

Bericht über Audio Messungen am / mit Funkgerät IC706

Wilhelm, DL6DCA, 25.01.2023



Nachdem ich über den Aufbau meines NF-Messplatzes berichtet habe, möchte ich jetzt mit dem zur Verfügung stehenden Equipment folgenden Fragen nachgehen:

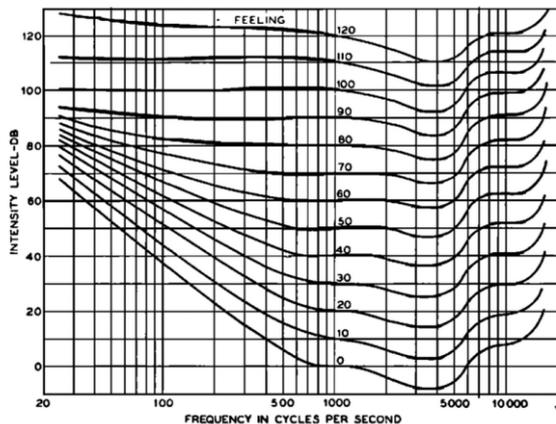
1. Wenn ein FM-Messsender mit definiertem Hub und definierter Frequenz betrieben wird, wie sieht dann das demodulierte Signal bei einem Empfänger aus
 - 1A direkt hinter dem Diskriminator?
 - 1B hinter dem Lautsprecher- / Kopfhörerverstärker?
 - 1C was macht der Lautsprecher akustisch hörbar?
2. Gleicher Messaufbau wie zuvor, jetzt aber anstelle des Messsenders ein Amateurfunkgerät über den Mikrofoneingang moduliert mit gleicher Fragestellung wie bei 1.
3. Wie stellen unterschiedliche Lautsprecher das demodulierte und verstärkte Signal dar? Gibt es den typischen Funklautsprecher?

Der Unterschied zwischen den Messaufbauten 1 und 2 besteht darin, dass beim Messsender keine NF-Preemphasis im Sendezweig existiert. Sinn und Zweck von Preemphasis und Deemphasis werden noch erläutert.

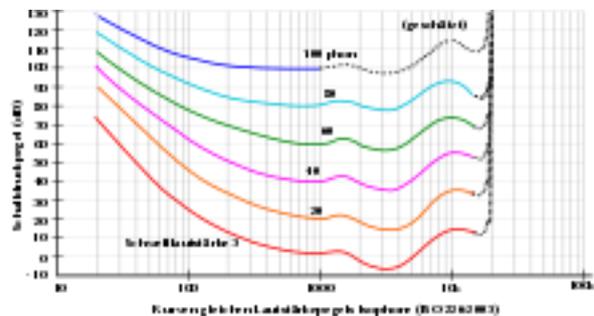
Vorab ein kleiner Exkurs zum menschlichen Hören:

Das Hörvermögen des Menschen ist alles andere als linear. Es ist ja bekannt, dass das es mit dem Alter stetig abnimmt. Im Alter von 16 Jahren werden Töne von 20 Hz bis 20 kHz wahrgenommen, was sich im Alter auf den Bereich von 200 Hz bis 8 kHz und auch noch darunter reduzieren kann. Also ein Verlust von ca. zwei Oktaven. [Ist die Frequenz eines Tons doppelt so groß wie eine andere, beträgt ihr Frequenzintervall eine Oktave. Ist die Frequenz eines Tons zehnmal so groß wie eine andere, beträgt ihr Frequenzintervall eine Dekade.](#)

Aber nicht nur das, unterschiedliche Tonhöhen werden auch unterschiedlich laut empfunden und das dann wiederum auch noch je nach Lautstärke = Schalldruck. Die Forscher Fletscher und Munson haben dies bereits 1933 in umfangreichen Versuchen untersucht und in einer Grafik dargestellt, die in überarbeiteter Form Niederschlag in der Norm ISO 226:2003 gefunden hat.



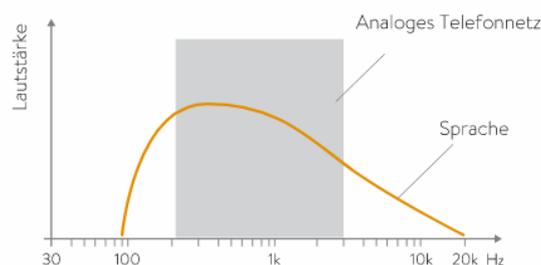
Original Fletscher Munson



Korrigierte Normkurve

Wenn man diese Diagramme ansieht stellt man fest, dass im oberen Lautstärkebereich die Hörkurve flacher wird. Im unteren Lautstärkebereich müssen die tiefen und hohen Töne deutlich angehoben werden, damit sie als gleich laut wie die mittleren Töne wahrgenommen werden. Für den Tontechniker der Musikaufnahmen abmischt ist dieses ein Problem. Das gleiche Musikstück mit einer Lautsprecheranlage abgespielt hört sich mit dem Kopfhörer ganz anders an. Wer einen guten Verstärker in seiner Stereo Anlage hat, findet einen Knopf mit der Bezeichnung Loudness. Damit wird ein Filter aktiviert, was bei geringer Lautstärke die Bässe und Höhen durch Pegelerhöhung gehörrichtig angleicht. Noch komfortabler sind dann die modernen Equalizer, wo sich je nach Lautstärke und Musikrichtung verschiedene Korrekturkurven einstellen und abspeichern lassen. In den Radio- und Fernsehanstalten werden auch vor der Ton-Übertragung entsprechende Korrekturen vorgenommen, um einen ausgewogenen Lautstärkeindruck zu bekommen. Wen es interessiert, einfach mal nach LUFs (**L**oudness **U**nit relative to **F**ull **S**cale) googeln, ein sehr interessantes Thema.

Tatsache ist aber, dass der Mensch zur Verständigung nur einen recht kleinen Frequenzbereich benötigt. Dieser Bereich liegt zwischen 300 Hz und 6 kHz. Analoge Telefone hatten mit den alten Hör –/ Sprechgarnituren ihre optimale Übertragung von 300 Hz bis 3,4 kHz, was als „Telefonqualität“ bezeichnet wurde. Im modernen 4G Mobilfunknetz können bis zu 7,2 kHz übertragen werden.

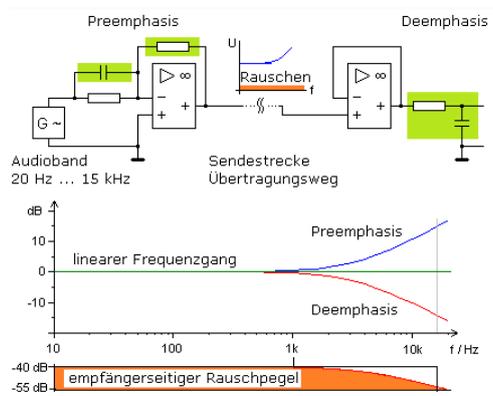


Lautstärke der Sprache in Frequenzabhängigkeit

Bei unserem Funkbetrieb geht es ja im Wesentlichen um die Sprachverständlichkeit. Rein technisch betrachtet stehen uns für Sprechfunk im Kurzwellenbereich bei SSB ja auch nur 2,7 kHz Bandbreite und in den Bändern darüber 12 kHz für Sprache zur Verfügung (Amateurfunkverordnung (AFuV)). Entsprechend sind auch die Funkgeräte mit entsprechenden Filtern sowohl im Sende- als auch im Empfangszweig bestückt. Das bedeutet, dass bei SSB-Betrieb auf Kurzwelle auch nur der NF-Bereich von 0 bis 2,7 kHz übertragen werden kann. Die Bandbreite ergibt sich aus der Differenz der höchsten und der niedrigsten NF-Frequenz entsprechend der Formel $b_{SSB} = f_{NF\ max} - f_{NF\ min}$.

Etwas anders sieht es bei FM-Betrieb aus. Hier lautet die Formel $b_{FM} = 2 \cdot (\Delta f + f_{NF\ max})$, wobei Δf für den Hub steht. Bei 3 kHz Hub und $f_{NF\ max}$ 3 kHz somit $b_{FM} = 2 \cdot (3\ \text{kHz} + 3\ \text{kHz}) = 12\ \text{kHz}$.

Da die Höhenanteile der Sprache in ihrer Amplitude (Lautstärke) abnehmen und somit näher am Grundrauschpegel liegen, werden im FM-Betrieb die Modulationssignale senderseitig vorverzerrt um die Rauschanteile zu unterdrücken. Man spricht von der Preemphasis, wobei die höheren Sprachanteile nicht linear sondern übermäßig gegenüber den tiefen Anteilen verstärkt werden. Um diese höhenbetonte „Sprachverfälschung“ wieder in den normalen Klangbereich zu bringen, wird im Empfänger durch gegenseitiges Filtern, der Deemphasis, dieser Effekt wieder aufgehoben. Dadurch wird ein besserer Signal-Rauschabstand erreicht und durch diesen technischen Trick die Modulation wesentlich rauschärmer in der Wiedergabe. Im Sender nutzt man dazu die Übertragungsfunktion einer Hochpassschaltung und im Empfänger den entsprechenden Tiefpass. Wer sich näher damit beschäftigen möchte, wird im Internet bei z.B. [1] fündig. Ich muss mich bei Matthias, DD1US, bedanken, der mir beim Verständnis des Themas Preemphasis / Deemphasis sehr geholfen hat.



Veranschaulichung aus [1]

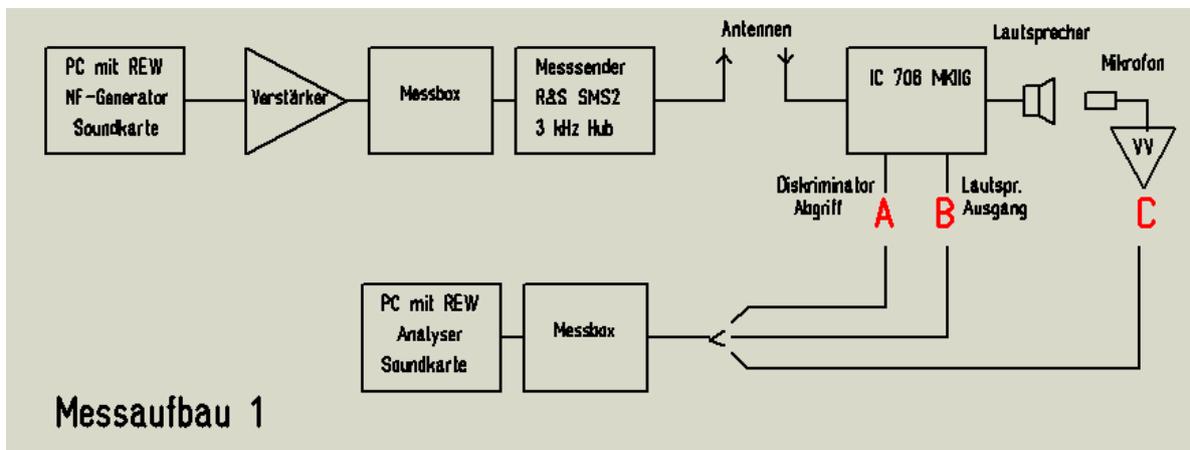
Soviel zu den einleitenden Themen.

Kommen wir nun zum eigentlichen Messvorgang:

Vorab ein wichtiger Hinweis:

Wer die folgenden Messaufbauten selber realisieren will, muss unbedingt auf die richtigen Pegel und auf Gleichspannungsfreiheit achten. Also zum Beispiel nicht mit dem NF-Verstärker Ausgang auf die Mikrofonbuchse des Funkgerätes gehen oder am Diskriminator Abgriff eine Gleichspannung anlegen. Die Geräte können Schaden nehmen! Ich übernehme keine Haftung, jeder ist für sein Handeln selbst verantwortlich!

Messaufbau 1:

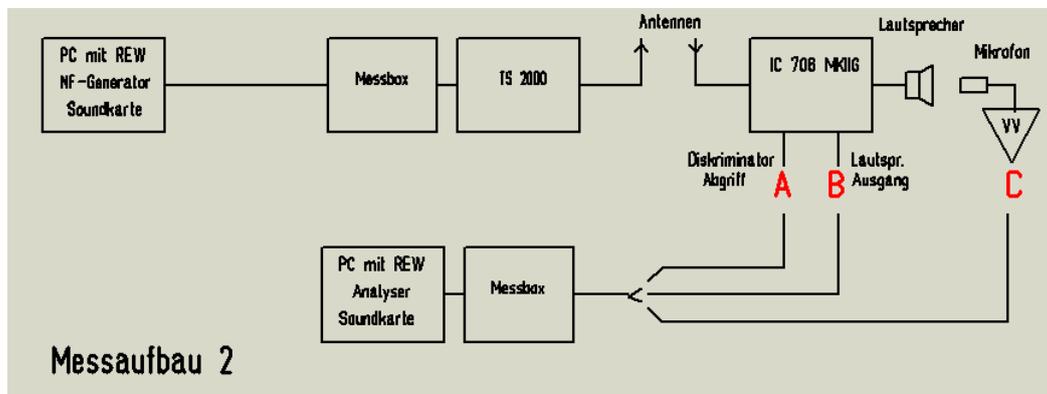


Beim ersten Messaufbau wird mittels des REW Programms ein gewobelter Sinuston von 20 Hz bis 5 kHz über einen NF-Verstärker durch die Messbox einem Messsender zugeführt. Bei mir ist es der Rohde & Schwarz SMS2 Signal Generator. Er benötigt zur Modulation einen NF-Eingangspegel von $2 V_{\text{eff}}$, was durch den vorgeschalteten NF-Verstärker möglich ist. Der Pegel wird mittels Oszillograf bzw. RMS-Voltmeter vorab gemessen und eingepegelt. Bei dem Messsender wird ein Hub von 2,4 kHz eingestellt, sodass die zulässige Bandbreite sicher eingehalten und es in den Filtern des Empfängers zu keinem Klippeffekt kommt. Das HF-Signal wird über eine kleine Stabantenne abgestrahlt. Als Empfänger setze ich einen Icom IC 706MKIIG ein. Der Diskriminatorabgriff -A- ist bei diesem Gerät an der Rückseite für 9k6 PR Anwendungen herausgeführt und ermöglicht die eingangs beschriebene Messmöglichkeit 1A. Das Signal wird mittels Messkabel über die Messbox und Soundkarte (Eingang) dem PC über USB-Kabel zugeführt, wo REW das Ergebnis berechnet.

Bei dem Messvorgang 1B wird die NF galvanisch am Lautsprecherausgang -B- abgegriffen und wie bei 1A über die Messbox und Soundkarte dem Rechner zur Auswertung zugeführt. Der Unterschied zum Messvorgang 1A besteht darin, dass jetzt das vom Diskriminator kommende Signal im Rahmen der NF-Verstärkung die Deemphasis durchlaufen muss und somit eine entsprechende Veränderung erfährt.

Bei dem Messvorgang 1C ist der (eingebaute) Gerätelautsprecher aktiv. Mittels Messmikrofon und Vorverstärker wird das akustische Signal als elektrisches Signal umgewandelt -C- und wie zuvor über Messbox und Soundkarte dem Rechner zur Auswertung mit REW zugeführt. Auch bei diesem Signalweg ist jetzt die Deemphasis aktiv und es kommt zusätzlich die Klangeigenschaft des Lautsprechers als Schallwandler von elektrischem auf akustisches Signal ins Spiel. Für das Messmikrofon besteht eine Kalibrierungsdatei die vom REW-Programm berücksichtigt wird und somit an dieser Stelle eine lineare Messung zulässt.

Messaufbau 2:



Der Messaufbau 2 unterscheidet sich nur dadurch, dass jetzt anstelle des NF-Verstärkers und des Signal Generators ein TS 2000 elektrisch über den Mikrofonanschluss moduliert wird. Somit ist die eingangs beschriebene Fragestellung 2 zu beantworten. In diesem Fall wird das an der Mikrofonbuchse eingespeiste Tonsignal im Funkgerät durch eine Preemphasis in den Höhen verstärkt zum Modulator und Sender gebracht. Der im Messaufbau 1 eingesetzte Messsender ist hier absolut linear, während es jetzt zu der sogenannten Vorverzerrung kommt.

Ansonsten sind alle Messvorgänge zu Messaufbau 1 identisch.

Nun zu den Messergebnissen:

Hinweise: Bei allen Messdarstellungen ist die vertikale Skalierung nicht als Absolutwert zu verstehen, sehr wohl aber zur Auswertung der jeweiligen Messkurven. Bei den Messergebnissen sieht man bei 50 Hz, 100 Hz und auch 150 Hz deutliche Spitzen. Es handelt sich um eine 50 Hz Brummschleife mit Oberwellen im Messaufbau, die ich leider nicht beseitigen konnte.



Messergebnis gem. Messaufbau 1

Die obere dunkelbraune Linie zeigt den Messwert am Ausgang des Diskriminators. Wie man sieht, ist der Pegel zwischen 100 Hz bis 3 kHz gleichmäßig linear. Darüber hinaus liegt nur eine sehr geringe Welligkeit vor; ± 1 dB_V. Für 9k6 PR-Betrieb also ideal.

Die rötliche Kurve wurde am externen Lautsprecherausgang aufgenommen. Sehr deutlich sieht man die von 250 Hz bis hinab zu 20 Hz reichende Absenkung. Hier handelt es sich um einen im NF-Verstärker des Funkgerätes eingebauten Hochpasse zur Unterdrückung des Frequenzbereiches, in dem die Subtöne 67 Hz bis 254,1 Hz liegen. Somit sind sie beim Funkbetrieb nicht hörbar. Wenn man im praktischen Betrieb einmal genau hinhört, kommen die Töne ab ca. 150 Hz doch noch leise durch. Da die meisten Relais mit Tönen unterhalb 100 Hz arbeiten ist es aber kein Problem. Die Absenkung im oberen Bereich von 450 Hz bis 3 kHz ergibt sich aus der im NF-Verstärker des Funkgerätes eingebaute Deemphasis. Sie tritt hier deutlich hervor, da im Sendezweig (Messender) keine Preemphasis zur Anwendung kommt, die entsprechend entgegenwirken würde.

Die grüne Linie zeigt, was der Lautsprecher als Wandler zwischen elektrischem Signal zum akustischen Signal macht, also real für uns hörbar wird.



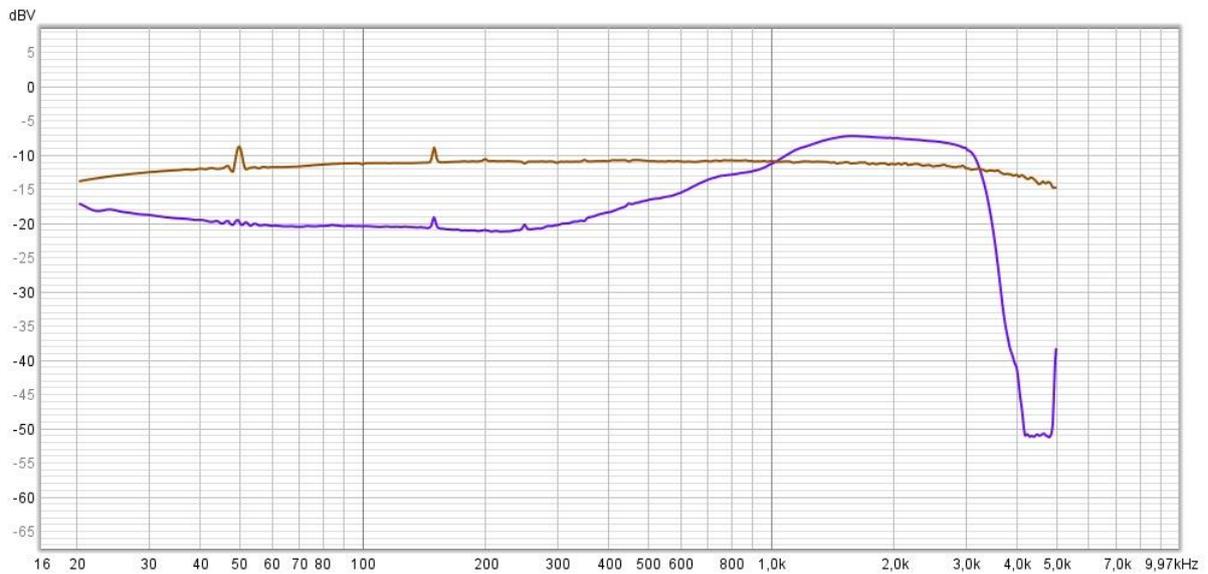
Messergebnis gem. Messaufbau 2

Die bläuliche Linie zeigt den Ausgang des Diskriminators. Sehr deutlich sieht man, wie im Sendezweig vom TS2000 die Preemphasis das Signal im höheren NF-Sprachbereich um bis zu 14 dB_V anhebt.

Die obere dunkelbraune Linie zeigt den Ausgang des NF-Verstärkers. Wie man sieht, ist auch hier der Bereich der Subtöne wieder deutlich abgesenkt. Im höheren Bereich sieht man auch die durch die Deemphasis bedingte Absenkung.

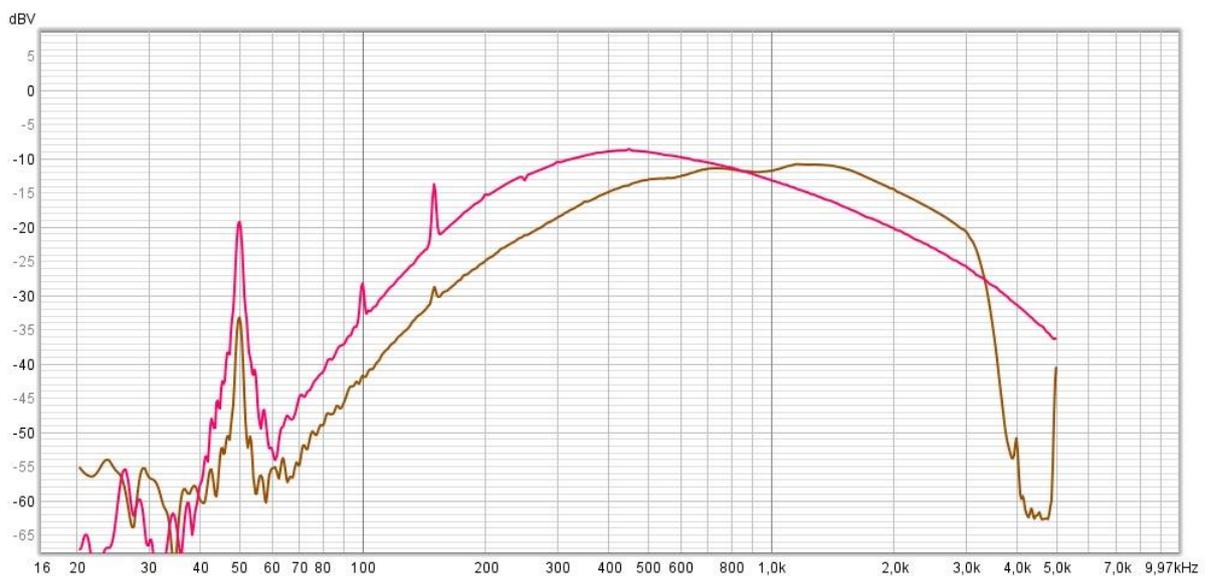
Die violette Linie zeigt, was der im IC706 eingebaute Lautsprecher aus dem elektrischen Signal gewandelt als akustisches Signal wiedergibt. Der Pegelbruch von 700 Hz bis 1 kHz scheint mit den Lautsprechereigenschaften zusammen zu hängen, wie wir später noch sehen werden.

Detaillierte Darstellung der Ergebnisse an den Messpunkten A B C :



Diskriminator Ausgang

Hier einmal die Gegenüberstellung zwischen dem linear moduliertem Messendersignal (braun) und dem vom TS2000 mit Preemphasis erzeugten Signal (blau). Letzteres wird als Vorverzerrung bezeichnet. Man sieht deutlich die Überhöhung der hohen Tonlage.



Signal am Lautsprecherausgang

Die rötliche Kurve zeigt das elektrische Lautsprecherausgangssignal vom linearen Messender modulierten Signal und die braune Kurve das vom TS2000 mit Preemphasis modulierte. Man sieht sehr deutlich im oberen Frequenzbereich die Auswirkungen der Preemphasis auf der Senderseite des TS2000.



Akustisches Lautsprechersignal IC706 -mit Messmikrofon aufgenommen-

Hier sieht man auch noch einmal sehr deutlich den für mich nicht erklärbaren Pegel einbruch im Bereich von 700 Hz bis 1 kHz beim Gerätelautsprecher des IC706.

Kommen wir jetzt zur Fragestellung Nr. 3 hinsichtlich der Frage nach geeigneten Lautsprechern:

Die in den Funkgeräten eingebauten Lautsprecher befinden sich häufig in der oberen Abdeckung des Funkgerätes. Dieses steht meistens vor dem Operator in einem Regalsystem, so dass der Schall nicht direkt in Richtung der Ohren abgestrahlt wird. Aufgrund der Größe erscheint auch ein etwas „blecherner“ Schalleindruck, sodass häufig ein Zusatzlautsprecher mit Frontabstrahlung angeschlossen wird. Dieser klingt meistens etwas „runder“ und somit angenehmer.

Zur vergleichenden Prüfung stehen mir folgende Lautsprecher zur Verfügung:

- a: der im IC 706MK2G eingebaute Lautsprecher
- b: ein Mobilfunklautsprecher der Firma Peiker, oft in Taxen und BOS Fahrzeugen verbaut
- c: Kugellautsprecher der Firma Blaupunkt, eigentlich für Musikdarbietung im PKW gedacht
- d: Vertex MLS-100 Funklautsprecher



a: IC 706MKIIG



b: Peiker

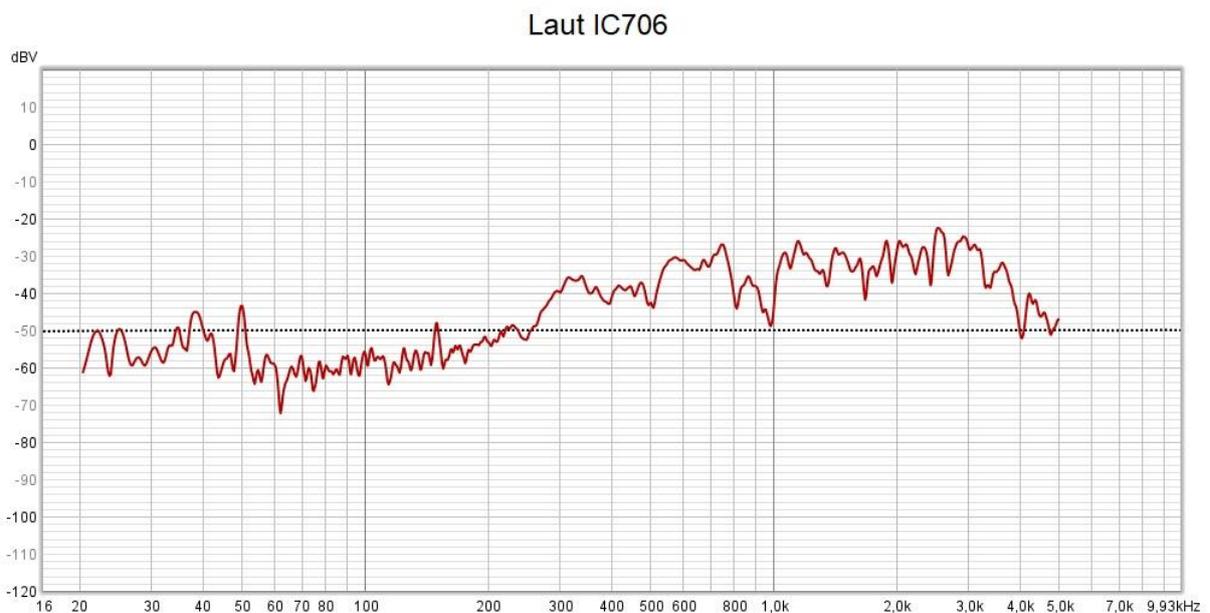
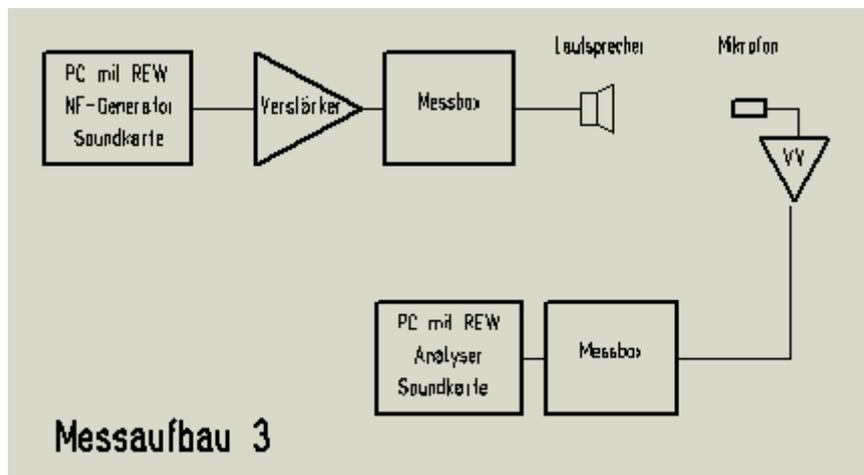


c: Blaupunkt



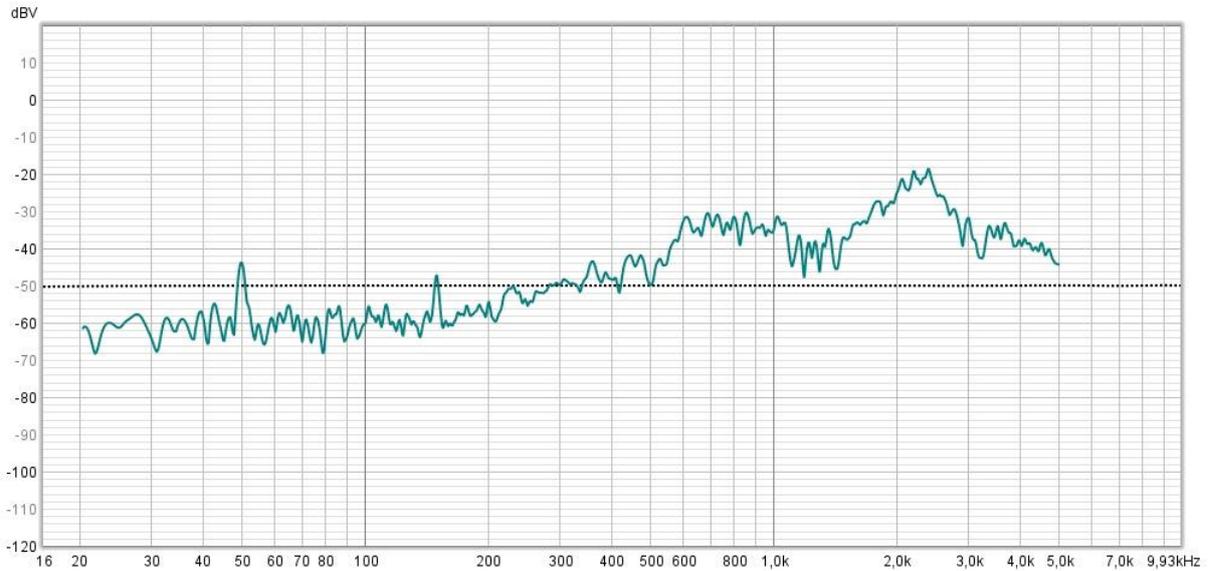
d: Vertex

Bei dem Messvorgang werden die Lautsprecher direkt mit einem gewobbelten und verstärkten Sinuston von 20 Hz bis 5 kHz beaufschlagt. Das Messmikrofon ist im Abstand von 60 cm davor platziert, was in etwa dem Hörabstand entspricht. Die Messkurven wurden mit der smoothing Funktion von REW zur besseren Ansicht etwas geglättet (1/48).



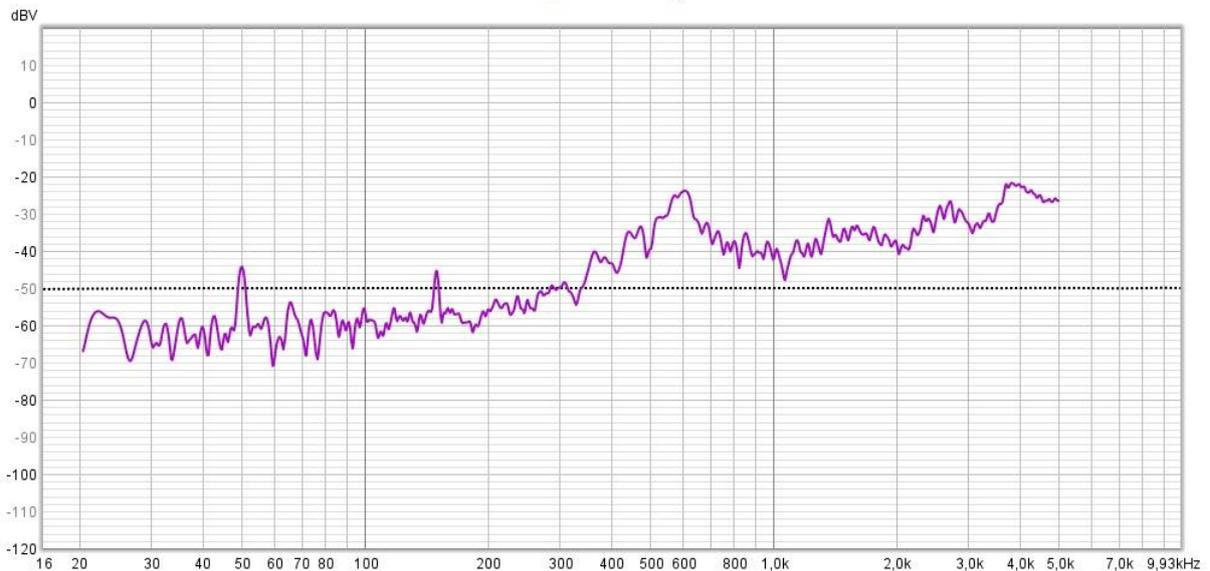
Der im IC706 verbaute Lautsprecher zeigt im Bereich von 550 Hz bis 3 kHz eine ausgewogene Messkurve. Das Hörempfinden ist recht ausgewogen und angenehm. Im Bereich von 700 Hz bis 1 kHz ist der, von den anderen Messvorgängen bekannte, Pegelbruch zu sehen.

Peiker

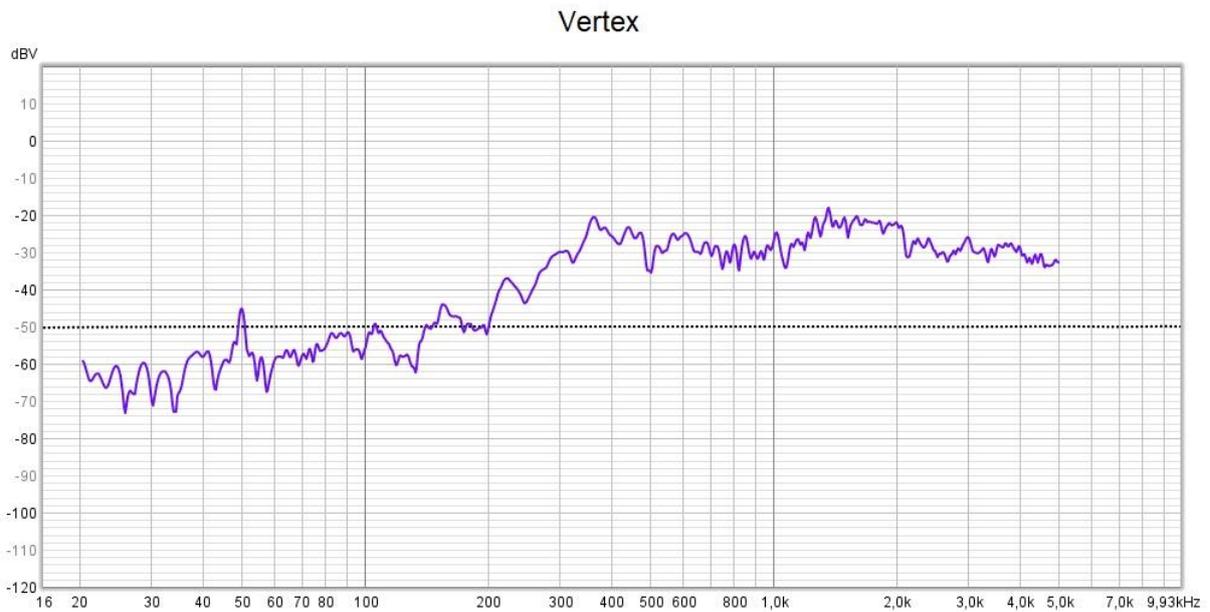


Beim Peiker Lautsprecher sieht man im Bereich um 2,5 kHz eine Überhöhung, also im „guten“ Hörbereich. Vom Höreindruck ist er etwas „schreppig“. Die Älteren kennen es bestimmt noch, wenn in der Nacht Taxis vorm Schlafzimmerfenster hielten und bei offener Tür der nächste Fahrgastwunsch angekündigt wurde. Nicht schön, aber laut und verständlich.

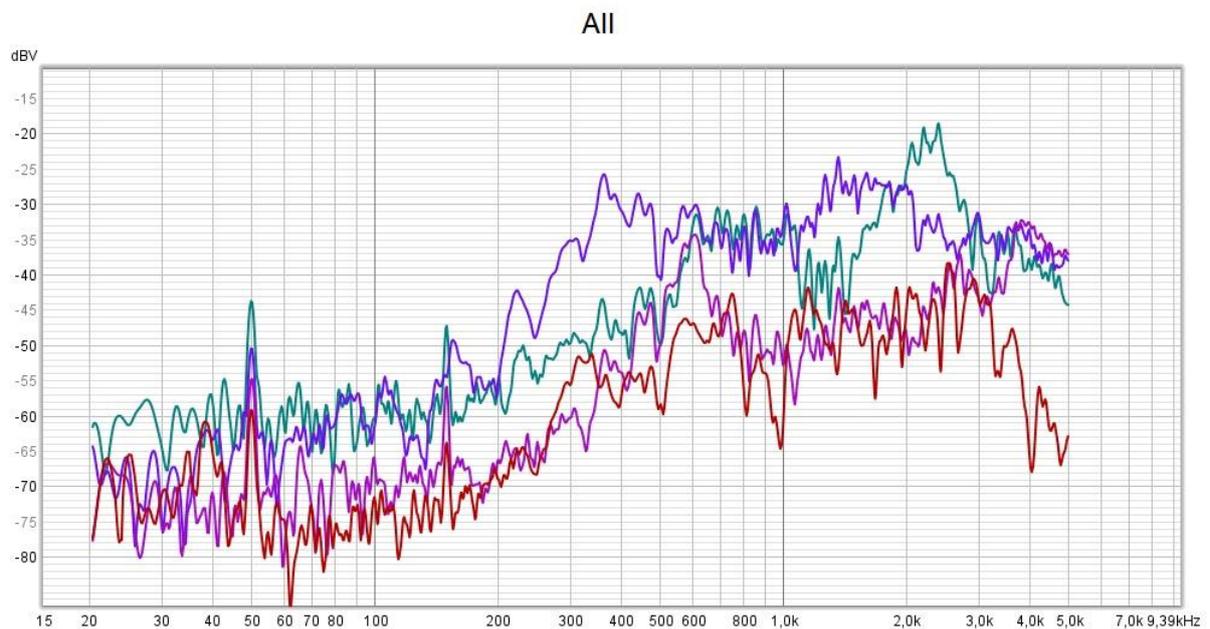
Blaupunkt Kugel



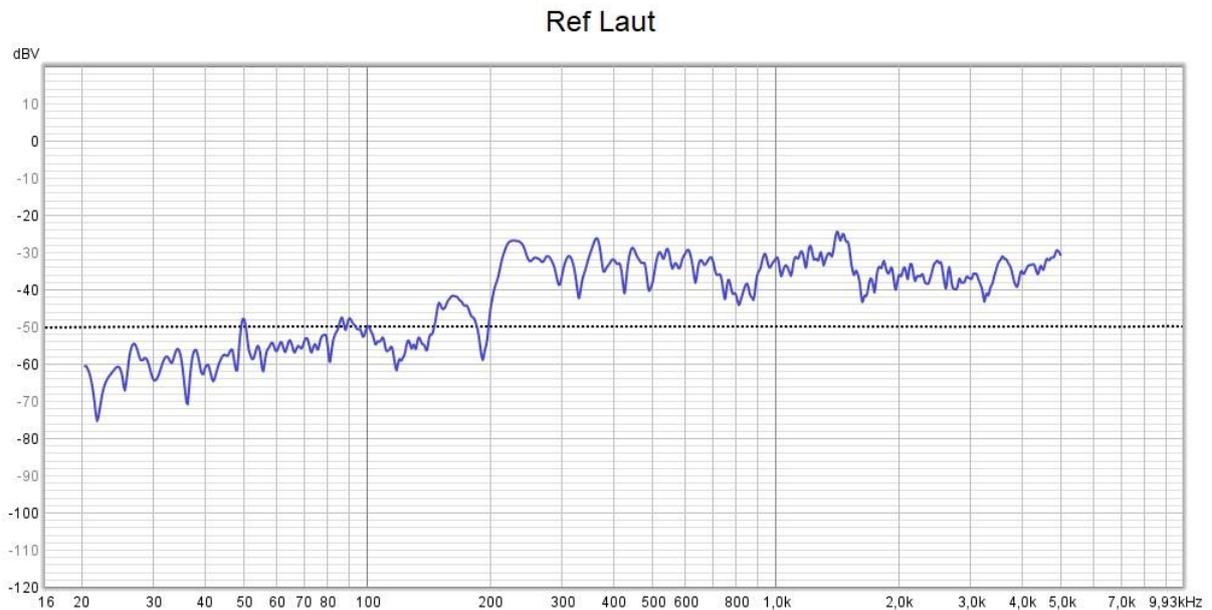
Bei dem Blaupunkt Lautsprecher sieht man einen gewissen Einbruch von 600 Hz bis 2 kHz. Aufgrund des Alters kann ein Schaden aus nicht ganz ausgeschlossen werden. Vom Höreindruck eher etwas flach.



Der Vertex Lautsprecher weist einen sehr ausgewogenen Pegel von ca. 350 Hz bis 3 kHz aus und hört sich (subjektiv) recht gut an.



Hier sind zum Vergleich die verschiedenen Messergebnisse (zur besseren Sichtbarkeit etwas in der Vertikalen verschoben) übereinandergelegt. In braun IC 706, in grün Peiker, Blaupunkt in lila und Vertex in blau.



Hier sieht man als Vergleich eine kleine Zwei-Wege-Box von einem Küchenradio mit einem sehr ausgewogenen Frequenzgang und angenehmen Hörerlebnis. Im Frequenzgang ruhiger als die zuvor gemessenen Funklautsprecher.

Als Resultat kann festgehalten werden, dass bis auf den Peiker Lautsprecher mit seiner Überhöhung keine großen Unterschiede zu verzeichnen sind.

Was hat mir das Ganze nun gebracht?

Ich habe hinsichtlich der Signalaufbereitung durch Preemphasis und Deemphasis einiges dazugelernt. Mir sind die Zusammenhänge beim Hören bei unterschiedlichen Lautstärken klarer geworden und welcher Aufwand in Tonstudios betrieben werden muss. Auch konnte ich lesen, dass eine nicht ausgebildete Gesangsstimme kaum 2 Oktaven schafft. Freddie Mercury immerhin vier Oktaven.

Aus meiner Sicht hat sich der Aufwand gelohnt und könnte jetzt noch um das Gebiet des Klirrfaktors ergänzt werden; vielleicht später einmal.

Über Rückfragen, Anmerkungen, Verbesserungsvorschläge würde ich mich freuen. Kontakt bitte per Mail dl6dca@darz.de oder Ortsfrequenz 144,575 MHz.

73 de Wilhelm DL6DCA

Fundstellennachweis:

[1] <https://www.elektroniktutor.de/geraetetechnik/stereo.html>

