



History of Recent Science & Technology
The 40th Anniversary of Apollo 7

Apollo Telecommunication System and On-Board-Computer

Lorenz Born, HB9DTN

USKA Sektion Bern, 29. Oktober 2008

mit bestem Dank an

Manfred Dietrich, HB9TYX

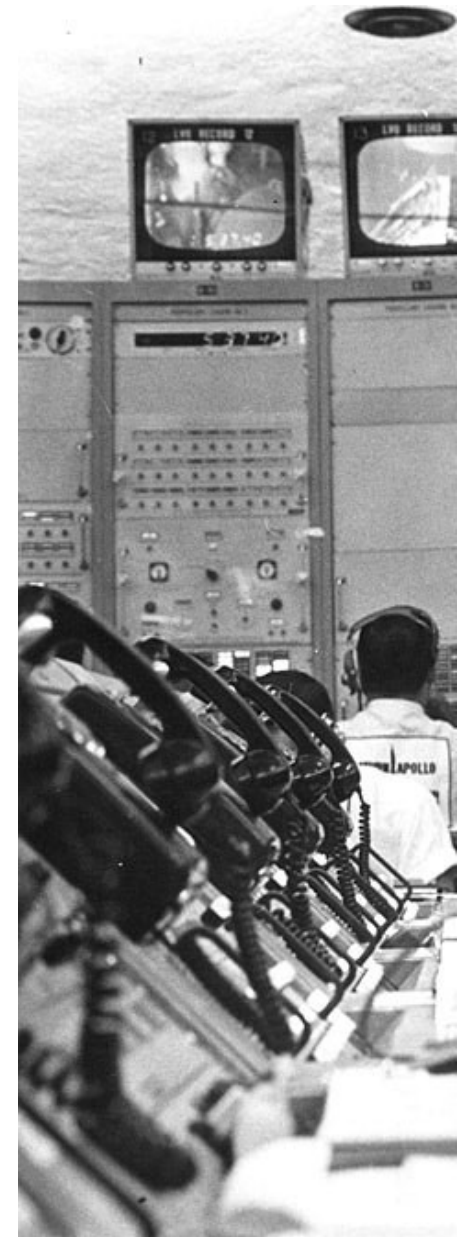
Frank O'Brien, Infoage Science/History

Einleitende Gedanken



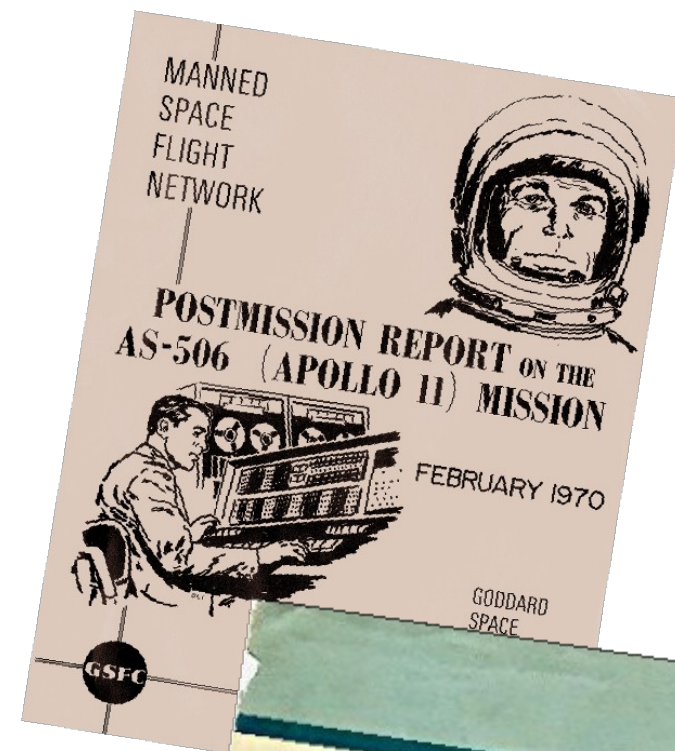
Übersicht

- Einführung
- Kurzer Rückblick
- Apollo Programm der NASA
- Ablauf einer Mondmission
- Kommunikationssysteme
- Apollo Guidance Computer (AGC)
 - Technik und Funktionen
 - Demonstration (optional)
- Fragen und Diskussion
- Referenzen und Quellen

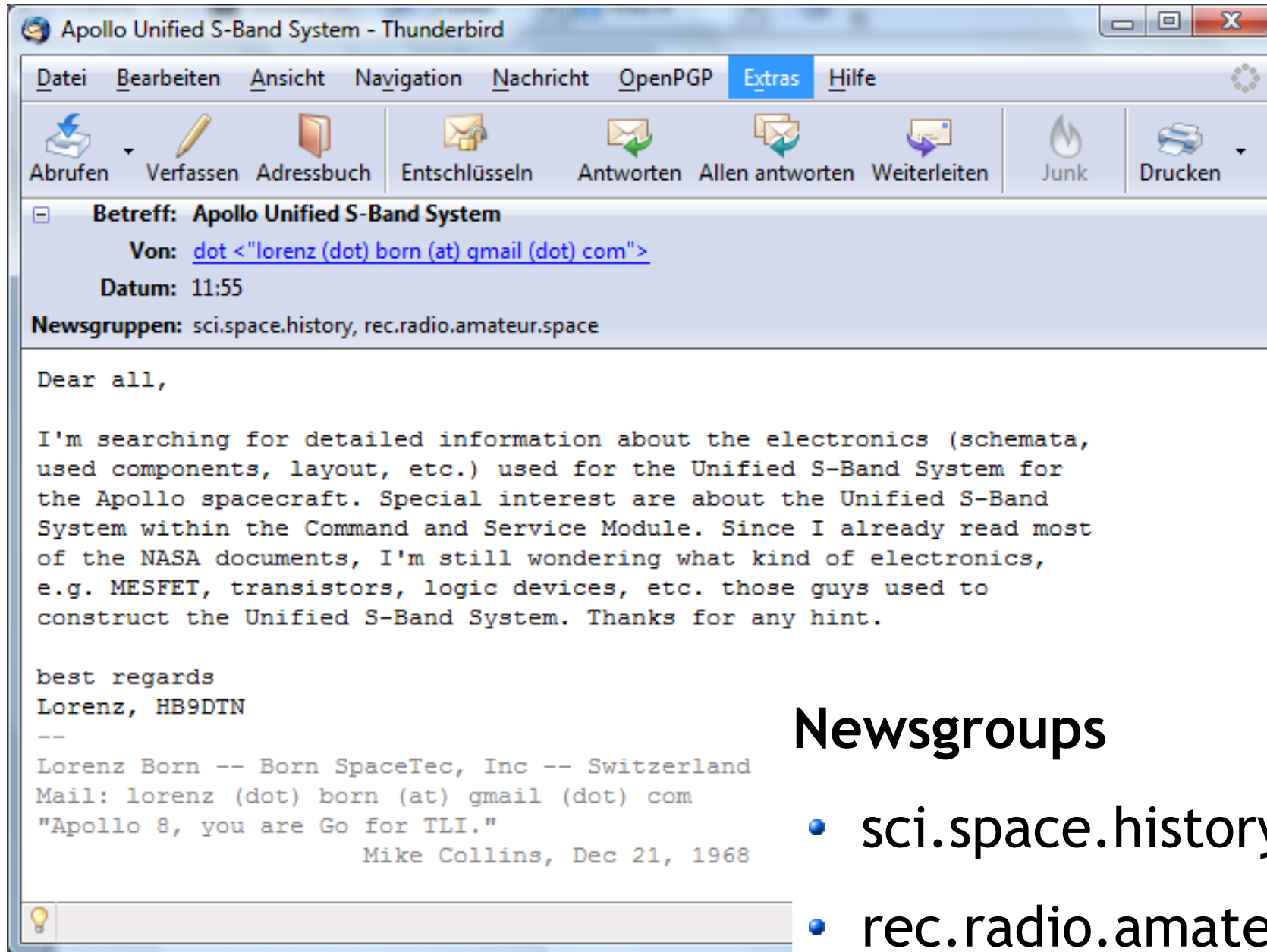


Quellenmaterial

- Zugang zu verschiedenen NASA-Dokumenten des Apollo Programms
- Apollo Operations Handbook
- Volume 1, Spacecraft
 - Im zweiten Kapitel können die Spezifikationen des Apollo Telecommunication System und des Apollo Guidance Computer studiert werden.



Anfragen in Newsgroups



The screenshot shows a Thunderbird window titled "Apollo Unified S-Band System - Thunderbird". The menu bar includes "Datei", "Bearbeiten", "Ansicht", "Navigation", "Nachricht", "OpenPGP", "Extras", and "Hilfe". The toolbar contains icons for "Abrufen", "Verfassen", "Adressbuch", "Entschlüsseln", "Antworten", "Allen antworten", "Weiterleiten", "Junk", and "Drucken". The message header shows "Betreff: Apollo Unified S-Band System", "Von: dot <'lorenz (dot) born (at) gmail (dot) com'>", and "Datum: 11:55". The "Newsgroups" field lists "sci.space.history, rec.radio.amateur.space". The message body contains the following text:

Dear all,

I'm searching for detailed information about the electronics (schemata, used components, layout, etc.) used for the Unified S-Band System for the Apollo spacecraft. Special interest are about the Unified S-Band System within the Command and Service Module. Since I already read most of the NASA documents, I'm still wondering what kind of electronics, e.g. MESFET, transistors, logic devices, etc. those guys used to construct the Unified S-Band System. Thanks for any hint.

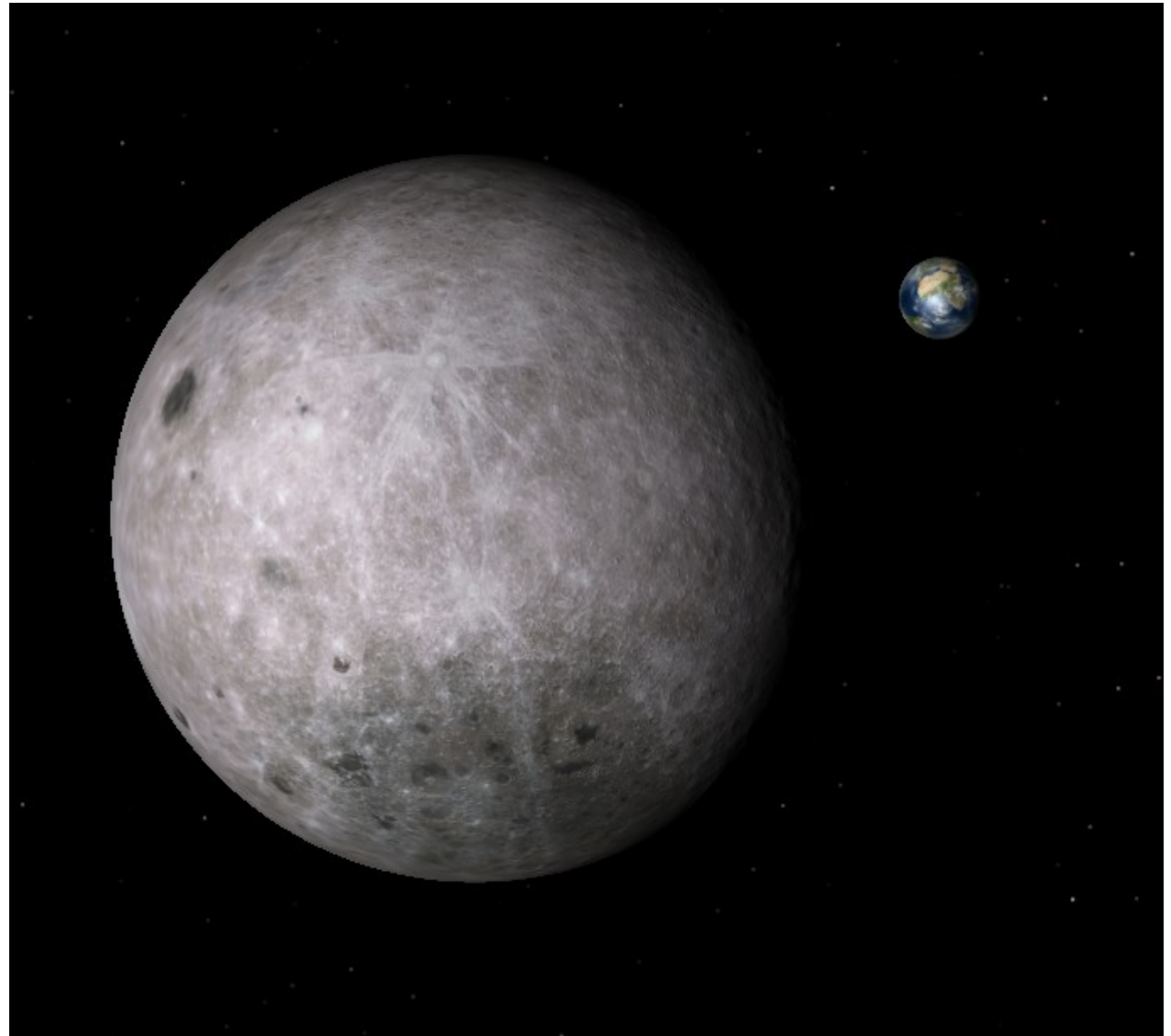
best regards
Lorenz, HB9DTN
--
Lorenz Born -- Born SpaceTec, Inc -- Switzerland
Mail: lorenz (dot) born (at) gmail (dot) com
"Apollo 8, you are Go for TLI."
Mike Collins, Dec 21, 1968

Newsgroups

- sci.space.history
- rec.radio.amateur.space

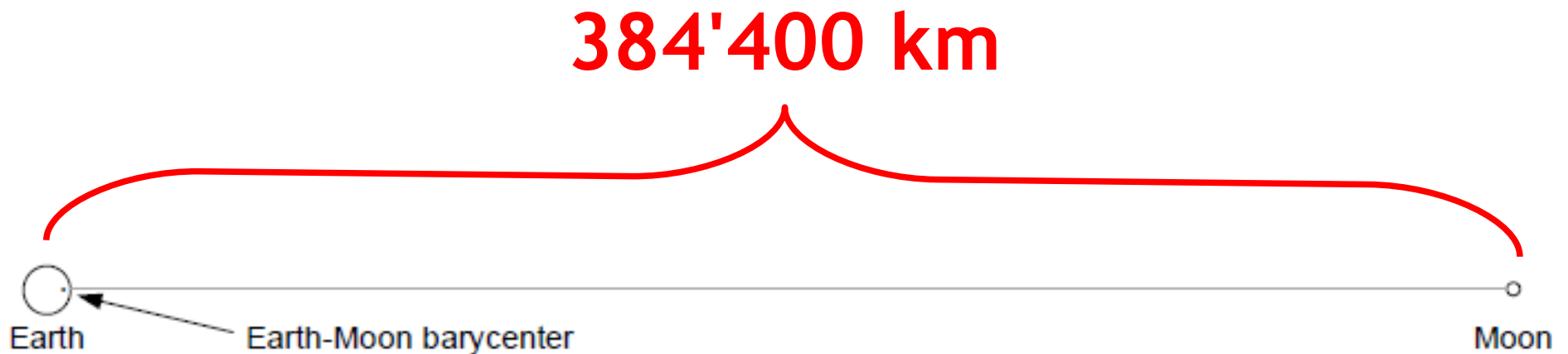
Einige Daten zu Erde und Mond (1/2)

- Daten zu Erde und Mond ausgehend von einigen Betrachtungen an einem Modell



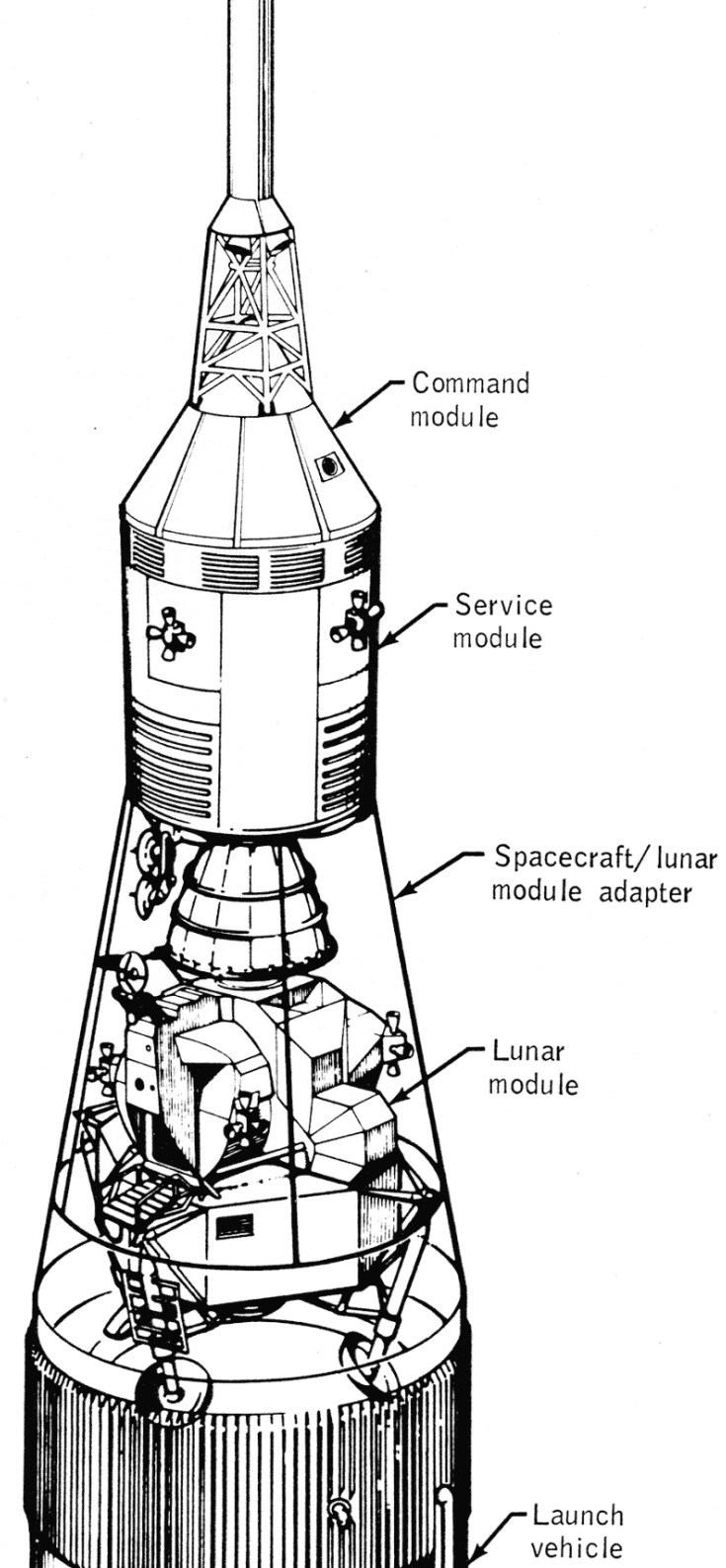
Einige Daten zu Erde und Mond (2/2)

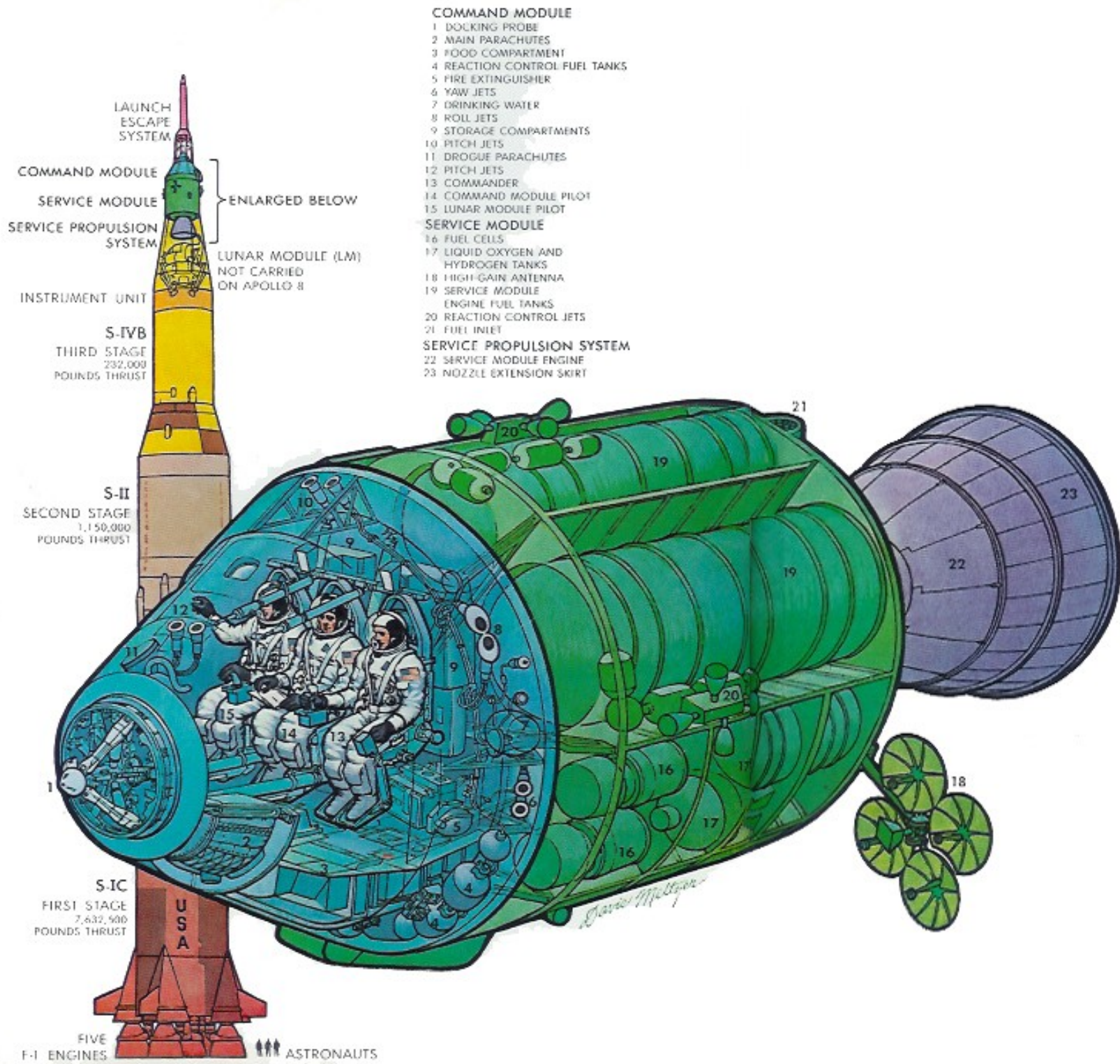
	Erde	Mond
Radius	6378 km	1738 km
Masse	$5.9742 \cdot 10^{24}$ kg	$0.073483 \cdot 10^{24}$ kg
Fallbeschleunigung	9.81 m/s^2	1.62 m/s^2
Inklination	23.45°	6.69°



Terminologie und Akronyme

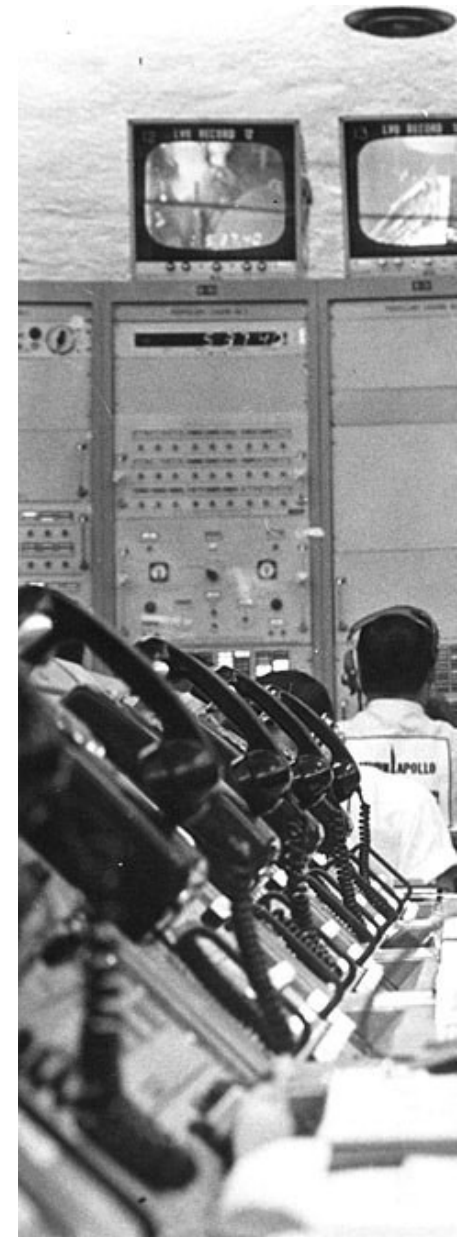
Akronym	Bedeutung
AGC	Apollo Guidance Computer
CDR	Commander
CM	Command Module
CMC	Command Module Computer
CMP	Command Module Pilot
CSM	Command and Service Module
DSKY	Display and Keyboard
DSN	Deep Space Network
LM	Lunar Module
LMP	Lunar Module Pilot
MSC	Manned Spacecraft Center
MSFN	Manned Space Flight Network
PAD	Pre-Advisory data
TLI	Translunar Injection
MSC	Manned Spacecraft Center





Übersicht

- Einführung
- Kurzer Rückblick
- Apollo Programm der NASA
- Ablauf einer Mondmission
- Kommunikationssysteme
- Apollo Guidance Computer (AGC)
 - Technik und Funktionen
 - Demonstration (optional)
- Fragen und Diskussion
- Referenzen und Quellen

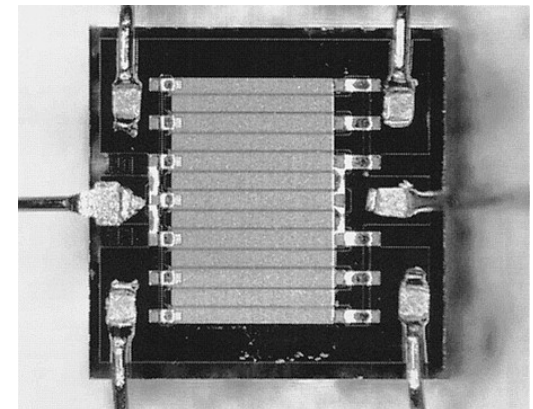


Wie alles begann ...

- Wir stehen in den 60iger Jahren des vorherigen Jahrhunderts.
- Am 25. Mai 1961 hielt Präsident John F. Kennedy vor dem amerikanischen Kongress seine berühmte Rede, in der er das Ziel vorgab, noch im gleichen Jahrzehnt einen Menschen zum Mond und wieder zurückbringen zu lassen.
- Der erste auf Galliumarsenid basierende Feldeffekttransistor (GaAs-MESFET) wurde 1966 von Carver Mead für Hochfrequenzanwendungen entwickelt.



US-Präsident John F Kennedy und Wernher von Braun



Labora Aufbau eines ersten MESFET

Mercury- und Gemini-Programm als Vorbereitung



- Schon unmittelbar nach der Bekanntgabe des Mondprogramms durch Kennedy begannen die Wissenschaftler der NASA mit weiteren Vorbereitungen
 - Nach dem Abschluss der Mercury-Missionen von 1958 bis 1963 wurde mit dem Gemini-Programm zwischen 1965 und 1966 eine zweiseitzige Raumkapsel erprobt



Gemini 8: Scott und Armstrong warten auf das Bergungsschiff

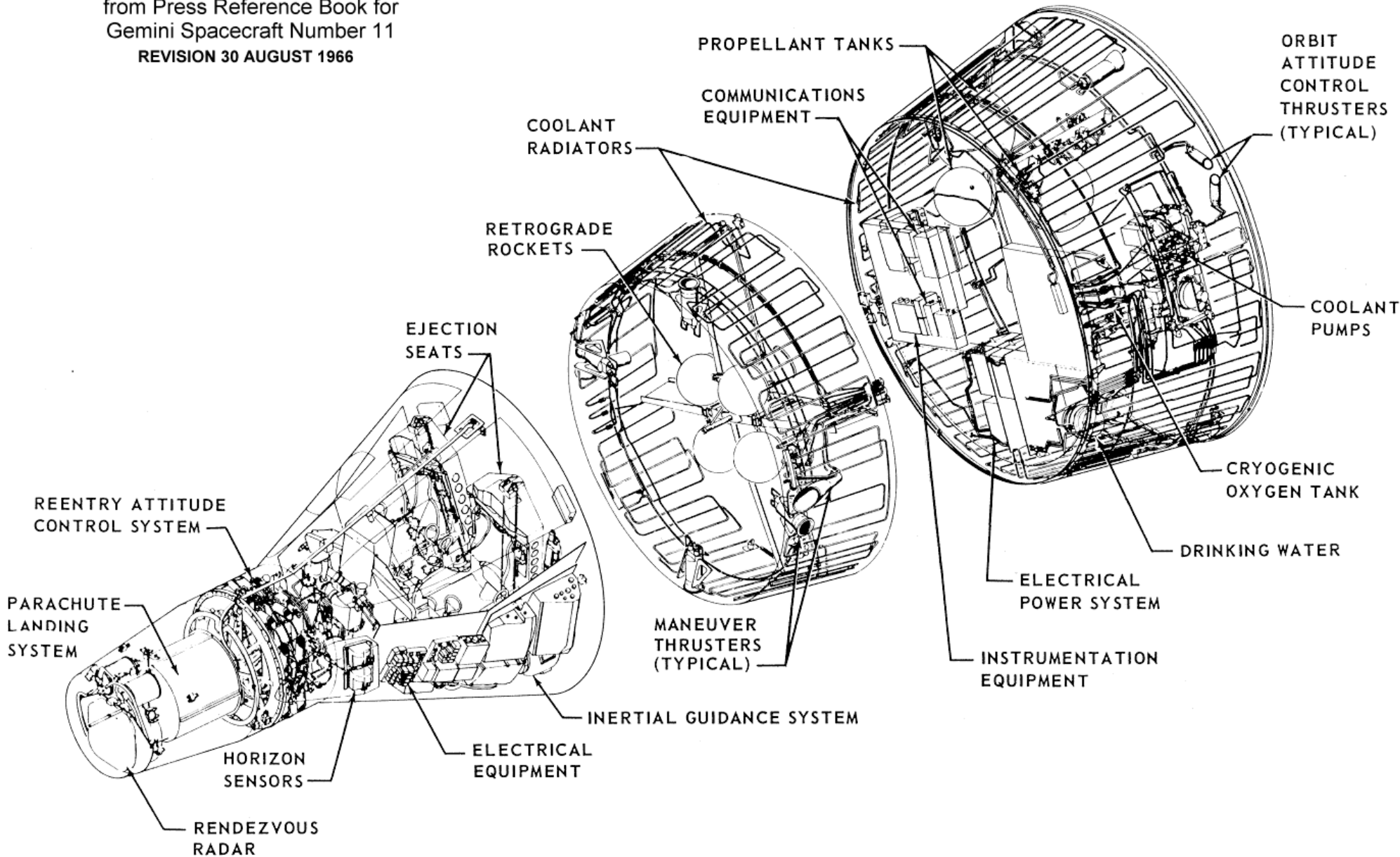


Gemini-Raumschiff

GEMINI EQUIPMENT ARRANGEMENT

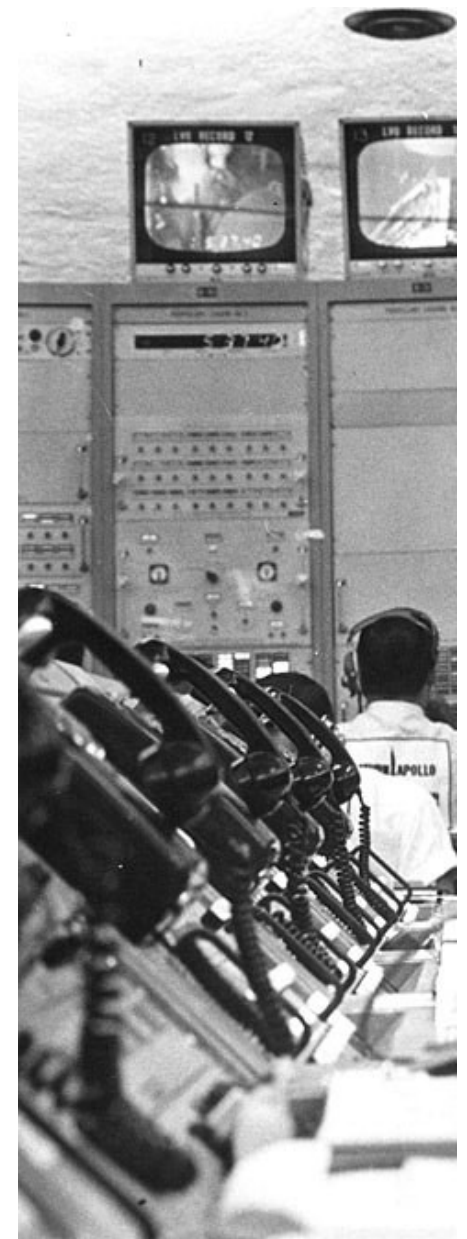
from Press Reference Book for
Gemini Spacecraft Number 11

REVISION 30 AUGUST 1966



Übersicht

- Einführung
- Kurzer Rückblick
- Apollo Programm der NASA
- Ablauf einer Mondmission
- Kommunikationssysteme
- Apollo Guidance Computer (AGC)
 - Technik und Funktionen
 - Demonstration (optional)
- Fragen und Diskussion
- Referenzen und Quellen

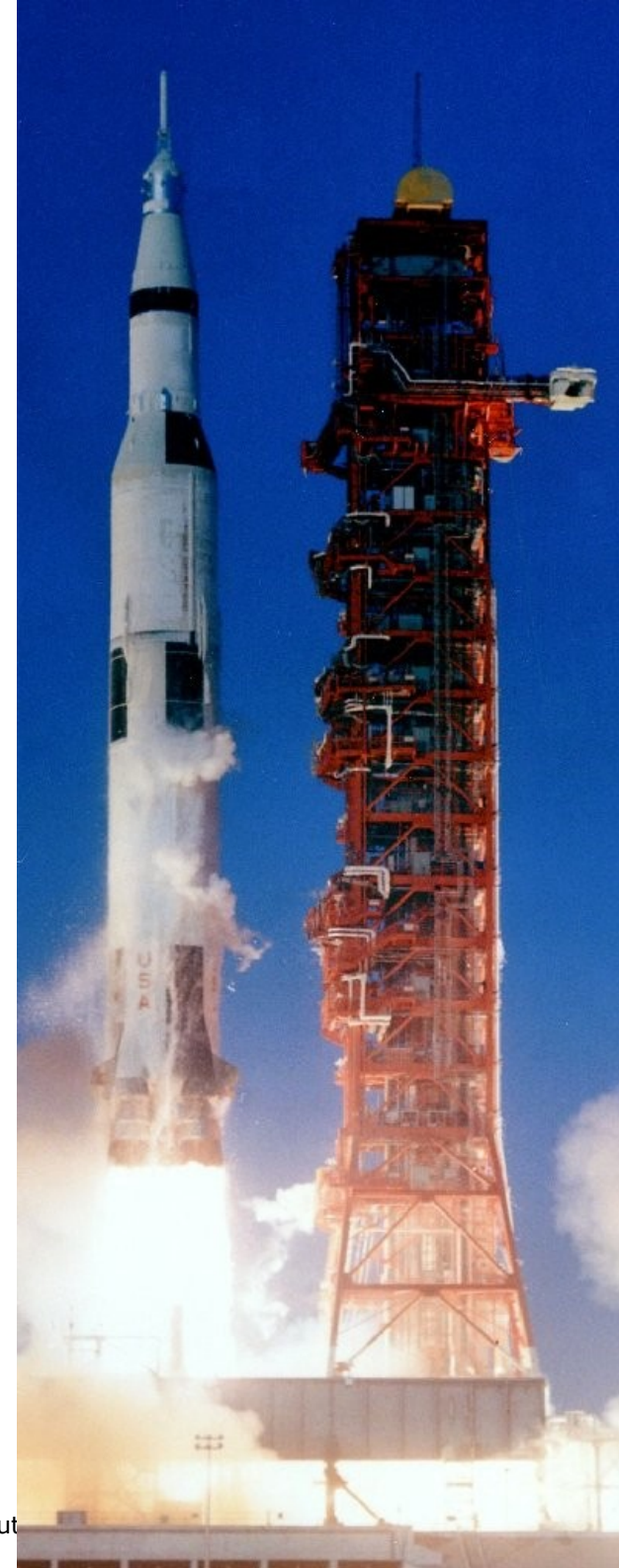


Apollo Programm der NASA

- Der eigentliche NASA-Plan sah sieben Missionen bis zur ersten bemannten Mondlandung vor. Dies waren die Missionen A bis G. Wir fokussieren uns auf:
 - *Mission C: Bemannter Test des Apollo-Raumschiffs durchgeführt im Oktober 1968 mit Apollo 7 im Erdorbit.*
 - *Mission C': Die mit Apollo 8 durchgeführte erste Mondumkreisung, um Weihnachten 1968, war von der NASA eigentlich nicht vorgesehen und zwischen die Missionen C und D eingeschoben.*
- Zusätzlich wurden die Missionen H, I und J geplant.
- Das Apollo-Programm kostete 25 Milliarden Dollar und beschäftigte bis zu 400'000 Menschen.

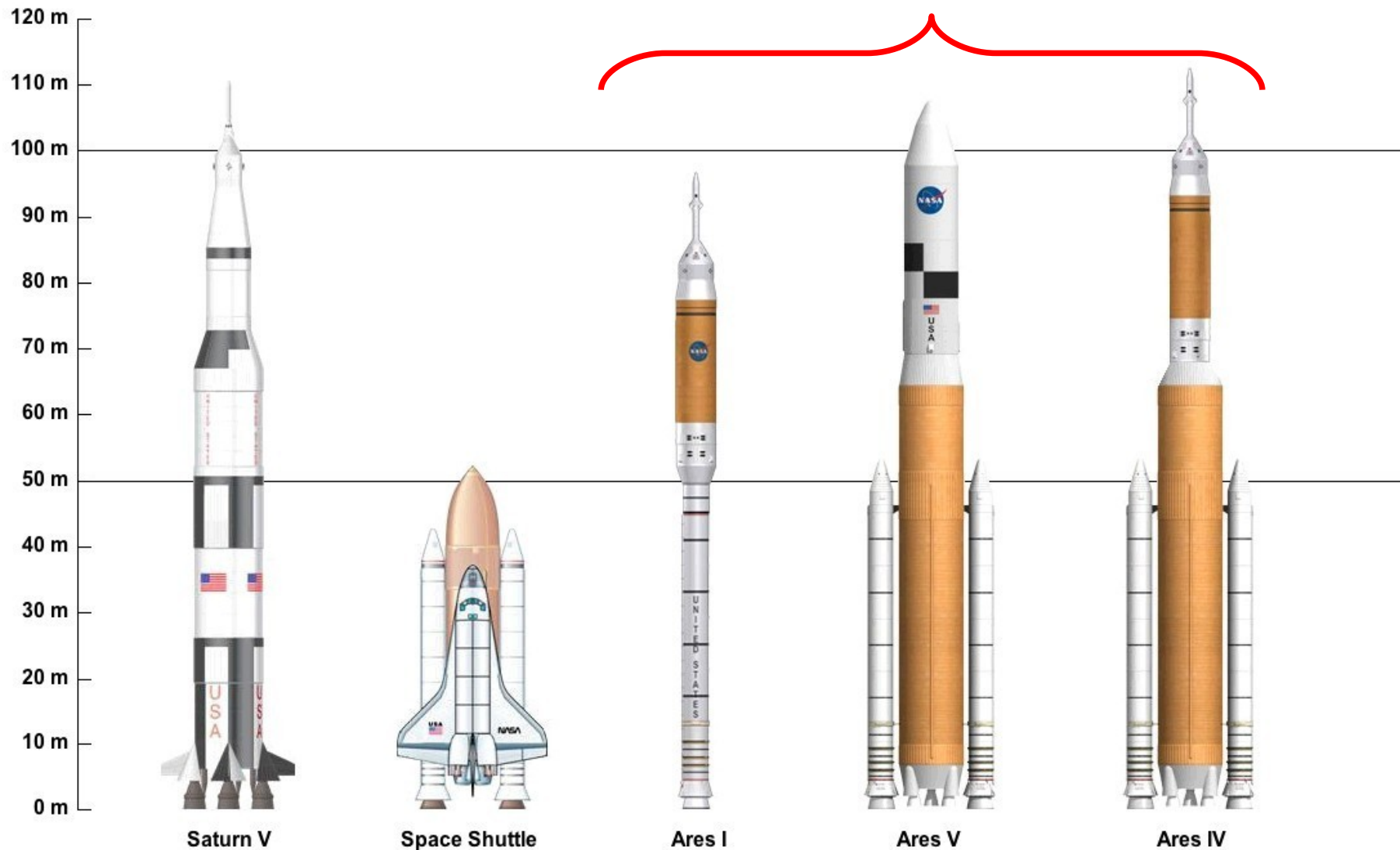
Saturn V Rakete

- Die Saturn V war die eigentliche Mondflugrakete
- Die Saturn V konnte anfangs bis zu 120 Tonnen Nutzlast in den Erd-Orbit transportieren und bis zu 45 Tonnen Nutzlast auf Fluchtgeschwindigkeit beschleunigen
 - Höhe 110.6 m
 - Durchmesser 10.06 m/6,6 m
 - Max. Nutzlast 133 t
 - Startgewicht 2'934,8 t
 - Startschub 3'424 t



Grössenvergleich

Mit dem Constellation-Programm der NASA sollen 2019 Menschen zum Mond fliegen und schliesslich im Jahr 2037 auch zum Mars



Apollo 7 Mission (1/2)

- Apollo 7 war der erste bemannte Raumflug im Rahmen des Apollo-Programms
- Start 11. Oktober 1968, 15:02:45 UTC
- Landung 22. Oktober 1968, 11:11:48 UTC
- Verschiedene Ziele wurden für diesen Flug formuliert:
 - Beweis der Leistungsfähigkeit von Raumschiff und Besatzung
 - Beweis der Leistungsfähigkeit von Besatzung, Raumschiff und Betriebsanlagen während eines bemannten Raumfluges
 - Beweis der Rendezvous-Fähigkeit des Raumschiffs
 - ...

Apollo 7 Mission (2/2)



MISSION OBJECTIVES

Most of the critical tests of spacecraft systems necessary for "wringing out" a new generation of spacecraft take place early in the Apollo 7 flight. The mission has been designed to gather much of the vital data early, in case of premature termination.

Onboard and telemetered data on spacecraft systems performance will pinpoint problems to permit fixes before the next manned Apollo flies.

In addition to checking performance of the crew, prime and backup spacecraft systems and mission support facilities in Earth orbit, the objectives of Apollo 7 are:

- * Collect data on forward command module heat-shield in entry conditions

- * Measure change of environmental control system radiator coating in space environment

- * Evaluate quality of air-to-ground voice communications

Apollo 8 Mission (1/2)

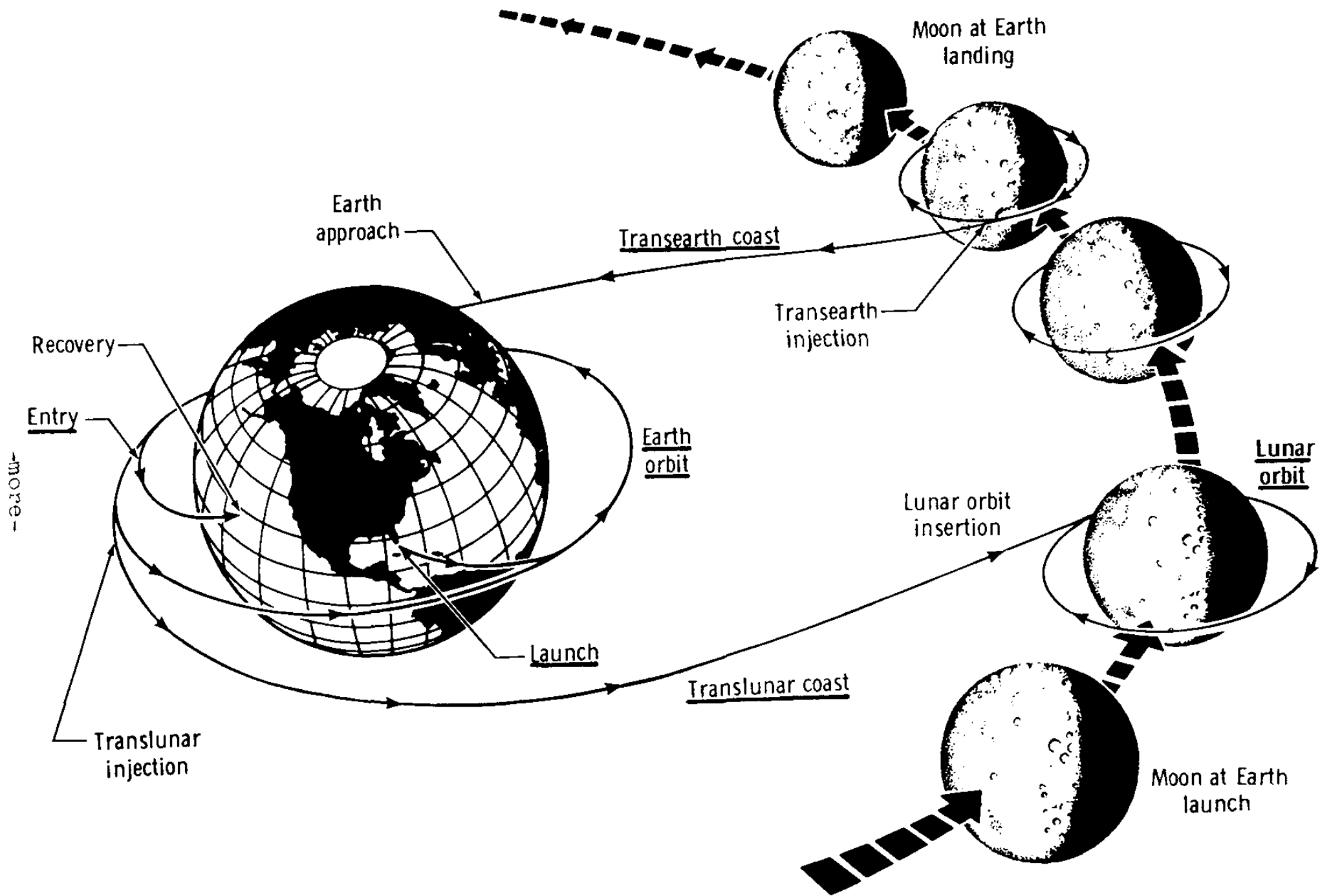
- Apollo 8 war der zweite bemannte Raumflug des amerikanischen Apollo-Programms und der erste bemannte Flug um den Mond und damit zu einem anderen Himmelskörper
- Start 21. Dezember 1968, 12:51:00 UTC
- Landung 27. Dezember 1968, 15:51:42 UTC
- Grosse Bekanntheit erlangte die Fernsehübertragung aus dem Mondorbit, während der die drei Astronauten die ersten Zeilen der Schöpfungsgeschichte als Weihnachtsbotschaft verlasen.

Apollo 8 Mission (2/2)



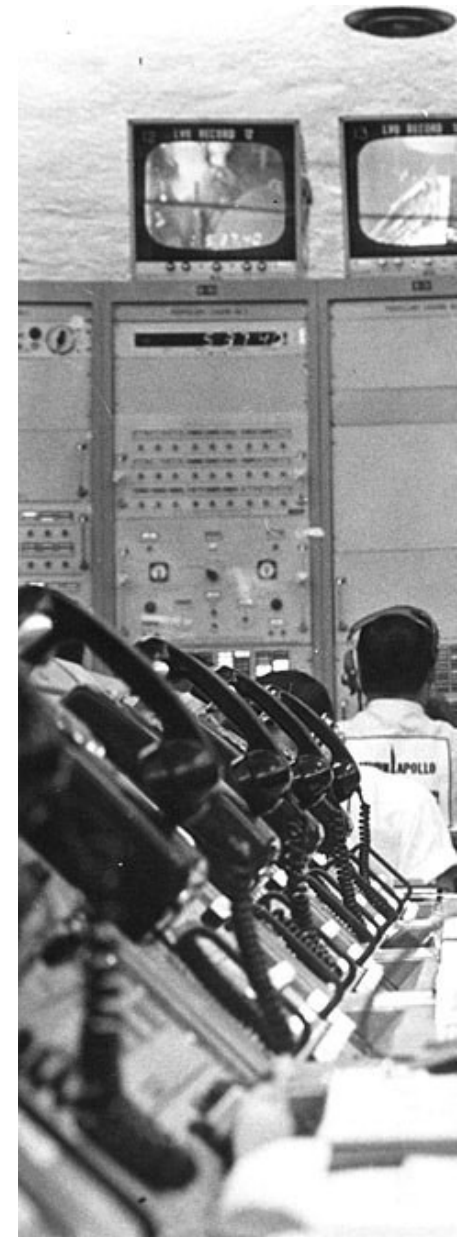
As Apollo 8 leaves Earth orbit and starts translunar coast, the Manned Space Flight Network for the first time will be called upon to track spacecraft position and to relay two-way communications, television and telemetry in a manned spaceflight to lunar distance.

Except for about 45 minutes of every two-hour lunar orbit, Apollo 8 will be "in view" of at least one of three 85-foot deep-space tracking antennas at Canberra, Australia, Madrid, Spain, and Goldstone, California.

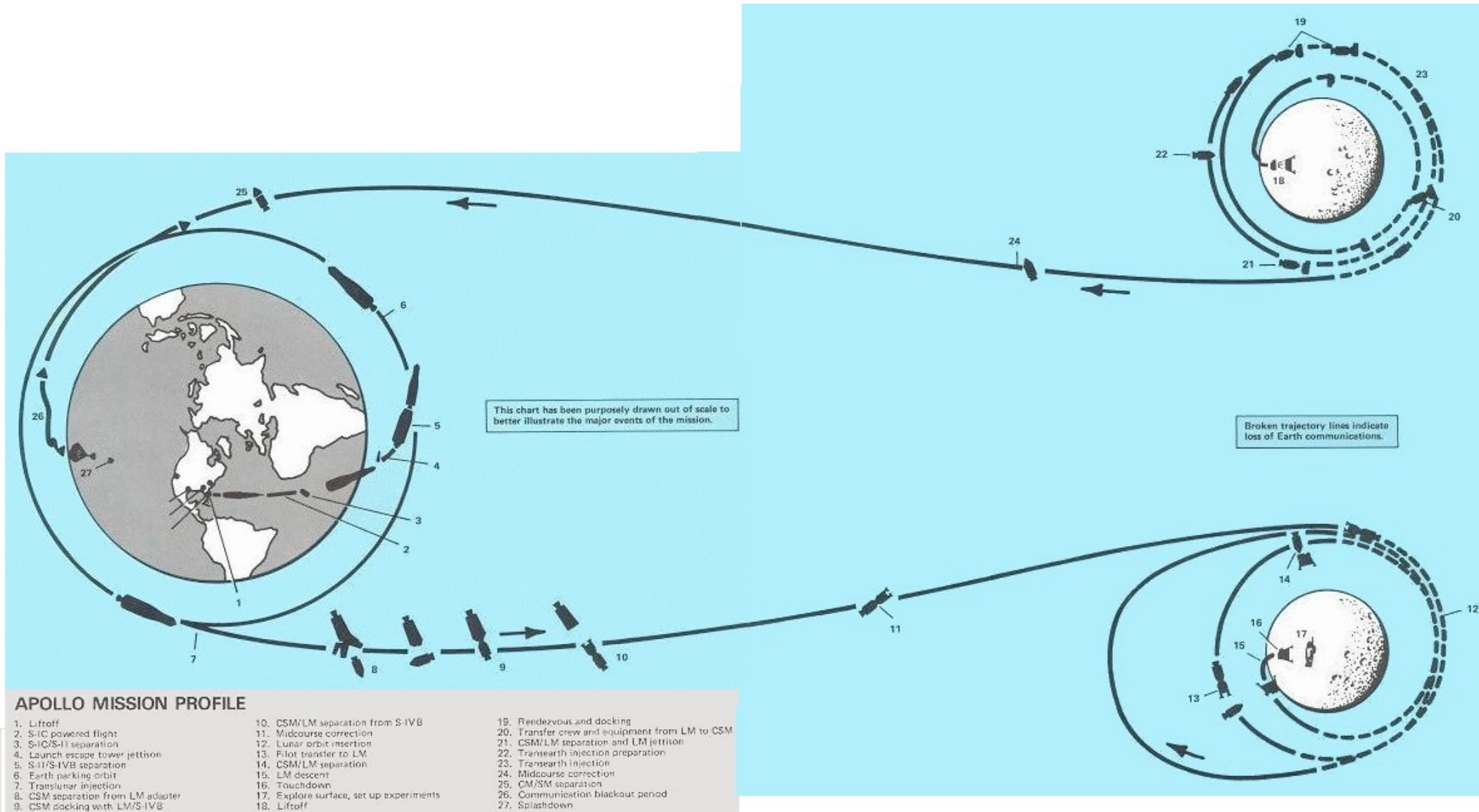


Übersicht

- Einführung
- Kurzer Rückblick
- Apollo Programm der NASA
- Ablauf einer Mondmission
- Kommunikationssysteme
- Apollo Guidance Computer (AGC)
 - Technik und Funktionen
 - Demonstration (optional)
- Fragen und Diskussion
- Referenzen und Quellen



Ablauf einer Mondmission



“Apollo 8, Houston.”

– Michael Collins, CapCom

“Go ahead, Houston.”

– Frank Borman, CDR

“Apollo 8. You are Go for TLI. Over.”

– Michael Collins

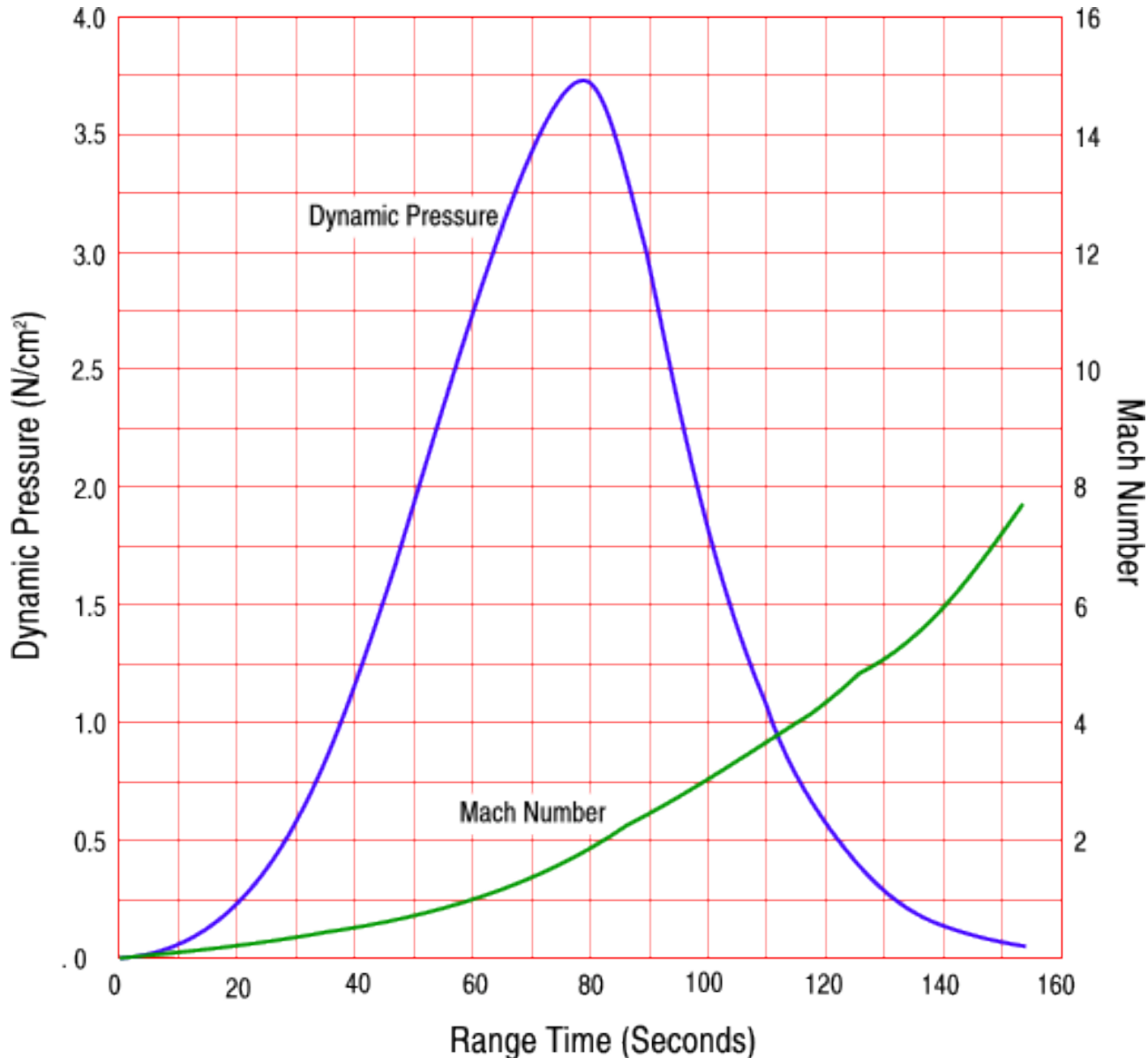
“Roger. We understand; we are Go for TLI.”

– Frank Borman

Apollo's initial ellipse becomes a flight path to the Moon.

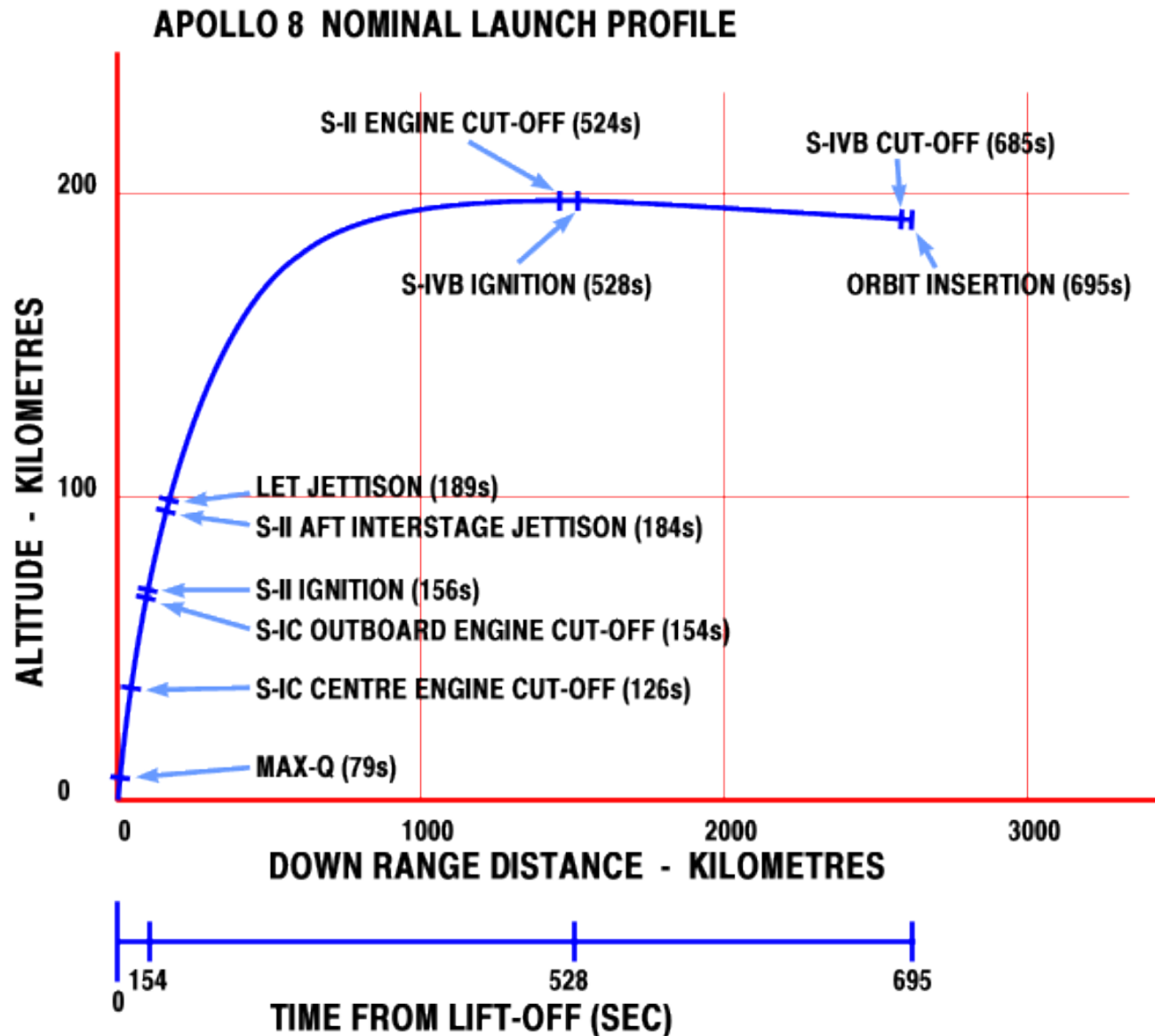


Max. dynamischer Druck – Max Q



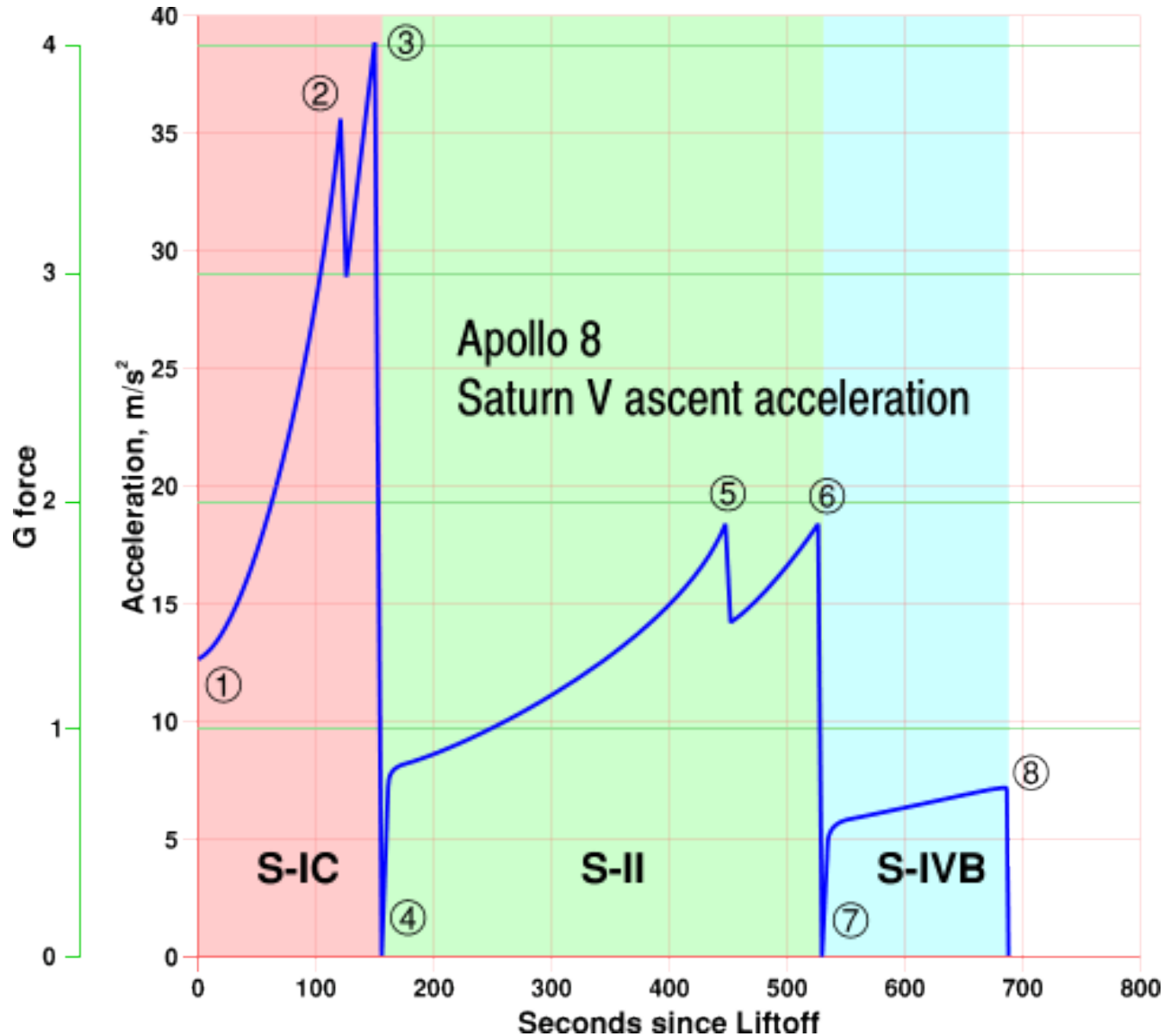
- Apollo 8 erreicht Mach 1 auf 7.35 km Höhe
- Nach 78.9 s auf einer Höhe von 13.430 km maximale dynamische Belastung durch Atmosphäre

Aufstieg in Earth Parking Orbit



- Dauer Aufstiegsphase rund 695 s, etwa 11.5 min
- Höhe 190 km
- Umlaufzeit auf Bahn 88 min

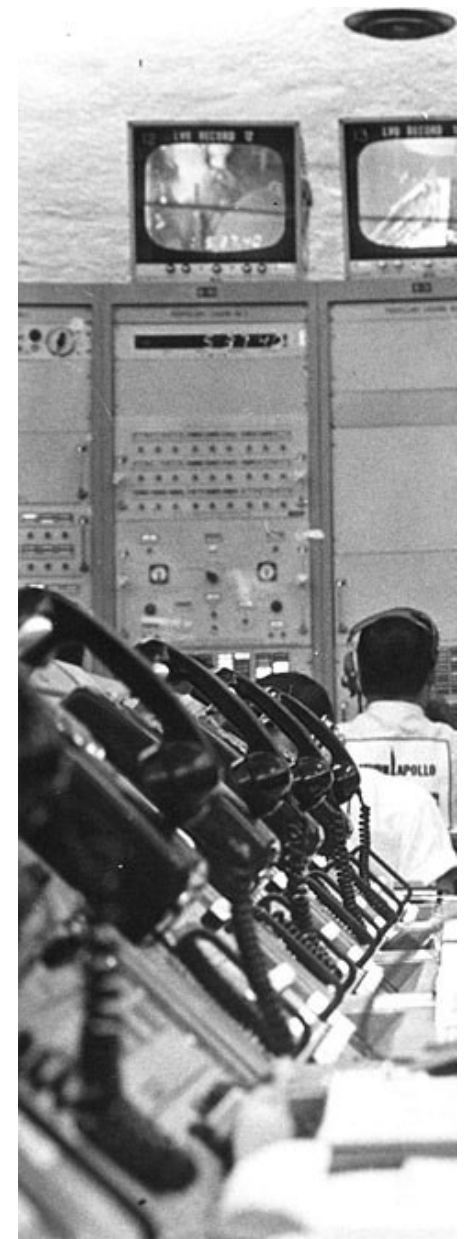
Beschleunigung und Trägheitskraft



- Beschleunigungsvorgänge spielen in allen bewegten Systemen eine wichtige Rolle und sind aufgrund der in diesem Zusammenhang auftretenden Trägheitskräfte für die darin beförderten Menschen und Sachen deutlich spürbar

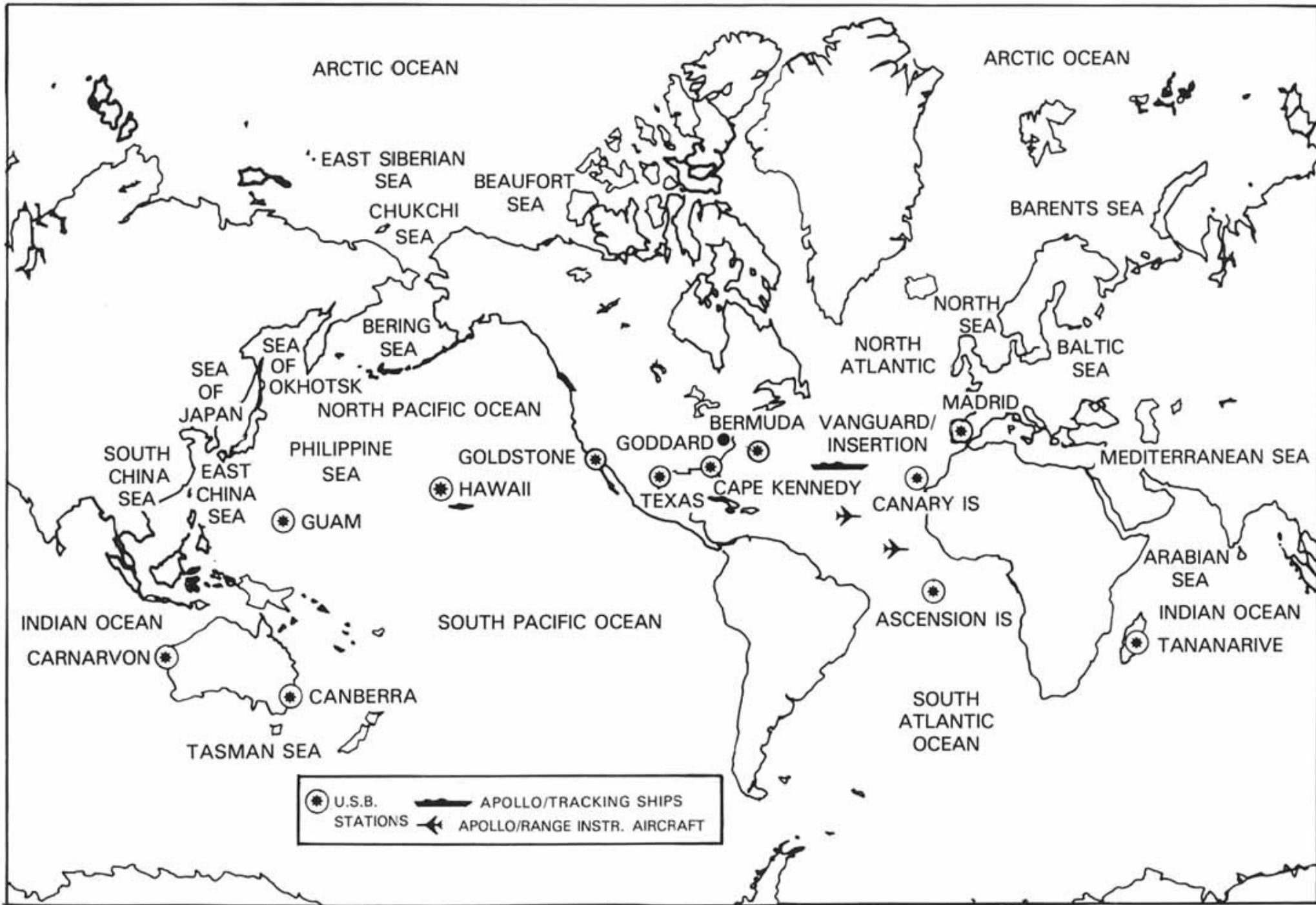
Übersicht

- Einführung
- Kurzer Rückblick
- Apollo Programm der NASA
- Ablauf einer Mondmission
- Kommunikationssysteme
- Apollo Guidance Computer (AGC)
 - Technik und Funktionen
 - Demonstration (optional)
- Fragen und Diskussion
- Referenzen und Quellen



Manned Space Flight Network (MSFN)

- Das Manned Space Flight Network (MSFN) setzte sich aus Tracking-Stationen zusammen, welche die amerikanischen Weltraumprojekte Mercury, Gemini, Apollo und Skylab unterstützte
- Das Tracking von Raumfahrzeugen in Low-Earth-Orbits unterscheidet sich stark vom Tracking von Objekten bei Deep Space Missionen
 - Nur kurz sichtbar
 - Raumfahrzeuge bewegen sich schnell
 - Deshalb sind viele Tracking-Stationen notwendig, welche über die ganze Welt verteilt sind



Unified S-Band Sites

*CODE

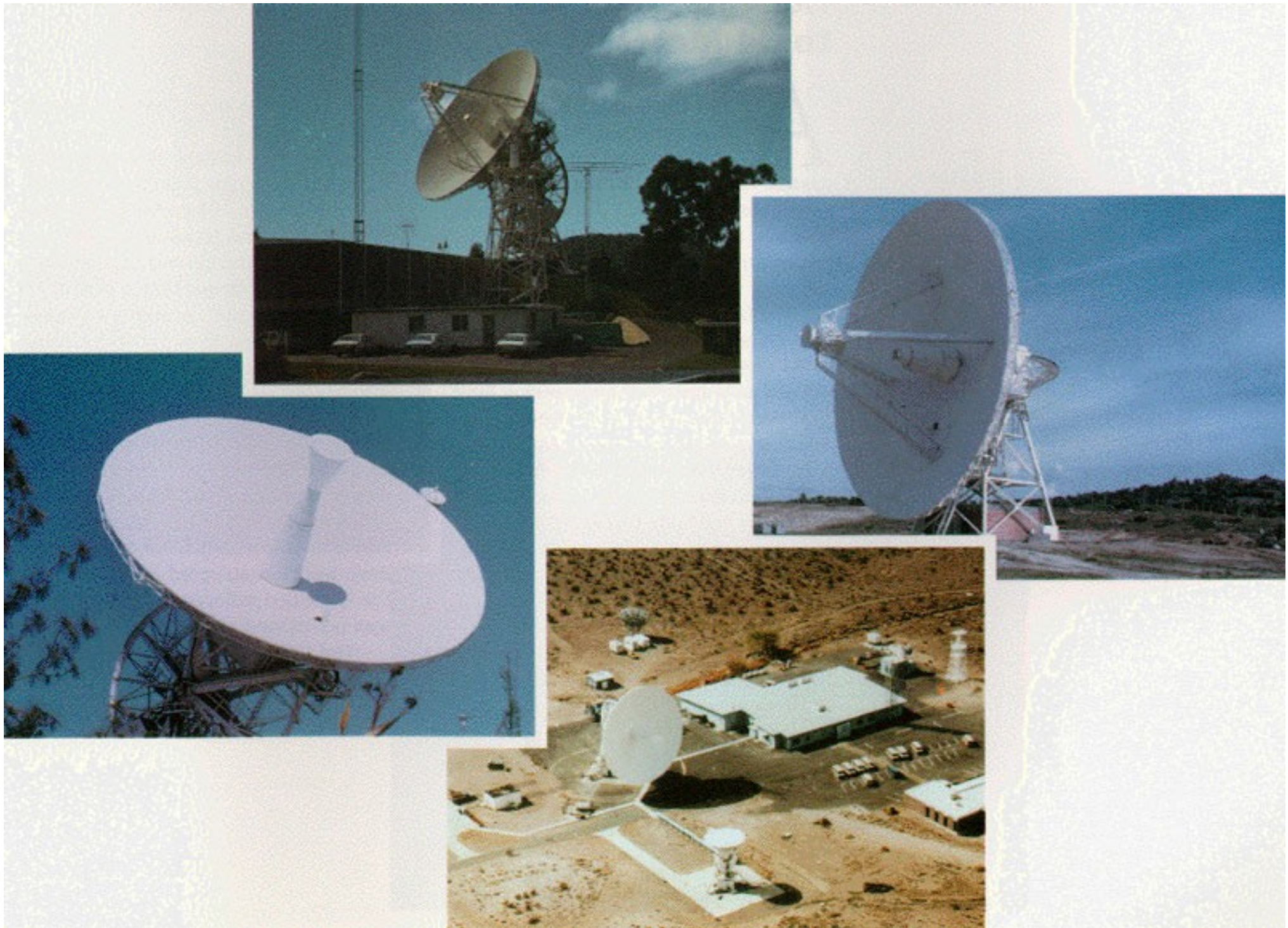
D - Dual Stations
 S - 30 Foot Ground Antenna
 L - 85 Foot Ground Antenna

†Canary Islands, Antigua, and Grand Bahama Islands are proposed sites only.

SITE	CODE	LAUNCH	INSERTION	NEAR EARTH	INJECTION	LUNAR	RE-ENTRY
CARNARVON	D,S			X	X		
BERMUDA	S	X	X	X			
TEXAS	S			X			
CAPE KENNEDY	D,S	X	X	X	X		
GUAYMAS	S			X	X		
HAWAII	D,S			X	X		
GUAM	D,S			X	X		
ASCENSION	D,S			X	X		
CANARY ISLANDS †	S			X	X		
ANTIGUA †	S		X	X			
GRAND BAHAMA I. †	S	X	X	X			
GOLDSTONE	D,L					X	
CANBERRA	D,L					X	
MADRID	D,L					X	
SHIP NO. 1	D,S		X		X		
SHIP NO. 2	D,S				X		
SHIP NO. 3	S				X		
SHIP NO. 4							X
SHIP NO. 5							X
AIRCRAFT (8)					X		X

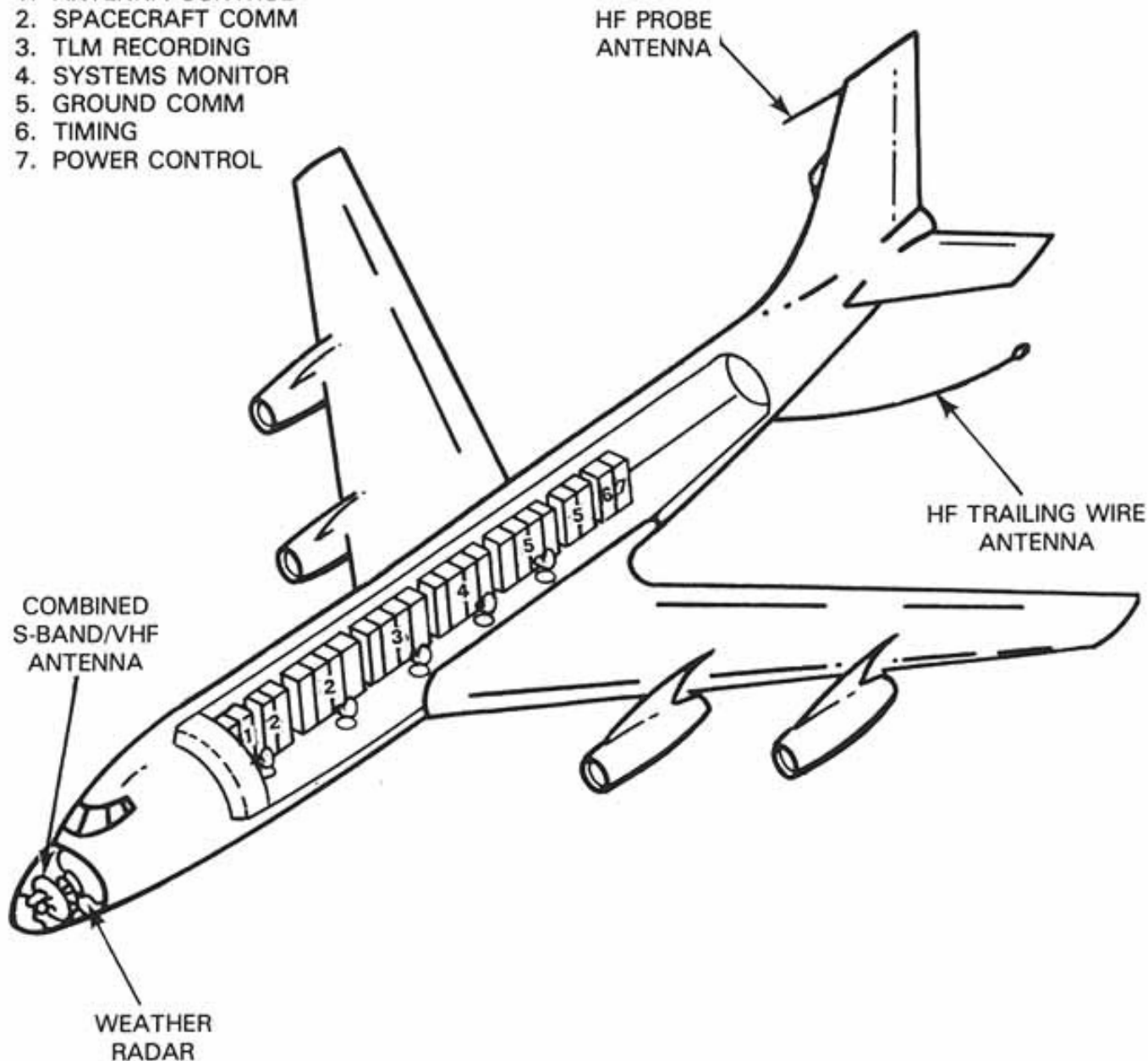
NASA's Deep Space Network (DSN)

- Das DSN leistete auch einen wichtigen Beitrag für Tracking und Kommunikation mit Raumschiffen der verschiedenen Apollo Missionen
- Die drei grossen Stationen des DSN sind:
 - Goldstone Deep Space Communications Complex (GDSCC), Mojave-Wüste, Kalifornien, USA
 - Madrid Deep Space Communications Complex (MDSCC), Robledo bei Madrid, Spanien
 - Canberra Deep Space Communication Complex (CDSCC), Tidbinbilla bei Canberra, Australien



Apollo Range Instrumentation Aircraft (ARIA)

1. ANTENNA CONTROL
2. SPACECRAFT COMM
3. TLM RECORDING
4. SYSTEMS MONITOR
5. GROUND COMM
6. TIMING
7. POWER CONTROL



- S-band telemetry and voice reception, S-band voice transmission, air-to-ground voice relay on VHF, and telemetry recording

Apollo Tracking Ship



- (1) Log Periodic Antenna, (2) Medium Gain UHF Telemetry Antenna, (3) Unified S-Band Antenna, (4) Star Tracker Dome, (5) C-Band Tracker Antenna, (6) SATCOM Terminal Antenna, (7) HF Whip Antenna, (8) Command Control Antenna

Roger Beep



- Steuerung der Sendertastung über das NASA Communication Network (NASCOM) von den Arbeitsplätzen der Controller im Mission Control Center in Houston
- Jeweils ein Ton zum Ein- und Ausschalten des Senders
 - Remote PTT-Taste



Unified S-Band System (USB-System)

- Beim Mercury- und Gemini-Projekt wurden Sprache, Daten und Telemetrie über ein UHF- und VHF-System übertragen
- Für das Apollo-Projekt wurde ein komplett neues Übertragungssystem konzipiert
- Alle Informationen vom und zum Raumschiff wurden nur über das Unified-S-Band System übertragen

X-506-66-156

NASA TM X-55492

APOLLO UNIFIED S-BAND SYSTEM


APRIL 1966

N66 28029

ACCESSION NUMBER: 29
PAGES: 1
TAX-55492
SERIAL: 07

GPO PRICE \$ _____
CFSTI PRICE(S) \$ _____
Hard copy (HC) 2.00
Microfiche (MF) 150

853 Jul 65

 GODDARD SPACE FLIGHT CENTER
GREENBELT, MARYLAND

Charakteristik des Unified S-Band Systems

Ground to Spacecraft

- Sprache
- Digitale Steuerbefehle
- Entfernungsmessung

Spacecraft to Ground

- Sprache
- Telemetrie Daten
- TV-Bild (SSTV)
- biomedizinische Daten
- Entfernungsmessung
- *Sprache Notbetrieb*
- *Morse-Taste Notbetrieb*

UNIFIED S-BAND TELECOMMUNICATIONS TECHNIQUES FOR APOLLO

VOLUME 1 — FUNCTIONAL DESCRIPTION

by John H. Painter and George Hondros

Manned Spacecraft Center

Houston, Texas

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION • WASHINGTON, D. C. • MARCH 1965

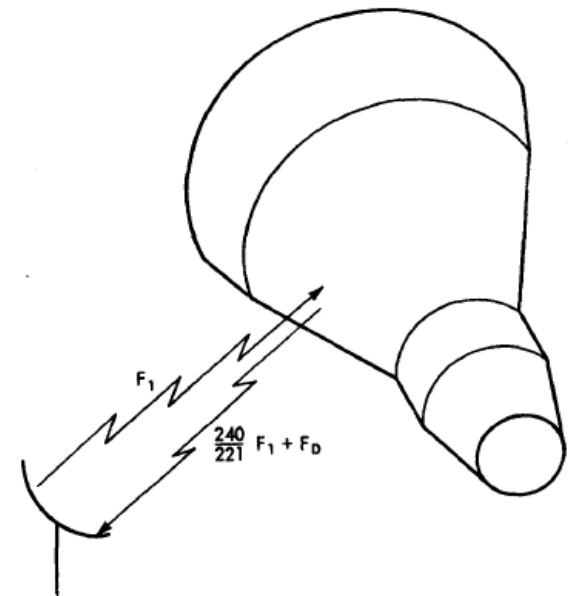
Grundprinzip des USB-Systems

- Verwendung jeweils einer Trägerfrequenz in jeder Richtung für Kommunikation und Entfernungsmessung
 - Uplink-Frequenz CSM 2106.4 MHz
 - Uplink-Frequenz LM 2101.8 MHz
 - Downlink-Frequenz CSM 2287.5 MHz
 - Downlink-Frequenz LM 2282.5 MHz
- **Ground to Spacecraft:** Sprache und Uplink-Daten werden auf einen Subcarrier aufmoduliert und mit einem zufälligen Bitmuster für die Entfernungsmessung kombiniert. Dieses Signal wird für die Phasenmodulation des Uplink-Hautträgers verwendet.
- **Spacecraft to Ground:** Sprache und Downlink-Daten werden auf Subcarrier aufmoduliert, mit dem Videosignal und mit dem Bitmuster für die Entfernungsmessung kombiniert. Dieses Signal wird für die Phasenmodulation des Downlink-Hautträgers verwendet.

Hauptkomponente des USB-Systems

The heart of the unified Apollo system is the pseudo-random code ranging subsystem developed by Jet Propulsion Laboratory. This system uses a ground-based transmitting and receiving station working in conjunction with a spacecraft transponder. A pseudo-random code is phase modulated on an S-band carrier at the ground and transmitted to the spacecraft. The code modulation is recovered in the transponder and retransmitted to the ground station on a different S-band carrier which is phase coherently generated from the up carrier. At the ground station the time difference between the transmitted and received code gives a measure of the spacecraft range.

- Wesentlicher Teil ist das System zur Entfernungsmessung (Ranging Subsystem)
- Der empfangene Ranging Code wird im CM empfangen und auf einer höheren S-Band-Trägerfrequenz mit der gleichen Phasenlage wieder zurückgesendet
- Auswertung über Korrelationsfunktion



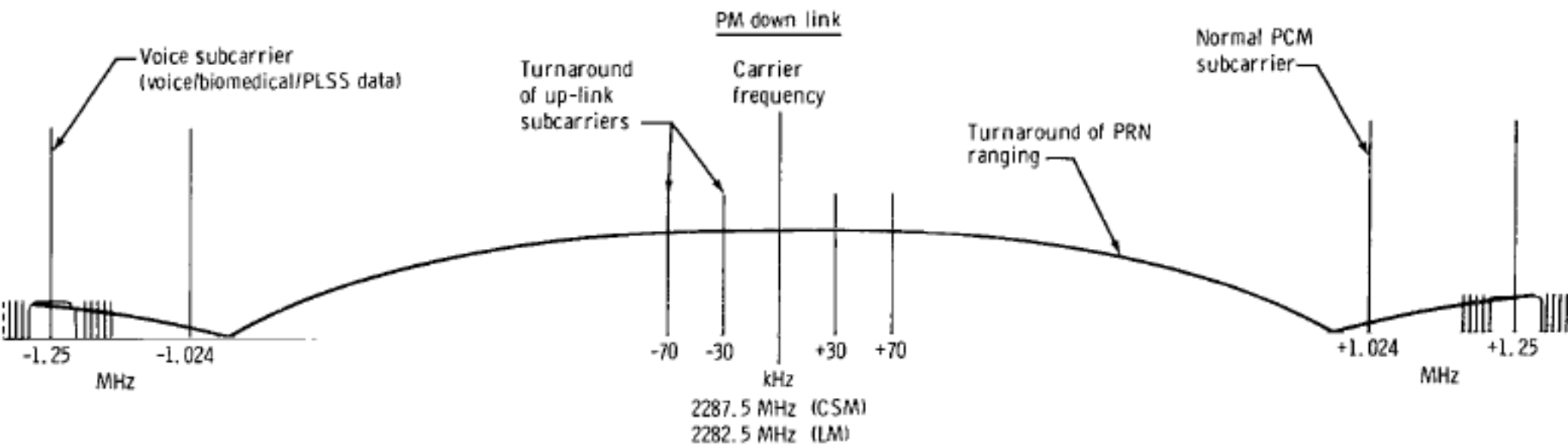
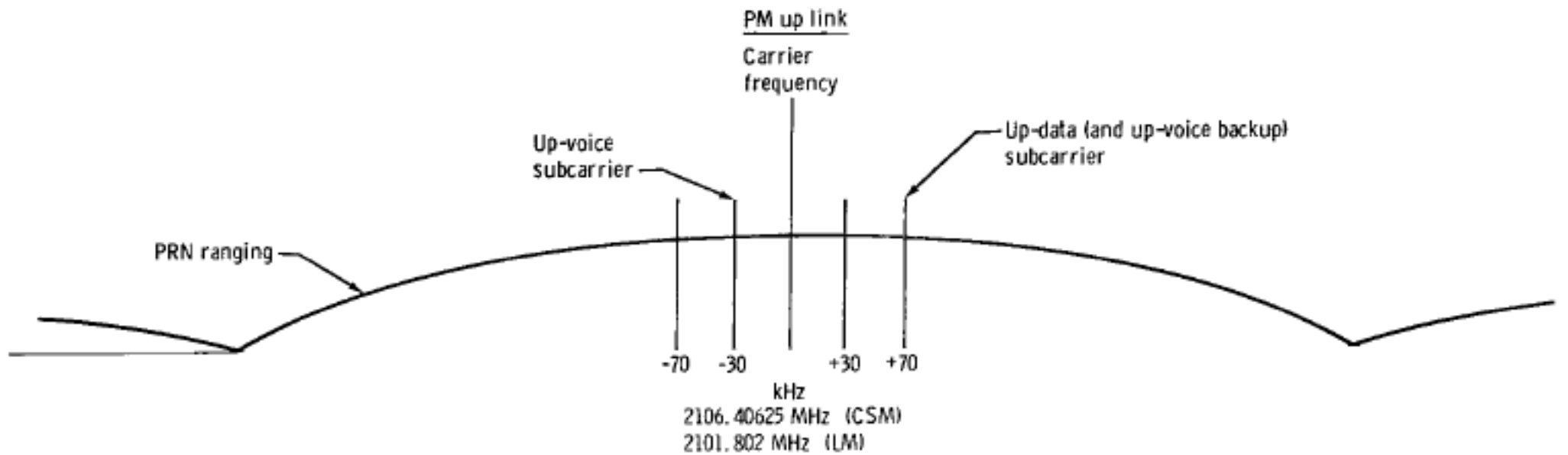
USB-System Charakteristik

SPACECRAFT USB CHARACTERISTICS

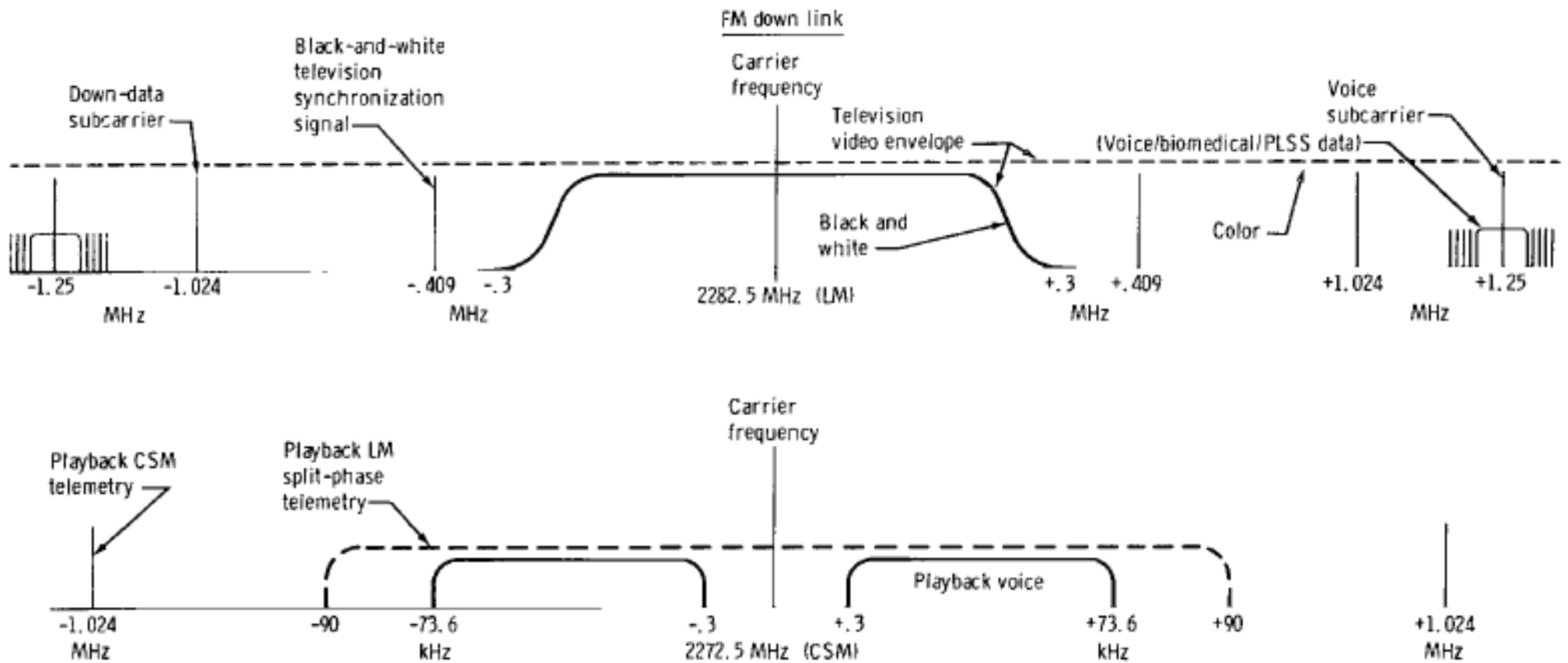
1. POWER AMPLIFIER - TWT
POWER OUTPUT - 20, 5 WATTS
2. ANTENNAS
OMNIDIRECTIONAL (NEAR EARTH THRU
TRANSPOSITION)
HIGH GAIN (28 db) (AFTER
TRANSPOSITION AND LUNAR)
3. CARRIER FREQUENCIES
2287.5 Mc - COMMAND MODULE
PM CARRIER
2272.5 Mc - COMMAND MODULE
FM CARRIER
2282.5 Mc - LEM OR SIV-B PM
CARRIER
2277.5 Mc - SIV-B FM TELEMETRY CARRIER
2282.5 Mc - CAN ALSO BE USED IN FM
MODE FROM LEM
NOTE: ALL PM SPACECRAFT CARRIERS
ARE $\frac{240}{221}$ x GROUND PM CARRIER
4. VOICE SUBCARRIER - 1.25 Mc
MODULATION - 300 TO 3000 cps VOICE +
7 CHANNELS OF BIOMEDICAL DATA
5. TELEMETRY SUBCARRIER - 1.024 Mc
BI-PHASE MODULATED AT
51.2 kbps - HIGH DATA RATE
1.6 kbps - LOW DATA RATE
6. FM TELEVISION
500 kc MODULATION
320 LINES
10 FRAMES/SEC
7. EMERGENCY KEY
512 kc SUBCARRIER MANUALLY KEYED AND
MODULATED DIRECTLY ON CARRIER

[Click to linked Document](#)

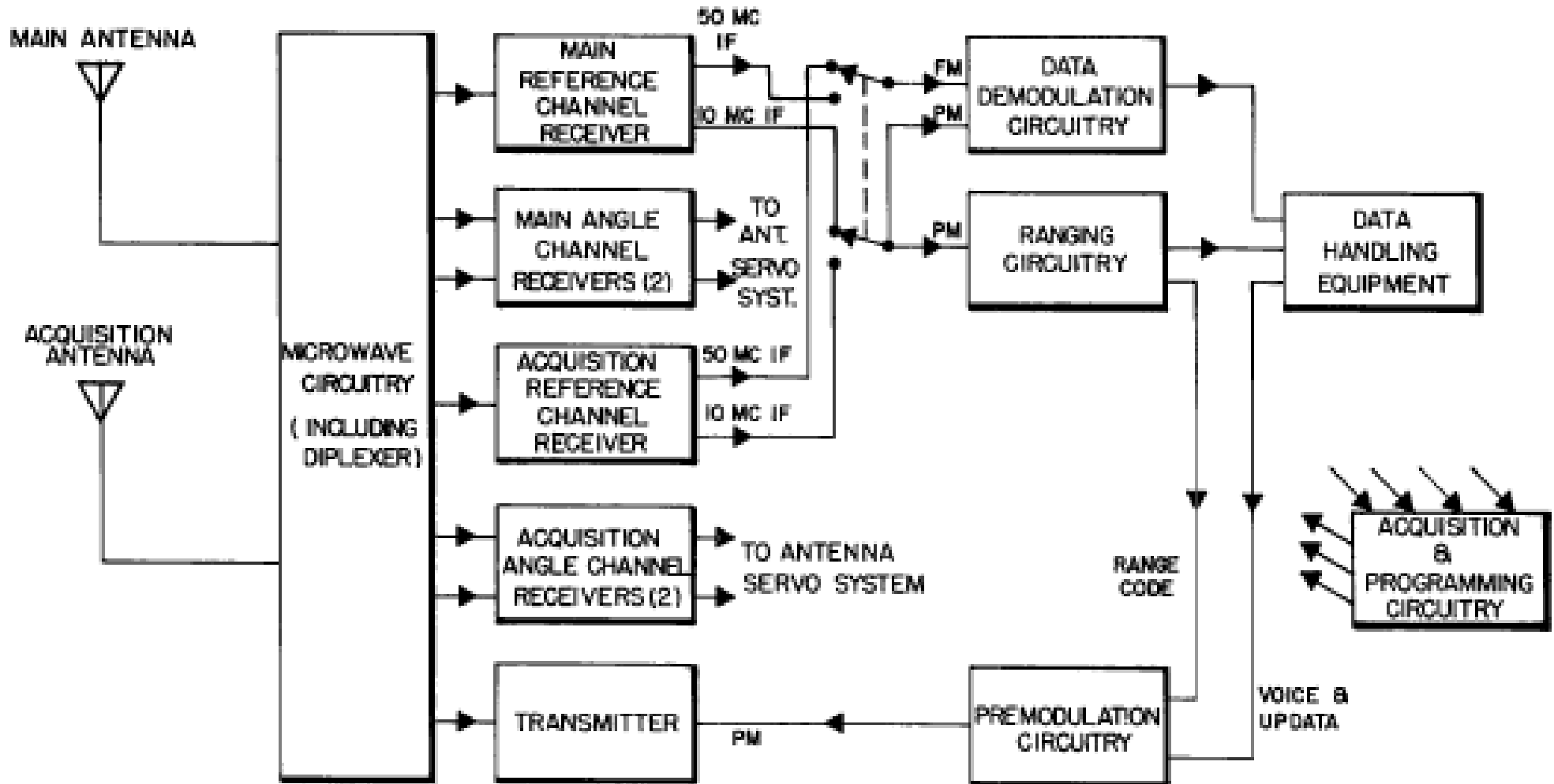
PM Down- und Uplink (Sicht CM)



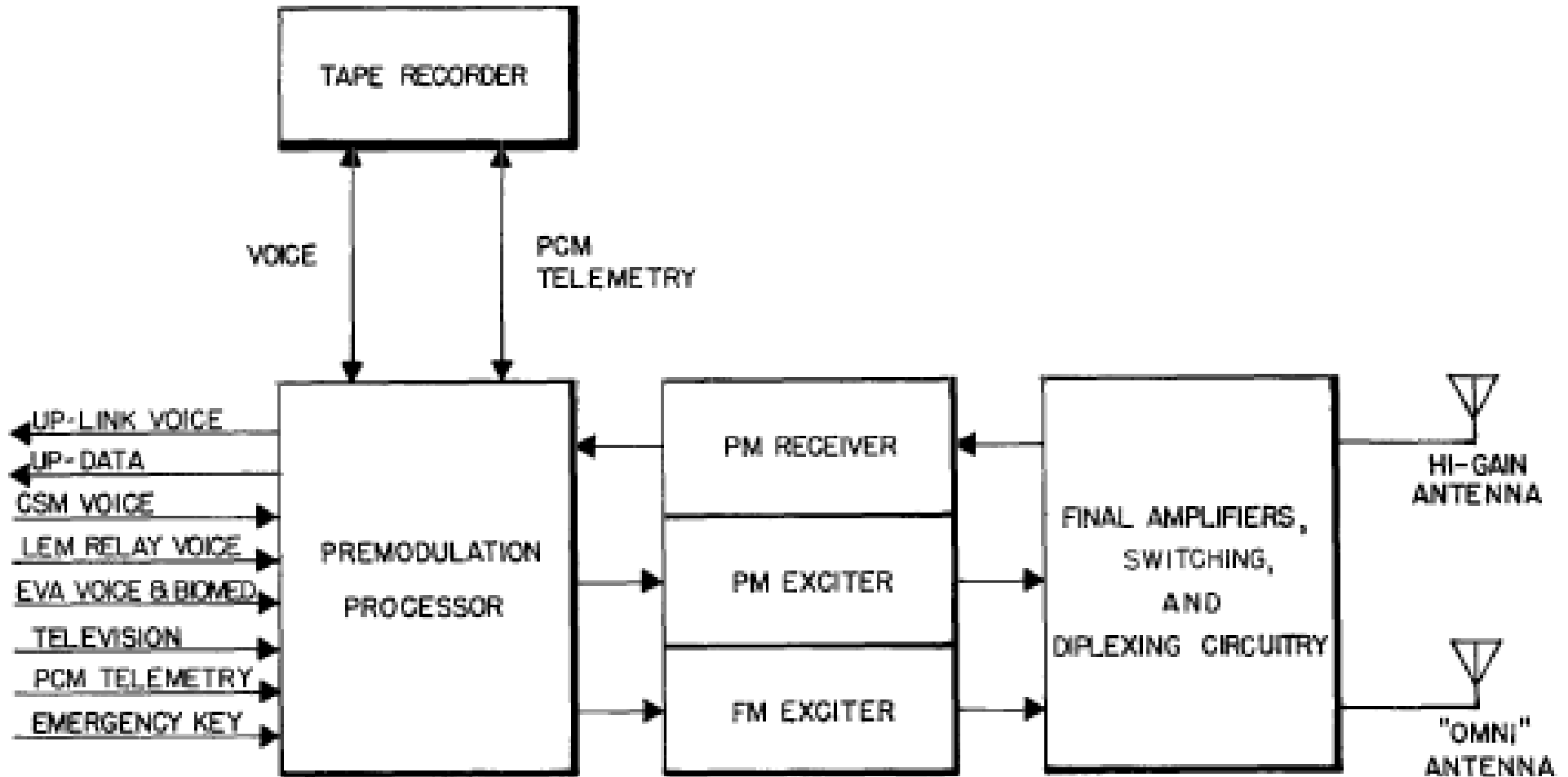
FM Down- und Uplink (Sicht CM)



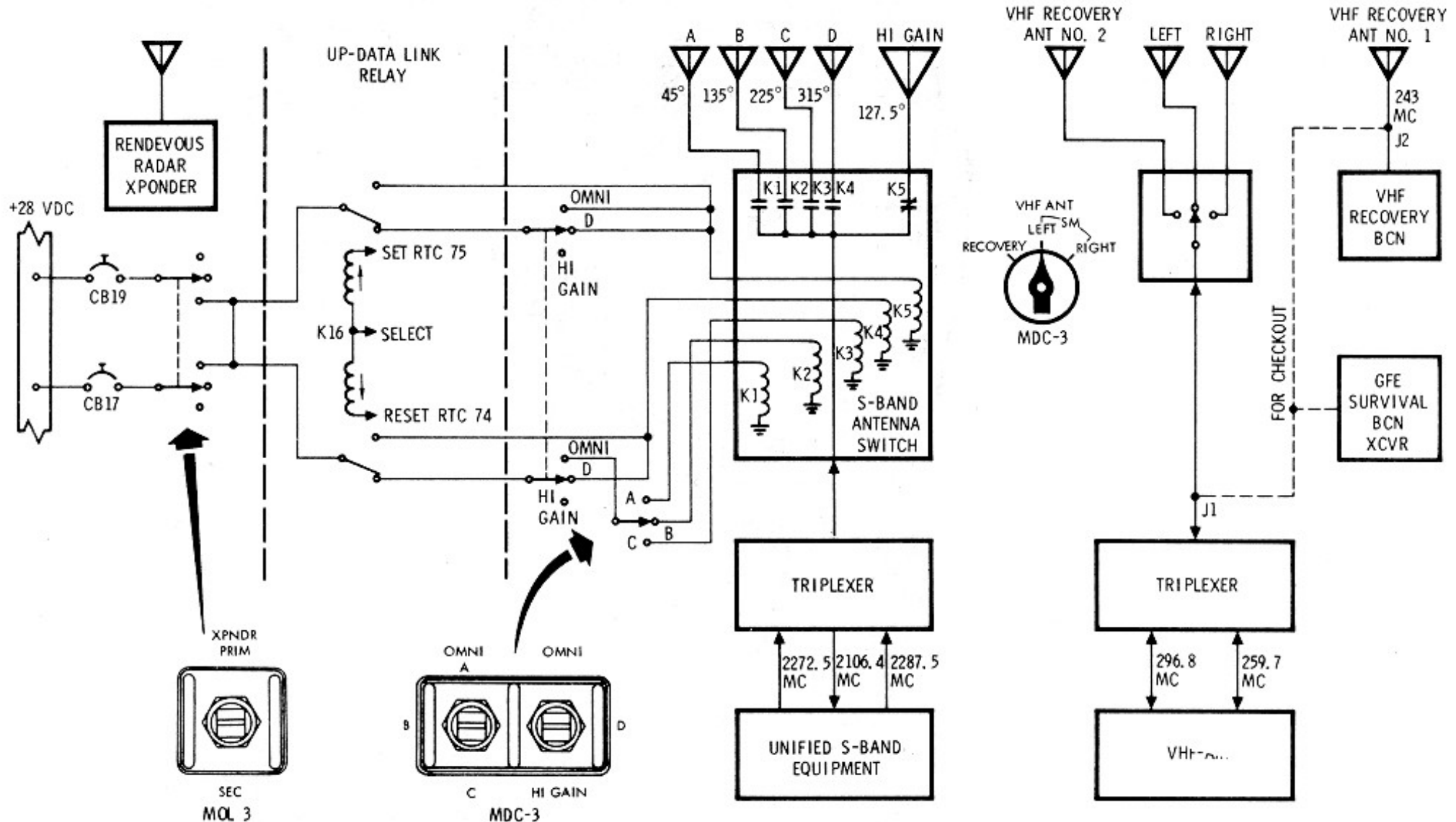
Ground Station USB-System Block Diagramm



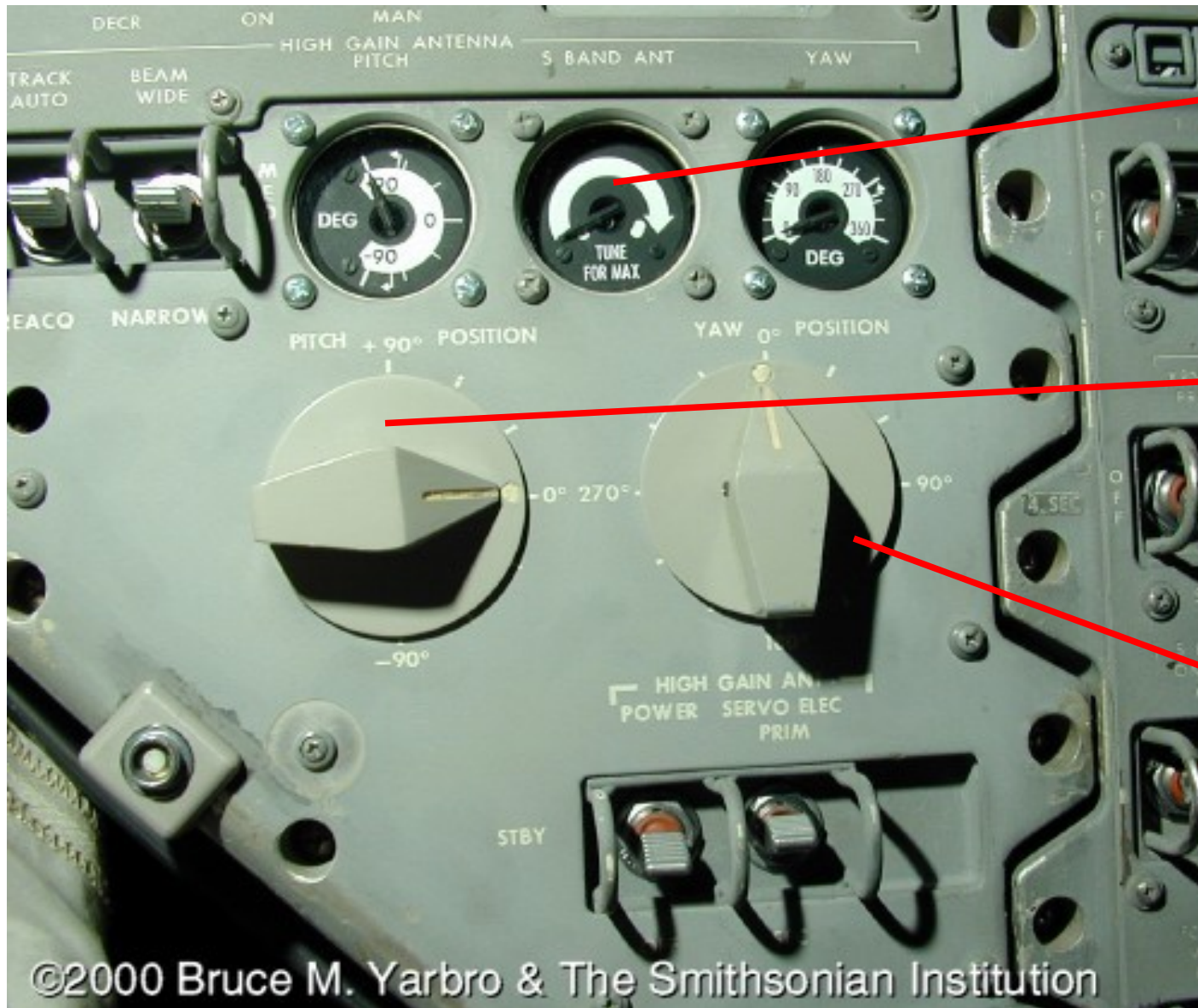
Command und Service Module USB-System



Antennenumschaltung im CM



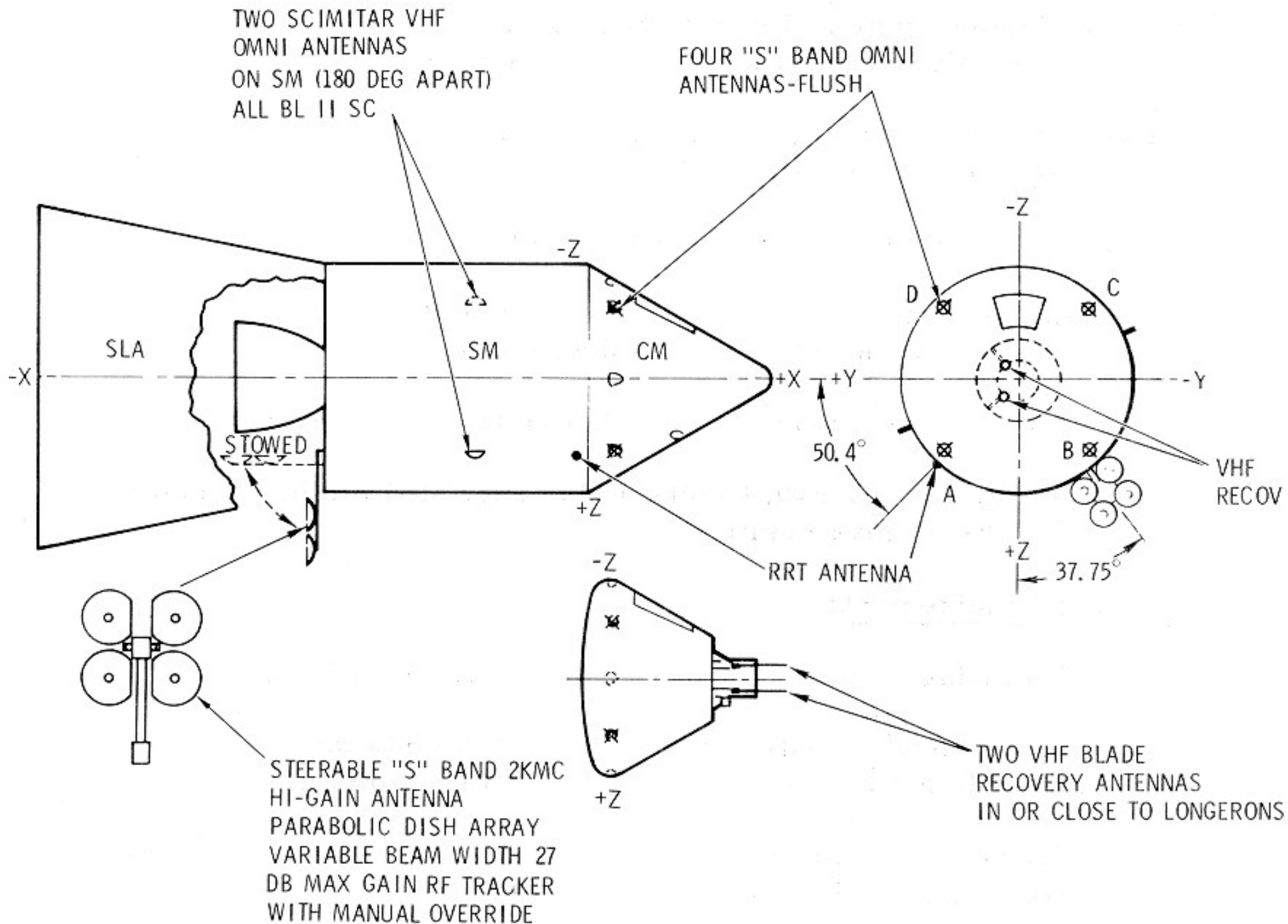
High Gain Antenna Control im CM



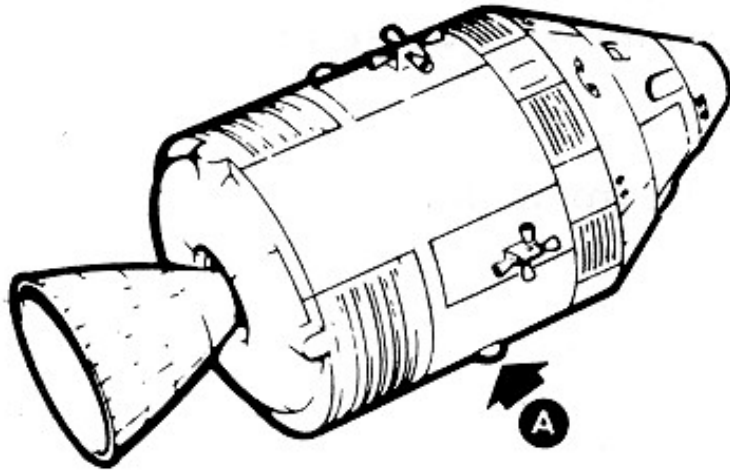
**Tuner
Anzeige**

**Nickachse
der Antenne**

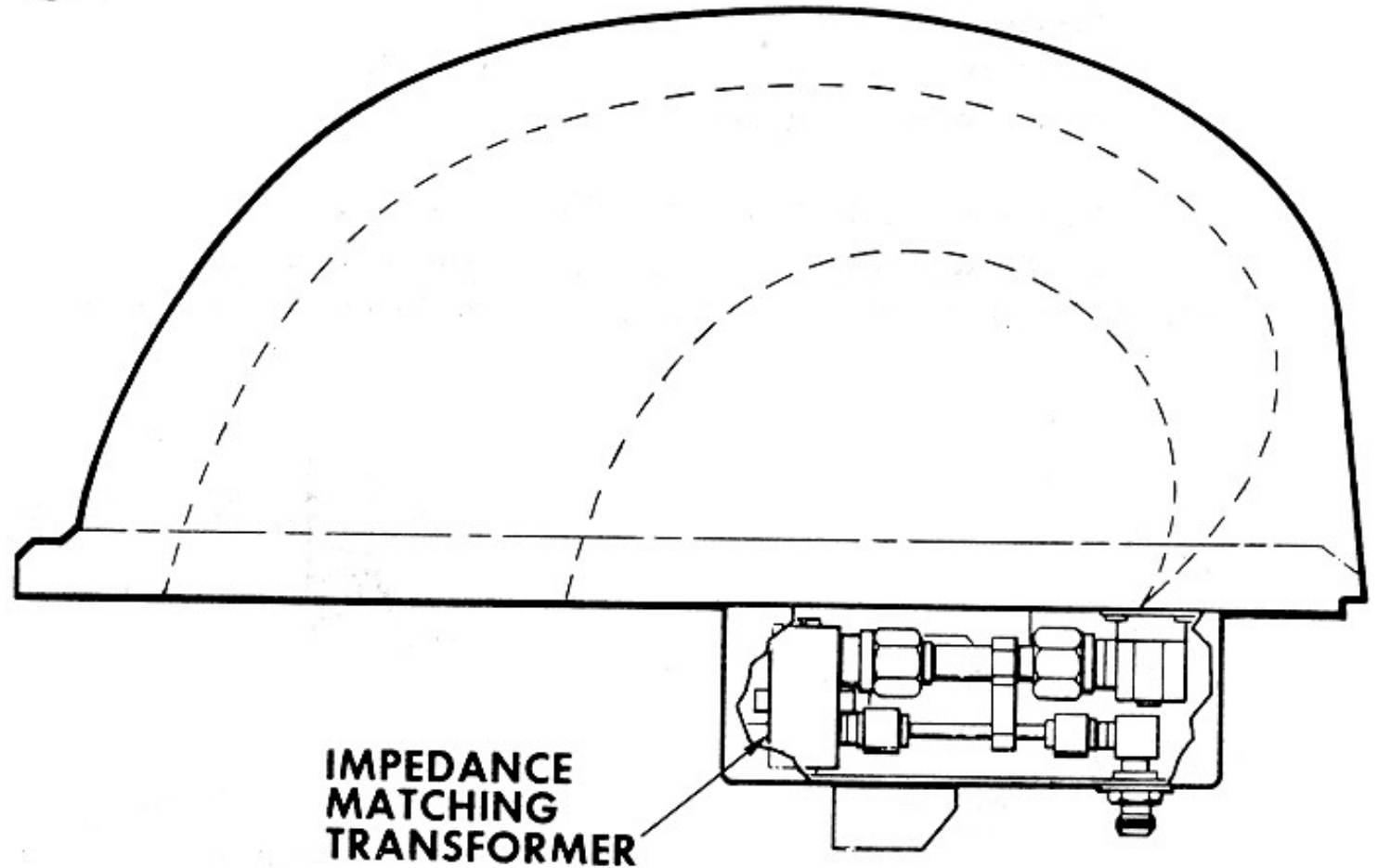
**Gierachse
der Antenne**



Antennen am CSM



DETAIL A



these beam widths are listed in table I. The antenna tracks by using electronic conical scan where the angle-tracking information is encoded as amplitude modulation (AM) on the phase-modulated signal received from earth. This error information is extracted within the USB equipment by a narrowband coherent amplitude detector and routed back to the antenna system, thereby providing angular displacement control.

TABLE I. - CSM HIGH-GAIN ANTENNA CHARACTERISTICS

Receive		Transmit	
3-dB beam width, deg	Gain, dB	3-dB beam width, deg	Gain, dB
40.0	3.1	40.0	8.0
4.5	22.5	11.3	18.0
4.5	23.0	4.4	25.7

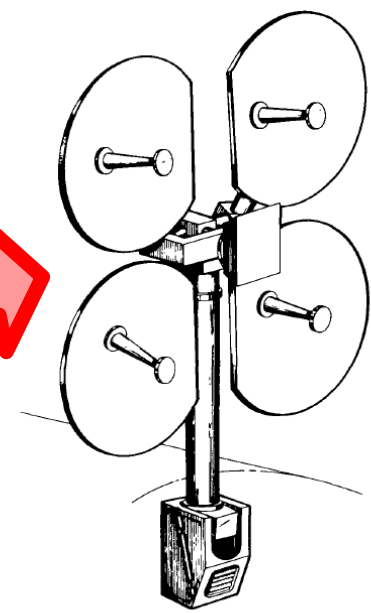
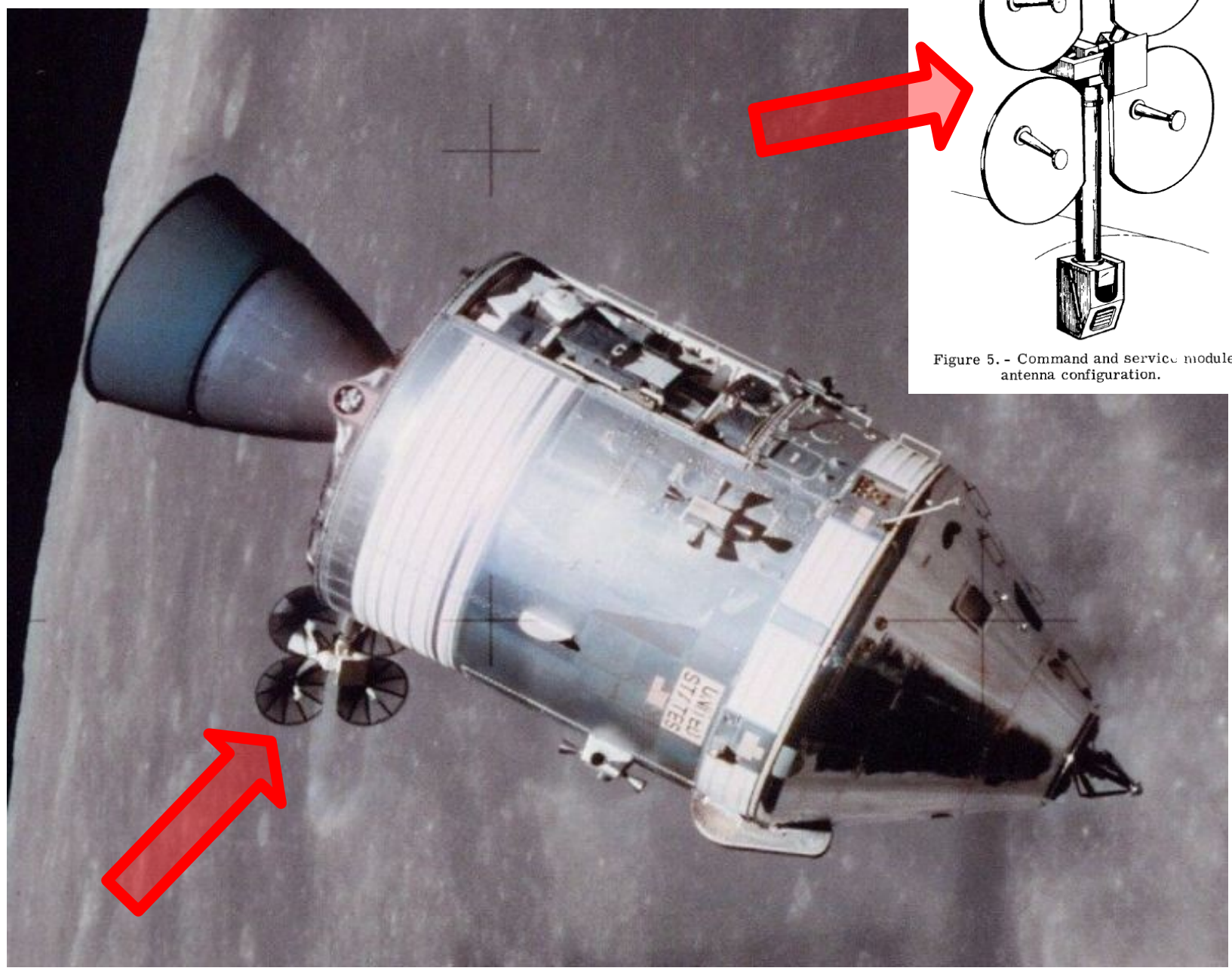
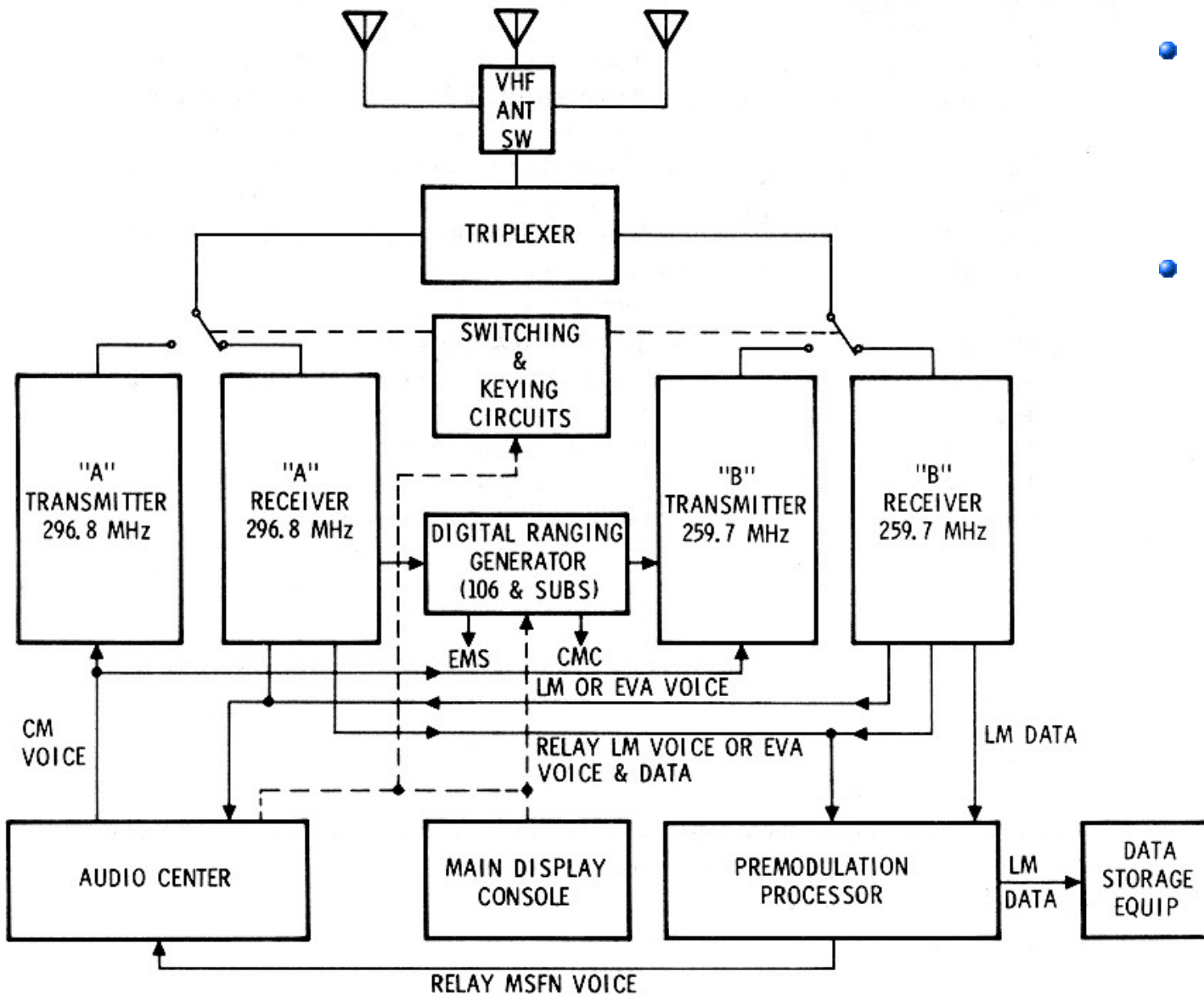


Figure 5. - Command and service module antenna configuration.

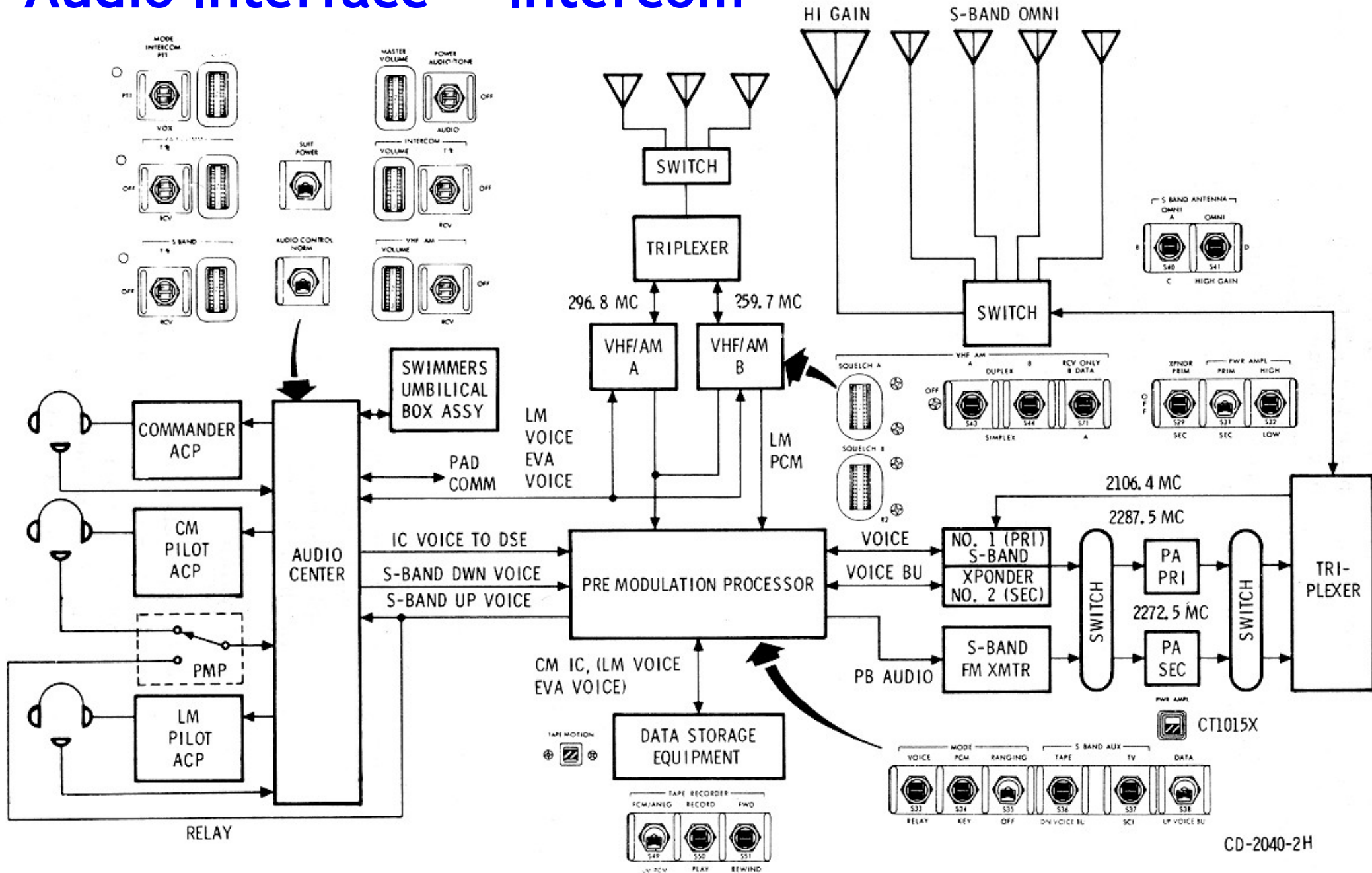


VHF-AM Transmitter/Receiver System



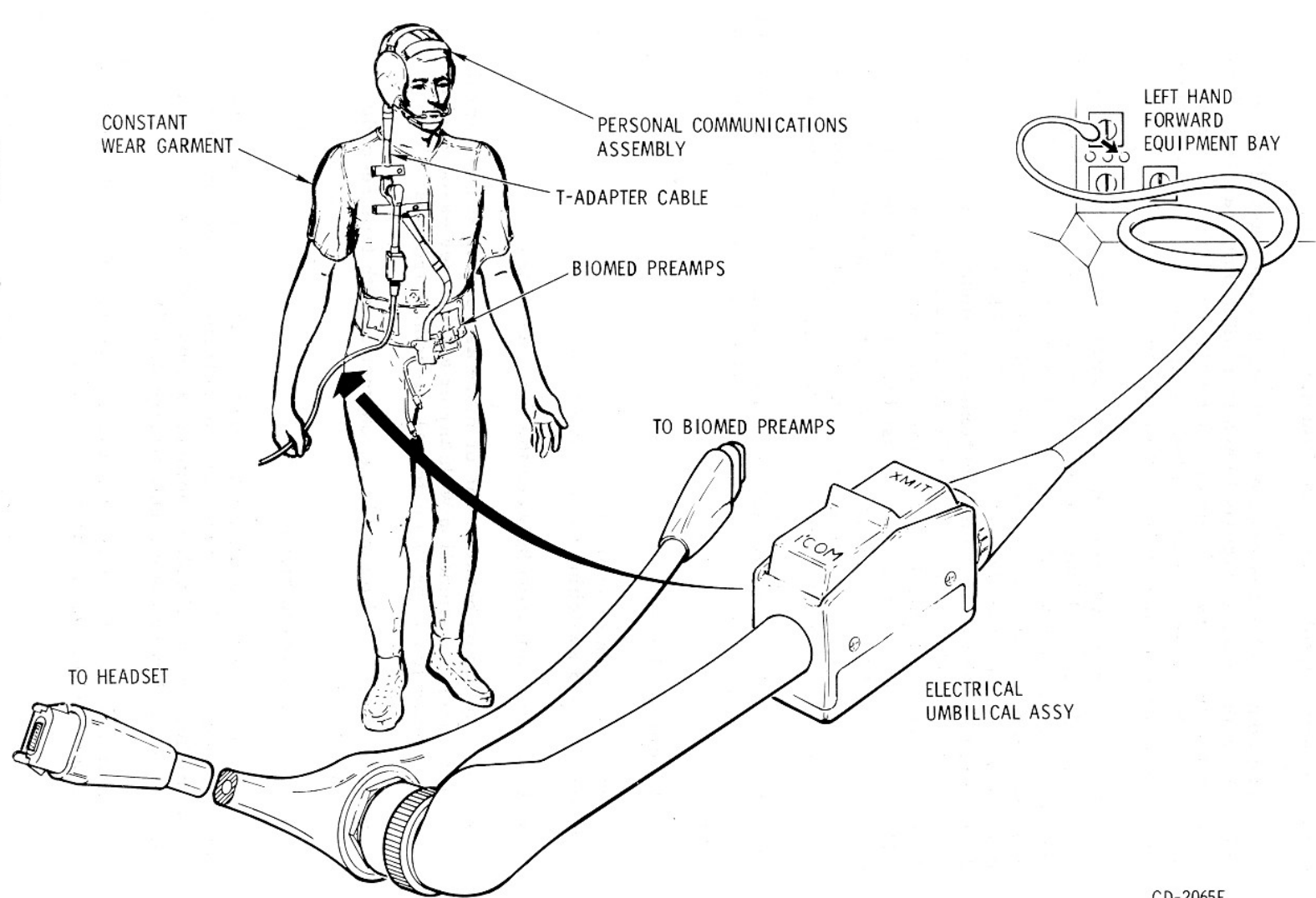
- Duplex-Sprachkommunikation mit MSFN, LM, EVA
- Relais für Duplex-Sprachkommunikation von LM oder EVA zu MSFN (via S-Band und MSFN Link)

Audio Interface – Intercom



CD-2040-2H

Sprechgarnituren und Verkabelung



C.D-2065F

Beispiel für Anwendungen Intercom



- Bei EVA für Kommunikation mit Besatzung im CM bei Apollo 9
 - LM Spider hat an CSM Gumdrop angedockt, David Scott, CMP, steht in der offenen Luke

Übersicht

- Einführung
- Kurzer Rückblick
- Apollo Programm der NASA
- Ablauf einer Mondmission
- Kommunikationssysteme
- Apollo Guidance Computer (AGC)
 - Technik und Funktionen
 - Demonstration (optional)
- Fragen und Diskussion
- Referenzen und Quellen



Charles Stark Draper

- Er war am MIT Professor für Luftfahrttechnik und gründete im Jahr 1940 das MIT Instrumentation Laboratory (IL), welches 1973 als „*The Charles Stark Draper Laboratory, Inc.*“ vom MIT abgespalten wurde
- Er war federführend an der Entwicklung des Navigationssystems der Apollo-Raumfahrzeuge (Primary Guidance, Navigation and Control System) beteiligt



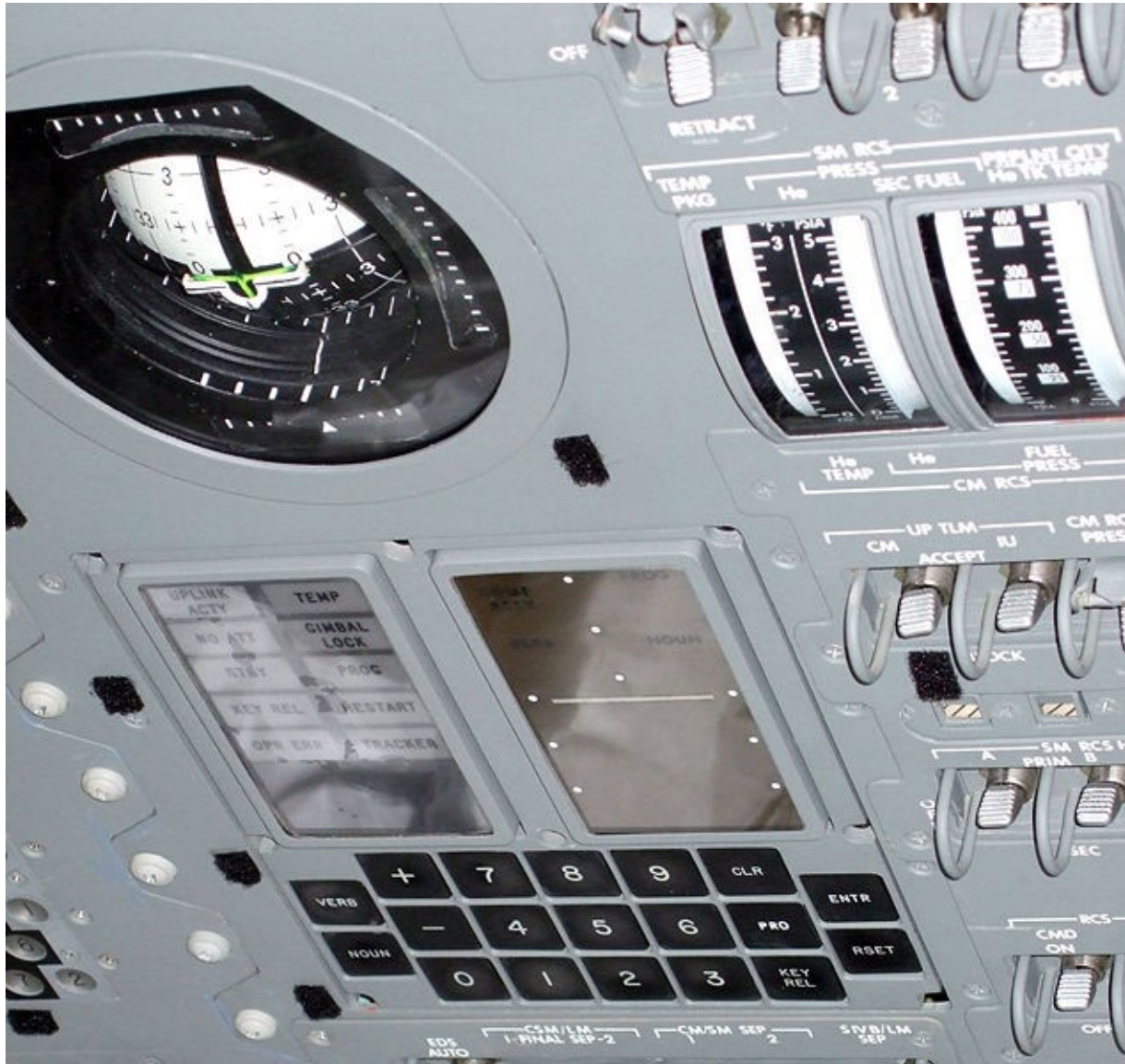
Primary Guidance, Navigation and Control System (PGNCS)

- war das unabhängige inertielle Navigationssystem der Apollo-Raumfahrzeuge
- Es ermöglichte den Apollo-Raumfahrzeugen die Durchführung ihrer Operationen bei Unterbrechung der Kommunikation mit der Erde, zum Beispiel wenn sich das Raumfahrzeug hinter dem Mond befand oder bei Kommunikationsfehlern

Beschreibung PGNCS

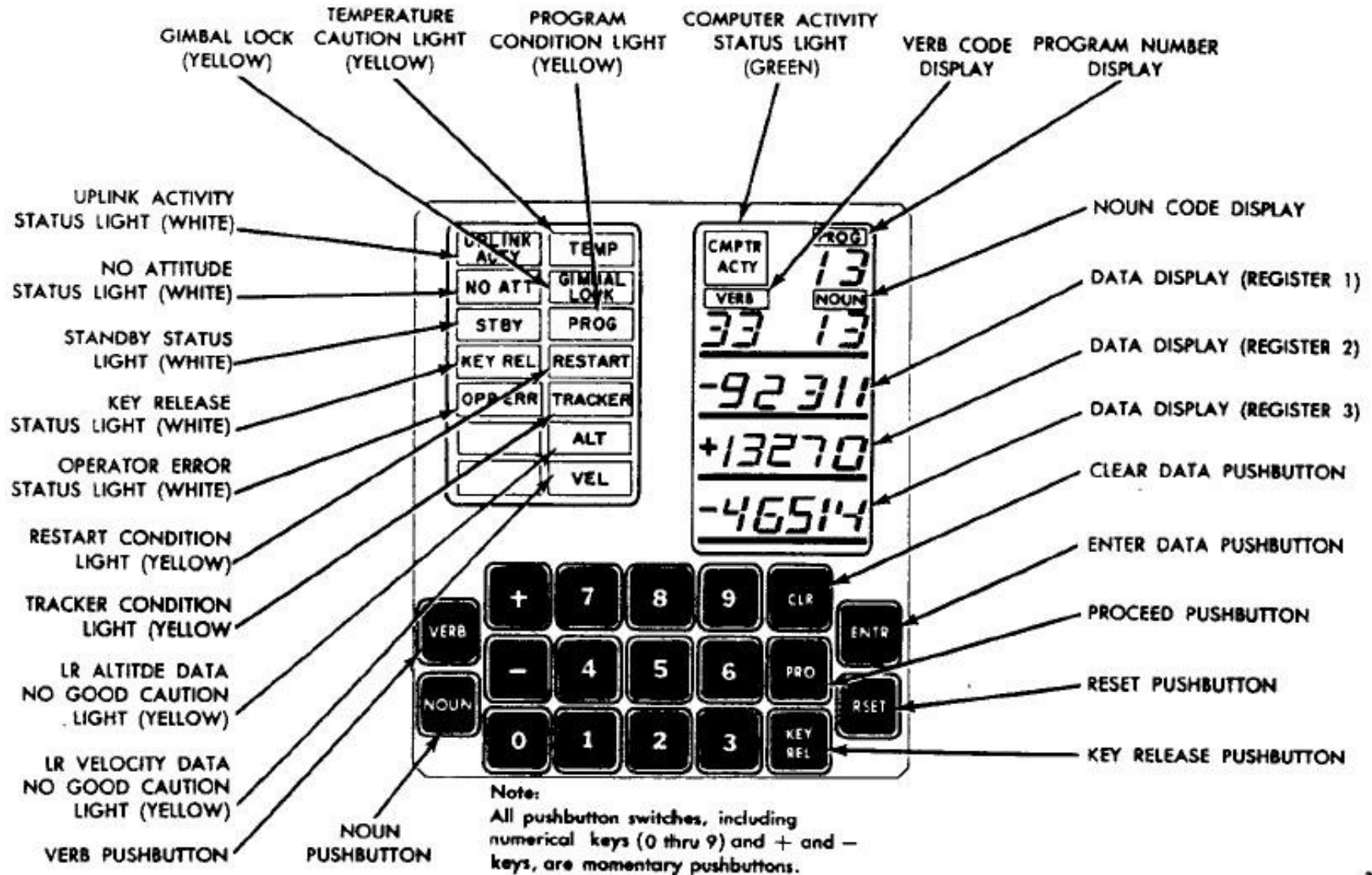
- Das Primary Guidance, Navigation and Control System (PGNCS) umfasste die folgenden Komponenten:
 - die Inertialmesseinheit (Inertial Measurement Unit (IMU)),
 - **den Apollo Guidance Computer (AGC),**
 - die Koordinatenwandler zum Wandeln der Koordinaten der Inertialmesseinheit in Signale für die Servosteuerung,
 - die optische Einheit (Optical Unit),
 - einen mechanischen Rahmen, Navigation Base (oder Navbase) genannt, zur Verbindung der optischen Einheit, und bei der Mondlandefähre das Rendezvous-Radar, mit der Inertialmesseinheit und
 - **die AGC-Software**

DSKY die Benutzerschnittstelle zum AGC



- Die Benutzerschnittstelle des AGC wurde DSKY (Display/Keyboard) genannt und bestand aus einer Reihe von Ziffernanzeigen und einer Tastatur, die an einen Taschenrechner erinnert
- Befehle wurden numerisch als zweistellige Zahlen eingegeben

DSKY-Interface

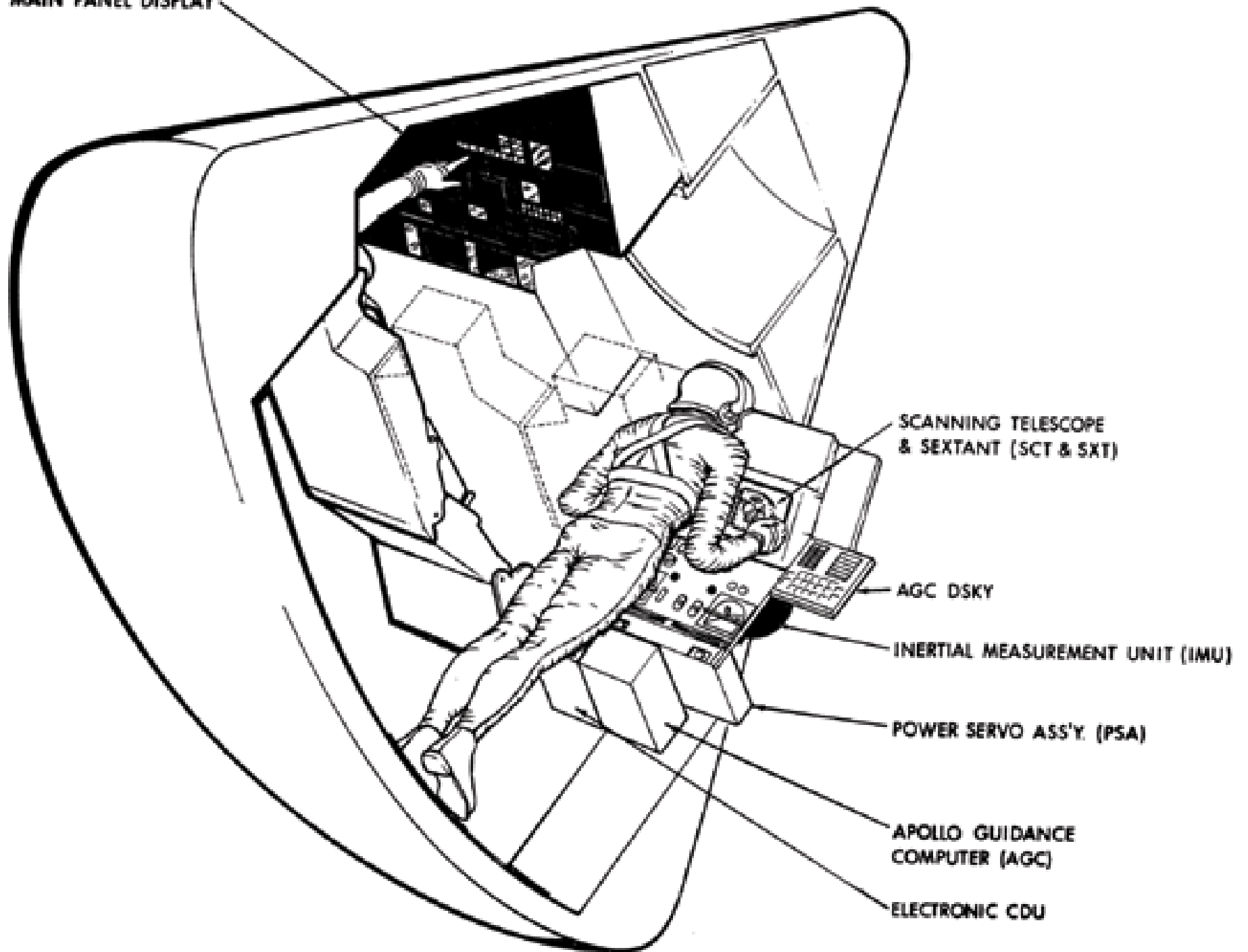


300LM5-18

AGC – Grundsätzliche Überlegungen zum Design

- Zu welchen Systemen hat der AGC Schnittstellen?
- Welche Rechenleistung ist notwendig?
- Welche Schaltungstechnik soll eingesetzt werden?
- Zuverlässigkeit versus Wartung während dem Flug?
- Was soll der Computer überhaupt steuern?
- Welche Benutzerschnittstellen sind notwendig?

MAIN PANEL DISPLAY



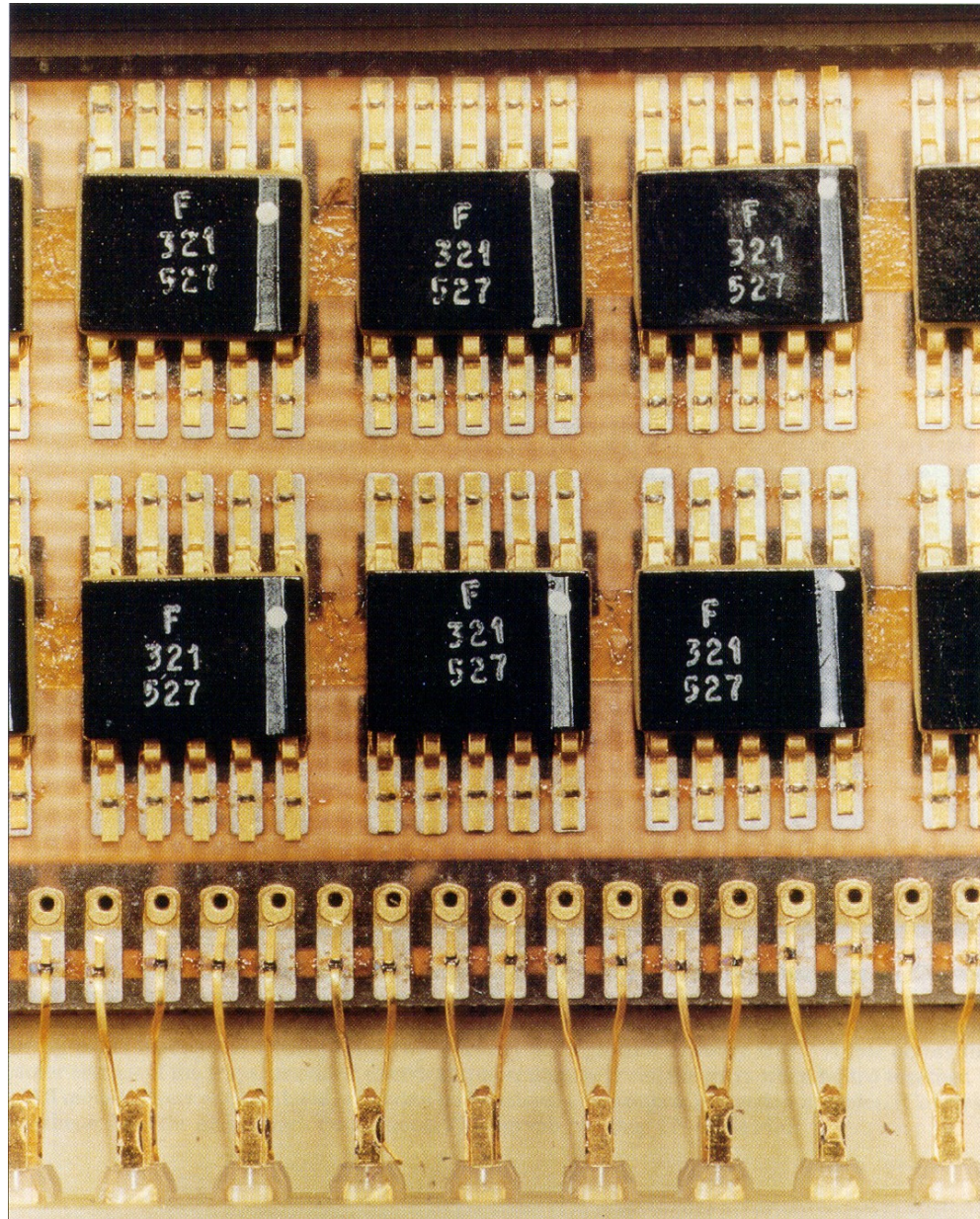
AGC – Entwicklungsschritte

- Technologie basierend auf Polaris SLBM
- AGC durchlief verschiedene Iterationen:
 - Verbesserung der Packungsdichte der Logikbausteine
 - Schnellere
 - Schaltungen änderten dramatisch
 - Core-transistor Logik
 - “Gate-on-a-chip”
 - “Micrologic” zwei Gates auf einem flat-pack “Chip”
 - Komplexerer Befehlssatz
 - Erhöhung des Speichers (sowohl ROM und RAM)
 - Anspruch auf In-Flight-Wartung dadurch reduziert

AGC – Logic Chips

- Fairchild führte gerade den “Micrologic” Chip ein
- Zwei Triple-Input NOR-Gatter pro Chip!
- Resistor-Transistor-Logic (RTL)
- Nahezu sämtliche Schaltungen mit Verwendung des “Micrologic” Chip aufgebaut
 - Nur ein Chip vereinfachte damals den Entwurf und das Testen dramatisch
 - Grössere Produktionsmenge führte zu besserer Ausbeute und höherer Qualität
 - Mehrere hunderttausend Chips wurden produziert!

„Micrologic“ Chips im Verbund

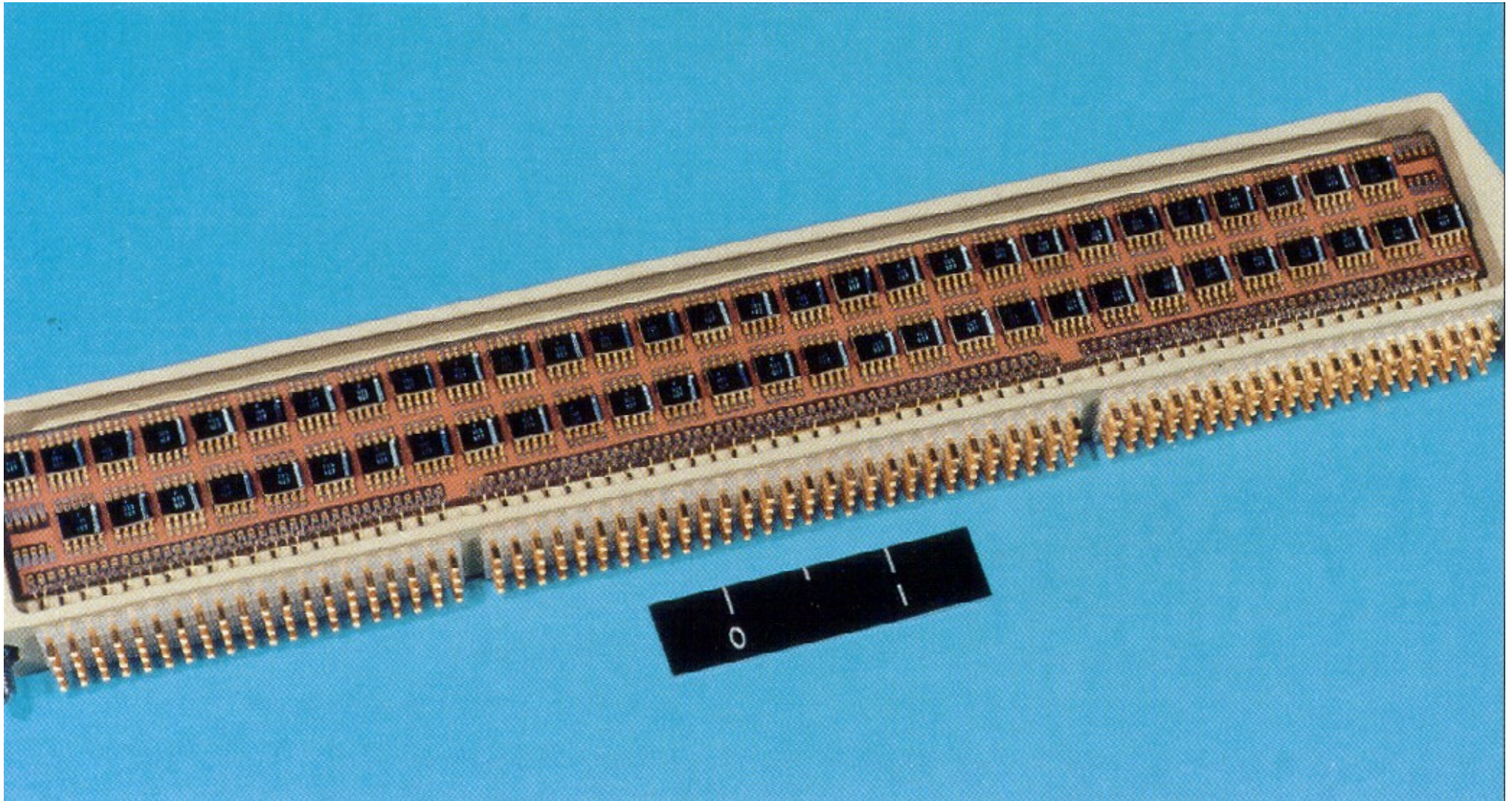


- „Micrologic Chip“ auf „Logic Stick“ montiert

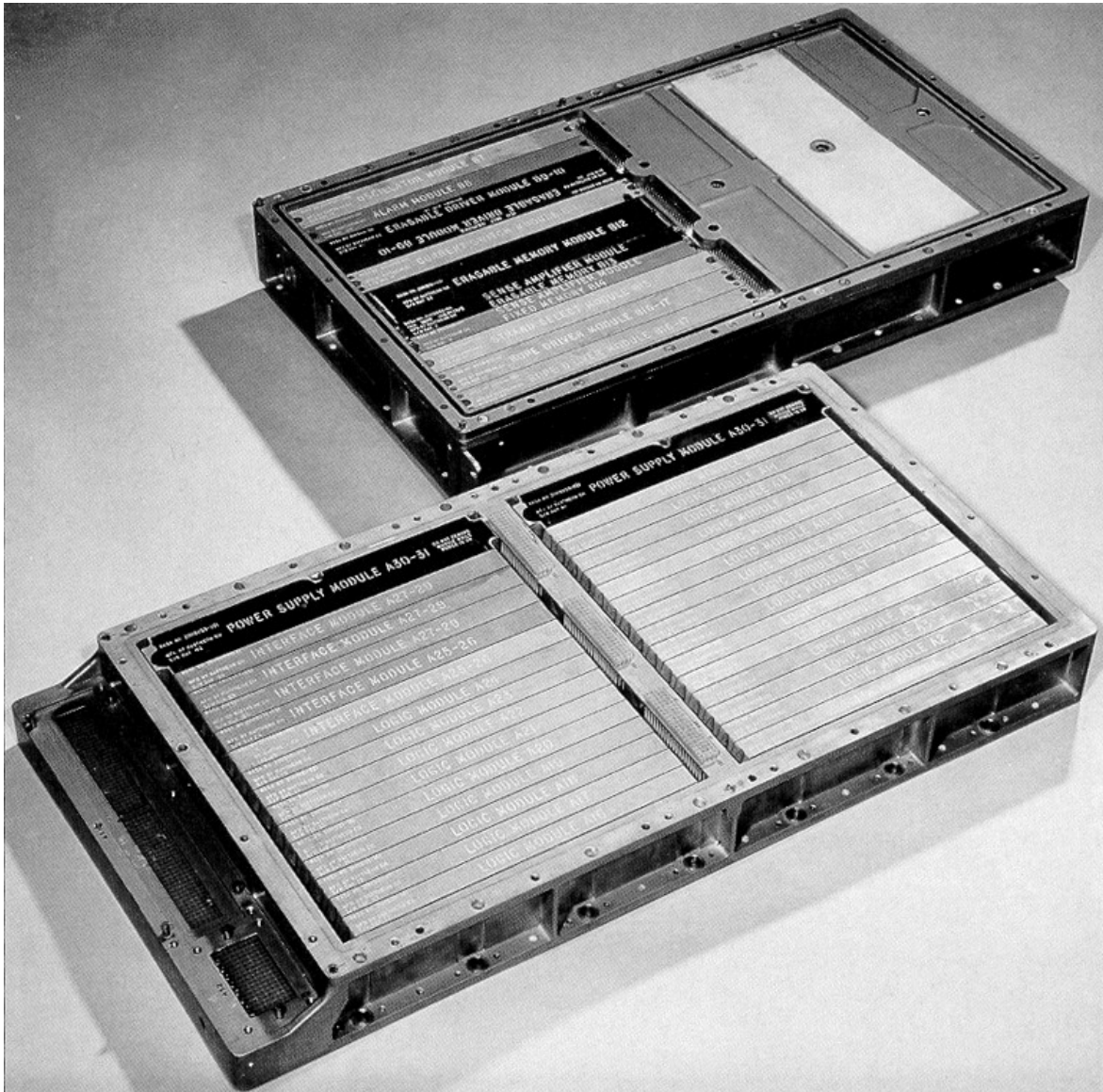
AGC – Logik Bauteile und Komponenten

- Submodule („Logic Sticks“) enthalten 120 Chips (240 Gates)
- Chips wurden auf Multilayer-Platinen gelötet
- Nahezu identische Submodule
- Traditionelle Leiterplatten konnten die notwendige Packungsdichte nicht bieten
- Verbindungen wurden über Wire-Wraps auf der Unterseite eines Moduls („logic tray“) hergestellt

AGC – Zusammengesetzter „Logic Stick“



AGC – Upper and Lower Trays



- Upper Tray: Core Rope und Erasable memory

- Lower Tray: Logik und Interface Modules

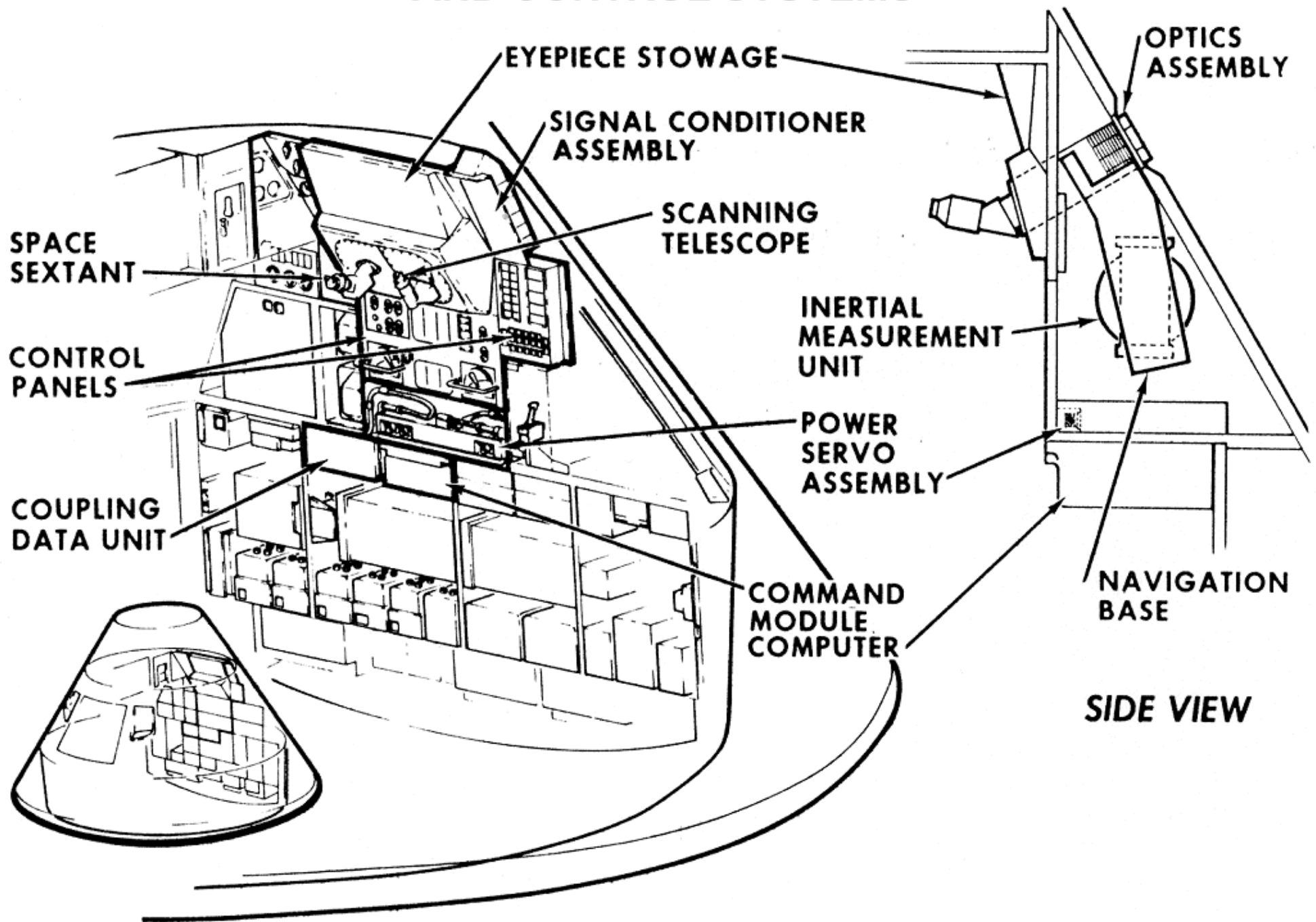
AGC – System-Anforderungen

- Autonome Navigation von der Erde zum Mond und zurück
- Dauerndes Nachführen (Integrieren) des State Vectors
- Navigationsberechnungen mit Hilfe von Planeten, Sonne und Sterne
- Kontrolle der Fluglage mit einem digitalen Autpilot
- Landung auf dem Mond, Wiederaufstieg und Rendezvous
- Manuelles übernehmen der Steuerung der Saturn V Rakete im Notfall
- Remote Updates der Software von der Erde
- Real-Time Anzeige von Informationen
- Multiprogramming
- Event Timing mit Auflösung von 0.01 s
- Multiple User Interfaces (Terminals)

AGC – Interfaces oder (“I/O Devices”)

- **Gyroskope und Beschleunigungssensoren**
 - Zusammengefasst unter dem Begriff “IMU” (Inertial Measurement Unit)
- **Optik**
 - Sextant und Telescopes für Navigation
- **Radar und Entfernungsmessung**
 - 2 Radarsysteme beim LM, VHF Entfernungsmessung beim CSM
- **Triebwerksteuerung**
 - CSM: SPS, LM: DPS, APS
 - Beide haben 16 Düsen für Fluglagesteuerung, CM hat zusätzlich 12 Düsen für Wiedereintritt
- **Analoge Anzeigen**
 - Künstlicher Horizont, Höhe, Entfernung, etc.
- **Display Keyboards (DSKY’s)**
 - 2 in CM, 1 in LM
- **Abort Tasten**

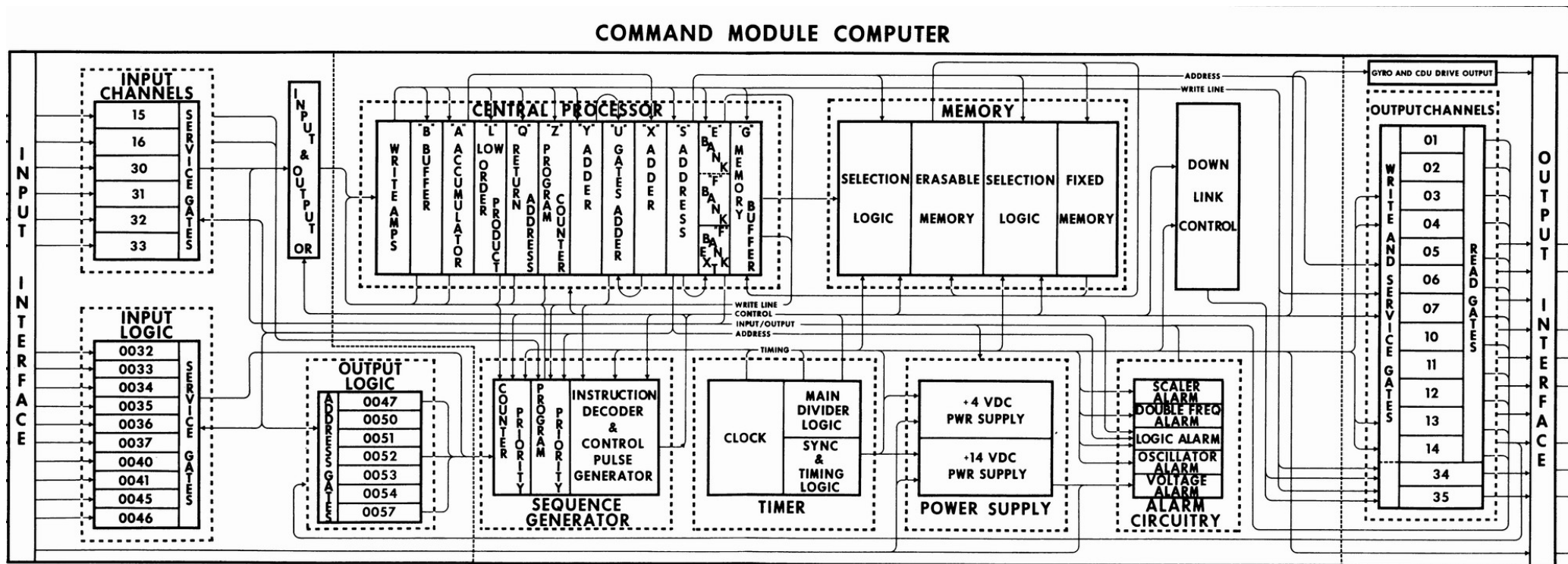
APOLLO GUIDANCE, NAVIGATION AND CONTROL SYSTEMS



AGC – Interne Architektur des Systems

- Register
 - Accumulator, Program Counter, Core Bank, Return Address, etc.
- Input/Output Kanäle
- Data Up- und Downlink
- Noch keine Index-Register (!)
- Interrupt Logik und Programm Alarme

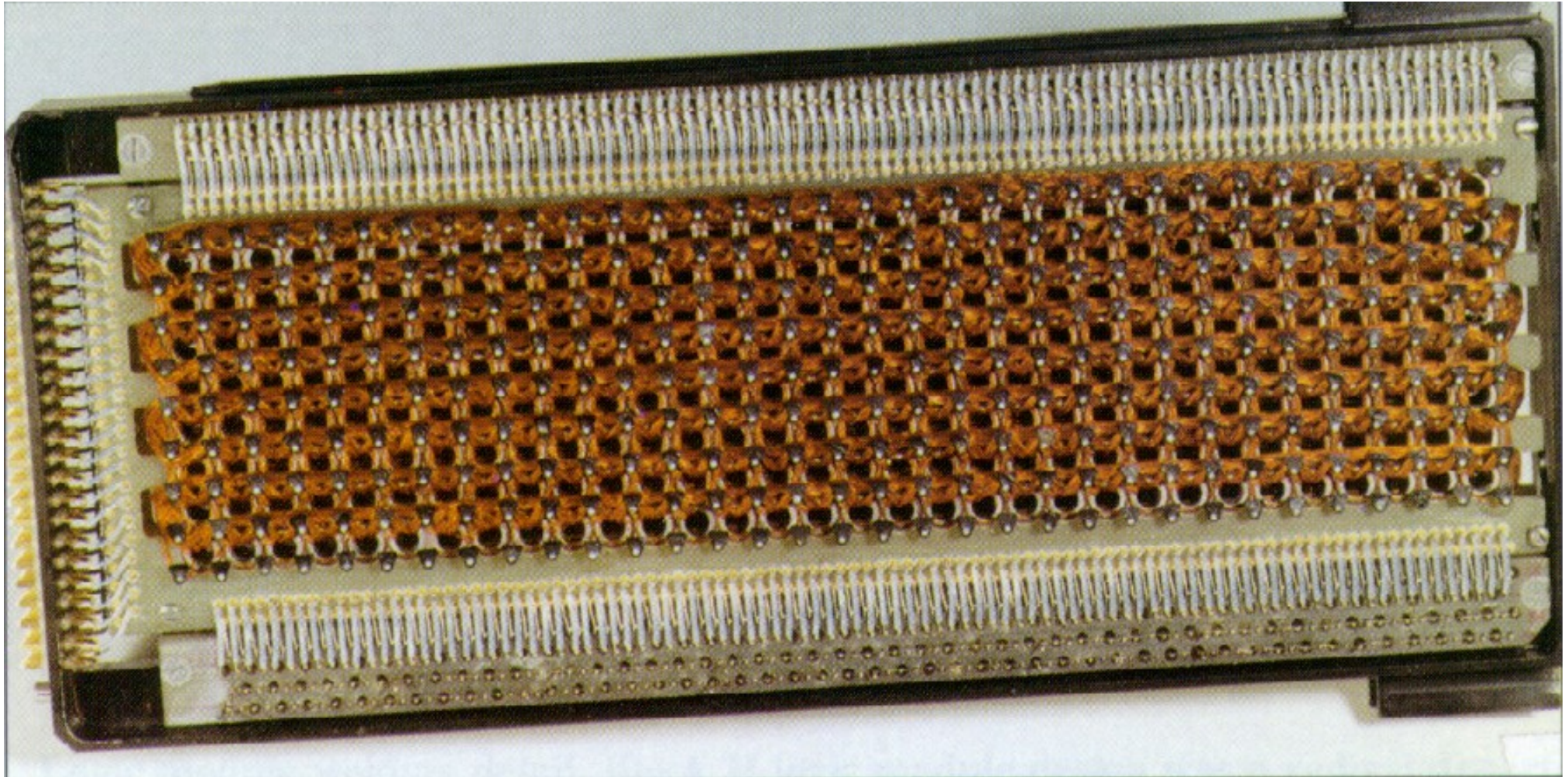
AGC – Blockschaltbild (Spaghetti Diagramm)



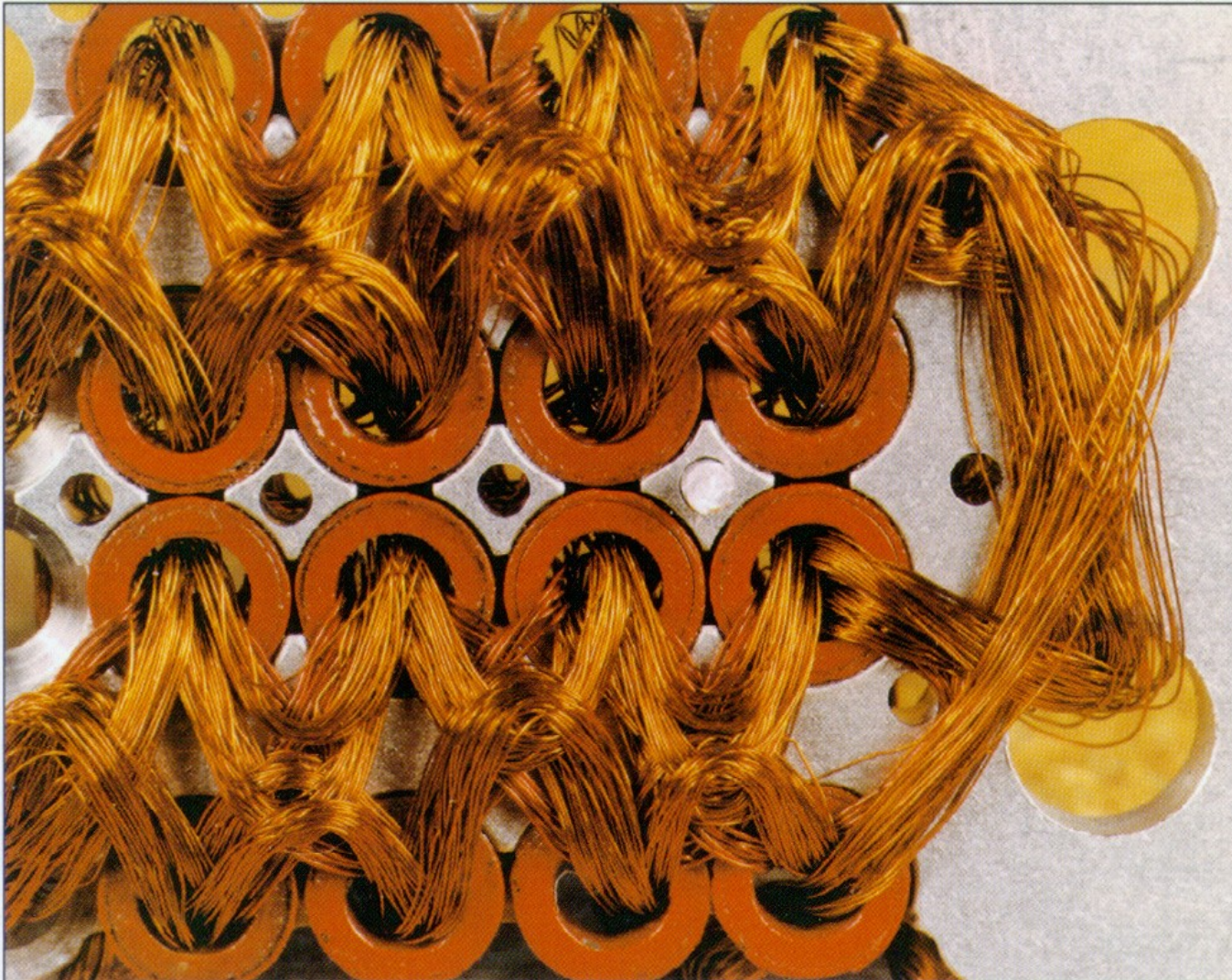
AGC – Speicher-Architektur

- „Core Ropes” (Kernspeicher)
 - Read-Only Speicher
 - Grosse Speicherdichte für damalige Zeit
 - Software im Kernspeicher „gewickelt“
 - Software musste 10 Monate vor dem Start eingefrohren werden!
 - Ropes installed in spacecraft 3-4 months prior to launch
 - 6 rope modules, each 6K of memory
 - Rope modules easily replaced in computer

AGC – Core Rope Module



AGC – Core Rope Wiring Detail



DSKY - Display Keyboard



Using the DSKY interface

- DSKY - Display and Keyboard
- Spezielle Tasten für Befehle
- Drei “Register” für das Anzeigen von Daten
- Befehle mussten in “Verb-Noun” Format eingegeben werden
 - “Verb”: Vorgang der ausgeführt werden soll
 - Anzeigen, aktualisieren von Daten, Programm wechseln, Funktion ändern
 - “Noun”: Data that Verbs acts upon
 - Geschwindigkeit, Winkel, Zeit, Anteil

Beispiel einer DSKY Abfrage

- Programme, Verbs und Nouns wurden nur durch Nummern repräsentiert!
- Es gab eine Menge auswendig zu lernen
 - ~45 Programme, 80 Verbs, 90 Nouns
- Beispiel: Zeige Zeit der nächsten Triebwerkzündung an
- Enter Verb, 06, Noun, 33, Enter
 - Verb 06: Zeige dezimale Daten an
 - Noun 33: Time of Ignition
 - Durch Drücken von „Enter“ ausführen lassen
- Notation: V06N33E

Sample DSKY Query: Time of Engine Ignition

Verb 06, Noun 33: Display Time of Ignition

Verb 06: Display values



Program number – P63

Noun 33: Time of Ignition

Hours

Minutes

Seconds . hundredths

**Time of Ignition: 104:30:10.94
(Mission time)**

AGC – Betriebssystem, Job Control System

- Bereits zu dieser Zeit Multiprogramming, Priority Interrupt, Real-Time Operating System!
- Mehrere Programme (Jobs) können „nebeneinander“ laufen
 - Bis zu 7 “long running” Jobs
 - Bis zu 15 „short, time dependent“ Jobs
- Jedoch hat nur ein Programm die Kontrolle über das DSKY
- Würde heute als klassisches Betriebssystem für Embedded-Lösungen bezeichnet

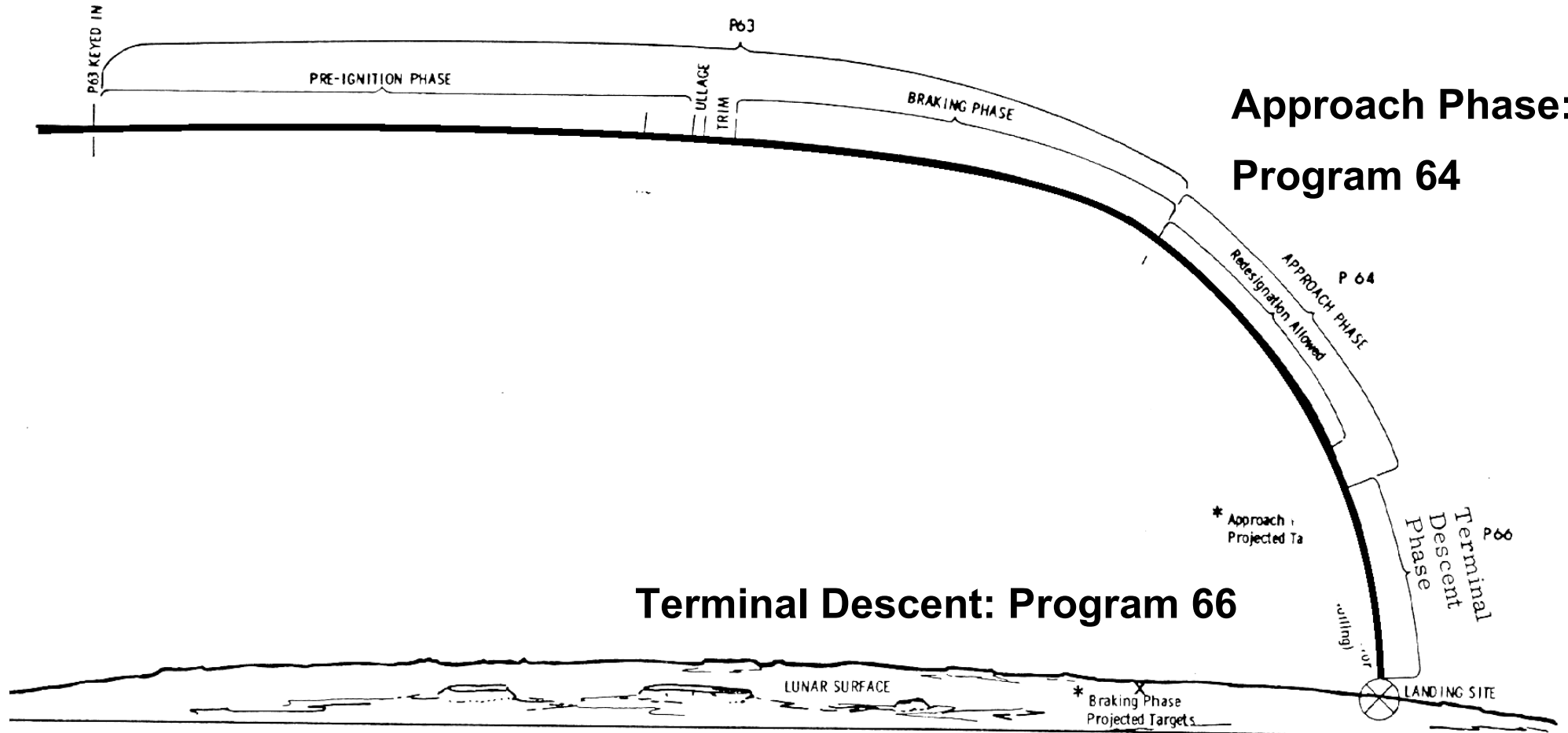
Landen auf dem Mond

- Nur ein Landeanflug möglich, kein zweiter Versuch!
- AGC funktioniert als Steuerungs- and kontrollsystem
- Geht über drei Phasen
 - Braking (Program 63)
 - Beginnt 390 km Uprange auf Höhe von 15 km
 - Approach (Program 64)
 - Beginnt 3-5 km Uprange auf Höhe von 2 km
 - Final Descent (Program 66)
 - Manuelle Landung, gestartet auf einer Höhe zwischen 300 und 150m

Lunar Module Descent Profile

Braking Phase: Program 63

Approach Phase: Program 64



P63 - Monitoring the descent

DSKY Display wurde mit Angaben auf "Fresszettel" verglichen, welcher auf dem Instrument Panel befestigt war

Time from Ignition
LM Pitch angle

Antenna angle
% Fuel



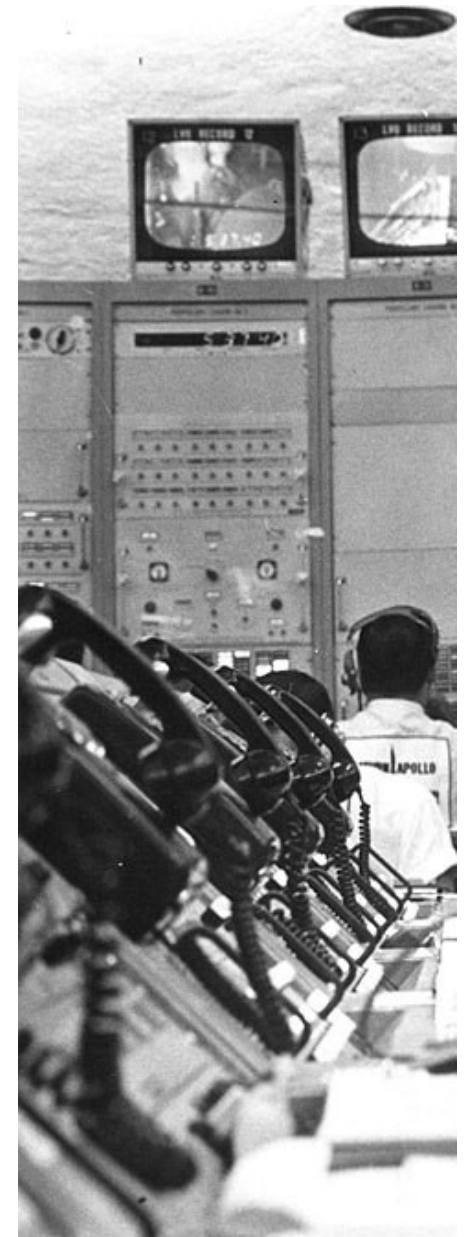
TFI	θ	VI	(-HMAX) -HDOT	(ΔHMAX) H	DPS	SBD
0:00	113	5560.0	2.0	50000	95	2/1
0:30	112	5490.0	7.0	49900	95	
1:00	106	5210.0	37.0	49300	91	7/-3
1:30	100	4910.0	59.0	47800	86	
2:00	95	4610.0	73.0	45800	80	15/-11
2:30	90	4310.0	82.0	43500	75	
3:00	86	3990.0	87.0	40900	70	22/-16
3:30	83	3670.0	89.0	38300	65	
4:00	80	3330.0	91.0	(17000) 35700	60	26/-20
4:30	78	2990.0	91.0	(17000) 32700	54	
5:00	77	2640.0	93.0	(15800) 30500	49	29/-22
5:30	74	2270.0	92.0	(12800) 26400	44	
6:00	73	1890.0	86.0	(11400) 24700	39	32/-25
6:30	70	1490.0	(432.0) 69.0	(9200) 21800	33	
7:00	66	1230.0	(401.0) 95.0	(8200) 18900	30	39/-29
7:30	65	980.0	(367.0) 119.0	(6900) 16100	27	
8:00	65	730.0	(323.0) 139.0	(5600) 12800	23	40/-29

AGC – Zusammenfassung

- AGC war zu seiner Zeit “Bleeding Edge” Technologie
 - Am Ende der Apollo-Missionen jedoch veraltet!
 - Jedoch konnte er alles was man benötigte
- Verschiedene heutige Computer-Technologien haben ihren Ursprung teilweise beim AGC
- War der erste Computer, welcher unmittelbar am Erfolg einer Unternehmung beteiligt war
- Und vorallem: Der AGC alleine führte nie zu wirklichen Problemen!

Übersicht

- Einführung
- Kurzer Rückblick
- Apollo Programm der NASA
- Ablauf einer Mondmission
- Kommunikationssysteme
- Apollo Guidance Computer (AGC)
 - Technik und Funktionen
 - Demonstration (optional)
- Fragen und Diskussion
- Referenzen und Quellen



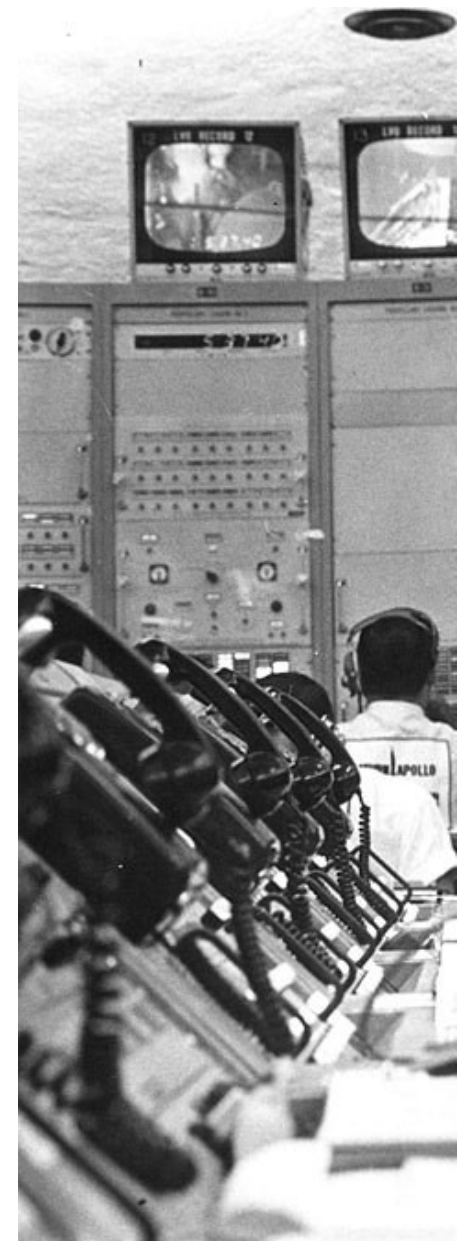
Besten Dank

Q & A



Übersicht

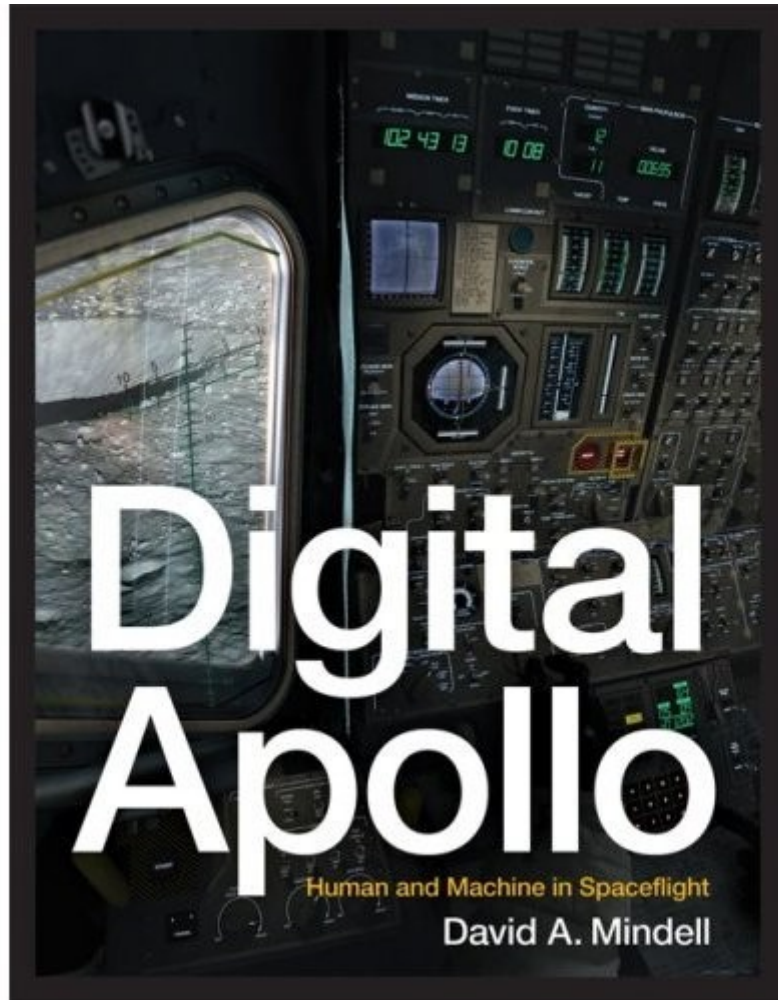
- Einführung
- Kurzer Rückblick
- Apollo Programm der NASA
- Ablauf einer Mondmission
- Kommunikationssysteme
- Apollo Guidance Computer (AGC)
 - Technik und Funktionen
 - Demonstration (optional)
- Fragen und Diskussion
- Referenzen und Quellen



Referenzen und Quellen

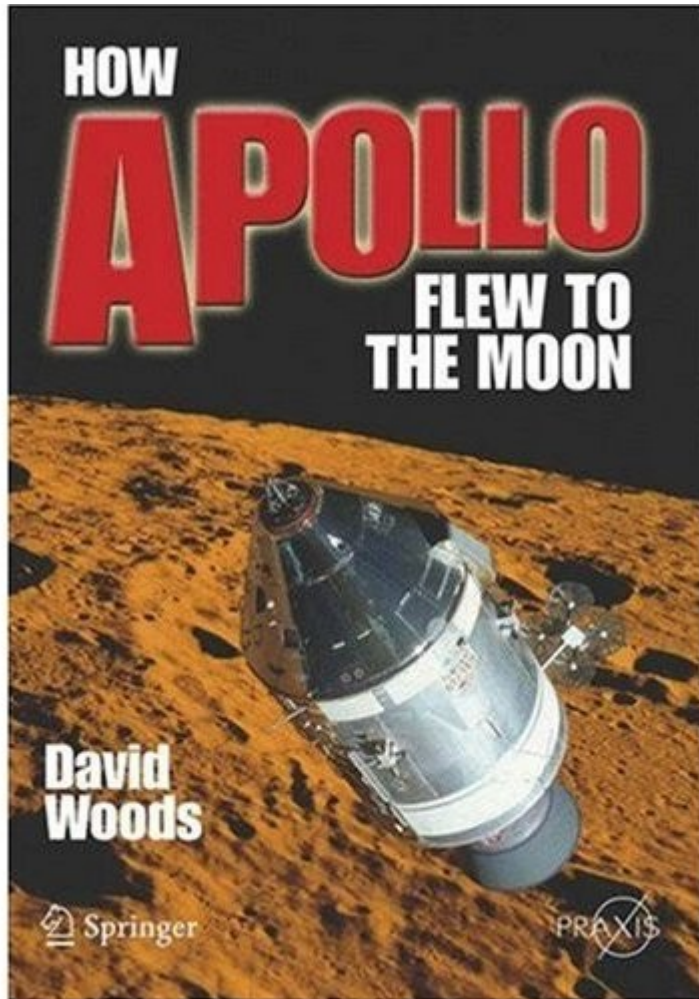
- Apollo Operations Handbook, Block 2, NASA 1969
- <http://history.nasa.gov/apollo.html>
- <http://history.nasa.gov/afj/aohindex.htm>
- <http://history.nasa.gov/alsj>
- <http://history.nasa.gov/monograph37.pdf>
- <http://www.ibiblio.org/apollo/index.html>
- http://www.orbiterwiki.org/wiki/Project_Apollo_for_Orbiter
- http://www.apolloarchive.com/apollo_archive.html
- <http://www.apollotalks.com>
- <http://www.google.com/moon>

Bücher zum Thema (1/4)



- **Digital Apollo, Human and Machine in Spaceflight**
- Author: David A. Mindell
- Hardcover: 456 pages
- Publisher: MIT Press (May 31, 2008)
- Language: English
- ISBN: 978-0262134972

Bücher zum Thema (2/4)



How Apollo Flew to the Moon

Author: W. David Woods

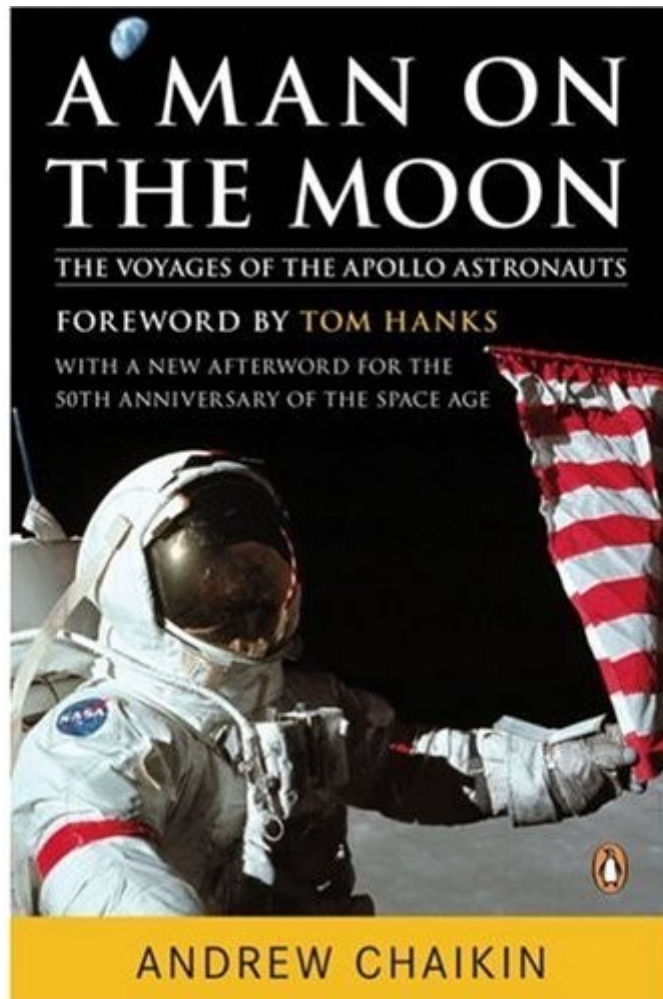
Paperback: 400 pages

Publisher: Springer Praxis Books;
1 edition (January 8, 2008)

Language: English

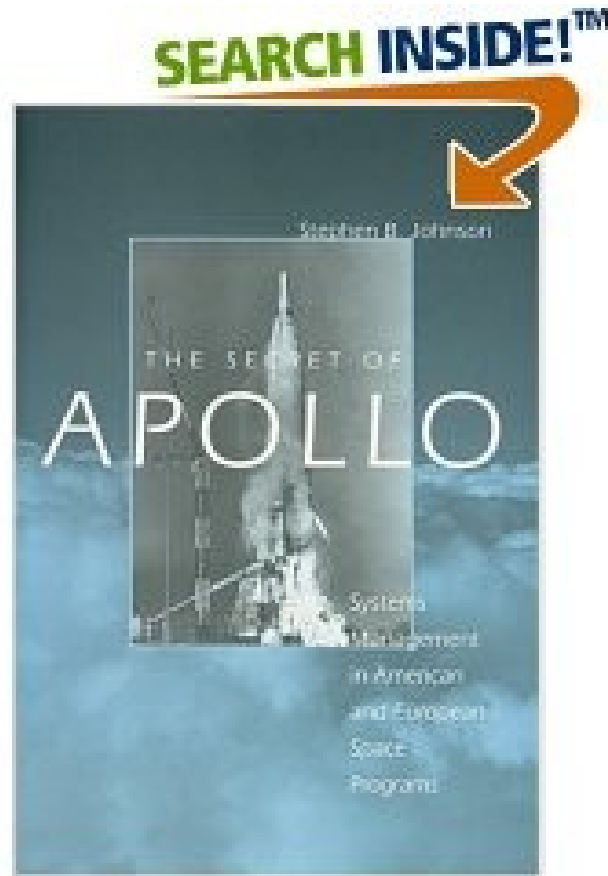
ISBN: 978-0387716756

Bücher zum Thema (3/4)



- **A Man on the Moon, The Voyages of the Apollo Astronauts**
- Author: Andrew Chaikin
- Paperback: 720 pages
- Publisher: Penguin (Non-Classics); Reissue edition (August 28, 2007)
- Language: English
- ISBN: 978-0143112358

Bücher zum Thema (4/4)



- **The Secret of Apollo, Systems Management in American and European Space Programs**
- Author: Stephen B. Johnson
- Paperback: 312 pages
- Publisher: The Johns Hopkins University Press (September 20, 2006)
- Language: English
- ISBN: 978-0801885426

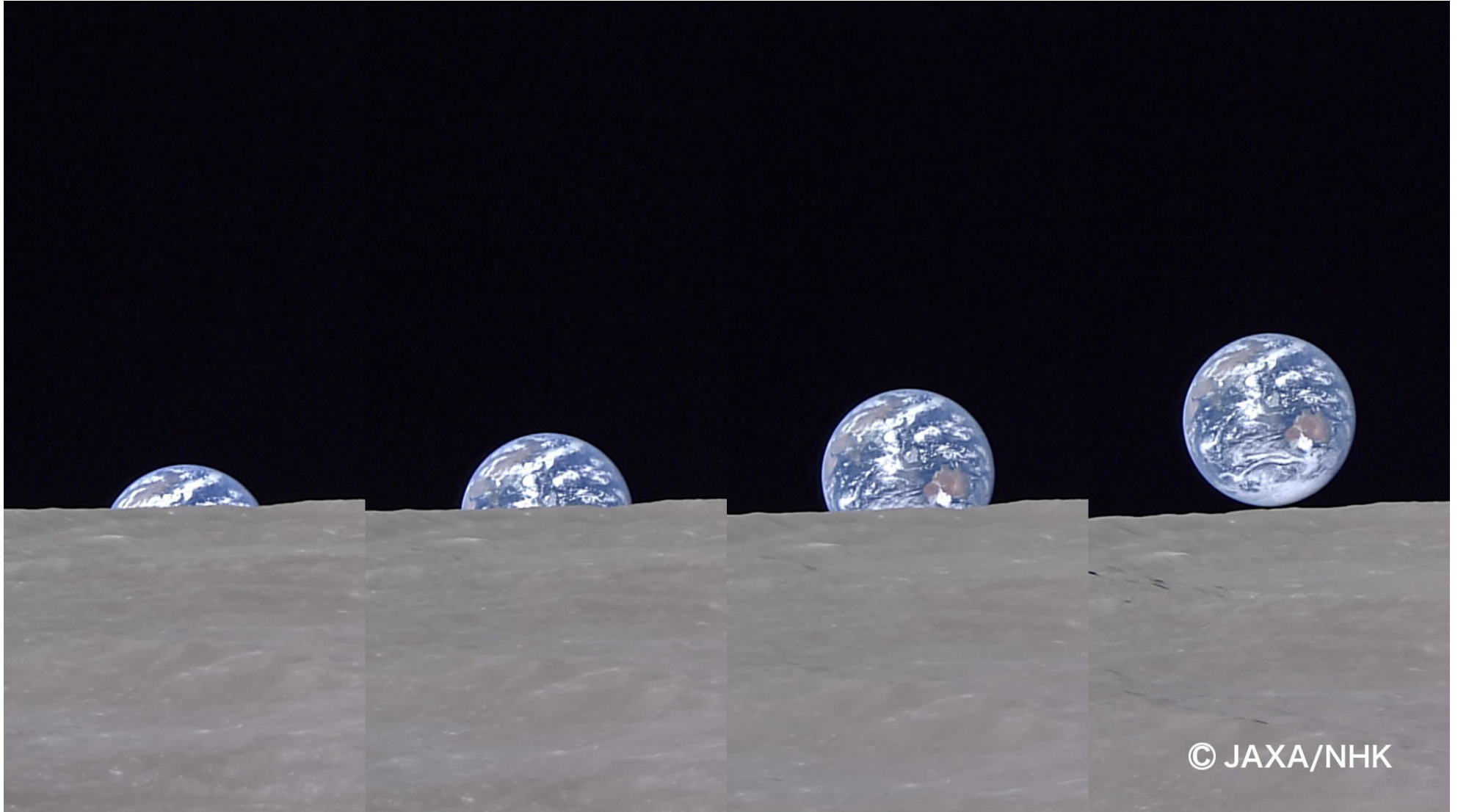
Idee und Konzept



© 2008 Lorenz Born, HB9DTN – hb9dtn@arrl.net

Backup

SELENE: The largest lunar mission since the Apollo program



Gab es die Mondlandungen wirklich?



- Selene's 3D view of the landing site, left, matches the shot from an Apollo 15 astronaut at right
- The Japanese space agency's lunar mission SELENE (Selenological and Engineering Explorer) also known as "Kaguya"