



Bestimmung von Empfänger-Rauschzahl & Antennen-Wirkungsgrad in den oberen GHz Bändern

Zweck dieser Präsentation

- **Warum das Ganze?**

Wer hat die beste **Systemperformance** $\text{Gain}_{\text{Ant}}/T_{\text{RX}}$ (Antenne & Empfänger)?

- **Möchte zeigen ...**

... was man auf den höheren Bändern von **47 – 241 GHz** beachten muss um genaue Aussagen über die Systemperformance treffen zu können?

ÜBERSICHT

- 4 Kernaussagen aus „Sun Noise Messungen in den oberen GHz Bändern“¹ ✓
- „Link Budget“ Berechnung mit atmosph. Dämpfung
- NF Messmethoden von Empfängern bei 47 – 241 GHz
- Bestimmung vom Antennenwirkungsgrad und Gain

Kernaussage 1: Verhältnis von Empfangsleistungen wird mit einem SDR gemessen



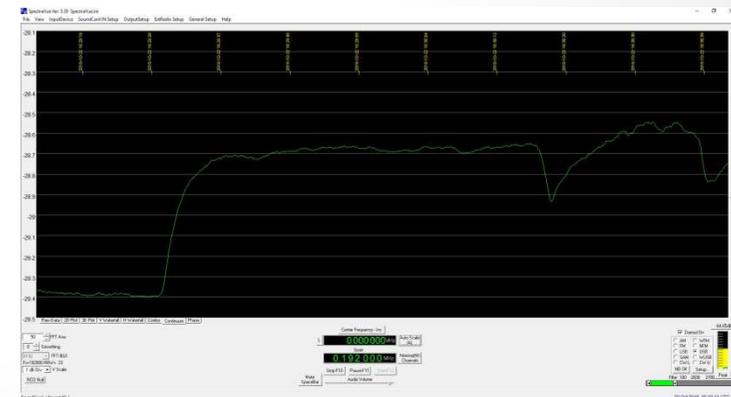
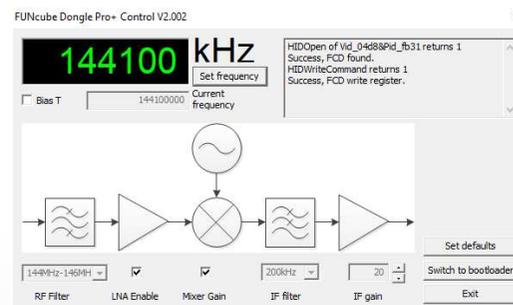
- **Hot – Cold oder Sonnenrausch Messung:**

$$Y_{\text{lin}} = \frac{P_{\text{hot}}}{P_{\text{cold}}} = \frac{T_{\text{hot}} k_b B G}{T_{\text{cold}} k_b B G} = \frac{T_{\text{hot}}}{T_{\text{cold}}}$$

$$Y_{\text{dB}} = 10 \log Y_{\text{lin}}$$

- **Welches Messsystem eignet sich dazu?**

Messung mit einem SDR² und SpectraVue³



Kernaussagen 2, 3 und 4 betreffen atmosphärische Dämpfung, Sun Brightness Temp und „Füllfaktor“

	10, (24) GHz	47, 76, 122, 241 GHz
Atmosphärische Dämpfung ⁴ durch O ₂ , H ₂ O	Näherung mit fixen Werten (dB/km), unabhängig vom Wetter	Temperatur, Feuchte, absoluter Luftdruck MÜSSEN bekannt sein !!!
Sun Brightness Temperatur ^{5,6} (Strahlungstemperatur)	Stark ABHÄNGIG von der Sonnenaktivität	Unabhängig von der Sonnenaktivität. GENAUE Werte sind wenig erforscht.
Verhältnis Sonnendurchmesser (0,525°) zu Half-Power-Beam-Width	Bis zu einem 10m Spiegel ist Sonne punktförmig	Ab 0.5 m Spiegel ist Sonne NICHT mehr punktförmig. „Füllfaktor“ MUSS berücksichtigt werden

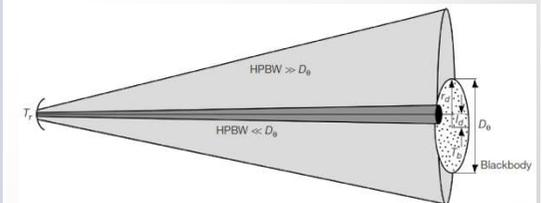
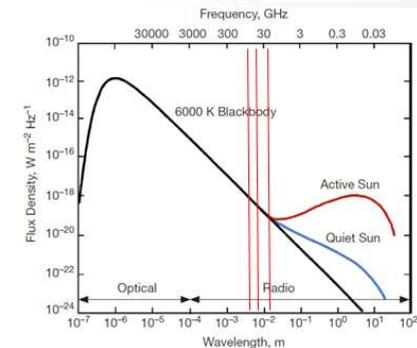
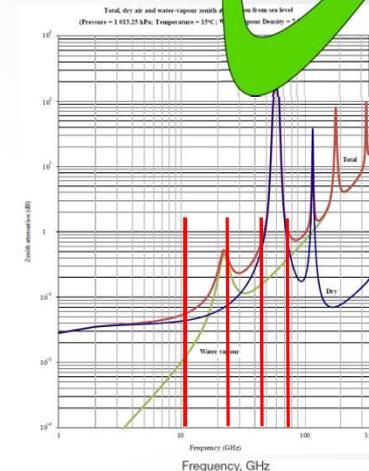


Figure 7. Geometry of antenna beams with two types of beamwidths relative to a blackbody [10].

Link Budget Berechnung mit atmosphärischer Dämpfung, Wolken, Regen von 1- 1000 GHz

TRANSMITTER - TX		0,8 dBmW	
Transmitter Power	1,2 mW		
Dish diameter	0,47 m		
Dish efficiency	50 %		
Frequency	122 GHz	19.10.2013	Morning
Wavelength	0,25 cm	Plöckenstein - Untersberg	
Dish beam width	0,5 °	OE5VRL - OE4WOG	
Dish gain	52,6 dBi		
Amplifier	0,0 dB		
SPACE/ATMOSPHERE LOSS			
Overall system temp	29493 K	Antenna temp	783 K
Range R	132 km	Receiver temp	28710 K
Rain rate	0 mm/h	rain cloud thickn.	0 km
Elevation	0 °	+rain+cloud	783 K
Atmospheric loss	0,244 dB/km	O ₂ 1 - 1000 GHz	
	0,161 dB/km	H ₂ O vapour 1 - 1000 GHz	
Sum atm.loss	53,5 dB		
Taupunkt	-9,1 °C	-0,2988	
H ₂ O vapour @T	2,35 g/m ³		
Temp	10 °C	1,018	
Humidity	25 %		
Rain loss	0,0000 dB/km	a	1,175138
		b	0,71198
Cloud loss	0,0010 dB/km		
K ²	0,93 (0,93 Wasser/ 0,19 Eis)		
Tx-Ant loss	0,0 dB		
Space loss	176,5 dB		
Pressure	850 mbar	0,839	
		0 m	1013 mbar 15°
		1000 m	900 mbar 8,5°
		2000 m	800 mbar 2,0°
		3000 m	700 mbar -4,5°
Atmospheric duct	0	1... low	
		2... medium	
		3... high	
RECEIVER - RX			
Noise figure F	20,0 dB		
Dish diameter	1,20 m		
Dish efficiency	50 %		
Dish beam width	0,2 °		
Dish gain	60,7 dBi	1175194	
Band width	0,5 kHz		
Min detectable pow	-156,9 dBW	(= Noise)	
Ant-Rx loss	0,0 dB		
1σ-noise	4,3 dB		
# signal integrations	1		
Pe	-116,0 dBmW	2,53E-12 mW	
(S+N)/N	11,3 dB	(= S+N received)	
S/N	10,9 dB		

Beispiel für den 122 GHz Weltrekord über 132 km von OE5VRL und OE4WOG in CW.

Nur gültig: Erde – Erde Verbindung

- Horizontale Ausbreitung (< 1°)
- Sender/Empfänger gleiche Stationshöhe

Nicht gültig: Erde – Weltraum Verbindung

- EME, Sonnenrauschen, ...

Download
<http://members.inode.at/576265/Linkbudget.zip>

ÜBERSICHT

- 4 Kernaussagen aus „Sun Noise Messungen in den oberen GHz Bändern“¹
- „Link Budget“ Berechnung mit atmosph. Dämpfung
- **NF Messmethoden von Empfängern bei 47 – 241 GHz**
- Bestimmung vom Antennenwirkungsgrad und Gain

NF Messung 1: OHNE Sonne, Microwave Absorber – Sky (Bsp. 76 GHz)

Wolkenloser Himmel damit Dämpfung mittels Simulation möglichst genau vorhersagbar ist.

Hot/Cold: Feed

$T_{cns} = 2.73 \text{ K}$ $T_{totm} = \left(1 - \frac{1}{L_{totm, \perp}}\right) (1.12 \cdot T_{gr} - 50)$

$$Y = \frac{(1-g_F) \left[\frac{T_{cns}}{L_{totm, \perp}} + T_{totm} + T_{Feed} \right] + g_F T_{gr} + T_{RX}}{g_F \left[\frac{T_{cns}}{L_{totm, \perp}} + T_{totm} \right] + (1-g_F) T_{gr} + T_{totm, add} + T_{RX}}$$

$$T_{RX} = \frac{(1-g_F) A + T_{gr} - Y [g_F A + (1-g_F) T_{gr} + T_{totm, add}]}{Y - 1}$$

g_F ... Forward Efficiency

15.12.2018

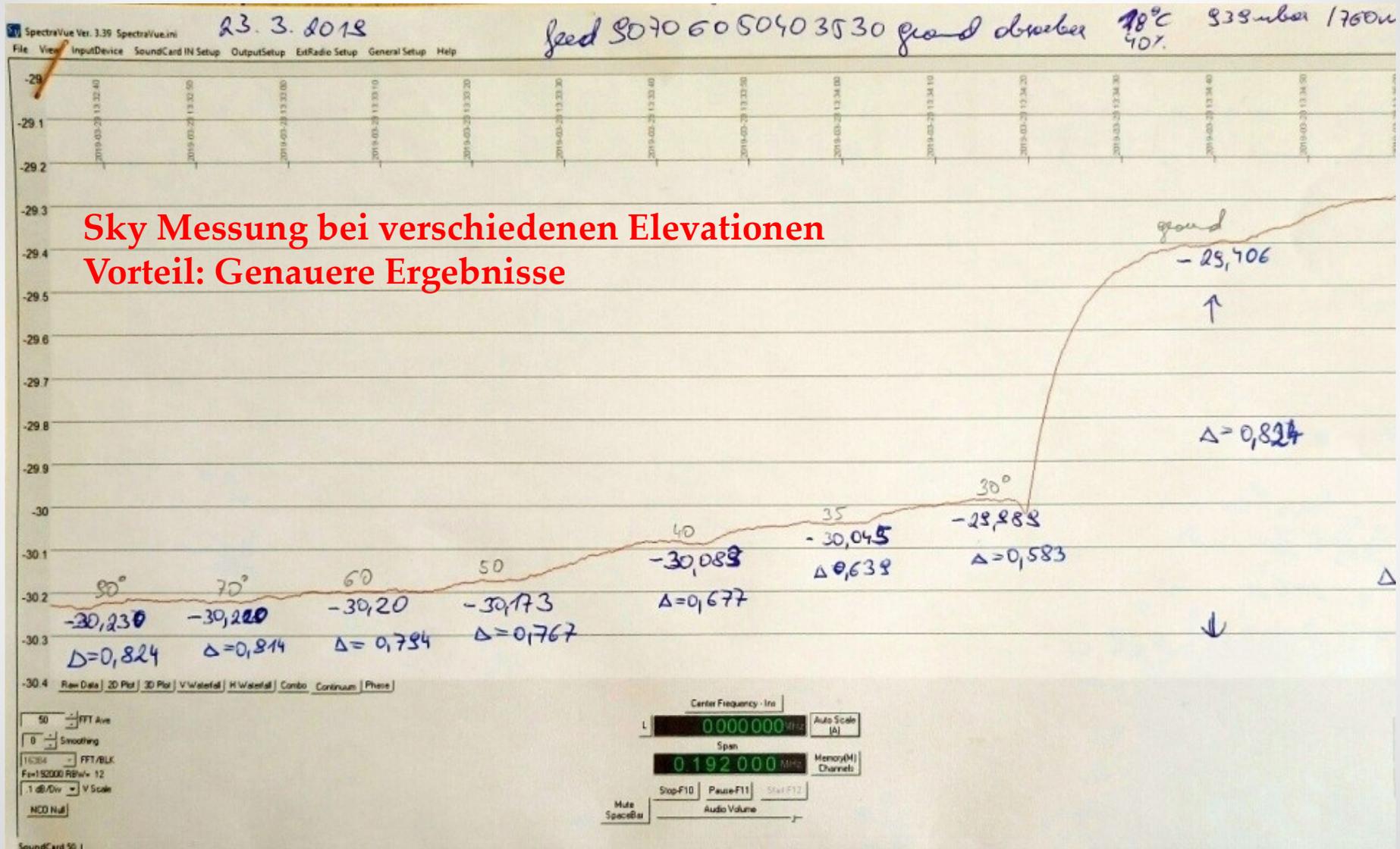


ECCOSORB HR-25

ONLY FEED				Level [dB]		noise [dB]		RX		Forward	
Station equipment	sun angle [°]	Time UTC+2	Remark	Noise Min	Noise Max	Y measure	NF [dB]	noise [K]	Latm	Tspill [K]	efficiency
OE2IGL, Gerald	90	18.Mai	50%, 22°C, 989mbar			0,760	6,35	961	1,250	34	0,995

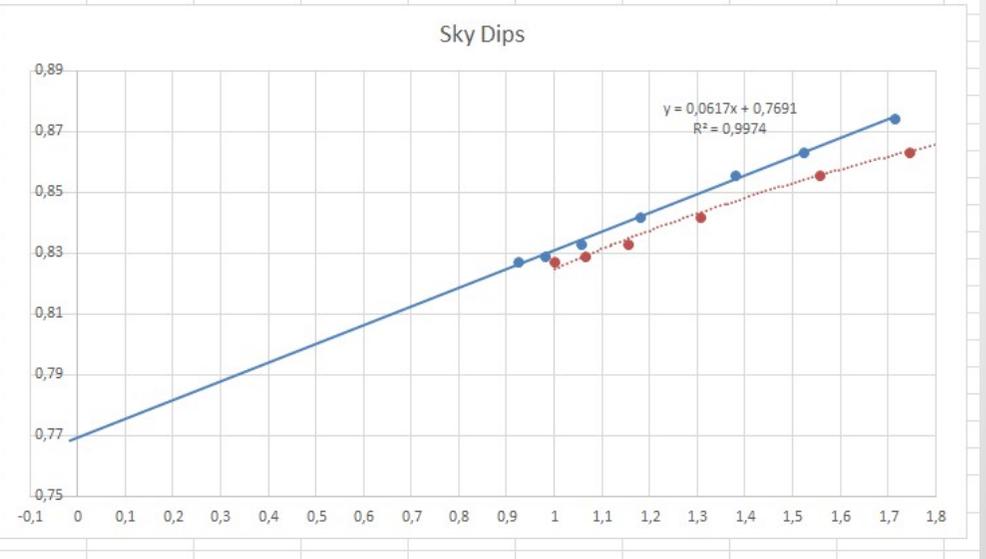
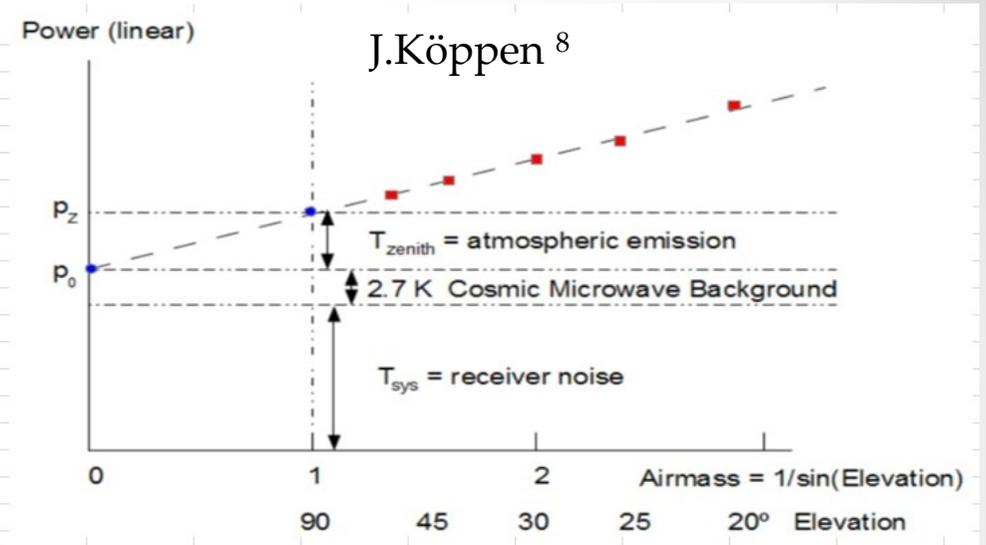
NF Messung 2: OHNE Sonne

Sky Dips Messung (Bsp. 76 GHz)



NF Messung 2: OHNE Sonne, Sky Dips Messung (Bsp. 76 GHz)

SKYDIP fit							
att zenith [dB]	tau	etaf	Latm				
0,687	0,158	0,995	1,1714				
		Tsky [K]	Tgr=Tcal [K]	Tcmb [K]			
		275	291	2,73			
AM= 1/sin	Elev [°]	Pant [dBm]	Pant lin	Fit	deviation	tau corr factor	AM corr by tau
Kalibrierwerte ->		0	1				
1	90	-0,824	0,827179952	-0,829	-0,00505	0,92491683	0,92491683
1,064177772	70	-0,814	0,829086799	-0,811	0,00260	0,92036084	0,97942755
1,154700538	60	-0,794	0,832913689	-0,787	0,00707	0,91398607	1,0553802
1,305407289	50	-0,747	0,841976558	-0,747	-0,00025	0,90350502	1,17944204
1,555723827	40	-0,677	0,855657576	-0,684	-0,00716	0,88645401	1,37907762
1,743446796	35	-0,639	0,863177279	-0,639	-0,00002	0,87395292	1,52369042
2	30	-0,583	0,874379567	-0,580	0,00283	0,85725429	1,71450858
					0,00014		
Anzahl Werte	7	sumx	8,75644323	1.	7063,9064	att zenith variieren und Wert auf Maximum bringen	
		sumxx	11,4826876				
		sumy	5,92437142	2.		danach etaf variieren bis Tsys passt	
		sumyy	5,01604586				
		sumxy	7,4435707				
		xm	1,25092046				
		sx	0,2749217				
		ym	0,84633877				
		sy	0,01698997				
		save	0,03265327				
		savex	0,52907358				
		savey	0,00202061				
		slopex	0,06171783				
		bx	0,76913468				
		Tsys [K]	947	6,30	NF [dB]	Tzen,atm	Tspill,atm [K]
		Tzen [K]	77			40	36



NF Messung 3: OHNE Sonne, Microwave Absorber - flüssiger Stickstoff (77 Kelvin)

- Im flüssigen Stickstoff befindet sich der Absorber ECCOSORB HR-25
-> Reflexion -30 dB
- Gleiche Formel wie bei NF Messung 1
- Vorteil:
 - unabhängig von der atmosphärischen Dämpfung
 - unabhängig von der Himmelstemperatur
 - unabhängig vom Wetter
- **Offen: Warum nur 6,8 dB (statt den 6,3 dB)?**



6. HOT (absorber) - COLD (LN2) measurement									
Tambient [°C] =		17,6	Tln2 [K] =		77				
Tabsorber [°C] =		17,6							
ONLY FEED			Level [dB]		noise [dB]		RX	Forward	
Station equipment	Remark		Noise Min	Noise Max	Y measured	NF [dB]	noise [K]	efficiency	
OE21GL, Gerald									
Offset dish, circular dual mode horn					0,710	6,8 ?	1119	0,995	
DB6NT transverter, OE5VRL switch					0,000	#DIV/0!	#DIV/0!	0,995	
					0,000	#DIV/0!	#DIV/0!	0,995	

1stes Teilziel erreicht:

Ergebnisse einiger Transverter Rauschzahlen

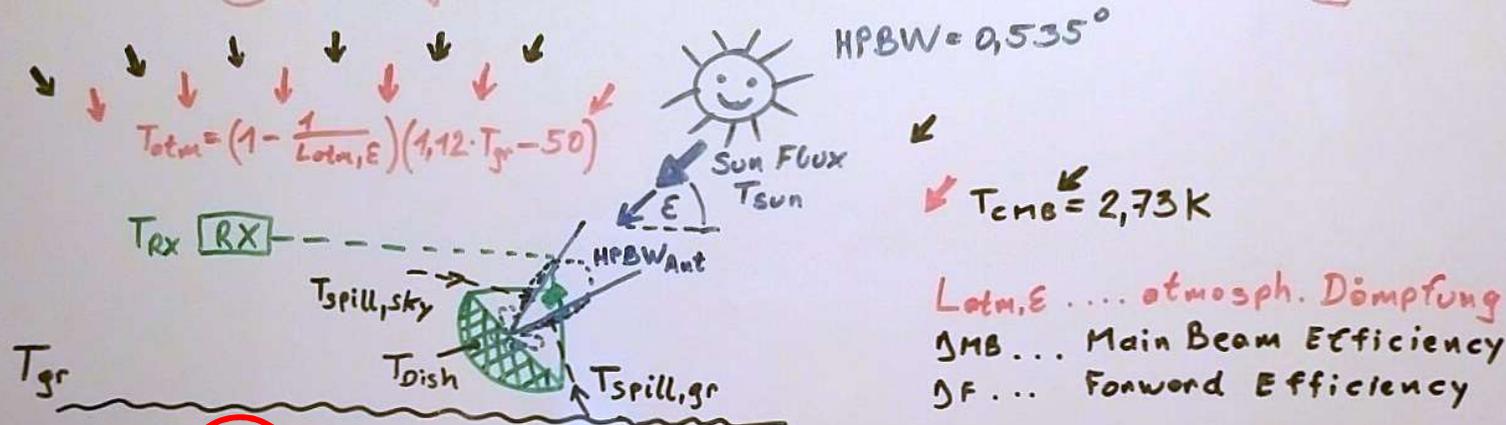
Call	remark	Noise figure transverter [dB] $\pm 0,1$ dB				
		24 GHz	47 GHz	76 GHz	122 GHz	241 GHz
OE2IGL	DB6NT transverter			6,3		
OE2JOM	DB6NT transverter			7,5		
OE3WRA	homemade mixer	13,4		13,4		
OE4WOG	DB6NT transverter			7,6		
OE5VRL	DB6NT transverter		8,5	7,5		
OE5VRL	homemade mixer			13,4		
OE8WOZ	DB6NT transverter			7,7		
OE9ERC	DB6NT transverter	4,3	7,7	6,9		
DB6NT	homemade mixer				5,8	7,0

ÜBERSICHT

- 4 Kernaussagen aus „Sun Noise Messungen in den oberen GHz Bändern“¹
- „Link Budget“ Berechnung mit atmosph. Dämpfung
- NF Messmethoden von Empfängern bei 47 – 241 GHz
- **Bestimmung vom Antennenwirkungsgrad und Gain**

Antennenwirkungsgrad, Antennengain: MIT Sonnen-Rauschmessung und NF bestimmbar

Sun Noise - Radio Astronomy



$$Y_{Sun} = \frac{T_{hot}}{T_{cold}} = \frac{\Delta MB \cdot T_{sun} \cdot \frac{Fill}{Lotn,E} + \Delta F \cdot T_{totm} + \Delta F \cdot \frac{T_{CMB}}{Lotn,E} + TRX + T_{spill} + (1 - \Delta F) \cdot T_{dish}}{\Delta F \cdot T_{totm} + \Delta F \cdot \frac{T_{CMB}}{Lotn,E} + TRX + T_{spill} + (1 - \Delta F) \cdot T_{dish}}$$

$$TRX = \frac{\Delta MB \cdot T_{sun} \cdot \frac{Fill}{Lotn,E} + \Delta F \cdot T_{totm} + \Delta F \cdot \frac{T_{CMB}}{Lotn,E} + T_{spill} + (1 - \Delta F) \cdot T_{dish} - Y (\Delta F \cdot T_{totm} + \Delta F \cdot \frac{T_{CMB}}{Lotn,E} + T_{spill} + (1 - \Delta F) \cdot T_{dish})}{Y - 1}$$

$$Fill \approx \frac{x^2}{1,4 + x^2} + 0,15 \exp(-2,1 y_1^2) - 0,032 \exp(-17 y_2^2)$$

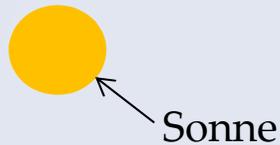
$$x = \frac{HPBW_{sun}}{HPBW_{Ant}}, \quad y_1 = \ln(x) - 0,45, \quad y_2 = \ln(x) - 0,98$$

$$\Delta MB \approx 0,8899 \cdot (1,02 + 0,0135 \cdot T_{open,dB})^2 \cdot \Delta A$$

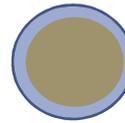
30.12.2018
OE21GL

Das Problem mit der Sonnennachführung und der wichtige „Füllfaktor“

0,2m Spiegel/76 GHz
punktförmige Sonne



0,65m/76GHz
Problembereich!



1,2m/76GHz
flächige Sonne



Antennenkeule

- Azimuth/Elevation Stativkopf mit 0,01° und 0,02° Genauigkeit



Messen, Daten eingeben, rechnen lassen, fertig!

Measurement Results				Lambda [mm] = 3,95	Solar Flux (SFU) = 9648	Sun temp [K] 7860	I,B spectral radiance [W/m ² /Hz/sr] 1,3931E-14	
				Frequency [GHz] = 76,032				
Air pressure	964	mbar	03.03.2019					
Humidity	38	%						
Temperature	14	°C						
Sun	0,5380	°	Balkon Home					
					9497			
					9496			
						10,368 GHz	13000 K	292 SFU
						24,048 GHz	10500 K	1270 SFU
						47,088 GHz	8870 K	4100 SFU
						76,032 GHz	7860 K	9500 SFU
						122,250 GHz	6975 K	21800 SFU
						241,920 GHz	5880 K	71350 SFU

Taper [dB] = 10,8		2,57		Remark:									
1st sidelobe [dB] = -22,6		10,8											
Station equipment	sun angle [°]	Time UTC+2	Noise ground	Sunnoise [dB]	Beam efficiency [%]	Ant Gain [dB]	Ant efficiency [%]	3dB beam [°]	Forward efficiency	Tspill [K]	sky noise [K]	NF [dB]	RX noise [K]
Prime Focus, rectangle WR12 DB6NT transverter, OE5VRL switch	34,7	12:57		5,20	57,2	50,9	49,0	0,41	0,98	24	62	6,3	947
				0,00		#ZAHL!	0,0	#DIV/0!		0	#DIV/0!		0
				0,00		#ZAHL!	0,0	#DIV/0!		0	#DIV/0!		0
				0,00		#ZAHL!	0,0	#DIV/0!		0	#DIV/0!		0
				0,00		#ZAHL!	0,0	#DIV/0!		0	#DIV/0!		0
				0,00		#ZAHL!	0,0	#DIV/0!		0	#DIV/0!		0
				0,00		#ZAHL!	0,0	#DIV/0!		0	#DIV/0!		0

G/T	due to sun temp		Latm	-3dB eff beam [°]	Gain max without RMSloss	RMS [mm]	Blocking area [cm ²]	Illum+block +spillover	Illum+block effi [%]	D/Dblock [%]	Illum effi [%]	blockloss [%]	spillover loss [%]
	Ysun calculated	Tant,sun [K]											
21,1	5,20	5427	1,293	0,59	53,0	0,22	0	78,9%	89,6%	0,0%	89,6%	0,0%	10,7
#ZAHL!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!									
#ZAHL!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!									
#ZAHL!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!									
#ZAHL!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!									
#ZAHL!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!									

Quervergleich mit W1GHZ und J.Köppen¹⁰ zeigt ziemlich gute Übereinstimmung

Frequency [MHz]

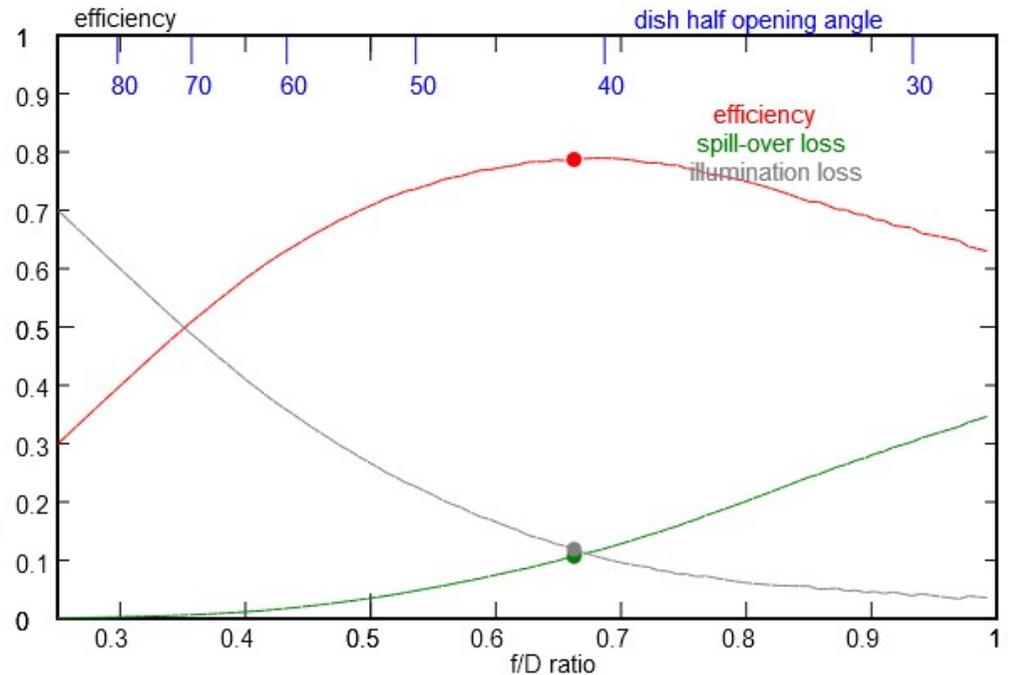
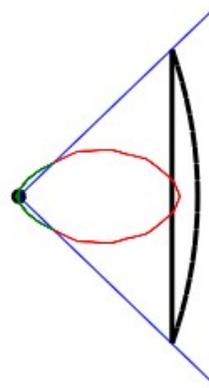
Antenna: [wavel.] [m]
 Dish diameter
 ideal HPBW [deg] 0.351
 true HPBW [deg] ---
 Effective diameter ---

Feed:
 diameter

 cut feed pattern beyond [deg]
 E-plane HPBW [deg] 40.2
 H-plane HPBW [deg] 40.2

Display:
 Antenna pattern, true HPBW, Gain fraction are computed for: f/D ratio
 Dish opening angle [deg]

Mouse position
 f/D 0.663
 efficiency 0.789



- $$\eta_{ant} = \eta_{illum} \eta_{spill} \eta_{phase} \eta_{surface} \eta_{blocking} (\eta_{focus} \dots)$$

$$= 0,789 * 1 * 10^{(-685 * (0,22/3,95)^2 / 10)} * 1$$

$$= 0,789 * 1 * 0,613 * 1$$

$$= 0,484 \text{ (48,4\%)}$$

2tes Ziel erreicht:

Endlich Ergebnisse die sich nachvollziehen lassen

- Strahlungstemperatur Sonne ± 100 K laut A.O.Benz¹¹ und S.M.White¹²
- mit Luftfeuchtigkeit $\pm 2,5$ %
- mit Lufttemperatur $\pm 0,5$ °C

Übersicht von OE2IGL !

10,368 GHz	13000 K	292 SFU
24,048 GHz	10500 K	1270 SFU
47,088 GHz	8870 K	4100 SFU
76,032 GHz	7860 K	9500 SFU
122,250 GHz	6975 K	21800 SFU
241,920 GHz	5880 K	71350 SFU

-> Empfängerrauschzahl $\pm 0,1$ dB

-> Antennenwirkungsgrad $\pm 3,5$ % und Gain $\pm 0,5$ dB

Call	remark	antenna efficiency [%]/Antenna Gain [dB]				
		24 GHz	47 GHz	76 GHz	122 GHz	241 GHz
OE2IGL	0,63 m Offset Gibertini			50,5/51,0dB		
OE2JOM						
OE3WRA						
OE4WOG						
OE5VRL	1,21 m prime focus			59/58,0dB	53,5/61,0dB	
OE5VRL	0,47 m prime focus			51,4/48,5dB		
OE8WOZ						
OE9ERC	0,9 m Offset Katrein	57,5/44,7dB	54/50,3dB	43,5/53,5dB		
DB6NT	0,4 m prime focus				51,3/51,3dB	49,8/57,1dB

Quellen und weiterführende Literatur

- ¹ G.Ihninger OE2IGL, Dorsten 2019 „Sun Noise Messungen in den oberen GHz Bändern“
- ² Funcube Dongle Plus, <http://www.funcubedongle.com/>
- ³ SpectraVue, <http://www.rfspace.com/RFSPACE/SpectraVue.html>
- ⁴ Rec. ITU-R P.676-11, Figure 6, <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.676/en>
- ⁵ C.Ho et al., IPN Progress Report 42-175 (2008), “Solar Brightness Temperature and Corresponding Antenna Noise Temperature at Microwave Frequencies”, Figure 1
- ⁶ Rec. ITU-R P.372-13, Figure 12, <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.372/en>
- ⁷ C.Ho et al., IPN Progress Report 42-175 (2008), “Solar Brightness Temperature and Corresponding Antenna Noise Temperature at Microwave Frequencies”, Figure 7
- ⁸ Joachim Köppen DF3GJ, DUBUS 1/2016, 4/2017, 1/2018
- ⁹ OpenEMS, <http://openems.de/start/>
- ¹⁰ Joachim Köppen DF3GJ, <http://portia.astrophysik.uni-kiel.de/~koeppen/JS/AntennaFeeds.html>
- ¹¹ Arnold O. Benz, Landolt-Börnstein New Series VI/4B
- ¹² S.M.White et al., Solar Physics May 16 2017, “Observing the sun with the Atacama Large Millimeter-submillimeter Array (ALMA)”

- Paul Wade W1GHZ, <http://www.w1ghz.org/antbook/preface.htm>, chap4, chap6-4a, chap6_5-1, app-6c
- Jacob W.M. Baars, “The Paraboloidal Reflector Antenna in Radio Astronomy and Communication“
- J.D. Kraus, “Antennas for All Applications“
- J.D. Kraus, „Radio Astronomy“
- T.L. Wilson, K. Rohlfs, S. Hüttemeister, „Tools of Radio Astronomy“



Danke für die Aufmerksamkeit

Besten Dank an die Mikrowellenkollegen OE1WWA, OE2JOM, OE4WOG, OE5VRL, OE8WOZ, OE9ERC sowie DB6NT für die gemeinsamen Messungen, Bauaktivitäten und zahlreichen Diskussionen.



Gerald, OE2IGL

<http://wettersat.bplaced.net>

OE2IGL@inode.at