

Entwicklung einer PC-basierten Softwareumgebung für psychoakustische Experimente

Erik Meinhof, Arild Lacroix

Institut für Angewandte Physik, Goethe-Universität Frankfurt,
Max-von-Laue-Straße 1, D-60438 Frankfurt am Main,
Email: {E.Meinhof, Lacroix}@iap.uni-frankfurt.de

Einleitung

Verdeckungsexperimente sind für Fragestellungen in der Psychoakustik grundlegend. Dieser Beitrag stellt eine auf MATLAB [1] basierende Softwareumgebung vor, welche die Erzeugung der für Verdeckungsexperimente interessanten Signale sowie die automatisierte Aufzeichnung von Mithörschwellen am PC ermöglicht. Das System besteht aus einem Modul zur Erzeugung des maskierenden Signals und einem Modul zur interaktiven Durchführung von Maskierungsexperimenten. Im Folgenden wird die Softwareumgebung anhand von Beispielen vorgestellt.

Experimentierumgebung

Bei der Hardwareausstattung wird von einem aktuellen Standard-PC mit einer Soundkarte, welche Audio-CD-Qualität bietet, ausgegangen. Die Schallsignale werden der Testperson über einen Hi-Fi Kopfhörer beyerdynamic DT 531 in ruhiger Umgebung dargeboten.

Als Entwicklungsumgebung für die Signalerzeugung und Implementierung einer interaktiven graphischen Benutzeroberfläche kam die Programmierumgebung MATLAB in der Version 6.5 zum Einsatz. Als Ergänzung kam die „Signal Processing Toolbox“, eine Sammlung spezieller MATLAB-Funktionen für die Signalverarbeitung, zum Einsatz. Mit Hilfe des MATLAB-Compilers können Projekte auch als Standalone-Anwendungen implementiert werden. Sie kommen so auch Anwendern zugute, die nicht über MATLAB verfügen.

Signalerzeugung

Als Testton wird ein Sinuston verwendet. Als Störsignale stehen beliebige Kombinationen aus Sinustönen und Rauschen zur Verfügung. Schmalbandrauschen wird aus weißem Rauschen erzeugt, indem man das Frequenzspektrum des weißen Rauschens durch ein Bandpassfilter auf das geforderte Frequenzband beschränkt. MATLAB stellt eine große Anzahl von digitalen Filtern bereit. Um der hohen Frequenzselektivität des Gehörs gerecht zu werden, ist der Einsatz eines Filters mit hoher Flankensteilheit bei maximal flachem Amplitudengang im Durchlassbereich sinnvoll. Diese Eigenschaften weisen z.B. inverse Tschebyscheff-Tiefpassfilter (Tschebyscheff Typ-II) auf [2]. Die im Sperrbereich auftretende Welligkeit wirkt sich in der vorliegenden Anwendung nicht negativ aus, da ohnehin eine starke Dämpfung im Sperrbereich auftritt. Um das Einschwingverhalten des Filters zu berücksichtigen, werden die ersten 200 Abtastwerte der bandpassgefilterten

Rauschsignale abgeschnitten. Alle Signale werden mit 44,1 kHz Abtastfrequenz und 16-Bit-Wortlänge erzeugt und verarbeitet.

Erzeugung des Gesamtsignals

Das Gesamtsignal, welches für die Aufnahme einer Mithörschwelle wiedergegeben wird, erzeugt das System gemäß dem Flussdiagramm in Abbildung 1.

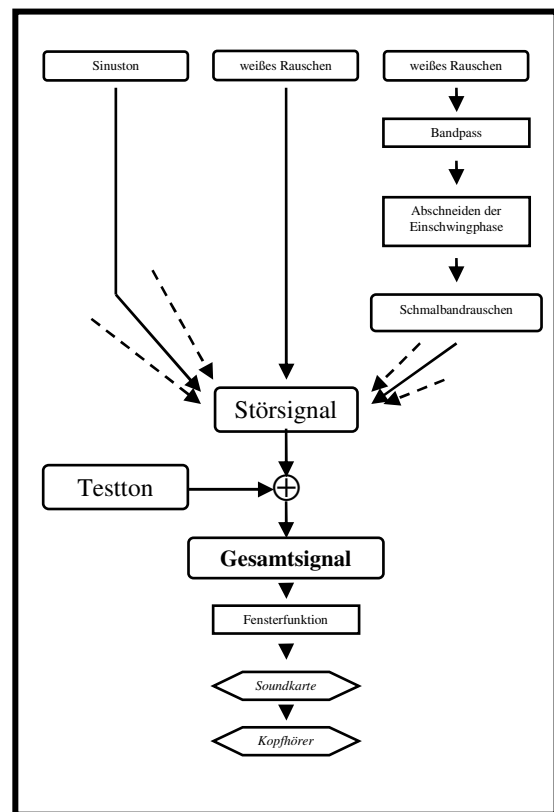


Abbildung 1: Flussdiagramm der Signalerzeugung.

Nachdem alle gewünschten Sinus- und Rauschsignale erzeugt sind, werden sie addiert und bilden das Gesamtstörsignal. Um eine Mithörschwelle aufnehmen zu können wird schließlich noch der Testton zum Störsignal hinzuaddiert. Zur Vermeidung von Knackgeräuschen am Anfang und Ende der Signalwiedergabe wird das Gesamtsignal, bevor es an die Soundkarte geschickt und über den Kopfhörer dargeboten wird, noch mit einer Fensterfunktion multipliziert, welche das Signal über die ersten und letzten 500 Abtastwerte linear ein- bzw. ausblendet.

Signalmodul

Abbildung 2 zeigt einen Screenshot des Programmfensters des Signalmoduls. Das Maskierungssignal lässt sich als beliebige Kombinationen aus Sinustönen und Rauschsignalen einstellen. Im linken unteren Bereich des Programmfensters ist der Betragsgang des verwendeten digitalen Filters dargestellt. Hierbei ist der Betrag (Werte zwischen 0 und 1) über der Frequenz in kHz aufgetragen.

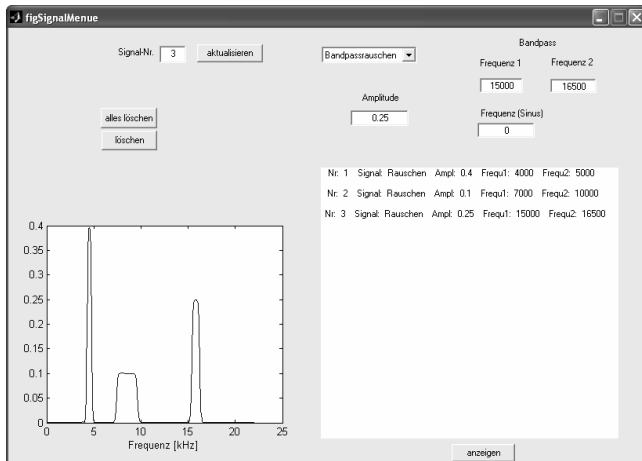


Abbildung 2: Signalmodul mit eingestelltem Störssignal, bestehend aus drei Schmalbandrauschsignalen unterschiedlicher Bandbreite und Amplitude.

Experimentiermodul

Abbildung 3 zeigt einen Screenshot des Programmfensters des Experimentiermoduls. Hat man den Störschall im Signalmodul eingestellt, so kann im Experimentiermodul die Mithörschwelle interaktiv und automatisiert aufgenommen werden. Die Anfangswerte und Schrittweiten für Amplitude und Frequenz des Testtons lassen sich beliebig einstellen.

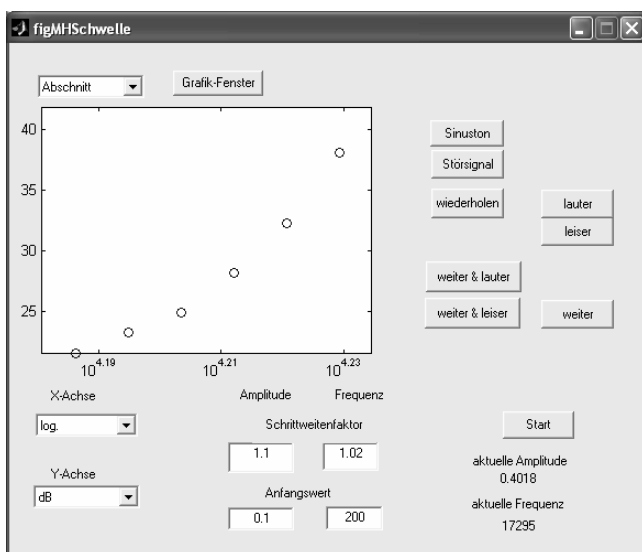


Abbildung 3: Experimentiermodul bei der Aufzeichnung der Mithörschwelle: Links oben ist jeweils der relative Schallpegel des Testtons gegen dessen Frequenz für die jeweils letzten 6 Messpunkte dargestellt.

Während der Messung wird der gewünschte Frequenzbereich des Testtons durchlaufen und die Mithörschwelle aufgezeichnet. Abbildung 4 zeigt die mit der Software gemessene Mithörschwelle für die Maskierung eines Sinustons durch ein Schmalbandrauschen. Der Schallpegel, bei dem die Ruheshwelle der Versuchsperson für einen Ton mit $f = 2$ kHz liegt, wurde als 0 dB definiert.

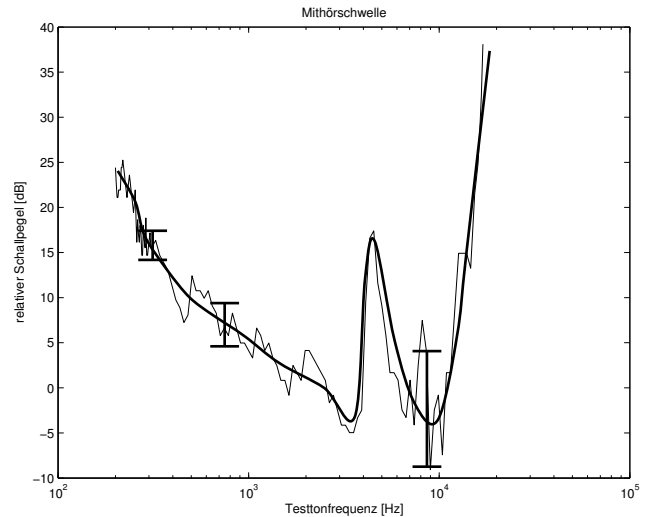


Abbildung 4: Mithörschwelle (dünne Strichdicke) für die Verdeckung eines Tons durch Schmalbandrauschen mit einer Bandbreite von 4 bis 5 kHz und einer relativen Amplitude von 0,4.

Ergebnisse

Die Mithörschwelle in Abbildung 4 verläuft entsprechend den Erwartungen aus der Theorie [3]. Zum Vergleich ist eine Ausgleichskurve mit exemplarischen Fehlerbalken (kräftige Strichdicke) aufgetragen. Angesichts der geringen Anforderungen an die verwendete Hardware zeigen die Ergebnisse eine gute Genauigkeit von ± 2 bis 6 dB.

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde eine Softwareumgebung zur Durchführung psychoakustischer Verdeckungsexperimente vorgestellt. Sie ist modular aufgebaut und ermöglicht die automatisierte und interaktive Durchführung von Experimenten. Unter Verwendung eines PCs mit Soundkarte und eines Kopfhörers können Messungen durchgeführt werden, die eine genügend große Genauigkeit aufweisen, um psychoakustische Effekte zu studieren. Durch das hohe Maß an Anschaulichkeit und Interaktivität eignet sich die Softwareumgebung auch zum Einsatz in der Lehre.

Literatur

- [1] Referenz zu MATLAB. URL: <http://www.mathworks.com/products/matlab/>
- [2] LACROIX, A.: *Digitale Filter*. R. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 4. Auflage, 1996.
- [3] ZWICKER, E. und FASTL, H.: *Psychoacoustics*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1990.