

Sun Noise Messungen in den oberen GHz Bändern

Gerald Ihninger, OE2IGL, oe2igl@inode.at



Sun Noise Messungen in den oberen GHz Bändern

Gerald Ihninger - OE2IGL

16.02.2019 •

Zweck dieser Präsentation

- **Warum das Ganze?**

Wer hat das „empfindlichste“ System ($G_{\text{ain}}/T_{\text{RX}}$, Antenne & Empfänger)?

Wer hat eine Rauschquelle > 24 GHz um Rauschzahlen zu messen?

- **Zeigen dass ...**

- ... die Sonne auf 24, 47 und 76 GHz eine billige Rauschquelle ist
- ... mit einfachen Mitteln Messungen möglich sind
- ... Performance Vergleiche verschiedener Systeme möglich sind
- ... Berechnungen von absoluten Werten möglich sind

ÜBERSICHT

- **Sun Noise Messmethode (Hot – Cold)**
- Besonderheiten in den oberen GHz Bändern
- Sonnenrausch Mess-Tag in OE5
- Gemessene Daten, abgeleitete Ergebnisse, Probleme
- Geplante Messungen 2019



Verhältnis von Empfangsleistungen wird gemessen

- **Hot – Cold Messung:**

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

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

- **Typische Messungen:**

$T_{\text{ground}} - T_{\text{sky}}$ Messung -> Berechnung T_{RX}

$T_{\text{sun}} - T_{\text{sky}}$ Messung -> Berechnung $T_{\text{RX}}, G_{\text{ain}}/T_{\text{RX}}$

$T_{\text{moon}} - T_{\text{sky}}$ Messung



Neben der Quellstrahlung gelangt auch Störstrahlung in den Empfänger

Hot/Cold: Feed

$T_{CMB} = 2.73 \text{ K}$

$T_{totm} = (1 - \frac{1}{L_{atm, \lambda}})(4.12 \cdot T_{gr} - 50)$

Diagram showing a feed horn antenna. Radiation from the sky (T_{gr}) enters the horn. The feed itself has a temperature T_{feed} . The total noise temperature at the feed is $T_{totm, add}$.

$$Y = \frac{(1 - g_F) \left[\frac{T_{CMB}}{L_{atm, \lambda}} + T_{totm} + T_{feed} \right] + g_F T_{gr} + T_{rx}}{g_F \left[\frac{T_{CMB}}{L_{atm, \lambda}} + T_{totm} \right] + (1 - g_F) T_{gr} + T_{totm, add} + T_{rx}}$$

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

g_F ... Forward Efficiency

Hot/Cold: Feed + Dish

Diagram showing a parabolic dish antenna. Radiation from the sky (T_{gr}) enters the dish. The dish itself has a temperature T_{dish} . There is also spill radiation $T_{spill, om}$ and $T_{spill, gr}$.

$$Y = \frac{g_F T_{gr} + T_{rx} + T_{spill, om} + (1 - g_F) \cdot T_{dish}}{g_F \frac{T_{CMB}}{L_{atm, \lambda}} + g_F T_{totm} + T_{rx} + T_{spill, gr} + (1 - g_F) T_{dish}}$$

$$T_{RX} = \frac{g_F T_{gr} + T_{spill, om} + (1 - g_F) T_{dish}}{Y - 1} - \frac{Y \left[\frac{g_F T_{CMB}}{L_{atm, \lambda}} + g_F T_{totm} + (1 - g_F) T_{dish} + T_{spill, gr} \right]}{Y - 1}$$

15.12.2018 OERIGL

Sonne wird als günstige Rauschquelle verwendet

Sun Noise - Radio Astronomy

HPBW = 0.535°

$T_{CMB} = 2.73 \text{ K}$

$T_{totm} = (1 - \frac{1}{L_{atm, \lambda}})(4.12 \cdot T_{gr} - 50)$

Sun Flux T_{sun}

T_{rx} [RX]

$T_{spill, sky}$

T_{dish}

$T_{spill, gr}$

T_{gr}

$L_{atm, \lambda}$... atmosph. Dämpfung
 ΔMB ... Main Beam Efficiency
 g_F ... Forward Efficiency

$$Y_{Sun} = \frac{T_{hot}}{T_{cold}} = \frac{\Delta MB \cdot T_{sun} \cdot \frac{Fill}{L_{atm, \lambda}} + g_F \cdot T_{totm} + g_F \frac{T_{CMB}}{L_{atm, \lambda}} + T_{rx} + T_{spill} + (1 - g_F) \cdot T_{dish}}{g_F \cdot T_{totm} + g_F \frac{T_{CMB}}{L_{atm, \lambda}} + T_{rx} + T_{spill} + (1 - g_F) \cdot T_{dish}}$$

$$T_{RX} = \frac{\Delta MB \cdot T_{sun} \cdot \frac{Fill}{L_{atm, \lambda}} + g_F T_{totm} + g_F \cdot \frac{T_{CMB}}{L_{atm, \lambda}} + T_{spill} + (1 - g_F) T_{dish} - Y (g_F T_{totm} + g_F \frac{T_{CMB}}{L_{atm, \lambda}} + T_{spill} + (1 - g_F) T_{dish})}{Y - 1}$$

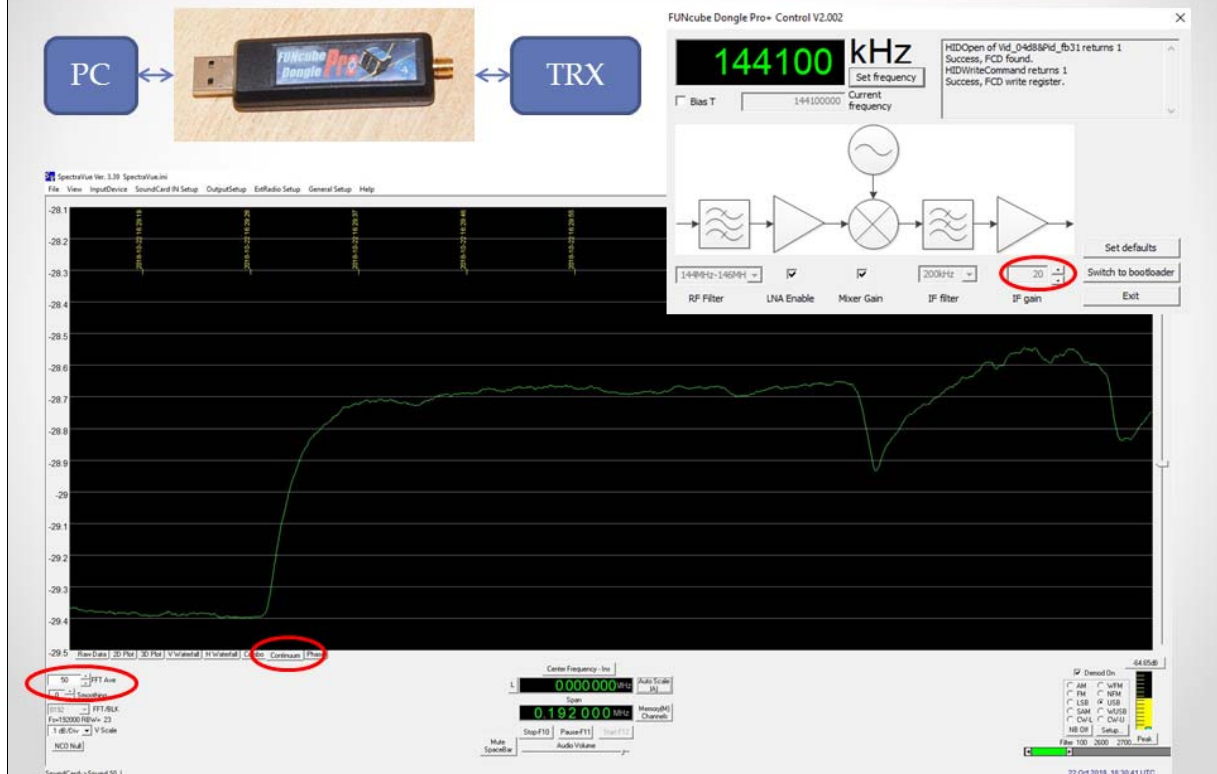
$$Fill \approx \frac{x^2}{1.4 + x^2} + 0.15 \exp(-2.1 y_1^2) - 0.032 \exp(-17 y_2^2)$$

$x = \frac{HPBW_{sun}}{HPBW_{ant}}$, $y_1 = \ln(x) - 0.45$, $y_2 = \ln(x) - 0.98$

$\Delta MB \approx 0.8839 \cdot (1.02 + 0.0135 \cdot T_{totm, dB})^2 \cdot \Delta A$

30.12.2018
OERIGL

SDR¹ und SpectraVue² erleichtern die Messung

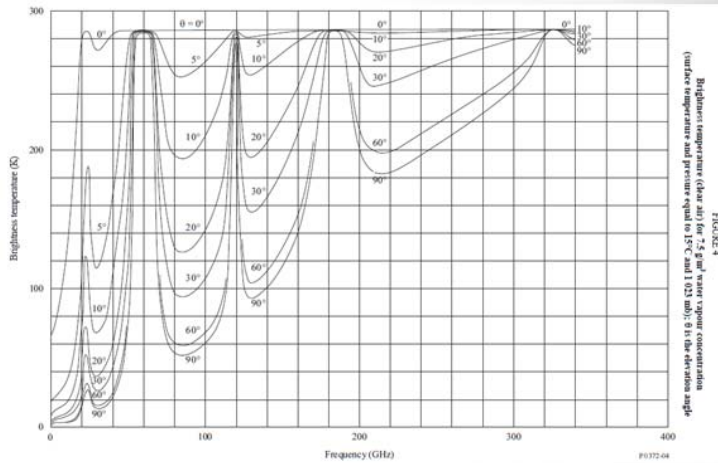
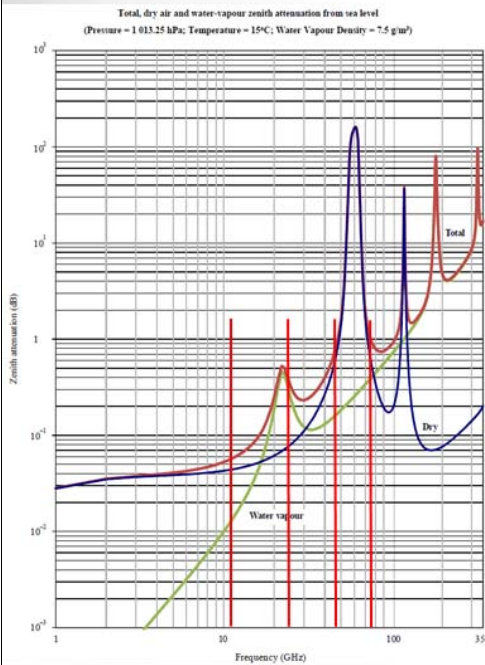


ÜBERSICHT

- Sun Noise Messmethode (Hot – Cold)
- **Besonderheiten in den oberen GHz Bändern**
- Sonnenrausch Mess-Tag in OE5
- Gemessene Daten, abgeleitete Ergebnisse, Probleme
- Geplante Messungen 2019



Atmosphärische Dämpfung und T_{atm} steigen mit der Frequenz stark an ^{3,4}



- O₂ und H₂O als stärkste Dämpfer
- Abhängig von Temp, Druck, Feuchte
- Elevation -> 0°, T_{atm} -> T_{ground}

Sun Brightness Temperatur ist frequenzabhängig und nicht genau bekannt ^{5,6}

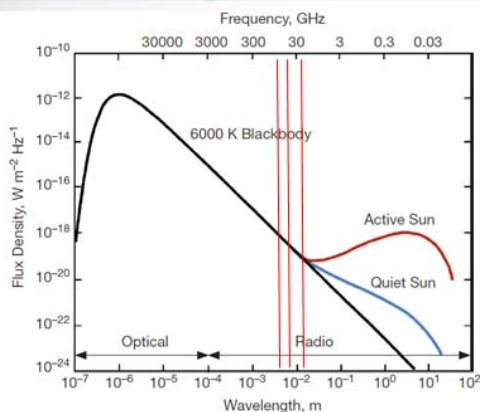
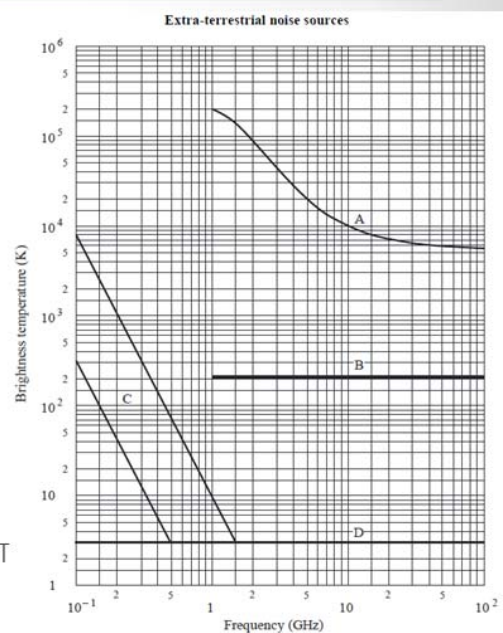


Figure 1. The solar radiation spectrum at optical and radio frequencies. At wavelengths greater than 1 cm, the radiance from an active Sun is much larger than from a quiet Sun and from a blackbody at 6000 K (figure after [1,2]).

- Planck'sche Gesetz bestimmt den Fluss bei Temp T
- Sonnenaktivität >30 GHz (fast) kein Einfluss mehr
- >10 GHz keine aktuellen Daten verfügbar



- A: quiet Sun } diameter ~ 0.5°
- B: Moon }
- C: range of galactic noise
- D: cosmic background

HPBW bereits im Bereich vom Sonnendurchmesser

- Ab $D_{\text{dish}} > 0.5$ m auf 76 GHz ist Half-Power-Beam-Width $\sim 0.5^\circ$
- Sonnendurchmesser schwankt im Jahresrhythmus $0.525^\circ - 0.535^\circ$
- $\text{HPBW}_{\text{ant}} \gg \text{HPBW}_{\text{sun}} \quad \rightarrow T_{\text{ant,sun}} \sim (\text{HPBW}_{\text{sun}}/\text{HPBW}_{\text{ant}})^2$
- $\text{HPBW}_{\text{ant}} \ll \text{HPBW}_{\text{sun}} \quad \rightarrow T_{\text{ant,sun}} = T_{\text{sun brightness}}$

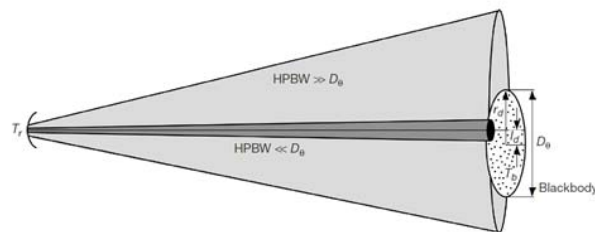


Figure 7. Geometry of antenna beams with two types of beamwidths relative to a blackbody [10]. 7

- Fill Faktor ^{8,9} berücksichtigen, beschreibt die Objektdeckung
- PS: Dies ist auch der Grund warum die in der Literatur angegebenen Formeln ($T_{\text{ant,sun}}$ aus dem Fluss) hier nicht mehr funktionieren! Es wird meistens von punktförmigen Quellen ausgegangen.



ÜBERSICHT

- Sun Noise Messmethode (Hot – Cold)
- Besonderheiten in den oberen GHz Bändern
- **Sonnenrausch Mess-Tag in OE5**
- Gemessene Daten, abgeleitete Ergebnisse, Probleme
- Geplante Messungen 2019



Bei OE5VRL (JN78DK75), 868m am 20. Oktober 2018

- Ca. 10 vollmotivierte Mikrowellenkollegen aus OE und HG
- Leider Bodennebel bei 12°C, rundherum wolkenlos!
- Wollten unsere unterschiedlichen Systeme vergleichen (Y Messung)
 $T_{\text{ground}} - T_{\text{sky}}, T_{\text{sun}} - T_{\text{sky}} \rightarrow T_{\text{RX}}, G/T_{\text{RX}}, \dots$ berechnen



Einerseits erprobte Standardsysteme ...



76 GHz



DB6NT 47, 76 GHz
Standardisierte Feedaufnahme
Gedrehte Parabolspiegel
GPS Anbindung

• Gerald Ihninger - OE2IGL



16.02.2019 •

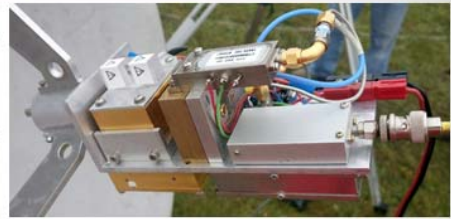


... andererseits unterschiedliche Systeme



Prime Fokus Spiegel
Offset Spiegel
Open End Feed
Dual Mode Horn
Penny Feed
Selbstbau Transverter

63 cm Offset



76 GHz W2IMU DMH



ÜBERSICHT

- Sun Noise Messmethode (Hot – Cold)
- Besonderheiten in den oberen GHz Bändern
- Sonnenrausch Mess-Tag in OE5
- **Gemessene Daten, abgeleitete Ergebnisse, Probleme**
- Geplante Messungen 2019



Ergebnisse passen einerseits zur Theorie. Andererseits unerwartete, erklärungsbedürftige Ergebnisse

Sunnoise against cold sky 76,032 GHz, 20th October 2018

Measurement equipment: Funcube Dongle Pro+ and SpectraVue

Lambda [mm] = 3.95
Frequency [GHz] = 76.032

Solar Flux (SFU) = 9555
Sun temp [K] 1.8 spectral radiance [W/m²/Hz/sr] = 7860 1.3931E-14

loss due to disc surface inaccuracy (dB) = 685 * (surface deviation / Lambda)²

Air pressure 930 mbar
Humidity 40 %
Temperature 12 °C
Sun 0.5354

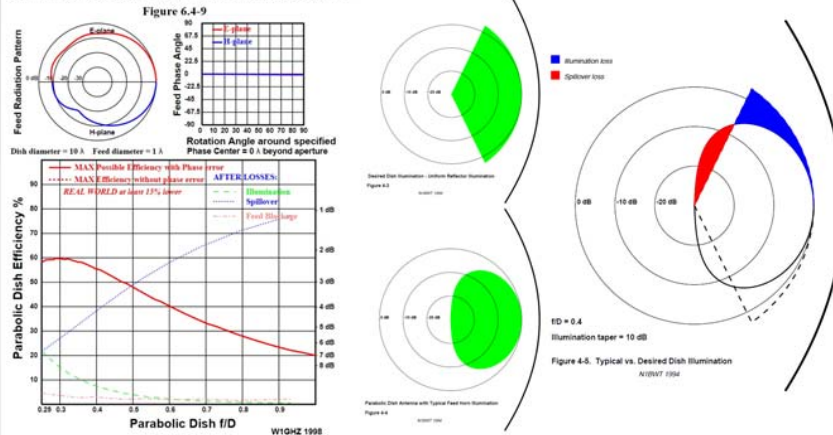
20.10.2018

100% = circular illumination

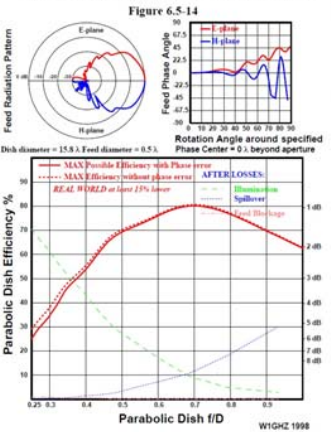
Station equipment	sun angle [°]	Time UTC-2	Remark	Sunnoise [dB]			Beam			Ant		Forward		sky		RX		due to sun temp	
				Y measured	dish [m]	efficiency [%]	Taper [dB]	gain [dB]	efficiency [%]	efficiency	-3dB beam [°]	Tspill [K]	noise [K]	NF [dB]	noise [K]	G/T [dB]	Ysun expected	Tant_sun [K]	Latm
OE2IGL, Gerald Offset dish, circular dual mode horn DB8NT transverter, OESVRL switch Beacon S/N 52.5dBr, Rudi! S/N 60dB mit 1.2m	50	Julii		0.95	0.63	7.1	12	41.6	5.7	0.98	0.42	22	44	7.1	1197	10.8	0.95	5252	1.194
	31.2	12:45	less fog	0.75	0.63	63	12	51.1	50.7	0.98	0.42	22	62	7.1	1197	20.3	4.74	5252	1.300
	30.3	19:35	ground-sky, only feed, with switch	4.85	0.63	66	11	51.3	53.1	0.99	Tspill = 12	22	64	7.1	1197	20.5	4.85	5252	1.309
	18:00	ground-sky, only feed, with switch	0.78								0.99	Tspill = 2			7.1	1196			
OE2JOM, Hans homemade: open circular	28.8	11:30	Fog	1.05	1.21	77	7	58.1	69.7	0.98	0.21	44	66	17.1	14583	16.5	1.05	6946	1.326
	28.1	11:20	Fog	5.00	1.21	76	7	58.0	68.8	0.98	0.21	44	68	8.4	1716	25.7	4.99	6946	1.335
OESVRL, Rudi! Prime focus dish, focus coverage 100x80mm rectangular open wave guide DB8NT transverter, OESVRL switch	25	05 Nov	simple waveguide, ohne switch	6.73	1.21	81	7	58.3	73.3	0.98	0.21	44	74	6.4	976	28.4	6.73	6946	1.379
	30.4	15:30	ground-sky, only feed	0.45						0.95				8.6	1826				
	30.9	15:15		5.20	1.21	84	7	58.5	76.0	0.980	0.21	44	65	8.6	1811	25.9	5.21	6946	1.308
	05 Nov	ground-sky, only feed, without sw	2.55	0.47	50	7	48.0	45.2	0.98	0.34	44	63	8.6	1811	15.4	2.57	4099	1.303	
	05 Nov	ground-sky, with dish, without sw	0.82								0.93	Tspill = 18			6.4	966			
	06 Nov	ground-sky, with dish, with switch	0.78								0.98	lgr/Tspillatm 44 9			6.4	977			
homemade: open circular feed, focus coverage	30.8	12:15	Fog	1.90	1.21	84	7	58.5	76.0	0.98	0.21	44	63	14.6	8074	19.4	1.89	6946	1.304
	30.8	12:15	Fog	1.90	1.21	84	7	58.5	76.0	0.98	0.21	44	63	14.6	8074	19.4	1.89	6946	1.304
OE4WOG, Wolfgang Prime focus dish, focus coverage 110x80mm rectangular open wave guide DB8NT transverter, OESVRL switch	28.1	11:20		5.30	1.21	84	7	58.5	76.0	0.98	0.21	44	68	8.4	1716	26.1	5.29	6946	1.335
	31	15:10	Fog less fog	2.40	0.4	55	7	47.0	49.8	0.98	0.63	44	62	8.4	1716	14.7	2.41	5212	1.502
	55																		
OE2IGL, Gerald	90	18 Nov	feed only sky-ground, 960mbar, 38%, 27°C, Latm = 1.3, 990mbar??, 36%, 5°C, LN2 cooled	0.777															
	70			0.747						0.99	rt of Tground =	35			6.5	995			
	50			0.690						0.99	rt of Tground =	40			6.5	998			
	40			0.640						0.99	rt of Tground =	47			6.5	995			
RW3BP, Sergey Zhutyaev 990mbar, 38%, 27°C, Latm = 1.3, 990mbar??, 36%, 5°C, LN2 cooled	35			6.30	2.4	63	10	62.9	53.1	0.98	0.11	11	70	6.6	1036	32.7	6.28	7506	1.299
	56			14.60	2.4	63	10	62.9	53.1	0.98	0.11	11	56	0.85	63	44.9	14.56	7506	1.260
	4.25									0.98	lgr/Tspillatm 30 2			0.86	63				
WSLUA, Al Ward	??			7.20	1	36	10	52.8	30	0.98	0.26	22	60	3.5	359	27.3	7.18	6832	1.300

Erkannte Probleme, die neue und mehr Messdaten nötig machen

Open WR-90 waveguide as feed at 10.368 GHz, by P.O & Jaski



W21MU large dual mode feed, 1.63λ diameter, by NEC2



- **Feed**¹¹:
 - Spill over -> abhängig von der Elevation (wegen der erhöhten Dämpfung)
- **Spiegel**:
 - HPBW, Gain -> mit Bake im Fernfeld bestimmbar
 - $\eta_{main\ beam} \sim \eta_{ant}^{12}, \eta_{forward}$ -> nötig für die Hot/Cold Rechnung
 - $(\eta_{ant} = \eta_{illum} \eta_{spill} \eta_{tradition} \eta_{surface} \eta_{focus} \eta_{blocking} \eta_{elevation}^{13})$



ÜBERSICHT

- Sun Noise Messmethode (Hot – Cold)
- Besonderheiten in den oberen GHz Bändern
- Sonnenrausch Mess-Tag in OE5
- Gemessene Daten, abgeleitete Ergebnisse, Probleme
- **Geplante Messungen 2019**



Welche Messungen sind 2019 geplant?

- Warten auf Mai! Sonnenstand deutlich über 35°
- Warten auf stabiles, klares Wetter! Stabile atmosphärische Dämpfung
- Messungen von verschiedenen Systemen an einem Tag!
Messunsicherheiten deutlich reduzieren.
- Feed:
 - Hot (Microwave Absorber) – Cold (LN2) Messung
 - Skydip im Zenit, 70°, 50°, 40°, 30°, 20°, 25°, 15°, 10°
 - HPBW Messung und Richtdiagramm mit einer Bake
- Feed im Spiegel:
 - Skydip im Zenit, 70°, 50°, 40°, 30°, 20°, 25°, 15°, 10°
 - HPBW Messung und Richtdiagramm mit einer Bake
 - Sun Noise bei verschiedenen Elevationen
 - Sun Drift
- Rückschluss auf Spiegelausleuchtung, ...
- Forward-, Beam- und Feed/Antennen Wirkungsgrad, ... berechnen



Quellen und weiterführende Literatur

- ¹ Funcube Dongle Plus, <http://www.funcubedongle.com/>
- ² SpectraVue, <http://www.rfspace.com/RFSPACE/SpectraVue.html>
- ³ Rec. ITU-R P.676-11, Figure 6, <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.676/en>
- ⁴ Rec. ITU-R P.372-13, Figure 4, <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.372/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 C.Ho et al., IPN Progress Report 42-168 (2007), "Link Analysis of a Telecommunication System on Earth, in Geostationary Orbit, and at the Moon: Atmospheric Attenuation and Noise Temperature Effects", Figure 11-14
- ⁹ Joachim Köppen DF3GJ, <http://portia.astrophysik.uni-kiel.de/~koeppen/jsindex.html>, Radioastronomie JavaScript „Antenna Patterns“
- ¹⁰ Sergey Zhutyaev W3BP, "EME antenna and Jupiter noise on 77 GHz"
- ¹¹ Paul Wade W1GHZ, <http://www.w1ghz.org/antbook/preface.htm>, chap4, chap6-4a, chap6_5-1, app-6c
- ¹² Ronald J Maddalena (2010), "Theoretical theory of beam efficiency to aperture efficiency"
- ¹³ Carsten Kramer, "Millimeter Calibration"

- Dmitry Fedorov UA3AVR, DUBUS 3/2016
- 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“
- Arnold O. Benz, Landolt-Börnstein New Series VI/4B
- Joachim Köppen DF3GJ, DUBUS 1/2016, 4/2017, 1/2018



Danke für die Aufmerksamkeit

Besten Dank an Joachim DF3GJ, Walter OE1WWA für die zahlreichen Diskussionen, an OE5VRL für die Organisation des Messtages und an die OE-Mikrowellenkollegen.

Gerald, OE2IGL

<http://wetersat.bplaced.net>

oe2igl@inode.at

