

Der Einsatz von Soundkarten zum Empfang von VLF-Signalen und als Messgerät

Wenn man den Begriff „Soundkarte“ hört, dann assoziiert sich damit irgendwie Musik hören aus dem PC, die Geräuschkulisse von PC-Ballerspielen oder die Laute von sich in einem Videoclip paarenden Darstellern.

Für uns Funkamateure und Bastler bietet eine Soundkarte jedoch gänzlich andere Einsatzfälle von denen ein üblicher PC-Benutzer vermutlich noch nie etwas gehört hat.

Zunächst kommt da der Begriff „SDR“ ins Spiel – **Software Definiertes Radio** [1]

Im einfachsten Fall wird ein HF-Signal auf die NF-Ebene gemischt, ähnlich wie es ein BFO in einer ZF-Stufe tut. Allerdings brauchen wir beim SDR zwei um 90° versetzte Oszillator-Signale und zwei Mischer und erzeugen dann zwei Frequenzspektren im NF-Bereich. Diese NF-Signale werden dann auf den Stereoeingang einer Soundkarte gegeben. Mittels Software werden, die auch I/Q-Signale genannten Frequenzgemische, in der Soundkarte vom Soundprozessor, dessen AD-Wandler, digitalisiert und können mathematisch weiterverarbeitet werden. Man kann die digital vorliegenden Informationen beispielsweise filtern und nahezu beliebig miteinander verknüpfen. Jede Modulationsart erfordert eine andere mathematische Signalbehandlung. Letztendlich werden die digital behandelten Signale über einen D/A-Wandler in ein analoges Signal zurückgewandelt, um es über einen NF-Verstärker und Lautsprecher oder Kopfhörer hörbar zu machen.

Bekannteste Vertreter solcher Empfänger sind der „SoftRock 40“ [5], der FA-SDR [6] oder der UHF-SDR [7] um nur einige zu nennen.

Doch um diesen Einsatzfall einer Soundkarte geht es in diesem Vortrag nicht.

Ich möchte zeigen, wie man die Soundkarte mit einfachsten Mitteln als Längstwellenempfänger einsetzen kann oder wie sie mit geeigneter Software als Messgerät in der Bastelwerkstatt einsetzbar ist. Unter Längstwellen würde ich den Bereich von wenigen Herz bis etwa 100 kHz zählen.

Ende 2014 gab es durch die Ankündigung, am 24.12.2014 den schwedischen Längstwellensender SAQ in Grimeton zu aktivieren, einen regelrechten VLF-SAQ-Hype, dem auch ich mich nicht entziehen konnte ;-)

Dieser Sender SAQ arbeitet auf 17,2 kHz. Von der Frequenzlage her also tief genug, um die Aussendung mit einer Soundkarte direkt zu verarbeiten.

Eine sehr gut gemachte Übersicht zu dem Thema SAQ ist in [8] zu finden. G. Beckmann, DK6NI hat dort eine unheimlich interessante Powerpoint-Präsentation zu vielen technischen und geschichtlichen Details zum Sender in Grimeton hinterlegt. Lesenswert!!!!

Außer SAQ tummeln sich im VLF-Band vor allem U-Boot- und Zeitzeichensender, aber leider auch die Störungen unzähliger Computer, Energiesparlampen und Schaltnetzteile usw. Der Link [10] listet bekannte Stationen auf. Nahezu in jedem Haushalt dürften VLF-Empfänger vorhanden sein, und zwar in Form von Funkuhren. Diese empfangen den VLF-Zeitzeichensender DCF auf 77,5 kHz. Er sendet mit 50 kW und steht in Mainflin in der Nähe von Frankfurt am Main. [11]

Überlegungen zur Hardware:

Doch der Reihe nach: Was für eine Soundkarte ist überhaupt für diese Versuche nötig? Bei geringen Ansprüchen und ordentlicher Antenne dürfte die interne Soundkarte des PC's (Laptop's) bereits genügen. Ein wichtiges Kriterium einer Soundkarte ist ihr Auflösungsvermögen. Übliche 16 Bit würde einer Signaldynamik von $2 \text{ hoch } 16 : 1$ entsprechen, was theoretisch 96 dB sind. Bezogen auf 1 V Soundkarteneingangsspannung wäre das kleinste darstellbare Signal etwa $1 \text{ V} / 65536 = 15,2 \text{ } \mu\text{V}$. Das wäre die kleinste „Stufe“ mit der die Spannung dargestellt werden kann, sozusagen das Digitalisierungsrauschen.

Bessere Soundkarten haben eine Auflösung von 24 Bit, wodurch die Dynamik theoretisch auf 144 dB steigt was einem Digitalisierungsrauschen von etwa 63 nV [bezogen auf 1 V] entspräche. Damit kann man schon ohne Vorverstärker etwas anfangen. Leider ist diese Auflösung nicht voll nutzbar, da das Eigenrauschen der NF-Vorstufe Limits setzt.

Die Abtastrate, also wie oft wird die Amplitude des Eingangssignals pro Sekunde ermittelt, ist ein weiteres wichtiges Kriterium unserer Soundkarte. Meistens treffen wir auf die Werte 48 kHz, 96 kHz oder gar 192 kHz. Nach dem Nyquist-Shannon- Abtasttheorem soll die Abtastfrequenz $> 2 \times f_{\max}$ des zu verarbeitenden Signals betragen. Mit einer 96 kHz Soundkarte könnte man daher in der Praxis Signale bis etwa 45 kHz verarbeiten.



Für den Profimusiker Bereich gab es für etwa 130 € eine externe Soundkarte, die über eine USB 2.0 Schnittstelle verfügt, einen Dynamikbereich von 113 dB hat, eine Auflösung von 24 Bit bietet und eine Abtastrate von 192 kHz besitzt. Die genaue Bezeichnung: E-MU 0204 USB von Creative-Professional. Ich selber und die Freunde meiner kleinen Bastelgruppe sind mit der E-MU 0204 sehr zufrieden.

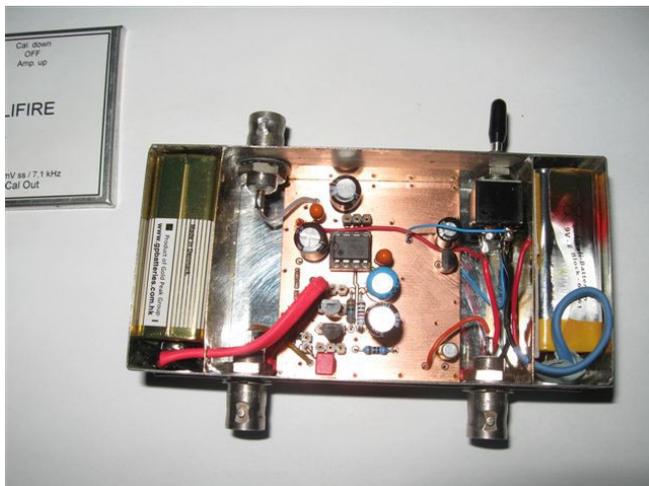
Bildquelle:

http://www.creative.com/emu/images/product/large/20113159327750_prod_0204usb2.png

Leider ist dieses Gerät nur noch selten zu bekommen.

Um die bereits gute Empfindlichkeit der Soundkarte noch zu verbessern ist ein Vorverstärker notwendig. Speziell für Messungen des Phasenrauschens von Oszillatoren hat sich der einfach aufzubauender Verstärker nach Charles Wenzel [12] bewährt der für unsere Empfangsversuche ideal ist.

Eine etwas überarbeitete Variante des Verstärkers hat Prof. Dr. Thomas Bayer, DG8SAQ in [15] vorgestellt. Übrigens, der Suffix vom Thomas ist rein zufällig, er ist mit dem Sender in SM weder verschwägert noch verwandt ;-)



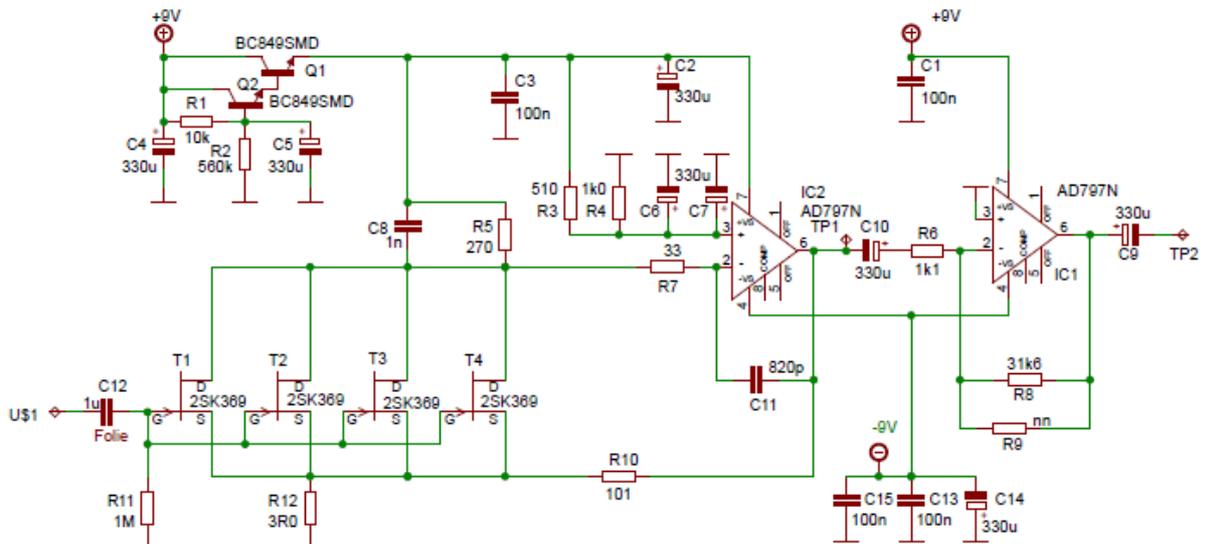
Die Spannungsverstärkung beträgt 60 dB (1000-fach) und sein extrem geringes Eigenrauschen $0,6 \text{ nV/Hz}^{0,5}$ waren nur mit extrem rauscharmen und relativ steilen J-FET's und mit super rauscharmen OPV's erreichbar. Durch die Parallelschaltung der FET's verkleinert sich das entscheidende Rauschen der Vorstufe. Der erste OPV ist auf die Sorce-Anschlüsse gegengekoppelt. Die Spannungsverstärkung der ersten und der zweiten Stufe beträgt jeweils 30 dB (31,6).

Das Eigenrauschen des Verstärkers ist so gering, dass man sogar über die thermische Raussspannung eines an den Eingang angeschlossenen Widerstandes dessen

Widerstandswert berechnen kann. [15]

Das Bild zeigt die erste Version meines sogenannten „Wenzelverstärkers“.

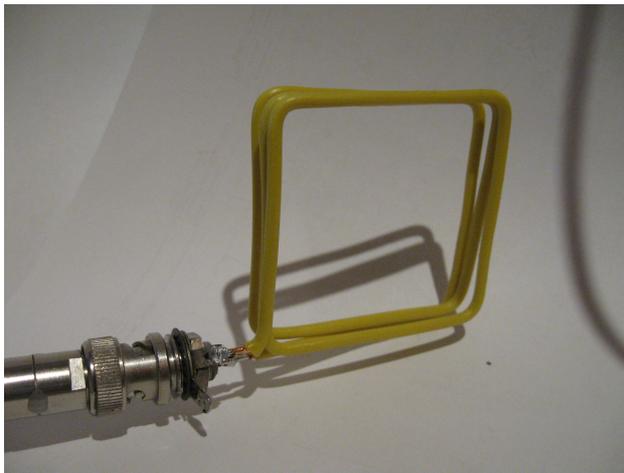
Die Stromversorgung **muss** extrem sauber und rauscharm sein. Normale Netzteile sind schlichtweg zu schlecht. Ihre Brummspannung und ihr Eigenrauschen würden sofort durch die hohe Verstärkung sichtbar sein. Die beste Lösung sind hier chemische Spannungsquellen. Zur vorsorglichen Rauschbereinigung habe ich eine durch Q1 und Q2 gebildete Filterschaltung vorgesehen. Dort ist auch gleich noch eine ausgemessene NF-Signalquelle eingebaut, mit der ich meine Soundkarte kalibrieren kann. Das ist für spätere Messungen unabdingbar, denn die Soundkarte hat selbst keinen Bezugspegel!



Hier die Schaltung meines „Wenzelverstärkers“.

Die Antenne:

Eigentlich kann man fast alles nehmen was man hat.



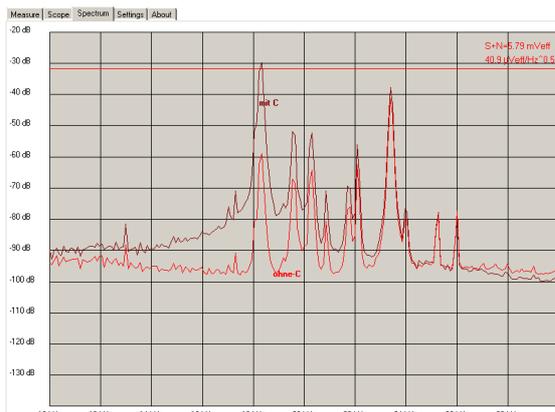
Wer noch eine Entmagnetisierungsspule aus einem alten Röhre-Farbfemsehempfänger hat kann auch diese nehmen. Bei mir brachten Versuche damit fast den gleichen Pegel wie die Helmholtzspule.

Zuerst habe ich als Antenne, entsprechend einem Vorschlag von DG8SAQ, 3 Windungen Draht direkt an eine BNC-Buchse angelötet. Die Kantenlänge beträgt nur 5 cm. Damit konnte ich schon den Zeitzeichensender DCF auf 77,5 kHz direkt empfangen. (Siehe Seite 5)

Für weitere Versuche habe ich mir eine sogenannte „Helmholtz-Spule“ [10] aus meinem QRL ausgeliehen. Damit konnte ich schon wesentlich mehr empfangen. Die Helmholtzspule besteht aus zwei Wicklungen zu je 16 Windungen und brachte schon einiges mehr an Empfangspegel.



Stimmt man die Antenne auf die Empfangsfrequenz ab, erhöht sich durch die Resonanzhöhung die Empfangsspannung merklich. Die Antenne wird gleichzeitig selektiver. Trotz vorhandener Bedämpfung des Schwingkreises durch das Kabel und den Eingangswiderstand der Soundkarte ist der Zugewinn

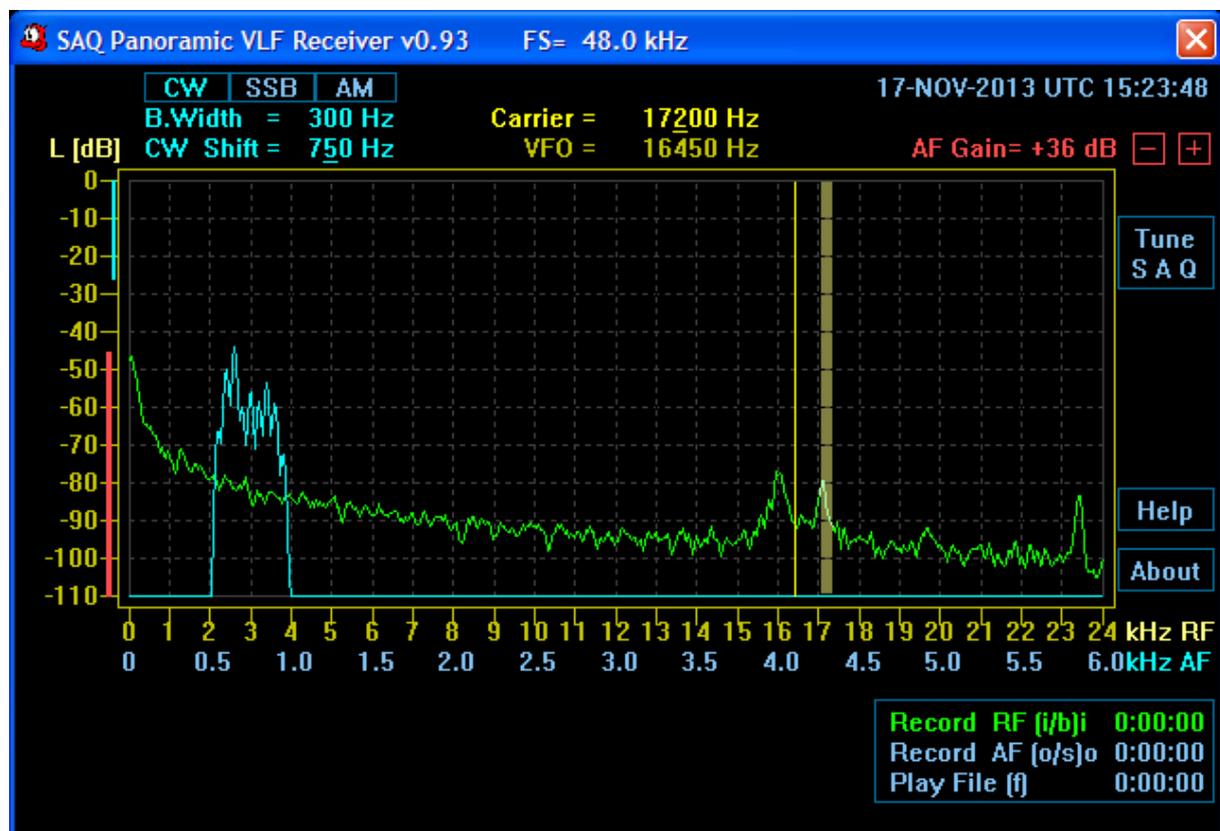


beachtlich. Die Induktivität der Spule habe ich gemessen und mittels zusammengestückeltem 104 nF Kondensator auf 17,2 KHz Resonanz hergestellt. Bei derartig hoher Schwingkreisfrequenz wirken sich die Kapazität des Messkabels und die Eingangskapazität des Soundkarteneingangs kaum aus.

Die Software:

Einfach zu bedienen und für erste Versuche sehr schön gemacht ist der „SAQ Panoramic VLF Receiver“.

In dem zweiten File des Links [8] sind mehrere Varianten zum Programm SAQrx zu finden. Ursprünglich stammt das Programm von Johan Bodin, SM6LKM. SWL Roland Fröhlich hat es zur aktuellen Version SAQrx0.94 weiterentwickelt. Es handelt sich um Programme, die das von einer Antenne aufgenommene Signal direkt verarbeiten können. Je nach Soundkarte kann man damit Empfangsversuche bis etwa 90 kHz anstellen. Ein programminterner „BFO“ setzt die empfangenen Signale in den hörbaren Bereich um und macht die Sender somit gleich über den PC hörbar. Die einzelnen Signale sind als mehr oder weniger hohe Nadeln als Spektrum (grün) dargestellt. Das frequenzmäßig umgesetzte NF-Signal zeigt die blaue Kurve. Man erkennt sehr schön die NF-Filterbandbreite und einen über dem Rauschteppich ragenden Einzelton.

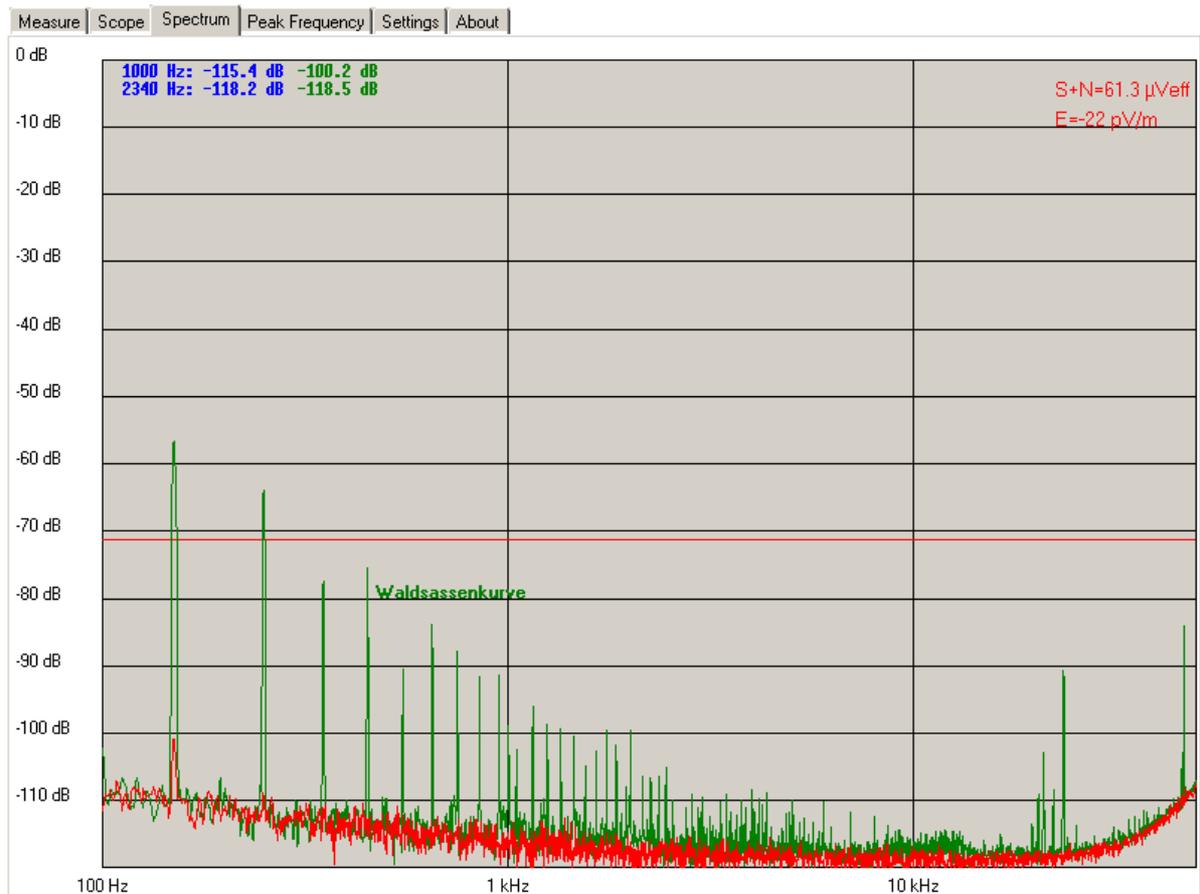
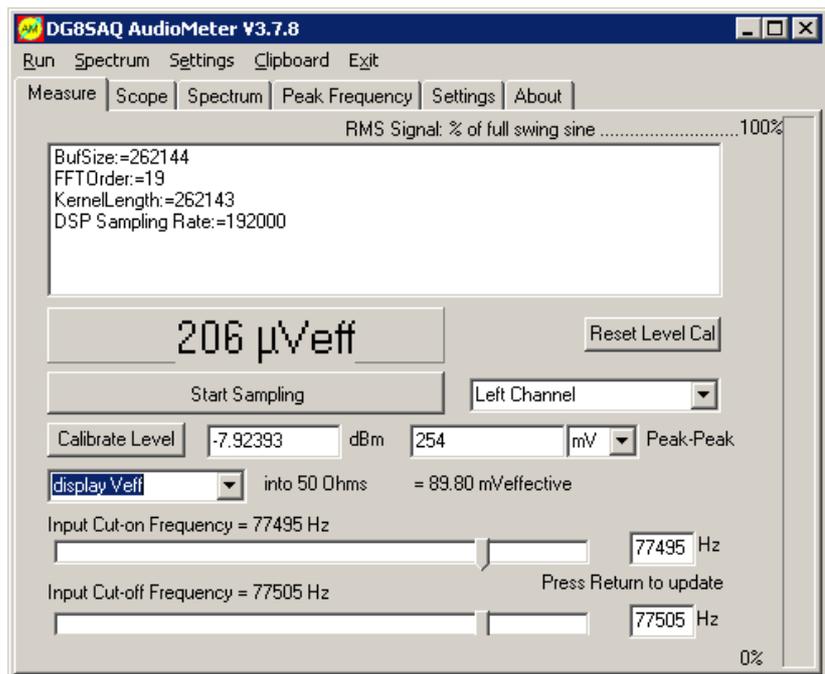


Für die Stationen SAQ und DCF sind Schnellasten vorhanden. Man kann die Frequenz auch direkt eingeben, mit der Maus oder up/down Taste bedienen. Ein kleines Hilfemenü ist ebenfalls vorhanden. Die anderen Möglichkeiten dieser Software sind selbsterklärend. Einfach mal ausprobieren, da geht nichts kaputt!

Die andere Software, AudioMeter, inzwischen in der Version 3.7.9, stammt vom Thomas. Er stellt sein gut ausgereiftes Messprogramm auf seiner Homepage kostenlos zur Verfügung [3]. Es beinhaltet einen NF-Spectrumanalyser, ein Oszilloskop, ein Volt- bzw. Pegelmeter, eine Peak-Frequenzmessung, jeweils kombinierbar mit beliebig wählbarer Filterbandbreite. Eine Vielzahl von Einstellmöglichkeiten, Umrechnungen und Auswertefunktionen runden diese Software ab.

Um auch exakt messen zu können ist, wie auf Seite 2 angedeutet, zuerst eine Kalibration mit einem bekannten NF-Signal nötig. Mittels eines verlässlichen Oszilloskops ermittelt man den Spitze-Spitze Wert vom Testsignal und trägt diesen Wert im Programm ein. Die Kalibration ist immer nur für eine Lautstärkeinstellung gültig. Bewährt hat es sich den Linkanschlag beizubehalten.

Um eine Übersicht der Einstellungen zu bekommen sollte einfach mal jedes der Menüs und Untermenüs aufgerufen werden. DG8SAQ hat sein Programm in [14] und [15] beschrieben. Auch die Homepage von DF8RZ [2] enthält einige Hinweise. Da es leider keine ausführliche Dokumentation gibt kommt man nicht umhin, sofern ein Punkt nicht selbsterklärend ist, einfach selber die Wirkung bestimmter Einstellungen auszuprobieren. Mittels Schieberegler oder Frequenzeingabe können wir den Frequenzbereich festlegen, der ausgewertet werden soll. Dieser Bereich wird in der Spectrumdarstellung farblich abgesetzt. Wählt man die Funktion Zoom unter „Spectrum“ (die Karteikarte neben Run), dann wird nur dieser Bereich angezeigt.



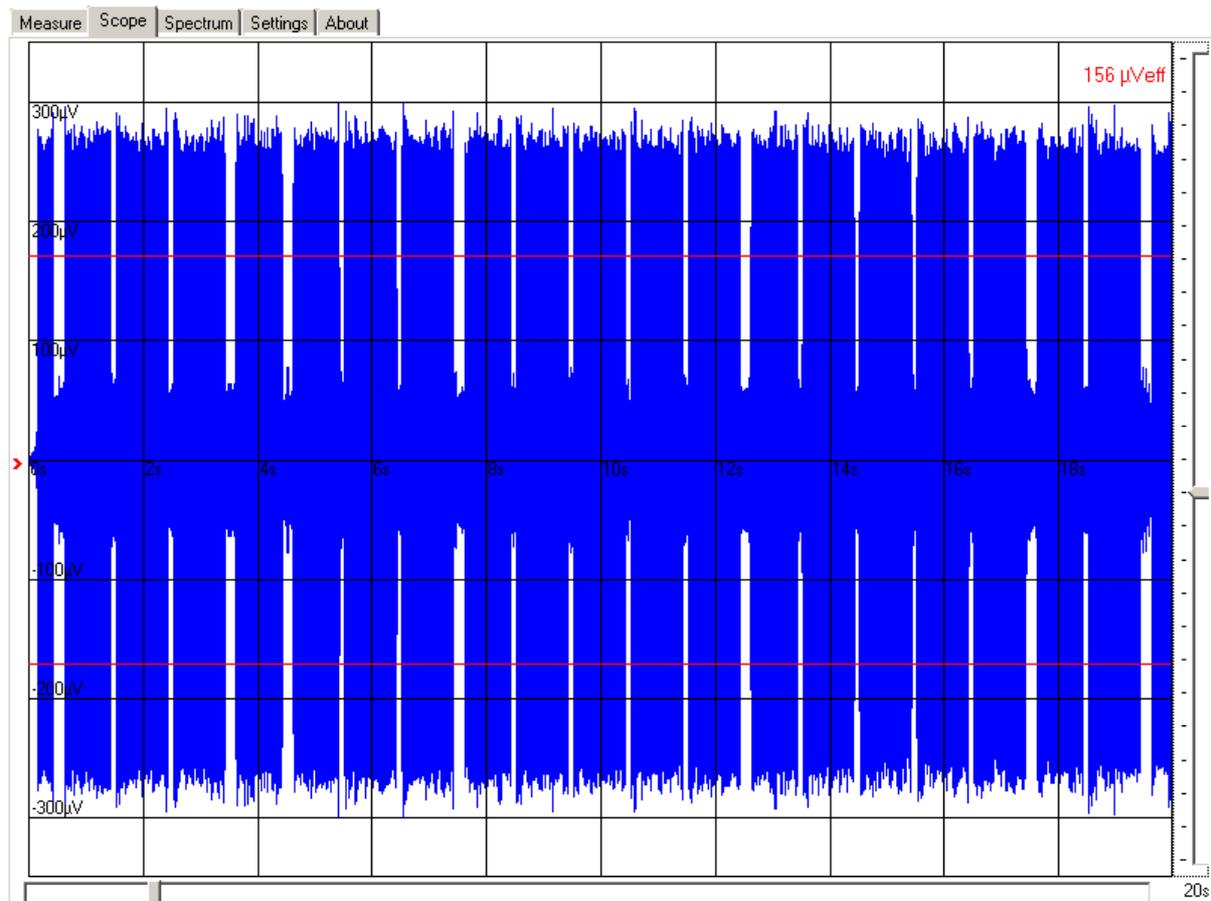
Die Frequenzachse kann linear oder logarithmisch gewählt werden. Es lassen sich 4 Kurven speichern. Die Kurven werden bei Beendigung des Programms automatisch gespeichert und können mit Kommentaren versehen werden. Die Messfenster lassen sich per Tastendruck im Clipboard

zwischen speichern um sie in anderen Programmen einfügen zu können. Hier ist ein solcher Schnappschuss aus dem Spectrum-Modus mit einer gespeicherten Kurve (grün) zu sehen.

Bei einem üblichen Oszilloskop sieht man immer ein Gemisch aller am Eingang anstehenden Signale. Verwende ich die Filterfunktion beim AudioMeter, dann lassen sich störende Signale effektiv ausblenden.

Das folgende Bild zeigt einen Empfangsversuch von DCF im Scope Modus mit der kleinen Loop und dem 60 dB Verstärker. Die Bandbreite habe ich zu 100 Hz gewählt. Ohne Filter würde das von der Antenne aufgenommene 50 Hz Netzbrummen dominieren. Die Zeitbasis wird mit dem Schieberegler am unteren Bildschirmrand eingestellt, die Amplitudeneinstellung erfolgt mit dem Schieberegler rechts. Die Spannungsangaben auf der linken Y-Achse verändert sich immer automatisch mit.

Oben rechts wird sofort der Signalpegel in der unter Measure gewählten Einheit angezeigt. Sehr nützlich ist es, dass eine benutzerdefinierte Umrechnung der Messwerte erfolgen kann. So könnte man z. Bsp. die Verstärkung des Vorverstärkers gleich einrechnen lassen.



Nachdem die Einstellungen vorgenommen wurden betätigt man den „Run“ Button wodurch der Messvorgang beginnt. Dieser ändert sich zum „Stop“ Schalter, über den die Messung wieder beendet wird.

Je nach gewählter Auflösung und je nach Mittlungseinstellungen erhält man eine mehr oder weniger feine Auflösung, die auch schon mal recht rechenintensiv sein kann und einen ältere Rechner an seine Grenzen bringt.

Man kann auch feste Frequenzmarken setzen, für die dann die Messwerte automatisch auf dem Schirm eingeblendet werden oder sich per Mausklick ein Wertepaar an der Cursorposition anzeigen lassen.

Messanwendungen:

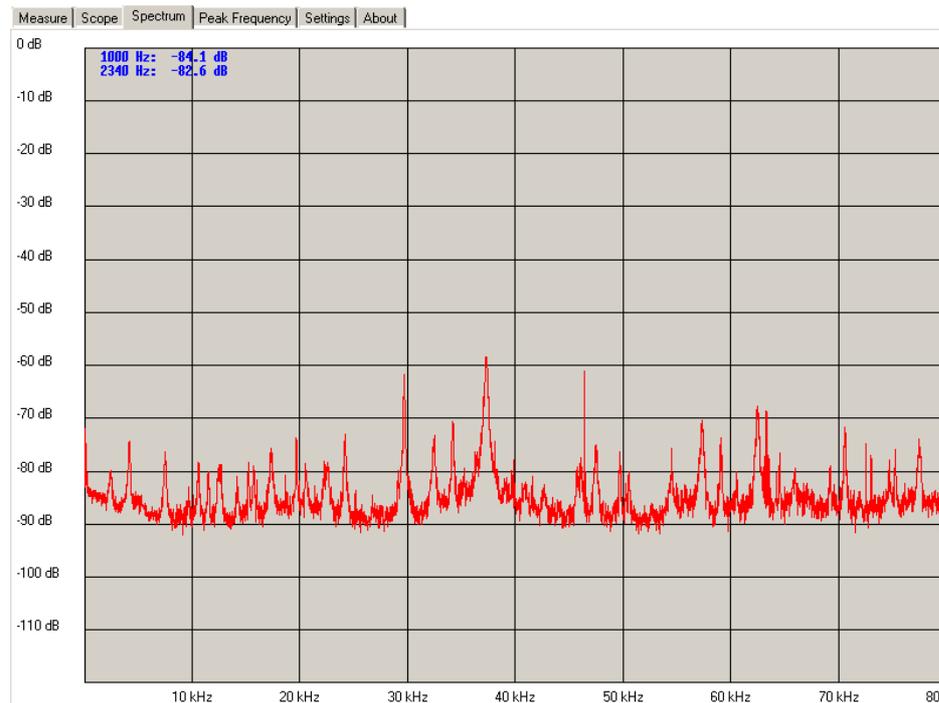
Speist man beispielsweise ein NF-Signal ein lässt sich neben der Amplitude der Grundwelle sofort erkennen, ob auch Oberwellen vorhanden sind. Das ermöglicht beispielsweise Klirrfaktormessungen an NF-Verstärkern durchzuführen. Das ist sowohl im Scope-Modus, ratsam mit Bandbreitenbegrenzung, oder im Spectrum-Modus, sehr elegant zu machen.

Untersuchungen des Rauschens von Spannungsquellen mit diesem Programm wurden in [13] ausführlich beschrieben.

Mit der Funktion Peak Frequency kann das Einschwingverhalten einer PLL betrachtet werden.

Wer das Phasenrauschen von Oszillatoren untersuchen möchte findet in [4] von DG4RBF entsprechende Vorschläge.

Die Entstörung von Schaltnetzteilen oder Aufspüren von niederfrequenten Störungsquellen ist sehr spannend. Entweder man geht galvanisch über einen Trennkondensator an die Niederspannungsseite



der Stromversorgung, oder man baut sich eine kleine Koppelsonde. Ein Ring- oder Stabkern hoher Permeabilität versehen mit einigen Windungen reicht oft aus eine Störungsquelle zu identifizieren. Meistens ist der Erfolg einer Entstörmaßnahme sofort sichtbar.

Hier sieht man das Störspektrum meines Schnurlostelefon im Bereich bis 80 kHz.

Links und

Literaturstellen:

- [1] http://www.amateurfunk-wiki.de/index.php/Software_Defined_Radio
- [2] <http://df8zr.darc.de/audiometer.pdf>
- [3] Programm Audiometer: <http://home.arcor.de/baier/AudioMeter3.7.9.zip>
- [4] Skriptum der 58. UKW-Tagung in Weinheim 2013
- [5] <http://wb5rvz.com/sdr/>
- [6] <http://www.amateurfunk-wiki.de/index.php/FA-SDR>
- [7] http://wb6dhw.com/For_Sale.html#UHFSDR
- [8] <https://sites.google.com/site/swljo30tb/home/files>
- [9] <http://de.wikipedia.org/wiki/Helmholtz-Spule>
- [10] <http://de.wikipedia.org/wiki/L%C3%A4ngstwelle>
- [11] <http://de.wikipedia.org/wiki/DCF77>
- [12] Wenzel, Ch.: A Low Noise Amplifier for Phase Noise Measurements; www.techlib.com/files/lowamp.pdf
- [13] Jörn Bartels, DK7JB: Rauschen einer Spannungsquelle; http://www.bartelsos.de/index.php?dl_file=KMVNHVLI33
- [14] Thomas Baier, DG8SAQ: AudioMeter-Software zum Messen mit der Soundkarte (1), FUNKAMATEUR 10/2014, Seite 1078 ff.
- [15] Thomas Baier, DG8SAQ: AudioMeter-Software zum Messen mit der Soundkarte (2), FUNKAMATEUR 11/2014, Seite 1179 ff.