

*The 40<sup>th</sup> Anniversary of Apollo 7*  
**Vortrag über die Telekommunikationssysteme und  
die On-Board-Computer des US-amerikanischen  
Apollo-Programms der NASA**

Lorenz Born, HB9DTN  
Brunnadernstrasse 3  
3006 Bern  
hb9dtn@arr1.net

28. Februar 2008

## **Zusammenfassung**

Am 11. Oktober 2008 werden seit dem Start der Apollo 7 Mission genau 40 Jahre vergangen sein. Apollo 7 war der erste bemannte Raumflug im Rahmen des Apollo-Programms der National Aeronautics and Space Administration (NASA) der USA. Alle vorherigen Apollo-Missionen waren unbemannt und dienten zum Testen der Saturn V Rakete und als Testflüge für das Kommandomodul oder die Mondlandefähre.

Insofern gilt der Start von Apollo 7 am 11. Oktober 1968 um 15:02 Uhr UTC auf Cape Canaveral in Florida als einer der wichtigsten Meilensteine des Apollo-Programms. Der Flug von Apollo 7 stellte nicht nur die Flugtauglichkeit des Raumschiffs unter Beweis, sondern auch die Tauglichkeit aller anderen Einrichtungen wie Telekommunikation, On-Board-Computer, Raketenmontage, Startvorbereitung, Flugleitung und das Bodennetz der Funkstationen rund um die Welt. Auch für die Astronauten von Apollo 7 galt es zum ersten Mal für gut 10 Tage mit dem neuen Raumschiff im erdnahen Orbit zu fliegen. Dies war

ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur ersten Mondlandung rund 9 Monate später. Bereits am 20. Juli 1969 um 20:17:58 Uhr UTC vermeldete Neil Armstrong: "Houston, Tranquility Base here. The Eagle has landed!". Sechs Stunden später betrat Neil Armstrong als Kommandant von Apollo 11 im Mare Tranquillitatis als erster Mensch den Mond.

Der Erfolg der verschiedenen Apollo-Missionen hing nicht zuletzt von der Verfügbarkeit eines zuverlässigen Telekommunikationssystems ab. Ohne Unterstützung durch die Flugleitung und die im Hintergrund arbeitenden Spezialisten auf der Erde hätten die Astronauten im Kommandomodul oder der Mondlandefähre nicht alle anstehenden Aufgaben selbständig lösen können. Eine weitere wichtige Komponente war der Apollo Guidance Computer (AGC) der bei den Apollo-Missionen eingesetzte Navigations- und Steuerungscomputer. Er wurde benutzt um in Echtzeit Fluginformationen zu sammeln und dem Kontrollzentrum zur Verfügung zu stellen, wie auch für die automatische Navigation und Steuerung der Triebwerke des Apollo-Raumfahrzeugs und der Mondlan-

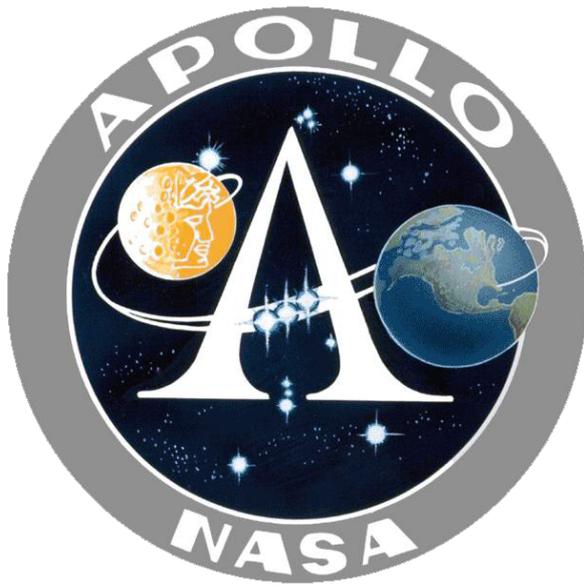


Abbildung 1: Das offizielle Logo des Apollo-Programms

defähre.

Heute fragt man sich, wie diese Telekommunikationssysteme und die On-Board-Computer vor über 40 Jahren aufgebaut waren und funktionierten. Diese Fragen werden im Rahmen des Vortrags aufgegriffen und mit vielen detaillierten Erklärungen, basierend auf den heute zur Verfügung stehenden Originaldokumenten der NASA beantwortet.

Der Vortrag findet erstmals im Rahmen der Monatsversammmlung der USKA Sektion Bern am Mittwoch, 29. Oktober 2008 um 20:00 Uhr in der Saalanlage an der Radiostrasse 21 in Münchenbuchsee statt. Siehe auch unter [www.hb9f.ch](http://www.hb9f.ch).

## 1 Geschichtlicher Rückblick

Im Jahr 1865 erschien in Paris der berühmte Roman „Von der Erde zum Mond“ von Jules Verne, in dem drei Amerikaner von Florida aus zum Mond reisen. Bemerkenswert an Vernes Roman ist vor allem, dass es später tatsächlich

drei Amerikaner waren, die als erste von Florida aus zum Mond flogen. Erstaunlich viele Teile des 1870 von Jules Verne veröffentlichten Romans „Reise um den Mond“ fanden zum ersten Mal im Flug von Apollo 8 ihre Verwirklichung. Der Mond, der schon immer Dichter und Denker bewegt hat, war die geeignete Herausforderung, eine Art Mythos, den es zu erobern galt.

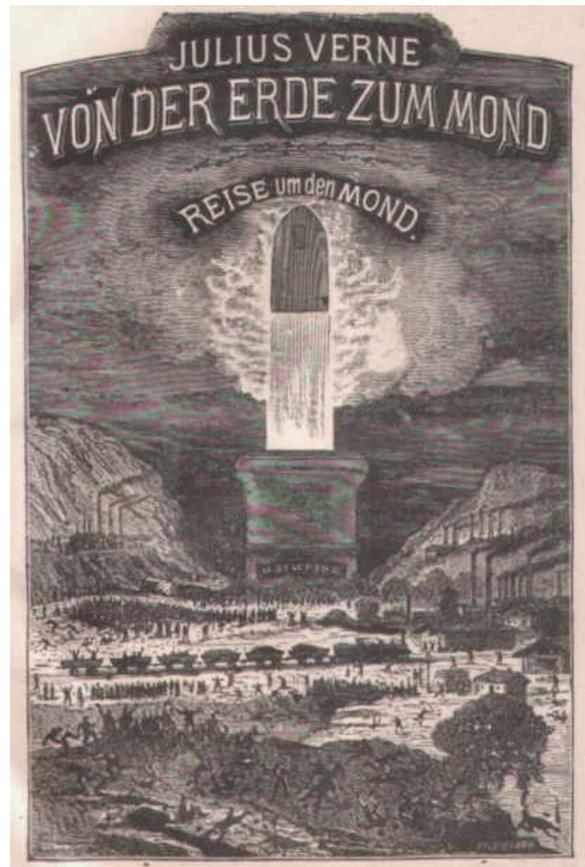


Abbildung 2: Vorsatzbild im Roman „Von der Erde zum Mond“ von Jules Verne

Fast 100 Jahre später im Juli 1960 fand in Washington eine Konferenz statt, auf der die NASA und verschiedene Industriebetriebe einen Langzeitplan für die Weltraumfahrt erarbeiteten. Geplant war eine bemannte Mondumrundung von einer Landung war zu diesem Zeitpunkt noch nicht die Rede. Abe Silver-

stein, der Leiter der Raumfahrt-Entwicklung bei der NASA, schlug für dieses Projekt den Namen Apollo vor. Apollo war ein Gott der griechischen Mythologie, der als treffsicherer Bogenschütze galt.

Durch den Start von Sputnik 1 im Jahre 1957, die erste unbemannte harte Mondlandung 1959 durch Lunik-2 und den ersten bemannten Raumflug von Juri Gagarin 1961 war die Sowjetunion zu Beginn des Raumfahrtzeitalters zur führenden Raumfahrtnation aufgestiegen. Die US-Amerikaner suchten nach einem Gebiet der Raumfahrt, auf dem sie die Sowjetunion schlagen könnten. Die bemannte Mondlandung wurde dafür als geeignet angesehen.

Am 25. Mai 1961, nur eineinhalb Monate nach dem Start von Juri Gagarin, 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. Mit den folgenden Worten fiel der Startschuss für das Apollo-Programm:

„Ich glaube, dass dieses Land sich dem Ziel widmen sollte, noch vor Ende dieses Jahrzehnts einen Menschen auf dem Mond landen zu lassen und ihn wieder sicher zur Erde zurück zu bringen. Kein einziges Weltraumprojekt wird in dieser Zeitspanne die Menschheit mehr beeindrucken, oder wichtiger für die Erforschung des entfernteren Weltraums sein; und keines wird so schwierig oder kostspielig zu erreichen sein.“

Der Wettlauf zum Mond nahm so seinen Anfang. Der eigentliche NASA-Plan sah sieben Missionen bis zur ersten bemannten Mondlandung vor. Dies waren die Missionen A bis G.

- Mission A: Unbemannter Test der Saturn V und des Apollo-Raumschiffs in

einer Erdumlaufbahn (zweimal durchgeführt mit Apollo 4 und Apollo 6).

- Mission B: Unbemannter Test der Mondlandefähre (LM) (durchgeführt mit Apollo 5).
- Mission C: Bemannter Test des Apollo-Raumschiffs im Erdorbit (durchgeführt mit Apollo 7).



Abbildung 3: Das offizielle Logo der Apollo 7 Mission

- Mission D: Test der Kombination aus Kommandomodul und Mondlandefähre in einem erdnahen Orbit (ursprünglich als Apollo 8 vorgesehen, als Apollo 9 neu nummeriert, weil eine Mondumkreisung (Mission C') als Apollo 8 eingeschoben wurde).
- Mission E: Test der Kombination aus Kommandomodul und Mondlandefähre in einem erdfernen Orbit (Mission wurde gestrichen, Mannschaft übernahm die Mission C').
- Mission F: Test der Kombination aus Kommandomodul und Mondlandefähre in einem Mondorbit (durchgeführt mit Apollo 10).



Abbildung 4: Die drei Astronauten der Apollo 7 Mission Donn Eisele, Walter Schirra und Walter Cunningham (v.l.n.r.) des ersten bemannten Raumflugs im Rahmen des Apollo-Programms

- Mission G: Erste Landung auf dem Mond (durchgeführt mit Apollo 11).

Die mit Apollo 8 durchgeführte erste Mondumkreisung, an Weihnachten 1968, war von der NASA eigentlich nicht vorgesehen und mit der Bezeichnung Mission C' zwischen die Missionen C und D eingeschoben.

Zusätzlich wurden die Missionen H, I und J geplant:

- Mission H: Landung auf dem Mond mit erweiterten wissenschaftlichen Experimenten (durchgeführt mit Apollo 12 und Apollo 14. Apollo 13 nicht erfolgreich; Apollo 15 war ursprünglich ebenfalls als H-Mission vorgesehen).
- Mission I: Bemannte Flüge in der Mondumlaufbahn zu Forschungszwecken; keine Landung beabsichtigt. Konkrete Planungen für I-Missionen hat es nicht gegeben.
- Mission J: Landung auf dem Mond mit erweiterten wissenschaftlichen Experimenten



Abbildung 5: Das offizielle Logo der Apollo 8 Mission



Abbildung 6: Die drei Astronauten der Apollo 8 Mission William Anders, James Lovell und Frank Borman (.v.l.n.r.) waren die ersten Menschen, die mit eigenen Augen die Rückseite des Mondes sahen

ten und dem Mondrover (durchgeführt mit Apollo 15, Apollo 16 und Apollo 17).

Obwohl ursprünglich noch weitere Starts geplant waren, wurde das Apollo-Programm nach der sechsten erfolgreichen Mondlandung von Apollo 17 im Dezember 1972 beendet.



Abbildung 7: Überblick über alle Aktivitäten im Mission Operations Control Room im Mission Control Center der NASA am ersten Tag der Apollo 7 Mission.

Für den bemannten Mondflug wurde die bis heute grösste Rakete entwickelt. Sie erhielt den Namen Saturn V. Massgeblichen Anteil an ihrer Entwicklung hatte der deutsch-amerikanische Raketenbauer Wernher von Braun, dessen Team die erste Stufe mit den gewaltigen F-1-Triebwerken entwickelte. Alle Starts dieser Rakete waren trotz ihrer grossen Leistung und Komplexität erfolgreich, was durchaus beachtenswert ist, da die meisten übrigen Raketensysteme auch Fehlstarts zu verzeichnen haben.

Als Vorbereitung auf die Mondlandung lief anfänglich parallel zum Apollo-Programm das Gemini-Programm, mit dem Erfahrungen zu Rendezvous-Manövern im Weltall gesammelt werden sollten.

Neben der Entwicklung der Raketensysteme mussten auch hochkomplexe elektronische

Systeme und Telekommunikationssysteme entwickelt werden. Besonders für das Apollo-Programm mussten ungeheuer viele neue Verfahren und Geräte entwickelt werden, die auch in anderen Bereichen Anwendung fanden. Ganze Technologiezweige bauen heute auf diesen Erkenntnissen auf. So sind beispielsweise Computertechnik, Mikroelektronik und verschiedene Produktions- und sogar Managementmethoden direkt aus dem Apollo-Programm hervorgegangen. Auch die zivile Nutzung der Satellitentechnik ist aus der heutigen Gesellschaft nicht mehr wegzudenken. Für Wissenschaft und Technik hat die Raumfahrt deshalb bis heute einen zunehmend wichtigen Stellenwert.

## 2 Inhalt des Vortrags

Das Ziel des Vortrags ist es dem Zuhörer einen Überblick über die für das Apollo-Programm der NASA entwickelten Kommunikations- und Computersysteme unter dem Blickwinkel der damaligen Zeit zu vermitteln.

Im Zeitalter des Internets sind heute die meisten Dokumente über das Apollo-Programm elektronisch verfügbar. Dies ist vor allem dem Umstand zu verdanken, dass das während dem Kalten Krieg als vertraulich klassifizierte Material in der Zwischenzeit nach über 40 Jahren deklassifiziert wurden. Von besonderem Interesse ist dabei das mehrere hundert Seiten umfassende *Apollo Operations Handbook*. Dieses setzt sich aus zwei Bänden zusammen. Im ersten Band (Volume 1, *Spacecraft Description*) findet man die Beschreibung des Raumschiffs, d.h. die detaillierten Informationen über sämtliche Komponenten eines Apollo-Raumschiffs. Im zweiten Kapitel können die Spezifikationen des Apollo Telecommunication System und des Apollo Guidance Computer studiert werden. Der zweite Band (Volume 2, *Operational Procedures*) widmet sich den Betriebsprozessen zur Bedienung

des Apollo-Raumschiffs.

Die beiden oben erwähnten Subsysteme, das *Apollo Telecommunication System* und der *Apollo Guidance Computer*, werden im Rahmen des Vortrags vorgestellt. Zudem werden einige Tonaufzeichnungen abgespielt, welche einen realistischen Höreindruck der damaligen Kommunikationstechnik vermitteln.

## 2.1 Apollo Telecommunication System

Das Telekommunikationssystem ermöglichte als einziges die Sprach-, Bild- und Datenverbindung zwischen einem Apollo-Raumschiff und dem Bodennetz der Funkstationen für die bemannte Raumfahrt der NASA.

Die Flugleiter konnten mit den Astronauten sprechen und diese mittels TV-Bild im Kommandomodul überwachen. Weiter konnten PCM-kodierte Telemetrie-Daten für die Überwachung des Raumschiffs, verschiedener Subsysteme und medizinische Parameter der Besatzung empfangen und ausgewertet werden. Daneben wurde das Telekommunikationssystem im wesentlichen auch für die Sprachverbindung zwischen den Astronauten innerhalb des Kommandomoduls und zwischen Astronauten im Kommandomodul und der Mondlandefähre eingesetzt.

Zusammengefasst stellte das Telekommunikationssystem eine komplexe Infrastruktur für vielfältigste Sprach-, Bild- und Datenanwendungen bereit:

- zwischen den drei Astronauten im Kommandomodul mittels lokalem Intercom
- zwischen Kommandomodul und Bodennetz der Funkstationen über eine S-Band-Verbindung (auf rund 2.2 GHz) und über eine VHF-Verbindung (auf rund 260 und 290 MHz) im erdnahen Orbit oder während der Bergung

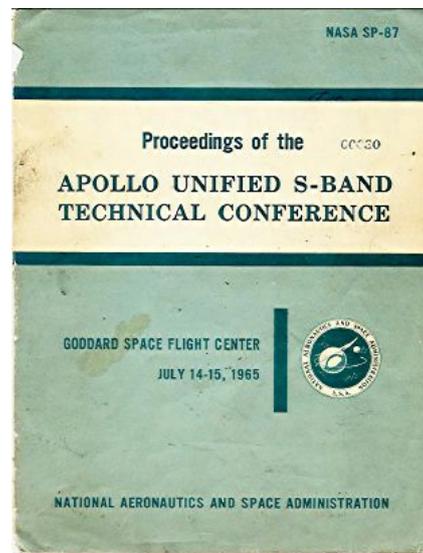


Abbildung 8: Sitzungsbericht zur Konzeption des Unified S-Band-Equipment (USBE) der technischen Konferenz am Goddard Space Flight Center vom Juli 1965

- zwischen Kommandomodul und einem Astronauten bei Arbeiten im Weltraum (EVA) über eine VHF-Verbindung
- zwischen Kommandomodul und Mondlandefähre im Weltraum über eine VHF-Verbindung
- zwischen Kommandomodul und dem Kontrollzentrum vor und während dem Start mittels PAD COMM
- zwischen Kommandomodul und Tauchern während der Bergung im Meer
- Empfang von Statusdaten des Kommandomoduls und des Servicemoduls
- Empfang von Statusdaten der Astronauten (biomedical Status)
- Überwachen der Aktivitäten der Astronauten im Kommandomodul mittels Fernsichtkamera

- digitale Datenübertragung für den On-Board-Computer im Kommandomodul und der Mondlandefähre
- Empfang und Umsetzung von Steuerbefehlen in Echtzeit für Systeme im Kommandomodul
- Entfernungsmessung zwischen Kommandomodul und Bodennetz der Funkstationen über eine S-Band-Verbindung
- Entfernungsmessung zwischen Kommandomodul und Mondlandefähre
- Entfernungsmessung bei Andocken zwischen Mondlandefähre und Kommandomodul (Rendezvous Radar Transponder)
- Funktion als VHF-Bake für die Ortung des Kommandomoduls auf dem Meer

Die hohen Anforderungen an die Verfügbarkeit des Kommunikationssystems setzten voraus, dass die meisten Komponenten redundant konzipiert wurden.

## 2.2 Apollo Guidance Computer

Der Apollo Guidance Computer (AGC) war der bei den Apollo-Raumflügen eingesetzte Navigations- und Steuerungscomputer. Er wurde benutzt um in Echtzeit Fluginformationen zu sammeln und zur Verfügung zu stellen, sowie alle Navigationsfunktionen des Apollo-Raumfahrzeugs und während gewissen Momenten die Triebwerke automatisch zu steuern. Er war damit das erste erkennbar moderne eingebettete System.

Dieser wurde ab 1961 für das Apollo-Programm unter der Leitung von Charles Stark Draper am MIT Instrumentation Laboratory entwickelt. Die bei den Flügen benutzte Hardware wurde von Raytheon hergestellt.

Bei jedem Mondflug wurden jeweils zwei AGC eingesetzt. Einer im Kommandomodul

(CM) des Apollo-Raumfahrzeugs und einer in der Mondlandefähre (LM). Beide Systeme waren baugleich aber mit unterschiedlicher Software ausgestattet. Der AGC war Bestandteil des sogenannten Primary Guidance, Navigation and Control System (PGNCS), dem unabhängigen inertialen Navigationssystem der Apollo-Raumfahrzeuge.



Abbildung 9: Benutzerschnittstelle (DSKY) des Apollo Guidance Computer

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.

Im Rahmen des Vortrags wird die Bedienung und das Verhalten des Apollo Guidance Computer (AGC) mit der virtuellen Software-Emulation yaAGC<sup>1</sup> und yaDSKY<sup>2</sup> vorgestellt.

<sup>1</sup>yaAGC is a computer program which emulates the behavior of the Apollo Guidance Computer (AGC). It is a virtual computer (existing within, for example, a desktop PC) which is capable of running software written for the original AGCs used in the Apollo project.

<sup>2</sup>yaDSKY is a simulation of the Display/Keyboard used in Apollo. It supplies input to yaAGC, or receives output from it.

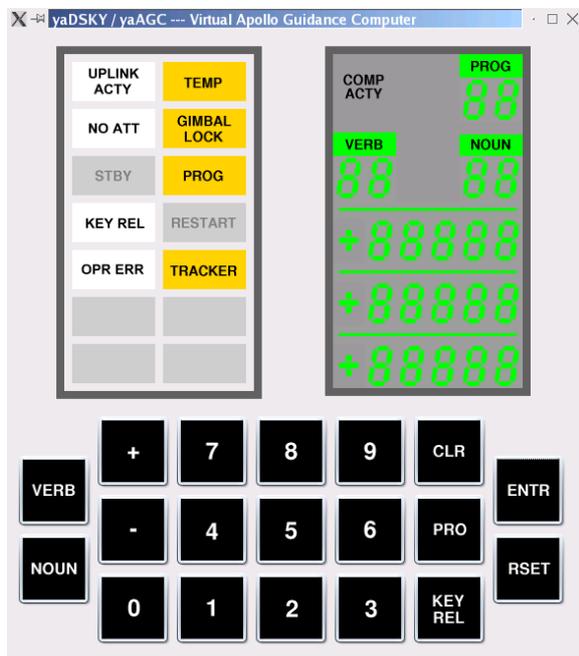


Abbildung 10: Bedienungsfläche yaDSKY des virtuellen AGC yaAGC

### 3 Aufruf an Hör- und Funkamateure

Der Referent interessiert sich für Berichte von Hör- oder Funkamateuren, welche seinerzeit den Funkverkehr einer Apollo-Mission empfangen und mithören konnten. Ein kurzer Bericht über die Empfangsanlage und die damit verbundenen Erlebnisse als Brief oder Mail wäre für die Vorbereitung des Vortrags sehr interessant. Besten Dank für die aktive Unterstützung.

### 4 Hinweis

Die notwendigen Recherchen und das Zusammenstellen einer Präsentation über das *Apollo Telecommunication System* und den *Apollo Guidance Computer* sind mit einem hohen zeitlichen Aufwand verbunden. Oft ist es schade, dass der grosse Aufwand nur für eine kleine

Anzahl von interessierten Personen von Nutzen ist. Deshalb steht der Referent gerne weiteren Sektionen der USKA oder anderen interessierten Kreisen für eine Wiederholung des Vortrags zur Verfügung. Die Postanschrift und Mail-Adresse des Referenten sind auf der Titelseite des vorliegenden Artikels zu finden.

## 5 Referent

Lorenz Born, geboren 1964, wohnt und arbeitet in Bern. Nach einer Berufsausbildung als Elektroniker bildete er sich zum diplomierten Elektro-Ingenieur FH der Fachrichtung Nachrichtentechnik weiter. Im Anschluss daran folgte ein zweites Studium zum diplomierten Software-Ingenieur FH/NDS.

Neben seinem allgemeinen Interesse für Technikgeschichte beschäftigt er sich nebenberuflich seit einigen Jahren mit der aktuellen Technologie von Raumfahrtsystemen (insbesondere Kleinsatelliten der Micro- und Picosatelliten-Klasse) und verfolgt mit Interesse das wissenschaftliche Programm der ESA und NASA. Er ist Mitglied der Astronomischen Gesellschaft Bern und als aktiver Funkamateur Mitglied der USKA Sektion Bern.