

47 GHz EME – A real life story

...oder wie DL7YC für
47 GHz qrv wurde

Was braucht man?

Alles muss eine extrem hohe Qualität haben

2400 mm Spiegel – mindestens aber 1200 mm
Oberflächengenauigkeit RMS 0.3 mm – besser 0.2 mm!

Dabei ist es nahezu unerheblich ob ein Prime-Focus Spiegel oder ein Offset-Spiegel verwendet wird

In meinem konkreten Fall beträgt der Verlust (nach OE21GL) gegenüber einem Offset-Dish nur 0.27 dB

Die Berechnung d. Oberflächen-Verlusts erfolgt dann nach RUZE:

Parabolspiegel > 1.2 m ... bis 2.4 m



John Ruze's Gleichung von 1952

Die folgende Gleichung beschreibt den Verlust (dB) eines Parabol-Reflektors bei Abweichung von der IDEALFORM, unabhängig von seiner Größe:

$$\text{Gain 0} - 685.81 \times (\text{RMS[mm]} / \text{lambda[mm]})^2$$

•

Für 0.5 mm RMS gilt:

$$47 \text{ GHz (0.5 mm RMS)} = 685.81 \times 0.0061035156 = -4.18\text{dB}$$

John Ruze's Gleichung von 1952

$$\text{Gain 0} - 685.81 \times (\text{RMS[mm]} / \text{lambda[mm]})^2$$

$$47 \text{ GHz}_{(0.5 \text{ mm RMS})} = 685.81 \times 0.0061035156 = -4.18 \text{ dB}$$

Für < 0.35 mm RMS gilt:

$$47 \text{ GHz}_{(0.3 \text{ mm RMS})} = 685.81 \times 0.0022173145 = -1.52 \text{ dB}$$

$$47 \text{ GHz}_{(0.25 \text{ mm RMS})} = 685.81 \times 0.0015398017 = -1.05 \text{ dB}$$

$$47 \text{ GHz}_{(0.2 \text{ mm RMS})} = 685.81 \times 0.0009765625 = -0.67 \text{ dB}$$

Spiegel-Gewinn @ 47 GHz

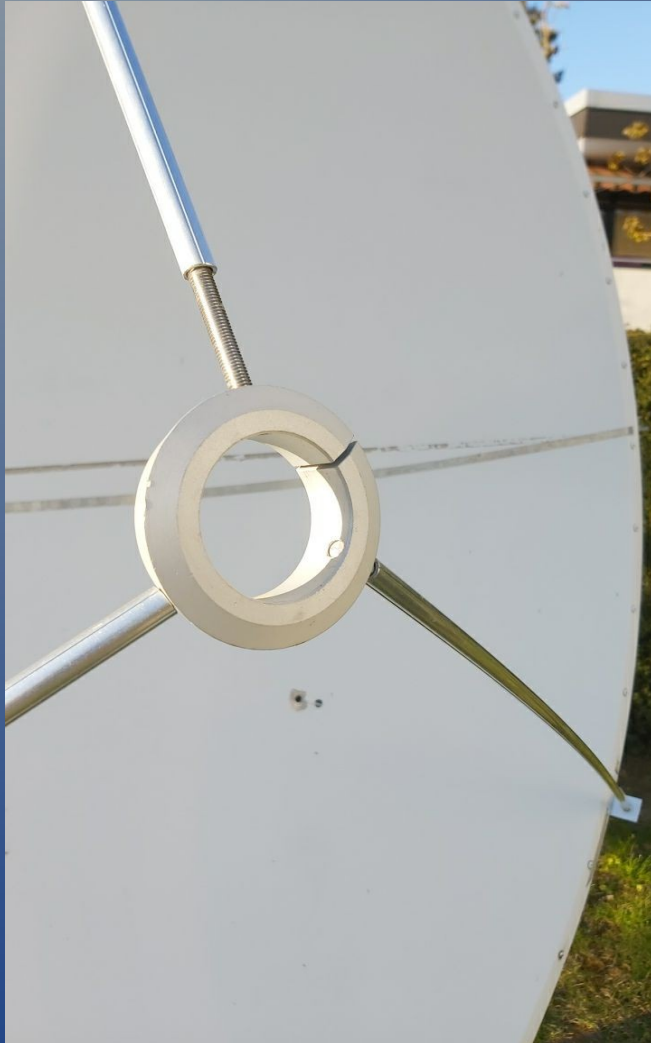
2.4 m Parabol (ohne Verluste) = 59.35 dBi Gewinn

1.2 m Parabol (ohne Verluste) = 53.25 dBi Gewinn

Ein 1.2 m Präzisionsspiegel (RMS 0.1 mm) ist nur -3dB schlechter, als der bei DL7YC benutzte, auch ziemlich, gute 47 GHz / 2.4 m Spiegel

(RMS < 0.3 dB ?) Photogrammetrie-Messung zur genauen Definition nötig

Stabile ringförmige Feed-Box Halterung



Einfluss des Feedhorns auf den Wirkungsgrad des Gesamtsystems

f/D des Reflektors = Wahl des Feedhorns

Flache Spiegel (z.B. Offset / f/D 0.7)

Primärstrahler: hoher Gewinn = kleiner Öffnungswinkel

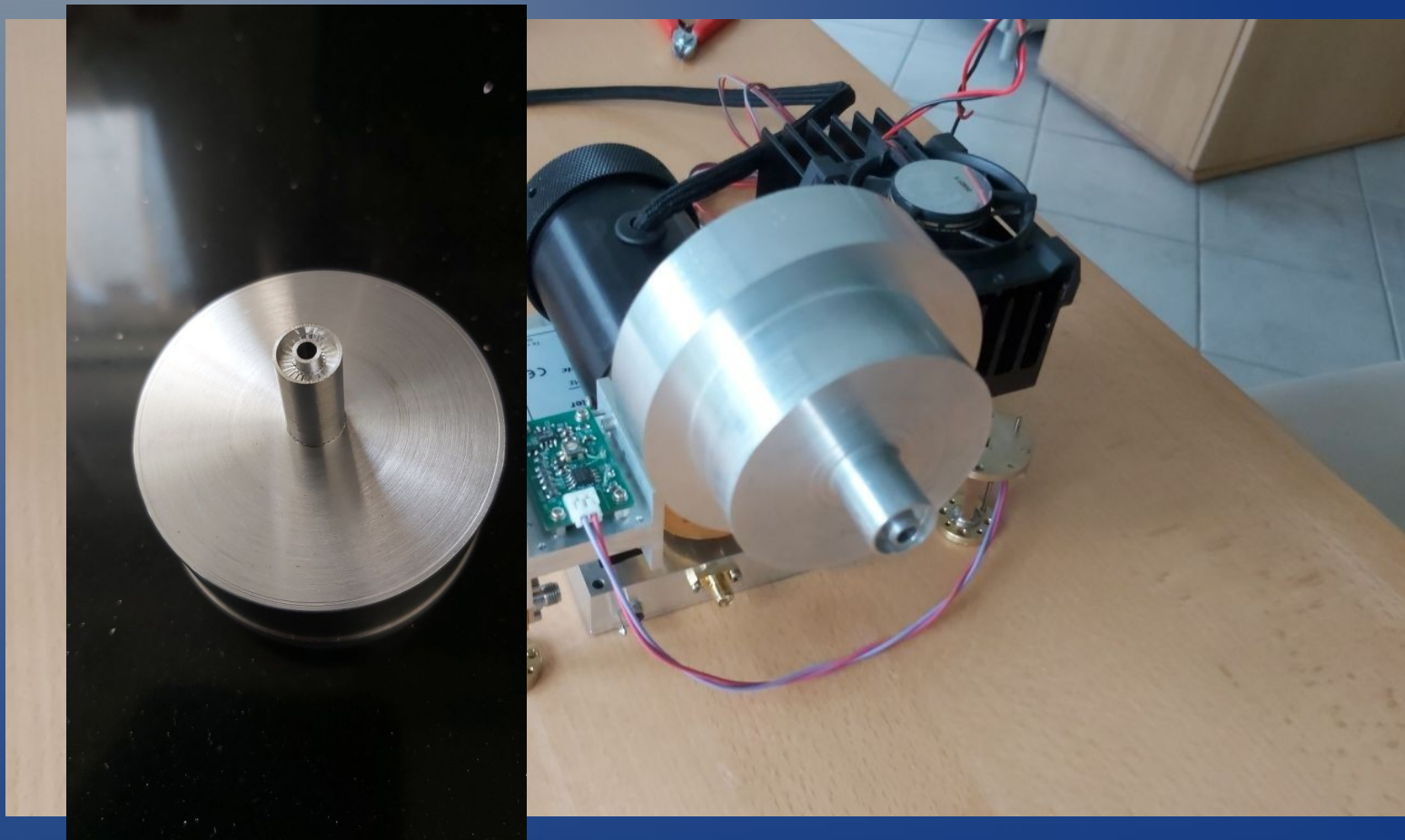
Tiefe Spiegel (Prime Focus $f/D > 0.3$)

Primärstrahler: kleiner Gewinn = großer Öffnungswinkel

Bei perfekter Ausleuchtung: System-Wirkungsgrade bis **65 %** erreichbar!

(Quelle: W1GHZ Antenna Handbook)

Primefocus-Feed f/D 0.39



Was braucht man noch?

Alles muss extrem hohe Qualität haben:

Rauscharmer Vorverstärker WR19 oder WR22
Rauschzahl im Bereich von 1.8 dB bis
2.2 dB @ 17 Grad C

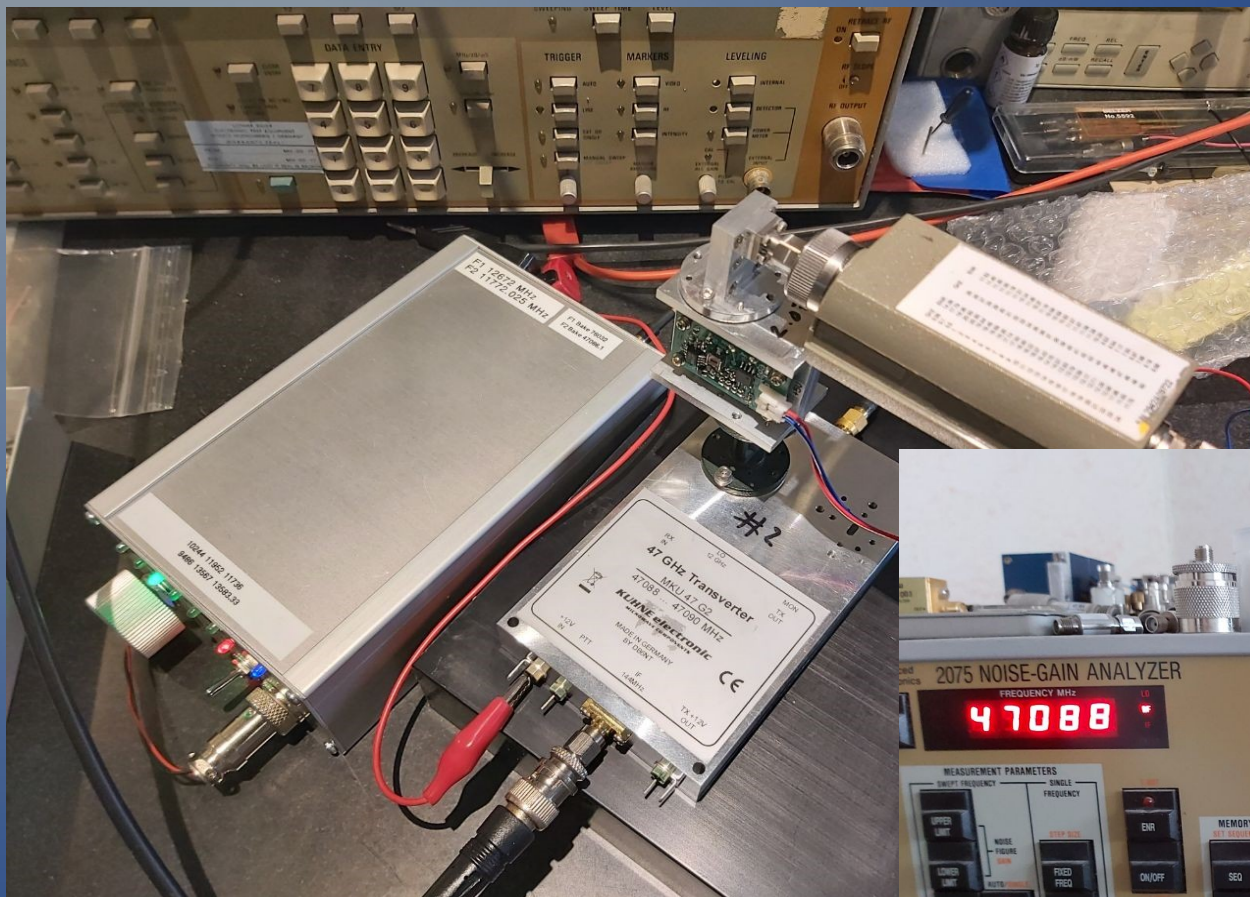
Die genaue Messung derartig kleiner Rauschzahlen
hängt stark von der Mess-Umgebung (s_{11} / s_{22}) und
der Temperatur ab

Vergleichbarer ist die Angabe des Wertes des
erzielten Mondrauschens im Gesamtsystem

Rauscharmer Vorverstärker



Rauscharmer Vorverstärker JA8CMY – JA1WQF – DL7YC



Low-Noise Vorverstärker @47 GHz

Seit 2022 sind Rauschzahlen < 2.0 dB bei 18 Grad C möglich

Weitere Verbesserung nur über Kühlung möglich
– aber VORSICHT: Taupunkt-Problem

Die absolute Rauschzahl des VV wird aber von weiteren ungünstigen Parametern weitgehend maskiert.

Was braucht man noch?

Nach meiner Erfahrung, wegen der schnell steigenden Verluste, der wichtigste Aspekt:

Stabiles AZ / AL mount – mindestens aber einen EGIS Rotor mit Steppermot oder besser!

Sehr gut zu benutzen sind kombinierte – sogenannte „slewing drive“ - Antriebe mit externen 18-bit Sensoren geeignet für eine Winkelauflösung von ± 0.005 Grad

Stables AZ / EL mount



Was braucht man noch?

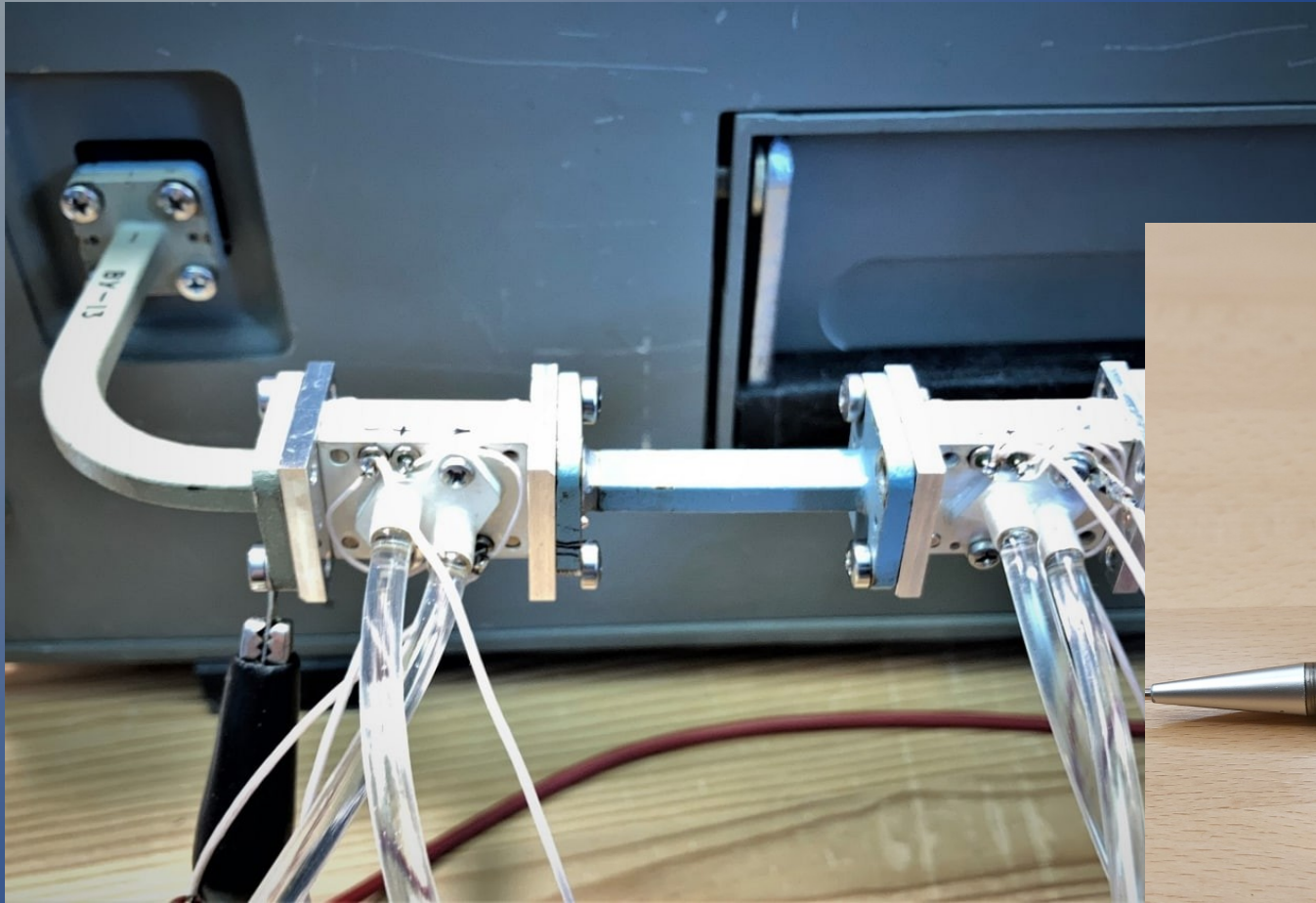
Power natürlich

Die 47 GHz Senderausgangsleistung sollte nach den bisherigen Erkenntnissen nicht kleiner als 13 Watt HF sein!

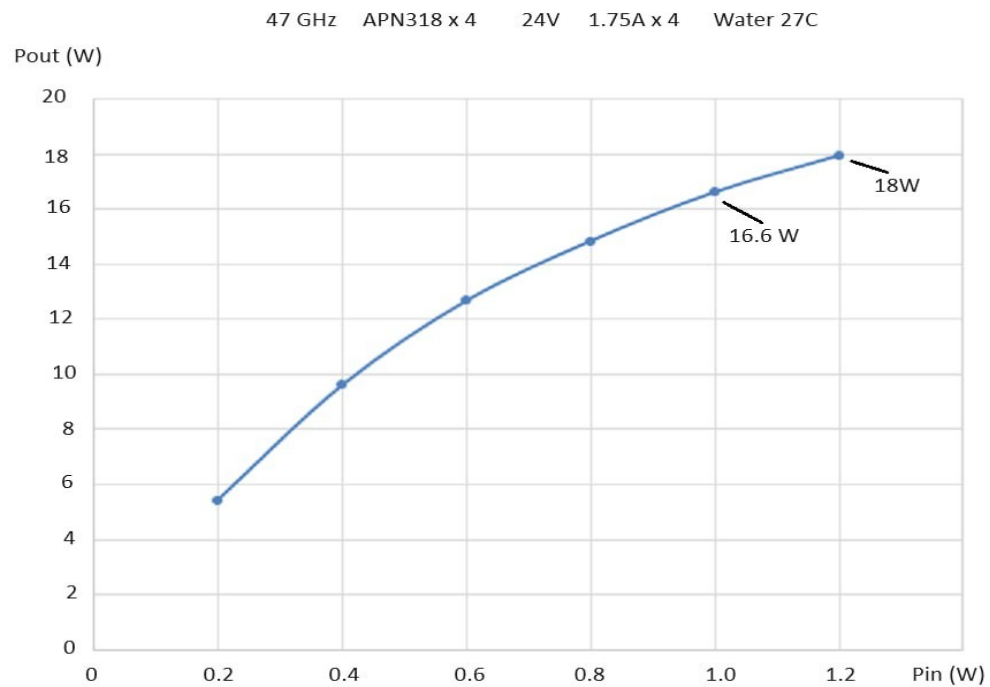
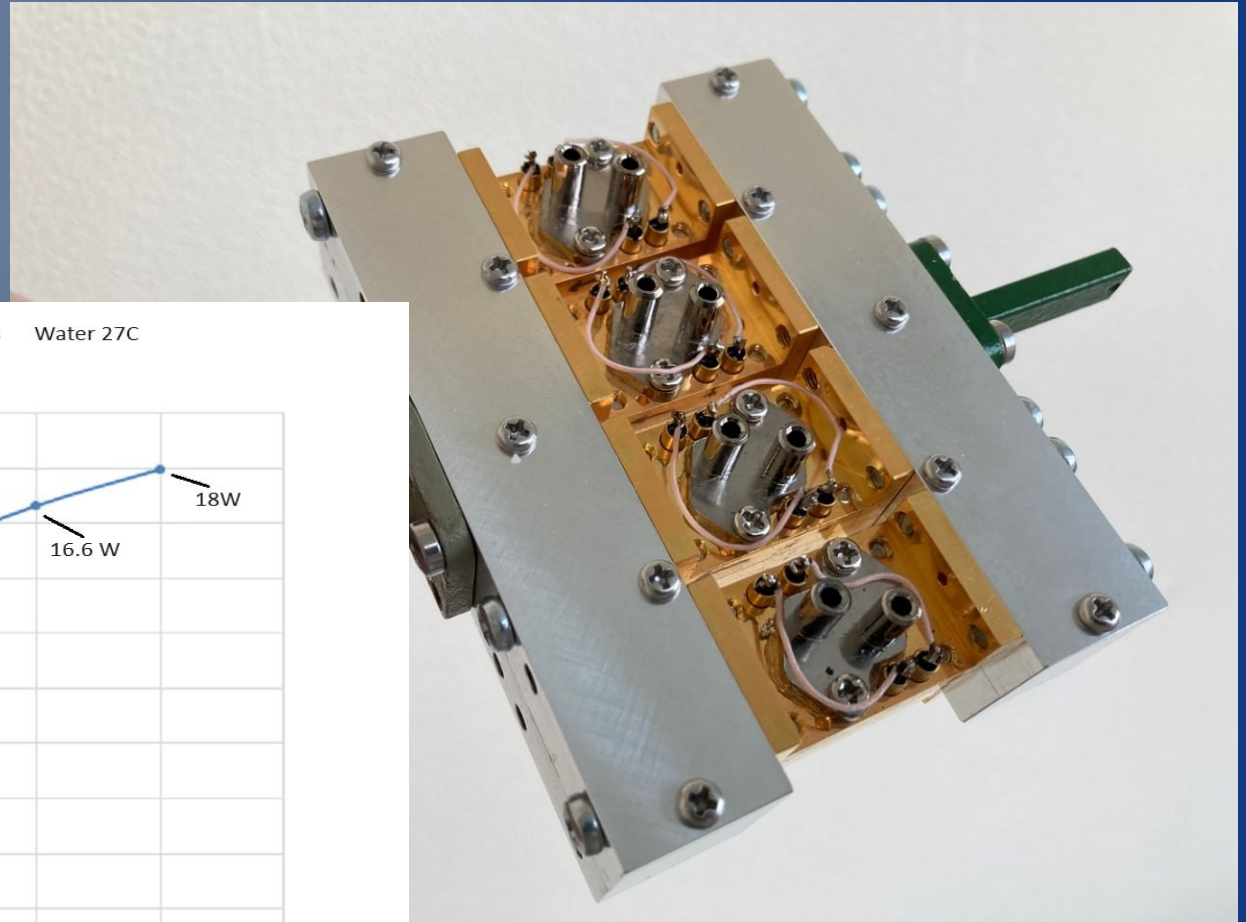
Die höchste im Amateurbereich bekannte kombinierte SSPA Ausgangsleistung beträgt zur Zeit 18 Watt

Die höchste im Amateurbereich bekannte TWTA Ausgangsleistung beträgt 42 Watt

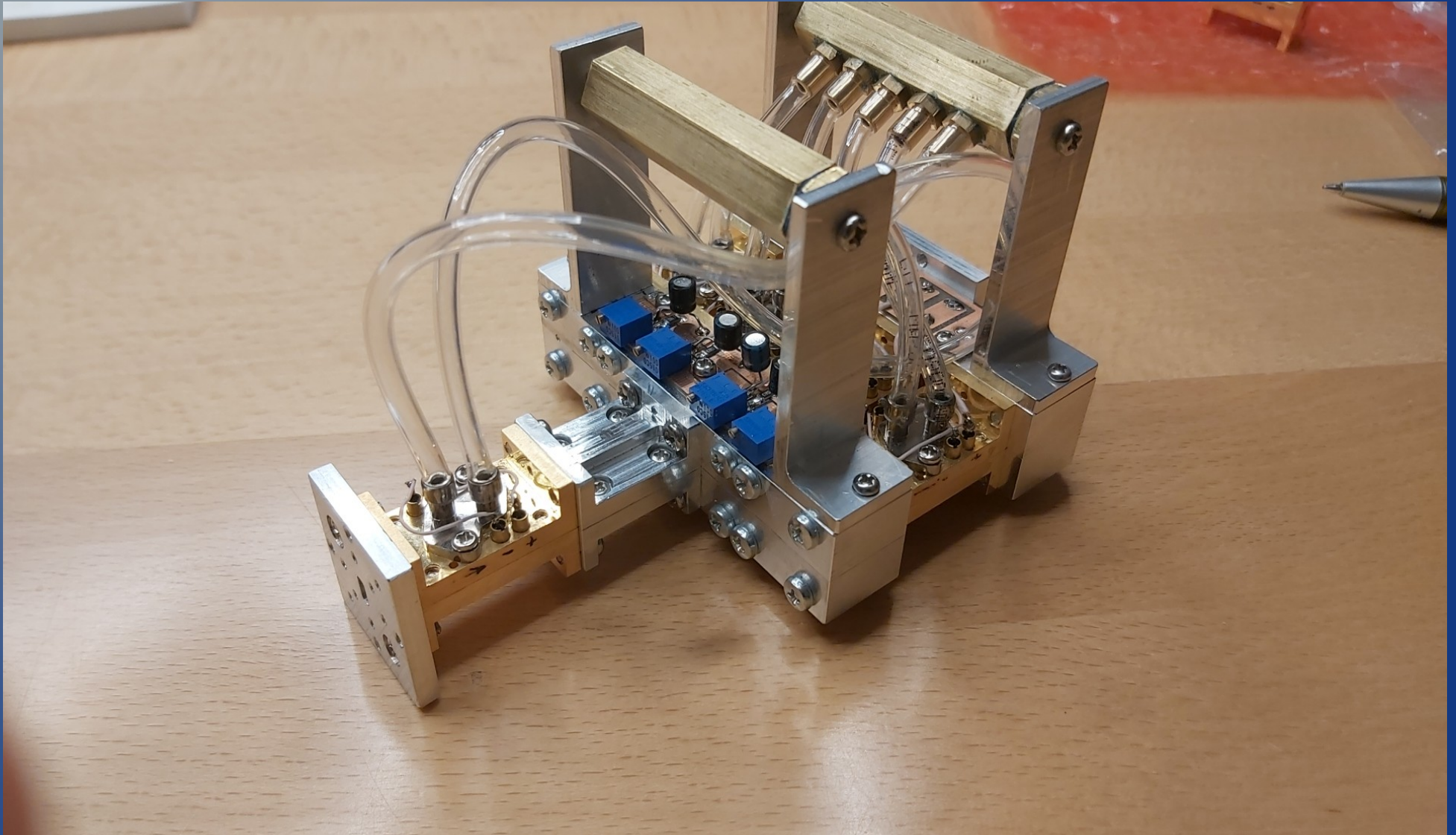
SSPA Entwicklung für 47 GHz



SSPA für 47 GHz



5 x APN 318 mit 18 Watt HF



MMIC Northrup Grumman APN 318

Millimeterwellen-Verstärker Hughes 8030H22



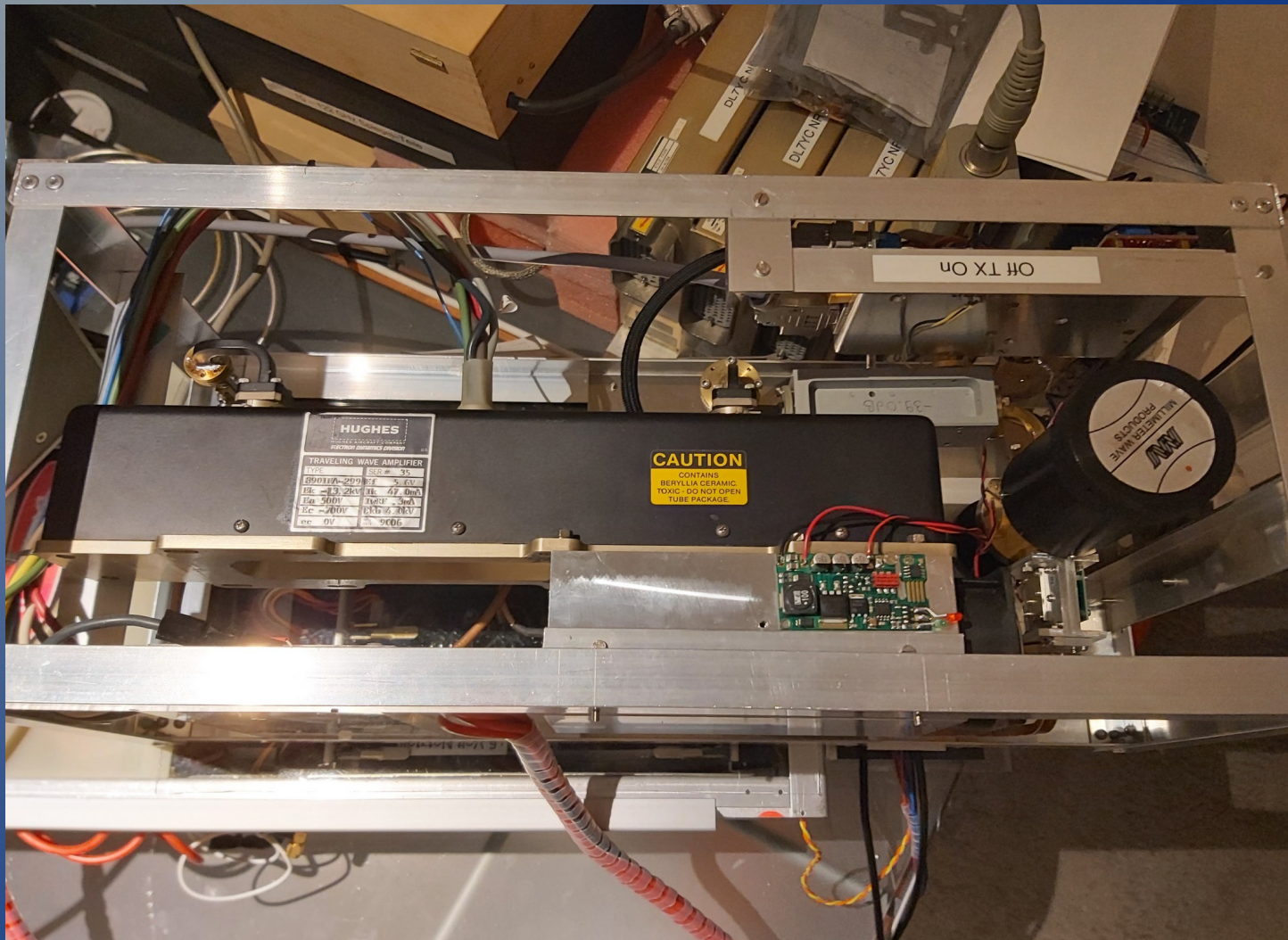
mit TWT Hughes 8901 H

AD6FP Offset-Lösung in 2004

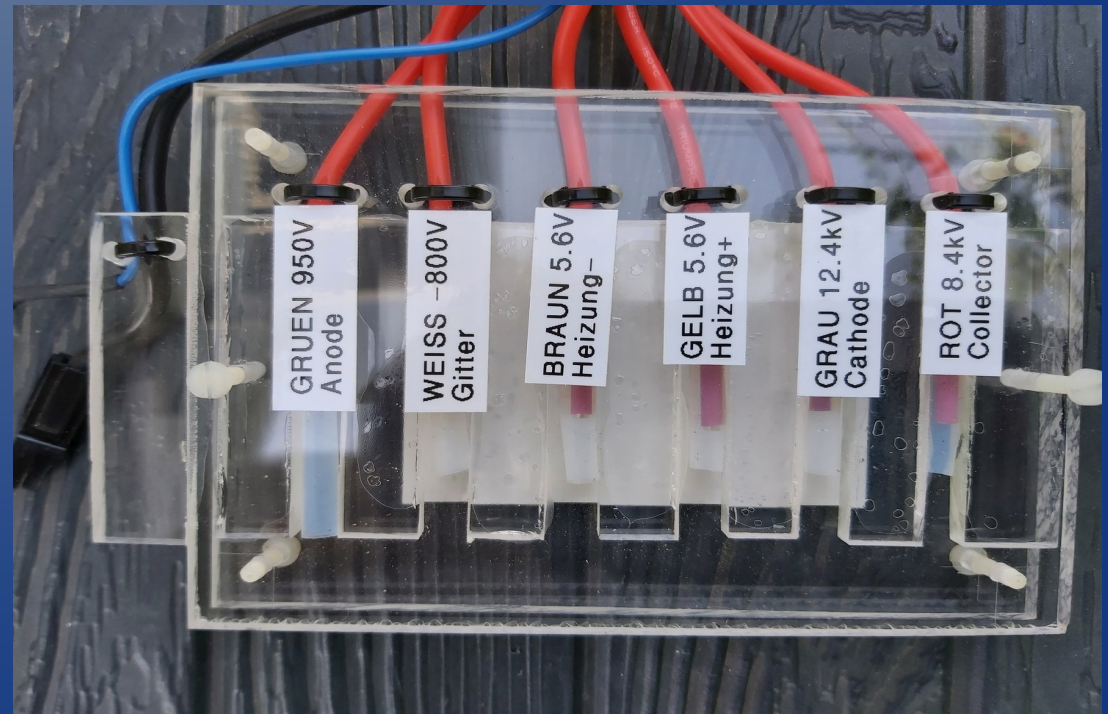
AD6FP 47 GHz 1.8 Meter Dish



TWTA 42 Watt @ 47 GHz



Hochvolt Verbindung zum PSU



Was braucht man?

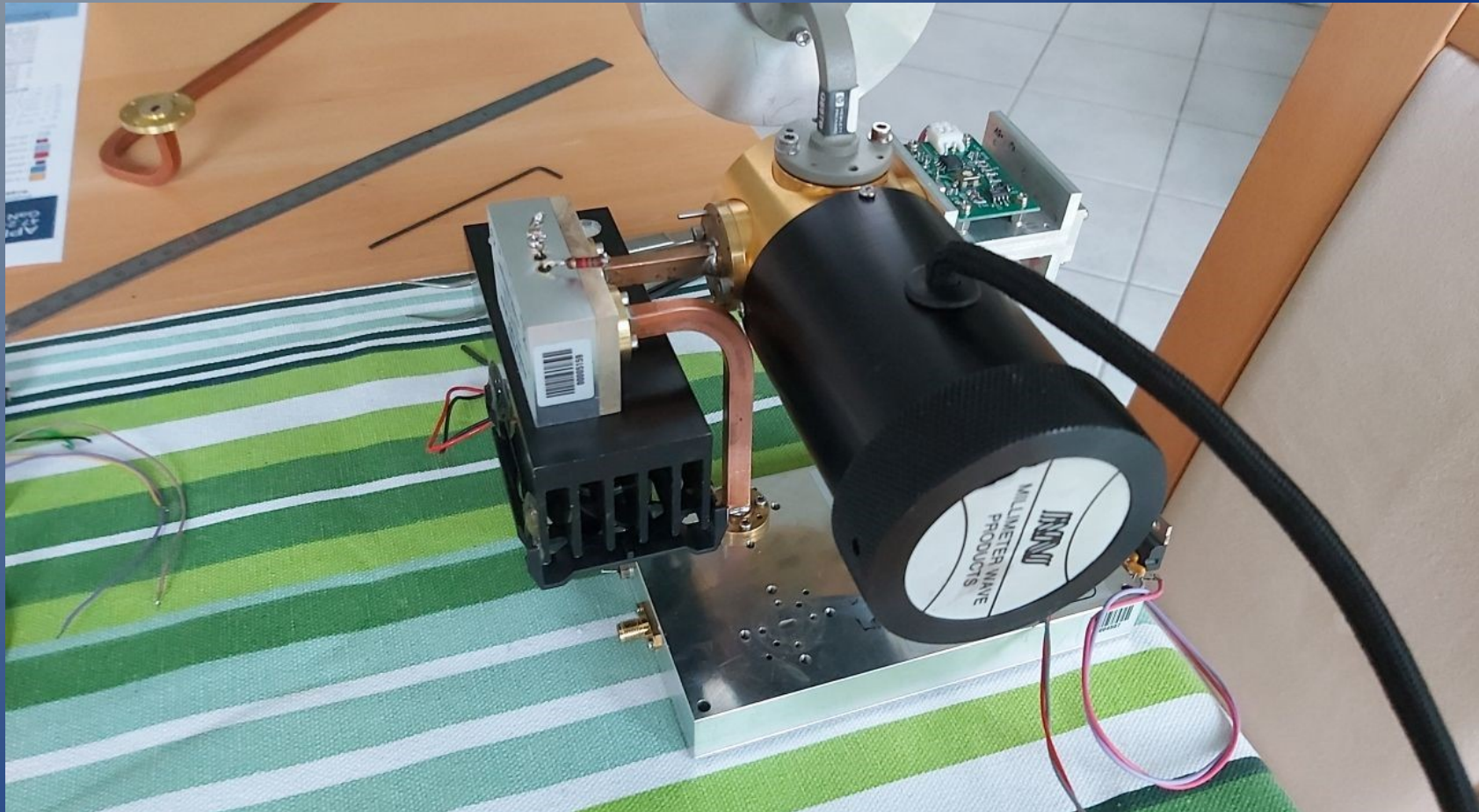
Zuerst mal die geeignete Messtechnik:

Die Umschaltung zwischen TX und RX kann auf verschiedene Weise erfolgen

- WR19 oder WR22 Hohlleiterschalter
- zwei getrennte Feedsysteme und mechanischer Wechsel in den Focuspunkt mittels Linearantrieb

Beide Lösungen „verzögern“ und verkürzen die 2.5 sec Zeit zur Messung der Mondechos

47 GHz Hohlleiter-Schalter in WR-19



Was erschwert die Übertragung?

Wie finde ich den Mond – Kamerasystem /
SuM

Nachführgenauigkeit 0.01 Grad!

Wetterbedingungen – Luftfeuchte / Temp /
Druck

Video Überwachung mittels Kamera



Was erschwert die Übertragung?

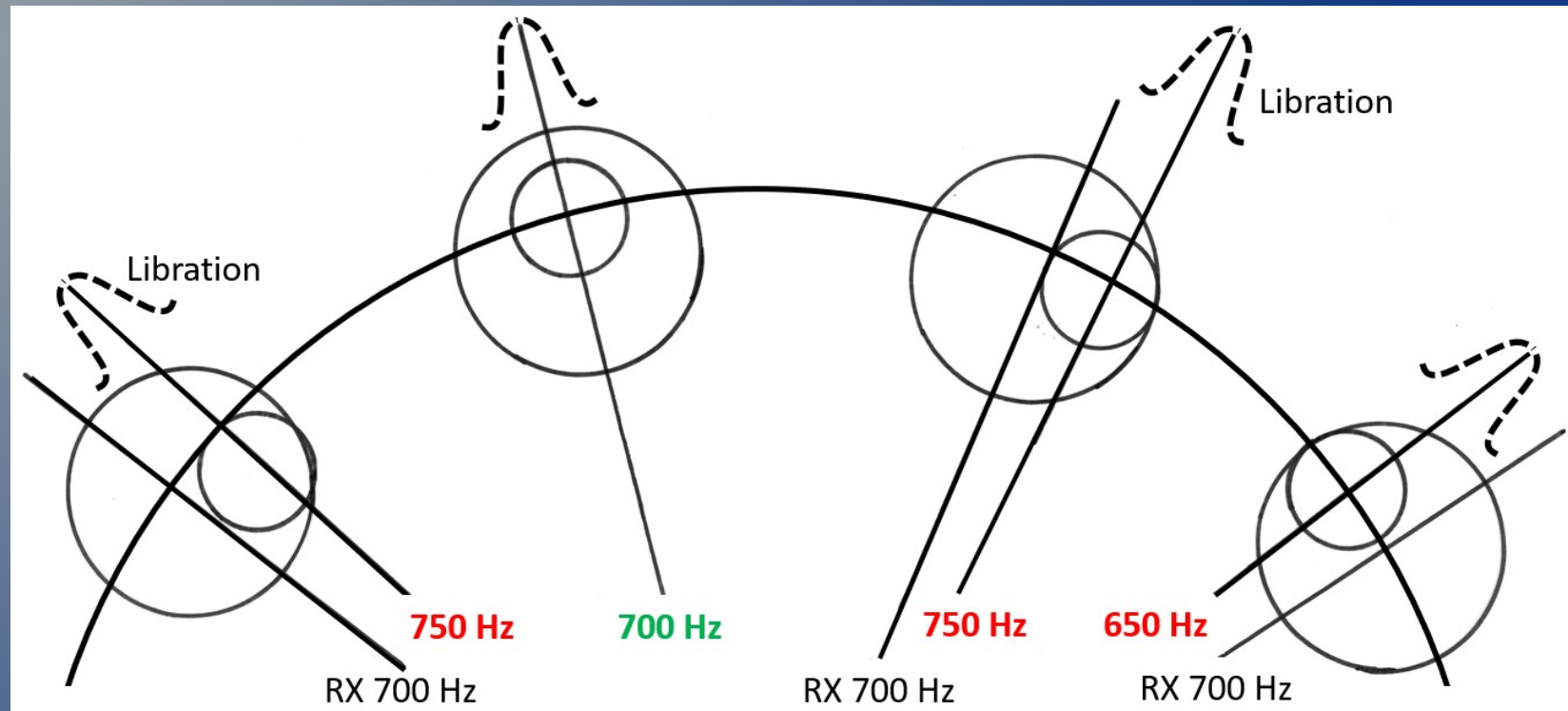
**NF-Frequenzverschiebung aufgrund
Doppler und Position des Beams auf dem
Mond!!!**

Libration...(am Horizont manchmal < 100 Hz)

Absorption...(im Zenith minimum Loss)

(Moon-Noise Messung / Auflösung 0.01 dB!)

WSJT Decoder: Error im CFOM-Mode



TX = 700 Hz

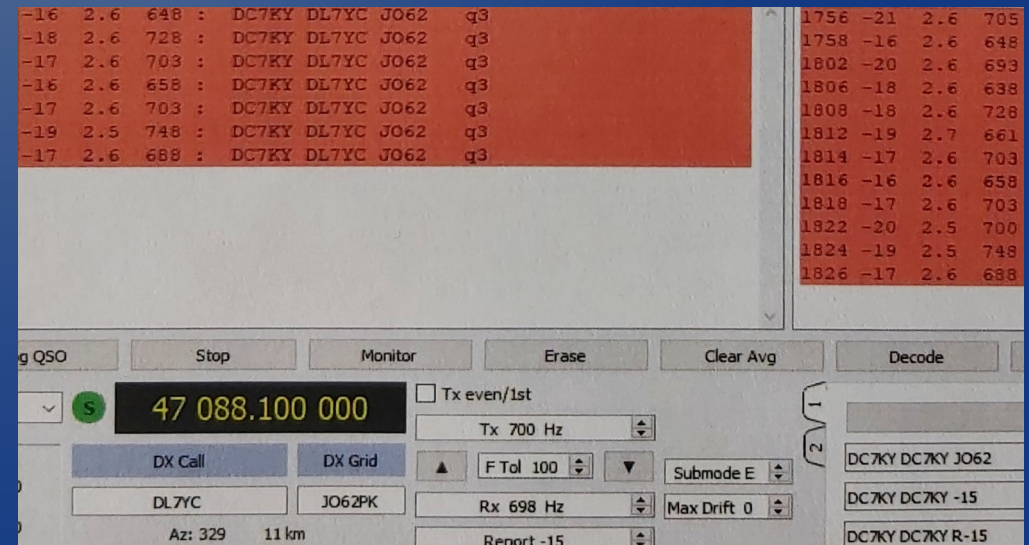
CFOM

$F_{tol} = < 100$

Max. Drift Ø

Submode = E

RX = 650-750 Hz oder mehr!!!



Libration und Absorption

Libration ist ein frequenzabhängiges Verhalten der ECHO-Signalbandbreite und ist abhängig vom Stand des Mondes zur Erde

Absorption ist eine zum „free space loss“ zu addierende Dämpfung (ca. 0.2 dB/km) beim Durchgang des Signals durch die Atmosphäre

Beim Mondaufgang und Untergang erreicht die Libration im Laufe des Mondzyklus Minima

Die Absorption ist zu diesen Zeiten mit > 3 dB Dämpfung pro Signalweg besonders hoch

Optimierung von Echoversuchen

Der beste Zeitpunkt ist ein Kompromiss zwischen toleriertem **Absorptions-Verlust** und

Kleinstmöglicher Signalbandbreite in Hz durch **Wahl des Tages** im Mondzyklus und

Elevation der Antenne für diesen Tag ($> 35^\circ$)

Tracking Probleme

Bei 47 GHz und einem 2.4 m Spiegel muss alle **10 sec** die Position korrigiert werden

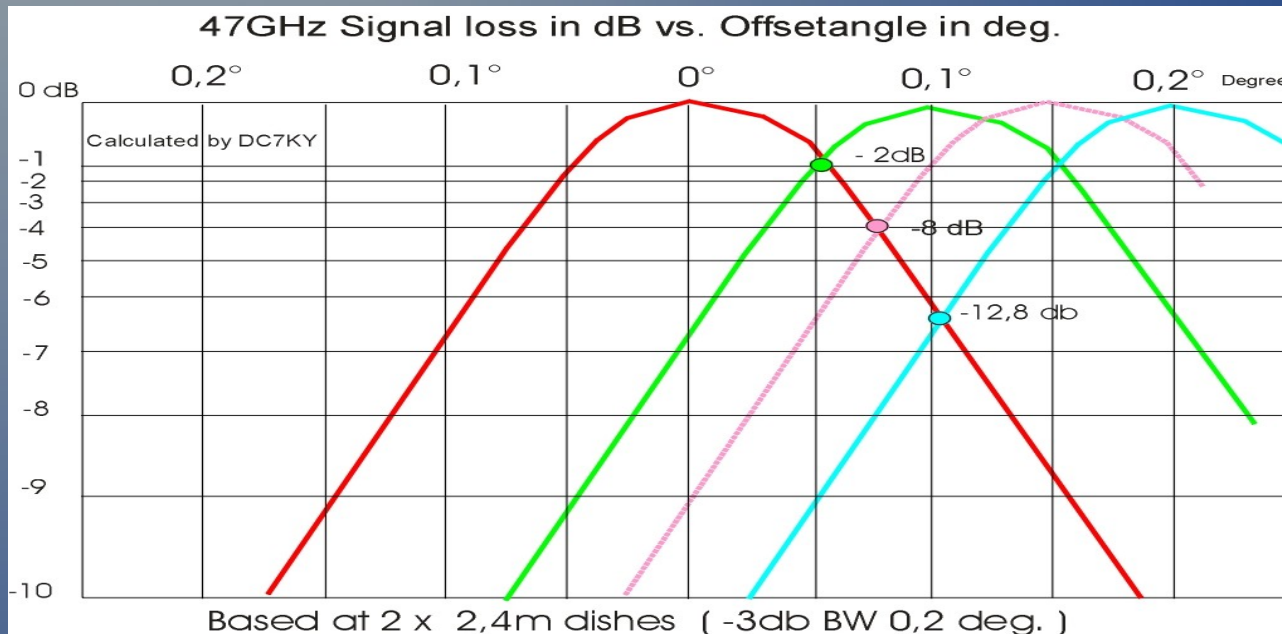
Der rechnerische -3dB Öffnungswinkel beträgt **0.186 Grad**

Der EGIS–Rotor in der 180/40 Grad Version erreicht eine Einstellgenauigkeit um 0.1 Grad

Benötigt werden besser **0.01 Grad!**

Umbau auf Schrittmotore mit Getriebe sinnvoll

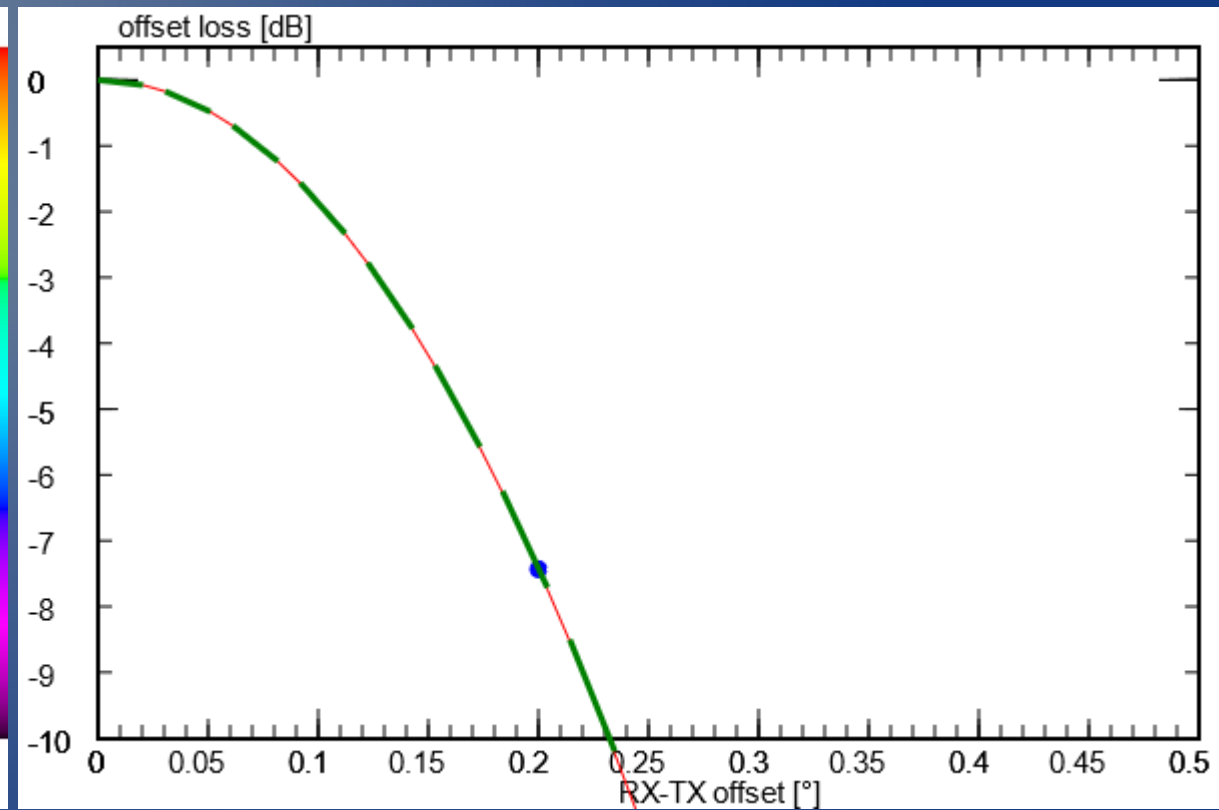
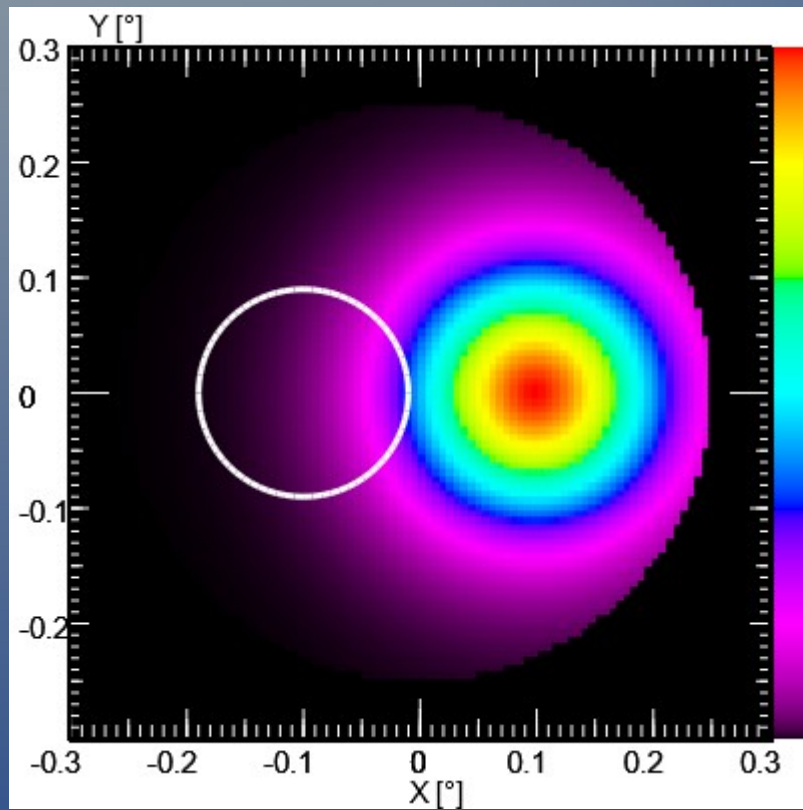
Two narrow beams on the moon



Das obige Bild spiegelt den Kenntnisstand von 2021. Mittlerweile existiert ein sehr genaues Berechnungs-programm der Uni Kiel:

<https://portia.astrophysik.uni-kiel.de/~koeppen/JS/TwoBeams.html>

Loss durch „false“ Tracking



Messung von Sonnen- und Mondrauschen

Die Positionsdaten werden fortlaufend mit der Messung des Mondrauschens verglichen.

Basierend auf den bisherigen Erfahrungen können **Abweichungen von 0.005dB - 0.02 dB** toleriert werden

Bei größerer Abweichung vom „Peak“-Wert sinkt der Pegel der Mond-Echos dramatisch

DL7YCruft DC7KY in Q65-60E

WSJT-X v2.6.0-rc1 by K1JT, G4WJS, K9AN, and IV3NWV

File Configurations View Mode Decode Save Tools Help

Single-Period Decodes

UTC	dB	DT	Freq	Message
1758	-16	2.6	648	: DC7KY DL7YC JO62 q3
1808	-18	2.6	728	: DC7KY DL7YC JO62 q3
1814	-17	2.6	703	: DC7KY DL7YC JO62 q3
1816	-16	2.6	658	: DC7KY DL7YC JO62 q3
1818	-17	2.6	703	: DC7KY DL7YC JO62 q3
1824	-19	2.5	748	: DC7KY DL7YC JO62 q3
1826	-17	2.6	688	: DC7KY DL7YC JO62 q3

Average Decodes

UTC	dB	DT	Freq	Message
1758	-16	2.6	648	: DC7KY DL7YC JO62 q3
1802	-21	2.6	688	: DC7KY DL7YC JO62 q33
1808	-18	2.6	728	: DC7KY DL7YC JO62 q3
1812	-20	2.7	662	: DC7KY DL7YC JO62 q33
1814	-17	2.6	703	: DC7KY DL7YC JO62 q3
1816	-16	2.6	658	: DC7KY DL7YC JO62 q3
1818	-17	2.6	703	: DC7KY DL7YC JO62 q3
1822	-20	2.6	695	: DC7KY DL7YC JO62 q33
1824	-19	2.5	748	: DC7KY DL7YC JO62 q3
1826	-17	2.6	688	: DC7KY DL7YC JO62 q3
1834	-20	2.6	695	: DC7KY DL7YC JO62 q33

Log QSO Stop Monitor Erase Clear Avg Decode Enable Tx Halt Tx Tune ☒ Menus

6mm S 47,088.200 000 ☐ Tx even/1st

☐ Sh ☒ Auto Seq ☒ Call 1st ☐ Tx6

61 dB 2022 6 04 04:23:33

Generate Std Msgs

	Next	Now
DL7YC DC7KY JO68	☐	☐ Tx 1
DL7YC DC7KY -15	☐	☐ Tx 2
DL7YC DC7KY R-15	☐	☐ Tx 3
DL7YC DC7KY RR73	☐	☐ Tx 4
DL7YC DC7KY 73	☐	☐ Tx 5
CQ DC7KY JO68	☒	☐ Tx 6

220603_1840.wav Q65-60E 4 0 0/60

DL7YCruf RW3BP @ 47 GHz



uWCW summiert die CW Signale



Weitere 47 GHz Q65-60E Beispiele

WSJT-X v2.5.4 by K1JT, G4WJS, K9AN, and IV3NWW

File Configurations View Mode Decode Save Tools Help

Single-Period Decodes

UTC	dB	DT	Freq	Message
1712	-16	2.9	685	: W5LUA DL7YC JO62 q3
1714	-15	2.9	663	: W5LUA DL7YC JO62 q3
1716	-15	3.0	662	: W5LUA DL7YC JO62 q3
1718	-16	3.0	670	: W5LUA DL7YC JO62 q3

Average Decodes

UTC	dB	DT	Freq	Message
1712	-16	2.9	685	: W5LUA DL7YC JO62 q3
1714	-15	2.9	663	: W5LUA DL7YC JO62 q3
1714	-18	2.9	675	: W5LUA DL7YC JO62 q32
1716	-15	3.0	662	: W5LUA DL7YC JO62 q3
1716	-18	2.9	657	: W5LUA DL7YC JO62 q33
1718	-16	3.0	670	: W5LUA DL7YC JO62 q3
1718	-19	3.0	672	: W5LUA DL7YC JO62 q34
1720	-19	2.9	652	: W5LUA DL7YC JO62 q35

Log QSO Stop Monitor Erase Clear Avg Decode Enable Tx Halt Tx Tune ☒ Menus

6mm **\$ 47,088.200 000** ☒ Tx even/1st

Tx 700 Hz Rx 700 Hz Report -15 T/R 60 s

Generate Std Msgs Next Now Pwr

DL7YC W5LUA EM13 Tx 1

DL7YC W5LUA -15 Tx 2

DL7YC W5LUA R-15 Tx 3

DL7YC W5LUA RR73 Tx 4

DL7YC W5LUA 73 Tx 5

CQ W5LUA EM13 Tx 6

21:09 Lunes 4 de julio

Finalizar

Zoom

19:06 6mm

19:05 6mm

19:04 6mm

DT = 2.85

WSJT-X v2.5.4-h1 by K1JT, G4WJS, K9AN, and IV3NWW

Analisis Configuraciones Ver Modo Decodificar Guardar Herramientas Ayuda

Decodificaciones de un solo periodo

UTC	dB	DT	Freq	Message
1904	-16	2.8	683	: CT1BYN DL7YC JO62 q3
1908	-16	2.8	688	: CT1BYN DL7YC JO62 q32

Promedio de decodificaciones

UTC	dB	DT	Freq	Message
1904	-16	2.8	683	: CT1BYN DL7YC JO62 q3
1908	-16	2.8	688	: CT1BYN DL7YC JO62 q32

Guardar QSO (0) Detener (S) ☒ Monitor (M) Borrar (E) Borrar media Decodifica (D) Activar TX (N) Detener TX (H) Tono TX (T) Menus

6mm **\$ 47,088,070 801** Tx par/1st

TX 700 Hz Submodo E

DL7YC CT1BYN EM13 Tx1

DL7YC CT1BYN -15 Tx2

DL7YC CT1BYN R-15 Tx3

DL7YC CT1BYN RR73 Tx4

DL7YC CT1BYN 73 Tx5

CQ CT1BYN EM13 Tx6

2022 jul. 04 10:00:16

Pantalla de Jose EASHMU

WSJT-X v2.1.2 by K1JT

File Configurations View Mode Decode Save Tools Help

Single-Period Decodes

UTC	dB	DT	Freq	Message
MOON	1143	-23	2.2	1059 :
Az	1144	-22	2.7	1089 : *
Alt	1145	-22	4.4	900 : *
Stop	1146	-23	2.7	994 : * JA1WQF W5LUA EM13
Move dish	1147	-23	2.6	1040 :
Driver dis	1148	-23	0.7	927 :
Digits pre	1149	-24	-0.3	1081 :

Log QSO Stop **Monitor** Erase Enable Tx Halt Tx Tune ☒ Menus

6mm **\$ 47,088.150 629** ☐ Tx even/1st

Tx 1000 Hz Rx 1000 Hz Report -15 Submode D Sync 1

Generate Std Msgs Next Now Pwr

W5LUA JA1WQF QM05 Tx 1

W5LUA JA1WQF -15 Tx 2

W5LUA JA1WQF R-15 Tx 3

W5LUA JA1WQF RR73 Tx 4

W5LUA JA1WQF 73 Tx 5

CQ JA1WQF QM05 Tx 6

Receiving QRA64 D

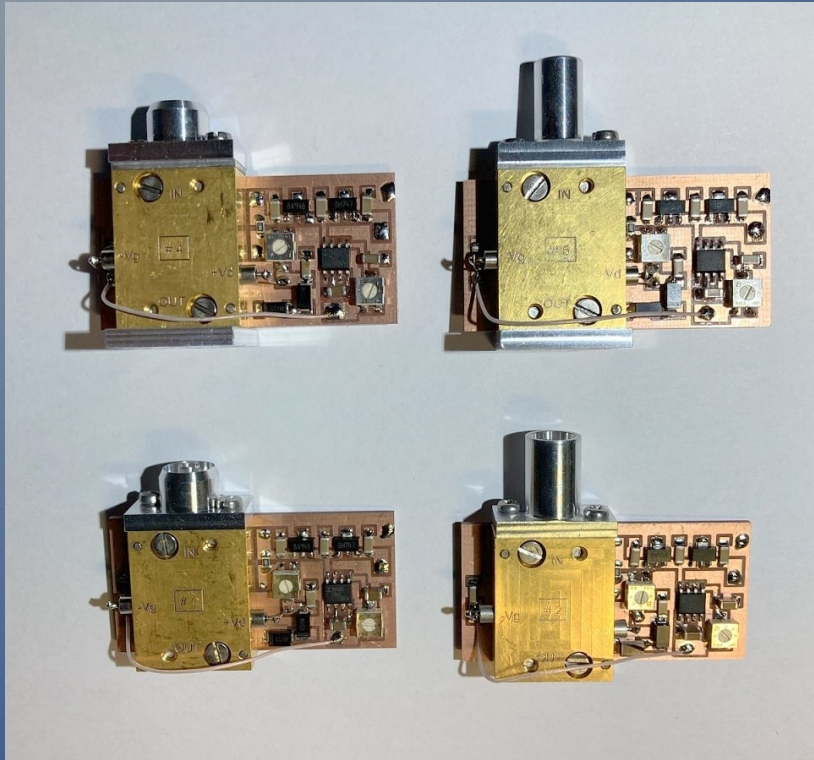
2020 2 10 11:49:57

57/60

Zusammenfassung

- Spiegel mit **RMS-Wert < 0.2 mm!!!**
- Optimales Feed-Design passend zum f/D
- (Trockeneis od. Stickstoff gekühlte Vorverstärker)
- Low-Loss RX/TX- WG-Umschalter
- Senderleistung 13 bis 40 **Watt am Feed**
- Tracking-Genauigkeit **0.01 Grad** (Moon-Noise)
- Perfektes Zeitmanagement und Planung

Whats next? 76 GHz EME?

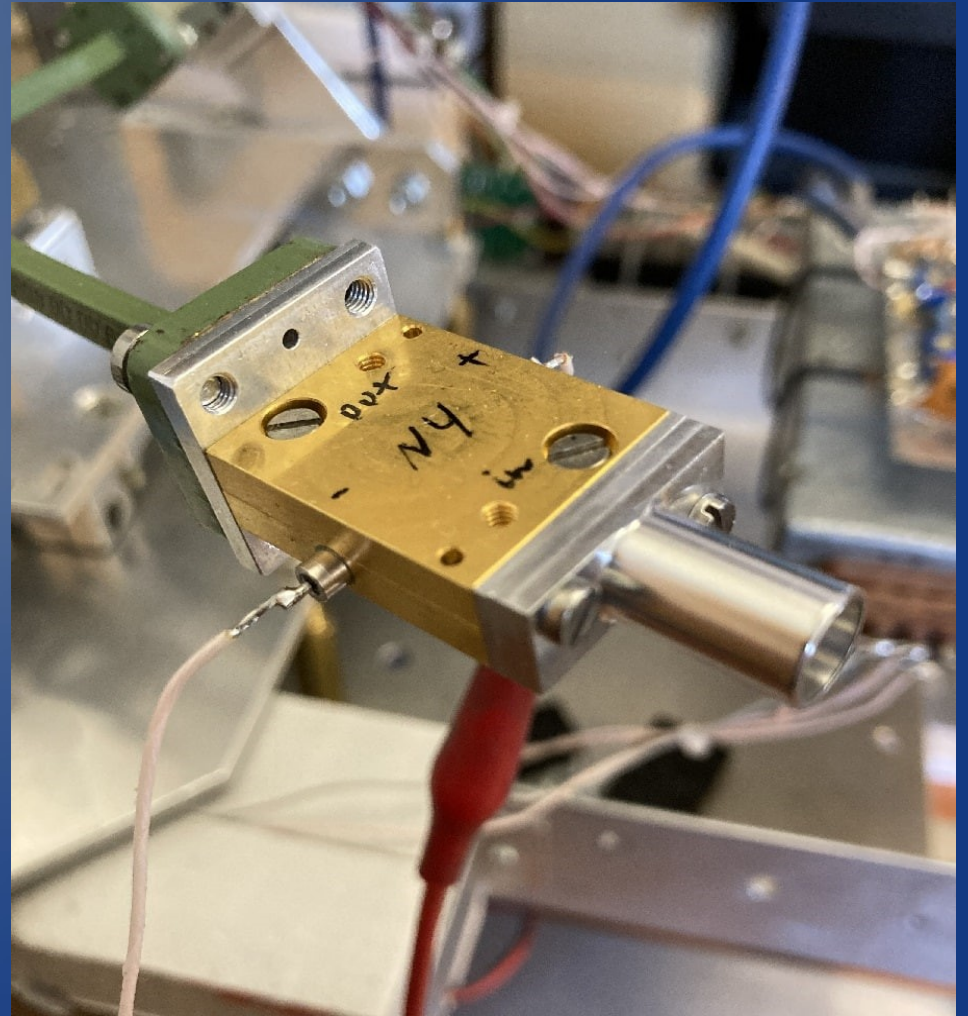
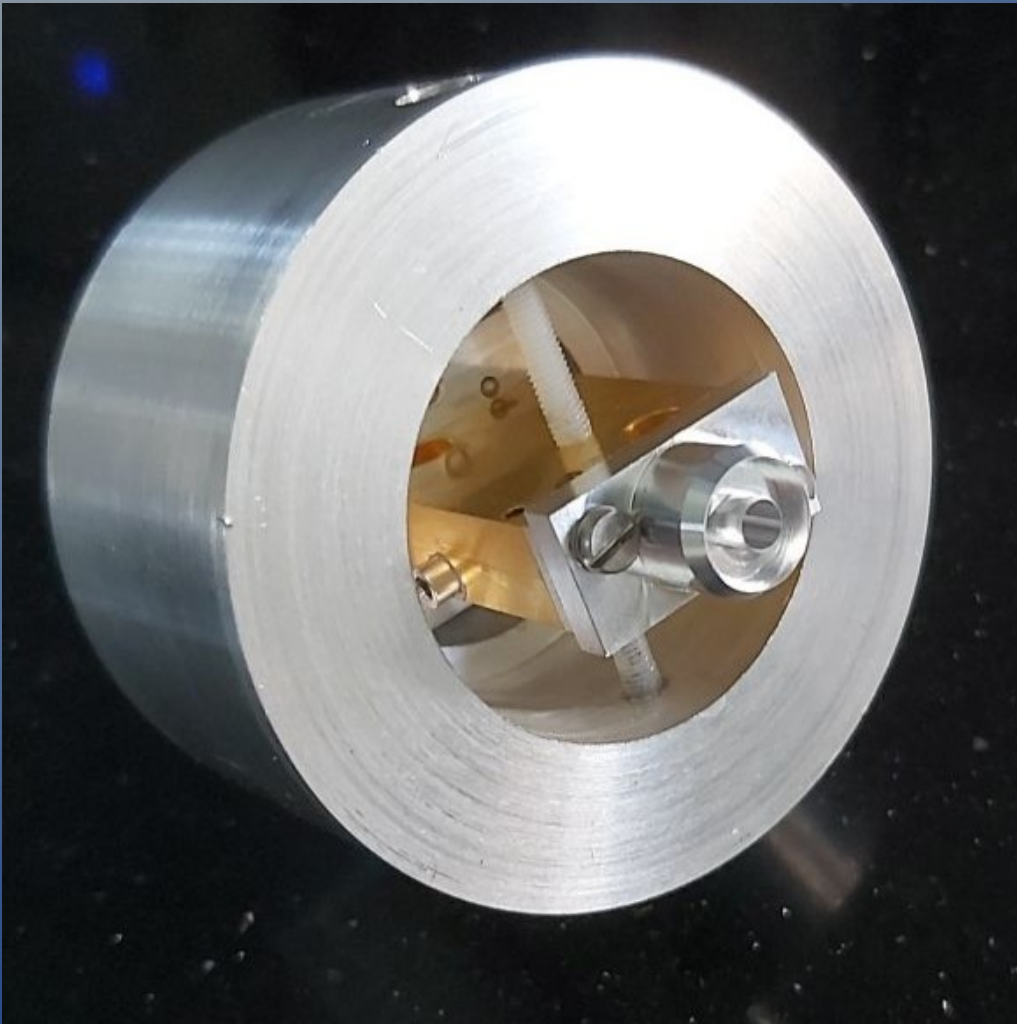


COMMIC
Innovating with III-V's

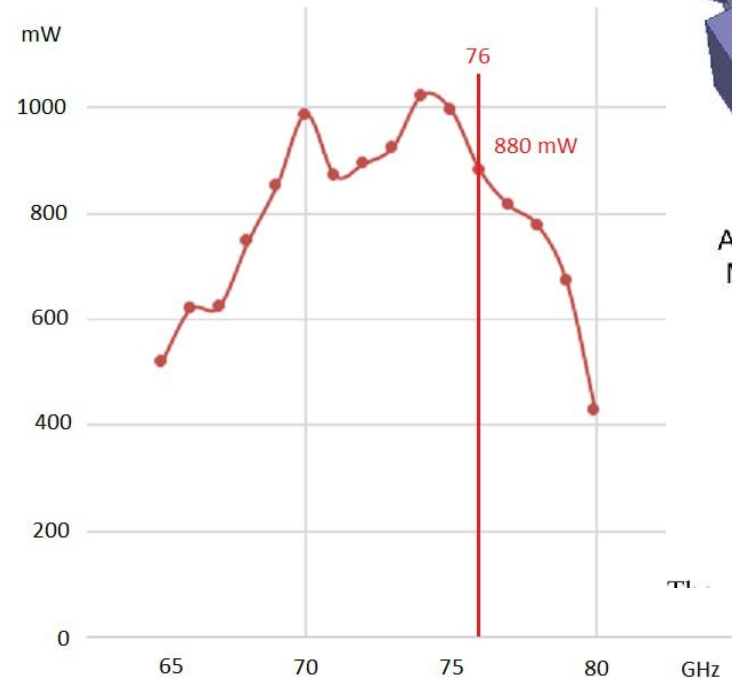
Project	CGY2190UH/C2
Batch	11667
Wafer	BK928020XT
Circuit	D12006E
Qty	6

Good Electrical
Good Visual

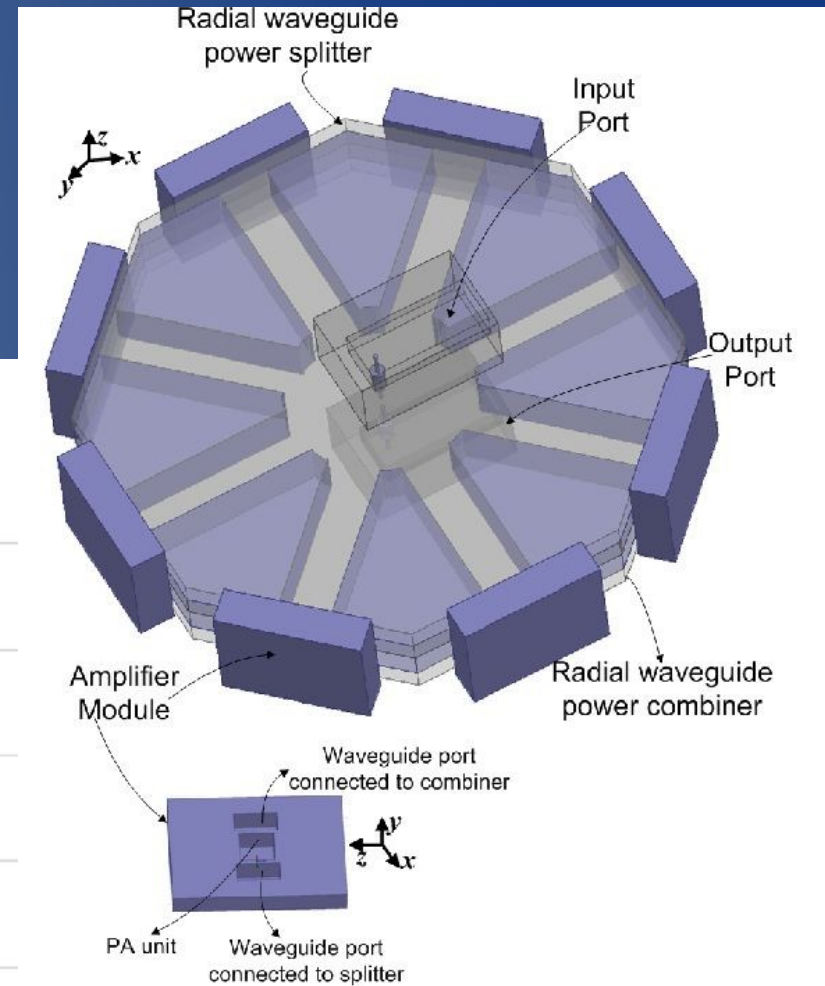
Whats next? 76 GHz EME?



Whats next? 76 GHz EME?



gAPZ0091 Amplifier



47 GHz EME by DL7YC

DANKE für die Aufmerksamkeit

DANKE für die Bereitschaft dem komplexen
Thema überhaupt folgen zu wollen

und DANKE für jegliche Kritik und Anregung

See you at 76 GHz!!!