

# Unterwegs zum Mond

Von Alois Regl

## Start!

Neun Sekunden vor dem Start begannen die Funken aus den Zündeinheiten am unteren Ende der Saturn V zu sprühen. Gleich darauf pressten starke Pumpen den flüssigen Sauerstoff und das Kerosin aus den Tanks der ersten Stufe hinunter zu den Triebwerken, hinein in die Injektionskammer. Dort entzündete sich das Gemisch an den Funken und die Saturn V begann, ihren ohrenbetäubenden Lärm zu entwickeln. Fünf Sekunden vor dem Start übernahm die Instrumenteneinheit (IU) der Rakete die Kontrolle. Als erstes prüfte sie, ob alle Triebwerke korrekt liefen, dann gab sie Vollgas. Ganze 15 Tonnen Treibstoff wurden dabei in die Triebwerke gedrückt - *pro Sekunde!*

Der Abgasstrahl wurde in die mit Keramik ausgekleidete Grube unterhalb der Rakete geleitet. Gleichzeitig wurden Tonnen von Wasser in diese Grube geleitet, um die Hitze der Abgase zu kühlen. Das produzierte eine kilometerweit sichtbare weiße Wasserdampf Wolke. Von der Keramikschicht wurden bei jedem Start zwei Zentimeter abgetragen. Sie musste jedes Mal erneuert werden.

Die Saturn V zerrte und rüttelte an den starken Klammern, die die Rakete immer noch am Boden festhielten. Vorher musste noch das Steuersystem ein letztes Mal anhand eines festen Referenzpunktes am Boden initialisiert werden. Erst dann wurden die Explosivladungen gezündet, die die Halteklammern lösten. Jede dieser vier Klammern wog gut 20 Tonnen.

Mit einem Höllenlärm und dem charakteristischen Prasseln hob sich der Gigant langsam vom Startturm ab. Über 150 km weit war das Röhren und Donnern des Starts zu hören. Im 18 km entfernten Titusville zerbra-

chen bei jedem Start Dutzende Fensterscheiben.

Die Vibrationen schüttelten das Eis, das sich an den kalten Außenwänden des Sauerstofftanks gebildet hatte, ab. Es schmolz in den Flammen, bevor es den Boden erreichte (siehe Bild rechts, an der unteren, ersten Stufe).

Zwölf Sekunden brauchte die Rakete, um über den Startturm zu gelangen. Exakt in diesem Moment wurde die Kontrolle über die Rakete von Cape Kennedy an das Raumfahrtzentrum in Houston übergeben. Dort wurde der Rest der Mission abgewickelt.

## Hungrig nach Treibstoff

Eine Saturn V hat einen ungeheuren „Appetit“. Während des Tankvorgangs (dieser beginnt drei Tage vor dem Start) werden gewaltige Mengen in die Treibstofftanks gefüllt:

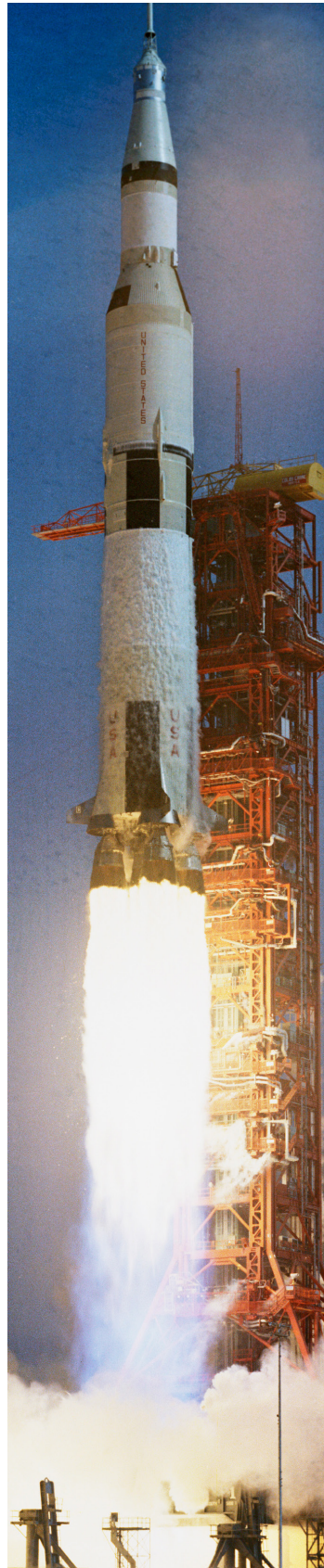
- 89 Tanklastwagen mit flüssigem Sauerstoff,
- 28 Tanklastwagen mit flüssigem Wasserstoff,
- 27 Tankwaggons mit RP-1, einer Art Kerosin

Nach elf Minuten (beim Einschwenken in die Erd-Umlaufbahn) ist der Treibstoff fast zur Gänze verbraucht.

## Was brauchen wir?

Es war lange Zeit nicht klar, wie eigentlich ein Flug zum Mond und zurück abgewickelt werden sollte.

Die ursprüngliche Idee, direkt von der Erde zum Mond zu fliegen, dort zu landen und wieder zurück zur Erde zu starten, wurde schnell verworfen. Man hätte mehrere Flüge mit einer noch deutlich stärkeren Rakete als die Saturn V (genannt „Nova“) gebraucht. Erst nach langer Diskussion wurde 1962 die dann gewählte Variante (Abstieg zum Mond mit einem separaten Landefahrzeug) fixiert und damit die Leistungsparameter der Träger Rakete festgelegt. Die Saturn V (ursprünglich C-5 genannt) war geboren.



*Bild: eine Saturn V bringt Apollo 11 Richtung Mond. In dieser Phase neigt sich die Rakete um drei Grad vom Startturm weg, um ihn nicht zu touchieren. Bild: NASA*

## Die F1-Triebwerke

Die fünf Triebwerke der ersten Stufe waren maßgeblich am Erfolg der Saturn V beteiligt. Man entschied sich (im Gegensatz zur UdSSR, siehe unten), keine existierenden Triebwerke zu verwenden, sondern eine extrem leistungsfähige Neukonstruktion anzugehen.

Die Techniker der Firma Rocketdyne hatten lange Zeit mit Instabilitäten des Brennvorganges zu kämpfen. Viele der Motoren wurden dabei während der Tests zerstört. Mit Hilfe kleiner Sprengladungen, die direkt neben dem Abgasstrahl gezündet wurden, kam man den Ursachen auf die Spur. Mit rund 700 Tonnen Schubkraft ist die F-1 bis heute der stärkste Raketenmotor aller Zeiten. Nur die sowjetische RD-170 hatte vergleichbare Leistungswerte (die zugehörige Rakete, Energija, flog allerdings nur zweimal, bevor das Projekt eines russischen Space Shuttles eingestellt wurde). Geplante Weiterentwicklungen der F-1, genannt F-1A und F-1B, kamen in den USA nicht zum Einsatz. Auch deren zugehörige Projekte wurden eingestellt. Die Leistung hätten jene der F-1 nochmals übertroffen, sie wurden für rund 900 Tonnen Schubkraft konstruiert.

In den insgesamt dreizehn gestarteten Saturn V wurden 65 F-1 verwendet. Sie alle landeten mit der leergebrannten ersten Stufe im Atlantik, wo sie noch heute am Grund des Ozeans liegen. Mit einer Ausnahme: 2012 gelang es einem von Jeff Bezos (Gründer von amazon) finanzierten Team, eine dieser F-1 zu bergen. Es handelte sich um das mittlere Triebwerk der Apollo 11 Mission. Nach dessen Restaurierung wird das Triebwerk voraussichtlich im Luft- und Raumfahrtmuseum in Washington, DC ausgestellt.

# Kapitel 24: Saturn V

## „Mastermind“ Wernher von Braun

Um die 41 Tonnen Nutzlast zum Mond zu bringen, war eine gewaltige Rakete notwendig, die es in dieser Form nicht einmal annähernd gegeben hatte.

Wernher von Braun, der „Vater“ der deutschen V-2, wurde mit seinem Team in Huntsville, Alabama (USA), mit der Entwicklung beauftragt. Nach vielen Modifikationen und Varianten entstand am Reißbrett die „C-5“, später „Saturn V“ genannt. Warum „Saturn“? Weil Saturn nach dem Jupiter kommt, und Jupiter war eine erfolgreiche frühere Konstruktion desselben Teams.

Dafür entstanden in und um Huntsville Werkshallen und Teststationen, die auch heute noch als „state-of-the-art“ gelten können. Einer der Teststände war 145 m hoch (10 m höher als der Linzer Mariendom) und konnte eine komplette Saturn V aufnehmen. Deren Tests ließen die Bewohner Huntsvilles an Erdbeben glauben - der Lärm der Triebwerke war gut 150 km weit zu hören.

Die Entwicklung geschah unter Einbeziehung der damaligen „Riesen“ der Aeronautik-Branche, wie zB Boeing, North American Aviation und Douglas Aircraft. Aber auch IBM war mit an Bord, von ihr stammt die Steuerungslogik.

Rechts: die erste Stufe einer Saturn V wird im VAB aufgerichtet. Mit ihr beginnt der Zusammenbau.

Unten: das „Vehicle Assembly Building“. Gerade bringt der Crawler-Transporter die fertige, 111 m hohe Saturn V mit Apollo 11 zur Startrampe.

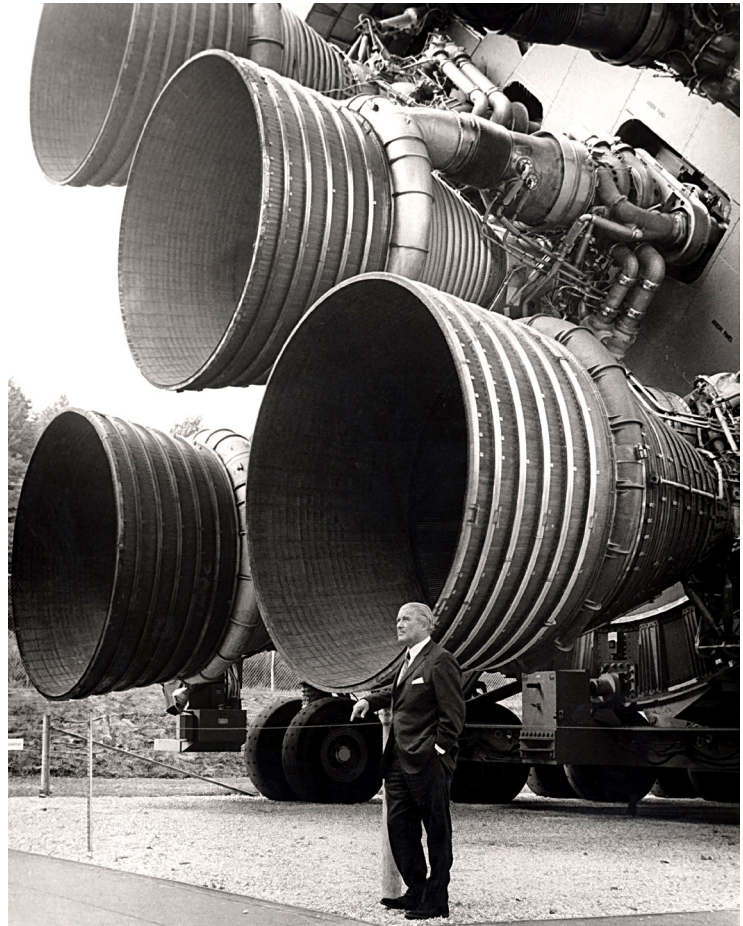
## Das „Vehicle Assembly Building“ (VAB)

Die einzelnen Stufen der Saturn V wurden per Schiff nach Cape Canaveral, wenige Kilometer von der Startrampe entfernt, zusammgebaut. Eine Montage im Freien kam nicht in Frage, da schon leichte Winde die Struktur gefährden könnten - ganz zu schweigen von den Wirbelstürmen, die gelegentlich über Florida ziehen. Daher wurde eine riesige Montagehalle errichtet, die gleichzeitig bis zu vier Raketen beherbergen konnte. Im Gegensatz zu den Raketen der UdSSR, die horizontal zusammgebaut wurden, erfolgte die Montage der Saturn V vertikal. Daher stammt auch der ursprüngliche Name: Vertical Assembly Building.

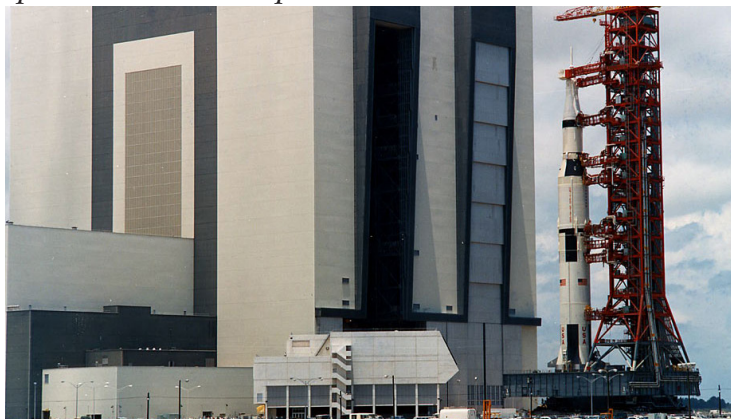
Die Halle war 160 m hoch und hatte eine Grundfläche von ca. 200 x 160 m. Insgesamt 71 Kräne wurden installiert. Die beiden an der Decke konnten je 227 Tonnen auf eine Höhe von 140 m heben. 227 Tonnen, das sind ungefähr 150 VW Golf.

Damit das Gebäude im sandigen Boden Floridas nicht einsinkt, wurde es auf über 4000 Pfähle gestellt, die bis zu 49 Meter in den Boden getrieben wurden.

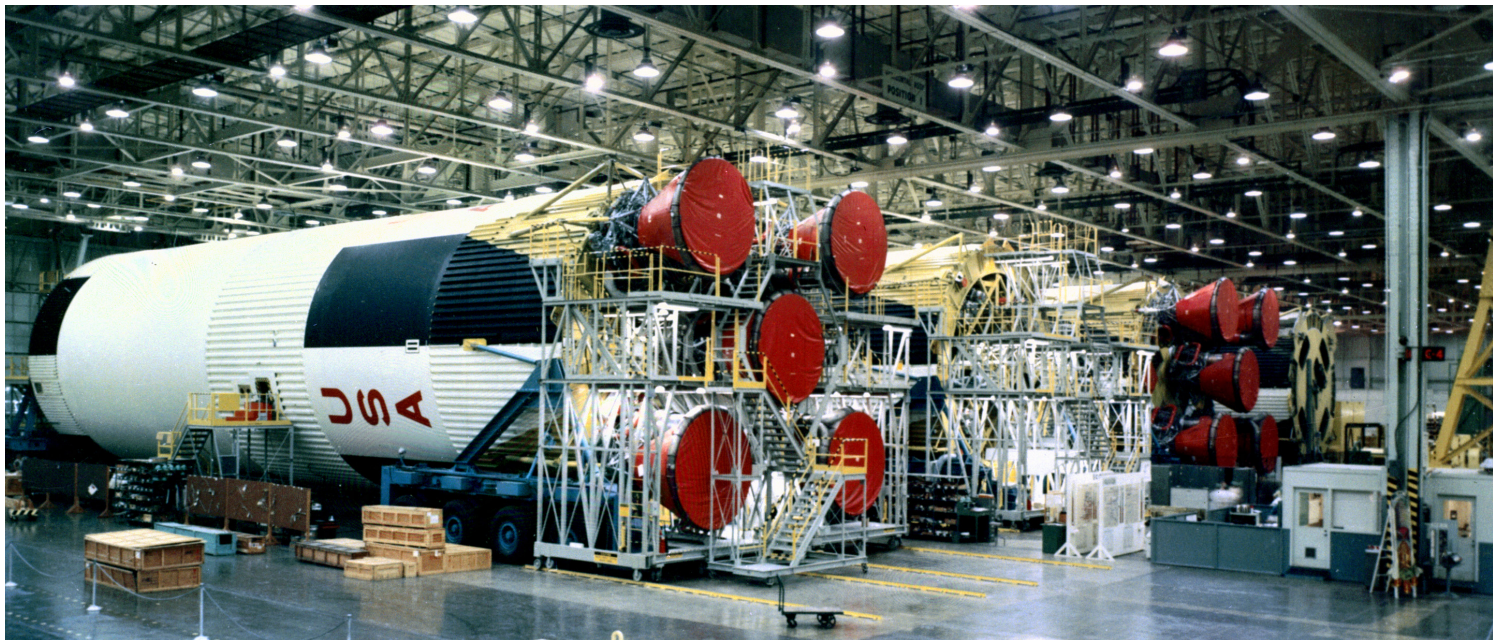
Bis heute gehört das VAB zu den größten Gebäuden der Welt.



Oben: Wernher von Braun vor „seiner“ Saturn V. Zu sehen sind vier der fünf gewaltigen F-1 Triebwerke der ersten Stufe. Die scheinbar ringförmigen Strukturen an der Außenseite des oberen, schmalen Bereichs der Düsen (im Bild gerade noch zu sehen) sind Treibstoffleitungen, die um die Brennkammer gewickelt sind. Damit wird diese gekühlt, um der Hitze standhalten zu können. Gleichzeitig wird der Treibstoff vorgewärmt. Alle Bilder dieser und der nächsten Seite: NASA



# Kapitel 24: Saturn V



*Oben: Boeings Produktionsstraße für die erste Stufe der Saturn V in Michoud.*

*Rechts: Bau der „Instrument Unit“ (IU) durch IBM in Huntsville, Alabama.*

## Serienproduktion

Die Entwicklung der Saturn V samt Tests geschah in Huntsville, aber die einzelnen Stufen der „flugtauglichen“ Saturn V wurden an verschiedenen Orten der USA nach modernen industriellen Verfahren gebaut. Auch die Triebwerke wurden separat gefertigt und vor Ort mit der jeweiligen Stufe verbunden. Die fertigen Stufen wurden nach Cape Kennedy in Florida gebracht, wo sie in einer riesigen Halle, dem „Vehicle Assembly Building“, montiert und mit der „Nutzlast“, dem Mondlandefahrzeug, verbunden wurden. Der gigantische „Crawler-Transporter“ brachte die fertige Saturn V dann zum Startplatz.

### Produktionsstätten der Saturn V

Stufe 1: Michoud, Louisiana (Boeing)

Stufe 2: Seal Beach, Kalifornien (North American)

Stufe 3: Huntington Beach, Kalifornien (Douglas)

Instrument Unit: Huntsville, Alabama (IBM)

Triebwerke:

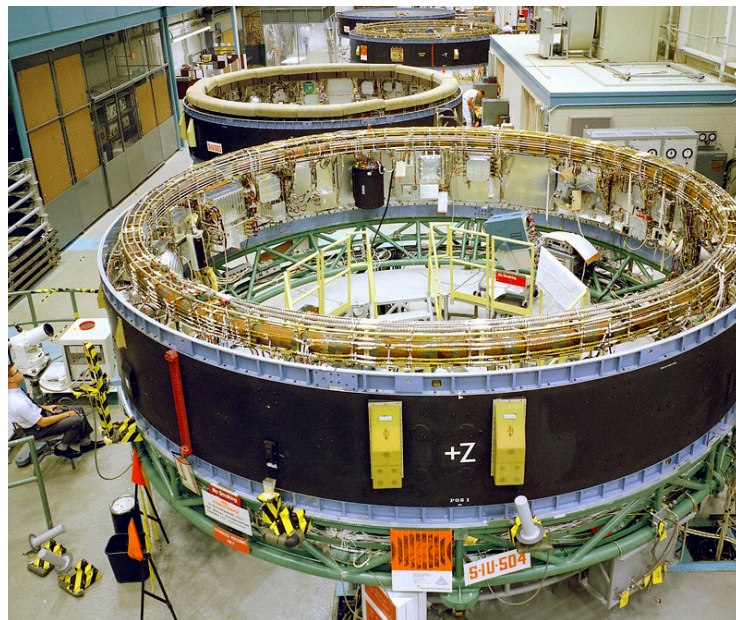
Canoga Park, bei Los Angeles (Rocketdyne)

## Die „Instrument Unit“

Die IU ist das „Gehirn“ der Saturn V (SV). Sie sitzt am obersten Ende der Antriebsstufen, unterhalb der Nutzlast, und steuert alle Aktivitäten der Rakete von der Zündung über die Stufenentrennung bis zum Einschwenken in die Umlaufbahn, einschließlich der nötigen Navigation und Steuerung. Sie ermöglicht auch, dass im Notfall die Saturn V durch die Astronauten „händisch“ geflogen werden kann. Bei mehreren Situationen bewies die IU, dass sie ihrer Aufgabe gewachsen war.

Bei Apollo 13 beispielsweise schaltete der mittlere Motor der zweiten Stufe ungeplant frühzeitig ab. Die IU verlagerte die Treibstoffzufuhr an die äußeren Triebwerke und verlängerte deren Brenndauer, um den Verlust an Schubkraft auszugleichen.

Auch zwei direkte Blitzeinschläge (so geschehen bei Apollo 12) konnten die IU nicht „aus dem Konzept bringen“. Nach wenigen Sekunden ohne Strom war sie wieder betriebsbereit und setzte den Aufstieg der Rakete sicher fort.



## Walter Cronkite in hellem Aufruhr

Der Schalldruck beim Start der Saturn V wurde unterschätzt. Das führte dazu, dass bei Apollo 4 (Erstflug der Saturn V) in den vier Kilometer entfernten Presserräumen einige Deckenfliesen herunterfielen. Die Fenster begannen so zu vibrieren, sodass mehrere Reporter, darunter Walter Cronkite von CBS (Columbia Broadcasting System USA), versuchten, sie mit den Händen festzuhalten. Cronkite, sonst ein ruhiger, ausgeglichener-sachlicher Reporter, schrie förmlich in sein Mikrofon (frei übersetzt):

*„... unser Gebäude hier wackelt. Unser Gebäude wackelt! Es ist schrecklich, das Gebäude wackelt! Das große Fenster hier wackelt auch! Wir halten es mit unseren Händen! Schaut euch die Rakete an, sie durchbricht gerade die Wolken in 1000 m Höhe! .... man kann das sehen ... man kann das sehen ... oh, der Lärm ist gewaltig! ...“*

# Kapitel 24: Saturn V

Rechts: die Saturn V. Nur das CM (der konische Teil unterhalb des Rettungsturms kehrt zur Erde zurück. Stufe eins und zwei werden noch während des Aufstiegs abgeworfen, Stufe drei wird in eine Umlaufbahn um die Sonne gebracht, nachdem sie CSM und LM Richtung Mond beschleunigt hat.

Grafik: NASA

## Museumsstücke

Drei Saturn V kann man heute noch sehen: in Houston (Texas), in Huntsville (Alabama) und auf Cape Canaveral (Florida). Alle drei waren ursprünglich völlig ungeschützt im Außenbereich der jeweiligen Raumfahrtmuseen ausgestellt. Die Elemente setzten ihnen über die Jahre erheblich zu: die Raketen waren voller Moos, Algen und Rost, die Farbe blätterte großflächig ab und in den Triebwerken nisteten Vögel. Zwischen 1996 und 2005 wurden die Raketen jedoch restauriert und in Gebäuden untergebracht. Heute sind sie ein lohnenswertes Ziel für Touristen.

Alle drei Saturn V bestehen aus Einzelteilen der beiden nicht genutzten flugfähigen Raketen (gedacht für die gestrichenen Missionen Apollo 19 und 20), sowie aus Teststufen.

In Huntsville ist noch eine vierte Saturn V ausgestellt. Sie steht sogar aufrecht in voller Größe - ist aber „nur“ ein Nachbau ohne Innenleben.

## Die sowjetische N1

Auch die damalige UdSSR hatte eine Mondlandung zum Ziel. Die dafür konstruierte Rakete war die N1. Sie war etwas kleiner als die Saturn V, da nur eine Zweimann-Besatzung für den Mondflug geplant war (einer davon würde auf dem Mond landen).

Markanter Unterschied zur Saturn V waren die Triebwerke: Für die erste Stufe wurden ganze 30 (!) kleinere Triebwerke verwendet (siehe Bild), im Gegensatz zu den fünf starken bei der Saturn V. Diese Vielzahl an Triebwerken war ein Problem, da sie alle gleichzeitig und gleichmäßig zu zünden hatten, was technisch eine große Herausforderung darstellte.

Letztlich konnte diese Schwierigkeit nicht gemeistert werden: Die ersten vier (unbemannten) Starts endeten in einer Katastrophe. Drei N1 explodierten vor oder kurz nach dem Start, die vierte schaffte immerhin zwei Minuten Flugzeit.

Eine fünfte N1 war bereits am Starturm aufgebaut, das Programm wurde aber wegen der Fehlschläge ersatzlos eingestellt. Das bedeutete das Ende der sowjetischen Pläne für eine Mondlandung.

Die verbliebenen Teile der N1 wurden verschrottet. Deren Triebwerke finden allerdings noch heute in diversen Raketen Verwendung. Bild: David Galbraith via gizmodo.com

