

Untersuchung zur Wahrnehmungsschwelle von Parametern musikalischer Klangbearbeiter

Christian-W. Budde

Hannover, E-Mail: Christian@AIXcoustic.com

Motivation

Obleich Wahrnehmungsschwellen für verschiedene Sachverhalte im Bereich der Psychoakustik hinreichend gut untersucht wurden, ist in dem Kontext von musikalischen Klangbearbeitern verhältnismäßig wenig bekannt. Insbesondere die kritischen Schwellen, ab wann Änderungen verschiedener Parameter hörbar werden, ist im Zusammenhang mit trainierten Probanden noch nicht ausreichend untersucht worden.

Unter musikalischen Klangbearbeitern kann man dabei zunächst einfache LTI-Systeme wie Filter oder Equalizer verstehen. Darüber hinaus sind insbesondere im Bereich der modernen Musik aber auch dynamikverarbeitende Werkzeuge wie Compressor, Limiter und Gate zu verstehen, ebenso auch kombinierte Systeme wie zum Beispiel Verstärkeremulationen, synthetische Nachhallsimulationen oder aber auch sog. Bass-Enhancer.

Die Kenntnis der Wahrnehmungsschwellen ist insbesondere für Entwickler solcher Geräte von großem Interesse, da zum einen Näherungslösungen verwendet werden können, solange man sich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle befindet, und zum anderen der Regelbereich beispielsweise von Drehreglern auf die Wahrnehmungsschwellen hin optimiert werden kann, um einen gleichmäßigen Einfluss über den gesamten Regelbereich zu erreichen.

Einfluss der Musik

Während bei einfachen LTI Systemen wie Filtern eine Untersuchung von statischen Signalen wie Rauschen ausreichend ist, benötigt man zur hinreichenden Betrachtung von Dynamikprozessoren Musik, da dies auch der Kontext ist, für den diese Werkzeuge geschaffen wurden. Dabei beeinflusst die Musik aber zumeist die Entscheidungskraft der Probanden, so dass eine Fragestellung in Form von „Was klingt besser“ fast nicht möglich ist oder mindestens eine hohe Zahl an Probanden erfordert.

Die ersten Untersuchungen fanden daher zunächst an LTI-Systemen unter Verwendung von rosa Rauschen statt.

Aufbau der Hörversuche

Um eine Beeinflussung des Messaufbaus auf die Messdurchführung zu vermeiden, wurden die Hörversuche als Doppelblind-ABX-Test in eine Software implementiert, bei dem zwischen den Signalen „A“, „B“ und „X“ wahlfrei und ohne hörbare Artefakte umgeschaltet werden kann. Die entstandene Software sollte bewusst auf beliebiger Hardware laufen, um den Probanden zu ermöglichen den Test in ihrer gewohnten Umgebung mit ihrem gewohnten Equipment durchzuführen. Um Manipulationen an den Ergebnissen zu

vermeiden, wurden die Resultate mit einem asymmetrischen Verschlüsselungsverfahren verschlüsselt und an den Versuchsleiter übertragen.

Für die Hörversuche wurden zunächst statistische Daten der Probanden erfasst. Dabei wurde drauf geachtet, möglichst erfahrene Probanden zu verpflichten. In diesem Zusammenhang sind daher neben den obligatorischen Informationen wie Alter und Geschlecht auch Informationen zur Erfahrung der Probanden abgefragt worden. Weiterhin wurde die Dauer der Tests und jegliche Aktion der Probanden aufgezeichnet, um Rückschlüsse auf den Verlauf des Hörtests zu erlangen.

Der Hörversuch selber besteht aus einem modifizierten ABX-Test, bei dem der Unterschied der Parameter zwischen dem Signal „A“ und „B“ bei jeder richtigen Antwort verringert wird. Zusätzlich wird bei falschen Antworten der Unterschied zwischen den Parametern deutlich vergrößert, um konsequentes Raten zu unterbinden. Für den Fall, dass der Proband raten muss ist es möglich den Test zu schieben („pass“) um nur eine geringfügige Vergrößerung des Unterschiedes zu erreichen und gleichzeitig dem Versuchsleiter mitzuteilen, dass an dieser Stelle kein weiterer Unterschied gehört werden konnte.

Trotz dieser Modifikation sind falsche Erkenntnisse aufgrund von zufälligen Ratetreffern aber noch nicht ausgeschlossen. Im Gegensatz zu unmodifizierten ABX-Tests gestaltet sich die statistische Auswertung schwieriger, auch trotz der geringeren Ratewahrscheinlichkeit.

Die Software wurde als Open Source Software zunächst ausschließlich für Peak-Filter implementiert, ist aber im Hinblick auf Erweiterbarkeit für weitere Fragestellungen zu anderen musikalischen Parametern vorbereitet. So ist es bereits möglich, Musik anstelle von Rauschen für die Hörversuche zu verwenden.

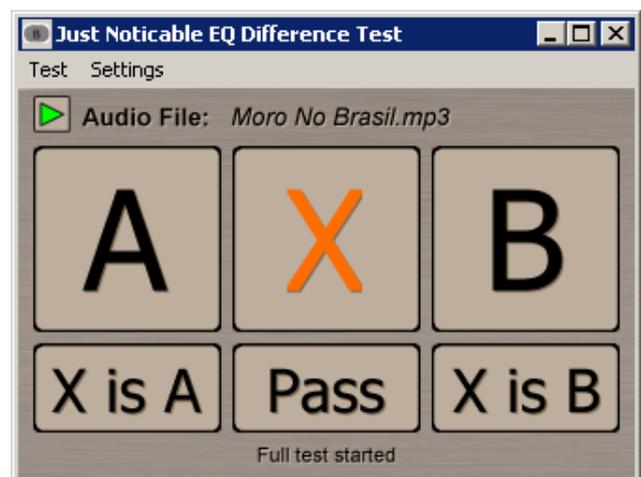


Abbildung 1: Oberfläche der ABX-Software während eines laufenden Tests.

Erste Ergebnisse

Die ersten Hörversuche wurden mit Peak-EQ-Filtern durchgeführt. Dabei wurde rosa Rauschen dargeboten, das mit einem Peak-EQ-Filter bei der Frequenz 1 kHz mit der Bandbreite von einer Oktave verändert wurde. Zunächst wurde dabei eine Anhebung um +5 dB mit einer Absenkung von -5 dB verglichen. Im weiteren Verlauf des Hörversuchs wurde das Delta (von 10 dB) bei jeder richtigen Antwort halbiert und bei jeder falschen Antwort mit dem Faktor 3 multipliziert.

Die Probanden für diese ersten Tests kamen aus unterschiedlichen Ländern und Kulturkreisen und haben an dem Test über das Internet teilgenommen. Alle Teilnehmer sind im Bereich „Pro-Audio“ tätig und nicht wenige behaupteten von sich, goldene Ohren zu besitzen.

Für die Auswertung erwies sich die Betrachtung der niedrigsten wahrnehmbaren Unterschiede im Vergleich zu den höchsten nicht wahrnehmbaren Unterschieden als sinnvoll (siehe Abbildung 2). Idealerweise sollten dabei die höchsten nicht wahrnehmbaren Unterschiede unterhalb der niedrigsten wahrnehmbaren Unterschiede liegen. Ist dies nicht der Fall, ist dies entweder ein Indiz für Raten oder für Unkonzentriertheit. Dabei stellte sich heraus, dass die Dauer der Hörversuche, die durch eine limitierte Anzahl von Einzel-Vergleichen begrenzt war, eine entscheidende Rolle spielte. Wurde der Hörversuch bereits nach wenigen Minuten abgeschlossen, ist es sehr wahrscheinlich, dass geraten wurde. Hat der Versuch demgegenüber länger als 10 Minuten gedauert, ist dies ein Indiz für Unkonzentriertheit.

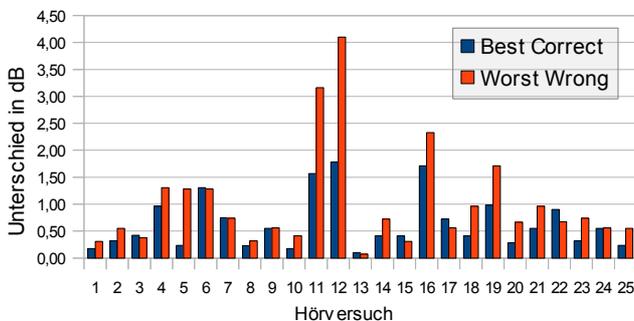


Abbildung 2: Wahrnehmbarer vs. nicht wahrnehmbarer Unterschied bei geschulten Probanden

Die Ausreißer in Abbildung 2 (Balken 10 & 11) sind auf einen Probanden zurückzuführen, der spät in der Nacht nach einem Disco-Besuch den Hörversuch durchführte. Ansonsten lagen die Mehrheit der Ergebnisse zwischen 0,2 dB und 1 dB, was nach anderen Untersuchungen aus der Psychoakustik zu erwarten war.

In Bezug auf die statistischen Daten zeigte sich, dass das Alter der Probanden keinen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse hatte. Der Altersdurchschnitt betrug 33 Jahre. Auch in Bezug auf das Geschlecht war kein Einfluss erkennbar.

Deutlich lassen sich jedoch die Hörversuche abgrenzen, die mit Kopfhörern durchgeführt wurden. Deren Ergebnisse sind im Schnitt um ca. 0,2 dB besser. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass bei der Differenzierung zwischen Probanden, die mit Kopfhörern bzw. Lautsprechern den Test durchgeführt haben, keine statistische Signifikanz mehr gegeben ist.

Weiterhin hat sich gezeigt, dass sich bei wiederholten Tests eine Verbesserung ergeben hat. Insbesondere zu ungeschulten Probanden lassen sich hier deutliche Unterschiede feststellen.

Im Hinblick auf die Fragestellung nach der geringsten hörbaren Wahrnehmungsschwelle, die für den Entwicklungsingenieur von entscheidender Bedeutung für die Verwendung von Näherungslösungen ist, lässt sich aussagen, dass der beste Proband in der Lage war, Unterschiede bei diesem Test bis 0,1 dB zu erkennen. In drei weiteren Wiederholungsversuchen konnte dies nochmal explizit bestätigt werden. Dabei hat der selbe Proband mit Lautsprechern immerhin noch 0,3 dB zuverlässig unterscheiden können.

Ausblick

Im weiteren wurden Hörversuche für andere Parameter und andere musikalische Klangbearbeiter durchgeführt. Für die Peak-EQ-Filter wurde dabei untersucht, inwieweit deren Frequenz und Güte unterschieden werden können. Weiterhin wurden Versuche mit Musik anstelle von Rauschen und in diesem Zusammenhang mit dynamik-verarbeitenden Werkzeugen durchgeführt.

Leider wurde keine statistische Signifikanz bei den Untersuchungen erreicht, so dass derzeit keine gesicherten Informationen zu diesen Hörversuchen vorliegen.

In Zukunft sollen daher weitere Hörversuche durchgeführt werden, um eine statistische Signifikanz zu erreichen und hinreichend wissenschaftliche Ergebnisse zu produzieren.