

# Automatisierte Reintonaudiometrie: Eine Alternative zu manuellen Verfahren?

Thomas Bisitz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>HörTech, Oldenburg

**Schlüsselwörter: Tonaudiogramm, Screening, automatisierte Reintonaudiometrie**

## Zusammenfassung

Vorgestellt, untersucht und verglichen wird ein automatisiertes Verfahren zur Reintonaudiometrie (inkl. Hochton), welches Standard-PC-Hardware benötigt und flexibel anpassbar ist. Mit dem Verfahren ist eine Tonaudiogramm-Messung gemäß DIN ISO 8253-1 möglich (ebenso wie bei der verglichenen manuellen Methode). Das Verfahren ist für Proband und Versuchsleiter einfach bedienbar. Der Zeitaufwand ist vergleichbar mit konventioneller, manueller Messung. Ergebnisse und Erfahrung in der Durchführung zeigen, dass das Verfahren für „unkomplizierte“ Hörverluste (d.h. Hörverluste, für die z.B. keine Knochenleitungsmessung oder Vertäubung wegen starker Asymmetrie nötig wäre) und nicht nur für Screening als sehr gut einsetzbar erscheint. In den bisher vorliegenden Daten ist ein kleiner systematischer Unterschied zwischen den gemessenen Schwellen nach den beiden Verfahren zu erkennen (stdev = 1 - 5dB; Test-Retest-Differenz etwas höher beim automatisierten Verfahren), dessen Ursache aus den vorhandenen Daten nicht eindeutig zu klären ist und in weiteren Messungen untersucht werden wird. Da die automatisierte Methode als Verfahren exakt gleich bleibt und reproduzierbar ist, erscheint sie auch für längere Datenerhebungen attraktiv. Es werden verschiedene Erweiterungen des Verfahrens in Ausblick gestellt.

## Einführung

Das Tonaudiogramm mit Reintönen wird als grundlegende und unverzichtbare audiologische Untersuchung zur Einschätzung des Hörvermögens eines Menschen in verschiedensten Bereichen eingesetzt. Genannt seien z.B. Screening, Hörgeräteanpassung, Diagnostik, Begutachtung, Feststellung der Eignung von Probanden für Studien. Die Anforderungen (z.B. an Genauigkeit) und der zur Verfügung stehende Zeitaufwand können dabei je nach Zweck deutlich variieren. Auch können zur Verfügung stehendes Personal und die Hardware eine Rolle spielen. Während beim Screening in kurzer Zeit eine mögliche Auffälligkeit erkannt werden soll, kann es nötig sein, eine hohe Anzahl an Frequenzen bis 16 kHz zu messen, wenn beurteilt werden soll, ob eine Versuchsperson für bestimmte psychoakustische Tests als geeignet erscheint.

Die Ursprünge manueller Verfahren gehen inzwischen rund ein Jahrhundert zurück. Bemerkenswert ist, dass automatisierte, von der Versuchsperson selbständig durchführbare Verfahren wenig zum Einsatz kommen, obwohl die technischen Möglichkeiten dazu seit Jahrzehnten zur Verfügung stünden und auch die DIN ISO 8253-1 diese mit einschließt. In Kliniken stehen meist medizinische Audiometer zur Verfügung, mit denen (manuelle) Messungen bis 8kHz möglich sind. Dazu ist geschultes Personal notwendig, welches die Messungen mit Wissen und Erfahrung durchführt. Außerhalb von Kliniken oder medizinischen Bereichen (z.B. in der Forschung, für Screening oder bei anderen Datenerhebungen) stehen in aller Regel weder kostenintensive Audiometer-Hardware noch Fachpersonal zur Verfügung. Für diese Fälle kann ein automatisiertes System auf Standardhardware von Vorteil sein. Um Vorteile und Nachteile eines automatisierten Verfahrens zu beleuchten, wurden in den hier präsentierten Studien Messungen zum einen mit konventioneller, manueller Audiometrie, zum anderen mit einem automatisierten Verfahren durchgeführt und die Ergebnisse beider Methoden verglichen. Für beide Methoden wurde der gleiche Kopfhörertyp eingesetzt.

## Messungen

Es wurden vier Reinton-Audiogramm-Messreihen mit konventioneller, manueller Audiometrie sowie mit einem selbst implementierten automatisierten Verfahren durchgeführt. Als Hardware wird ein Standard-PC-System mit hochwertiger Soundkarte und Audiometrikopfhörer verwendet. Die konventionellen Messungen wurden durch das Hörzentrum Oldenburg auf einem medizinischen Audiometer ausgeführt. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der Parameter der beiden Messmethoden.

Manuelle Messung (Hörzentrum Oldenburg)	Automatisierte Messung
ausgebildete Audiometristen	Automatisiertes Verfahren, vom Probanden eigenständig durchgeführt
klinisches Audiometer	Standard-PC-System, hochwertige Soundkarte Software-Eigenentwicklung

Audiometrie-Kopfhörer Sennheiser HDA-200

Audiometrie-Kopfhörer Sennheiser HDA-200

Tabelle 1: Übersicht über die durchgeführten Vergleichsmessungen

Das automatisierte Verfahren lehnt sich eng an die Durchführung der manuellen Messung mit ansteigendem Verfahren (wie auch in ISO 8253-1 enthalten) an: Es wird bei einem unter-schwelligem Startpegel begonnen; die anschließenden Pegel-Erhöhungen erfolgen in 5 dB-Schritten. Die Anweisung an den/die Probanden/in lautet, den Antwortknopf zu betätigen, sobald der Ton wahrnehmbar ist. Durch eine zufällige Variation der Pausenlängen zwischen den Ton-Darbietungen soll ein Rhythmus verhindert werden, der zu beabsichtigter oder unbeabsichtigter Falschantwort führen könnte. Es erfolgt eine Mehrfachmessung je Frequenz. Sobald zwei Antworten mit einer Differenz  $\leq 5$  dB vorliegen, wird dies als gültige Schwelle eingeordnet. Die durchschnittliche Messzeit (beide Ohren) beträgt 11 Minuten. Das Verfahren ist in allen Parametern flexibel an vielfältige Anforderungen z.B. bezüglich Messzeit und Genauigkeit anpassbar. Abbildung 1 zeigt den Hauptbildschirm mit der Auswahlmöglichkeit der Hauptparameter sowie den Bildschirm, den der Proband während der Messung sieht (nicht zwingend erforderlich).

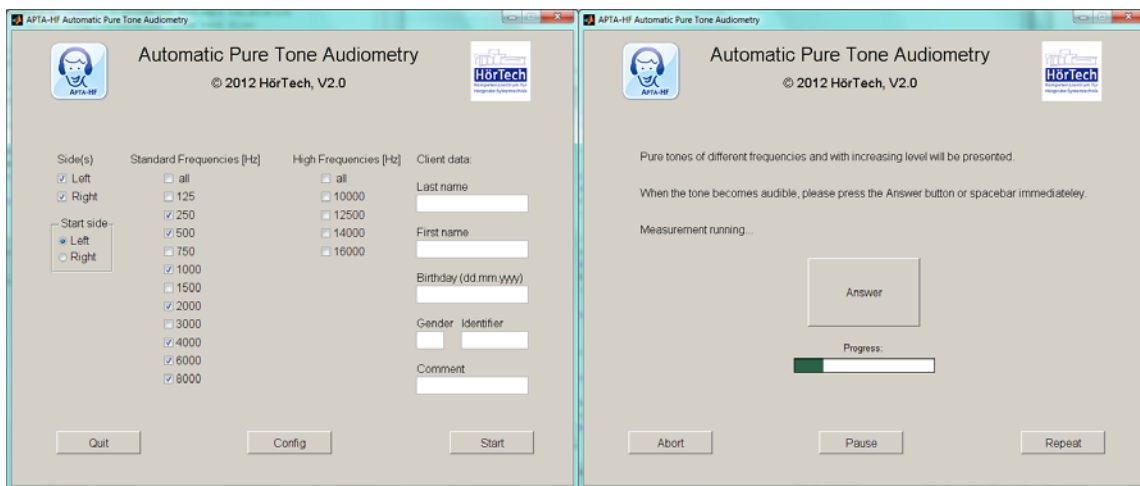


Abbildung 1, links: Bildschirm-Ansicht der Mess-Software zum Vornehmen der Einstellungen  
rechts: Bildschirmansicht die der Proband während der Messung sieht (falls gezeigt)

## Messergebnisse

Tabelle 2 zeigt in der Übersicht alle vier Datensätze, die erhoben wurden und hier getrennt aufgeschlüsselt sind:

Datensatz	Probanden	Alter	Frequenzen	Datenpunkte	Schwellendifferenzen (manuell - automatisch)
1	9 NH	25 - 48	125 Hz ... 8 kHz	198	stdev = $\pm 3.8$ dB avg dev = - 3.3 dB
2	15 NH	22 - 45 ( $\phi=30$ )	125 Hz ... 8 kHz	330	stdev = $\pm 4.7$ dB avg dev = - 3.6 dB
3	15 NH & SH	24-74 ( $\phi=53$ )	125 Hz ... 8kHz	330	stdev = $\pm 6.1$ dB avg dev = - 4.6 dB
4	14 NH	20-26 ( $\phi=24$ )	125 Hz ... 8kHz	476	stdev = $\pm 4.1$ dB avg dev = - 1.2 dB

Tabelle 2: Übersicht der Messergebnisse bezüglich des Vergleichs beider Messverfahren (NH = Normalhörende, SH = Schwerhörende; stdev = Standardabweichung der (absoluten) Differenzen, avg dev = mittlere Differenz)

In der mittleren Differenz (in der Tabelle: avg dev) misst das automatisierte Verfahren in allen Datensätzen leicht höhere Schwellen (je nach Datensatz von 1,2 bis 4,6 dB). Die Ursache für diese systematische Abweichung ist unklar. Es stellt sich die Frage, ob eine Frequenzabhängigkeit vorliegt. Dazu ist in Abbildung 3 für beide Seiten getrennt und nach Frequenz aufgeschlüsselt die mittlere Abweichung dargestellt. Eine klare Frequenzabhängigkeit ist nicht zu erkennen.

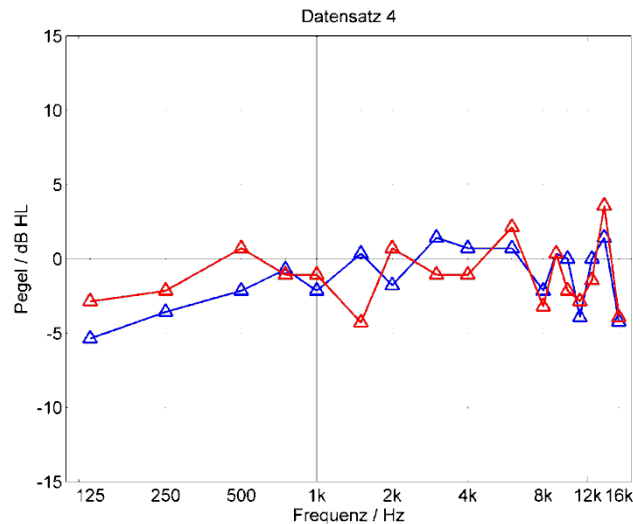


Abbildung 3: Mittlere Abweichungen in Datensatz 4, aufgeschlüsselt nach allen Einzelfrequenzen. (rot: rechts, blau: links)

Als mögliche Gründe für die Abweichungen kommen in Frage:

1. Kalibrierung
2. Reaktionszeit der Probanden bzw. Zeit bis zur Erhöhung auf den nächsten Pegelschritt
3. Instruktion
4. Bias durch bereits vorliegendes Audiogramm bei manueller Messung (Vorwissen)
5. Verschiedene Strategien einzelner Audiometristen
6. Erfahrung und intuitives Wissen von Audiometristen

Die Kalibrierung wurde überprüft und liegt im engen Rahmen der Messgenauigkeit. Durch das mechanische Aufsetzen der zwei Kopfhörer können für wenige einzelne Frequenzen Abweichungen bis zu 2 dB entstehen, die aber über alle Frequenzen ein Mittel von 0,1 dB ergeben. Die systematischen Abweichungen können demnach dadurch nicht erklärt werden. Alle weiteren o.g. Gründe können anhand der vorhandenen Daten und Informationen nicht getrennt als mögliche Ursache untersucht werden. Weitere Messungen zur Abklärung der Ursachen werden daher derzeit durchgeführt (s.u.).

### Messergebnisse Test-Retest

Für Datensatz 1 liegen Test-Retest-Daten vor. Die Test-Retest-Standardabweichung (Tabelle 3) ist in diesen Daten niedrig und liegt innerhalb der Pegelintervalle von 5dB. Sie ist leicht höher für das automatisierte Verfahren (4,5 dB gegenüber 2,9 dB).

Da in diesen Messungen bei dem manuellen Verfahren Vorwissen vorhanden war (ein meist vorhandenes, älteres Audiogramm wurde auf dem Bildschirm der Audiometersteuerung angezeigt), können diese Werte aus diesen Daten nur bedingt verglichen werden. Offen ist, ob außerdem eine Abhängigkeit von der Probandengruppe bestehen kann (z.B. durch bessere Konzentration bei jüngeren Probanden).

Datensatz	Probanden	Alter	Frequenzen	Datenpunkte	Test-Retest manuell	Test-Retest automatisiert
1	9 NH	25 - 48	125Hz ... 8kHz	2 x 198	stdev = ±2.9 dB 3.3% > 5 dB	stdev = ±4.5 dB 14.1% > 5 dB

Tabelle 3: Test-Retest Betrachtung für Datensatz 1

### Diskussion und Ausblick

Auch wenn die Abweichungen im Vergleich von automatisierten und manuellen Verfahren gering sind, erscheint eine weitere Untersuchung der beobachteten systematischen Abweichungen als interessant. Zur Zeit sind Untersuchungen zu verschiedenen Einflüssen der in den hier dargestellten Daten beobachteten Abweichungen in Arbeit: Untersucht wird der Einfluss der Reaktionszeit/Anstiegszeiten, die Tagesform der Probanden sowie etwaige individuelle Strategien von verschiedenen Audiometristen.

Es wird darauf geachtet, alle Unterschiede zu unterbinden, die einen Einfluss auf eine systematische Abweichung haben könnten. Sollte auch in diesen Messungen noch eine systematische Abweichung auftauchen, sollte es möglich sein, einzelne Ursachen eingrenzen zu können.

Zukünftige Fragestellungen und Erweiterungen können in Ausblick gestellt werden. Die Implementation von Vertäubung sowie die Messung von Knochenleitungsschwellen wird in Erwägung gezogen. Eine andere Erweiterung könnte die Messung von MCL und UCL (siehe auch Kreikemeier 2013) sein. Die Messung mit hochgradig Schwerhörenden verlangt weitere Anforderungen, wenn mit hohen Pegeln nahe der UCL gemessen wird. Es ist derzeit noch offen, ob ein automatisiertes Verfahren grundsätzlich auch für diesen Fall geeignet sein kann. Die Messung mit Kindern erfordert wiederum andere Anpassungen, die auch die pädagogische Audiologie mit einzubeziehen hat. Möglicherweise sind hier AFC-Verfahren mit einer ansprechenden, spielerischen Oberfläche sinnvoll. Der Vergleich zu anderen Verfahren wie AFC wäre interessant, um auch Details der genauen Antwort-Verteilung bzw. psychometrischen Funktion zu betrachten (siehe z.B. Lecluyes & Meddis 2009).

## Danksagung

Der Autor dankt dem Hörzentrum Oldenburg (insbes. Dr. M. Schulte, Dr. M. Vormann, A. Schröck); dem Fraunhofer IIS (Dr. A. Silzle) sowie der Firma Auritec (für das freundliche Zur-Verfügung-Stellen von Messdaten aus Messungen zum AT1350c)

## Literatur

DIN EN ISO 8253-1:2010. Akustik - Audiometrische Prüfverfahren - Teil 1: Grundlegende Verfahren der Luft- und Knochenleitungs-Schwellenaudiometrie mit reinen Tönen. Geneva: International Standards Organisation.

Kreikemeier, S., Margolf-Hackl, S., Leifholz, M., Bisitz, T. Kießling, J. Vergleich unterschiedlicher Methoden zur Bestimmung der Hör- und Unbehaglichkeitsschwelle und deren Test-Retest-Beständigkeit. 16. DGA Jahrestagung, Rostock, 27.2.-2.3.2013.

Lecluyse, W., and Meddis, R. (2009). "A simple single-interval adaptive procedure for estimating thresholds in normal and impaired listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*. 126, 2570-2579. thresholds in