

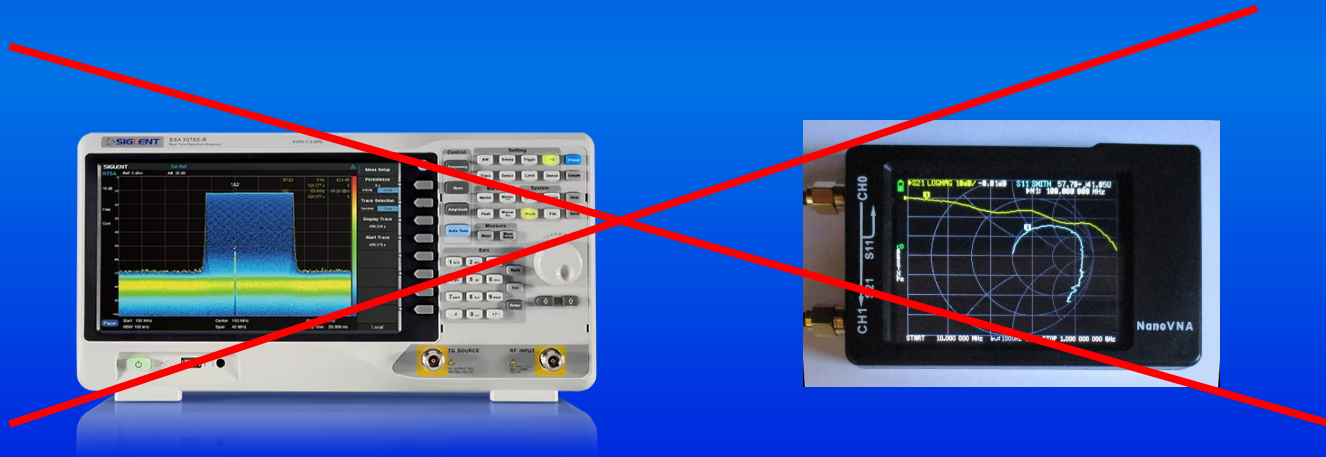
HF-Messungen an der Funkstation mit einfachen Mitteln



Kurzvortrag HB9AG Stamm 7.Juli 2023
HB9EWY, Yves Larboulette

Messen mit einfachen Mitteln an RX und TX

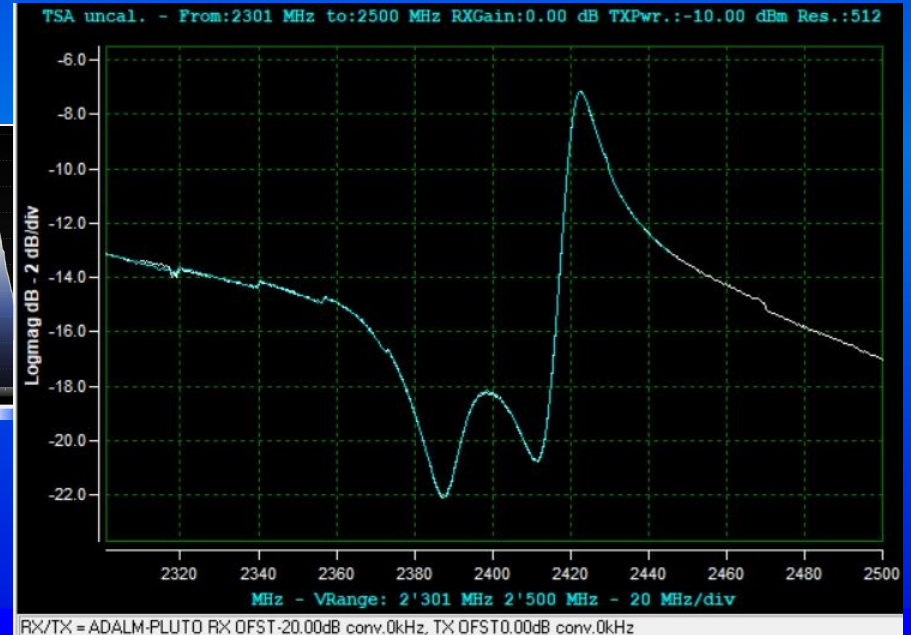
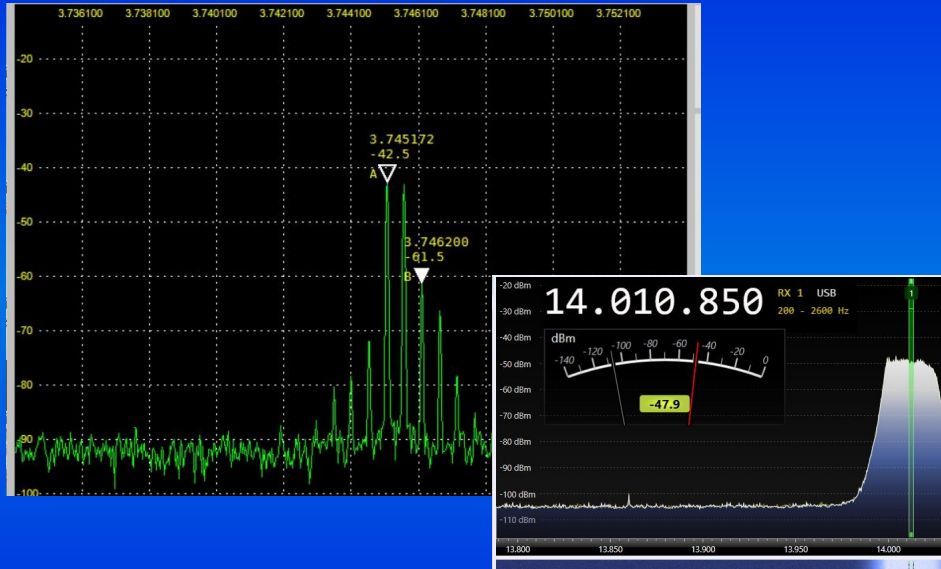
... ohne VNWA und Spectrum Analyzer?



Warum ohne VNWA und Spectrum Analyzer?

- Weniger Aufwand zum Einarbeiten in komplizierte Geräte
- Einfache Messgeräte und Hilfsmittel wie RX, SDR, DMM, KO Dummy-Load etc. oft schon vorhanden, einfacher Selbstbau
- Messungen einfacher nach zu vollziehen
- Alternative Messungen zur Kontrolle
- Genauigkeit oft ausreichend 5-10%
- Aus Neugier, Spass, zum Lernen....

Beispiele



Ablauf

- Prinzip einfacher Messungen mit SDR und die Hilfsmittel vorstellen
- Beispiele für Messungen, keine Anleitungen
- Detaillierte Informationen, Selbstbauprojekte, Bezugsquellen in der separater Literatur-Liste
- 1. SDR zum Messen vorbereiten: Frequenz und Pegel Referenz
- 2. Leistung messen mit KO, Diodengleichrichter, SDR
- 3. Modulationskontrolle, TX Intermodulation, FM Hub
- 4. Frequenzgang messen mit Rauschgenerator / Adalm-Pluto
- 5. Impedanzen mit Oszilloskop messen

Einfache Hilfsmittel

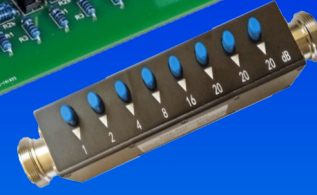
Lastwiderstand 50Ω



Test-Signal
Generator



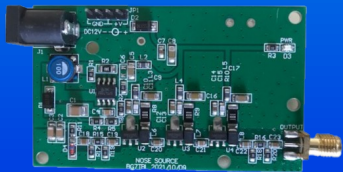
Stufen-
Abschwächer



DMM



Strom und Spannungs
«Sampler»



Rauschgenerator



Oszilloskope



SDR als Messgerät?

- Immer ein Kompromiss: Genauigkeit, Dynamik, Bandbreite, Komfort,...
- Gut für schmalbandige Messungen, breitbandige Messungen abschnittsweise zusammensetzen (Software)
- Dynamikbereich: möglichst Abtastung 12bit oder mehr
- Frequenzbereich KW, VHF, UHF, SHF?
- Geeignet u.a.:
 - SDRplay RSP.., ColibriNANO, DX-Patrol??, Airspy
 - Adalm-Pluto (> 70MHz) und Clone, ermöglicht SA mit TG
 - Mit Einschränkungen auch RTL-Dongle, Funcubedongle+ und andere
 - Direkt-Sampling RX z.B. mit RedPitaya
- Ausprobieren was man gerade hat

Software für SDR

- Klassischen SDR RX Programmen:
 - Nur schmalbandige Darstellung bis zu einigen MHz
 - Nicht immer Signal-Pegel Kalibrierung möglich
- Nützliche Funktionen zum Messen fehlen meist:
 - Darstellung über grosse Bandbreite, z.B. 100MHz, aus Abschnitten zusammengesetzt
 - Max. und Min. Werte Speicher, Mittelwerte
 - Marker
 - Mehrere Tracks speichern, darstellen, exportieren

Spectrum Analyse SW für SDR

- RSP-Spectrum Analyzer für SDRplay:
Einfache Bedienung, gute Doku
- SATSAGEN:
Mächtig, wenig Doku, ungewöhnliche Bedienung, sehr gut mit Adalm-Pluto, auch SDRplay, NE-SDR, MSi.SDR, NWT4000/6000, HackRFone und mehr
- SDRuno: Amplituden Abweichung nur ca. +/- 1dB
- SDRangel mit interessanten Analyse Funktionen
- DIY mit GNU Radio



5248 L ELECTRONIC COUNTER
HEWLETT-PACKARD

SAMPLE RATE



POWER
OFF

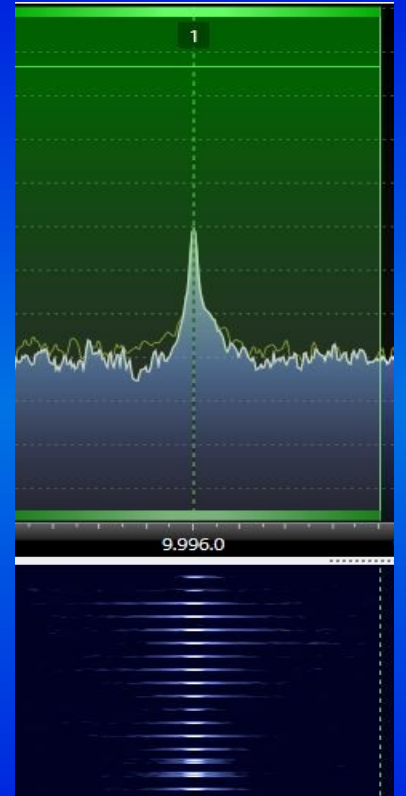
HOLD



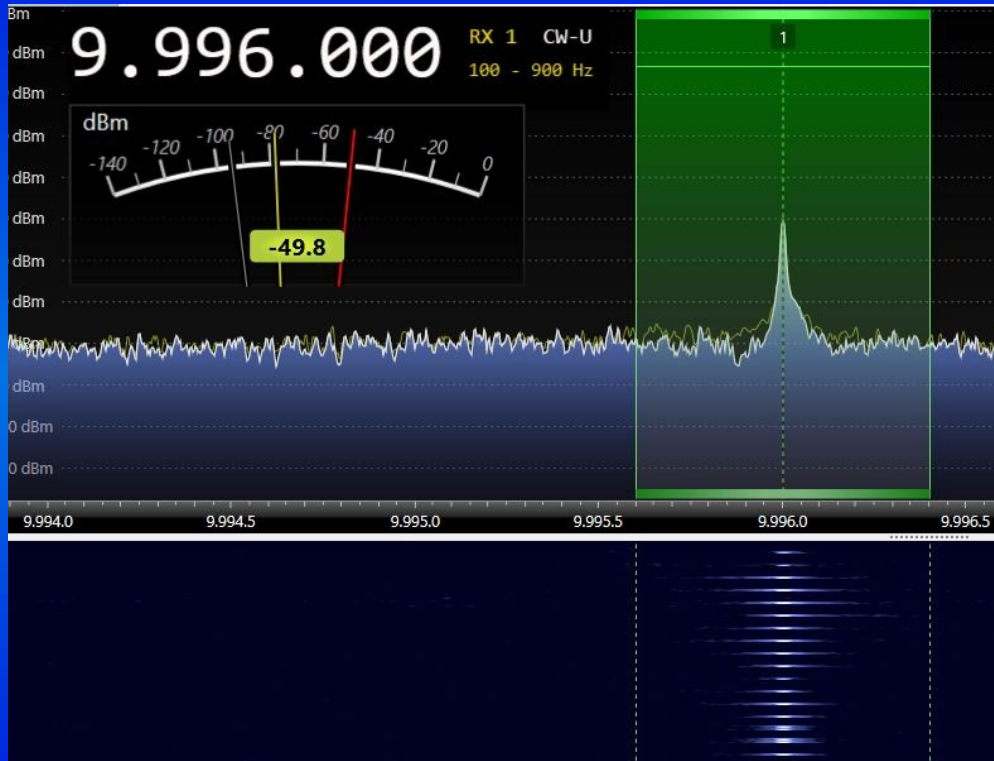
kHz

Frequenz Messen

- Oszillator, VFO oder TX: Frequenz im Spectrum / Wasserfall ablesen (Einzoomen)
- Zeitzeichensender als Frequenznormal
 - WWV / WWVH, USA, Fort Collins: 2500, 5000, 10 000, 15 000, 20 000 kHz
 - RWM Russland, Moskau 4996, 9996, 14 996 kHz
- In SSB auf Schwebungs-Null abstimmen (Trägerfrequenz)
- Spektrum Anzeige: CW genau auf der Frequenz
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Zeitzeichensender>



Frequenz Kalibrieren - Beispiel SDR-Console



PPM Calibration

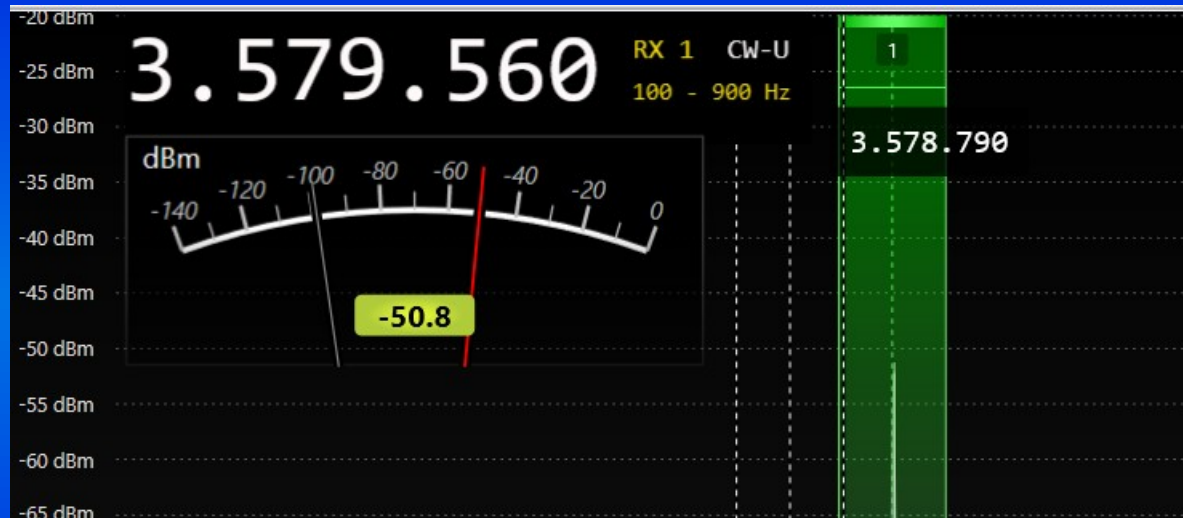
-10 -1 -0.1 -0.01 -0.001 +0.001 +0.01 +0.1 +1 +10

Correction: 0 PPM

Use this option to adjust your receiver so the displayed frequency of the received signal is correct. Some receivers such as Perseus, SDR-IQ have their own calibration option which is more advanced, so before using the calibration here look for calibration in the Radio Configuration (if available).

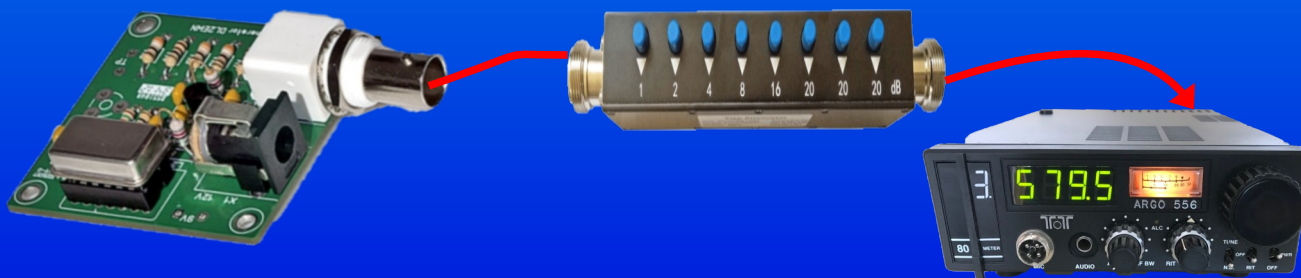
- In the main display select a signal which is known to be accurate, for example WWV or RWM (see Favourites in the Ribbon bar). Don't rely on broadcast transmissions - they can be quite inaccurate!
- Increase the resolution (Ribbon bar, View, Waterfall), if higher resolution is needed reduce the waterfall speed (a rate of 10 or 20 lines/second is suggested).
- Center and Zoom in on the signal of interest.

As you change the PPM value the displayed signal changes - the PPM value is added



S-Meter / Signal Pegel Kalibrieren

- Referenz Signal: z.B. Pegelgenerator nach DL2EWN von Box73.de
- 3.795 MHz -53dBm/S9+ 20dB (einstellbar), andere Frequenzen möglich
- Ungerade Harmonisch: -62, -67, -70, -72, -73.5, -75, -76 dBm, gradzahlige ca. S5
- Einige SDR erlauben eine Kalibrierung der Pegelanzeige (z.B. SDRuno)



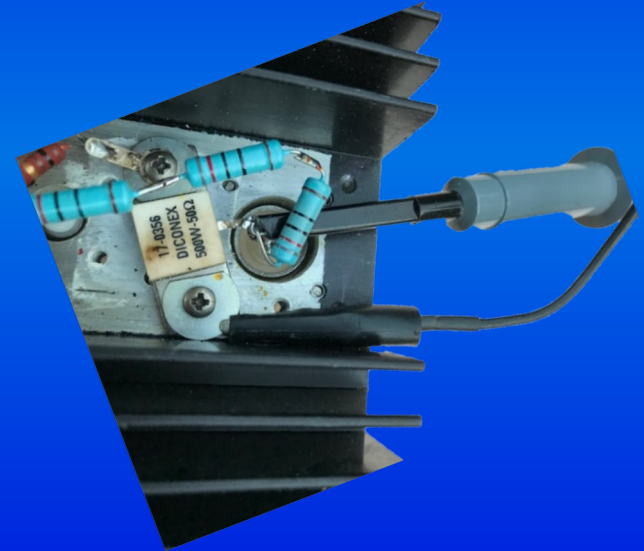


TX Leistung Messen

- Anwendungsfälle z.B.:
 - Eigenbau Geräte überprüfen oder abgleichen
 - SWR oder Wattmeter überprüfen / justieren
 - Oberwellen messen
- Messmethoden:
 - HF Spannung mit Oszilloscope messen (nur QRP!)
 - HF-Spitzenspannung mit Gleichrichter messen
 - (Leistungs-) Abschwächer und geeichter Empfänger (SDR)
 - (Leistungs-) Abschwächer und Leistungsmess-Modul mit AD8310 o.ä.

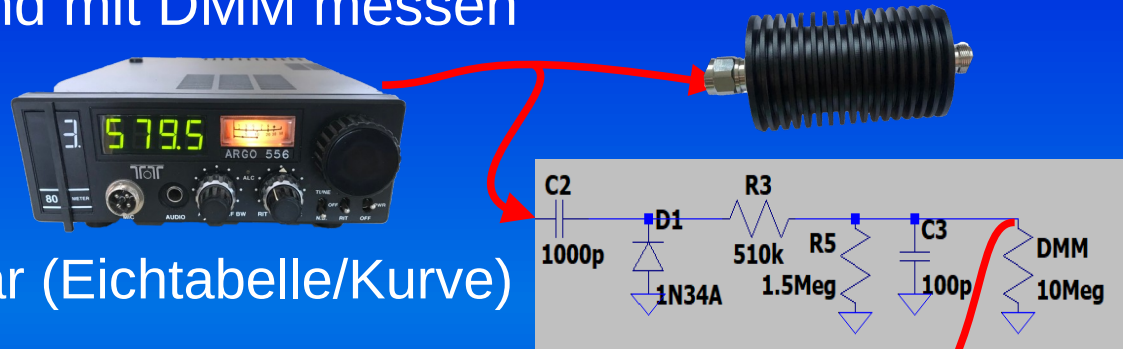
TX Leistung Messen: Oszilloskop

- HF Spannung direkt über der Dummy Load (50 Ohm) messen
- Vorteil: keine Trägheit, echte Spitzenanzeige
- Nachteil: nicht Frequenz-Selektiv
- Fehlerquellen: Anschlussleitungen, Massewahl, kapazitive Belastung, ungenauer Tastkopf Teiler, Bandbreite KO
- Vorsicht: auch mit 1:10 Tastkopf nur bei QRP (Überlastung durch Blindströme)
- HF Spannung Spitze-Spitze: V_{p-p}
- Sinus, 50Ω : $PEP = (V_{p-p})^2 / (8 \cdot 50\Omega) = P_{avg}$

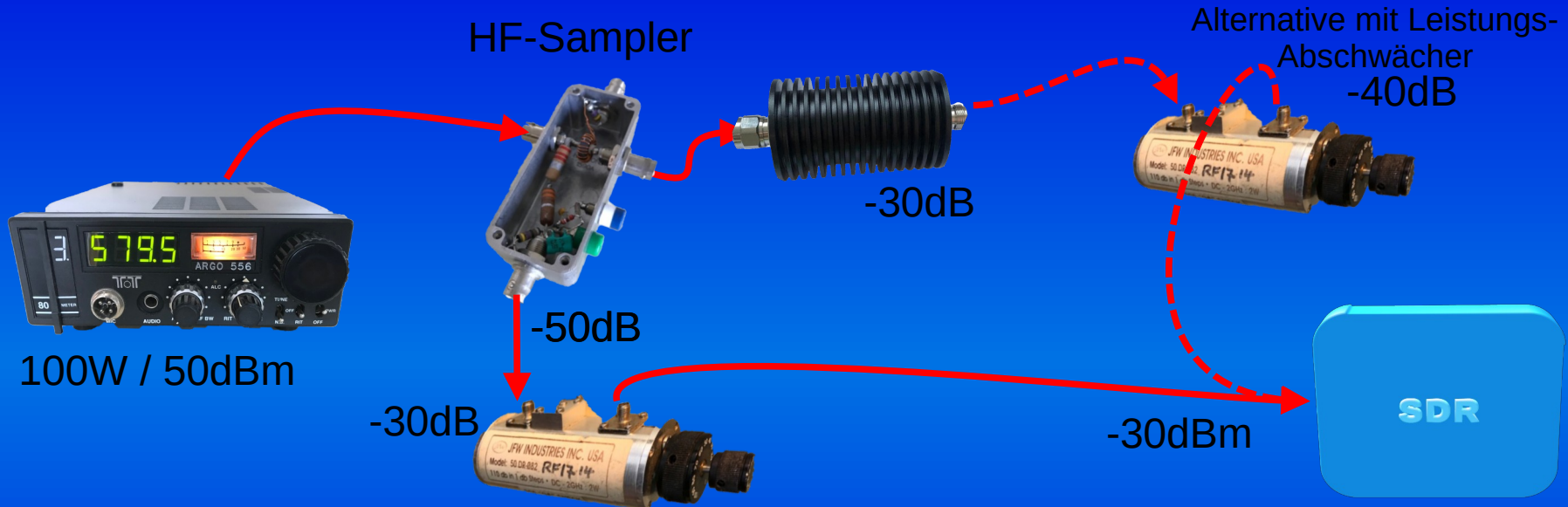


TX Leistung Messen: Dioden-Messkopf

- HF Spannung gleichrichten und mit DMM messen
- Prinzip vieler SWR-Meter
- Nachteile:
 - Dioden Kennlinie nicht linear (Eichtabelle/Kurve)
 - Nicht Frequenzselektiv
- Bei höhere Leistung Spannungsteiler nötig
- Bei Sinus, 50 Ohm:
 $PEP [W] = (V_p)^2 / (2 \cdot 50\Omega)$



Messaufbau TX Messungen mit SDR



Falls absolute Pegel Genauigkeit und Frequenzgang unwichtig:
Ein Paar cm Draht als Antennen genügen!

RX nicht übersteuern!

- Begrenzung
- Nichtlinearitäten

Optional: Limiter zum Schutz SDR Eingang
Gute Abschirmung gegen Direkteinstrahlung

Leistung mit SDR Messen

- Voraussetzung: Kalibrierter Pegel im SDR (oder Referenzsignal)

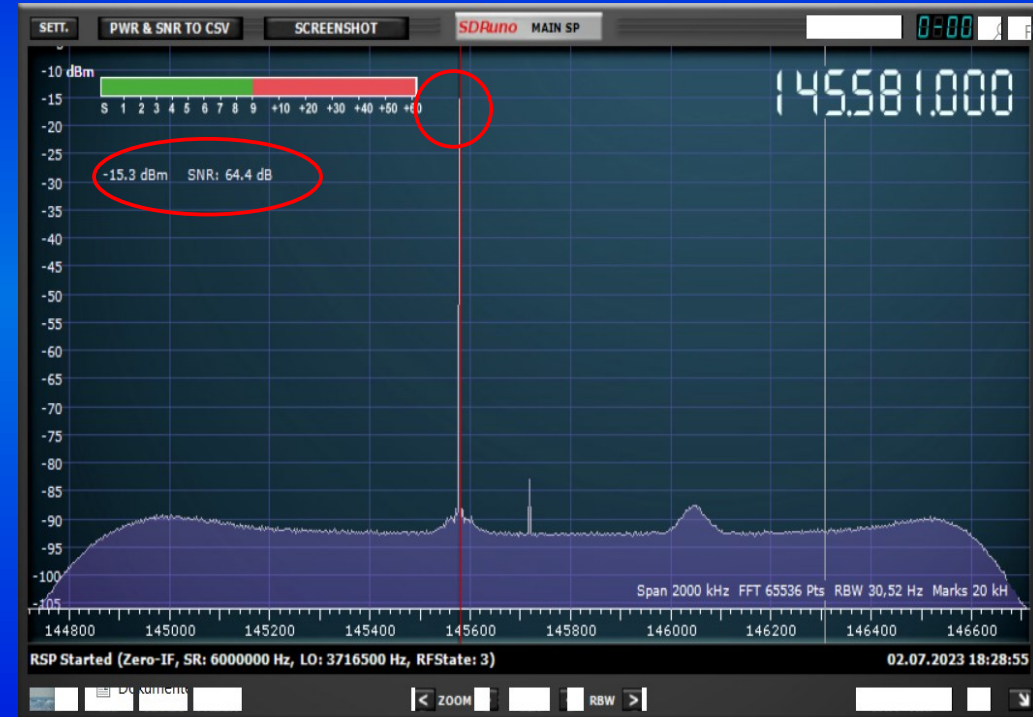
- **Beispiel:**

- IC-211E, ca. 1/3 Nennleistung (10W)

- Abschwächer -30 -10 -10 = -50dB

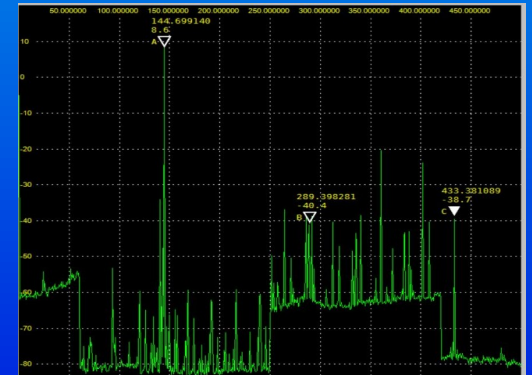
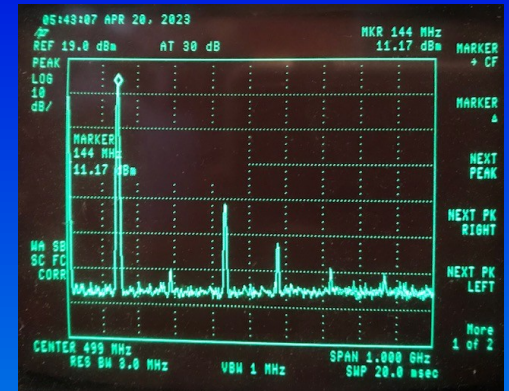
- Anzeige SDR: -15.3 dBm

$$\begin{aligned} -15.3\text{dBm} + 50\text{dB} &= 34.7 \text{ dBm} \\ &= \underline{2.95\text{Watt}} \end{aligned}$$

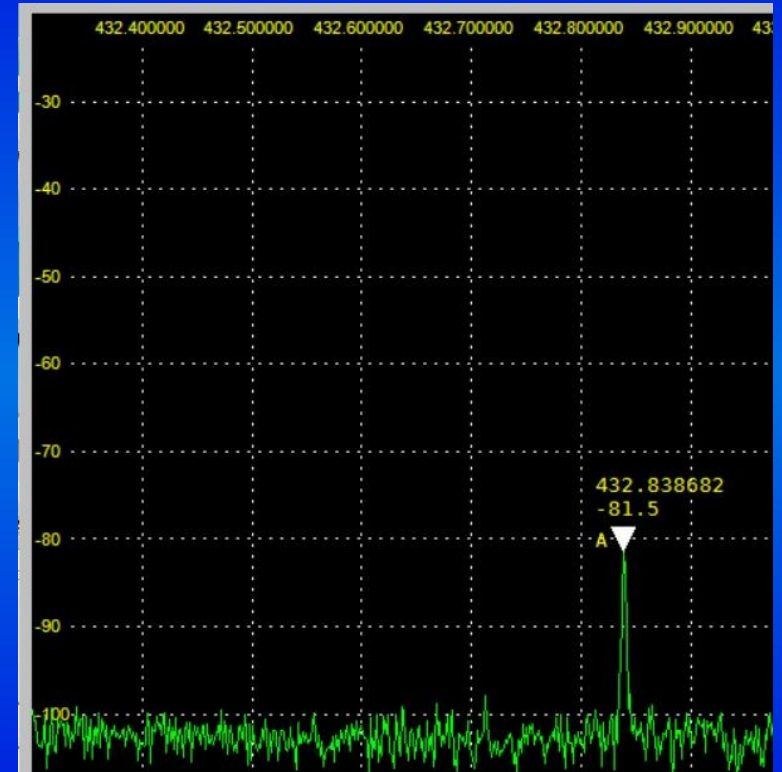
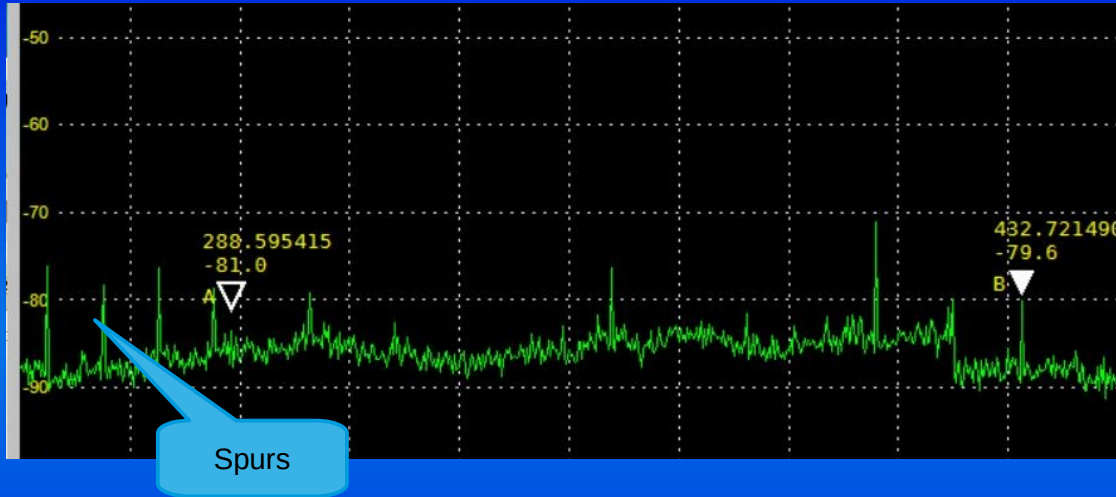


Oberwellen / Nebenwellen Messen mit SDR

- Messung anspruchsvoll, auch mit Spectrum Analyzer:
 - Nichtlinearitäten im SA / SDR erzeugen selbst «Oberwellen»
 - Grosser Dynamik Bereich nötig (≥ 70 dB)
 - Geistersignale (SDR)
 - Frequenzgang (SDR)
- Direktsamplers mit 12 – 16 bit besser, aber nur KW
- Abschwächer! 20 – 30 dB unter Vollaussteuerung
- Oberwellen schmalbandig untersuchen, < 1 MHz
- Plausibilität prüfen: Abschwächer, Frequenz ändern, Veränderung im Spectrum beobachten.



Messung einzelner Harmonischer





Modulationskontrolle

- Wie töne ich auf dem Band?
- Optimieren von Mic Gain, Compression, Equalizer Einstellungen
- Beurteilen des eigenen Signale in RX zeitgleich fast unmöglich
- Beurteilung Dritter im QSO häufig subjektiv, ungenau, interpretierbar
- Alternative:
 - Lokaler SDR: Signal beobachten, aufzeichnen, abhören
 - WebSDR, Audiofile aufzeichnen, Download und abhören
 - WebSDR Verständlichkeit in realer Situation mit QRN, QSB, etc.

Audio Kontrolle

WebSDR

The screenshot shows a web browser interface for a WebSDR station. At the top, there's a URL bar with 'rigi.dyndns-remote.com:8091'. Below it, a 'Click for more Information' button and a text input field for a call sign. A navigation bar includes 'All Bands', 'One Band', 'NO', 'Allow Keyboard', 'Waterfall: Java HTML5', 'Sound: Java HTML5', and 'Background Picture ON/OFF'. The main display features a waterfall plot with a frequency range from 3570 to 3750 kHz. Below the plot are several control panels: 'Band' (80m, 40m, 15m, 10m, 17m), 'Frequency Tuning & Mode' (3666.00 kHz, SNR 36 dB, CW, LSB, USB, AM, FM), 'Waterfall Settings' (Max out, Zoom, Band, Zoom in), 'Memories' (Store), 'Tube & DSP & Audio' (Magic Eye, Mute, Squelch, Aut notch, Notch-2, DSP Noise Reduction, Volume, Gain), and 'Audio recording: start download' (circled in red).

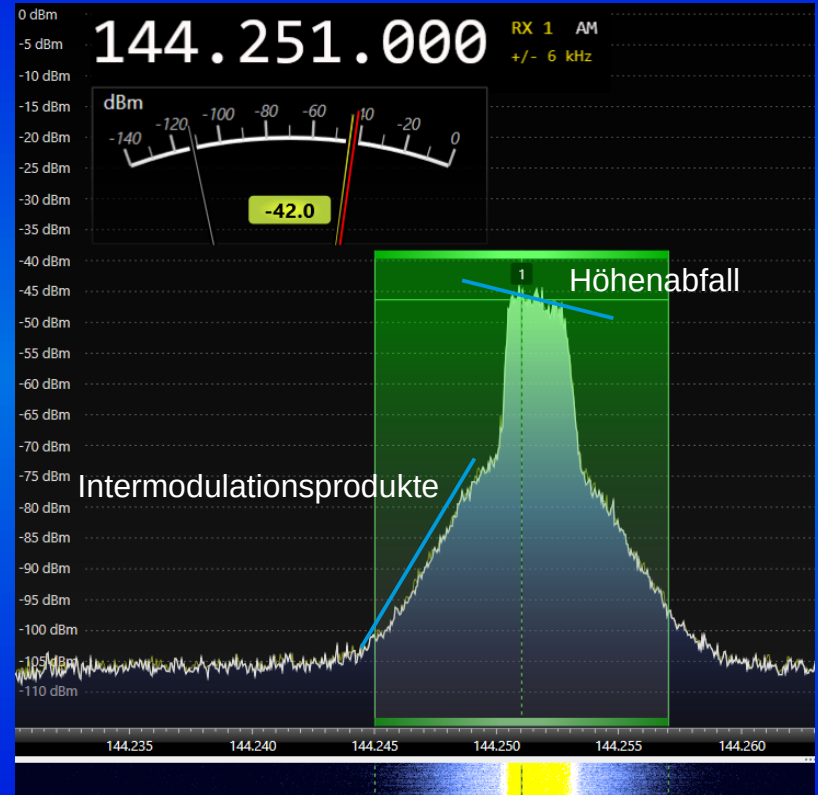
SDR-Console

The screenshot shows the SDR-Console software interface. It features a top toolbar with icons for Home, View, Receive, Rec/Playback, and Favorites. Below this, there are several control buttons: 'Record', 'Stop', 'Browse', 'Record...', 'Stop', 'Options', and 'Lock Radio'. The interface is divided into 'Audio' and 'Data :: Record' sections.



Audio Kontrolle - Rauschen

- Weisses Rauschen bei MIC einspeisen
- Frequenzgang der Modulation sichtbar
- Rauschsockel: Intermodukationsprodukte
 - Hier ca. -55dBc bei +/- 5 kHz: mässig

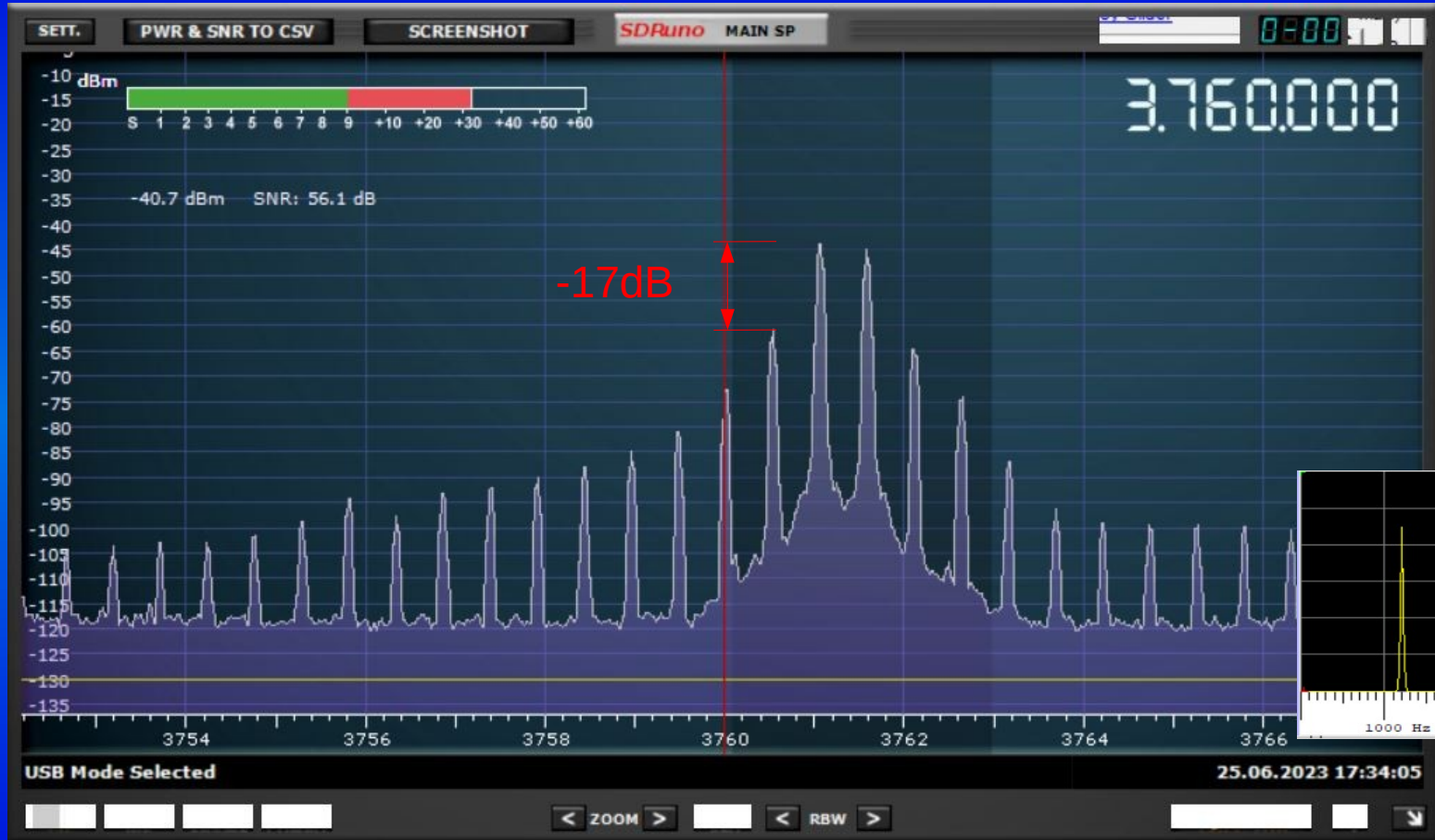


TX Intermodulation

- Soundkarte als 2-Ton Generator (Line Out)
- Abschwächer zur Pegelanpassung (optional)
- Audio Signal mit Soundkarte oder KO kontrollieren
- TX Output mit SDR analysieren
- SDR nicht übersteuern: Gain Optimum finden: 60-70 dB von Rauschflur bis 2-Ton Signal anstreben – nur soviel Gain am SDR wie nötig
- Plausibilitätsprüfung: -3dB
→ Signale auch 3 dB schwächer
Wenn nicht: Intermodulation im SDR

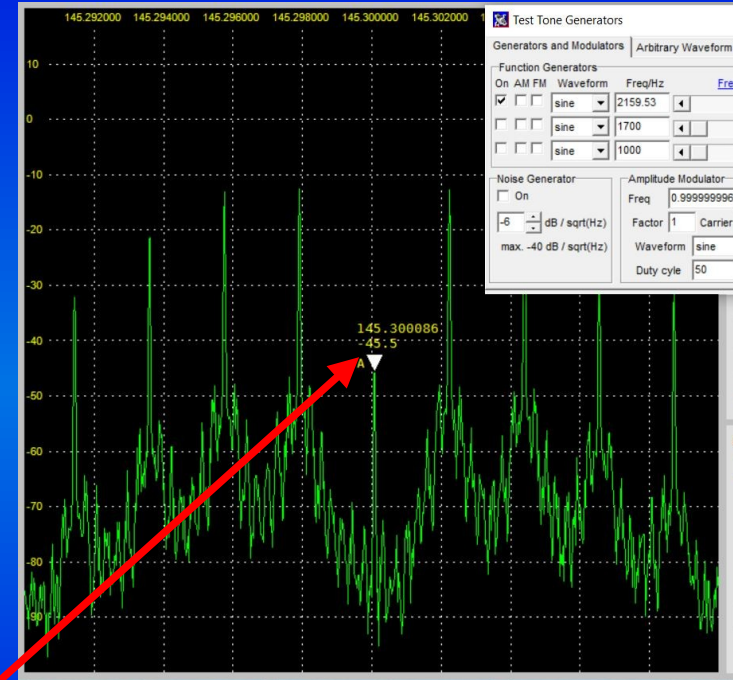


TX-Intermodulation (SDRuno)

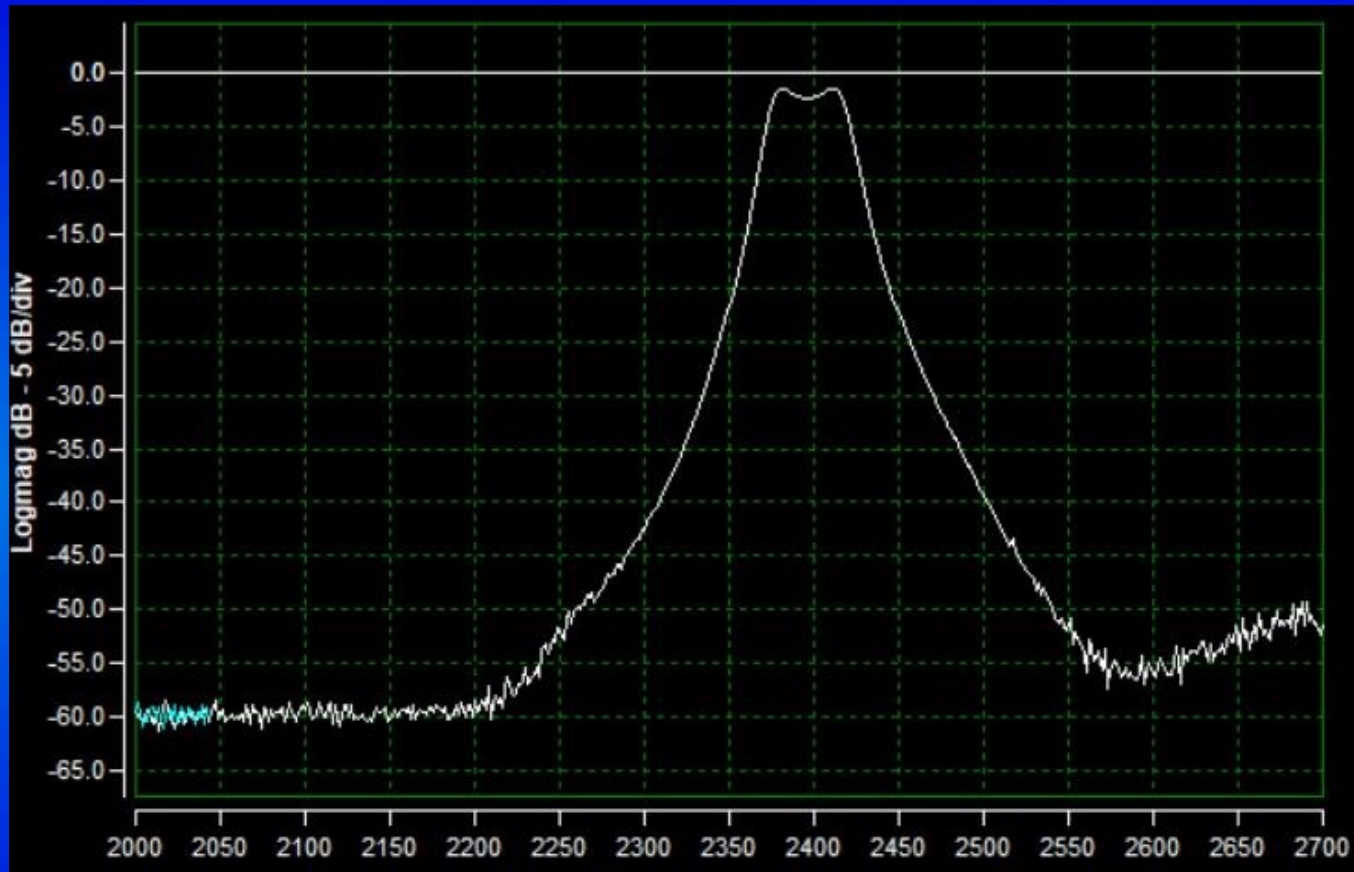


FM Frequenzhub f_{Δ}

- Praxis-gerecht: TX Signal in Nachbarkanälen genügend abgeschwächt (- 60dBc / \geq -37dBm*)
- Genauere Bestimmung für 1 Frequenz über Nullstellen im FM Spektrum (Besselfunktion)
- Schmalbandiger RX (ca. 100Hz) + NF Ton Generator (Soundkarte)
- Modulationsindex $M = f_{\Delta \text{ Frequenzhub}} / f_M \text{ Modulationsfrequenz}$
- Bei $M = 2.405$ «verschwindet» der Träger!
 - Hub $f_{\Delta} = 2.5\text{kHz}$ bei $f_M = 1.039\text{kHz}$
- f_M verringern bis das Träger Minimum erreicht ist:
 $\Rightarrow f_{\Delta} = 2.405 * f_M$; z.B.: $f_M = 2160 \text{ Hz}$ $f_{\Delta} = 5.195 \text{ Khz}$

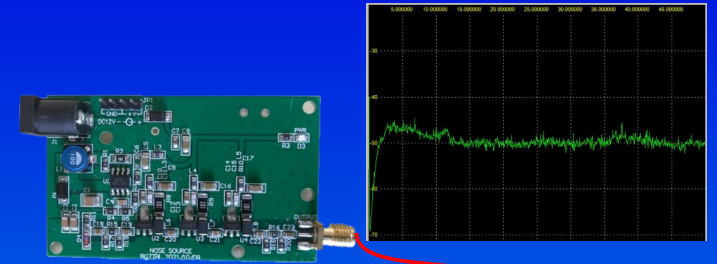


*)ETSI EN 300 113 V2.21 7.4.3

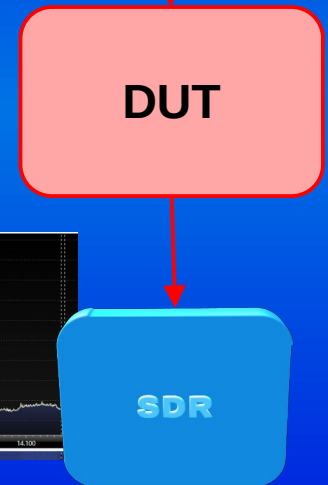


Messung mit Rauschgenerator

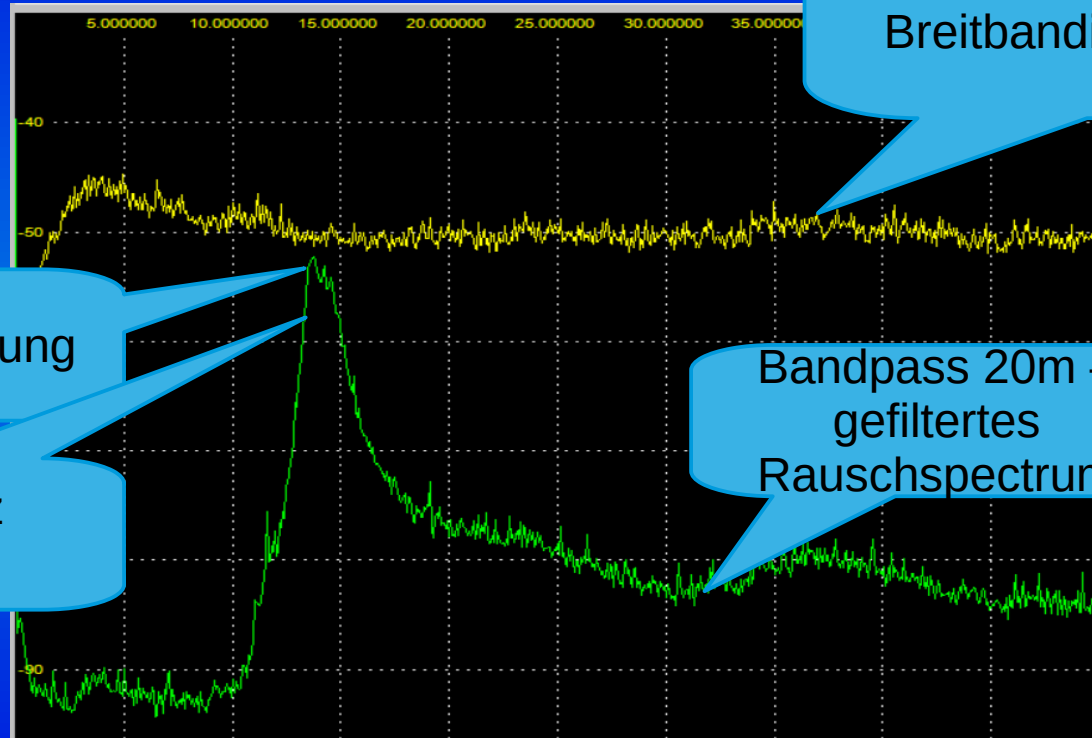
- Einfacher Ersatz für Tracking-Generator
- Geringerer Dynamikbereich als SA + TG oder VNWA (50-60 dB aber möglich)
- Nach BG7TBL o.ä. z.B. bei ebay oder Box73.de, (verschiedene Versionen im Handel)
 - Breitbandige, starke Rauschquelle bis über 3 GHz
 - Starker Frequenzgang, besonders im KW Bereich
 - Sehr hoher Pegel im KW Bereich, wird heiss,
 - Amplitude von Versorgungsspannung anhängig
 - Verbesserung möglich → Mods in Literaturliste



Rausch Generator



Frequenzgang mit Rauschgenerator



ca. 3dB Dämpfung

ca. 300 kHz
Bandbreite

Rauschgenerator
Breitbandiges Rauschen

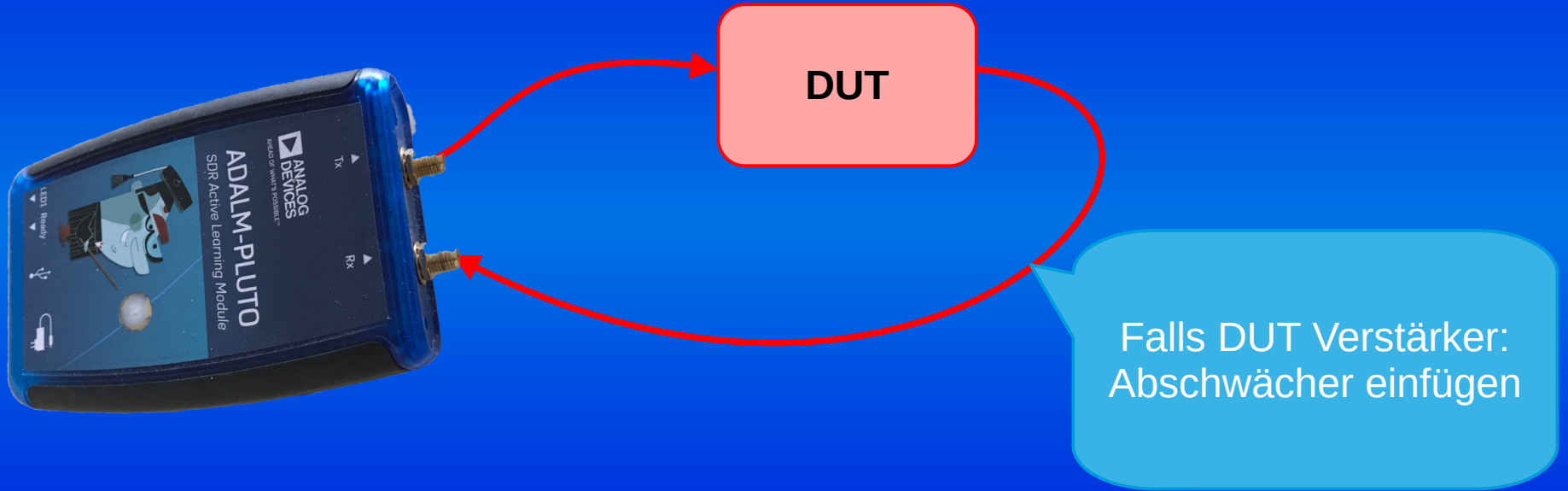
Bandpass 20m –
gefiltertes
Rauschspectrum

Frequenzgang Schmales Quarzfilter



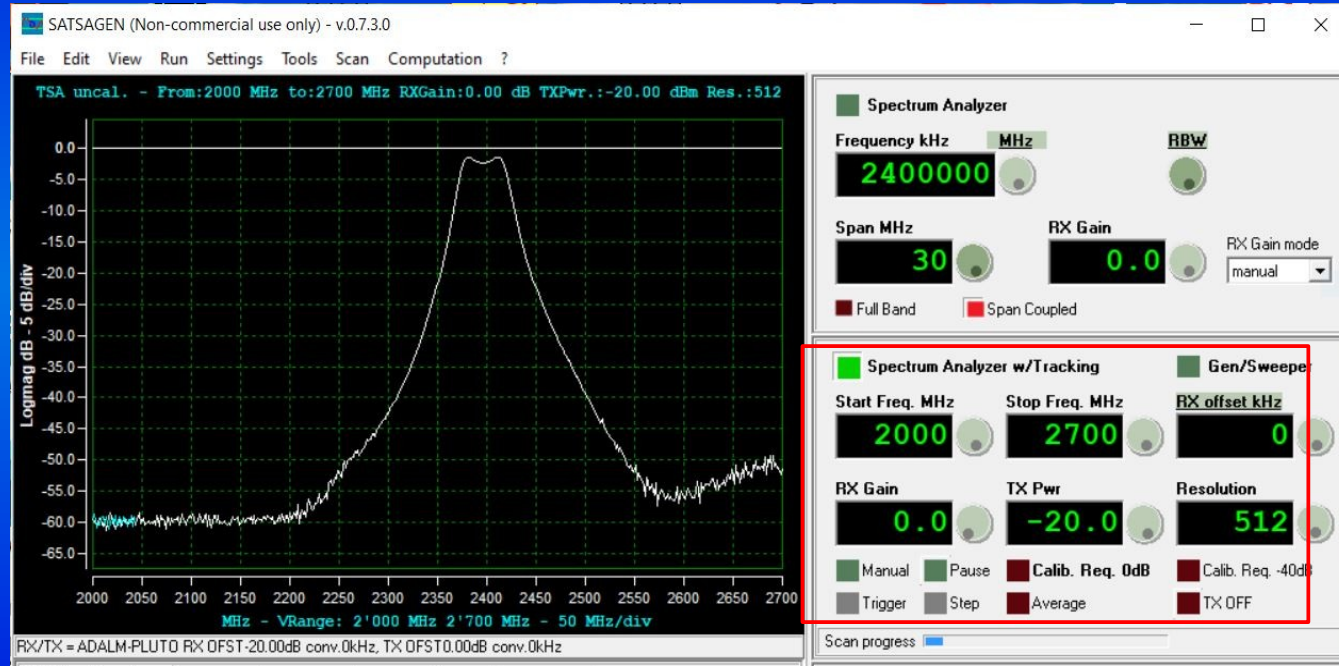


Adalm-Pluto - Frequenzgang

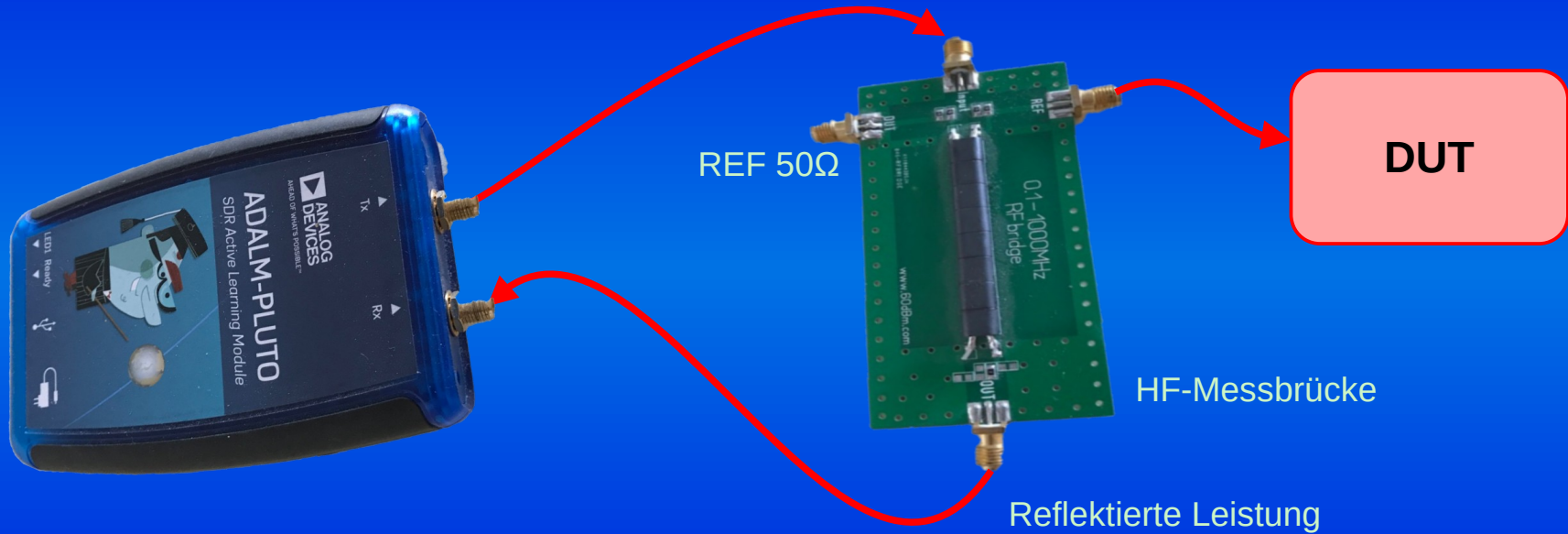


Frequenzgang mit Adalm-Pluto

- Mit SW SATSAGEN (IU1KVL)



Adalm-Pluto - Rückflussdämpfung



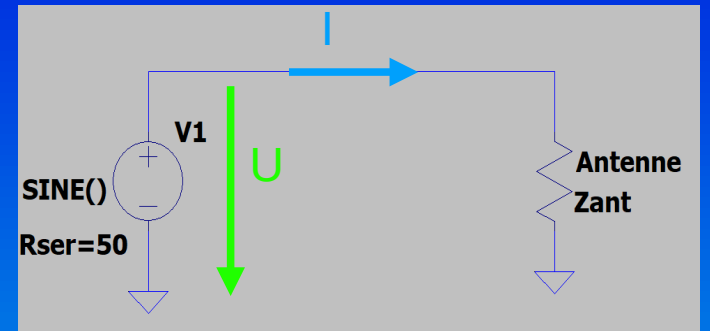
Rückflussdämpfung mit SDR Messen Adalm-Pluto + SATSAGEN





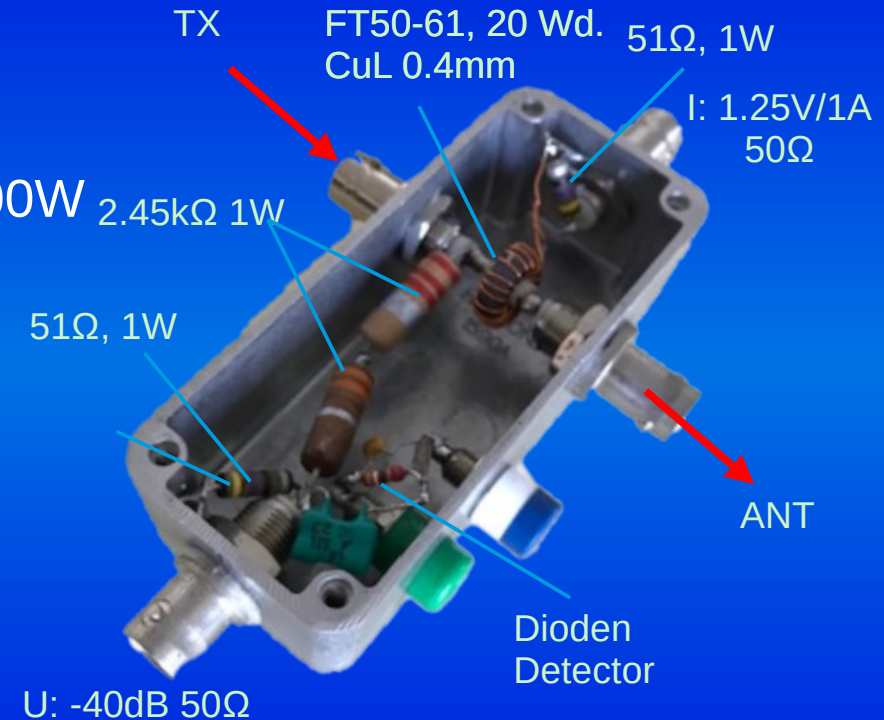
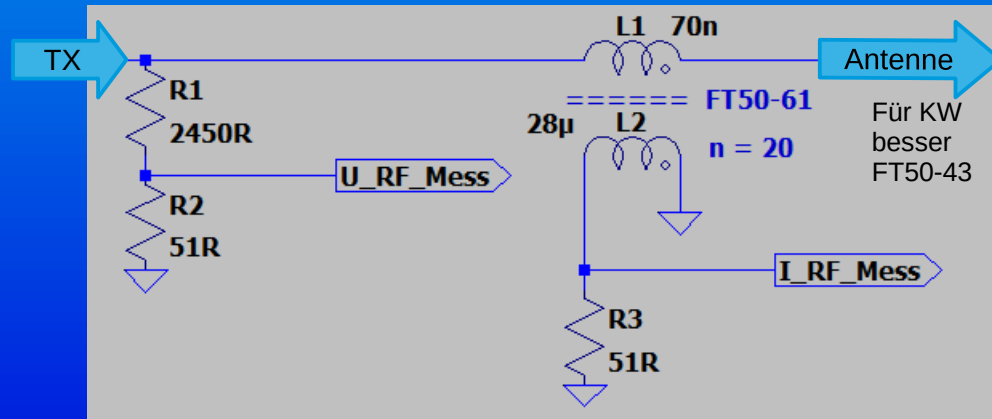
Impedanzen Messen mit dem Oszilloskop

- Prinzip: Mit 2-Kanal KO messen:
 - Spannungs- und Strom-Amplitude
 - Phasenverschiebung Spannung – Strom
 - Daraus Real- und Blindwiderstand berechnen
- Fehlerquellen:
 - Ablesegenauigkeit KO, Genauigkeit Abschwächer, Kabellängen.
 - unterschiedliche Phasenverschiebung von Spannungs- vs. Strom Messung (im KW Bereich einige Grad)
 - Überprüfen mit guter Dummy-Load (Phasenverschiebung $U-I$ 0°)

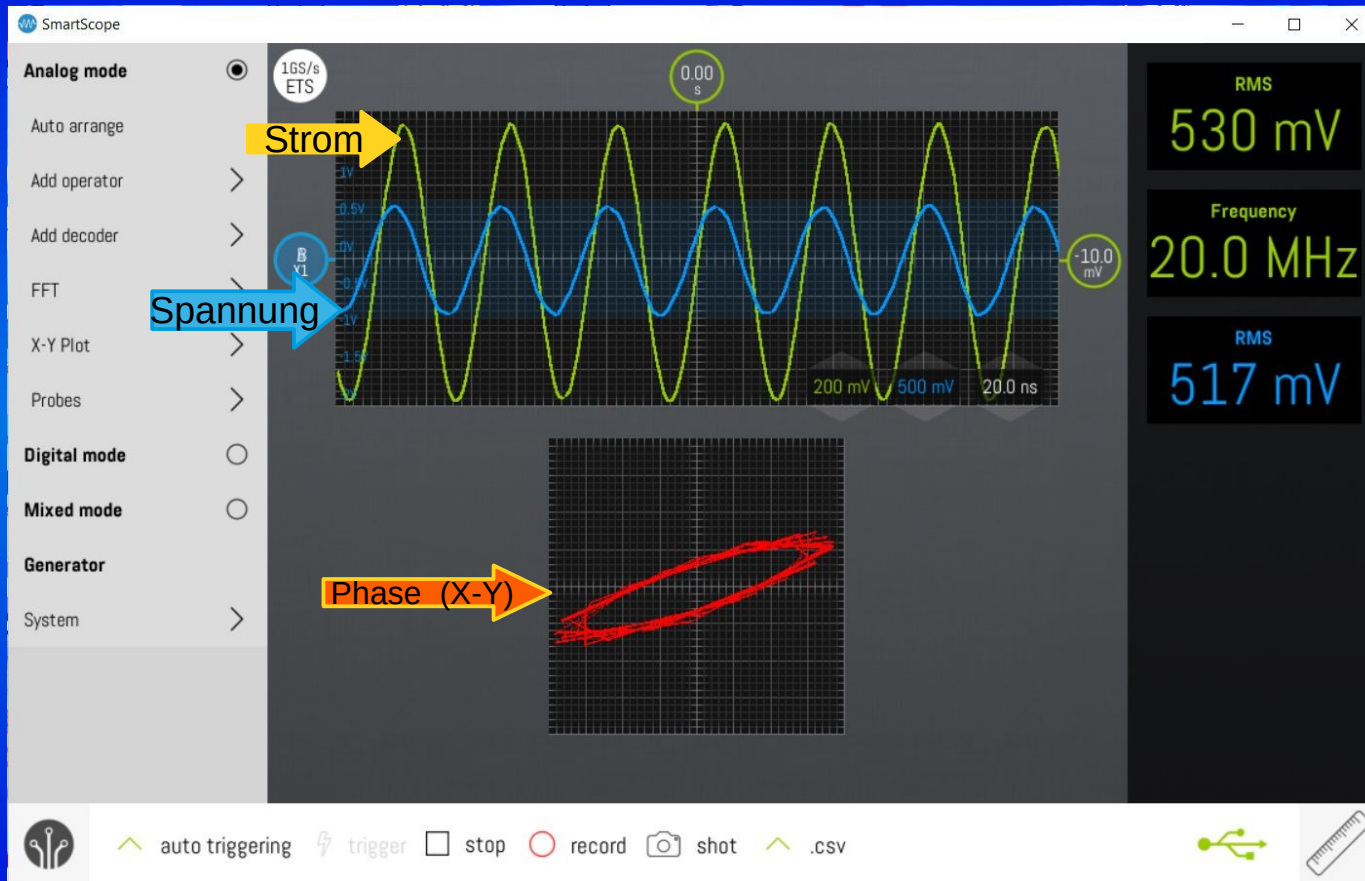


Strom- / Spannung Messkopf

- Resistiver Spannungsteiler für Spannung
- Transformator für Strom (Stromwandler)
- Einfach im Selbstbau – Beispiel für QRP..100W
- Hochohmig gemessen: -37dB / 2.5V/1A

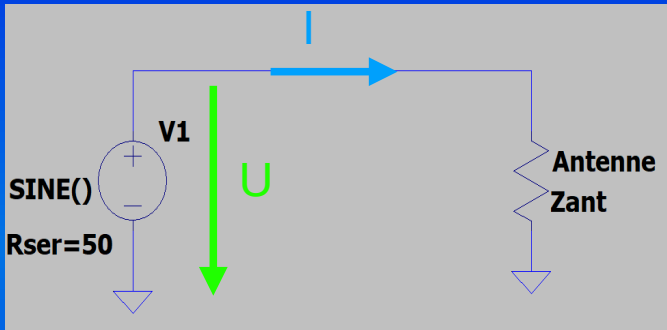


Messung mit USB Scope

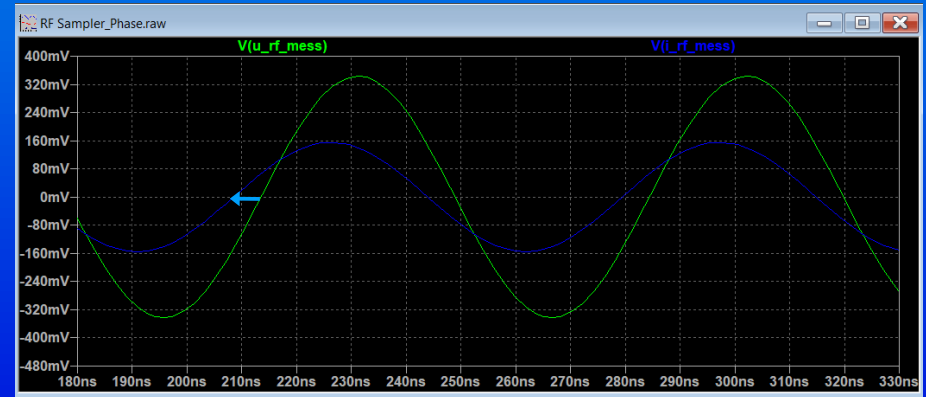


Antennenimpedanz mit KO - Kapazitiv

- Spannung und Strom in Phase:
reiner Wirkwiderstand



- Strom eilt Spannung voraus
- Zeitdifferenz negativ
- Kapazitiver Blindwiderstand (negativ)

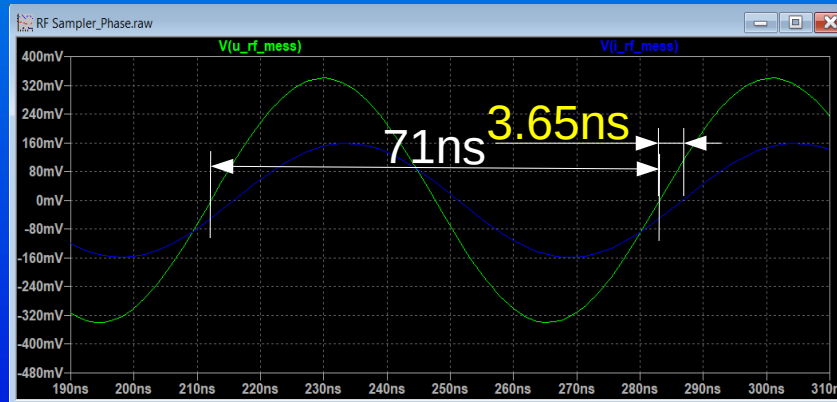
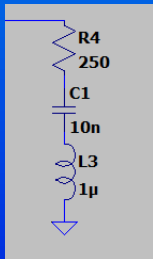


Antennenimpedanz mit KO - Induktiv

- Strom hinkt Spannung hinterher
- Zeitdifferenz positiv
- Induktiver Blindwiderstand (positiv)

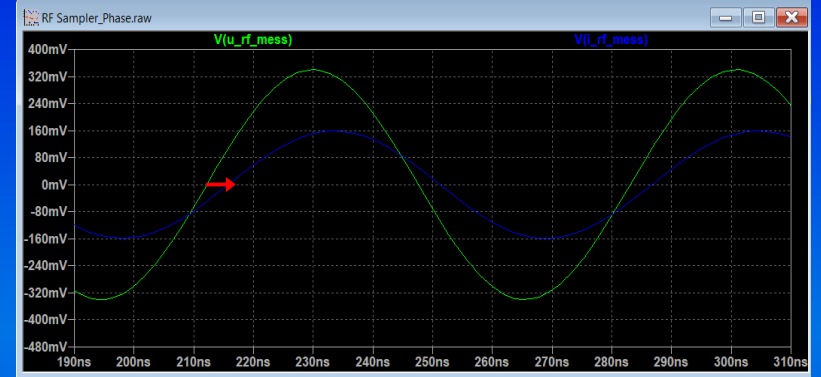


- Beispiel Z_{ANT} :

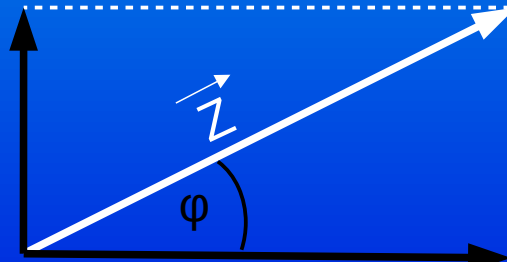


Berechnung Beispiel

- Spannung eilt Strom voraus → induktiv
- Phasenverschiebung:
 $\varphi_z = (+3.94\text{ns} / 71\text{ns}) * 360^\circ = 20^\circ$
- $U_p = 17.1\text{V}$, $I_p = 0.063\text{mA}$
→ $|\vec{Z}| = 17.1\text{V} / 0.063\text{A} = 271.4\Omega$



$$\begin{aligned} X_{\text{Ant}} &= |\vec{Z}| * \sin(\varphi_z) \\ &= 271\Omega * 0.342 \\ &= +92.7\Omega \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} R_{\text{Ant}} &= |\vec{Z}| * \cos(\varphi_z) \\ &= 271\Omega * 0.922 = 250\Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= X_{\text{ant}} / (2 * \text{Pi} * 14.1\text{MHz}) \\ &= +92.7\Omega / (1.129 * 10^8\text{Hz}) \\ &= 1\mu\text{H} \end{aligned}$$

Das wars auch schon

Fragen ?

Merci!

- [Literaturliste_HF Messungen einfach_V01.pdf](#)

Anhang

Test Signal Generator nach DL2EWN

- Pegelgenerator nach DL2EWN von Box73.de
Gemessene Pegel mein Exemplar==>
- Zusätzliche Abschwächer: kleinere Pegel möglich
 - Um RX Empfindlichkeit zu messen: HF-Dichtheit!
- Quarzoszillator mit anderen Frequenzen möglich. z.B. mit 32 MHz Oberwellen über 70cm.
- Bausatz Anleitung:
https://www.box73.de/file_dl/bausaetze/BX-017.pdf
- Projekt von OV H21:
<https://www.darc.de/uploads/media/HF-Testgenerator.pdf>

F MHz	S	dBm
3.5795	S9+20dB	-53
7.1589	S5+1	-99
10.738	S9+11	-62
14.317	S5+1	-99
17.897	S9+6	-67
21.476	S5+1	-99
25.056	S9+3	-70
28.635	S5+1	-99

Rauschgenerator (1)

- Nach BG7TBL o.ä. z.B. bei ebay oder Box73.de, verschiedene Versionen
- Breitbandige, starke Rauschquelle bis über 3 GHz
- Starker Frequenzgang, besonders im KW Bereich
- Sehr hoher Pegel im KW Bereich, starker Frequenzgang, wird heiß, Amplitude von Versorgungsspannung anhängig
- Review: <https://owenduffy.net/blog/?p=11193>
- Mods (2021 Version):
<http://ve2ek-9q1ek.blogspot.com/2021/09/bg7tbl-noise-source-modification.html>
- <https://dodgyengineering.com/2016/08/03/noise-source-reverse-engineering-and-repair/>
-

Noise Source BG7TBL

- Im KW Bereich (zu) hoher Pegel, und starker Frequenzgang, Pegel abhängig von Versorgungsspannung
- Review: <https://owenduffy.net/blog/?p=11193> (vernichtend)
- Mods:
 - <http://ve2ek-9q1ek.blogspot.com/2021/09/bg7tbl-noise-source-modification.html>
 - Meine Mods: wie Ve2EK, aber: 9Volt mit 7809, Verstärker unverändert, BRF93 B-E Strecke als Rauschdiode, C18=150pF. Ca. -89dBm/1Hz
- Beispiele von DC4KU: https://dc4ku.darc.de/Messungen_mit_einem_HF-Rauschgenerator.pdf
- Für den Selbstbau: https://www.qsl.net/dk3wi/HF_Noise_Generator.html,
<https://www.qrpproject.de/Media/pdf/Rauschgenerator.pdf>,