

# Selber Messen!

## Elektroakustische Messtechnik für Einsteiger, Teil 1



Abb. 1: Vintage-Messtechnik von Brüel & Kjær in der TU Berlin

Von Fabian Reimann

Nachdem in der Artikelserie „Grundlagen der Lautsprechermesstechnik“ in *tools 4 music*, Ausgabe 6/2008 bis 5/2009 bereits die theoretischen Voraussetzungen besprochen wurden, haben wir uns zu einer Fortführung dieser Thematik entschieden. Im Folgenden geht es im Rahmen einer mehrteiligen Artikelserie um den Aufbau eines semiprofessionellen Messsystems, mit dem sowohl elektrische als auch akustische Messungen durchgeführt werden können. Neben der für Einsteiger eher schwierigen Auswahl der richtigen Hard- und Software zeigt der erste Teil der Artikelserie zunächst die Zielstellungen bei dem Aufbau eines solchen Messsystems, wobei die praktischen Anwendungsfelder und Problemstellungen besprochen werden.

Vor einiger Zeit beriet ich einen Ingenieur der „alten Schule“ bei der Auswahl eines modernen Firewire-Interfaces für Messzwecke. Bei meinen Erläuterungen bezüglich des Klirrfaktorunterschiedes an der dritten Nachkommastelle zwischen Modell A und Modell B erntete ich nach kurzer Zeit ungläubige Blicke sowie folgende Anekdote: „Damals haben wir Bandmaschinen gemessen und alles unter drei Prozent Gesamtverzerrungen war schon gut!“ Tatsächlich zeigt dieser Ausflug in die Audiovergangenheit, dass die heutzutage verfügbare Elektronik nicht nur mühelos die für einen Einsatz in der Messtechnik nötigen technischen Voraussetzungen erfüllt, son-

dern darüber hinaus auch zu sehr vertretbaren Kosten beschaffbar ist (siehe hierzu: Vergleichstest Firewire-Interfaces in *tools 4 music* 1/2009).

Dem gegenüber steht jedoch der weit verbreitete Irrglaube, mit dem Kauf von „hochwertigen“ (meist gleichbedeutend mit „hochpreisigen“) Audioprodukten hätte man auf der technischen Seite alles (menschlichen-)mögliche getan – die eigentlichen Stolpersteine beim Aufbau einer hochwertigen Wiedergabekette sind aber tatsächlich nicht bei der Elektronik, sondern in erster Instanz bei der Raumakustik und in zweiter Instanz bei den Schallwandlern (Mikrofone und Lautsprecher) zu su-

chen. Auch wenn von manchen Experten erklärt werden mag, dass Endstufe X und Mischpult Y besonders „klar“ oder „verstopft“ klingen – wer sich jedoch schon einmal ernsthaft einem Doppelblind-Hörtest unterzogen hat, wird merken, wie schnell sich der vermeintlich sichere Höreindruck als ein der unterbewussten Erwartungshaltung geschuldetes Verhalten entpuppt. Es ist daher sinnvoll, diese eigentlichen Schwachpunkte der Wiedergabekette mit objektiven Messungen zu untersuchen. Glücklicherweise bieten Softwarelösungen schon seit langem einen adäquaten Ersatz für die früher mit vielen Einzelgeräten ausgestatteten Messlabore, sodass

heutzutage niemand mehr in Signalgeneratoren, Filter oder Pegelschreiber vom Format eines Bücherregals und Preis eines Einfamilienhauses investieren muss (siehe Abb. 1).

Richtet sich der Blick ein paar Jahrzehnte zurück in die Vergangenheit, zeigt sich die Auswahl an platzsparenderen Messsystemen auf PC-Basis noch nicht allzu groß. Die spezialisierten Produkte mit eigener Hardware wie zum Beispiel das altherwürdige MLSSA (umgangssprachlich einfach „Melissa“) waren aufgrund ihrer hohen Anschaffungskosten zudem eher auf Profis ausgerichtet (Abb. 2).

Die heute verfügbaren Soundkartenmesssysteme, bestehend aus einer (möglichst hochwertigen) Soundkarte und der geeigneten Software, sind qualitativ ebenbürtig und schrecken aufgrund ihres deutlich besseren Preis-/Leistungsverhältnisses auch den Einsteiger nicht mehr ab. Dennoch sollte man die Soundkartenmesssysteme etwas von den professionellen Messsystemen mit eigener Hardware abgrenzen, denn diese bieten eben auch eine Reihe von Vorteilen (zum Beispiel in Sachen Kompatibilität, Steuerung externer Hardware wie Controller oder EQs sowie der Kalibrierung auf absolute Pegel). Der Anwender eines Soundkartenmesssystems sollte bei einigen dieser „Sonderfälle“ also durchaus etwas Nerven mitbringen, denn es kommt immer wieder mal vor, dass sich eine exotische Soundkarte als nicht kompatibel erweist oder die dazugehörige Software nicht ganz so intuitiv funktioniert, wie eigentlich gewünscht. Für Besitzer und Anwender einer DAW oder ganz allgemein für Tontechniker, die mit digitalen Mitschnitten von Schallereignissen vertraut sind, sollte all dies aber keine Hürde darstellen.

### Aufbau und Funktionen eines Soundkartenmesssystems

Der grundlegende Aufbau eines einfachen Messsystems unterscheidet sich nicht von einem minimalistischen Recording-Setup. Nötig

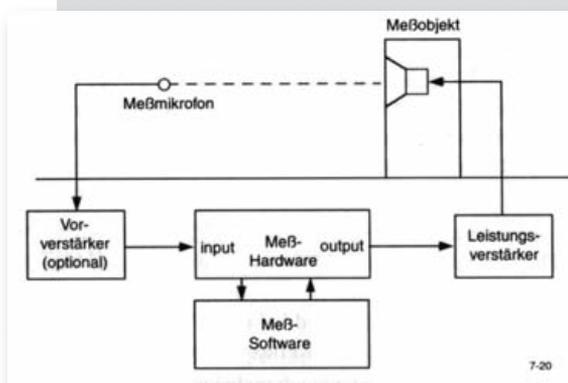


**Abb. 2:** Die Karte des altherwürdigen MLSSA-Messsystems, hier in der „neuesten“ 2000er-Ausführung (Bildquelle: [www.mlssa.com/pdf/MLSSA-2000-brochure.pdf](http://www.mlssa.com/pdf/MLSSA-2000-brochure.pdf), Stand Februar 2010)

sind, wie Abb. 3 zeigt, neben dem obligatorischen Computer und der passenden Software, lediglich ein Interface sowie ein Messmikrofon. Als Mikrofonvorverstärker bietet sich für erste Gehversuche auch der Kanalzug eines Mischpultes mit 48-Volt-Phantomspannung an. Für den Fall, dass man Lautsprecher messen möchte, ist darüber hinaus eine Endstufe nötig. Sofern der Schwerpunkt dabei nicht auf Labormessungen, sondern auf Mobilität liegt, empfiehlt sich die Zusammenstellung eines vorverkabelten „Messkoffers“ (Abb. 4). Auf einem Laptop können dann vor Ort alle nötigen Messungen durchgeführt und sofort ausgewertet werden. Auf der Softwareseite ist es dabei möglich, Frequenzgangfehler der Messkette auszugleichen, beispielsweise durch die Eingabe von Korrekturkurven oder durch einfaches Rückführen des Messsignals auf einem zweiten Kanal. Prinzipiell sind mit einem derartigen Setup schon eine Vielzahl wichtiger Messungen durchführbar, die sich von Entwicklungsaufgaben bis hin zur Qualitätskontrolle, aber auch zu Messungen der Raumakustik sowie dem „täglichen Brot“ auf und vor der Bühne (Suche nach Feedbacks, Einmessen der P.A. etc.) erstrecken.

### Wer misst...

Dieser Spruch gehört ebenso zur Branche wie das daran beteiligte Equipment: „Wer misst, misst Mist!“, wobei damit primär auf den „Faktor Mensch“ bei der Durchführung von Messungen abgezielt werden soll. Tatsächlich ist die korrekte Bedienung eines akustischen Messsystems gerade für Einsteiger eine Herausforderung.



**Abb. 3:** Messaufbau eines einfachen Soundkarten-Messsystems mit optionalem Mikrofonvorverstärker (Quelle: D'Apollito, Joseph: „Lautsprechermesstechnik“, Elektor Verlag, 1999: S. 335)



**Abb. 4:** Semiprofessionelles Messsystem, bestehend aus Laptop und 9,5-Zoll-Transportrack mit RME „Fireface 400“ (Firewire Audiointerface), Umschalteinheit (für elektrische oder akustische Messungen) sowie kleinem Messverstärker. Zum Anschluss von Elektret-Messmikrofonen können die beiden Mikrofonvorverstärker des RME Interfaces mit zuschaltbarer 48-Volt-Phantomspannung verwendet werden. Hochwertigere Messmikrofone, die nach einer externen Polarisationsspannung verlangen (z. B. von Microtech Gefell oder Brüel & Kjær), benötigen einen separaten Vorverstärker, der dann über den Line-In angeschlossen werden kann

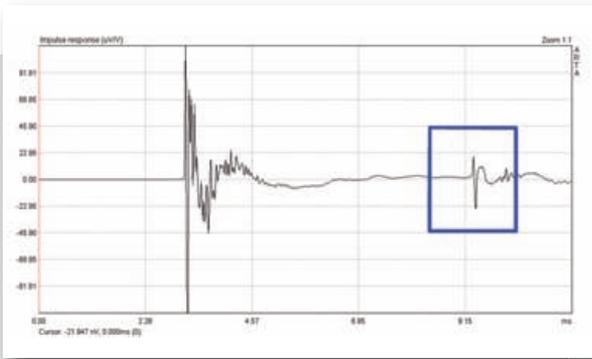


Abb. 5: Impulsantwort eines P. A.-Lautsprechers (Direktschall) sowie dessen erste Reflexion (blau umrahmt; Diffusschall)

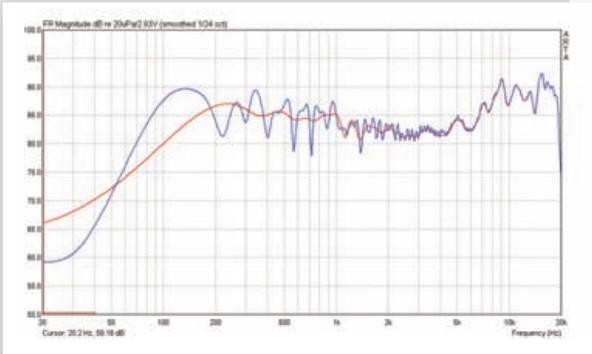


Abb. 6: Frequenzgangkurven aus der Impulsantwort aus Abb. 5; rote Kurve hierbei mit ausgefensterter Reflexion, blaue Kurve mit längerem Zeitfenster und folglich deutlichem Einfluss der überlagerten Bodenreflexion

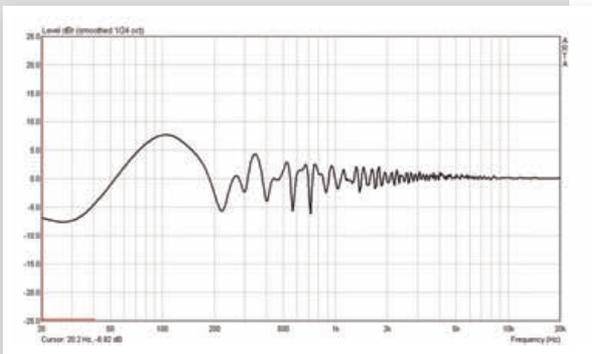


Abb. 7: Kammfilter – hier als Differenz der roten und blauen Frequenzgangkurve aus Abb. 6

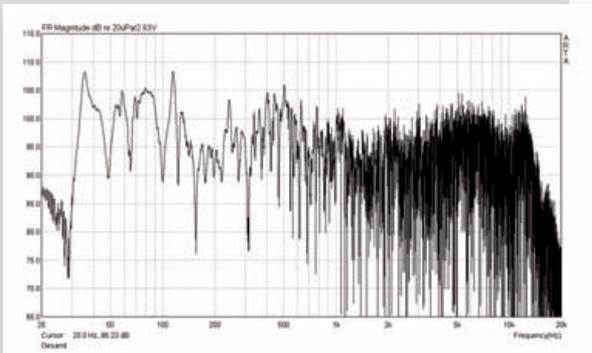


Abb. 8: Messung am Hörplatz im Projektstudio ohne jede Glättung

Zunächst einmal soll ein Blick auf Abb. 5 geworfen werden. Im vorderen linken Teil des Bildes sieht man die sogenannte Impulsantwort eines P.A.-Lautsprechers. Bei den meisten Messsystemen dürfte dem Anwender nach erfolgter Messung eine vergleichbare Grafik begegnen. Dabei handelt es sich um die Darstellung der Reaktion des Lautsprechers auf das Messsignal im Zeitbereich. Zur weiteren Analyse muss die Impulsantwort in den Frequenzbereich transformiert werden, sodass dort bekannte Darstellungen wie die des Frequenz- oder Phasenverlaufes sichtbar werden. Um zudem auch hörphysiologischen Ansprüchen gerecht zu werden, ist es den meisten Messsystemen möglich, den Zeitbereich, der anschließend in den komplexen Frequenzbereich transformiert werden soll, frei einzugrenzen. Dies verdeutlicht Abb. 6. Hier sind zwei Frequenzgänge dargestellt, die beide aus der Impulsantwort aus Abb. 5 generiert wurden. Zu bemerken ist, dass die blaue Kurve in Abb. 6 jedoch deutlich unruhiger verläuft als die rote Vergleichskurve. Der Grund hierfür ist, dass sich die rote Kurve nur auf den Zeitbereich bis zur ersten akustischen Reflexion bezieht. Vergleicht man hier mit Abb. 3, so entspräche diese rote Kurve lediglich dem Schall, der hier mit einer gestrichelten direkten Linie zwischen Mikrofon und Lautsprecher dargestellt ist. Alle weiteren Schallanteile, die sich in einer anderen Richtung ausbreiten und über Reflexionen einen längeren Weg zum Mikrofon zurücklegen, kommen auch dementsprechend später dort an. Das Messsystem ist nun in der Lage, mittels eines sogenannten Zeitfensters alle „zu spät“ eintreffenden Schallanteile auszublenden.

Die erste Reflexion in diesem Beispiel (konkret handelt es sich um eine Fußbodenreflexion) ist in Abb. 5 blau umrahmt, alle weiteren kleineren Reflexionen sind hier nicht mehr dargestellt worden. Dehnt man den Zeitbereich nun weiter aus, sodass die Fußbodenreflexion mit in die Berechnung des Frequenzverlaufes eingeht, resultiert

daraus die beschriebene blaue Kurve aus Abb. 6. Die Überlagerung von Direktschall mit reflektiertem Schall (wie hier vom Fußboden) führt zum bekannten Kammfiltereffekt – subtrahiert man die Kurven aus Abb. 6 voneinander, so wird dieser kammartige Kurvenverlauf leicht sichtbar (Abb. 7).

Auf keinen Fall sollte man nun versuchen, jede kleine Unregelmäßigkeit dieses Verlaufes per Equalizer zu korrigieren, da sich die spektrale Zusammensetzung dieser Verzerrungen je nach Hör- bzw. Messort nochmals deutlich ändern kann. Zudem ist zu berücksichtigen, dass das menschliche Gehör Direkt- von Diffusschall trennen kann. Einige Messsysteme bieten hierfür spezielle Einstellmöglichkeiten an, welche diesem hörphysiologischen Ansatz nahekommen sollen.

### Problem Raumakustik

Bereits erwähnt wurde, dass die Raumakustik einen der maßgeblichen Faktoren für die subjektive Wahrnehmung von Schallereignissen wie Musik oder Sprache darstellt. Dies betrifft prinzipiell alle Frequenzbereiche und soll hier am Beispiel einer Abhöranlage (zwei Satelliten und ein Subwoofer) in einem akustisch kaum behandelten Heimstudio von ca. 20 m<sup>2</sup> erläutert werden.

Mit einem einfachen Soundkartenmesssystem wurden diverse Messungen durchgeführt, um sich einen ersten Überblick zu verschaffen. Abb. 8 zeigt eine Messung am Hörplatz, die hier völlig ohne Glättung dargestellt wird. Zunächst einmal fällt im Bassbereich eine starke Welligkeit im Frequenzverlauf von ca. ± 6 dB auf. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in Abhängigkeit von den Abmessungen eines Raumes ein bestimmtes Muster von Raummoden bzw. stehenden Wellen (unvermeidlicherweise) auftritt. Die klanglichen Auswirkungen dieser Raummoden sind beträchtlich – einige Frequenzen werden dramatisch überbetont und neigen zum Dröhnen, wohingegen andere Frequenzbereiche viel zu leise übertragen werden. Eine naturgetreue

Aufnahme oder Wiedergabe ist in diesem Bereich nur schwer möglich. Zudem sind diese Effekte auch von der Hörposition im Raum abhängig, sodass sich prinzipiell kein Ausweg aus dieser misslichen Lage finden lässt.

Schaut man sich in Abb. 8 nun die darüber liegenden Frequenzbereiche an, wird deutlich, dass das Interferenzmuster stetig „enger“ wird, bis dann im Hochtonbereich kaum noch etwas zu erkennen ist.

Tatsächlich sind die Verzerrungen hier so vielzählig und liegen so dicht beieinander, dass der Betrachter anhand dieser feinen Struktur jede Übersicht verliert. Es scheint unter diesen Umständen kaum noch möglich, Lautsprecher und Raum sauber zu trennen. Da aber für das Hören im Raum ohnehin das Zusammenspiel beider Komponenten wichtig ist, behilft man sich durch statistische Mittelung der Messergebnisse. Hierzu werden eine Vielzahl von Messungen an gleichmäßig über den Hörbereich verteilten Punkten aufgenommen (fünf Einzelkurven siehe Abb. 9), geglättet und anschließend energetisch gemittelt (Abb. 10). Über diese Vorgehensweise werden nicht nur die Eigenheiten des Raumes „herausgemittelt“, sondern auch Eigenschaften der Lautsprecher (Abstrahlverhalten zum relevanten Hörort, Positionierung im Raum etc.) mit bewertet.

In Abb. 10 sind die zuvor beschriebenen Raummoden nach der statistischen Mittelung immer noch klar erkennbar, auch ihre Lage hat

sich nicht wesentlich geändert. Der Bereich oberhalb von 200 Hz ist nun jedoch deutlich übersichtlicher geworden, sodass hier (als „Soforthilfemaßnahme“) schon einmal Gedanken um den Einsatz eines EQs angebracht wären, wobei zunächst der Subwoofer-Pegel abgesenkt werden sollte. Erste Ansatzpunkte für weitere Korrekturen könnten bei 500 Hz (breite Überhöhung) und bei 1,5 kHz (eine kleine Senke) gesehen werden. Eine genaue Entzerrung der Raummoden im Bassbereich mit einigen Notch-Filtern wäre hier ebenfalls einen Versuch wert, der stets aufmerksam vom Gehör kontrolliert werden sollte.

Um eine echte Verbesserung in diesem Bereich zu bewirken, sind raumakustische Maßnahmen unumgänglich, bei deren Abstimmung der Einsatz akustischer Messtechnik jedoch abermals sehr hilfreich, wenn nicht sogar unverzichtbar sein dürfte.

### Finale

Im ersten Teil der Serie „Elektroakustische Messtechnik für Einsteiger“ wurde knapp auf Aufbau und Funktion einfacher Messsysteme eingegangen. Die Trennung zwischen der Arbeit im Zeit- und Frequenzbereich wurde anhand eines Beispiels dargestellt. Darüber hinaus haben Beispielmessungen in einem Studio gezeigt, wie raumakustische Problemstellungen in der Praxis mit einem Messsystem erfasst und bewertet werden können. Wie an den gezeigten Beispielen deutlich wurde, kommt es

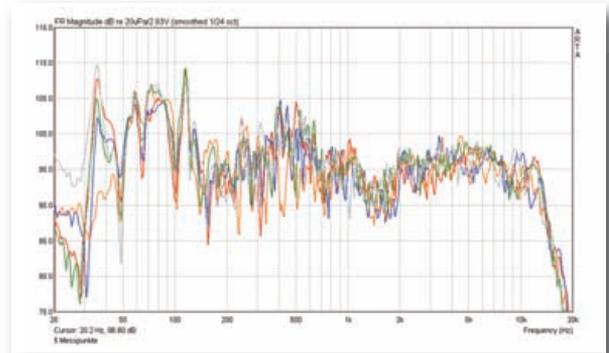


Abb. 9: Fünf Einzelmessungen am Hörplatz, jeweils um wenige Zentimeter versetzt

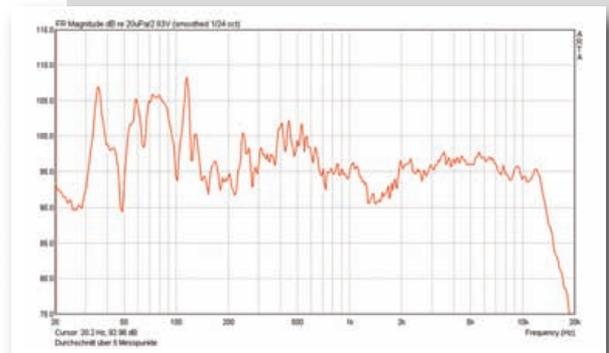


Abb. 10: Energetische Mittelung der fünf Einzelmessungen aus Abb. 9

neben der rein technischen Beherrschung der Soft- und Hardware auch auf die zielführende Interpretation der Ergebnisse an, wobei Grundlagenkenntnisse der Akustik hilfreich sind. Ein großer Teil davon erschließt sich dem Anwender aber glücklicherweise durch „learning by doing“, wozu wir ermutigen möchten.

Der nächste Teil dieser Artikelserie widmet sich der „richtigen“ Auswahl von Interfaces und Messmikrofonen. ■

Anzeige



Höchste Qualität und flexible Produktion für individuell handgefertigte Mikrofone

Qualität durch Tradition  
Handmade in Germany!