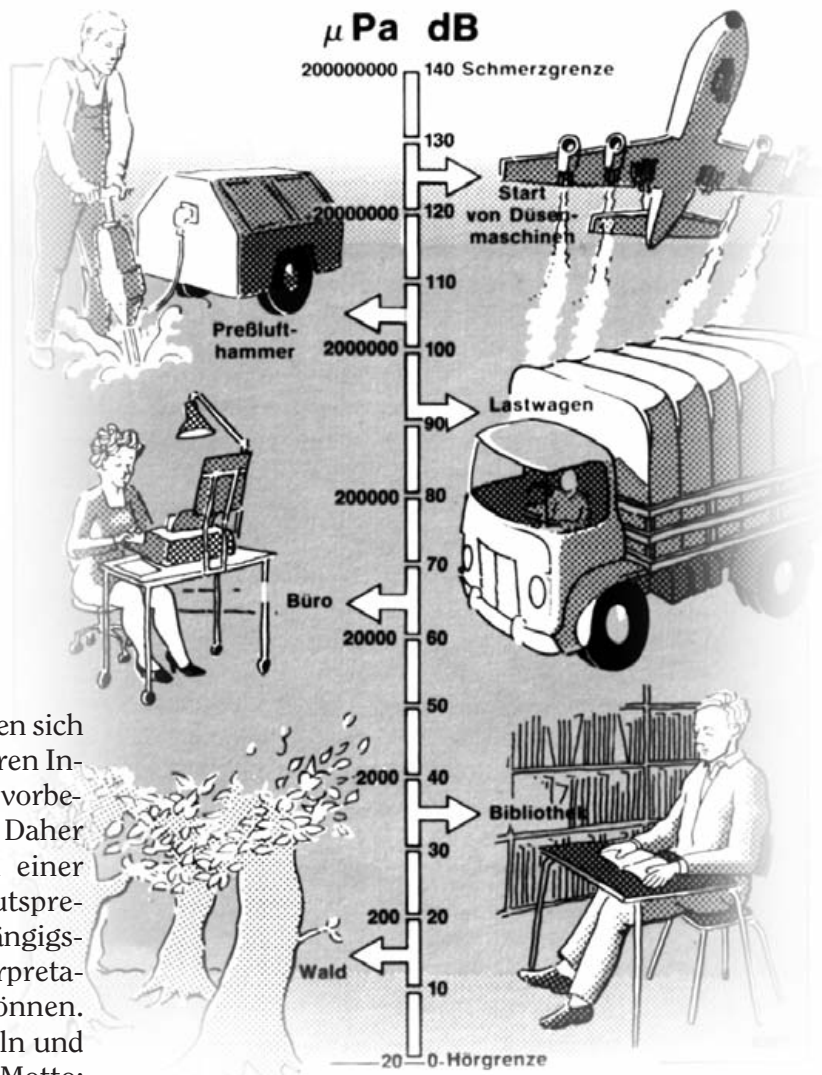


Sehen und verstehen

Grundlagen der Lautsprecher-Messtechnik, Teil 1

Von Fabian Reimann

Wie viele Leser bereits festgestellt haben, finden sich in tools immer häufiger Messdiagramme. Deren Interpretation bereitet dem nicht einschlägig vorbelasteten Leser mitunter Schwierigkeiten. Daher haben wir uns entschlossen, im Rahmen einer mehrteiligen Serie, die Grundlagen der Lautsprechermesstechnik darzustellen und auf die gängigsten Stolpersteine hinzuweisen, die die Interpretation der gezeigten Kurven erschweren können. Wann immer es geht, werden wir auf Formeln und deren Herleitung möglichst verzichten. Das Motto: Sehen und Verstehen.



Praktische Beispiele für Werte des Schalldruckpegels (Brüel & Kjær, 1984)

Im ersten Teil dreht sich alles um die Darstellung, die am häufigsten zu sehen ist: der Frequenzgang.

Die Darstellung des Frequenzgangs enthält eine Vielzahl von Informationen (**siehe Messung 1**).

Die Aufmerksamkeit sollte zuerst den Achsenbeschriftungen gehören – auf der (waagerechten) X-Achse wird die Frequenz (in Hz) aufgetragen. Diese gibt die Anzahl von Schwingungen pro Sekunde an. In unserem Fall interessieren uns natürlich die Schwingungen von Schallwellen in der Luft, die vom Menschen innerhalb eines Spektrums von 20 Hz bis 20 kHz wahrgenommen werden können.

Den Werten auf der X-Achse werden auf der (senkrechten) Y-Achse die

Werte für den Schalldruckpegel (in dB) zugeordnet. Dabei handelt es sich um eine physikalische Größe, die Druckschwankungen der Luft in Werte fasst. Die Darstellung dieser Werte erfolgt mit Hilfe des logarithmischen „Hilfsmaßes“ dB, sodass diesem korrekterweise eine Zusatzbezeichnung anzuhängen ist. In unserem Fall, da wir uns für den Schalldruck interessieren, die Endung „SPL“ (sound pressure level).

Pascal und dB SPL

Die Skala des Schalldruckpegels beginnt bei 0 dB SPL, was einem Luftdruck von 20 μPa (Pascal) entspricht. Dieser Wert entspricht in etwa der menschlichen Hörschwelle, also dem leisesten, noch wahrnehmbaren Geräusch. Zur Veranschauli-

chung all dieser Werte hilft ein Blick auf die Grafik, die den Zusammenhang zwischen Luft- und Schalldruck praktisch darstellt. Wie bereits erwähnt, beginnt die Skala bei 0 dB SPL, was der menschlichen Hörschwelle entspricht. Sie steigt auf Werte von 30 – 40 dB SPL, die in der Praxis z. B. in sehr leisen Wohngebieten (meist ist das Hintergrundgeräusch der Umgebung schon höher) oder in geschlossenen Räumen vorkommen. Normaler Bürolärm liegt mit Werten um die 70 dB SPL schon deutlich höher; spätestens ab Werten von 90 – 100 dB SPL kann ohne Zweifel von „hohem Pegel“ gesprochen werden, den man subjektiv auch nicht mehr ausblenden bzw. „überhören“ kann. Werte oberhalb davon stellen bereits eine starke Be-

lastung dar und können über lange Zeit nicht ohne gesundheitliche Schäden ertragen werden. Bei 125 dB SPL zeigt die Skala ein startendes Flugzeug – wahrscheinlich sind hier die Pegel in einem Abstand von mehreren Metern gemeint, denn tatsächlich erreichen Flugzeugturbinen im Abstand von einem Meter noch wesentlich höhere Pegel, als das obere Ende der Skala von 140 dB SPL vermuten lassen würde. Betrachtet man am oberen Ende der Skala auch den dazugehörigen Wert in μPa , wird schnell klar, warum man sich überhaupt des dB-„Hilfswertes“ für die Darstellung von Schalldrücken bedient: Ein Wert von 140 ist wesentlich leichter zu handhaben als eine Zahlenkolonne mit acht (!) Nullen, wie er bei der korrekten Schreibweise des Drucks in μPa nötig wäre.

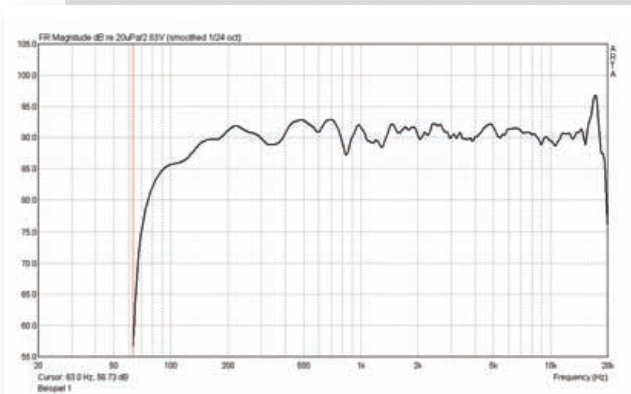
Als „Faustformel“ für die Einschätzung des Schalldruckpegels kann man sich merken, dass eine Anhebung um 10 dB einer Verdoppelung der subjektiv wahrgenommenen Lautstärke entspricht. Zu den Rändern der Wahrnehmung (extrem leise bzw. laut) verschieben sich diese Empfindungen jedoch nochmals!

Kommen wir nun zurück zu den Beschreibungen der Lautsprechermessungen. Am oberen Rand der Grafik findet man dort den Bezug auf den Luftdruck („FR Magnitude dB re 20 μPa /2,83 V“), dem jedoch eine zusätzliche Bezeichnung folgt. Die Angabe von 2,83 V mutet zunächst willkürlich an, jedoch gibt sie die Klemmenspannung an, die nötig ist, um einem Lautsprecher mit 8-Ohm-Anschlussimpedanz mit 1 W zu belasten.

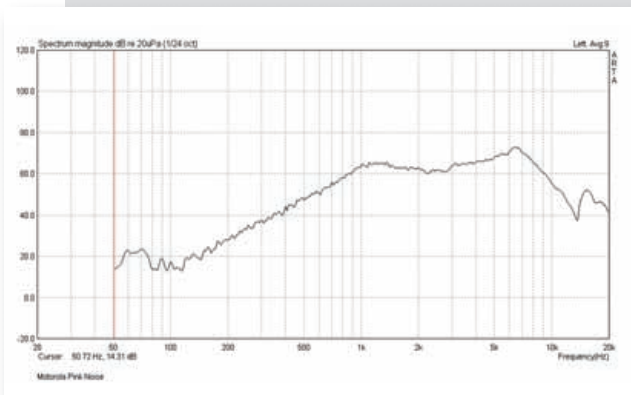
Die Darstellung der Kurve (**siehe Messung 1**) zeigt, neben einer Zuordnung von Frequenz- zu Schalldruckwerten, auch den sogenannten „Wirkungsgrad“. Dabei handelt es sich um eine Angabe, die einen Wert für die tatsächlich akustisch umgesetzte Leistung liefern soll, ausgehend von einer bekannten Eingangsspannung an den Anschlüssen der Box (standardisiert für einen 8-Ohm-Lautsprecher wären dies 2,83 V; für einen 4-Ohm-Lautsprecher

hingegen 2,00 V) wird der Schalldruckwert in 1 m Abstand vor der Box gemessen. Durch diese Vorgehensweise kann eine Relation zwischen Ein- und Ausgangsleistung hergestellt werden, die gemeinhin als „Wirkungsgrad“ bezeichnet wird. In unserem Beispiel erreicht die Box einen Wert von ca. 91 dB. Dabei handelt es sich um einen Mittelwert, da sich die Kurve mit einer gewissen Welligkeit zwischen 89 und 93 dB bewegt. Zu den Vor- und Nachteilen hoher Wirkungsgradwerte sowie deren Bewertung bei verschiedenen Lautsprechern werden wir später einen separaten Artikel in dieser Serie anbieten.

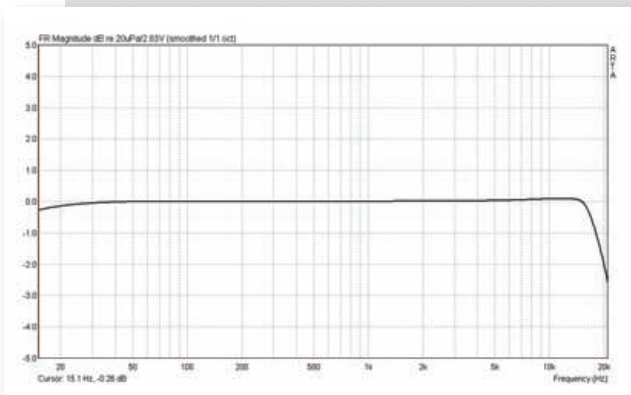
Nun aber zum eigentlich interessanten Kern der Sache; der Frequenzgangkurve. Zur Erinnerung: Hier werden die X- und Y-Werte von Schalldruck und Frequenz einander zugeordnet. Zur Veranschaulichung habe ich zunächst ein alltägliches Beispiel herausgesucht – den „Sound“ eines Telefons. Jeder kennt den blechernen, unnatürlichen, aber trotzdem gut verständlichen Klang eines Telefons. Dieser eignet sich zwar bestens, um menschliche Sprache zu übertragen, aber viel weniger, um Musik in hoher Qualität abzuspielen, auch wenn einige jüngere Mitmenschen in dieser Hinsicht erstaunlich schmerzfrei zu sein scheinen. Die Frequenzgangkurve eines Telefons sieht in etwa so aus, wie in **Messung 2** anhand eines Motorola-Handys dargestellt. Auch viele Lautsprecher für Durchsagen (z. B. Bahnhof oder Airport) zeigen ähnliche Kurven. Der frühe Abfall zu tiefen Frequenzen hin (ab ca. 800 Hz) und die recht frühe Begrenzung zu hohen Frequenzen (ab ca. 5 - 6 kHz) zeigen, dass man sich mit diesen Lautsprechern nur auf den Bereich konzentriert, der für die Sprachverständlichkeit besonders wichtig ist. „Unnötige“ Frequenzen werden ausgeblendet, was aber auch zu tonalen Verfärbungen führt. Die „vernünftige“ Wiedergabe von Musik ist demnach nicht zu erwarten. Idealerweise sollte ein Lautsprecher hierfür eine ausgeglichene Kurve aufweisen, die sich einerseits durch einen weit



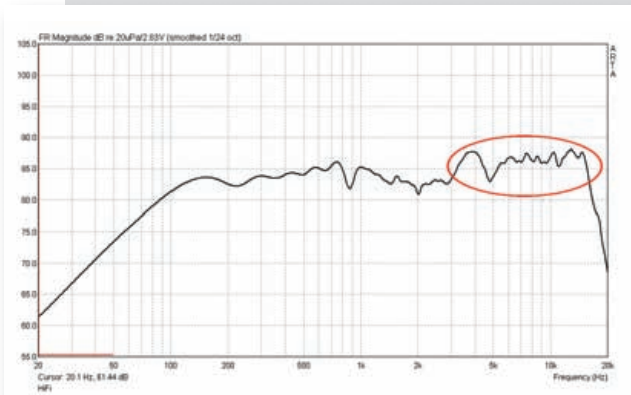
Messung 1 - Frequenzgang (Beispiel)



Messung 2 (Motorola-Handy)



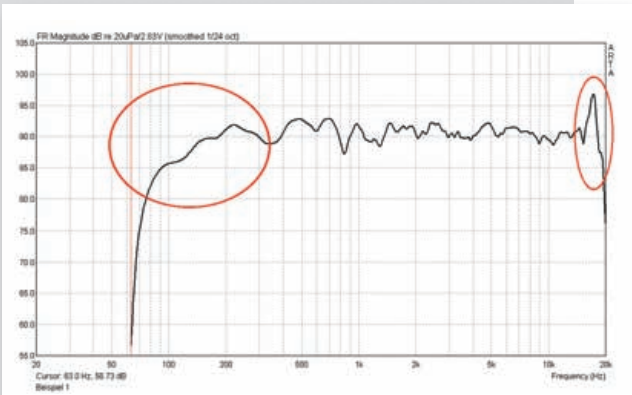
Messung 3 (Onboard-Soundkarte)



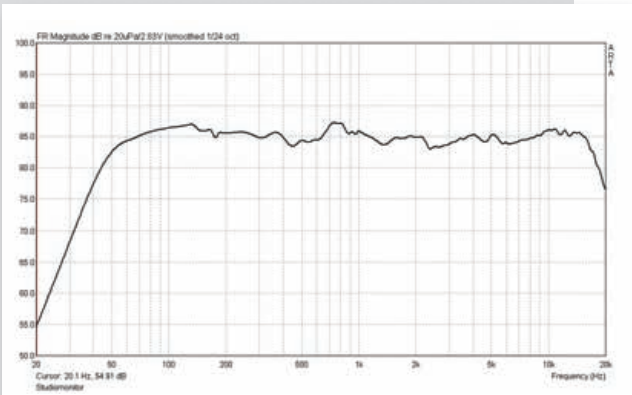
Messung 4 (80er Jahre HiFi-Box)



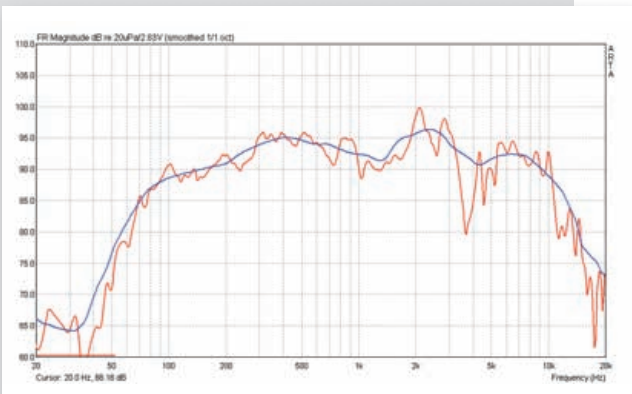
Messung 5 („Gruseltech“ Selbstbaubox)



Messung 6 (hochwertige 8-/1-Zoll-P.A.-Box)



Messung 7 (Studiemonitor)



Messung 8 (verschiedene Glättungsstufen im Vergleich)

ausgedehnten Verlauf auszeichnet (die Ränder des Hörspektrums liegen bei 20 Hz – 20 kHz) und darüber hinaus eine geringe Welligkeit in ihrer Kurve aufzeigt.

Die Praxis

Anhand einiger Beispiele möchte ich nun die Bewertung verschiedener Kurven vorstellen.

Messung 3 zeigt den Frequenzverlauf einer günstigen Onboard-Soundkarte. Deren Frequenzgangkurve zeigt im Mittel ein quasi ideales Verhalten, sodass eventuelle klangliche Beeinträchtigungen vorerst nicht zu erwarten sind. Unter kritischer Betrachtung ließe sich bemängeln, dass die Kurve schon bei ca. 16 kHz langsam abfällt, aber in der Praxis dürfte sich dieser Umstand selbst im Direktvergleich nur schwerlich ausmachen lassen. In jedem Fall zeigt diese Messung eine gute Annäherung an das gewünschte Idealverhalten, das aber für mechanische (also prinzipiell verlustbehaftete) Systeme wie Lautsprecher niemals erreichbar ist und sein wird.

Die folgende **Messung 4** gehört zu einer HiFi-Box aus den 80er Jahren. Der gemessene Wirkungsgrad bewegt sich mit ca. 85 dB auf völlig normalem Niveau. Die Frequenzgangkurve zeigt an sich einen relativ ausgewogenen Verlauf, der jedoch durch eine gewisse Überbetonung des Hochtonbereiches ab 3 kHz getrübt wird. Dadurch klingt die Box etwas vordergründig und kann bei höherer Lautstärke und entsprechendem Audio-Material (Becken, Hi Hat) schnell zischelig und scharf wirken.

In **Messung 5** ist eine kleine P.A.-Box mit 10-/1-Zoll-Bestückung und ziemlich katastrophalen Messergebnissen zu sehen. Auch wenn der Wirkungsgrad mit ca. 93 dB auf gutem Niveau für eine Box dieser Größenordnung liegt, ist der Frequenzgang extrem unruhig und zeigt Einbrüche von 10 dB und mehr. Vor allem im sensiblen, oberen Stimmbereich (im Bereich der größten „Lautheit“, also zwischen 2 und 4 kHz) springt die Kurve in benachbarten Frequenzbändern

auf und ab, sodass hier mit einem sehr unnatürlichen Klangbild zu rechnen ist. Im Hochtonbereich >10 kHz bricht die Kurve völlig ein, sodass beispielsweise Hi Hats oder Crashes völlig untergehen.

Deutlich ausgewogener geht es in **Messung 6** zu, wo eine P.A.-Box mit 8-/1-Zoll-Bestückung zu sehen ist. Auch wenn der Frequenzverlauf in diesem Beispiel im Mittel sehr ausgewogen ist, lassen sich auch hier bei kritischer Betrachtung noch gewisse Einschränkungen feststellen. Am Rande des Hörspektrums bei ca. 18 kHz zeigt sich die Materialresonanz des Hochtonlautsprechers in Form einer schmalbandigen Pegelüberhöhung; vermutlich ist das aber für die Praxis nicht kritisch, da nur die wenigsten Menschen über 20 Jahren noch derart hohe Frequenzen hören können. Allerdings wird bis heute noch trefflich darüber gestritten, inwieweit sich nicht direkt wahrnehmbare Frequenzen über Obertöne trotzdem auf den Klangeindruck oder besser die Klanginterpretation des Hörers auswirken. Stärker ins Gewicht fällt da schon der relativ frühe Abfall zu tiefen Frequenzen hin (siehe linke Markierung), folglich ist bei dieser Box mit einer eher schwachen Bass- und Tiefmittelltonwiedergabe zu rechnen.

Eher ein Gegenbeispiel dazu ist in **Messung 7** zu sehen – der hier gemessene, recht hochwertige Studiemonitor bietet zwar einen Wirkungsgrad von „nur“ 85 dB/1W/1m, jedoch reicht die Kurve weit in den Bassbereich hinein. Erst ab 60 Hz beginnt sie langsam zu fallen, eine Eigenschaft, die im Heimstudio ein Subwoofer durchaus entbehrlich machen kann (*was speziell für Abhörsituationen ja auch sehr hilfreich ist, die Red.*).

Glättungen

Leider immer noch Usus ist die Glättung von Frequenzgangkurven. Auf diese Weise werden Daten manchmal für Kataloge oder Produkt-Infos besonders „ansehnlich“ gemacht. In gewissen Grenzen ist eine Glättung der Kurve sinnvoll, da die Messtech-

Wie war das noch ...?

- Luft- und Schalldruck: 20µPa = 0dB SPL (entspricht der Hörschwelle)
- logarithmisches Hilfsmaß dB: zur vereinfachten Darstellung großer Zahlenverhältnisse
- Wirkungsgrad: tatsächlich akustisch umgesetzte Leistung bzw. Verhältnis zwischen akustischer Ausgangs- und elektrischer Eingangsleistung
- Frequenzgangkurve: Verhältnis von Frequenz- zu Schalldruckwerten mit Angabe des Wirkungsgrades
- Auswirkung von Welligkeiten auf den Klangeindruck: siehe Beispielmessungen

nik in der Lage ist, noch wesentlich feiner aufzulösen, als das Gehör. Nicht gerade selten aber werden Kurven geradezu „kaputtgeglättet“, wie **Messung 8** zeigt. Die rote Kurve zeigt die Messung der bereits beschriebenen 10-/1-Zoll-Box (siehe **Messung 5**), wobei eine Glättung von 1/24tel Oktave zum Einsatz kommt. Die blaue Vergleichskurve

ist hingegen in geschöner Variante in Oktavbreite geglättet worden, wodurch zwar nicht die grundsätzlichen Tendenzen verschwinden, aber beispielsweise der tiefe Einbruch bei ca. 3,5 kHz „herausgemittelt“ wird. Je weiter derartige Ergebnisse „geschönt“ werden, desto weniger haben die daraus zu ziehenden Daten etwas mit seriöser Informati-

onspolitik vom Hersteller für den Kunden zu tun.

Finale

Im ersten Teil unserer Grundlagenreihe haben wir in knapper Form den Aufbau des Frequenzgangdiagramms dargestellt und anhand einiger Beispiele mit dessen Interpretation begonnen. Da die Frequenzgangkurve allein aber noch nicht sonderlich aussagekräftig ist, werden wir in der nächsten Ausgabe die Grundlagen des eng damit verknüpften Wasserfalldiagramms liefern. ■

Das tools 4 music Forum (www.tools4music.de) ist der richtige Ansprechpartner für Audio-Fragen jeglicher Couleur, auch zum Thema „Der Frequenzgang – Dichtung und Wahrheit“. Natürlich kann die Redaktion auch direkt per Mail unter redaktion@tools4music.de kontaktiert werden.

Anzeige



Aktuelle Ausgaben
jetzt im Pressehandel!

grand gtrs
Electric · Acoustics · Vintage · Collectors MAGAZINE

bassquarterly
— BASSPLAYER'S MAGAZINE —

www.grandguitars.de

www.bassquarterly.de