

Über ein Standard-Manikin

Mahlon D. Burkhard

Zusammenfassung Die Verwendung eines Manikin zur Messung von Hörgeräte-Eigenschaften unter Bedingungen, wie sie beim Tragen eines Hörgerätes in der Praxis vorherrschen, ist weit verbreitet. Dies führte dazu, daß vom IEC Technical Committee 29C ein Bericht mit einer Beschreibung des Manikin hinsichtlich seiner akustischen Besonderheiten und Abmessungen verfaßt wurde. Eine amerikanische Norm (American National Standard), die in ähnlicher Weise ein solches Manikin beschreibt, steht kurz vor ihrer Annahme. Beide Normungsverbände werden auch demnächst Unterlagen aufnehmen, in denen vereinheitlichte Verfahren für Hörgerätemessungen an solchen Manikins beschrieben sind.

In der vorliegenden Abhandlung werden die akustischen und mechanischen Grunddaten für die Spezifikation des Manikin und ein Bericht über eine Testauswertung der Spezifikation überprüft. Die akustischen Daten beruhen auf Messungen, die in verschiedenen Labors vorgenommen wurden. Die mechanische Beschreibung fußt auf genauen geometrischen Werten oder Abmessungen von einem der Manikins. Um feststellen zu können, ob die mechanische Beschreibung ausreichend war, bestand einer der letzten Schritte darin, ein Manikin aufgrund der Beschreibung herzustellen und seine akustischen Eigenschaften mit denen eines Original-Manikins und mit den veröffentlichten Daten zu vergleichen.

Vorgeschichte

Die Anfänge dieses Manikins zur Messung von Hörgeräteigenschaften unter praxisgleichen Bedingungen gehen auf Ausführungen von *Hugh Knowles* [1] im Jahre 1958 zurück. Er wies damals darauf hin, daß die technischen Entwicklungen die Konstruktion von kleinen Hörgeräten erlauben würden, die am Kopf in Ohrnähe getragen werden könnten. Dadurch würden sie kosmetisch weniger auffallen und dem Benutzer deutlich verbesserte akustische Eigenschaften im Vergleich zu den damals verfügbaren, am Körper getragenen Geräten bieten. *Knowles* erkannte bereits damals, daß das

Zu Ehren von Hugh S. Knowles
zu seinem 80. Geburtstag

übliche Verfahren, den Frequenzgang im freien Schallfeld mit einem 2 cm^3 -Kuppler zu messen, die eigentliche Entwicklung und Anwendung dieser Hörgerätypen beeinträchtigen würde, weil weder der Eingang noch der Ausgang dem entsprach, was im tatsächlichen Gebrauch bestand. Die Abhängigkeit des Schalldruckes am Hörgerätemikrofon von der Schallbeugung um den Kopf und Körper, der Ausgleich für die stehende Welle in einem Ohr, das von einem Ohrpaßstück verschlossen ist und die Auswirkung der Trommelfellimpedanz auf den Ausgangsschalldruck – alle

Industrial Research Products, Inc., A Knowles Company, Elk Grove Village, IL USA

History

This manikin for measuring the characteristics of hearing aids under simulated in-situ conditions can be traced to comments in 1958 by *Hugh Knowles* [1]. He pointed out that technological developments would permit small hearing aids to be designed that could be placed on the head near the ear, that would be cosmetically more acceptable and that could offer opportunity for greatly acoustical benefit to the wearer as compared to the then available body aids. He further foresaw that the then common method of measuring response in a free-field with a 2 cm^3 coupler would

In honor of Hugh S. Knowles
on his 80th birthday

slow proper development and application of these hearing aid types because neither the input nor the output was as it existed in actual use. The dependence of sound pressure at the hearing aid microphone on sound diffraction around the head and body, compensation for the standing wave in an ear that is occluded by an ear mould and the effect of ear drum impedance on output sound pressure, all of which depend on frequency, should be accounted for both in the fitting and in the measurement of a hearing aid. A manikin with as many of the acoustically important features of

Industrial Research Products, Inc., A Knowles Company, Elk Grove Village, IL USA

On a Standard Manikin

Summary *A manikin is accepted and used in many parts of the world for measurement of hearing aid characteristics under conditions that simulate their being worn by a person. This has resulted in a report by IEC Technical committee 29C, that describes the manikin acoustically and dimensionally. An American National Standard that similarly specifies such a manikin is in the process of adoption. Both standardizing organizations are also close to adoption of documents describing uniform procedures for hearing aid measurements on these manikins.*

This paper will review the acoustical and mechanical background data for the specification of the manikin and report on a test evaluation of the specification. Acoustical data were based on measurements in several laboratories. The mechanical description was based on careful geometrical or dimensional data on one of the manikins. One of the last steps in ascertaining the adequacy of the mechanical description was to construct a manikin from the description and to compare its acoustical characteristics with those of an original manikin and the published data.

diese Faktoren hängen wiederum von der Frequenz ab – sollten sowohl bei der Anpassung als auch bei der Messung eines Hörgerätes entsprechend berücksichtigt werden. Eine Manikin mit möglichst vielen akustisch bedeutsamen Eigenschaften eines Erwachsenen stellt eines der Verfahren dar, um die Meßbedingungen [2] herzustellen. Die Autoren der ersten Normen für Hörgerätemessungen erkannten, daß ein Korrekturfaktor erwünscht sei, der die Daten für den Frequenzverlauf im freien Feld in einen Gegenwert für in situ verwandeln würde, sofern entsprechende Hinweise im IEC 118 und in ANSI S3.3 enthalten wären. Das Verfahren des Korrekturfaktors unterliegt aus verschiedenen Gründen einer beträchtlich höheren Unsicherheit, wobei die große Anzahl von Hörgerätekonstruktionen, der Bereich der Schallortungen sowie die Umwelt als die wichtigsten Ursachen anzusehen sind.

Akustische Spezifikation

Burkhard und Sachs [2] sowie Maxwell und Burkhard [3] berichteten über verschiedene Wiedergabeparameter für das KEMAR-Manikin unter den gegebenen Laborbedingungen. Insbesondere waren sie in der Lage, die Mikrofonausgangsspannungen am linken und rechten Ohr als eine Funktion der Frequenz für konstante Freifeld-Schalldrücke, vier Richtungen der Schallquellen-Ortung um das Manikin und einen Quellenabstand von 1 m vorzuführen. Die Ohren wurden mit vierteiligen Simulatoren nach Zwislocki verschlossen, wobei von diesen Vorrichtungen reger Gebrauch gemacht wurde. Der schalltote Raum war verhältnismäßig klein, er maß 2,44 m x 2,44 m x 2,44 m innerhalb der Keilspitzen.

an adult human as possibly is one method of providing the measurement conditions [2]. Writers of the first standards for hearing aid measurements foresaw the desirability of correction factor that would convert the free field response data to an in-situ equivalent when they included cautionary clauses in IEC 118 and in ANSI S3.3. The correction factor method is subject to considerably more uncertainty for a variety of reasons, the most important being the large number of hearing aid designs and the range of sound locations and environments that could be of interest.

Acoustical specification

Burkhard and Sachs [2] and Maxwell and Burkhard [3] reported several response parameters for the KEMAR manikin in the laboratory conditions available to them. Specifically, they showed left and right ear microphone output voltages as a function of frequency for constant free field sound pressures, four source location directions around the manikin and a source distance of one meter. The ears were fitted with Zwislocki type "four-branch" occluded ear simulators that are used widely. The anechoic room was relatively small, being 2.44 m x 2.44 m x 2.44 m inside the wedge tips.

Subsequently, data from several laboratories were collected by Lyregaard [4] in connection with the work of WG-13 of SC29C and these became the basis of the acoustical specification in the IEC Report. Anechoic rooms enough to accommodate a 2 meter distance between the source and manikin were typical environments for the new data. Also the new data were with a manikin that was modified to accept an ear simulator

Später wurden Daten von verschiedenen Labors von *Lyregaard* [4] im Zusammenhang mit der Arbeit von WG-13 der SC29C gesammelt, und diese bildeten die Grundlage der akustischen Spezifikation im IEC-Bericht. Schalltote Räume, die groß genug waren, um einen 2 m-Abstand zwischen der Schallquelle und dem Manikin zu gestatten, bildeten typische Umweltbedingungen für die neuen Daten. Diese galten auch für ein Manikin, das abgeändert wurde, um einen Ohrsimulator gemäß IEC 711 aufzunehmen. Die damit erzielte Freifeldwiedergabe ist in den Tabellen I und II unter den Säulen »Prop.« enthalten.

Mechanische und geometrische Spezifikation

Die von *Burkhard* und *Sachs* [2] verfaßte Abhandlung gibt eine Anzahl von Abmessungen für das Manikin, die sich an die in anthropometrischen Studien des menschlichen Körpers angegebenen Werte anlehnen. Die Abmessungen sind jedoch nicht so umfassend, wie es für eine Nachbildung nach genormten Werten wünschenswert wäre. Deshalb lieferten *Maxwell* und *Burkhard* [5] einen Satz Querschnittszeichnungen oder Umrisse, die Normunterlagen beigegeben werden sollten. Man ging dabei davon aus, daß das Manikin anhand dieser Querschnitte nach den in den Unterlagen

constructed according to IEC 711. The resulting free field response is included in Tables I and II, under columns labelled "Prop.".

Mechanical and geometrical specification

The *Burkhard* and *Sachs* [2] paper gives a number of dimensions for the manikin that relate to measures commonly reported in anthropometric studies of the human body; but they are not as complete as might be desired for a replication to produce standardized measurements. Accordingly, *Maxwell* and *Burkhard* [5] supplied a set of cross-section drawings or contours to be included in standards documents. It was anticipated that the manikin may be duplicated by assembling these cross-sections according to the instructions in the documents. This replication of the manikin from cross-sections has been done in our laboratory and the procedure and results are given later in this paper. First, the method for producing the cross-sections will be described.

It was decided that the dimensions of the head and ears in the vicinity of the ear opening should be relatively more precise than at more remote locations. Also, the ear openings in the reference plane of the manikin head would be the reference for locating the various

Tabelle 1: Wiedergabekurve im freien Feld des Test-Manikins und die vorgeschlagenen Kurven und Toleranzen

| FREQUENCY | 0° LEFT | 0° RIGHT | 0° PROP. | 270° LEFT (Ear Toward Source) | 90° RIGHT | 90° PROP. | 180° LEFT | 180° RIGHT | 180° PROP. | 90° LEFT (Ear away from Source) | 270° RIGHT | 270° PROP. | TOLERANCES |
|-----------|------------|-------------|-------------|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------------------------------|---------------|---------------|------------|
| 100 | -0.5 | -0.5 | 0.0 | 1.0 | 1.5 | 0.0 | 0.0 | -0.5 | 0.0 | -1.5 | -1.5 | 0.0 | +1.3 |
| 125 | -0.5 | -0.5 | 0.0 | 1.0 | 1.0 | 0.5 | 0.0 | -0.5 | 0.0 | -1.0 | -1.5 | 0.0 | +1.3 |
| 160 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 2.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | -0.5 | -1.0 | -1.0 | 0.0 | +1.3 |
| 200 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | -0.5 | 0.0 | -0.5 | -1.5 | -1.5 | 0.0 | +1.3 |
| 250 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | -1.0 | -1.5 | 0.0 | +1.3 |
| 315 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 4.0 | 3.5 | 3.0 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | -0.5 | -1.0 | 0.0 | +1.3 |
| 400 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 4.5 | 4.0 | 4.0 | 0.5 | 0.5 | 1.0 | 0.0 | -0.5 | 0.5 | +1.8 |
| 500 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 6.0 | 6.0 | 5.5 | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 0.5 | 0.0 | 1.0 | +1.8 |
| 630 | 3.0 | 2.5 | 2.5 | 7.0 | 7.5 | 7.0 | 2.0 | 2.5 | 2.5 | 1.5 | 1.0 | 2.0 | +1.8 |
| 800 | 3.5 | 3.0 | 3.5 | 8.0 | 8.0 | 7.5 | 3.5 | 4.0 | 4.0 | 2.0 | 1.5 | 2.5 | +1.8 |
| 1000 | 4.5 | 3.5 | 3.5 | 8.0 | 8.0 | 7.5 | 4.5 | 4.5 | 5.0 | 2.0 | 2.0 | 2.5 | +1.8 |
| 1250 | 4.0 | 3.5 | 3.5 | 9.0 | 9.0 | 8.5 | 6.0 | 6.0 | 6.5 | 2.5 | 2.0 | 3.0 | +1.8 |
| 1600 | 4.0 | 5.5 | 5.0 | 9.5 | 9.5 | 9.5 | 7.0 | 6.5 | 7.0 | 4.5 | 4.0 | 4.5 | +2.8 |
| 2000 | 12.0 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 11.5 | 12.0 | 9.0 | 8.5 | 10.0 | 7.0 | 6.0 | 6.5 | +2.8 |
| 2500 | 18.5 | 18.0 | 18.5 | 17.0 | 17.0 | 17.0 | 13.5 | 14.0 | 14.0 | 9.5 | 8.5 | 9.0 | +2.8 |
| 3150 | 17.5 | 16.5 | 15.5 | 17.0 | 18.0 | 17.0 | 13.0 | 14.5 | 13.0 | 7.0 | 8.5 | 7.5 | +2.8 |
| 4000 | 13.5 | 12.5 | 13.0 | 14.0 | 14.0 | 12.5 | 10.0 | 10.0 | 10.5 | 0.0 | 1.0 | | +2.8 |
| 5000 | 12.5 | 12.0 | 11.0 | 15.5 | 16.5 | 15.5 | 7.5 | 7.0 | 7.0 | -6.5 | -7.0 | | +2.8 |
| 6300 | 8.0 | 6.5 | 5.0 | 17.0 | 18.5 | 17.0 | 2.5 | 2.5 | 0.5 | | | | +5.8 |
| 8000 | 4.5 | 0.5 | 2.0 | 17.0 | 17.5 | 15.0 | -4.0 | -2.5 | -1.5 | | | | +8.0 |
| 10000 | 3.5 | 10.0 | 7.0 | 15.0 | 13.5 | 3.0 | 5.0 | -6.0 | -6.0 | | | | +8.0 |

Table 1: Free field responses of Test Manikin and Proposed responses and tolerances

Prop. = Die im IEC-Normenentwurf vorgeschlagenen Werte

Prop. = Proposed values in the IEC draft document.

gegebenen Anleitungen nachgebildet werden konnte. Eine solche Anfertigung des Manikins anhand der Querschnitte wurde in unserem Labor vorgenommen; das Verfahren und die Ergebnisse werden später in dieser Abhandlung beschrieben. Zunächst soll das Verfahren für die Herstellung der Querschnitte näher betrachtet werden.

Es wurde beschlossen, die Abmessungen des Kopfes und der Ohren in der Nähe der Ohröffnungen vergleichsweise genauer einzuhalten als an entfernteren Körperstellen. Ferner sollten die Ohröffnungen in der Bezugsebene des Manikin-Kopfes als Bezugsort für das Anlegen der verschiedenen Querschnitte herangezogen werden. (Die Bezugsebene stellt die »Horizontalebene« im Manikin dar. Sie enthält die Linien zwischen den Ohröffnungen und liegt senkrecht zur vertikalen Achse oder zur Rotationsachse.) Nachbildungen der rechten Ohrmuschel des Manikins wurden aus Epoxyharz mittels Formen angefertigt, die man für das Gummiohr verwendete. Diese wurden in 2 mm dicke, parallel zur Bezugsebene verlaufende Schnitte mittels einer Säge mit einer Zahntiefe von 2 mm gesägt. Auf diese Weise ergibt jede Oberfläche einen Querschnitt von 2 mm vom anliegenden Stück und der anderen Oberfläche des gleichen Stückes. Jeder Querschnitt ist durch eine Zahl gekennzeichnet, die angibt, um wieviel Millimeter

cross-sections. (The reference plane is a plane describing "horizontal" in the manikin. It contains the line between the ear openings and is perpendicular to the vertical or axis of rotation.) Epoxy copies of the manikin right pinna were made from the molds used for the rubber ear. These were sliced into sections 2 mm thick parallel to the reference plane with a saw having a 2 mm kerf. Thus, each surface gives a cross-section 2 mm from the adjacent piece and the other surface of the same piece. Each cross-section is identified by a number indicating the number of mm it is to be located above, +, or below, -, the reference plane.

A plotting scheme provided head and torso cross-sections. The manikin was placed on a rotatable stand. A vertical rod was positioned parallel to the axis of rotation of the manikin and attached to a table that could move freely only toward and away from the manikin. A stylus or contactor could be attached to the vertical rod at any position along its length. By maintaining the stylus in contact with the manikin as it was rotated, the rod would move "in and out". This motion was plotted on a plotting surface parallel to the reference plane and attached to the top of the manikin head. A pen directly above the tip of the contactor was also attached to the rod so they moved together. Cross-sections of the head were plotted this way at vertical

Tabelle 2: Freifeldwiedergabekurven des Test-Manikins bei DB-067-Ohr ohne Ohrmuschel rechts und links wie vorgeschlagen

| FREQUENCY | 0° | 0° | 0° | 270° | 90° | 90° | 180° | 180° | 180° | 90° | 270° | 270° |
|-----------|------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|
| | LEFT | RIGHT | PROP. | LEFT (Ear Toward Source) | RIGHT | PROP. | LEFT | RIGHT | PROP. | LEFT (Ear Away from Source) | RIGHT | PROP. |
| 100 | -0.5 | -0.5 | 0.0 | 1.5 | 1.5 | 0.0 | 0.0 | -0.5 | 0.0 | -1.5 | -1.5 | 0.0 |
| 125 | -0.5 | -0.5 | 0.0 | 1.5 | 1.0 | 0.5 | 0.0 | -0.5 | 0.0 | -1.0 | -1.0 | 0.0 |
| 160 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 1.5 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1.0 | -1.5 | 0.0 |
| 200 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1.0 | -1.5 | 0.0 |
| 250 | 0.5 | 0.0 | 0.5 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1.0 | -1.5 | 0.0 |
| 315 | 0.5 | 0.5 | 1.0 | 3.5 | 3.5 | 3.0 | 0.5 | 0.0 | 0.5 | -0.5 | -1.0 | 0.0 |
| 400 | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 4.0 | 4.5 | 4.0 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | -0.5 | -1.0 | 0.5 |
| 500 | 2.0 | 1.5 | 2.0 | 5.5 | 5.5 | 5.0 | 1.0 | 1.5 | 1.0 | 0.5 | 0.0 | 1.0 |
| 630 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 7.0 | 7.0 | 6.5 | 2.0 | 2.5 | 2.5 | 1.0 | 1.0 | 1.5 |
| 800 | 2.5 | 2.5 | 3.0 | 8.0 | 8.0 | 7.0 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 1.0 | 1.0 | 2.0 |
| 1000 | 2.5 | 2.5 | 3.0 | 7.5 | 8.0 | 7.5 | 4.0 | 4.0 | 4.5 | 1.0 | 0.5 | 2.0 |
| 1250 | 2.0 | 1.5 | 2.5 | 9.0 | 8.5 | 8.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 1.0 | 1.0 | 1.5 |
| 1600 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 4.5 | 4.5 | 5.0 | 2.5 | 2.0 | 2.0 |
| 2000 | 7.5 | 7.5 | 8.0 | 11.0 | 10.5 | 10.5 | 6.0 | 6.5 | 7.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 2500 | 12.0 | 11.5 | 12.0 | 15.0 | 14.5 | 14.5 | 8.5 | 9.0 | 9.5 | 3.0 | 2.5 | 2.0 |
| 3150 | 13.0 | 12.5 | 12.0 | 20.0 | 20.0 | 18.0 | 12.0 | 12.5 | 12.5 | 3.0 | 2.5 | 2.0 |
| 4000 | 7.0 | 7.0 | 7.0 | 18.0 | 16.5 | 17.0 | 9.0 | 8.5 | 9.5 | | | |
| 5000 | 6.0 | 6.0 | 6.5 | 11.5 | 9.5 | 8.5 | 4.5 | 5.0 | 6.5 | | | |
| 6300 | 2.0 | 0.0 | 0.5 | 10.5 | 11.5 | 11.5 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | | | |
| 8000 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 8.5 | 10.5 | 9.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | | | |
| 10000 | 8.0 | 8.0 | 7.5 | 16.0 | 18.0 | 18.5 | 8.5 | 8.0 | 9.0 | | | |

Table 2: Free field responses of test manikin with DB-067 pinnaless ear on right on left sides and as proposed

Prop. = Die im IEC-Normenentwurf vorgeschlagenen Werte

Prop. = Proposed values in the IEC draft document.

er über der Bezugsebene (+) oder unterhalb dieser Ebene (-) anzuordnen ist.

Eine Zeichenvorrichtung lieferte die Querschnitte für Kopf und Torso. Das Manikin wurde auf einem Drehstativ angeordnet. Eine senkrechte Stange wurde parallel zur Drehachse des Manikins angeordnet und an einem Tisch befestigt, der sich lediglich zum Manikin hin oder davon weg frei bewegen konnte. Ein Schreiber oder ein Kontaktstift können an der vertikalen Stange in jeder Stellung über die gesamte Länge des Stabes befestigt werden. Dadurch, daß der Schreiber mit dem sich drehenden Manikin in Kontakt bleibt, bewegt sich die Stange vorwärts und rückwärts. Diese Bewegung wurde auf einer Schreibfläche, die parallel zur Bezugsebene lag und oben am Kopf des Manikins befestigt war, aufgezeichnet. Eine Feder unmittelbar oberhalb der Spitze des Kontaktstiftes war ebenfalls an der Stange befestigt, so daß sie sich zusammen bewegten. Querschnitte des Kopfes wurden auf diese Weise an senkrechten Positionen des Schreibers mit einem Abstand von 10 mm über einen Bereich von ± 130 mm im Hinblick auf die Bezugsebene aufgenommen. Mit Ausnahme des Hals-/Schulterbereichs, in welchem die Abmessungen über eine kurze Entfernung sehr starken Änderungen unterworfen sind, erhöht sich der Abstand der Querschnitte des Torsos von 20 mm an der Schulter auf 50 mm am unteren Torso. Die Querschnitte des Torsos werden auch nach ihrer Anordnung im Verhältnis zur Bezugsebene bezeichnet.

Wie in der Wirklichkeit, stellte der Bildhauer, der das Original-Manikin anfertigte, keine vollkommen symmetrischen Körper und Kopf her. Es war jedoch erwünscht, daß eine Beschreibung mit einer genormten Symmetrie vorlag. Dies ist verhältnismäßig einfach bei Querschnitten der Ohrmuschel; diese würden von links nach rechts verkehrt sein. Für den Kopf und den Torso wurde jedoch ein Durchschnitt der beiden Seiten im Verhältnis zur Symmetrieebene für jede Aufnahme des Querschnittes genommen. Die Symmetrieebene teilt die linke und rechte Seite des Manikins in Spiegelbildhälften. Bei dieser Symmetrie war lediglich die rechte Hälfte eines Querschnitts (Ansicht von oben) erforderlich. Toleranzen bei den Querschnitten berücksichtigen die geringen Abweichungen von der Symmetrie in den Bezugszeichnungen des Manikins. Über alle Querschnitte wurde ein Maßraster so gelegt, daß die Beziehungen der Abmessungen zueinander ungeachtet der Unsicherheiten des Druck- und Reproduzierverfahrens nachvollzogen werden können.

Rekonstruktion aus Querschnitten

Die Überprüfung, ob eine zuverlässige geometrische und akustische Beschreibung vorliegt, bestand darin,

positions of the stylus 10 mm apart over the range of ± 130 mm relative to the reference plane. Except for the neck-shoulder region where dimensions change very much over a short distance, the spacing of the cross-sections of the torso increases from 20 mm at the shoulder to 50 mm at the bottom of the torso. The cross-sections of the torso are also designated by their location relative to the reference plane.

As is the case in actual life with human beings, the sculptor who rendered the original manikin did not produce a perfectly symmetrical body and head. It was desirable, however, to provide a description having symmetry in a standard. This is relatively easy in the case of the pinna cross sections; they would be reversed left to right. For the head and torso, however, an average of the two sides relative to the plane of symmetry was produced for each cross section plot. The plane of symmetry divides the left and right portions of the manikin into mirror image halves. With this symmetrization, only the right half of a cross-section, top view, was needed. Tolerances for the cross-sections allow for the small deviations from symmetry in the reference manikin plots. All of the cross-sections are overlaid with a dimension grid so that dimensional relationships can be duplicated regardless of the uncertainties of printing and reproduction processes.

Reconstruction from cross-sections

The test of whether a consistent geometrical and acoustical description exists was to use the description to build and test a manikin. This was done with quite satisfactory results in the following way.

The head and torso cross-sections were drawn to correct scale using the dimension grids included with the cross-sections. These were placed on 1/8 inch (3.2 mm) thick hard board which was then cut to the cross-section shape. Holes were drilled in them for microphone cables and for threaded rods. Nuts on the threaded rods were used to adjust the relative positions of the cross-section pieces. Because modeling clay was to fill the space and provide a smooth surface, a dam of corrugated paper was first cemented between the cross-sections near their perimeter. This made a very rigid structure. Fig. 1, shows the structure at this stage. The modeling clay was applied next and the resulting manikin is shown in Fig. 2.

Cross-sections of the pinnae, one set each for right and left, were drawn on .013 inch (.33 mm) thick Mylar plastic and cut to cross section shape. These were cemented together with 1.6 mm thick aluminium spacers that with the cement layers resulted in nominal 2 mm spacings. The space between the cross-sections was then carefully filled with thixotropic Epoxy



Abb. 1: Querschnitte von Torso und Kopf eines Test-Manikins mit Wellpapiereinlagen.

Fig. 1: Test manikin torso and head cross-sections with corrugated paper between.

daß diese zur Herstellung und Prüfung eines Manikins herangezogen wurde. Dies ergab mit dem folgenden Verfahren recht zufriedenstellende Ergebnisse. Die Querschnitte des Kopfes und des Torsos wurden genau maßgerecht aufgezeichnet, wobei man die Abmessungsraster, die den Querschnitten beigegeben waren, verwendete. Diese wurden auf ein 3,2 mm (1/8 Inch) starkes, hartes Brett gelegt, aus dem man dann die durch die Querschnitte vorgegebene Form herauschnitt. Dann wurden Löcher für die Mikrofonkabel und für die mit einem Gewinde versehenen Stäbe gebohrt. An den mit einem Gewinde versehenen Stäben wurden Muttern verwendet, um die entsprechenden Positionen der Querschnittstücke anzupassen. Da Modellierten verwendet wird, um den Raum zu füllen und um eine glatte Oberfläche zu erhalten, wurde zunächst zwischen den Querschnitten in der Nähe ihres Umfanges ein Damm aus Wellpapier eingeklebt. Auf diese Weise erzielte man eine sehr feste Struktur. In Abb. 1 wird diese Stufe der Herstellung dargestellt. Anschließend folgte das Modellieren mit Ton, das dabei entstehende Manikin wird in Abb. 2 gezeigt.

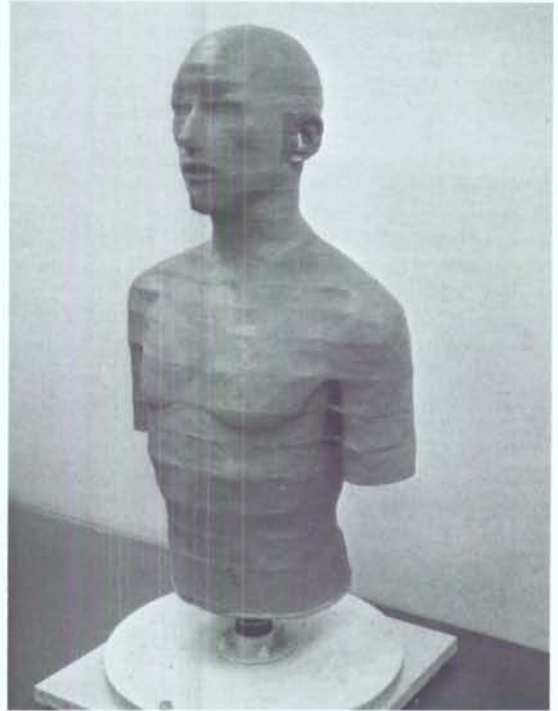


Abb. 2: Torso und Kopf eines Test-Manikins nach Bearbeitung mit Modellierton.

Fig. 2: Test manikin torso and head after modelling clay was applied.

(Fig. 3). The last step was to drill the ear canal opening from the back side so it could be attached to the ear canal extension and ear simulator in the manikin head.

An aluminium box was built for the inside of the head to which the ear simulator and ear canal extension could be attached. The cross-section at 4 cm above the ear was a convenient location for opening access to the head interior.

Acoustical Tests

For convenience, the manikin described and constructed for this evaluation will be called the "test manikin" and the reference or KEMAR[®] manikin the "production manikin". Three comparisons will be presented: (1) free field response of the test manikin and the values adopted in IEC documents, (2) free field response of the test manikin and a production manikin and (3) the response of the test manikin and a production manikin with "pinnaless" ear openings. Comparisons (2) and (3) should show small differences since they are most alike in test conditions. The pinnaless ear

Querschnitte der Ohrmuscheln (rechts und links jeweils ein Satz) wurden auf 0,33 mm starken Mylar-Plastikmaterial aufgezeichnet und dann in der vorgegebenen Form herausgeschnitten. Diese wurden dann zusammen mit 1,6 mm starken Aluminiumzwischenlagen zusammengeklebt, was dann mit den Klebeschichten Abstände von nominell 2 mm ergab. Der Raum zwischen den Querschnitten wurde dann mit thixotropem Epoxyharz (Abb. 3) gefüllt. Schließlich wurde von der Rückseite die Gehörkanalöffnung gebohrt, so daß sie an der Gehörkanalverlängerung und am Ohrsimulator am Kopf des Manikins angebracht werden konnte.

Dann wurde für den Kopf innen ein Aluminiumkästchen angefertigt, an welchem der Ohrsimulator und die Gehörgangsverlängerung befestigt werden konnten. Der Querschnitt 4 cm oberhalb des Ohrs eignete sich bequem als Zugang zum Kopfinnenen.

Akustische Tests

Aus Gründen der Zweckmäßigkeit wird das beschriebene und hergestellte Manikin für diese Beurteilung als »Test-Manikin« bezeichnet und das Bezugs- oder KEMAR®-Manikin als »Herstell-Manikin«. Es wurden drei Vergleiche durchgeführt: [1] Freifeldwiedergabe des Test-Manikins und die in den IEC-Unterlagen aufgenommenen Werte, [2] Freifeldwiedergabe des Test-Manikins und eines Herstell-Manikins und [3] die Wiedergabe des Test-Manikins und eines Herstell-Manikins mit Ohröffnungen ohne Ohrmuscheln. Vergleiche

refers to a test condition devised to remove the effect of the pinnae from the response of the manikin to a sound field. A wide angle conical opening to the ear canal in the manikin head replaces the pinna, thus leaving only the effect of diffraction of the sound around the head and torso and the standing wave in the ear canal.

The ears of the manikins were fitted with Industrial Research Products Inc. DB-100 occluded ear simulators, the 4-branch type; DB-050 ear canal extensions and B & K 4134 condenser microphones.

Table II compares the test manikin response, with pinnaless ear openings, with the similar data appearing in the appendix of the IEC report from SC 29C WG 13. The agreement is judged to be excellent. It indicates that any asymmetries in heads and torsos are probably not important either in the manikin or people within the accepted range of tolerances. The approximately 1 dB difference at low frequencies for 90 and 270 degree responses is due to the application of a source to manikin distance correction in the IEC report but not in the test data reported here. The ear opening is closer to the source at 90 degrees and further from the source at 270 degrees than for the 0 degree direction.

Comparison of the response of the test manikin to a production manikin, both with pinnaless ears is shown in Fig. 4. Any differences in the curves are expected to be mostly due to differences in the heads and torsos. The observed differences are quite small and judged to

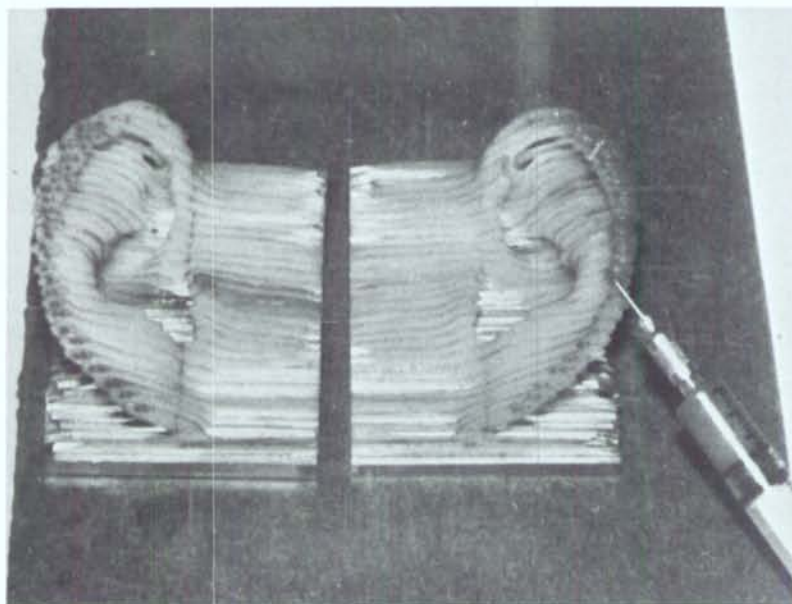


Abb. 3: Querschnitte von Ohrmuscheln des Test-Manikins vor Anbringung der Epoxydfüllung.

Fig. 3: Pinnae cross-sections of the test manikin prior to application of filler epoxy.

[2] und [3] sollten lediglich kleine Unterschiede aufweisen, da sie hinsichtlich der Prüfbedingungen weitgehend übereinstimmen. Das Ohr ohne Ohrmuschel bezieht sich auf eine Prüfbedingung, die aufgenommen wurde, um eine Einwirkung der Ohrmuscheln auf das Ansprechen des Manikins auf ein Schallfeld fernzuhalten. Eine weitwinklige, konische Öffnung zum Gehörkanal im Manikin-Kopf tritt anstelle der Ohrmuschel, wodurch lediglich die Wirkung der Schallbeugung um den Kopf und den Torso sowie die Wirkung der stehenden Welle im Gehörgang erhalten bleiben.

Die Ohren des Manikins wurden mit DB-100-geschlossenen Ohrsimulatoren (vierteilige Ausführung) der Industrial Research Products Inc. ausgestattet; DB-050-Gehörgangverlängerungen und B & K 4134-Kondensatormikrofonen.

Tabelle II vergleicht die Wiedergabe des Test-Manikins mit Ohröffnungen ohne Ohrmuschel mit den ähnlichen Daten, die im Anhang zum IEC-Bericht von SC 29C WG 13 erschienen. Die Übereinstimmung wird als ausgezeichnet beurteilt. Dies zeigt, daß Asymmetrien am Kopf und Torso weder am Manikin noch an Personen innerhalb der angenommenen Toleranzbreiten ohne Bedeutung sind. Der Unterschied von ungefähr 1 dB bei niedrigen Frequenzen für 90° und 270° Wiedergabekurven ist auf eine Korrektur des Schallquellen/Manikin-Abstandes im IEC-Bericht zurückzuführen (nicht auf eine Korrektur der hier aufgeführten Prüfdaten). Die Ohröffnung liegt bei 90° näher bei der Quelle und weiter von der Quelle entfernt bei 270° als bei der 0°-Richtung.

Ein Vergleich der Wiedergabe des Test-Manikins mit dem Herstell-Manikin, in beiden Fällen mit Ohren ohne Ohrmuscheln, ist in Abb. 4 dargestellt. Bei Unterschieden in den Kurven nimmt man an, daß sie weitgehend auf Unterschiede in den Köpfen und Torsos zurückzuführen sind. Die beobachteten Unterschiede sind recht gering und liegen laut Beurteilung innerhalb der Versuchstoleranzen, denen solche Messungen unterliegen. Zum besseren Verständnis werden lediglich die Daten für das rechte Ohr in Abb. 4 und 5 gezeigt.

In Tabelle I ist der Vergleich des Test-Manikins mit Ohrmuscheln in seinem Verhalten gegenüber den Daten im IEC-Bericht (ebenfalls mit Ohrmuscheln) zu sehen. Entsprechende Wiedergabekurven für das Test-Manikin und einem Herstell-Manikin zeigt Abb. 5. Die Daten für das Test-Manikin liegen innerhalb der Toleranzgrenzen bei allen Frequenzen mit Ausnahme der Frequenz von 10 000 Hz unter drei Bedingungen, bei 90° und 180°-Stellung der Schallquelle. Aus den Wiedergabekurven erkennt man, daß dieser Frequenzbereich starken Schwankungen unterliegen kann, die offensichtlich auf sehr geringe Abweichungen in den Ab-

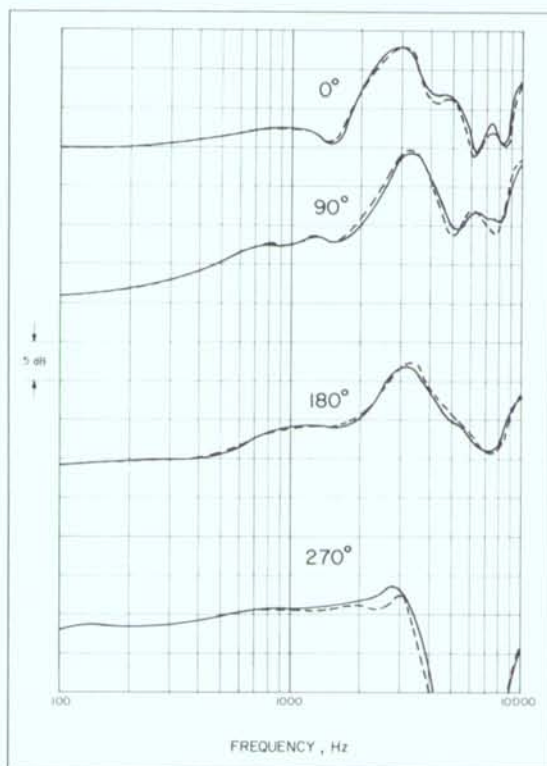


Abb. 4: Test-Manikin (—) und Herstell-Manikin (---). Wiedergabekurve des rechten Ohrs ohne Ohrmuschel bei Schall im freien Feld für 4 Richtungen der Schallquelle in der horizontalen Bezugsebene.

Fig. 4: Test manikin, —, and production manikin, ---, pinnaless right ear response to a free field sound for four source directions in the horizontal reference plane.

be within the experimental uncertainties of making this type of measurement. Only the right ear data are shown in Figs. 4 and 5 clearly.

The comparison of the test manikin with pinnae response to the IEC report data with pinnae ist shown in Table I. Corresponding response curves for the test manikin and a production manikin are given in Fig. 5. The data for the test manikin are within tolerance limits for all but the 10,000 Hz frequency at three conditions, 90 and 180 degree sound source locations. It can be seen from the response curves that this frequency region may exhibit large response fluctuations that are apparently sensitive to very small dimensional details in the pinna and possibly sound source location. It may be noted that the largest variations among measurements on people are observed at these frequencies, also. Except for these anomalies, the curves for the two manikins are very much alike.

messungen der Ohrmuschel und möglicherweise auf den Standort der Schallquelle zurückzuführen sind. Man kann außerdem beobachten, daß die größten Abweichungen innerhalb der Messungen an Personen ebenfalls bei diesen Frequenzen auftreten. Abgesehen von diesen Abweichungen gleichen sich die Kurven für die zwei Manikins weitestgehend.

Schlußfolgerung

Ein Manikin mit den gewünschten akustischen Wiedergabekurven kann anhand der mechanischen und geometrischen Beschreibungen in den Unterlagen, die Arbeitsgruppen der Normenausschüsse vorgeschlagen haben, angefertigt werden. Aufgrund dieser Daten und einer Analyse dieser Werte aus verschiedenen Labors [4] sollten diejenigen, die Manikins für die Sammlung von Hörgerätedaten verwenden, sich eher mit den Verfahren in ihren eigenen Labors befassen, als mit Abweichungen in den Manikins, die nach den Normen hergestellt wurden.

Danksagung

Das Test-Manikins wurde von Ms. Lauren Mostardo angefertigt. Die Daten wurden von Ms. Mostardo und Mr. R. Maxwell zusammengetragen. Wir danken Hugh S. Knowles für seine Unterstützung und Ermunterung bei diesen Untersuchungen.

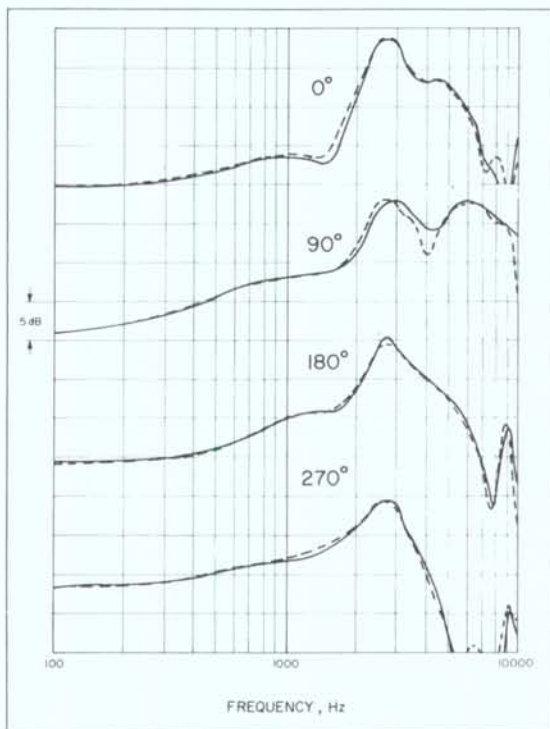


Abb. 5: Test-Manikin (—) und Herstell-Manikin (---) mit Wiedergabekurve des rechten Ohrs mit Ohrmuschel bei Schall im freien Feld für 4 Richtungen der Schallquelle in der horizontalen Bezugsebene.

Fig. 5: Test manikin, —, and production manikin, ---, with pinnae right ear response to a free field sound for four source directions in the horizontal reference plane.

Literatur/References

- [1] Knowles, H. S. (1958) HAIC Allerton House (unpublished)
- [2] Burkhard, M. D. and Sachs, R. M. (1975) Anthropometric Manikin For Acoustic Research. *J. Acoust. Soc. Am.* 58, 214-222.
- [3] Maxwell, R. J. and Burkhard, M. D. (1979) Larger Ear Replica For the Kemar Manikin. *J. Acoust. Soc. Am.* 65, 1055.
- [4] Lyregaard, P. E. (1980) Preliminary Report on a Round Robin on Kemar Hearing Aid Measurements. Working group document IEC 29C/WG 13 (Secretary)9.
- [5] Refer to Figures 4 through 13 and 15 through 17 of draft report "Provisional Head and Torso Simulator For Acoustic Measurements of Air Conduction Hearing Aids" (1982) IEC 29C (secretariat)43 or later publication.

Conclusion

A manikin that has desired acoustic responses can be constructed from the mechanical and geometrical descriptions given in documents that standards working groups have proposed. Based on these data and analysis of data from various laboratories [4], users of manikins for hearing aid data collection should probably, be more concerned with techniques in their own laboratories than with variations in the manikins constructed according to the standards.

Acknowledgement

Construction of the test manikin was done Ms. Lauren Mostardo. The data were collected by Ms. Mostardo and Mr. R. Maxwell. We express our thanks to Hugh S. Knowles for his support and encouragement in these investigations.