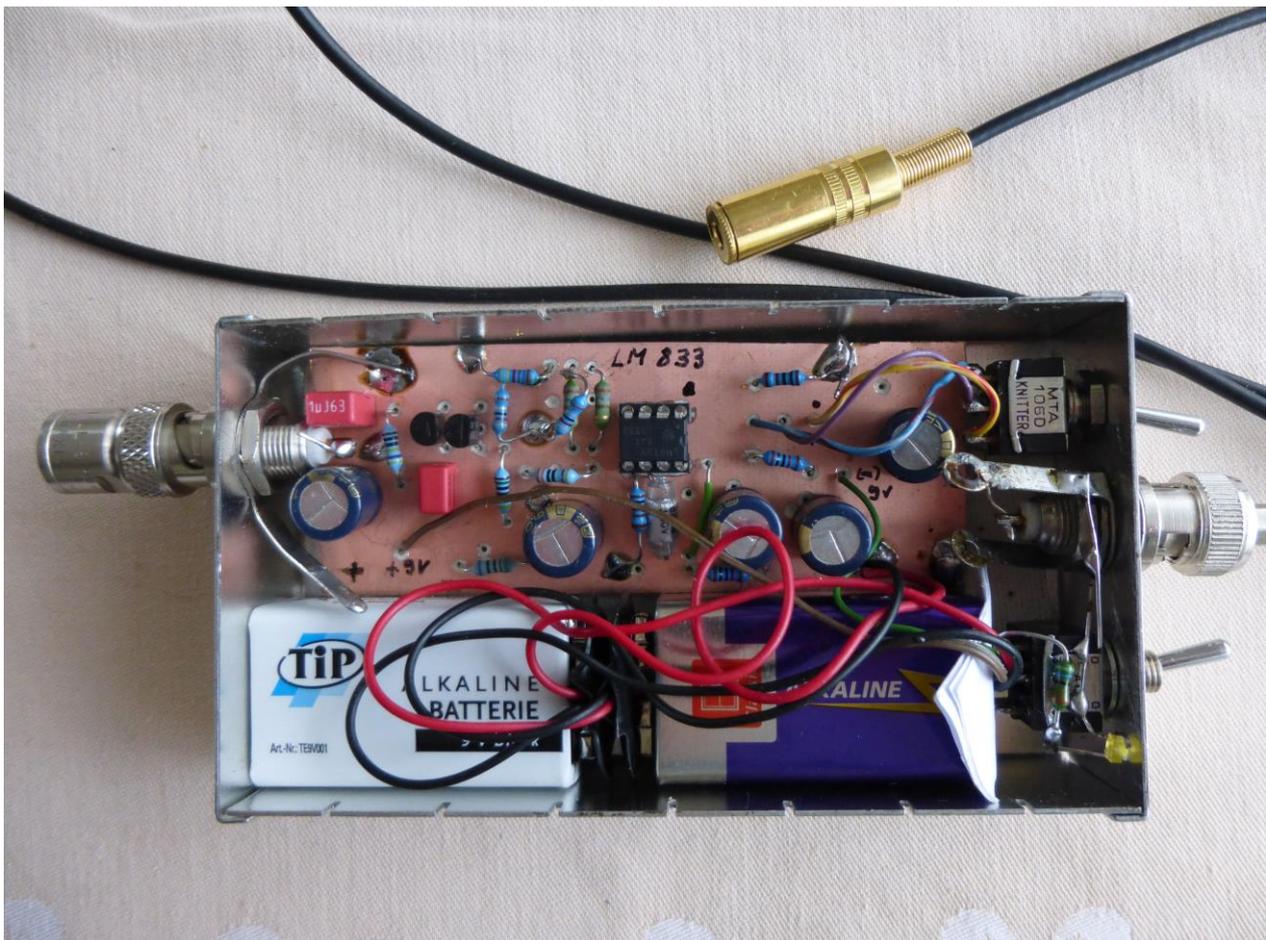


Audiometer nach DG8SAQ

Im Funkamateurl 10/11 2014 war der Artikel von Thomas Baier. Da ich schon immer mal einen rauscharmen Verstärker basteln wollte, der es mir ermöglichen sollte, die Rauschspannungen von Stabilisatoren am Oszilloskop zu messen, war mein Interesse natürlich geweckt. Hier kommen nun verschiedene Soundkarten ins Spiel, die ja heute ausgezeichnete Eigenschaften haben. Meine E-MU 0202 USB, die schon etwas älter ist, kann aber bereits mit 192 kHz Samplingrate arbeiten. Dazu hat sie eine Auflösung von 24 Bits. Wahrscheinlich sind die neueren Karten noch besser spezifiziert. Jedoch galt es zunächst den rauscharmen Verstärker nach Wenzel zu basteln. Eine bessere Soundkarte kann ich ja immer noch nachkaufen.

Ich verwendete ein HF-dichtes Gehäuse aus Stahlblech. Auf einer einseitig kaschierten Platine brachte ich nach meiner Bauweise alle Komponenten unter. Die beiden 9V-Blockbatterien passten auch gerade noch hinein.



Die meisten Bauteile konnte ich bei Reichelt kaufen. Ich verwendete BNC-Buchsen für Ein- und Ausgang. Für den Anschluss zur Soundkarte nahm ich RG174. Allerdings hatte ich große Probleme mit den 3,5mm-Klinkensteckern. Sie waren nicht genau

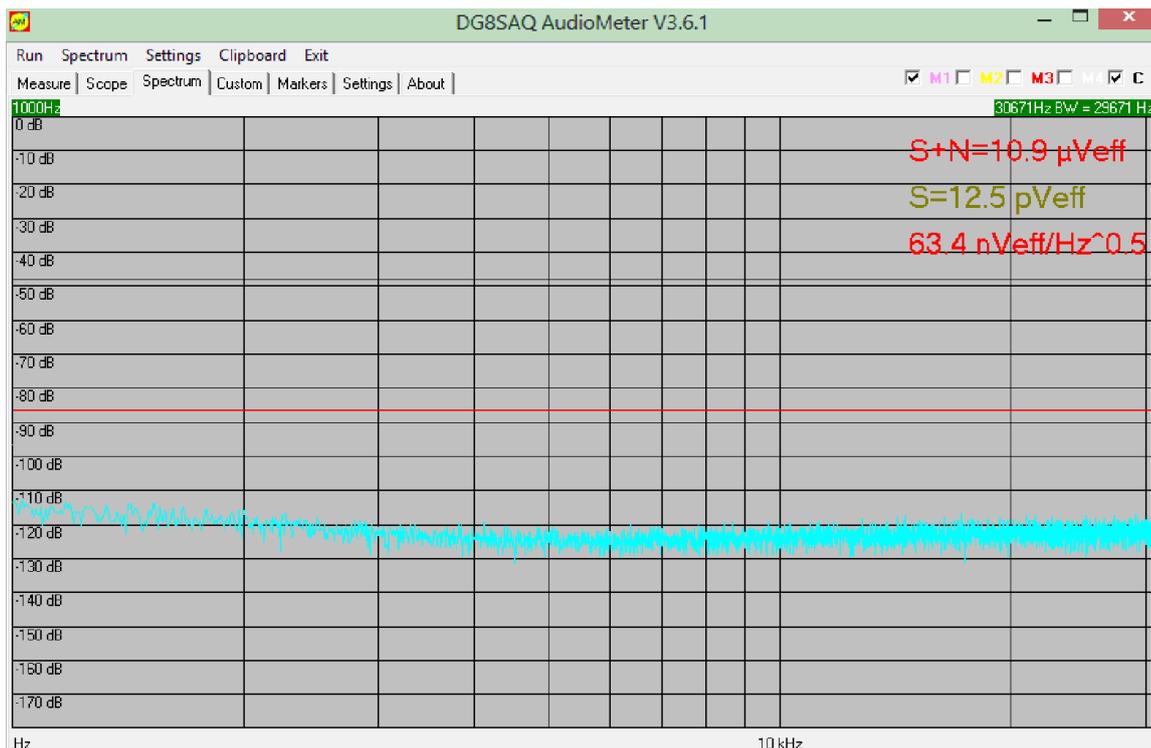
genug gefertigt und wackelten in der Buchse an der Karte. Als ich dann aber eine Luxusausführung mit vergoldeten Steckern fand, passten die Stecker sehr genau und mit guter Kontaktgabe. Also lötete ich ans andere Ende der Verbindung eine vergoldete 3,5mm-Klinkenbuchse. Die restliche Verbindung zur Karte machte dann das teure Kabel mit den vergoldeten Steckern an beiden Seiten. Ich kann nur jedem empfehlen, hier besonders gute Stecker bzw. Buchsen einzusetzen, denn die Wackelkontakte verursachen sonst ärgerlich Fehlmessungen.

Ergebnisse

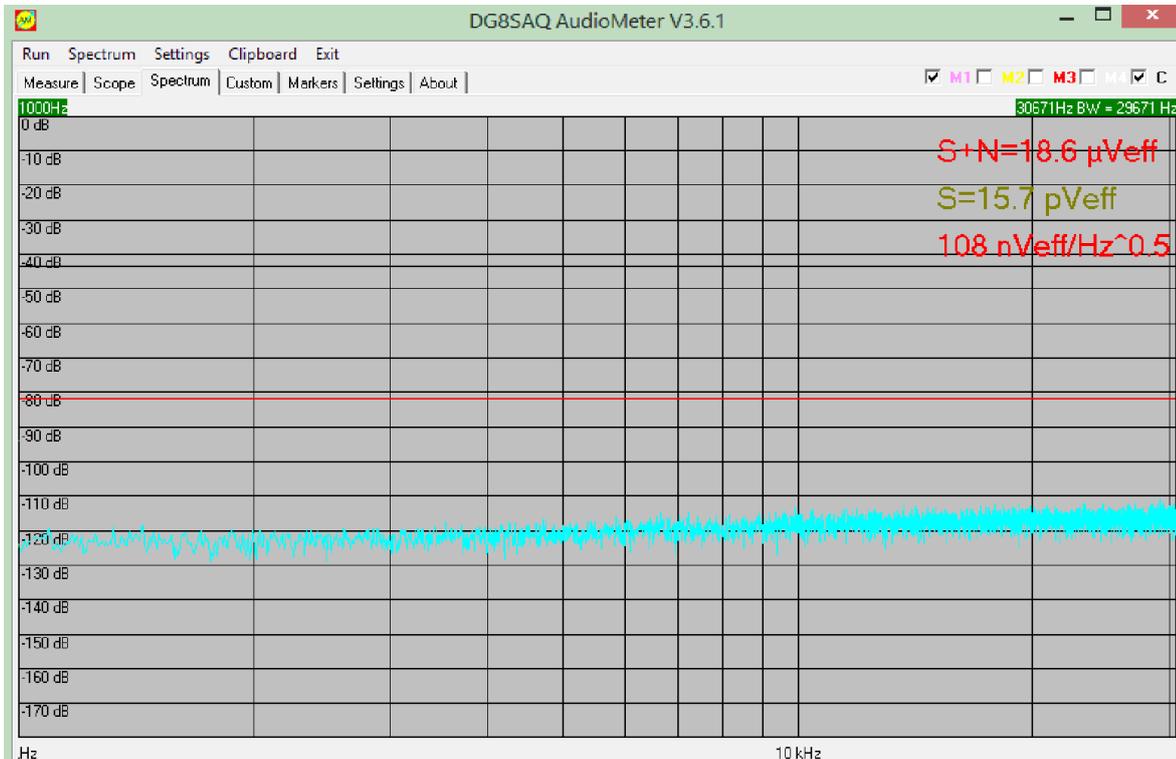
Zunächst kalibrierte ich die Soundkarte mit 100 mV eff. Diese Spannung entnahm ich einem Generator von HP. Dazu baute ich einen Spannungsteiler 1 : 100, um den Restbrumm am Fuß des Signals nicht zu sehr in die Kalibrierung einzubringen. Es empfiehlt sich aber, hier einen eigenen Sinusgenerator zu basteln, der ein möglichst rauschfreies Signal abgeben sollte. Bei jeder Veränderung an den Reglern, die Windows bietet, verstellt man die Verstärkung der Soundkarte. Insofern muss man vor jedem Einsatz die Software neu kalibrieren. Es hat sich auch gezeigt, dass die E-MU 0202 bei fast zugeordnetem Regler(am Gehäuse) die besten Rauscheigenschaften hat. Nun zu den Spektren:

Eigenschaft der Soundkarte

Mit abgeschaltete, Verstärker, aber angeschlossener Verbindung wurde das folgende Spektrum aufgenommen.



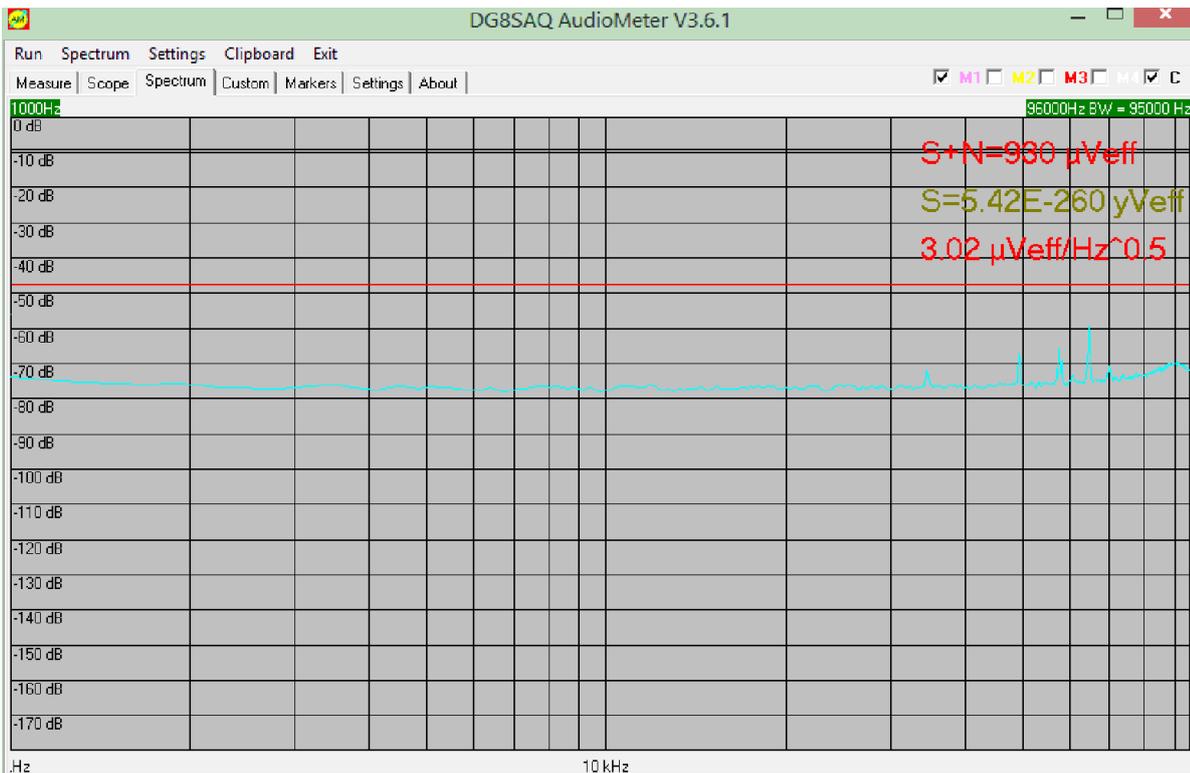
Über 25 kHz wurde gemessen. Die Rauschspannungsdichte ist also im Grundzustand $63 \text{ nVeff/Hz}^{0,5}$. Danach wurde der Verstärker eingeschaltet und die Messung wiederholt. Im folgenden Bild erkennt man, dass der Rauschpegel anstieg. Die ermittelte Rauschspannungsdichte war nun $108 \text{ nVeff/Hz}^{0,5}$. Die Differenz lieferte also der Verstärker, der hier auf +60 dB eingestellt war. Der Eingang war kurzgeschlossen. $45 \text{ nVeff/Hz}^{0,5}$ „kamen“ daher aus der Schaltung.



Da aber die Verstärkung 1000 war, hat der Verstärker die Rauschspannungsdichte nur um $0,45 \text{ nVeff/Hz}^{0,5}$ erhöht! Das ist ein sehr guter Wert, der selbst vom Entwickler der Audiometersoftware mit seiner E-MU 0204 nicht erreicht wurde(0,69). Man muss allerdings berücksichtigen, dass diese Werte ganz erheblich von der Qualität der 9V-Batterien abhängig sind. Außerdem ist ja der Frequenzgang nicht linear, sodass es vom Frequenzfenster abhängt, welche Pegel bei gegebener Frequenzspanne in die Rechnung eingehen. Nun ist aber der absolute Wert eigentlich nur dann von Interesse, wenn er zu hoch sein sollte. Die praktische Anwendung meines Audiometers liegt schwerpunktmäßig darin, das Eigenrauschen von Spannungstabilisatoren zu untersuchen. Und hier kommt es nur auf den Vergleich an, um einen auszuwählen, der das niedrigste Rauschen hat.

Widerstandsrauschen

Das folgende Bild zeigt den Anstieg, der durch einen 2,7k-Widerstand am Eingang verursacht wurde.



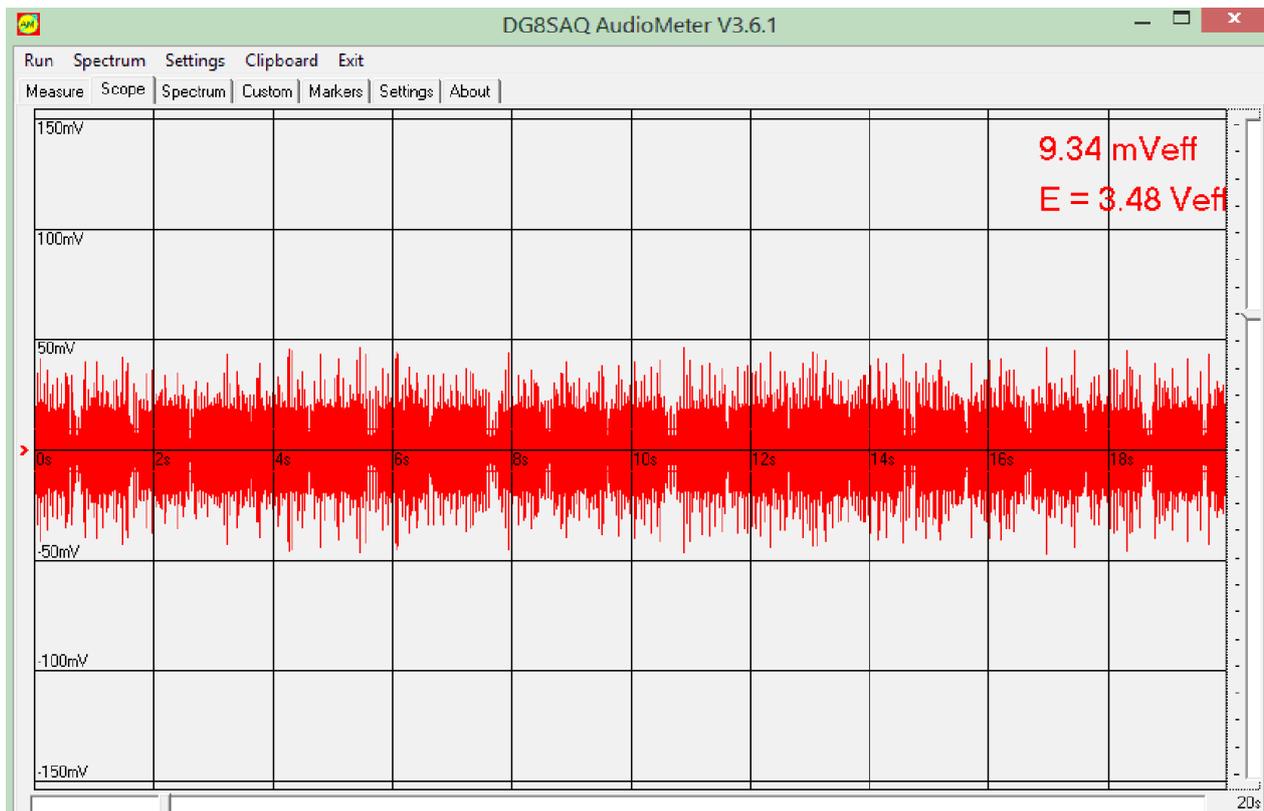
Der Anstieg ist von 108 nVeff auf $3020 \text{ nVeff} = 2912 \text{ nV/Hz}^{0,5}$. Die Nachrechnung ergibt:

$$U_{\text{eff}}/\text{Hz}^{0,5} = \sqrt{4 \times 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K} \times 296 \text{ K} \times 2700 \text{ Ohm}}$$

$2,9 \text{ nVeff/Hz}^{0,5}$. Dazu muss man noch die Rauschspannungsdichte des Systems addieren: $\sqrt{2,9^2 + 1,08^2} = \sqrt{8,41 + 1,17} = 3,1 \text{ nVeff/Hz}^{0,5}$. Das ist ungefähr der angezeigte Wert im Bild. Man beachte, dass der angezeigte Wert von $3.02 \text{ uVeff/Hz}^{0,5}$ noch durch 1000 geteilt werden muss.

DCF77

Dass man auch Feldstärken messen kann, zeigte DG8SAQ sehr eindrucksvoll mit einer minimalen technischen Ergänzung. Er verwendete eine extrem kleine Rahmenantenne. Ich habe das mal nachvollzogen und im Scope-Modus das folgende Bild aufgenommen. Der Sender ist von meinem Standort ca. 20 km entfernt. Eine Nachrechnung bringt nichts, da hier kein einwandfreies Signal mit einem Mindestauschabstand vorlag, weil die Antenne im Keller, also unterhalb des Erdbodens war.



Hinweis

Der Verstärker braucht relativ viel Strom. Deshalb sollte man nur kurze Zeit messen und zwischendurch immer wieder abschalten. Wenn die Batteriespannungen einseitig nachlassen, versagt die Funktion. Die Belastung für die positive Versorgung ist am größten.

Ausblick

Bei den Messungen sollte man nicht zu lange NF-Leitungen zur Soundkarte hin verwenden. Vielfache Störsignale addieren sich und der Grundrauschpegel wird hoch. Auch abgeschirmte Leitungen sind nicht immer dicht genug. Daher ist ein Messplatz mit Laptop und kurzen Verbindungen besser geeignet als der Desktop-PC. Bei Messungen an Spannungsstabilisatoren muss man unbedingt eine abgeschirmte Kammer verwenden. Eine genügend große Keksdose aus Blech ist hier das Hilfsmittel. Man bringt alles darin unter und führt am besten nur das USB-Kabel nach außen zum PC.

DF8ZR; im November 2014