

ARTEMIS II Mondmission - Dopplerverfolgung der S-Bandsignale mit einer privaten Amateurfunkstation

71. UKW-Tagung
Weinheim, 12. September 2026
Matthias Bopp
DD1US

Agenda

- Einleitung
- Der ARTEMIS II Missionsverlauf
- Die Crew
- Technische Erkenntnisse und Fazit
- Möglichkeiten der „Teilnahme“ an der Mission
- Aussendungen der ARTEMIS II Mission
- Empfangsstation DD1US
- Empfang der Aussendungen von ARTEMIS II
- Ergebnis
- Ausblick



Einleitung

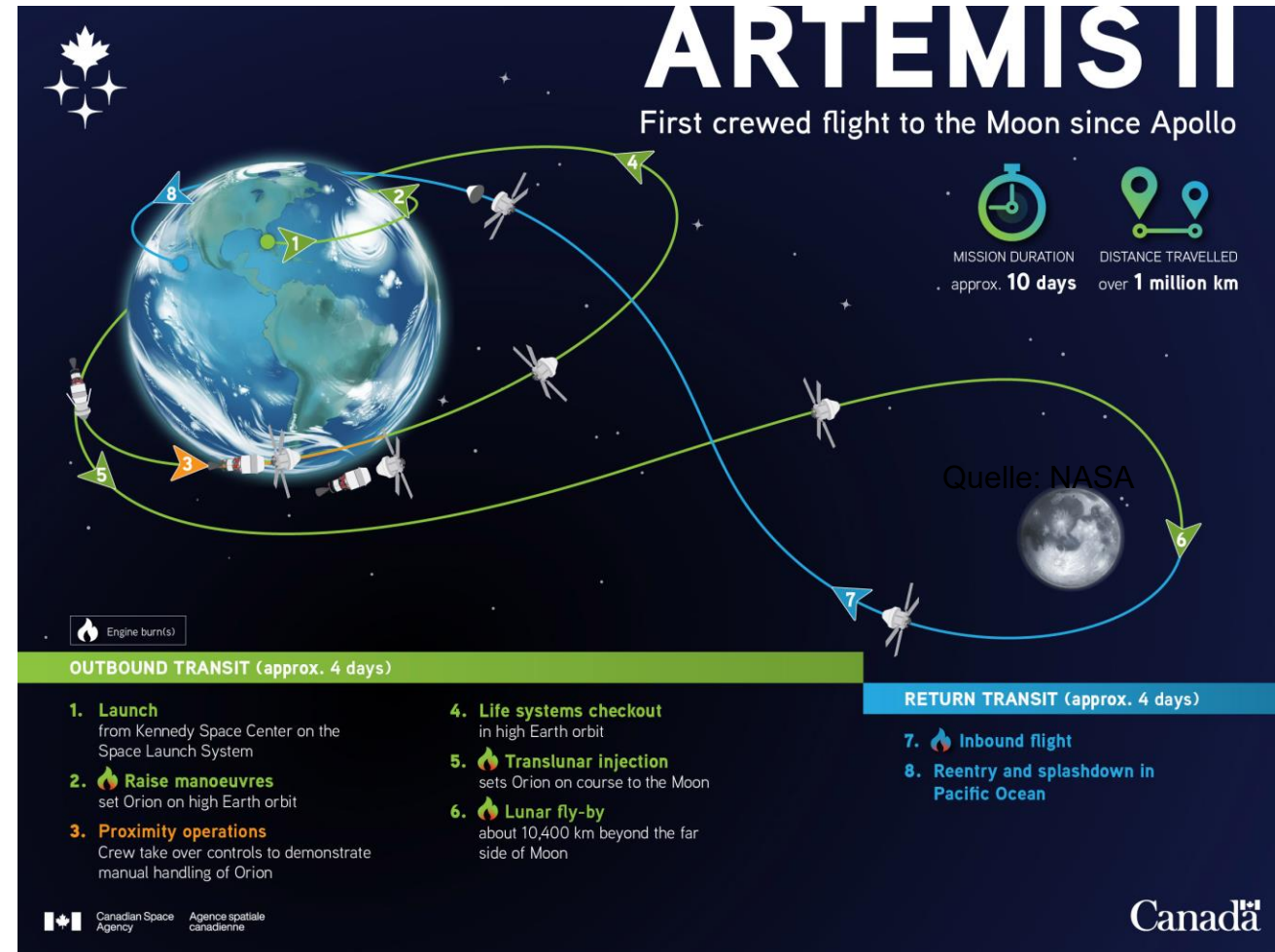
- ARTEMIS II war der erste bemannte Flug zum Mond seit 54 Jahren
- Eines der Experimente war eine Studie zu präzisen Dopplermessungen inklusive der Evaluierung kleiner Bodenstationen als Ergänzung zum NASA-Netzwerk



ARTEMIS II Start (Quelle: dpa)

Der Missionsverlauf

- Start am 1. April 2026 mit SLS in Florida
- Der Flug hatte 4 Phasen:
 - 1.) Diverse Tests im Erdorbit
 - 2.) Translunar Injection und Mondtransfer
 - 3.) Mond-Umrundung auf einer Freiflug-Rückkehrbahn (Free-Return-Trajectory)
 - 4.) Sichere Wasserung am 11. April 2026



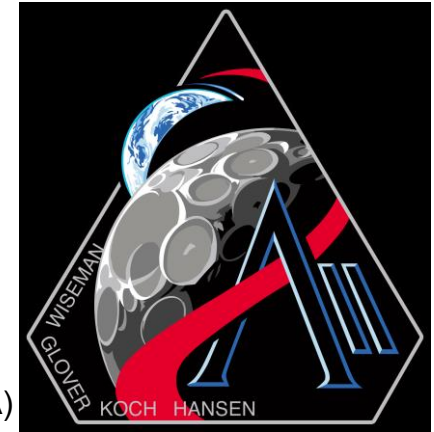
ARTEMIS II Flugbahn (Quelle: CSA)



ARTEMIS II
Besatzung
(Quelle: NASA)

Die Crew

- **Reid Wiseman KF5LKT** (Kommandant, NASA):
Leitete die Steuerung und Manöver des Raumschiffs.
- **Victor Glover KI5BKC** (Pilot, NASA):
Erste „person of color“ auf einer Mission zum Mond.
- **Christina Koch** (Missionsspezialistin, NASA):
Erste Frau, die in eine Flugbahn um den Mond antrat.
- **Jeremy Hansen KF5LKU** (Missionsspezialist, CSA):
Erster kanadischer Astronaut im tiefen Weltraum.



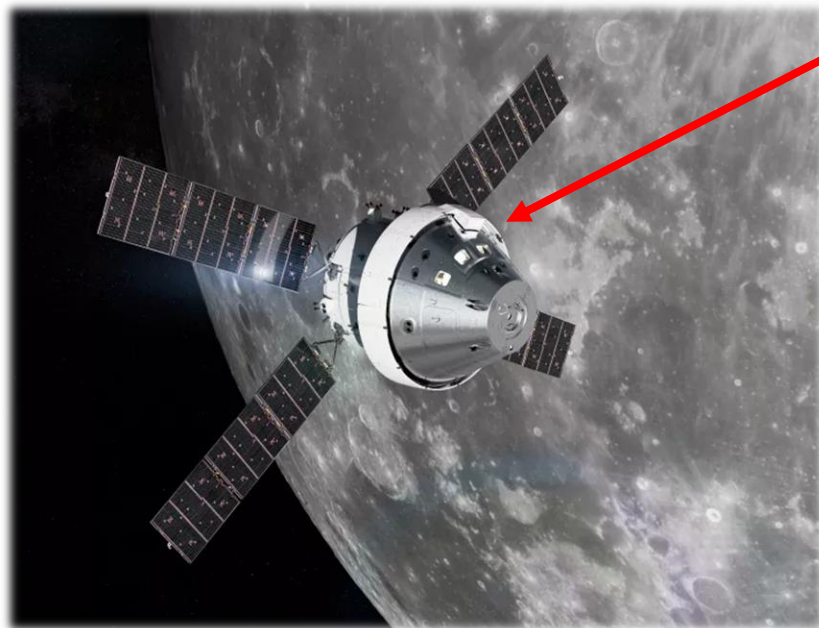
ARTEMIS II
Mission Logo
(Quelle: NASA)



ARTEMIS II Crew (Quelle: NASA)

Technische Erkenntnisse und Fazit

- Orion Lebenserhaltungssystem wurde erfolgreich validiert
- Kommunikationssysteme funktionierten fehlerfrei
- ESA Service Module (ESM) lieferte Strom, Wasser, Sauerstoff, Antrieb
- Grundlage für folgende Missionen (ARTEMIS III im 2. Halbjahr 2027, ARTEMIS IV Ende 2028)

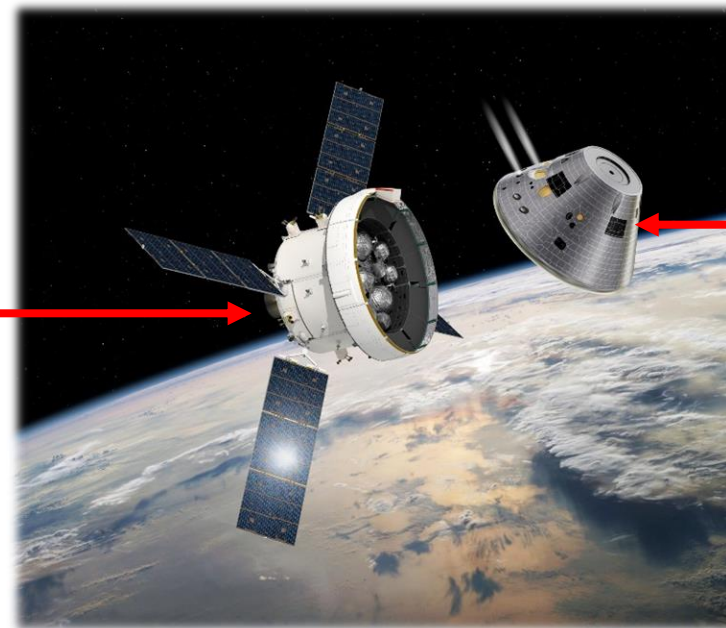


Integrity

Integrity rendered (Quelle: NASA)

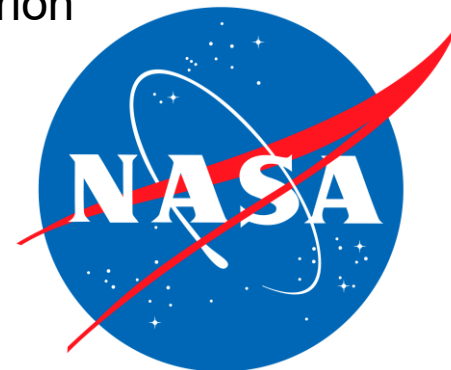


ESM



Orion

Orion & ESM rendered (Quelle: ESA)



Teilnahme an der Mission

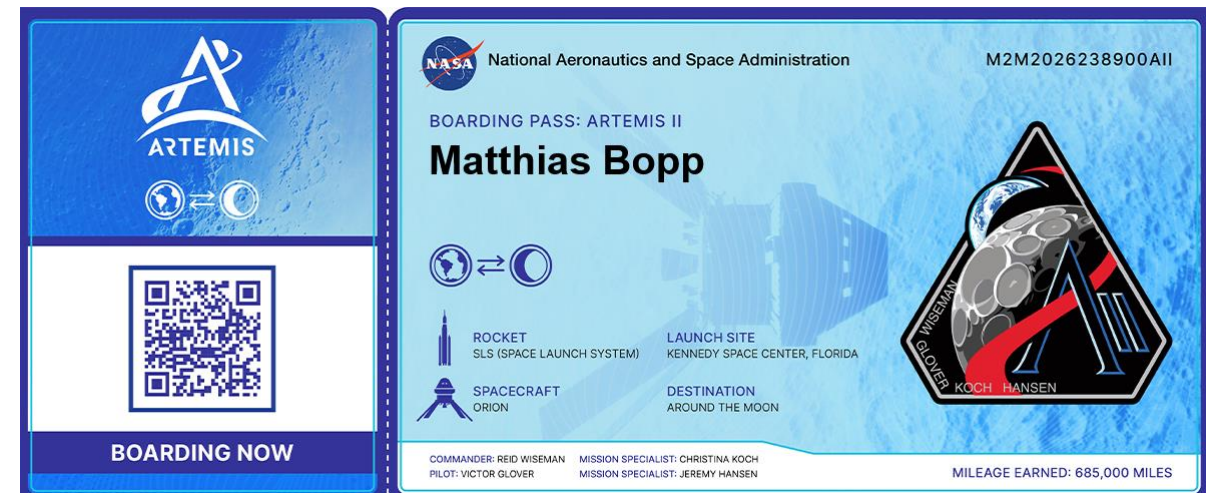


Option 1: „Send your name to fly around the moon“

- Registrierung bei der NASA
- Die registrierten Namen wurden auf einer SD-Karte gespeichert und umkreisten den Mond
- Man erhielt einen individuellen „Boarding Pass“



ARTEMIS I Boardingpass (Quelle: DD1US)



ARTEMIS II Boardingpass (Quelle: DD1US)

Teilnahme an der Mission



Option 2: Teilnahme an einer Studie der NASA namens „ARTEMIS II Doppler Tracking“

- Organisiert durch das NASA SCaN-Programm (Space Communications and Navigation)
Dieses betreibt und verwaltet die Kommunikations- und Navigationssysteme für jede NASA-Mission
- Ziel: Bahnbestimmung durch Doppler-Tracking von nicht-NASA-eigenen Stationen und Evaluierung der möglichen Entlastung der NASA-Netzwerke „Near Space Network“ und „Deep Space Network“
- Passives S-Band Tracking durch 34 internationale Teilnehmer
- Teilnahme durch Antrag bei der NASA oder über die AREx (Amateur Radio Exploration) Gruppe



Near Space Network
(Quelle: NASA)



Deep Space Network
(Quelle: NASA)

Aussendungen der ARTEMIS II Mission

- Orion sendete im S-Band zwischen 2200 und 2300 MHz
- Primärfrequenz war 2216,5 MHz
- Verwendete wurde rechtszirkulare Polarisation
- Primäre Übertragung 4 Mbps OQPSK (unterdrückter Träger),
Nettodatenrate 2 Mbaud (nach Fehlerkorrektur), Bandbreite ca. 5 MHz
- Tests mit 2 Mbps RC (Raised Carrier) sowie mit 72 kbps
- Es gab auch ein optisches Laserkommunikationssystem (O2O) mit 260Mbps



Orion Logo (Quelle: NASA)

Empfangsstation DD1US

- 2,3 m Parabolspiegel (C / KU-Band)
- Umgebauter EGIS-Rotor für automatische Nachführung in Azimut und Elevation
- Linkszirkular polarisiertes Helix-Feed
- Bandpassfilter ($IL < 1\text{ dB}$)
- MITEQ LNA ($0,8\text{ dB NF}$, 40 dB Gain)
- DC-Phantomspeisung aus dem Shack



Sendemast für Mobilfunk in Richtung Mond (Quelle: DD1US)



Parabolantenne zwischen Antennen für das 2-m und 70-cm Band (Quelle: DD1US)

Empfangsstation DD1US

Helix Feed
LHCP

RX-Signal

+12V DC

+12V DC

LimeSDR USB

10 MHz

S-Band
Bandpass-Filter

S-Band LNA MITEQ
AMF-3F-017024-08-13P

Bias-T

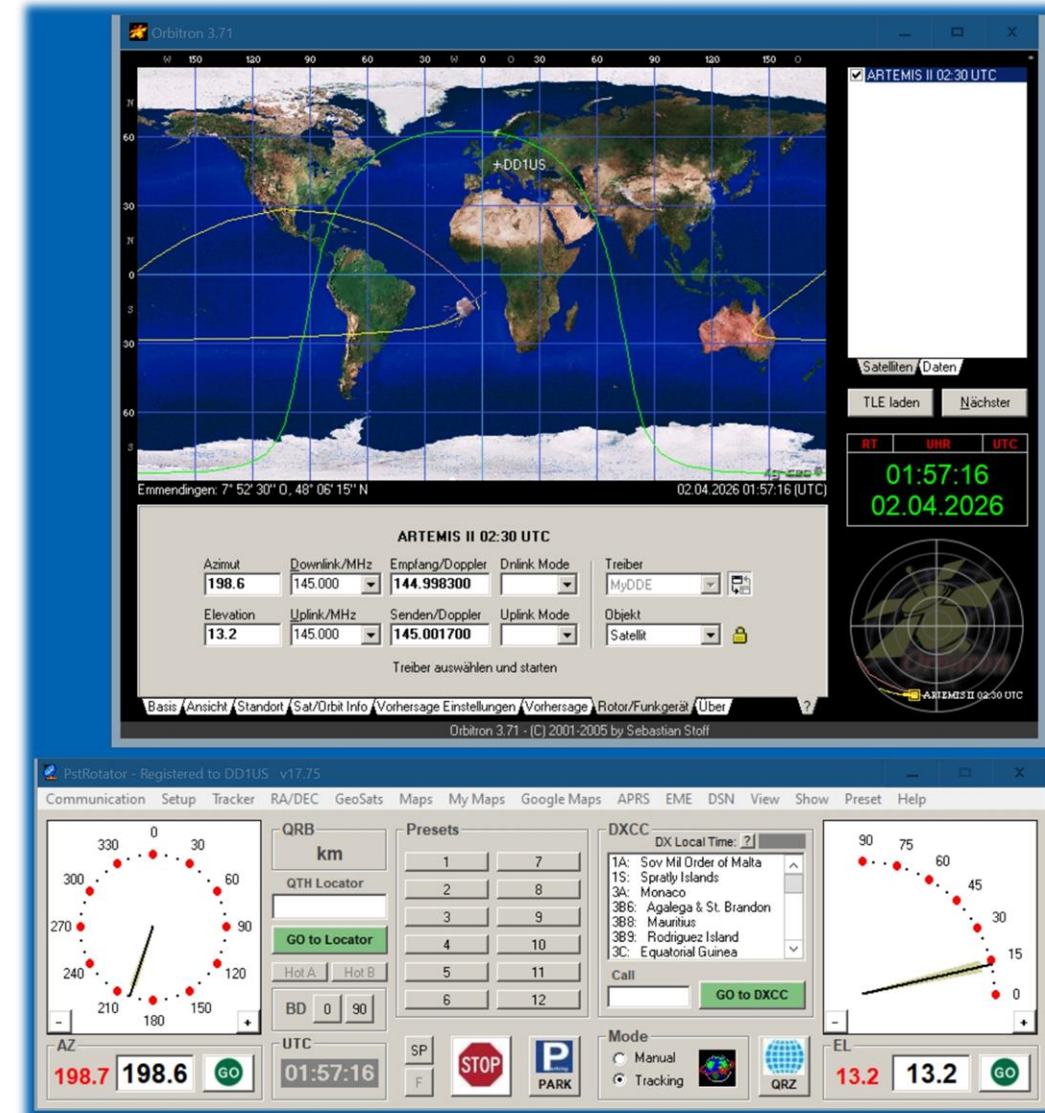
Bias-T



GPSDO ID-Elektronik

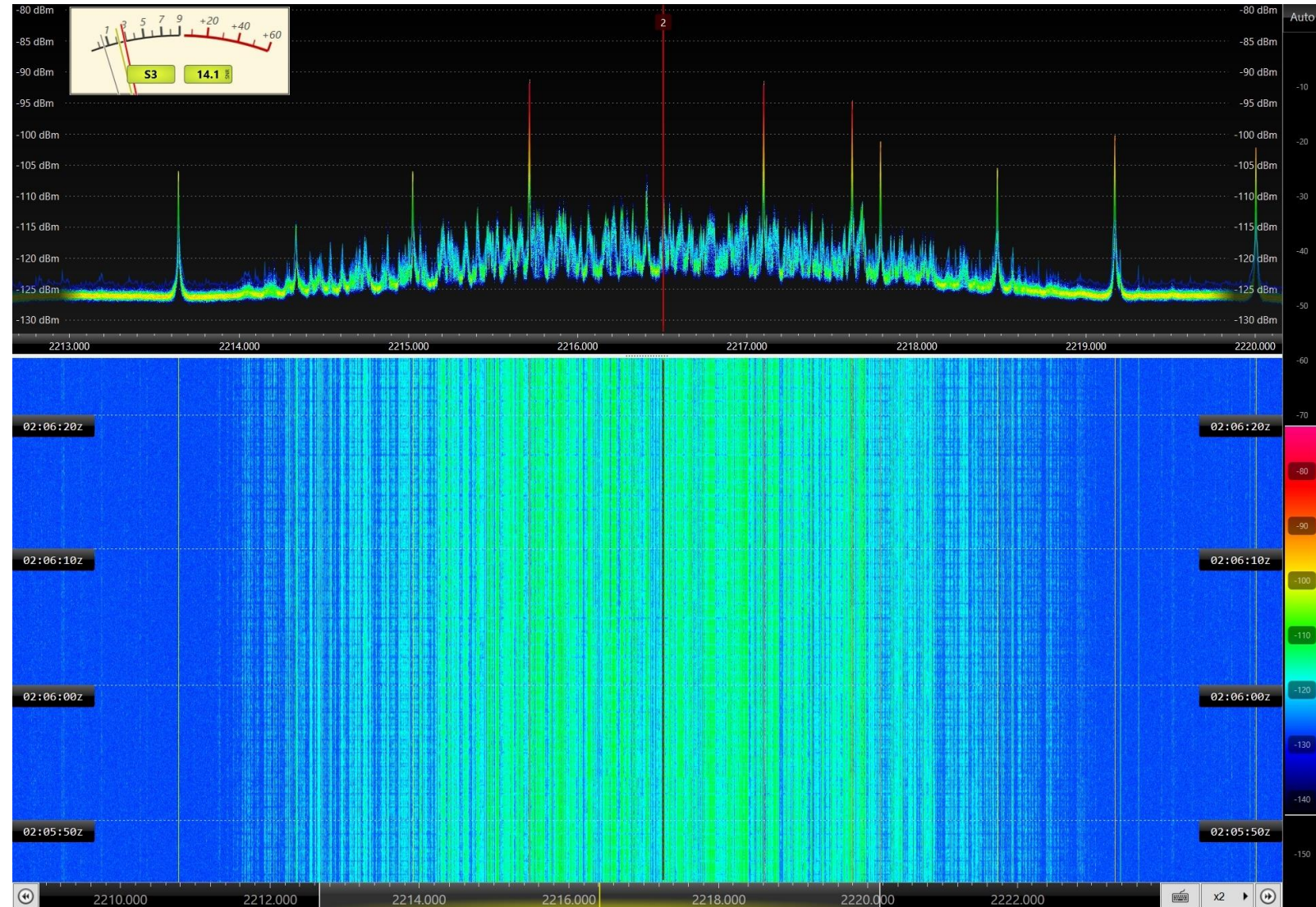
Empfangsstation DD1US

- Orbitron und PSTRotator für Near-Earth-Tracking
- PSTRotator (mit JPL Horizons Daten)
für Deep-Space Tracking
- LimeSDR-USB als Empfänger
- GPSDO / Rubidium als Referenzfrequenzquellen
- Empfangssoftware SDR-Console und SatDump
- Aufzeichnung im Complex Signed 16 bit (CS16)
I/Q-Format mit 8 MSPS (ca. 2 GB Daten pro Minute)
- Zeitabgleich über NTP



Empfang der Aussendungen von ARTEMIS II

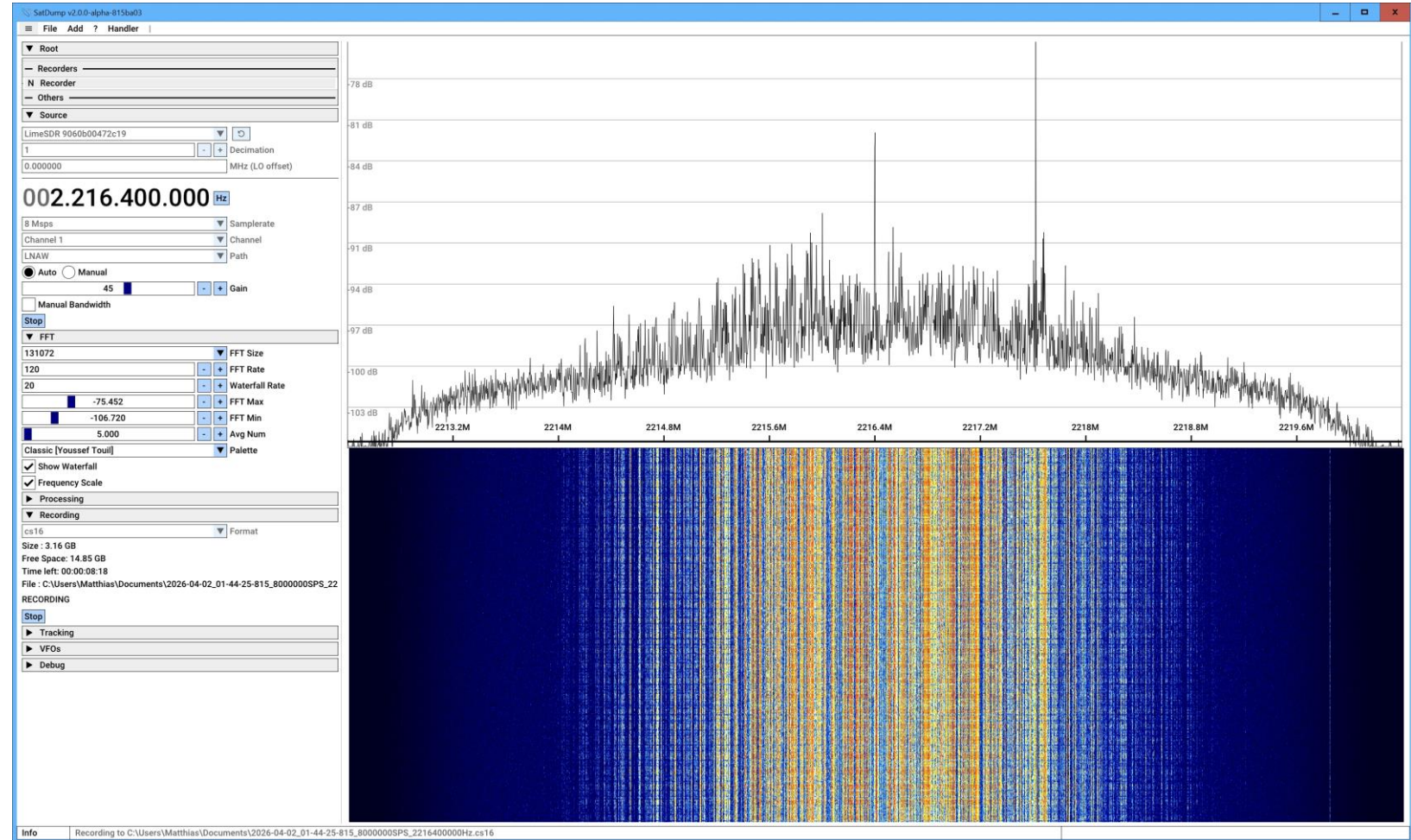
Der Empfang in Deutschland war während der kompletten Mission bei niedriger Elevation (max. 13 Grad) und nur in den frühen Morgenstunden (ca. 1h bis 7h MEZ) möglich. Eigener erster Empfang am 2. April 2026 01:30 UTC



Empfang mit SDR-Console (Quelle: DD1US)

Empfang der Aussendungen von ARTEMIS II

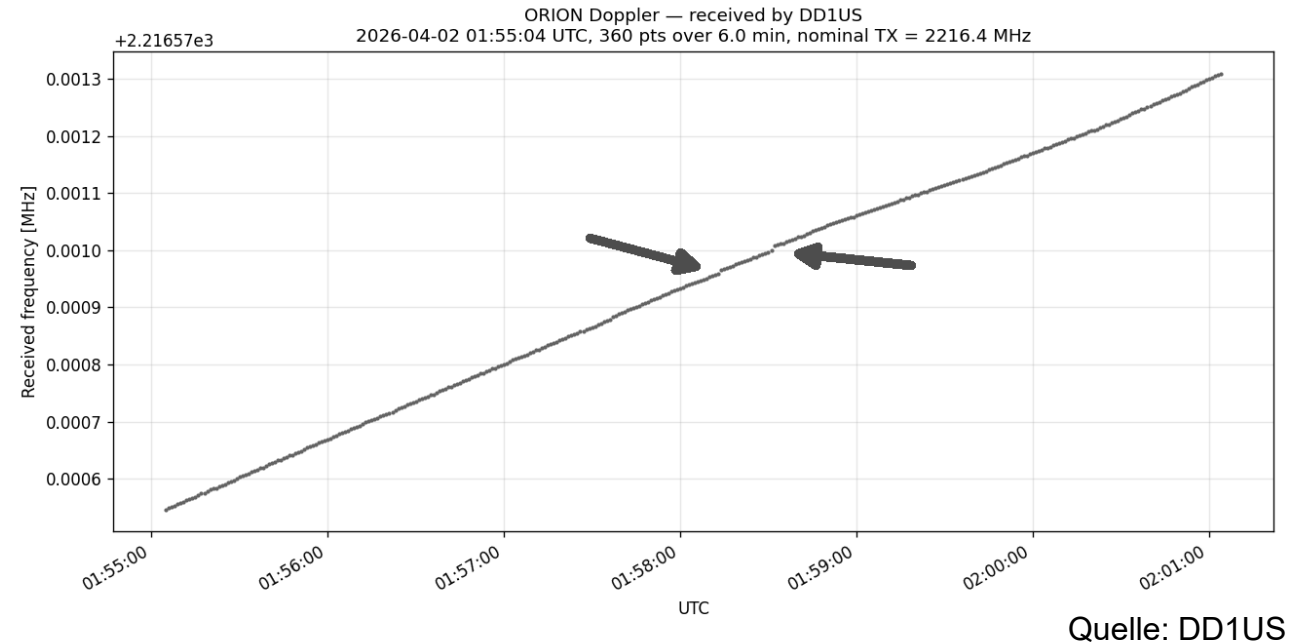
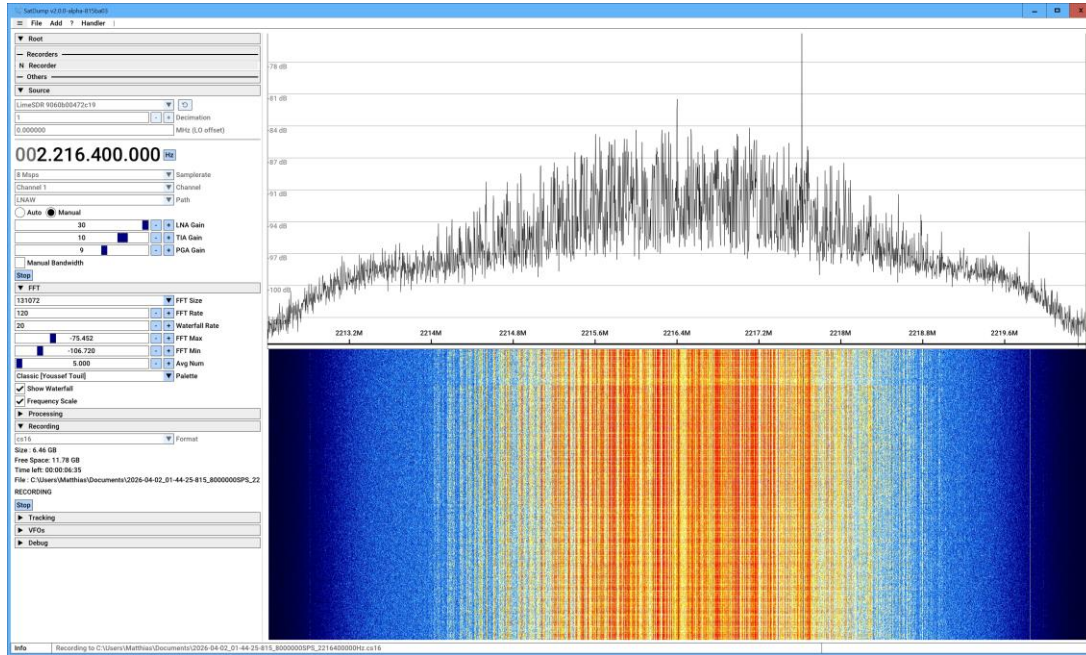
Der Empfang in Deutschland war während der kompletten Mission bei niedriger Elevation (max. 13 Grad) und nur in den frühen Morgenstunden (ca. 1h bis 7h MEZ) möglich. Eigener erster Empfang am 2. April 2026 01:30 UTC



Empfang mit SatDump (Quelle: DD1US)

Empfang der Aussendungen von ARTEMIS II

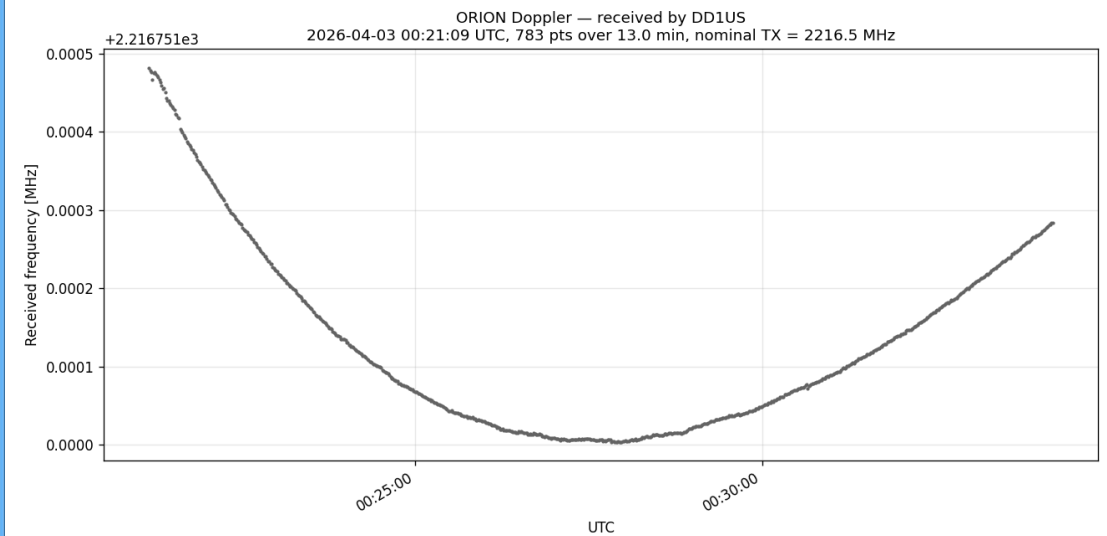
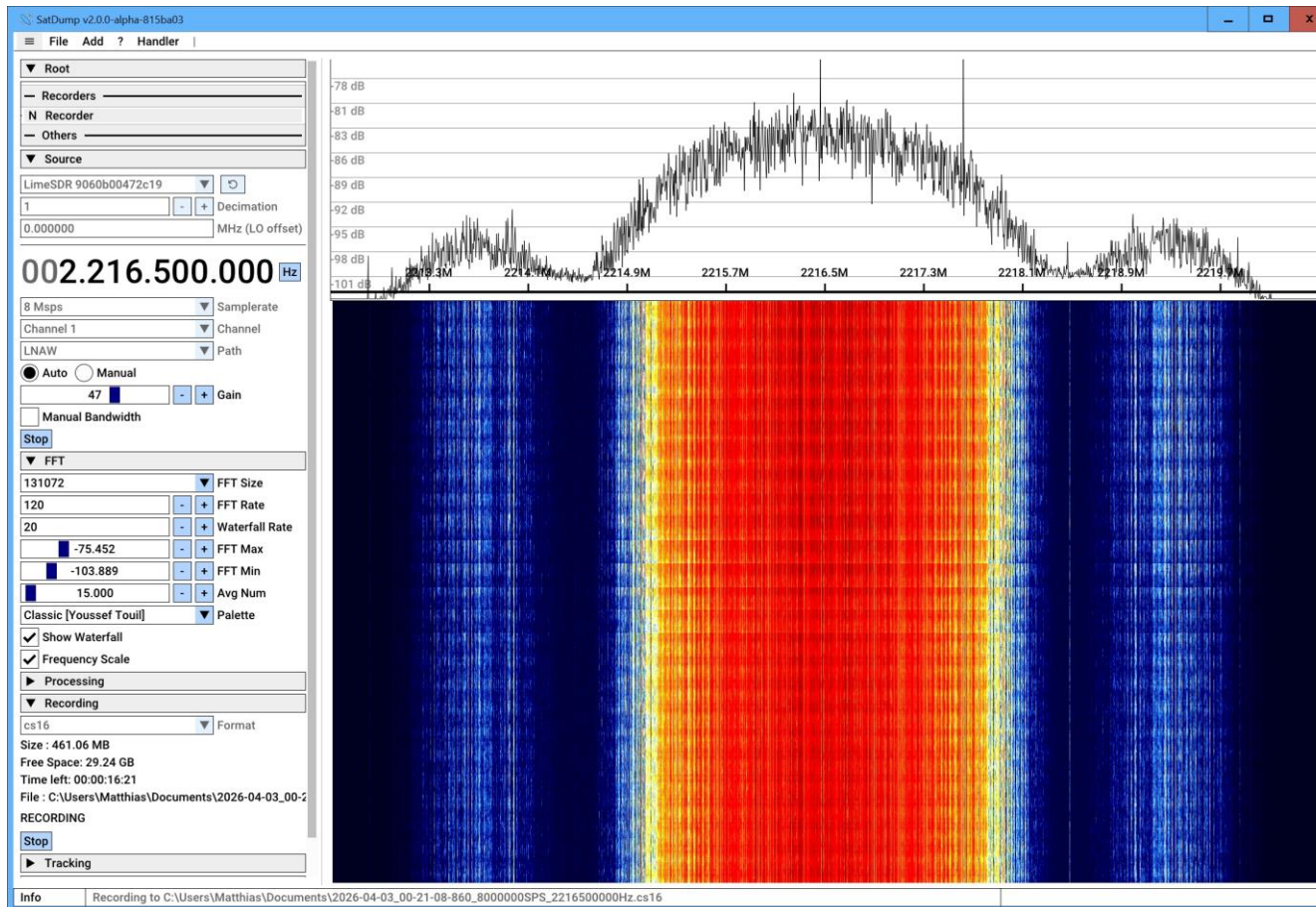
Dopplerkurven zeigen Manöver und Bahnänderungen



Die Trennung des Raumschiffs „Integrity“ von der Interim Cryogenic Propulsion Stage (ICPS) erfolgte 3 Stunden nach dem Start. Zuvor wurde der Antrieb der Oberstufe für einige wichtige Flugbahnmanöver wie dem Anheben des Perigäums und danach des Apogäums verwendet. Nach der physischen Trennung führt die Crew manuelle Flugmanöver durch und nutzt dabei das abgetrennte ICPS als Ziel, um zukünftige Andockmanöver zu simulieren. Dabei wurden die 24 kleineren RCS (Reaction Control System) Lageregelungstriebwerke des ESM verwendet. In der zu dieser Zeit extrahierten Dopplerkurve sind entsprechende Veränderungen der radialen Geschwindigkeit zu erkennen.

Empfang der Aussendungen von ARTEMIS II

Dopplerkurven lassen Rückschlüsse auf die Bahn zu

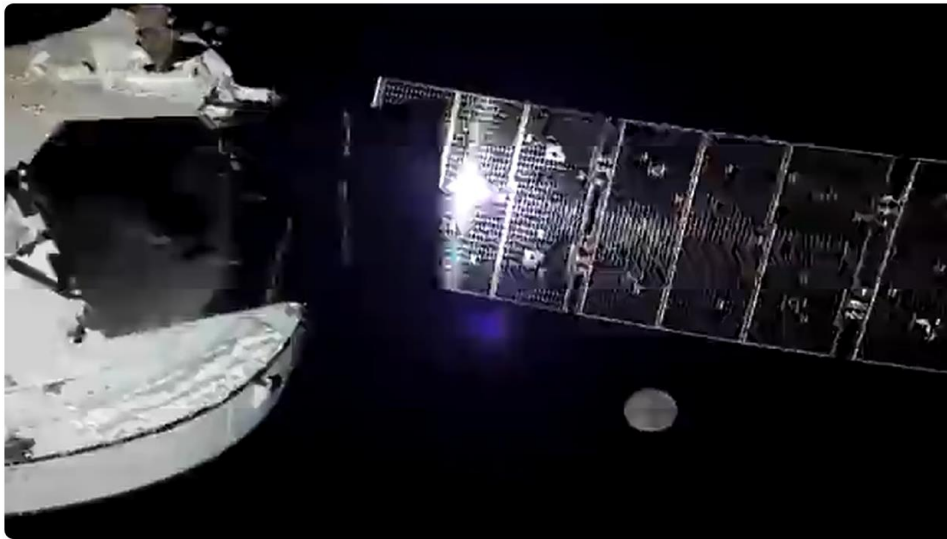


Quelle: DD1US

Empfang mit SatDump (Quelle: DD1US)

Empfang der Aussendungen von ARTEMIS II

Besonders aufschlussreich war die Verfolgung der Mission in Echtzeit über den YouTube-Kanal der NASA, während parallel die S-Band Signale empfangen wurden. Damit konnte man die Empfangssignale recht gut mit den Aktivitäten an Board der Orion-Kapsel korrelieren.



NASA's Artemis II Live Views from Orion



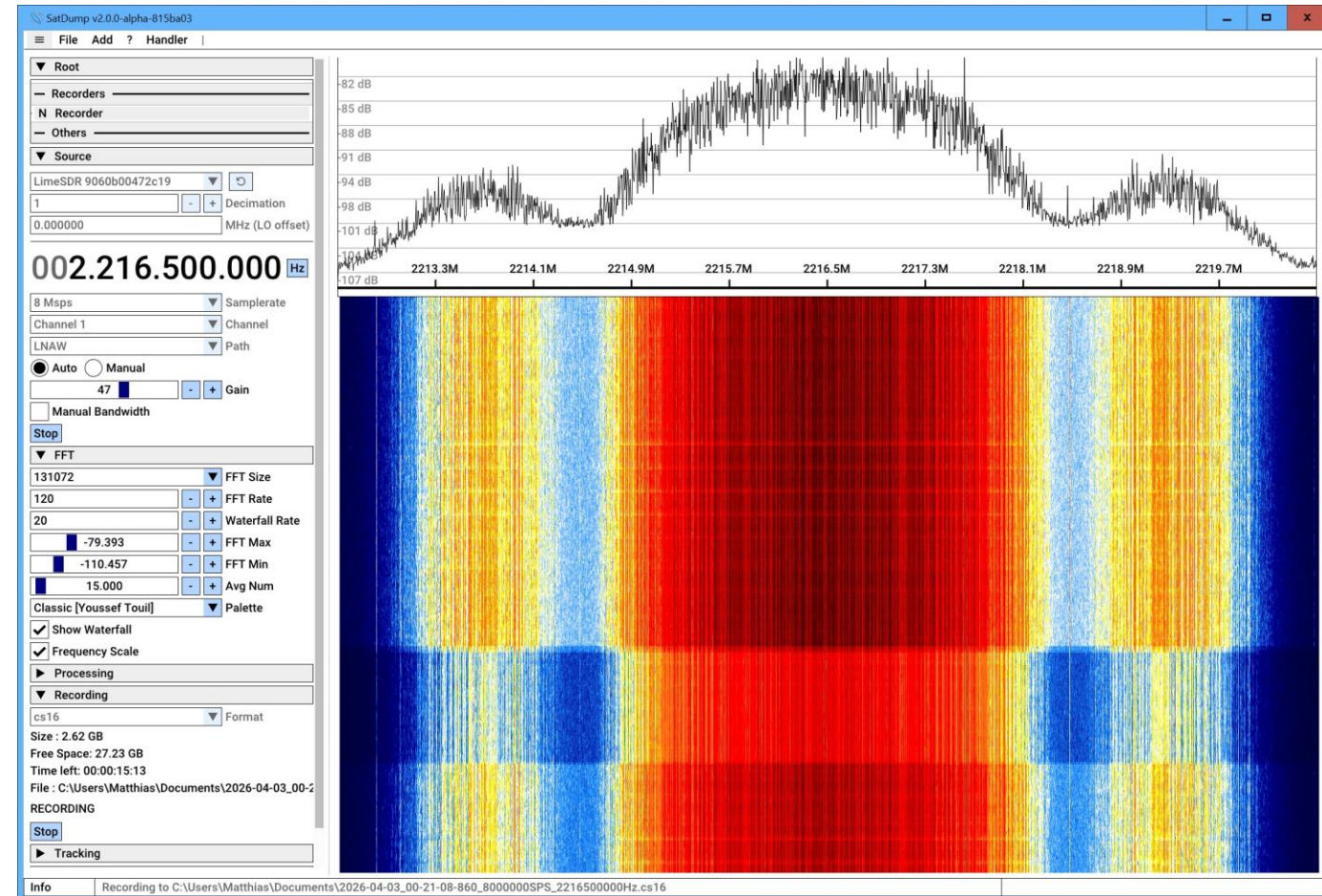
NASA ©
13.9M subscribers

Subscribe

363K 3 Share Save ...

Quelle: YouTube

Beispielsweise wurden im YouTube-Live-Kanal Experimente, wie das Umschalten der Sendeparameter, angekündigt und parallel konnten diese im Spektrum und Wasserfalldiagramm beobachtet werden.



Umschaltung der Sendeparameter 3.4.2026 um 00:21h UTC (Quelle: DD1US)

Ergebnis

- Die Teilnahme war spannend und hat viel Spaß gemacht
- Ich konnte das S-Band Signal erfolgreich empfangen und konnte aus den I/Q-Daten Dopplerinformationen bis zu einer Entfernung von etwa 70.000 km extrahieren
- Ich habe 10 TDM-Datensätze (tracking data format) an die NASA übermittelt
- Die Auswertung der NASA wird Mitte September erwartet



Quelle: DD1US



Quelle: NASA



Quelle: NASA



Quelle: NASA

“Certificate of Recognition” von der NASA an das AREx Consortium (SP5LOT, DD1US)



Quelle: AREx / NASA

Ausblick

- Ich plane GPS generierte PPS-Zeitmarken (pulse per second) über den zweiten RX-Kanal des LimeSDR-USB synchron zum S-Band-Empfangssignal in die I/Q-Aufzeichnungen einzuspeisen, um sie später phasensynchron auswerten zu können
=> Damit können die Dopplerfrequenzmessungen zeitlich viel genauer zugeordnet werden
- Verbesserung von Empfindlichkeit und Selektion meiner Empfangsanlage
- Ich freue mich schon auf die nächste Mission
ARTEMIS III im 2. Halbjahr 2027 und hoffe dass wir Funkamateure auch in Zukunft relevante Beiträge zu Raumfahrtmissionen leisten können und damit vielleicht auch die Chance für die Mitfluggelegenheit einer eigenen Nutzlast erhalten werden



ARTEMIS III Crew (Quelle: NASA)



- **NASA:** dass sie uns die Teilnahme ermöglicht und die nötigen Informationen zum Empfang von ARTEMIS II zur Verfügung gestellt hat
- **AREx** insbesondere bei **Frank Bauer KA3HDO** und **Daryl Young K4RGK:** für die Organisation der Projektgruppe (AREx Ground Station Consortium)
- **Mario Lorenz DL5MLO** und **Tomasz Blazej SP5LOT:** für die Bereitstellung von Skripten zur Extraktion der Dopplerdaten aus den I/Q-Datendateien
- **Tomasz Blazej SP5LOT:** für ein Skript zur automatischen Umformatierung in das von der NASA gewünschte TDM-Datenformat

Diese Präsentation sowie weitergehende Informationen
sind auf meiner Homepage www.dd1us.de zu finden.

Vielen Dank für Eure Aufmerksamkeit !

Ich beantworte jetzt gerne Eure Fragen.