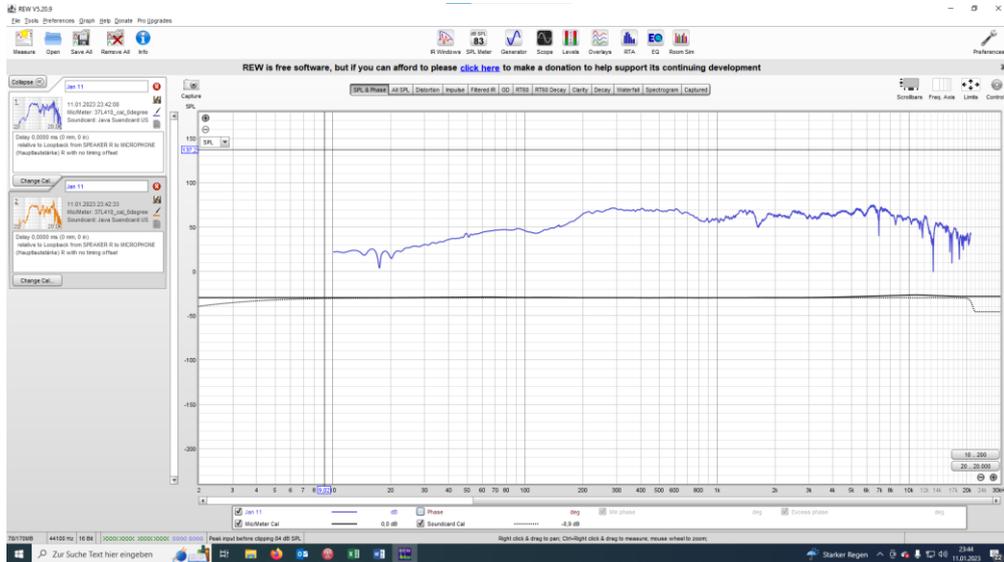


# Bericht über den Aufbau eines NF-Messplatzes

Wilhelm, DL6DCA, 13.01.2023



Bildschirmsscreen REW Messprogramm

Nachdem ich in den letzten Jahren mich vorwiegend mit hochfrequenten Fragen beschäftigt habe, kam im letzten Jahr die Idee meinen Messplatz um den Bereich der Niederfrequenz / Audio zu ergänzen.

Auf der Suche nach Möglichkeiten der Realisierung bin ich, neben vielen teuren Hardwarelösungen namhafter Hersteller, auf die Seite von Frank's Lautsprecherwerkstatt gestoßen [1]. Frank beschäftigt sich in erster Linie mit dem Aufbau und der schalltechnischen Vermessung von Lautsprecherboxen und deren Komponenten. Dazu nutzt er ein als Freeware erhältliches PC-Programm, welches von **REW** (steht für **RoomeqW**izard) [2] entwickelt wurde. Diese Software steht in Konkurrenz zu einigen wenigen anderen Anbietern, die jedoch Lizenzgebühren erheben die den Inhalt der Hobbykasse deutlich mindern würden. Positiv ist auch anzumerken, das REW die Software stetig weiterentwickelt und verfeinert und über sein Forum [3] für einen engen Austausch mit den Nutzern sorgt. Diese Software kann auch zur Optimierung der eigenen Beschallung im Wohnbereich oder im Musikzimmer eingesetzt werden und ist sehr umfangreich. Um alle Funktionen nutzen und vor allen Dingen interpretieren zu können, muss man wahrscheinlich Toningenieur mit 6 bzw. 8 Semestern Studium sein.

Dadurch, dass u.a. auch ein Tongenerator, ein Audio-Spektrumanalyser und einige weitere spezielle Messmöglichkeiten im Programm integriert sind, eignet es sich durchaus für meine Messzwecke im Zusammenhang mit der Audio-Wiedergabe von Funkgeräten. An einen Einsatz zur schalltechnischen Beurteilung von Räumen sowie dem Einmessen der Stereoanlage mit Optimierung des Lautsprecherstandortes ist vorerst nicht gedacht.

Um die Softwarelösung auf dem PC an die zu vermessenden Geräte anschließen, bzw. die Daten erfassen zu können, bedarf es einiger weniger Zusatzgeräte. Letztere habe ich angeschafft bzw. selber gebaut und stelle sie einfach einmal vor:

## **1: Externe Soundkarte mit USB-Anschluss**

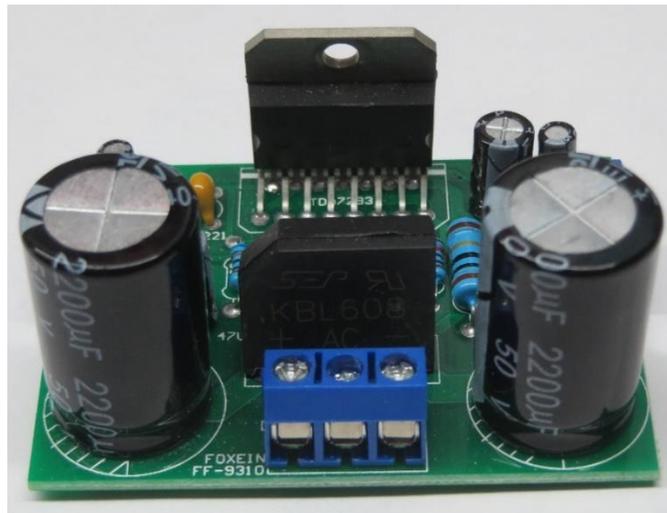
Zur Signalerfassung, aber auch zur Generierung der Messsignale mittels PC, kann die im Computer eingebaute Soundkarte genutzt werden. Da diese bei meinem PC preiswerter und rudimentärer Struktur ist, lassen die technischen Daten keine vernünftigen Messergebnisse erwarten. Nicht viel anders bei meinen Laptops mit den Basic-Soundkarten. Daher fiel die Wahl auf ein Produkt der Firma Behringer. Mit der USB gesteuerten externen Soundkarte Behringer U-Control UCA202 erwirbt man für ca. 30,-€ auch kein höchstwertiges, aber für diese Zwecke ausreichendes Gerät [4]. Die Abtastung hat 16 bit Tiefe und erlaubt eine Abtastrate von max. 48 kHz, was also max. 24 kHz verarbeitbare Tonfrequenz zulässt. Insofern also auch für den von mir vorgesehenen Zweck ausreichend.



Frank hat auf seinem Youtube Kanal [5 + 6] dieser Soundkarte zwei Beiträge gewidmet, in denen er eine Schwachstelle hinsichtlich Linearität und eine weitere hinsichtlich Kanalübersprechen behandelt. Er hat die Schaltung auch nachvollzogen und einen Verbesserungsvorschlag durch Einbau einer besseren Spannungsstabilisierung gemacht. Den Umbau habe ich übernommen. Wer mehr erfahren möchte, findet im Internet [4] technische Informationen incl. Treibersoftware.

## 2: Verstärker

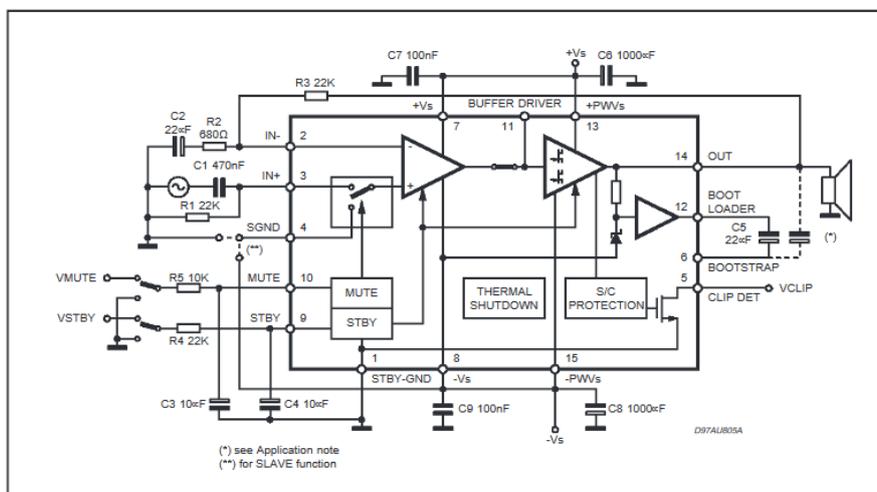
Zum Testen von Lautsprechern und zum akustischen Vermessen von Räumen wird ein Verstärker benötigt. Hier habe ich auf eine preisgünstige Platine mit dem NF-Verstärkermodul TDA7293 zurückgegriffen, welches bis zu 100 W an 4  $\Omega$  leisten kann. Ob das mit den beiden verbauten Siebkondensatoren von 2200  $\mu\text{F}$  gelingt, wage ich zu bezweifeln. Mit einem Ringkerntransformator 2 x 15 V<sub>AC</sub> und je 1,5 A kommen saubere 20 W Sinusleistung an 4  $\Omega$  heraus, was für meine Messungen mit ca. 1 Watt vollkommen ausreicht.



**Verstärker** -noch ohne Kühlkörper-

Die Linearität habe ich -noch- händisch mittels Signalgenerator und Oszilloskop / RMS Voltmeter gemessen und eine lineare Verstärkung von 20 Hz bis 24 kHz feststellen können. Unter 20 Hz fällt der Pegel dann ab, was aber für meine Anwendungen erst einmal kein Problem darstellt und auch dem Datenblatt entspricht.

Solche Module sind für ca. 15,-€ im Internet zu finden. Es lohnt sich kaum die Einzelteile zu besorgen um die Schaltung nachzubauen. Auf eine gute Kühlung ist natürlich zu achten. Ein Datenblatt mit Beschaltungsvorschlag findet man im Internet [7].



**Prinzipschaltung aus Datenblatt TDA7293 von STMicroelectronics [7]**

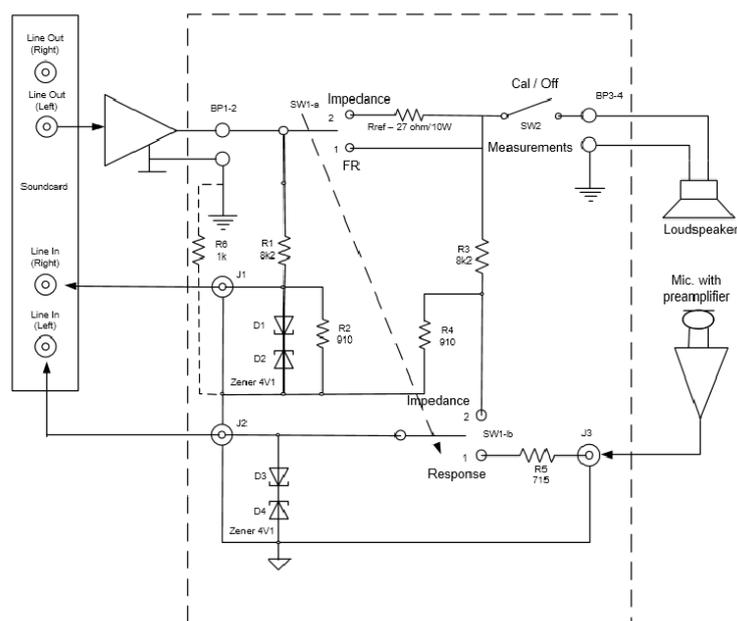
### 3: Messbox -auch Stöpselbox genannt-



Ansicht der Messbox



Um bei Lautsprechern die (frequenzabhängige-) Impedanz sowie Eigenresonanzen messen zu können, ist der Aufbau einer kleinen Messschaltung erforderlich. Die Firma ARTA bietet Bausätze und Fertiggeräte an [8]. Der Aufbau ist aber so einfach, dass sich die finanzielle Ausgabe kaum lohnt. Die Schaltung ist recht einfach gehalten und wurde von mir nachgebaut und in das Gehäuse des Verstärkers integriert.



Schaltungsaufbau nach ARTA [8]

Kurzbeschreibung der Schaltung:

Von der Soundkarte kommt ein Tonsignal bzw. Rauschen, was über einen Verstärker auf ca. 1 Watt gebracht wird; entspricht  $2 V_{\text{eff}}$  bei  $4 \Omega$  und  $2,83 V_{\text{eff}}$  bei  $8 \Omega$  Impedanz. ( $P = \frac{U \times U}{R}$ )

Bei der **Impedanzmessung** wird dieses verstärkte Tonsignal über einen Messwiderstand mit 27 Ohm (bei mir 30 Ohm) dem Lautsprecher zugeführt. Vor dem Messwiderstand wird über einen Spannungsteiler 10 : 1 das Signal dem rechten Eingang der Soundkarte zugeführt. Die beiden bidirektionalen Zenerdioden sorgen dafür, dass keine Spannung größer 5 V den Soundkarteneingang zerstören kann. Eine reine Vorsichtsmaßnahme gegen Fehlbedienung.

Das gleiche geschieht auch hinter dem Messwiderstand, nur das hier das Signal dem linken Soundkarteneingang zugeführt wird. Bei der Messung wird durch Auswertung der beiden Signale die frequenzabhängige Impedanz durch das Programm berechnet. Um dieses zu ermöglichen, muss vorher natürlich eine Kalibrierung vorgenommen werden, wobei der (zu vermessende) Lautsprecher durch einen Widerstand in Höhe des eingebauten Messwiderstands ersetzt wird. Das REW Programm führt diese Kalibrierroutine nach entsprechendem Aufruf durch und speichert die Kalibrationsdaten ab. Somit ist die Kalibration nur einmal beim ersten Einsatz erforderlich, wenn danach keine Messgerätschaften verändert werden.

Bei der **Frequenzgangmessung** eines Lautsprechers wird diesem das Tonsignal durch Schalterstellung 1 am Messwiderstand vorbei direkt zugeführt. Über das Messmikrofon, gefolgt von einem Vorverstärker, wird das vom Mikrofon aufgenommene Schallsignal als elektrische Größe dem linken Eingang, über einen Vorwiderstand, der Soundkarte zugeführt. Außerdem wird das vom Verstärker kommende Signal direkt über den Spannungsteiler dem rechten Soundkarteneingang zugeführt. Das REW Programm kann dadurch feststellen zu welchem Zeitpunkt das Messsignal am Lautsprecher anliegt und mit welcher Zeitverzögerung das elektrische Signal vom Mikrofon kommt. Somit sind auch Laufzeitmessungen des Schalls möglich, vor allen Dingen wird aber der zeitliche Versatz zwischen gesendetem Tonsignal und aufgenommenem Tonsignal darstell- und auswertbar. Man bedenke, dass der Schall  $\sim 343$  m in der Sekunde zurücklegt und somit zwischen der Abstrahlung an der Lautsprechermembran und der Ankunft am Mikrofon eine Verzögerung entsteht.

Beim Nachbau ist darauf zu achten, dass die Masse des Verstärkers gegenüber der Soundkartenmasse über einen 1 k Widerstand zur Vermeidung von Brummschleifen getrennt wird.

#### **4: Mess-Mikrofon Sonarworks XREF20**

Als Messmikrofon habe ich mir das Sonarworks XREF20 zugelegt [9]. Es handelt sich um ein Kondensatormikrofon und benötigt eine sogenannte Phantomspannung zum Betrieb. Für dieses Mikrofon wird vom Hersteller eine Kalibrierdatei geliefert, mit der es möglich ist, softwaremäßig den Frequenzgang zu linearisieren; REW bietet das an. Nicht ganz preiswert, aber eines der preiswertesten Referenzmikrofone auf dem Markt, was auch im Profibereich Anwendung findet.

Der Vorteil an diesem Mikrofon ist, dass es bereits mit einer Phantomspannung von 24 V funktioniert. In der Bühnen- und Beschallungstechnik sind 48 V üblich, was dieses Mikrofon natürlich auch verarbeiten kann. Der Anschluss erfolgt über eine XLS Buchse.



**Sonarworks XREF20**



**Mikrofonkapsel**



**XLS-Buchse Kabelanschluss**

Die Daten des Mikrofons sprechen für sich:

Microphone specification

- Houses pre-polarized electret-condenser capsule
- Frequency response: 20 Hz - 20kHz with supplied calibration profile
- Omnidirectional polar pattern
- Sensitivity: -37dB/Pa (14 mV)
- Self-noise: 24 dB
- S/N ratio: 70 dB
- Dynamic range: 106dB
- Maximum SPL: 132 dB SPL

## **5: Mikrofon Vorverstärker mit Phantomspannung**

Das Mikrofon benötigt zum Betrieb eine sogenannte Phantomspannung und einen Vorverstärker, der das geringe Signal der Aufnahmekapsel auf einen von der Soundkarte verarbeitbaren Pegel anhebt. Wenngleich der Aufwand zum Aufbau nicht erheblich groß ist, habe ich auf ein fertiges Produkt der Firma IMG zurückgegriffen, welches unter der Bezeichnung IMG MPA-102 vertrieben wird [10]. Dieses Gerät stellt eine Phantomspannung von (nur) 24 V zur Verfügung, was aber nach den Erkenntnissen von Frank und auch meiner Tests für das Sonarworks Mikrofon ausreichend ist. In der Bühnen- und sonstigen Beschallungstechnik sind 48 V üblich. Die Verstärkung ist mittels Stufenschalter und Feinregler in einem Bereich von 20 bis 70 dB regelbar. Es beinhaltet auch noch schaltbare Filter, die jedoch für meine Zwecke nicht benötigt und somit ausgeschaltet bleiben.



IMG MPA-102 Front



IMG MPA-102 Rückseite

Die Eckdaten aus dem Angebot der Firma IMG:

<b>MPA-102</b>	
<b>1-Kanal-Low-Noise-Mikrofonvorverstärker</b> für Netz- oder Batteriebetrieb	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Mikrofoneingang, XLR, sym.</li> <li>• Verstärkung 11-stufig 20–70 dB</li> <li>• LED grün/rot für Betrieb/Peak</li> <li>• Phantomspeisung +24 V zuschaltbar</li> <li>• Mikrofon-Phasenlage umschaltbar</li> <li>• Lo-Cut 100 Hz, Hi-Cut 12 kHz, 12 dB/Okt., schaltbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Vorverstärker-Ausgang</li> <li>• 1 Stereo-Line-Eingang</li> <li>• 1 Stereo-Line-Ausgang</li> <li>• Pegelregler und Panoramaregler zum Abmischen des Mikrofonsignals auf den Stereo-Line-Kanal</li> </ul>
<b>Tools4music 02/2011</b> „Ein hochwertiger Vorverstärker.“	

Weniger für den eigentlichen Messplatz, aber zur Abrundung und als Hilfsmittel bei Audio Verstärker Reparaturen, wurde noch in Ergänzung eine

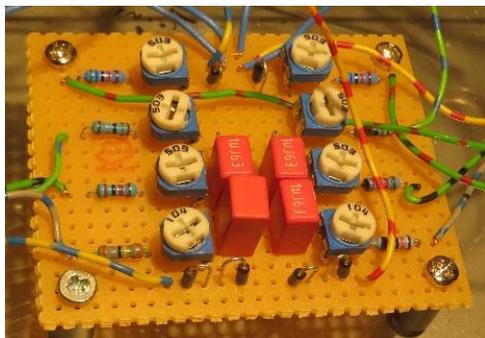
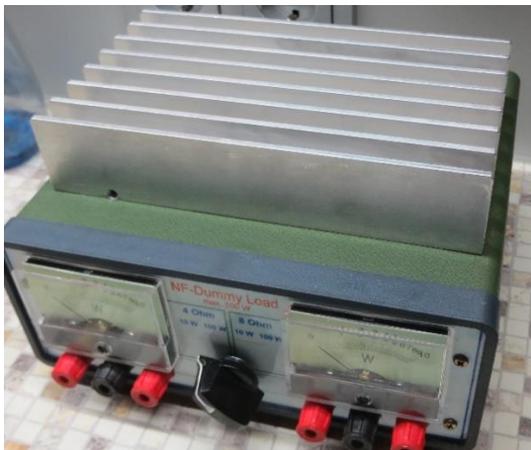
## 6: NF-Dummyload aufgebaut:

Es handelt sich um 4  $\Omega$  und 8  $\Omega$  (2 x 4  $\Omega$  seriell) Hochlastwiderstände, die mit einer analogen Leistungsanzeige versehen wurden. Maximale Belastbarkeit und Anzeige ist 100 W (Einton-Sinussignal) wahlweise an 4  $\Omega$  oder 8  $\Omega$ .

Praktisch kann auch, da beide Kanäle intern massefrei aufgebaut, durch Kaskadierung ein Abschluss von 16  $\Omega$ , allerdings nur einkanalig, hergestellt werden. Darüber hinaus ist die Leistungsmessung extern mittels Oszilloskop oder RMS-Multimeter möglich.



NF-Dummyload

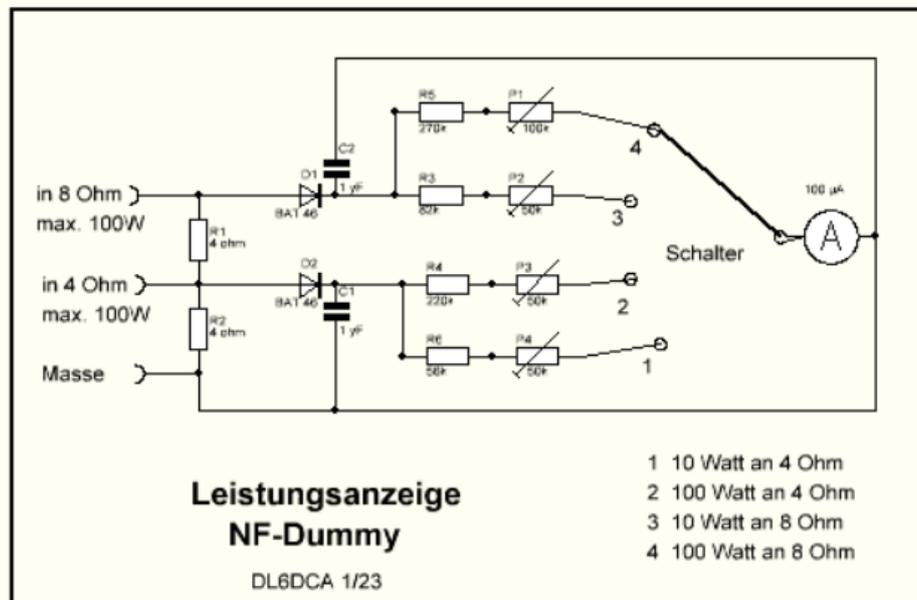


Messgleichrichter mit Kalibriermöglichkeit



100 W Lastwiderstände auf Kühlkörper

Die Fotos und Schaltungsunterlagen sind eigentlich selbsterklärend. Die Kalibrierung habe ich mit Gleichspannung vorgenommen und anschließend mit einem verstärkten 1 kHz Ton kontrolliert. Die analoge Leistungsanzeige stimmt bei Einton-Sinussignal von 100 Hz bis 16 kHz, darunter und darüber gibt es Abweichungen, die durch die Siebung der Gleichrichtung bedingt sind. Als Gleichrichterdiode kommt die Schottky Diode BAT 46 zur Anwendung, die eine Schwellspannung von nur 0,4 V hat und eine Spitzenspannung von 100 V verträgt.



Schaltplan NF-Dummyload

Da die Leistungsanzeige nicht linearer, sondern logarithmischer Natur ist, wurde für die Anzeigeeinstrumente mittels Abacom Front-Designer [11] eine neue Skala erstellt.

Damit ist der Aufbau des NF- / Audio Messplatzes hardwaremäßig abschließend beschrieben. Hinsichtlich der REW Software würde es den Rahmen dieser Beschreibung sprengen, wenn alle Messmöglichkeiten beschrieben würden.

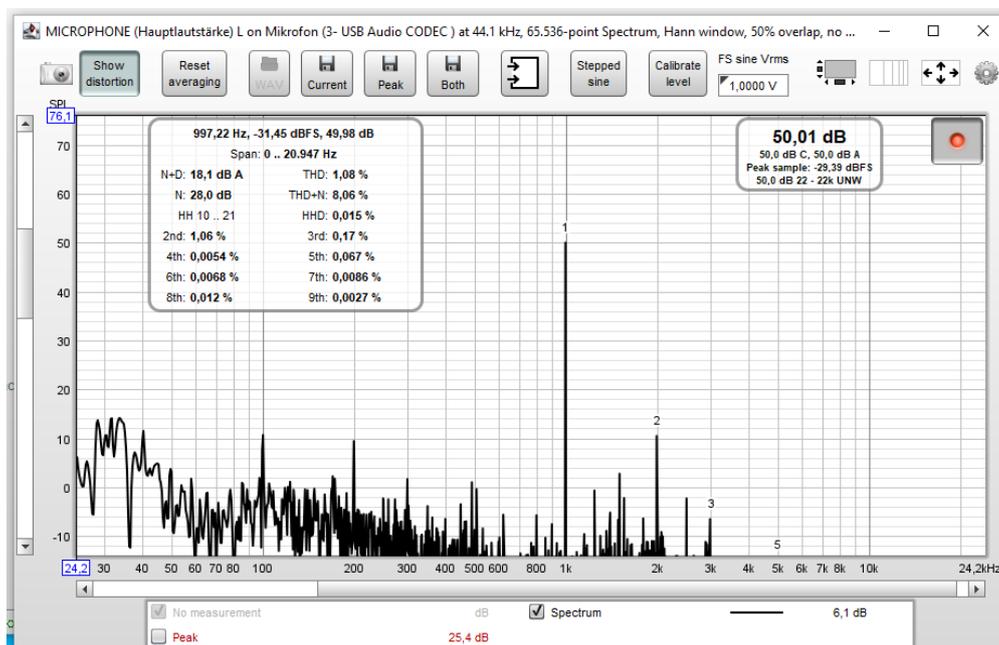
Die Installation der REW-Software und die Kalibrierung der einzelnen Komponenten hat Frank in mehreren Youtube-Videos ausführlich beschrieben. Ich würde empfehlen folgende Videos in der angegebenen Reihenfolge anzusehen:

Installation	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=dZIPGvgGOQs">https://www.youtube.com/watch?v=dZIPGvgGOQs</a>
Anwendung	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=-81GDvqCoqE">https://www.youtube.com/watch?v=-81GDvqCoqE</a>
ARTA Messbox	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=qBhmLW72Qq8">https://www.youtube.com/watch?v=qBhmLW72Qq8</a>
Mikrofon und Vorverstärker	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=ts5vDaIU-Y">https://www.youtube.com/watch?v=ts5vDaIU-Y</a>
Impedanzmessung	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=9AJlsoj_JM&amp;t=105s">https://www.youtube.com/watch?v=9AJlsoj_JM&amp;t=105s</a>
USB Soundkarte	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=1DcKhTpAVJw">https://www.youtube.com/watch?v=1DcKhTpAVJw</a>
Optimierung Soundkarte	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=dvu9jJoOmdl&amp;t=9s">https://www.youtube.com/watch?v=dvu9jJoOmdl&amp;t=9s</a>
Zusatzinformationen	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=LKExVDdkIL4">https://www.youtube.com/watch?v=LKExVDdkIL4</a>

Wer sich mit der Entwicklung von Lautsprecherboxen, deren Vermessung und Optimierung sowie spezieller Messtechniken informieren will, findet mit Sicherheit passende Videobeiträge von Frank und auch einige Basics zur Elektrotechnik.

Was habe ich jetzt mit dem zur Verfügung stehenden Equipment vor:

Ich möchte den Aufbau als Audio-Messender und Analyser nutzen. REW bietet die Möglichkeit einzelne Sinus-Messtöne, kombinierte Messtöne und diverses Rauschen zu generieren. Die Töne können auch in Form eines Sweeps erfolgen, also wobbelbar. Neben der frequenzabhängigen Schalldruckmessung ist auch ein Spektrum-Analysator für den NF-Bereich mit Klirrfaktorauswertung implementiert.



Beispiel Spektrum mit Klirrfaktoranalyse -hier mit Mikrofon aufgenommen-

Wenn man sich noch einmal die Messbox anschaut, so besteht die Möglichkeit anstelle des Lautsprechers das NF-Signal zur Modulation z.B. eines Messsenders oder eines Funkgerätes zu nutzen. Hierbei ist ggfs. der Verstärker zu überbrücken und das Signal mit entsprechend geringem Pegel zu entnehmen. REW bietet die Möglichkeit den Pegel zu regulieren. Somit hat man einen komfortablen NF-Generator.

Anstelle des Mikrofons mit Verstärker kann z.B. das Audiosignal von der Kopfhörerbuchse eines Funkgerätes eingespeist werden und mittels REW-Programm das Spektrum und der Klirrfaktor analysiert werden.

In beiden zuvor genannten Anwendungen ist natürlich auf einen angepassten Pegel zu achten, wobei die Messbox mit ihren integrierten Spannungsteilern und dem zusätzlichen Schutz durch die antiseriell angeordneten Zenerdioden hilfreich ist.

Erste Messversuche wurden bereits erfolgreich durchgeführt. In einem weiteren Bericht werde ich den Messaufbau detaillierter darstellen und die Messergebnisse präsentieren.

Über Rückfragen, Anmerkungen, Verbesserungsvorschläge würde ich mich freuen. Kontakt bitte per Mail [dl6dca@darc.de](mailto:dl6dca@darc.de) oder Ortsfrequenz 144,575 MHz.

73 de Wilhelm DL6DCA

Fundstellennachweis:

- [1] <https://www.youtube.com/@frankswerkstatt/videos>
- [2] <https://www.roomeqwizard.com/>
- [3] <https://www.avnirvana.com/forums/official-rew-room-eq-wizard-support-forum.10/>
- [4] <https://www.behringer.com/product.html?modelCode=P0484>
- [5] <https://www.youtube.com/watch?v=1DcKhTpAVJw>
- [6] <https://www.youtube.com/watch?v=dvu9jJoOmdl>
- [7] <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/25102/STMICROELECTRONICS/TDA7293.html>
- [8] [https://www.artalabs.hr/AppNotes/AN1\\_SwitchBox-Rev05Ger.pdf](https://www.artalabs.hr/AppNotes/AN1_SwitchBox-Rev05Ger.pdf)
- [9] <https://store.sonarworks.com/products/soundid-reference-measurement-microphone>
- [10] <https://www.img-stageline.de/produkte/audio-tools/vorverstaerker/mpa-102/>
- [11] <https://www.electronic-software-shop.com/elektronik-software/frontdesigner-30.html?language=de>