an Bord des Satelliten arbeiten fehlerlos. Die Stabilisierung erreichte die geforderten Werte. Der zeitliche Verlauf der „Eingangsphase“ ist in Abb. 5 dargestellt. Abb. 6 zeigt den Verlauf der Ablage des Satelliten vom Magnetfeld während eines vollen Umlaufs. Die Energieversorgungsanlage arbeitet ebenfalls zufriedenstellend. Alle Meßinstrumente sind seit dem Start nahezu ständig in Betrieb.

Am 9. 12. 1969, einen Monat nach dem Start, fiel das Bandgerät aus bisher ungeklärter Ursache aus. Bis zu diesem Zeitpunkt konnten während rund 300 Umläufen aufgenommene Daten zum Boden überspielt werden. Die Qualität der aufgezeichneten Daten war während der ganzen Zeit sehr gut.

Seit dem Ausfall des Bandgerätes werden Daten nur noch in Echtzeit empfangen. Durch den Einsatz von Stationen der Organisationen NASA, CNES, ESRO, CNAE kann trotzdem ein hoher Prozentsatz der interessierenden Daten (etwa 70%) aufgenommen werden.¹⁾

Literatur

- ACHTERMANN, E., E. KEPPLER, E. KIRSCH, J. MORITZ, G. MUSMANN, G. PASCHMANN, A. ROSSBACH und L. ROSSBERG: Übersicht über die wissenschaftlichen Ziele der Mission des Satelliten AZUR. Forschungsbericht des Bundesministeriums für Bildung und Wissenschaft — Weltraumforschung. (im Erscheinen) 1970
- COATES, R. J.: Tracking and Data Acquisition for Space Exploration. *Space Sci. Rev.* 9, 361, 1969
- CORNWALL, J. M.: Micropulsations and the Outer Radiation Zone. *J. Geophys. Res.* 71, 2185—2199, 1966
- DEISS, D., B. ERNST, F. R. HUBER, L. THOMANEK, H. SCHICHTL, H. STACHL, H. ENGEL, H. ROTH, H. VIERBACHER, O. IHL, L. MOOSER und H. ROTH: Echtzeit-Telemetrie-Station für das Satellitenprojekt AZUR. I. Überblick. II. VHF-Satellitenempfangsantenne HA 121/141/50. III. Antennendrehstand. IV. Programmsteueranlage. V. Zeitanlage. Neues von Rohde & Schwarz, Ausg. 34, Jahrg. 8/9, 5, Dez./Jan. 1968/1969
- HAERENDEL, G.: Outer Belt Protons in Equilibrium with Emission of Ion Cyclotron Waves. Lockheed Palo Alto Res. Lab. Rep., 1969
- HESS, W. N.: The Radiation Belt and the Magnetosphere. Blaisdell Publ. Co., 69, 1968
- HULTQVIST, B.: Auroral Particles. *Ann. Géophys.* 24, 563, 1968
- KENNEL, C. F., and H. E. PETCHEK: Limit on Stably Trapped Particle Fluxes. *J. Geophys. Res.* 71, 1—28, 1966
- NAKADA, M. P., and G. D. MEAD: Diffusion of Protons in the Outer Radiation Belt. *J. Geophys. Res.* 70, 4777—4791, 1965
- PAULIKAS, G. A., J. B. BLAKE, and S. C. FREDEN: Low-Energy Solar-Cosmic-Ray Cutoffs: Diurnal Variations and Pitch-Angle Distributions. *J. Geophys. Res.* 73, 87—95, 1968

¹⁾ Am 29. 6. 1970, im Erdumlauf 2752, konnte AZUR nicht mehr empfangen werden. Die Ursache des Ausfalls ist z. Zt. nicht bekannt.