
Ausgewählte Messungen im Zeit- und Frequenzbereich

1/3 - tinySA

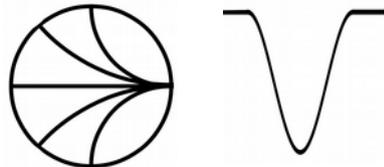
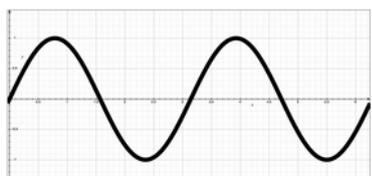
Ausgewählte Messungen im Zeit- und Frequenzbereich

- 1) • Spectrum Analyzer
 - Messen von Sender-Oberwellen
 - Erkennen von externer Störstrahlung

- 2) • Vector Network Analyzer / Antenna Analyzer
 - Coaxkabel Dämpfung
 - Coaxkabel Mantelwellensperren
 - Reflexionsmessungen (Coaxkabel-Länge, Balun-Impedanz)
 - Antennen-Eingangsimpedanz, VSWR

- 3) • Oszilloskop
 - Gleichspannungs-Stabilität eines Netzteils
 - Einzelereignis Messung
 - Reflexionsmessungen (Coaxkabel-Länge, Balun-Impedanz)
 - FFT Fouriertransformation
 - Moduliertes HF-Signal (CW, SSB)

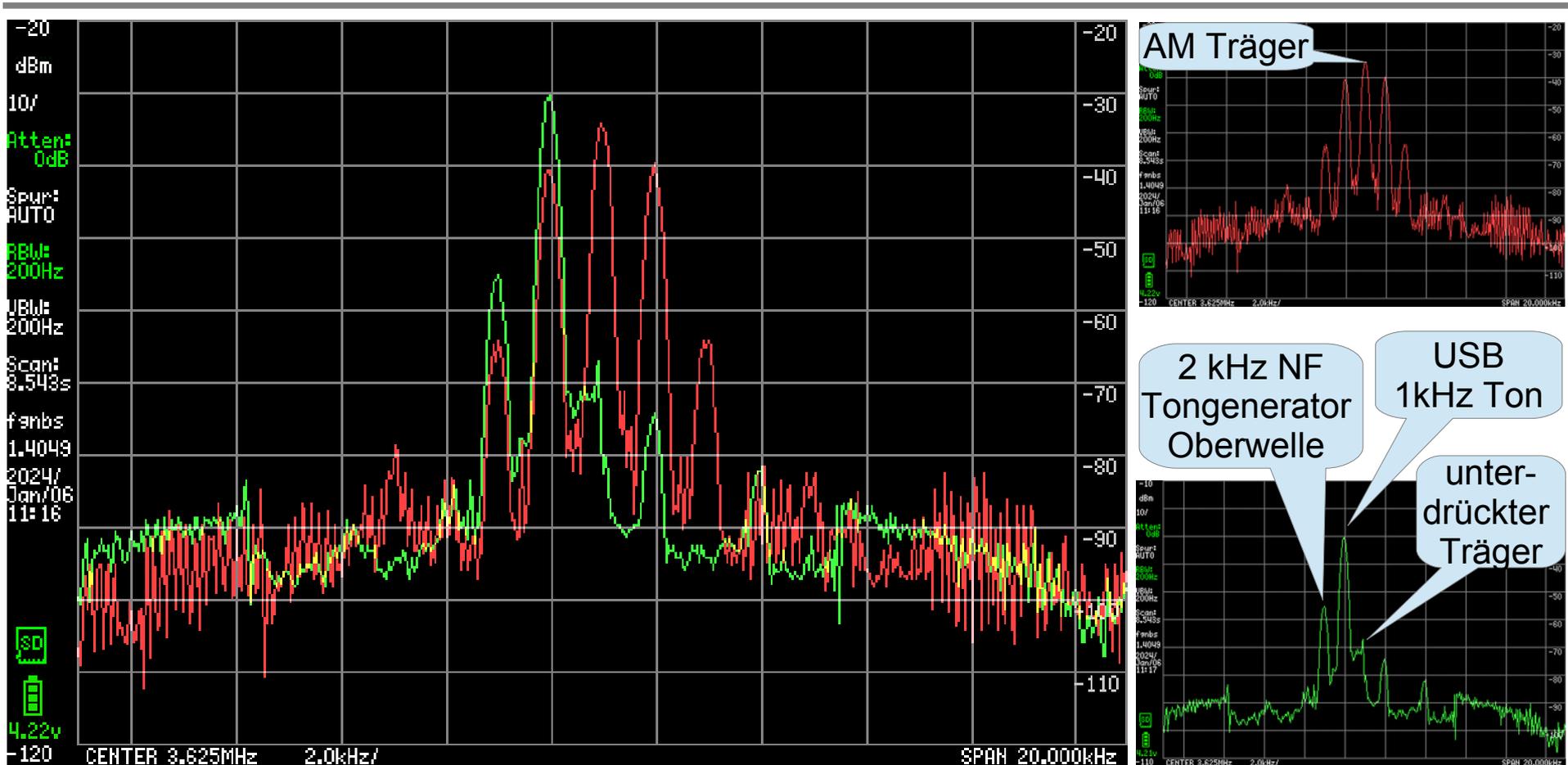
Meßgeräte für den Zeit- und Frequenzbereich

Meßgerät	Signalquelle	Meßgröße	gemessen über	Eingangswiderstand	typische Darstellungen	Bem.
Spectrum Analyzer	extern	Leistungspegel	Frequenz	50Ω		1,3
Vector Network Analyzer	intern	Streuparameter	Frequenz	50Ω		2,3
Oszilloskop	extern	Spannung	Zeit	1 MΩ 10 MΩ		1,4,5

- 1) Eingangssignal auf zulässigen Eingangspegel bringen!
- 2) Überschreitung des zulässigen Eingangspegels über Antenne (starkes Empfangssignal) und Antennenkabel (kapazitive Aufladung) vermeiden!
- 3) Keinen Gleichspannungsanteil im Eingangssignal!
- 4) Auch bei potentialfreiem Eingang: Mehrkanal-Oszilloskop Eingänge evtl. mit gemeinsamer Masse!
- 5) Zeit- und Frequenzbereich sind über Fourier Transformation verbunden und können bei digitalen Oszilloskopen über FFT automatisch umgerechnet werden

Der „tinySA Ultra“ leistet Erstaunliches

Beispiel*): Modulationsvergleich AM - LSB, mit 1 kHz Ton moduliert



Weitere Informationen:

<https://www.tinysa.org/wiki/>

<https://www.youtube.com/@ErikKaashoek/videos>

*) Anmerkungen:

- Laboraufbau ohne Aussendung
- kein 'hochwertiger' Meßaufbau (Ton von iPad App über Mikrofon eingekoppelt)
- Meßbandbreite = 200 Hz

Richtwerte für unerwünschte Aussendungen

Verfügung Nr. 33/2007, § 16 Abs. 4 Satz 2 der Amateurfunkverordnung (AFuV)

Richtwerte in Sendemode		
Frequenzbereich	Erforderliche Dämpfung unerwünschter Aussendungen gegenüber der maximalen PEP des Senders ¹⁾	Alternativ zulässige maximale Leistung unerwünschter Aussendungen eines Senders ¹⁾
1	2	3
0,15 MHz - 1,7 MHz	60 dB	0,25 µW (-36 dBm)
1,7 MHz - 35 MHz	40 dB	
35 MHz - 50 MHz	$40\text{dB} + 129,1 \cdot \lg \frac{f}{35} \text{dB}$ mit f ... Frequenz in MHz	
50 MHz - 1000 MHz	60 dB	
>1000 MHz - 40 GHz	50 dB	

¹⁾ Der jeweils höhere für einen Frequenzbereich resultierende Leistungswert in Spalten 2 und 3 ist zulässig.

Leistungsverhältnis [dB], Leistungspegel [dBm] Multiplizieren durch Addieren der Logarithmen

$$\text{Leistungsverhältnis } L = 10 * \log_{10} \left(\frac{P1}{P2} \right) [dB]$$

- Logarithmus des Verhältnis von Leistung1 zu Leistung2
- dimensionslose Zahl, aber zu Ehren von A.G. Bell als "Bel" bezeichnet
- praktisch besser handhabbar: Zehntel Bel = Dezibel = dB
- **dB ± dB → dB**

$$\text{Leistungspegel } LP = 10 * \log_{10} \left(\frac{P1}{1 \text{ mW}} \right) [dBm]$$

- Leistungspegel = Verhältnis von Leistung1 zu 1 mW
- Kurzschreibweise "dBm" von ITU definiert, ergänzend zum SI System (es gibt auch noch andere dB Bezugsgrößen)
- **dBm ± dB → dBm**

Zahlen multiplizieren → Logarithmen addieren: $a * b \rightarrow 10 * \log_{10}(a) + 10 * \log_{10}(b) [dB]$

dB zurück zu Zahlenwerten: $\frac{P1}{P2} = 10^{\frac{L[dB]}{10}}$

Mehr Info über dB:

https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma98/1MA98_10d_dB_or_not_dB.pdf
https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/v/R-REC-V.574-3-199006-S!!PDF-E.pdf

dB: Übersichtliches Arbeiten mit Zahlen bei unterschiedlichen Größenordnungen

			dB
	10000	$= 10^4$	40
	1000	$= 10^3$	30
	100	$= 10^2$	20
	10	$= 10^1$	10
	1	$= 10^0$	0
$1 / 10 =$	0,1	$= 10^{-1}$	-10
$1 / 100 =$	0,01	$= 10^{-2}$	-20
$1 / 1000 =$	0,001	$= 10^{-3}$	-30

Zahlenfaktor		dB	
$* 10 =$	10	10	$= + 10$
	9		
$* 2 * 2 * 2 =$	8	9	$= + 3 + 3 + 3$
	7		
	6		
$* 10 / 2 =$	5	7	$= + 10 - 3$
$* 2 * 2 =$	4	6	$= + 3 + 3$
	3		
$* 2 =$	2	3	$= + 3$
	1	0	$= + 0$

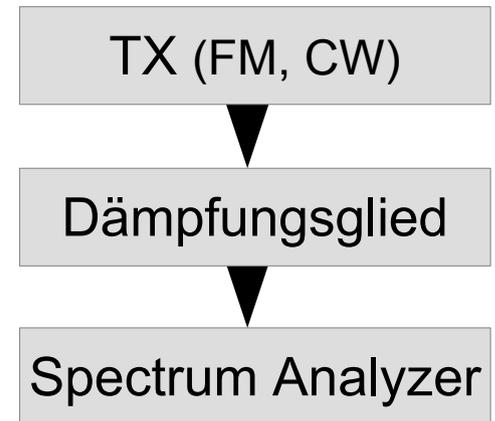
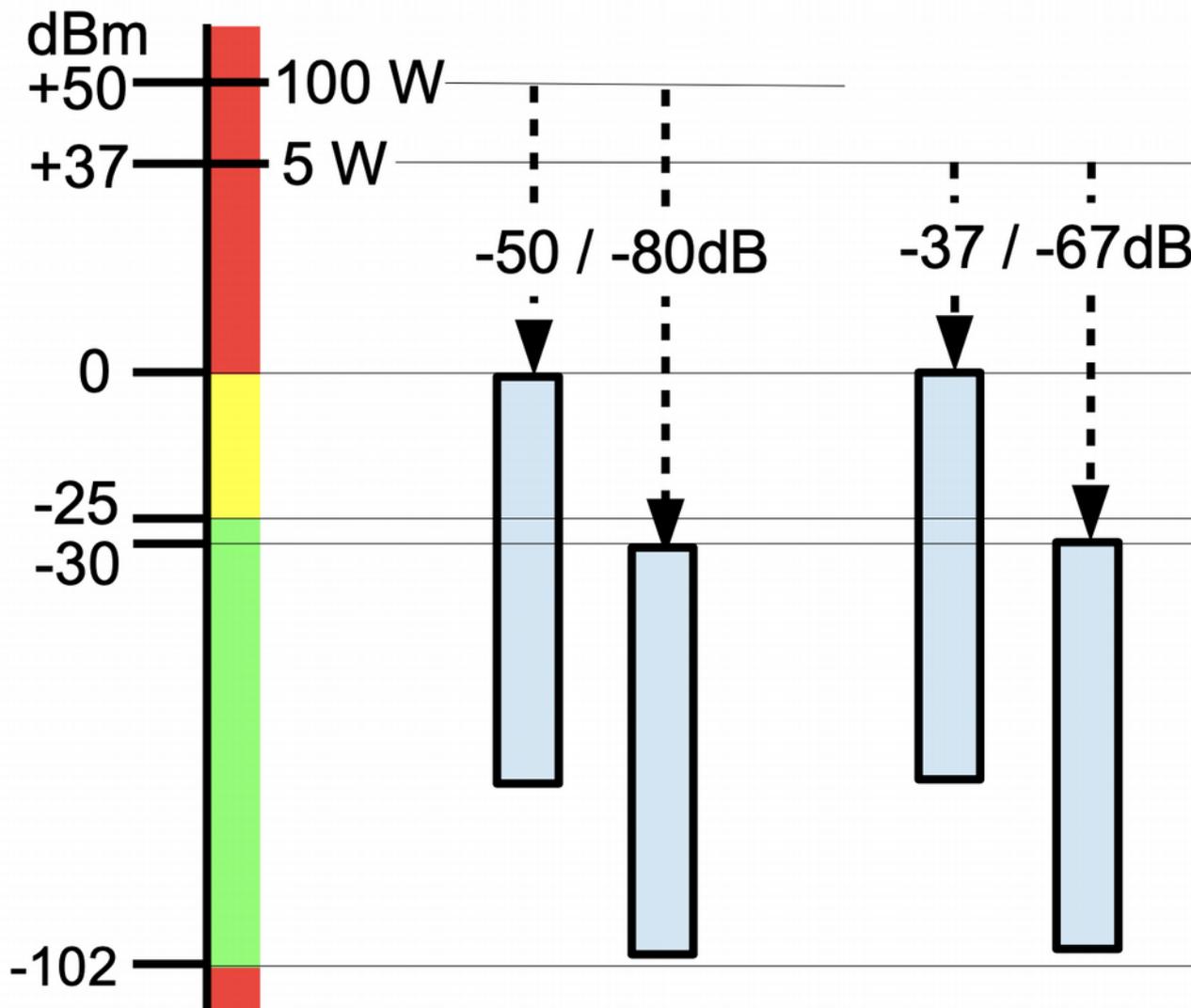
Beispiel: 5 W = 37 dBm

$$5 \text{ W} = (10 \text{ W}) / 2 \quad \blacktriangleright \quad (40 \text{ dBm} - 3 \text{ dB}) = 37 \text{ dBm}$$

Meßgeräte schützen - Grenzwerte beachten

		dBm	mW
Sender 100 W		50 dBm	100.000
Handfunke 5 W		37 dBm	5.000
tinySA Eingangspegel	a)	20 dBm	100
tinySA Eingangspegel	b)	6 dBm	4
tinySA Eingangspegel	c)	0 dBm	1
tinySA Eingangspegel	d)	-25 dBm	0,003
tinySA Eingangspegel	e)	-30 dBm	0,001
tinySA Empfindlichkeit	f)	-102 dBm	0,0000000000063
<i>a) max. Obergrenze, kurzzeitig, bei interner Dämpfung 30 dB</i>			
<i>b) max. Obergrenze, bei interner Dämpfung 0 dB</i>			
<i>c) max. Obergrenze, bei interner Dämpfung auf Automatik</i>			
<i>d) Obergrenze für optimales Meßergebnis (Spezifikation)</i>			
<i>e) Obergrenze für optimales Meßergebnis bei Oberwellen-Messung (Empfehlung)</i>			
<i>f) bei 30 MHz, mit 30kHz Bandbreite</i>			

Eingangsspiegel am tinySA wird durch Dämpfungsglieder angepaßt



tinySA

Eingangsspiegel:

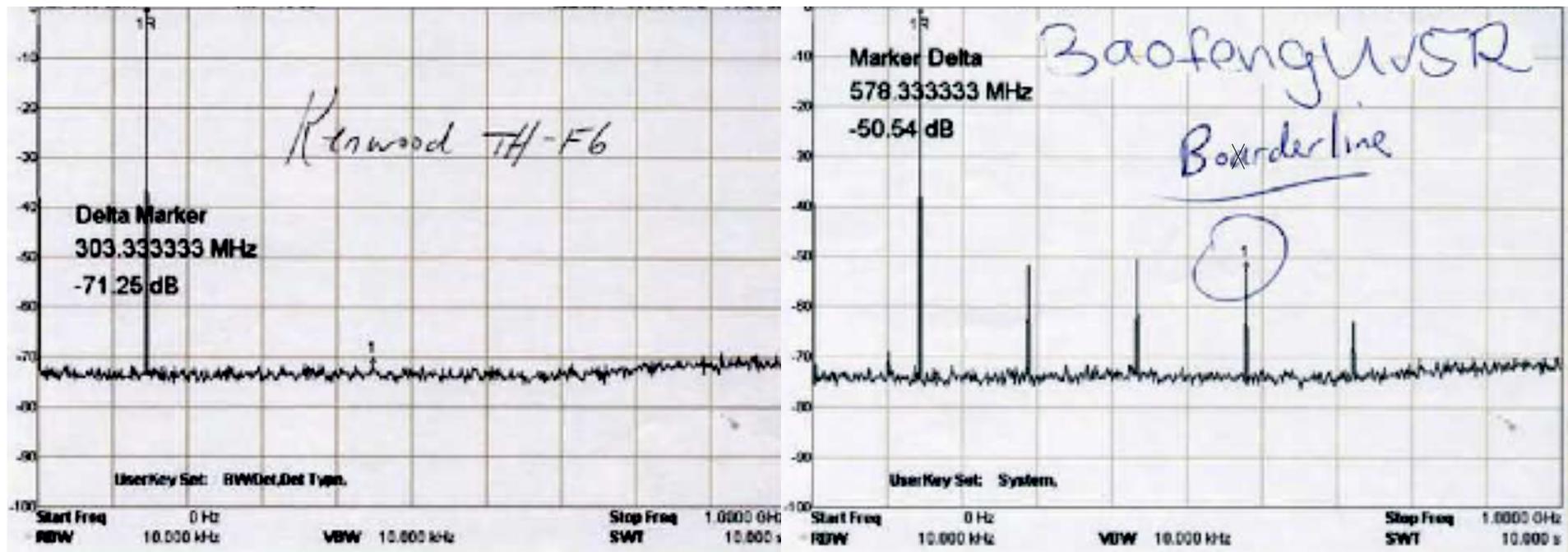
- maximal 0 dBm
- max.optimal1 -25 dBm
- max.optimal2 -30 dBm
- minimal -102 dBm

Dynamik: 70 dB

Oberwellen zulässig:

- KW: < -40 dBc
- 6m...UHF: < -60 dBc

Beispiel: Oberwellen von Sendern (1)



Quelle: ARRL QST Januar 2020 S.60ff

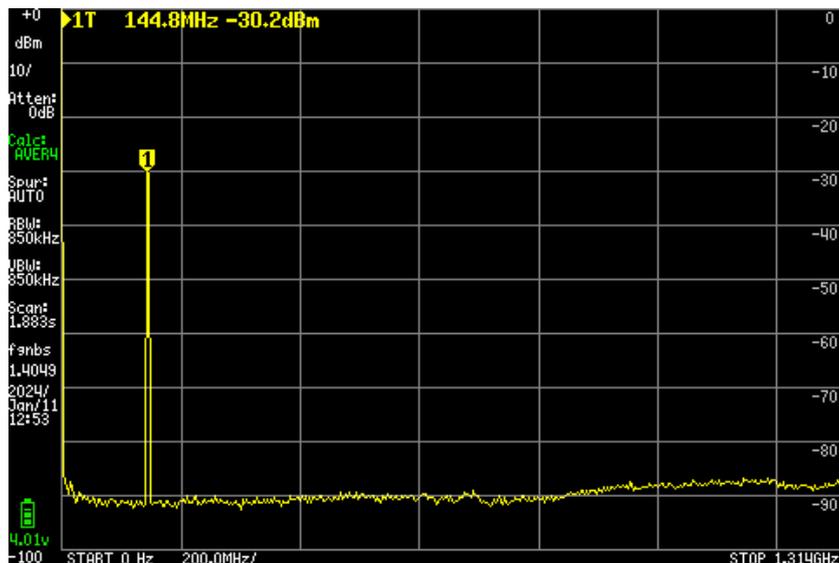
Beispiel: Oberwellen von Sendern (2)



◀ Baofeng (2m)

Oberwellen gefordert: < -60,0 dBc

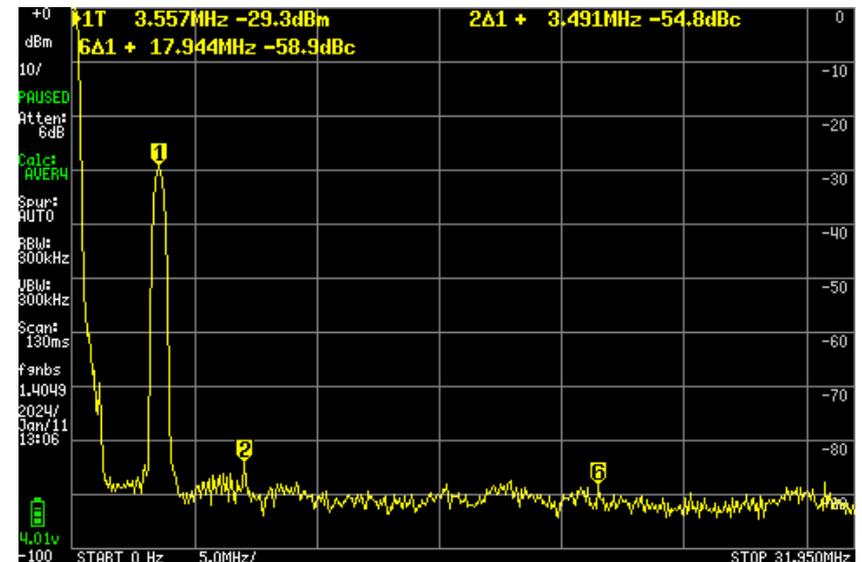
Oberwellen IST: < -39,2 dBc



◀ Kenwood TH-D74 (2m)

Oberwellen gefordert: < -60,0 dBc

Oberwellen IST: < -60,0 dBc



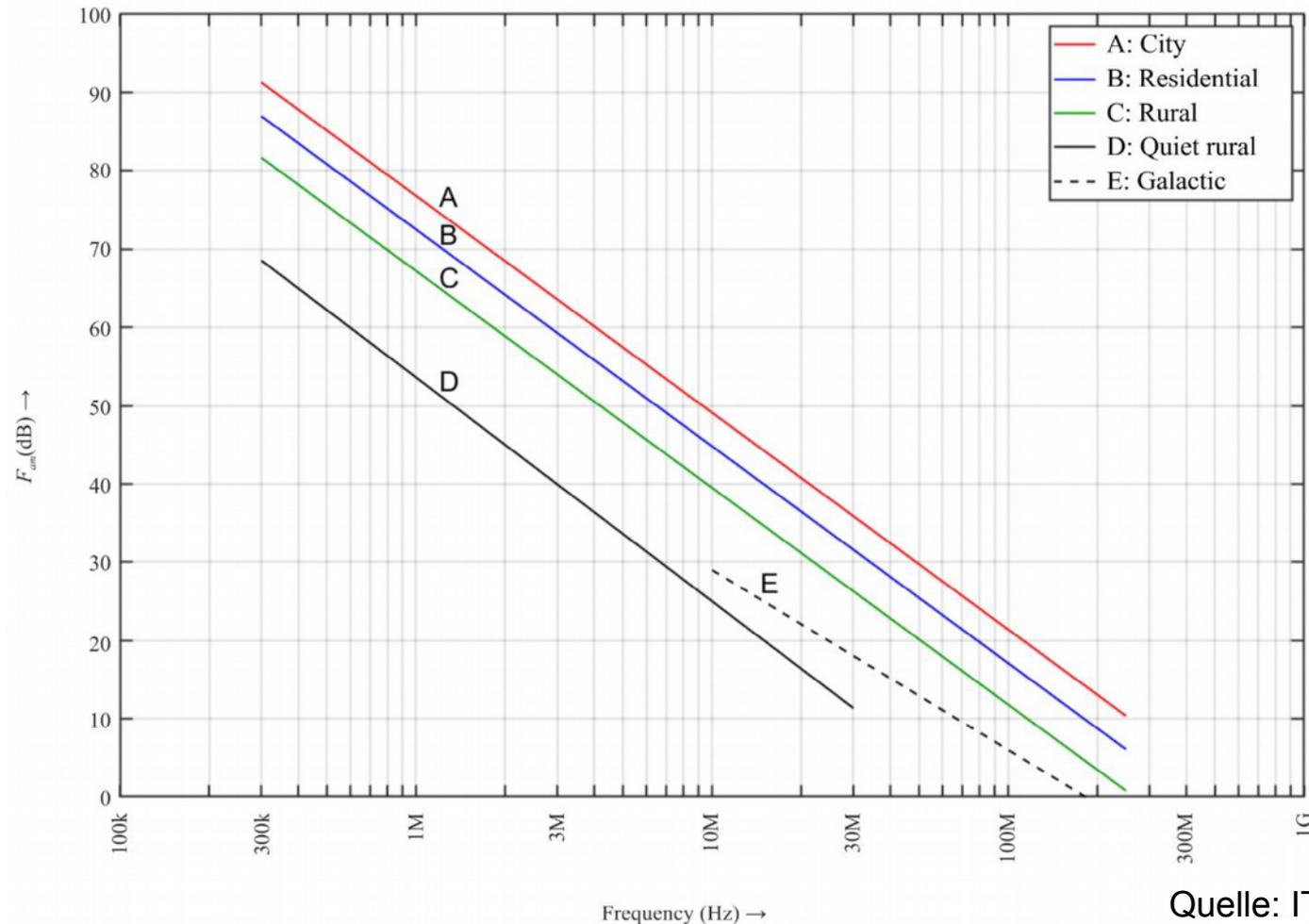
▲ Elecraft KX2 (Kurzwele)

Oberwellen gefordert: < -40,0 dBc

Oberwellen IST: < -54,8 dBc

Ein ITU Diagramm zeigt Kurven von Störpegeln für verschiedene Umgebungen

Median values of man-made noise power
for a short vertical lossless grounded monopole antenna



Quelle: ITU-R-P.372-15

ENAMS zeigt eine Zunahme des Störpegels, die aber in den AFu Bändern geringer ausfällt

- „Regulierte“ Störquellen
 - VDSL, PLC
 - AFu Bänder bei korrekter Installation ausgenotched
 - „Unregulierte“ Störquellen
 - Solaranlagen, Schaltnetzteile, LED Netzteile, PCs, Netzwerke, ...
 - Sie überdecken im unteren KW-Bereich die Notches der regulierten Störquellen
 - Natürliche Störquellen
 - Gewitter
-
- Störungen aus großer Entfernung, Raumwelle (10 .. 3000 km)
 - Natürliche oder größere zivilisatorische Störquellen
 - Störungen aus der Nachbarschaft (5 .. 2000 m)
 - Besonders störend für Amateurfunk
 - Störungen im Nahbereich
 - Störquellen auf VHF/UHF Frequenzen liegen vor allem im Nahbereich

DARC ENAMS Langzeit-Projekt erfaßt typischen Störpegel durch ein Netz von Meßstationen

Meßstationen im Münchner Raum:

- München-049 (city/industrial)
- Dachau-013 (residential)
- Ebersberg-039 (rural)

Sehr ruhiger Standort:

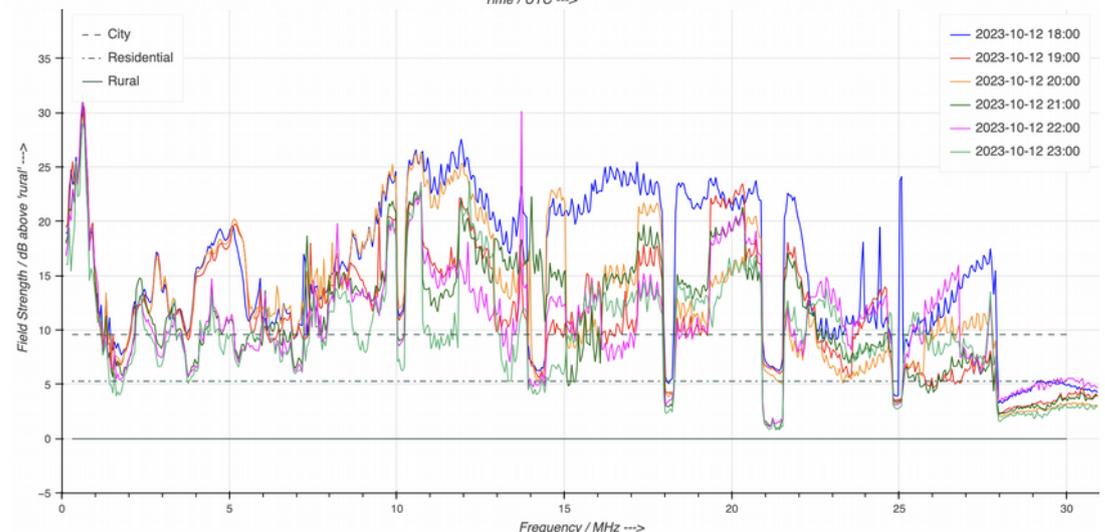
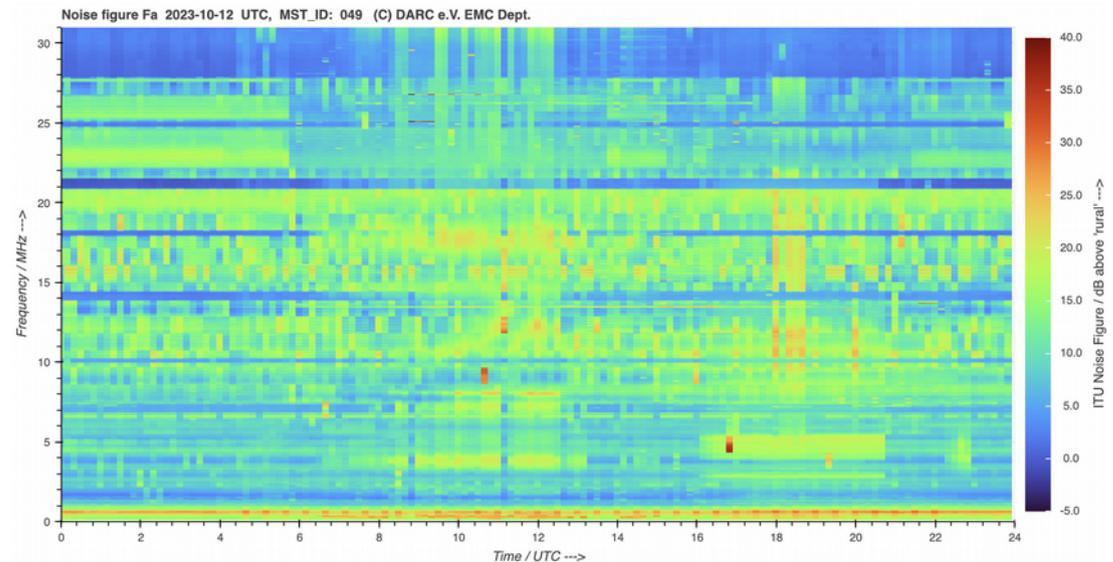
- Landshut-015 (rural)

<https://www.enams.de>

Electrical Noise Area Measurement System, 66 kHz bis 31 MHz

Pro Tag:

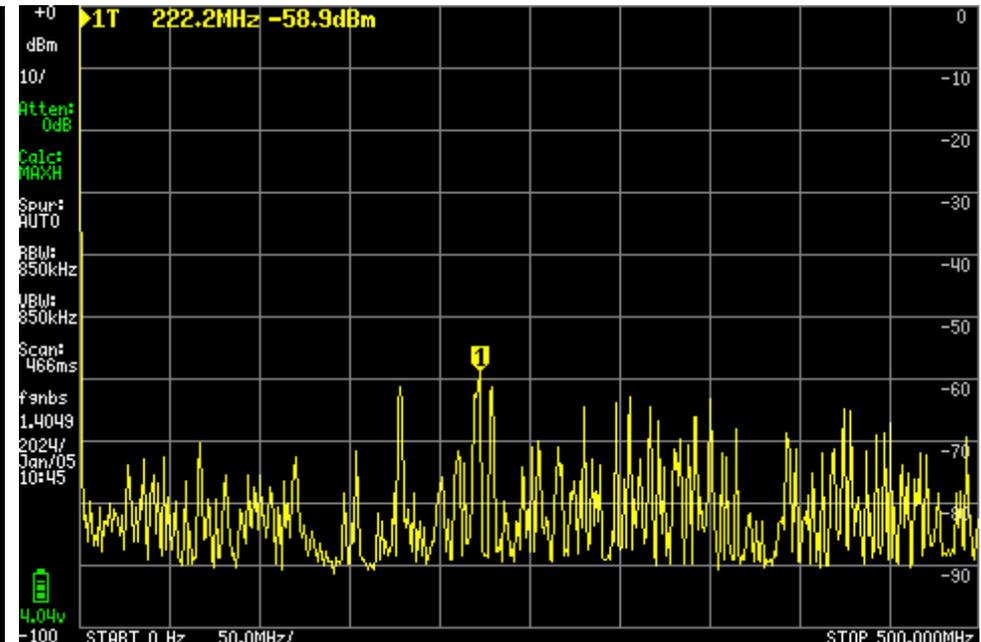
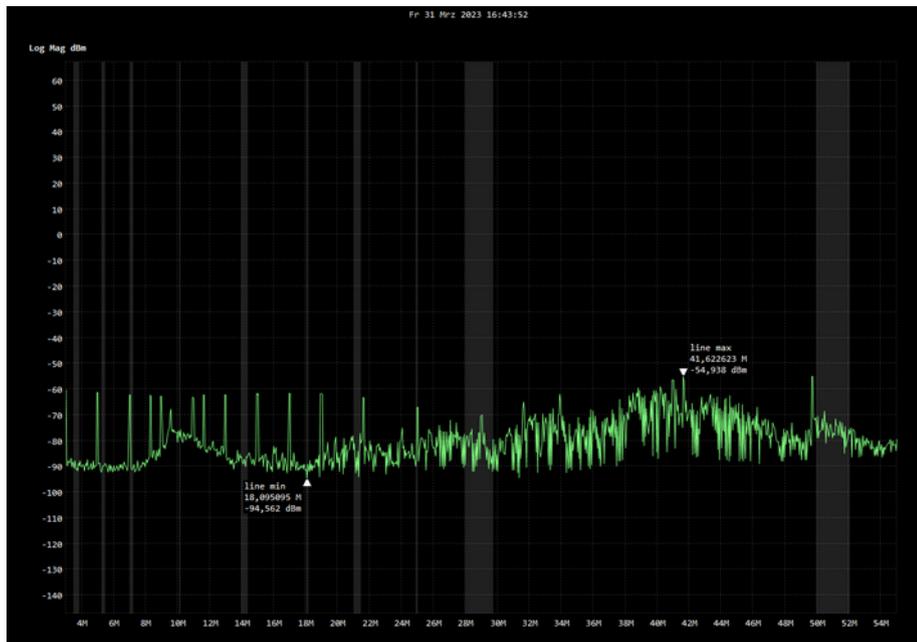
- eine 24 Std-Heatmap
- vier 6-Std Diagramme mit Stundenkurven



Erkennen von Störquellen im häuslichen Nahbereich durch Spectrum Analyzer mit Antenne

Beispiel: LED (Einzelsignale, linke Hälfte)
*Darstellung am angeschlossenen PC,
Basiskurve: Einstrahlung ins USB-Kabel*

Beispiel: Gleichstrommotor mit Kohlebürsten
(max-hold)
Darstellung am Gerät, ohne PC-Verbindung



- Spectrum Analyzer muß vor zu hohen Pegeln geschützt werden
(Kein Sender in der Nähe der Antenne! Bei Verwendung einer externen Antenne eventuelle statische Aufladung des Antennenkabels durch kurzes Kurzschließen abbauen!)
- Quantitative Aussage mangels Kalibrierung nicht möglich