

„Raketen sind kompliziert“

Hausarbeit

LEA SOPHIE KREMPIN

Technologie 4

Elektronik und digitale Technologie

Frederic Kreutzer

Wintersemester 2021/22

5. Fachsemester

Matrikel-Nr. 2941

Inhaltsverzeichnis

1	Gliederung	3
2	Wettlauf ins All	4
2.1	Sputnik	4
2.2	Erste Schritte der Weltraumerkundung der USA	5
2.3	Gründung der NASA	5
2.4	Der erste Mensch im Weltall	6
3	Apollo und Saturn Rakete	7
3.1	Apollo Programm	7
3.2	Saturn-I	7
3.3	Saturn-IB	8
4	Saturn V	10
4.1	Saturn V S-IC - erste Stufe	11
4.2	Saturn V S-II - zweite Stufe	12
4.3	Saturn V S-IVB - dritte Stufe	13
4.4	Saturn V IU - Steuerung	14
5	Schluss	15
	Literaturverzeichnis	16

Kapitel 1

Gliederung

Ziel dieser Hausarbeit zum Seminar „Technologie 4 – Digitale Technologien und Elektronik“ ist es, die im Seminar besprochenen Aspekte der Einführung in die Elektronik mit einer Auseinandersetzung über Raketentechnologie und Raumfahrtmissionen der NASA zu vertiefen und zu erweitern. Es wird aufgezeigt, wie sich die Raumfahrttechnik mit den ersten künstlichen Satelliten bis hin zur Saturn V Rakete der NASA, die die ersten Menschen 1969 auf dem Mond landen ließ stetig weiterentwickelt hat. Motor der Entwicklung ist hierbei das Streben der verschiedenen Nationen, als Erstes ein neues Ziel zu erreichen und so technologische Überlegenheit zu demonstrieren.

In Kapitel zwei wird zunächst der Wettlauf ins All von verschiedenen Seiten aus betrachtet. Der Fokus liegt auf einer geschichtlichen Einordnung der damaligen Technologien in der Raumfahrt, die den extremen Bedingungen des Weltalls, des Starts und der Landung ausgesetzt sind. Es wird ein Einblick auf die ersten Anfänge der Weltraumerforschung durch Roboter gegeben. In diesem und den folgenden Kapiteln tritt immer wieder Wernher von Braun mit seinem Team am Marshall Space Flight Center, einer Einrichtung der National Aeronautics and Space Administration (NASA) in Huntsville Alabama, in den Vordergrund, der mit seinen Erfindungen maßgeblich zur Raumfahrt beigetragen hat. Es folgt ein Kapitel, welches sich mit dem Apollo Programm der US-amerikanischen Weltraumbehörde NASA befasst. Hierfür werden die zwei ersten Raketentypen Saturn-I und Saturn-IB der übergeordneten Saturn Familie näher betrachtet und erklärt. Die im Vorfeld beschreibenden Schritte und Forschungsstände, resultierten in der Konstruktion der Saturn V, eine der leistungsstärksten und höchsten Trägersystemrakete, die bis heute konstruiert und geflogen wurde.

Wettlauf ins All

2.1 Sputnik

Vierter Oktober 1957, mit dem erfolgreichen Start des ersten künstlichen Satelliten Sputnik 1 der Sowjetunion in die Erdumlaufbahn, beginnt das Zeitalter der Raumfahrt und im Wettlauf um den Weltraum wurde der erste Meilenstein erreicht. Die 83,6 kg schwere Satellitenkugel wurde aus einem starken Stahlblech mit einer Aluminiumlegierung, einem Wärmeschutzblech an der vorderen Kugel Hemisphäre und zwei Antennenpaaren konstruiert. Der 58 cm im Durchmesser große Satellit sendete 21 Tage lang Funksignale in einem Pieps Ton auf zwei unterschiedlichen Kurzwellen MHz Frequenzen zur Erde zurück. Der Satellit war ebenfalls mit einem Temperaturmesser, drei Akkus und einem System zur Wärmeregulation ausgestattet.¹ Sputnik 1 galt als Notlösung, da der eigentlich geplanten und mit weiteren wissenschaftlichen Instrumenten ausgestattete Satellit der Sowjetunion nicht rechtzeitig konstruiert und gefertigt werden konnte.² Eine Verschiebung und Verzögerung des Starts war aufgrund des angekündigten Satelliten der USA mitten in der Hochphase des globalen Ost-West-Konflikts ausgeschlossen. Der erfolgreiche Start mit einer umgerüsteten militärischen Interkontinentalrakete R-7 war ein Triumph gegen die USA und ein globaler Ansporn für die weiteren Schritte bis hin zu einer bemannten Weltraummission.³

¹[Kaku, 2019, vgl. S. 44 ff.]

²[Pearson, 2020, vgl. S. 15]

³[Kaku, 2019, vgl. S. 44 ff.] und [Piper, 2019, vgl. S. 21 ff.]

2.2 Erste Schritte der Weltraumerkundung der USA

Als Antwort auf den weltweiten „Sputnik Schock“, gründeten die USA die Defence Advanced Research Projects Agency (DARPA) im Pentagon, welche sich unter anderem mit der Entwicklung und Investition in neuartige Technologien befasst und neben der Ausführung und Zulassung von militärischen Waffen und Raketensystemen z.B. auch die Vorläufer des heutigen Internet gründeten.⁴ Der erste erfolgreich gestartete US-amerikanische Satellit, genannt Explorer 1, wurde in einer Jupiter-C Juno-1 Rakete am 31 Januar 1958 in den Orbit transportiert, drei Monate nach Sputnik.⁵ Die Raketen und Booster Technologie der Juno, sowie weitere Raketensysteme, wurde durch die DARPA autorisiert. Die Mission des Satelliten lieferte zusammen mit dem Mikrometeoriten Detektor und den Strahlungsinstrumenten von Dr. James Van Allen erstmals wichtige Informationen über kosmische Strahlung in der Erdumlaufbahn.⁶

Die Jupiter-C Juno-1 Rakete bestand aus einer umkonstruierten militärischen Redstone Rakete, die auf dem deutschen A-4 Großrakentyp basierte. Sowohl die Jupiter-C Juno-1 als auch die Redstone und die deutsche A-4 Rakete wurden unter der Leitung des deutschen Raketenforschers Wernher von Braun konstruiert. Wernher von Braun (* 23. März 1912 - † 16. Juni 1977) gilt als umstrittener Pionier der Raketenforschung. Vor seiner Tätigkeit und Forschung in den USA, entwickelte er als leitender Raketentechniker und Parteimitglied der NSDAP in der Zeit des Nationalsozialismus das Großraketenystem Aggregat 4 (kurz A-4). Die 14m lange Großrakete, betrieben mit einem Kreiselkompasssystem und über 38.000 PS Schubkraft, wurde im zweiten Weltkrieg unter dem Propagandanamen „Vergeltungswaffe 2“ (kurz V2) im deutschen Reich gegen militärische und zivile Ziele gestartet und verwendet.⁷

2.3 Gründung der NASA

Bevor das Raumfahrtprogramm der Sowjetunion die ersten erfolgreichen bemannten Missionen mit den Wostok Raumschiffen absolvieren konnte, wurde am 29 Juli 1958 vom US-amerikanischen Präsident Eisenhower die National Aeronautics and Space Administration (NASA) als Nachfolger des National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) gegründet. Das erste Projekt der NASA war das „Mercury

⁴[DARPA]

⁵[JPL, 2005]

⁶[DARPA] und [NASA Explorer]

⁷[Kaku, 2019, vgl. S. 40 ff.], [Piper, 2019, vgl. S. 10 ff.] und [Echternkamp, BPB, 2015]

Programm“, welches das Ziel verfolgte, einen Menschen in den Orbit zu bringen, gefolgt vom „Gemini Programm“, in welchem die Technologien für die Reise zum Mond und im darauf folgenden „Apollo Programm“ mit bemannten Raumflügen getestet wurden.⁸

„I believe that this nation should commit itself to achieving the goal, before this decade is out, of landing a man on the moon and returning him safely to the Earth. John F. Kennedy 25. Mai 1961“⁹

2.4 Der erste Mensch im Weltall

Nur dreieinhalb Jahre nach dem Start von Sputnik erreichte die russische Weltraumagentur den zweiten Meilenstein: Am 12 April 1961 startete die erste bemannte Mission mit dem „Wostok“ Raumschiff, einer dreistufigen R-7 Interkontinentalrakete aus zwei Teilen. In der runden Wostok Landekapsel in der obersten Stufe waren Kommunikations- und Telemetriesysteme und Sensoren für den Wiedereintritt und die Landung auf der Erdoberfläche verbaut. Im unteren kegelförmigen Teil befand sich das Bremstriebwerk mit flüssigem Tieftemperaturtreibstoff. Der russische Kosmonaut Juri Gagarin umkreiste in 108 Minuten die Erde und wurde nach der Landung als Held im Wettlauf um den Weltraum propagiert.¹⁰

⁸[Pearson, 2020, vgl. S.29]

⁹[Gilruth, NASA, 1969]

¹⁰[Laack, NDR, 2021] und [Piper, 2019, vgl. S. 25 - 26]

Kapitel 3

Apollo und Saturn Rakete

3.1 Apollo Programm

Die Rede des Präsidenten Kennedy startete das Apollo Programm der NASA. Heute erinnert sich die Weltbevölkerung immer noch an die Apollo 11 Mission, die erstmals Menschen mit einer Saturn V auf dem Mond landen ließ. Hinter den Apollo Saturn Missionen standen circa 20.000 Unternehmen und über 300.000 Menschen. Der Weg zu diesem Erfolg wurde durch eine Reihe Misserfolge in der Erprobung und Entwicklung der Raketentechnologie begleitet. Nach einem tragischen Unfall der Apollo 204 Mission, später als die erste Apollo Mission der NASA umbenannt, bei dem drei Astronauten bei einem Bodentest auf der Startrampe von Cape Kennedy durch ein mit reinem Sauerstoff ausgelöstes Feuer im Kommandomodul einer Saturn-IB SA-204 ums Leben kamen, startete die USA erst im Jahr 1968 mit Apollo 7 in einer Saturn-IB SA-205 die erste bemannte Raumfahrtmission.¹

3.2 Saturn-I

Der zuvor von der NASA unter der Leitung von Wernher von Braun entwickelte und in unbemannten Flügen getestete Saturn-I Typ, früher noch Juno V, bestand aus zwei Stufen, die erste Stufe (S-I) wurde mit acht H-1 Triebwerken mit Kerosin (Rocket Propellant RP-1) als Verbrennungsträger und flüssigen Sauerstoff als Oxidator betrieben. Die jeweiligen Triebwerke glichen den militärischen Redstone Triebwerken, die Brennkammern waren durch Pumpen mit den Kerosin- und Sauerstofftanks verbunden und konnten fast 900kN Schub bei einer Brenndauer

¹[Kaku, 2019, vgl. S. 45 ff.], [Piper, 2019, vgl. S. 28]

von circa 150 Sekunden erzeugen.² Die Kurskorrektur der Rakete konnte durch vier, um wenige Grad um die Nick- und Gierachse schwenkbare Triebwerke durchgeführt werden.³ Probleme in der Entwicklung der H-1 Triebwerke traten durch eine instabile Verbrennung des Treibstoffgemischs bei Bodentests auf, Rissen in den Flüssigsauerstoffpumpen aufgrund von zu hohen Spannungen in der Aluminiumlegierung oder durch Aufplatzen von Rohren und den Wänden der Schubkammern aufgrund einer Reaktion der Nickellegierung im Inneren mit dem Treibstoff. Die zweite Stufe (S-IV) bestand aus sechs RL-10 Triebwerken, die mit den beiden kryogenen Gasen Sauerstoff und Wasserstoff betrieben wurden.⁴ Diese LH2/LOX Kombination stellte die NASA Ingenieure zu Beginn der neuen Entwicklung vor die technischen Herausforderungen einer hohen Kühltemperatur und einer Isolierung beider Tanks, da Wasserstoff als hochgradig kryogen eingestuft ist, eine geringe Masse und die Gase in einem flüssigen Zustand vorlagen. Die Kombination LH2/LOX erlaubte eine fast 40% Erhöhung der Schubkraft im Vergleich zu vorherigen Modellen ohne Wasserstoff, einen 66,7kN Schub im Vakuum, eine Brenndauer von circa 480 Sekunden und einen 77kN Schub beim Start. Jahrzehnte danach diente diese Forschung der Entwicklung weiterer Trägerraketensysteme weltweit, bspw. Ariane 5 der ESA und des US-Space Shuttles.⁵

3.3 Saturn-IB

Die Saturn-IB Rakete, welche unter anderem bei Apollo 5 und Apollo 7 erfolgreich zum Einsatz kam, entstand auf Basis der Saturn I Rakete. In der ersten Stufe (S-1B) der Saturn-IB kamen acht verbesserte H-1 Triebwerke, die eine höhere Schubkraft lieferte und damit mehr Nutzlast ermöglichte, zum Einsatz. Die acht Triebwerke mit dem Sauerstoff und Kerosin RP-1 Tanks, waren wie bei der Saturn-I, achteckig um den zentralen Verbrennungstank angeordnet und wurden weitestgehend bauidentisch konstruiert. Die zweite Stufe (S-IVB) wurde, im Gegensatz zu den sechs RL-10 Triebwerken der S-IV Stufe der Saturn-I, einmotorig mit einem J-2 Triebwerk betrieben.⁶ Die unterschiedlichen Ziele der Missionen, wie bspw. die Zündung des Triebwerks im Vakuum, zeichneten sich durch einzelne Konfigurationen am Triebwerk und in der Nutzlast ab. Eine eigene Zündung der Triebwerke im Vakuum und in der Erdumlaufbahn konnte durch

²[Akens, NASA, 1968]

³[Bilstein, NASA, 1996, vgl. Kapitel 3]

⁴[Sloop, NASA, 1959]

⁵[Bilstein, NASA, 1996, vgl. Kapitel 4], [Akens, NASA, 1968] und [NASA, 2000]

⁶[Bilstein, NASA, 1996, vgl. Kapitel 5]

ein anpassbaren Mischverhältnis im J-2 Triebwerk von Sauerstoff und Wasserstoff über ein pneumatisches Ventilsystem gewährleistet werden.⁷ Das Triebwerk konnte bis zu 1020kN Schub erzeugen. Die ersten Ideen für das J-2 Triebwerk waren Konstruktionen aus dem Flugzeugbau.⁸ Die Ingenieure von Douglas Aircraft ließen sich von einer Schalenkonstruktion für die Stabilisation der Tanks und der Kühlungssysteme inspirieren. Eine, im Gegensatz zur S-IV Stufe, gemeinsame Trennwand von 5cm Dicke der Kraftstoff- und Oxidationsmitteltanks ermöglichte eine Gewichtsreduktion der Aluminiumkonstruktion. Neben dem J-2 Triebwerk waren Flugsteuersysteme mit Lagesensoren, hydraulisch elektrische und motorbetriebene Pumpen, Aktuatoren, die elektrische Signale in mechanische Impulse umwandeln und Hilfsantriebssysteme, welche die Koordination im Weltall übernahmen, verbaut. Die jeweiligen elektrischen Systeme, wie auch Telemetrie-, Umwelt-, Kampfmittel- und Funksysteme befanden sich in der Instrumenteneinheit oberhalb der S-IVB Stufe und wurden von einem übergeordneten Systemkomplex mit Sensoren überwacht.⁹

Mit der Saturn-I und der Saturn-IB hatte die NASA die Grundlagen für den ersten Flug eines US-amerikanischen Astronauten ins Weltall gelegt. Die nächsten Schritte waren die Entwicklung einer Großrakete, die einen bemannten Flug bis zum Mond und zurück leisten konnte.

⁷[Sloop, NASA, 1959]

⁸[Bilstein, NASA, 1996, vgl. Kapitel 5]

⁹[Bilstein, NASA, 1996], [Akens, NASA, 1968] und [NASA, 2000]

Kapitel 4

Saturn V

Die Mondlandung am 20. Juli 1969 mit einer Saturn V der NASA war ein Ereignis in der Raumfahrttechnik, das die große Nutzlast und Leistungsmöglichkeiten der Saturn Familie repräsentierte und den USA den herausragenden Meilenstein im Wettlauf ins All erreichen ließ. Weltweit wurde die erste Landung der Astronauten Neil Armstrong, Edwin „Buzz“ Aldrin und Michael Collins in Fernsehübertragungen gezeigt, rund 600 Millionen Menschen verfolgten die ersten Schritte zweier Menschen auf der Mondoberfläche und die globalen, politischen Unruhen, die Katastrophen und der Vietnam Konflikt rückten für eine kurze Zeit aus dem Fokus. Die Saturn V wurde neben der Apollo 11 Mission erfolgreich bei den Missionen 4, 6 und 8 bis 17 eingesetzt.¹ Die 111 m hohe Heavy Lift Rakete war bis dato die stärkste Rakete der NASA und übertraf mit ihrer Nutzlast und Leistung die Raketen Saturn-I und Saturn-IB weit.² Im Gegensatz zu den zweistufigen Vorläufern, wurde bei Saturn V eine dritte Stufe und ein neues Triebwerksystem verbaut. Die Leitung über den Bau des größten Modells der Saturn Familie übernahm erneut Wernher von Braun und sein Team im Marshall Space Flight Center in Huntsville, Alabama.

„Sie, die Saturn V, soll nicht zerstören, sondern den Menschen den Weg in eine neue Dimension ebnen.“ Wernher von Braun“³

¹[Bilstein, NASA, 1996, vgl. Kapitel 1]

²[Schadwinkel, 2019]

³[ZDF-History, 2020]

4.1 Saturn V S-IC - erste Stufe

Die erste Stufe (S-IC), konstruiert und gefertigt von der Boeing Company ab dem 15.12.1961, besaß einen Durchmesser von 10m, eine Länge von 42m und war somit 17m länger als die erste Stufe S-I des Vorläufers Saturn-IB.⁴ Die Hauptkomponenten der untersten Stufe gliederten sich in einen Treibstofftank mit 810.700 l RP-1 Kerosin, einen 1.311.100l Flüssigsauerstofftank, einen Zwischentank mit Saugleittunnelsystemen, Schürzen und Vorrichtungen für fünf Triebwerke des F-1 Typ von Rocketdyne.⁵

Jede Aluminiumplatte der Tanks wog vor dem maschinellen Fräsprozess jeweils über fünf Tonnen und konnte ab einer Wandstärke von 60cm auf eine Tonne Gewicht reduziert werden. Das Gewicht der S-IC Stufe betrug 136.077Kg. im nicht befüllten Zustand. Die großen und vor allem schweren Metallelemente konnten nicht unter Standard-Schweißverfahren verarbeitet werden, da teilweise nur eine Toleranz von 0,5mm erlaubt war. Boeing entwickelte hierfür neue Technologien für den Schweißprozess, die den enorm hohen Belastungen, der Beschleunigung, der Vibration und den Anforderungen im Vakuum gerecht werden. Die Außenverkleidung der Stufe wurde aus Titan gefertigt und konnte eine Temperatur von bis zu 1.000 Grad Celsius aushalten.⁶ Im Bereich des aus der Aluminiumlegierung 7075 gefertigten Zwischentanks fanden Telemetriesensoren, elektrische Leitungen und Vorrichtungen für die Zwischenpumpen Platz. Die elektrischen Systeme wurden durch zwei Batterien mit Strom versorgt.⁷

Vier F-1 Triebwerke waren mittels Motorhalterungen und Kraftstoffsaugleitungen quadratisch um ein zentrales fünftes F-1 Triebwerk angeordnet, konnten bis zu 4500kN Schub erzeugen und kardanisch um die Nick- und Gierachse bewegt werden. Die F-1 Triebwerke unterschieden sich von den H-1 Triebwerken der vorherigen Saturn Modelle, die einen maximalen Schub von 912kN erreichten, durch ein erweitertes Konzept mit Turbopumpen, die innerhalb von einer Sekunde mehrere tausend Liter RP-1 Kerosin in die Brennkammer pumpten und eine generell Größe von 5m Höhe und einem Durchmesser von 3,7m.⁸

Acht außen an der Rakete angebrachte Retro Raketen stabilisierten die

⁴[Boeing]

⁵[Bilstein, NASA, 1996, vgl. Kapitel 3]

⁶[Bilstein, NASA, 1996, vgl. Kapitel 7]

⁷[Bilstein, NASA, 1996, vgl. Kapitel 7 197]

⁸[Boeing]

Stufe bei dem Entkopplungsprozess, der die Stufe durch sprengbare Schnüre und Bolzen von den beiden oberen Stufen trennte. Während den ersten Testflügen liefen über 900 separate Messungen und Überwachungssysteme.⁹

4.2 Saturn V S-II - zweite Stufe

Die zweite Stufe der Saturn V wurde ab dem 11.09.1961 von der amerikanischen Luft- und Raumfahrt Firma North American Aviation, heute Teil von Boeing, entwickelt. Die durch fünf J-2 Triebwerke von Rocketdyne angetriebene Stufe wurde an die erste und zweite Stufen im System angepasst. Sie misst einen Durchmesser von 10m und eine Gesamthöhe von 24,8m bei einem Leergewicht von 43.100kg. In der S-II Stufe waren zwei Tanks mit einem integrierten Doppelboden für die kryogenen Triebmittel Wasserstoff und Sauerstoff verbaut. Im oberen Tank befand sich Wasserstoff, im unteren Sauerstoff.

Der LOX Tank wurde mit einer neu entwickelten Sprengform unter Wasser hergestellt. Die Bleche wurden unter dieser Technologie durch gezielte Sprengungen in die richtige, geschwungene Form gedrückt. Eine wabenförmige Isolationsschicht aus Phenolharz, Polyurethan Schaum und Nylon Phenolharz wurde mittels einer digitalen Maschine passgenau berechnet, betrug teilweise eine Dicke von 13mm und wurde innenseitig aufgetragen.¹⁰

Der LH2 Tank bestand aus einzelnen, miteinander verschweißten Ringen, betrug ein Volumen von über 1Mio. Liter und wurde mit 636 Bolzen an der äußere Stufenkonstruktion befestigt. Die äußere Schicht der Stufe wurde aus einer Aluminiumlegierung (2014 T6) gefertigt, die bis dato nur zwangsweise zum Schweißen verwendet wurde, aber eine erhöhte Steifigkeit und eine hohe Belastungsgrenze unter den kryogenen Stoffen LH2/LOX aufwies.¹¹ Durch den Durchmesser von 1m, betrug die erforderliche Schweißnaht eine Länge von 31,4m und eine Versatztoleranz von nur 0,3mm.¹² Winzige Risse und geringe Ungenauigkeiten konnten zum Zusammenfall der Rakete führen, wie es sich am 29.09.1965 in Seal Beach bei einem Testdurchlauf ereignete. Es folgten weitere in sich zerfallende S-II Stufen, sowie ausgelöste Brände und Explosionen. So führten die immer

⁹[Bilstein, NASA, 1996, vgl. Kapitel 7]

¹⁰[Jetzer, NASA, 2010]

¹¹[NASA, 2000]

¹²[Bilstein, NASA, 1996, vgl. Kapitel 7]

wieder auftretende Schweißfehler zu der Entwicklung des Tungsten-Inertgas (WIG) Schweißverfahren.¹³

Die S-II Stufe wurde über einen sich verjüngenden Stufenadapter als Verbindungsring mit der dritten Stufe S-IVB verbunden.

4.3 Saturn V S-IVB - dritte Stufe

Die dritte Stufe der Saturn-V wurde auf Basis der obersten S-IVB Stufe der Saturn-IB und der obersten S-IV Stufe der Saturn-I nahezu bauidentisch von McDonnell Douglas Aircraft ab 1960 konstruiert. Der große Vorteil war, dass sich die Ingenieure auf der bereits erprobte Technik aufbauen konnten und somit Geld und vor allem Zeit für den Wettlauf der globalen Nationen sparen konnte. „Die S-IVB der Saturn V umfasste sechs Grundsysteme: Antrieb, Flugsteuerung, elektrische Energieversorgung, Instrumentierung und Telemetrie, Umweltkontrolle und Sprengmittel.“¹⁴ Die Stufe war im Gegensatz der älteren S-IVB Stufen Modelle durch einen zusätzlichen Druckaufbau im Tank und Triebwerk durch das Gas Helium wiederzündbar. Bei der Mondmission sahen die Ingenieure zwei Zündsequenzen vor, um die Entfernung und die Nutzlast zu bewerkstelligen, die Erprobung des Triebwerks in vorherigen unbemannten Apollo Missionen zeigte sogar eine dreimalige Wiederzündbarkeit.¹⁵ Die Stufe wurde durch ein 1.578kg schweres J-2 Triebwerk mit einem 1020kN Schub im Vakuum angetrieben, welches bspw. in der zweiten Stufe S-II fünffach eingesetzt wurde. Die Stufe verwendete, wie auch die zweite Stufe, die beiden Triebmittel Wasserstoff mit einem Volumen von 252.750l im oberen Tank in flüssiger Form und flüssigen Sauerstoff als Oxidator mit einem Volumen von 73.280l im unteren Tank.¹⁶ Die Tanks aus der Aluminiumlegierung 2014 T6 wurden mit einem doppelten Boden verbunden und mit einer neu von Douglas Aircraft erforschten Technologie der synthetischen Herstellung von Balsaholz mit den Anforderungen einer „Leichtigkeit, einfache Formbarkeit und Isolierfähigkeit“.¹⁷ Es entstanden einzeln an den Tank angepasste Pattern, die später mit dem Tank verklebt wurden und so eine optimale Isolierung boten.¹⁸

¹³[Bilstein, NASA, 1996, vgl. Kapitel 7]

¹⁴[Bilstein, NASA, 1996, Kapitel 6, übersetzt]

¹⁵[Bilstein, NASA, 1996, vgl. Kapitel 6]

¹⁶[Bilstein, NASA, 1996, vgl. Kapitel 6]

¹⁷[Bilstein, NASA, 1996, Kapitel 6, übersetzt]

¹⁸[Bilstein, NASA, 1996, vgl. Kapitel 6]

4.4 Saturn V IU - Steuerung

Die hohe Fluggeschwindigkeit und erforderliche Präzision im Flug, macht die Koordination über ein vollautomatisches Kontrollsystem unerlässlich. Dabei fasste der Bordcomputer, entworfen von der Firma IBM, bei der Mondlandung 1969 nur 2,4MB Codespeicher, konnte 11.300 Befehle pro Sekunde ausführen und hatte eine Gesamtkapazität von 917.504 Bits.¹⁹ Der digitale Bordcomputer, sowie ein Datenadapter, Mikrominiaturschaltkreise und Flugleitsysteme, Ortungsinstrumente und Umgebungssensoren waren in einer über der dritten Stufe sitzenden Instrument Unit (IU) verbaut. Die Daten über bspw. Lageregelung, Positionierung, Schub und Kurskorrektur, gelangen über Aktuatoren und elektrische Schaltsysteme zu z.B. den Triebwerken und den Triebmittelschaltungen und konnten so die gesamte Lage der Stufen über die drei Roll, Nick und Gier Achsen durch das Auxiliary Propulsion System (APS) im Raum erfassen und überwachen.²⁰ Ein computergesteuertes System innerhalb der 1m hohen und 7,6m im Durchmesser breiten IU überwacht die kontrollierte Sprengung und Trennung der einzelnen Stufen voneinander. Neben der Überwachung und Kontrolle über z.B. Temperatur, Luftdruck, Gyroskop und Accelerometer Sensoren durch die NASA vom Boden aus, konnte so auch das digitale System direkt in den Zustand der Stufe eingreifen. Die Daten aus den Tests, der Sensorik und den elektrischen Systemen wurden in Black Boxen gespeichert und für weitere Missionen und Anforderungen ausgewertet.²¹

¹⁹[Bilstein, NASA, 1996, vgl. Kapitel 8]

²⁰[Bilstein, NASA, 1996, vgl. Kapitel 8]

²¹[Bilstein, NASA, 1996, vgl. Kapitel 8]

Kapitel 5

Schluss

Die aufeinander aufbauenden Entwicklungen der Raketentechnologie zeigen, wie die NASA sich stetig dem von John F. Kennedy gesetzten Ziel genähert haben. Auf dem Weg zur Saturn V wurden wie dargestellt zur Lösung von Problemen neue und vielfältige Technologien entwickelt, die heute zum Stand der Technik zählen. Es wurde also nicht nur der Weg in den Weltraum und bis auf den Mond geebnet, sondern auch Verfahren geschaffen, die in multiplen Bereichen zum Einsatz kommen.

Literaturverzeichnis

- [Piper, 2019] Piper, Sven: „Space – Die Zukunft liegt im All“, Springer Berlin, Heidelberg, 2019
- [Petranke, 2016] Petranke, Stephen: „Unser Leben auf dem Mars“, Fischer Taschenbuch, Frankfurt am Main, 2016
- [Kaku, 2019] Kaku, Michio: „Abschied von der Erde: Die Zukunft der Menschheit“, Rowohlt Buchverlag, Reinbek, 2019
- [David, 2017] David, Leonard: „Der Mars: Wie wir den Roten Planeten besiedelten“, National Geographic Buchverlag, München, 2017
- [Pearson, 2020] Dr. Pearson, Ezzy: „Robots in Space: The Secret Lives of Our Planetary Explorers“, The History Press, Cheltenham, 2020
- [DARPA] DARPA: „About DARPA“, <https://www.darpa.mil/about-us/about-darpa>, DARPA Verteidigungsministerium, Washington, DC, Vereinigte Staaten, Stand 29.04.2022
- [Saturn V, DARPA] DARPA: „Saturn V and Centaur Rockets“, <https://www.darpa.mil/about-us/timeline/rocket-development>, DARPA Verteidigungsministerium, Washington, DC, Vereinigte Staaten, Stand 29.04.2022
- [Launius, NASA, 2005] Launius, Roger: „Sputnik and the Origins of the Space Age“, <https://history.nasa.gov/sputnik/sputorig.html>, Washington, DC, Vereinigte Staaten, 2005, Stand 29.04.2022
- [NASA Explorer] NASA: „Explorer 1 Overview“, https://www.nasa.gov/mission_pages/explorer/explorer-overview.html, Washington, DC, Vereinigte Staaten, Stand 29.04.2022

- [Akins, NASA, 1968] Akins, David S.: „Saturn Illustrated Chronology - Part 2 January 1961 through December 1961“, <https://history.nasa.gov/MHR-5/part-1.htm>, National Aeronautics and Space Administration NASA History Office, Washington, D.C., 1968, Stand 29.04.2022
- [Bilstein, NASA, 1996] Bilstein, Roger E.: „Stages to Saturn A Technological History of the Apollo/Saturn Launch Vehicles“, <https://history.nasa.gov/SP-4206/sp4206.htm>, National Aeronautics and Space Administration NASA History Office, Washington, D.C., 1996, Stand 29.04.2022
- [Jetzer, NASA, 2010] Jetzer, Mike: „The Apollo Flight Journal“, <https://www.history.nasa.gov/afj/s-ii/s-ii-insulation.html>, National Aeronautics and Space Administration NASA History Office, Washington, D.C., 2010, Stand 29.04.2022
- [Akins, NASA, 1968] Akins, David S.: „APPENDIX A - SATURN MISSIONS“, https://history.nasa.gov/MHR-5/app_a.htm, National Aeronautics and Space Administration NASA History Office, Washington, D.C., 1968, Stand 29.04.2022
- [NASA, 2000] NASA: „Liquid Hydrogen—the Fuel of Choice for Space Exploration“, https://www.nasa.gov/topics/technology/hydrogen/hydrogen_fuel_of_choice.html, Washington, DC, Vereinigte Staaten, 2000, Stand 29.04.2022
- [Sloop, NASA, 1959] Sloop, John L.: „LIQUID HYDROGEN AS A PROPULSION FUEL, 1945-1959“, <https://history.nasa.gov/SP-4404/contents.htm>, Washington, DC, Vereinigte Staaten, 1959, Stand 29.04.2022
- [JPL, 2005] Jet Propulsion Laboratory: „Explorer 1“, <https://www.jpl.nasa.gov/missions/explorer-1>, California Institute of Technology, Vereinigte Staaten, 2005, Stand 29.04.2022
- [Echternkamp, BPB, 2015] Echternkamp, Jörg: „Die deutsche Kriegsgesellschaft“, Bundeszentrale für politische Bildung, <https://www.bpb.de/themen/nationalsozialismus-zweiter-weltkrieg/der-zweite-weltkrieg/>, 30.04.2015, Stand 29.04.2022
- [Laack, NDR, 2021] Laack, Stephan: „Ab ins All: Der historische Flug von Yuri Gagarin“, <https://www.ndr.de/geschichte/chronologie/Juri-Gagarin-fliegt-vor-60-Jahren-als-erster-Mensch-ins-All,gagarin140.html>, 12.04.2021, Stand 29.04.2022

- [Gilruth, NASA, 1969] Gilruth, Robert R.: „Apollo Expeditions to the Moon“, <https://www.history.nasa.gov/SP-350/ch-2-1.html>, Washington, DC, Vereinigte Staaten, 1969, Stand 29.04.2022
- [Schadwinkel, 2019] Schadwinkel, Alina: „Das dickste Ding der Menschheit“, Die Zeit - Online, <https://www.zeit.de/wissen/geschichte/2019-07/saturn-v-wernher-von-braun-apollo-11-raumfahrt-mondlandung>, 15.07.2019, Stand 29.04.2022
- [ZDF-History, 2020] ZDF-History, „Das Duell der Raketenmänner“, <https://www.zdf.de/dokumentation/zdf-history/das-duell-der-raketenmaenner-100.html>, 12.02.2020, Stand 29.04.2022
- [Boeing] Boeing: „Saturn V Moon Rocket“, <https://www.boeing.com/history/products/saturn-v-moon-rocket.page>, Boeing Company, Stand 29.04.2022