

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
21. September 2017 (21.09.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/157519 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
A61B 5/00 (2006.01) *A61B 5/12* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/000334
- (22) Internationales Anmeldedatum:
14. März 2017 (14.03.2017)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2016 003 133.6 15. März 2016 (15.03.2016) DE
- (71) Anmelder: EBERHARD-KARLS-UNIVERSITÄT
TÜBINGEN [DE/DE]; Geissweg 3, 72076 Tübingen
(DE).
- (72) Erfinder: DALHOFF, Ernst; Weilerstr. 3, 72108
Rottenburg (DE). ZELLE, Dennis; Torbogenweg 11,
72070 Tübingen (DE).
- (74) Anwalt: GRAF VON STOSCH, Andreas; Graf Von
Stosch Patentanwalts-gesellschaft mbH, Prinzregentenstr.
22, 80538 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA,
NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO,
RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV,
SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,
VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR AUTOMATICALLY DETERMINING AN INDIVIDUAL FUNCTION OF A DPOAE LEVEL MAP OF HUMAN OR ANIMAL HEARING

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR AUTOMATISCHEN BESTIMMUNG EINER INDIVIDUELLEN FUNKTION EINER DPOAE-PEGELKARTE EINES MENSCHLICHEN ODER TIERISCHEN GEHÖRS

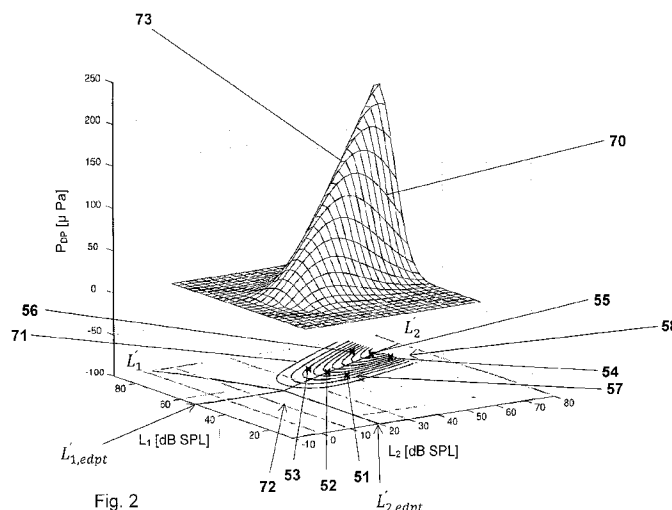


Fig. 2

(57) Abstract: A method for automatically determining an individual function of a DPOAE level map of human or animal hearing includes the following steps: - reading a model function $p_{dp,M} = f(L_1, L_2)$ with model parameters of a DPOAE level map on the basis of a number of N DPOAE measurements of an excitation frequency pair f_1, f_2 with respective different level pairs $\{L_1^{(1..N)}, L_2^{(1..N)}\}$ in a population of normal hearing subjects, - presenting n different level pairs $\{L_1^{(1..n)}, L_2^{(1..n)}\}$ of an excitation frequency pair f_1, f_2 via audio output means (21, 22) to an individual and detecting the DPOAE of the individual via audio capturing means (23), wherein at least the first level pair $\{L_1^{(1)}, L_2^{(1)}\}$ is defined, and $n \ll N$, - iteratively adapting the model function $p_{dp,M}$ to the measured n DPOAE until an individual function $p_{dp,I} = f(L_1, L_2)$ is obtained with individual parameters of a DPOAE level map of the individual, and - outputting the individual function $p_{dp,I}$.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2017/157519 A1

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Ein Verfahren zur automatischen Bestimmung einer individuellen Funktion einer DPOAE-Pegelkarte eines menschlichen oder tierischen Gehörs beinhaltet die folgenden Schritte: - Einlesen einer Modellfunktion $p_{dp,M} = f(L_1, L_2)$ mit Modellparametern einer DPOAE-Pegelkarte, basierend auf einer Anzahl von N DPOAE-Messungen eines Anregungsfrequenzpaares f_1, f_2 mit jeweils unterschiedlichen Pegelpaaren $\{L_1^{(1..N)}, L_2^{(1..N)}\}$ bei einer Population von Normalhörenden, - Präsentation von n unterschiedlichen Pegelpaaren $\{L_1^{(1..n)}, L_2^{(1..n)}\}$ eines Anregungsfrequenzpaares f_1, f_2 über Tonausgabemittel (21, 22) an ein Individuum und Erfassen der DPOAE des Individuums über Tonaufnahmemittel (23), wobei wenigstens das erste Pegelpaar $\{L_1^{(1)}, L_2^{(1)}\}$ vordefiniert ist und wobei $n \ll N$ ist, - iteratives Anpassen der Modellfunktion $p_{dp,M}$ an die gemessenen n DPOAE bis zum Erhalt einer individuellen Funktion $p_{dp,I} = f(L_1, L_2)$ mit individuellen Parametern einer DPOAE-Pegelkarte des Individuums, - Ausgabe der individuellen Funktion $p_{dp,I}$.

Anmelder:
EBERHARD KARLS UNIVERSITÄT TÜBINGEN

5

VERFAHREN ZUR AUTOMATISCHEN BESTIMMUNG EINER INDIVIDUELLEN FUNKTION EINER DPOAE-
PEGELKARTE EINES MENSCHLICHEN ODER TIERISCHEN GEHÖRS

- 10 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur automatischen Bestimmung einer individuellen Funktion einer DPOAE-Pegelkarte eines menschlichen oder tierischen Gehörs gemäß Anspruch 1 sowie ein System zur Durchführung dieses Verfahrens gemäß dem nebengeordneten Anspruch. Die vorliegende Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren mit einzelnen Merkmalen des Anspruchs 1 sowie ein System zur Durchführung dieses Verfahrens mit einzelnen Merkmalen des nebengeordneten Anspruchs.
- 15

Das Hörsystem kann als eine Kette von aufeinanderfolgenden Signalverarbeitungsblöcken angesehen werden. Diese werden durchlaufen, bevor im Cortex die komplexere Wahrnehmung des Hörens entsteht. Die ersten Blöcke der Signalverarbeitungskette sind das äußere Ohr (Ohrmuschel & Gehörgang), das Mittelohr (Gehörknöchelchen mit der Fußplatte als Grenze zu den Flüssigkeiten des Innenohrs), und das flüssigkeitsgefüllte Innenohr. Die aller-

20 meisten Hörschäden entstehen im Innenohr. Darunter fällt auch die Altersschwerhörigkeit, die im Mittel im Alter von 60-70 Jahren zu 25 dB Hörverlust bei Frauen bzw. 35 dB bei Männern im Frequenzbereich ab 4 kHz führt. Sie ist dominiert durch eine Beeinträchtigung des sog. cochleären Verstärkers, der im gesunden Zustand die eingehenden Schallwellen um

25 den Faktor 300-1000 verstärkt, bevor sie von den inneren Haarzellen und deren Synapsen in neurale Signale umgewandelt werden.

Seit etwa 1980 ist die Existenz des cochleären Verstärkers sukzessive nachgewiesen worden, und dabei spielte die Entdeckung der otoakustischen Emissionen (OAE) durch David T. Kemp eine zentrale Rolle. Diese sind Töne, die vom aktiven Verstärker als Nebenprodukt erzeugt und durch das Mittelohr rückwärts zum Gehörgang übertragen werden. Dort können sie mit empfindlichen Miniaturmikrophonen gemessen werden.

30

Eine Form der OAE sind die Distorsionsprodukt-otoakustischen Emissionen (DPOAE), bei denen üblicherweise zwei Primärtöne mit den Frequenzen f_1 und f_2 und den Pegeln L_1 und L_2 präsentiert werden. Die nichtlineare Kennlinie der mechanoelektrischen Transduktion der Ionenkanäle der äußeren Haarzellen, die das hauptsächliche Motorelement des cochleären Verstärkers beim Menschen und den Säugetieren allgemein darstellen, führt zu zahlreichen Distorsionsprodukten. Das am einfachsten messbare Distorsionsprodukt und daher in diagnostischen Anwendungen bevorzugte ist dasjenige bei $f_{dp} = 2f_1 - f_2$ mit $f_2 > f_1$ und einem optimalen Frequenzverhältnis von etwa $\frac{f_2}{f_1} = 1,2$. Heutzutage werden üblicherweise DPOAE so angeregt, dass bei dem cochleären Abbildungsort des zweiten Primärtons beide Anregungsfrequenzen zu möglichst gleichgroßen Schwingungsamplituden der Basilarmembran führen, und dementsprechend werden diagnostische Schlüsse aus DPOAE-Befunden bei der Frequenz und entsprechend dem Anregungspegel des zweiten Primärtons $\{f_2, L_2\}$ interpretiert. DPOAE-Messungen können z.B. nach dem in der DE 102014108663 beschriebenen Verfahren bei verschiedenen Frequenzen durchgeführt und interpretiert werden.

Ein bekanntes Verfahren zur Bestimmung der Hörschwelle, bzw. genauer der Schwelle des cochleären Verstärkers des Innenohres, beruht auf der Bestimmung der Schwelle, ab der eine Emission, insbesondere eine Distorsionsprodukt-otoakustische Emission (DPOAE), messbar ist, eine Technik, die zuerst bei Menschen eingesetzt wurde [B. P. Kimberley and D. A. Nelson., *J. Otolaryngol.*, 18(7): 365–369, 12 1989; D. A. Nelson and B. P. Kimberley, *J. Speech Hear. Res.*, 35(5):1142–1159, 10 1992].

Hierzu wird üblicherweise eine Wachstumsfunktion gemessen, bspw. die Emissionen mit Anregungspegeln von $L_2=60$ dB SPL absteigend in 5 dB-Schritten, bis ein gewisses SNR (Signal-to-Noise Ratio) nicht mehr erreicht wird. Der Anregungspegel, bei dem gerade noch das geforderte SNR erreicht wird, wird dann als DPOAE-Schwelle bezeichnet.

Nach Boege und Janssen [P. Boege and T. Janssen, *J. Acoust. Soc. Am.*, 111(4): 1810–1818, 04, 2002] werden die Werte der Wachstumsfunktion semilogarithmisch aufgetragen, das heißt, die DPOAE werden linear als Schalldruck in Einheiten von $[\mu\text{Pa}]$ auf der Ordinate aufgetragen, gegen den Anregungsschalldruck des zweiten Primärtons L_2 in der logarithmischen Einheit von $[\text{dB SPL}]$.

Mit sogenannten optimalen Anregungsschalldrücken [P. Kummer, T. Janssen, P. Hulin, and W. Arnold. Optimal L_1 - L_2 primary tone level separation remains independent of test frequency

in humans. *Hear.Res.*, 146(1-2):47–56, 08 2000] erhält man typischerweise eine lineare Wachstumsfunktion, die man mittels linearer Regression bis zur Abszisse extrapolieren kann. In diesem Fall wird der extrapolierte Schnittpunkt von Wachstumsfunktion und der Abszisse als geschätzte DPOAE-Schwelle (auch: “estimated distorsion product threshold”, EDPT) bezeichnet.

Im allgemeinen korreliert diese DPOAE-Schwelle gut mit den psychoakustisch gemessenen Schwellen [P. Boege and T. Janssen, *J. Acoust. Soc. Am.*, 111(4): 1810–1818, 04, 2002, M. P. Gorga et. al., *J. Acoust. Soc. Am.*, 113(6): 3275–3284, 06, 2003.], weist aber eine unbefriedigend hohe Standardabweichung und in einzelnen Fällen eine Abweichung von bis zu 40 dB auf [N. Schmuziger et. al., *J. Acoust. Soc. Am.*, 119(4): 1937–1939, 04, 2006]. Dies liegt teilweise daran, daß durch Interferenz beider Quellbeiträge, die bei der Messung konventioneller, kontinuierlich dargebotener DPOAE zur sogenannten DPOAE-Feinstruktur führen, Meßfehler auftreten, die gerade beim Extrapolationsverfahren zu gravierenden Fehlschätzungen führen [E. Dalhoff, A. Vetesnik, D. Turcanu, and A. W. Gummer. Schall- und Geschwindigkeits-DPOAE: Technologie, Methodik und Perspektiven. *HNO*, 58(6):543–555, 06 2010]. Um die beiden interferierenden Quellbeiträge zu separieren, können verschiedene Methoden eingesetzt werden, unter anderem auch diejenige der gepulsten DPOAE [D. Zelle, A. W. Gummer, and E. Dalhoff. Extraction of otoacoustic distortion product sources using pulse basis functions. *J.Acoust.Soc.Am.*, 134(1):EL64–EL69, 07 2013]. Eine andere Ursache für Fehlschätzungen liegt darin, dass die optimalen Anregungspegel individuell variieren.

Untersuchungen der Anmelder mit gepulsten DPOAE haben ergeben, dass die für eine Studienpopulation optimalen Parameter für die Anregungspegel im Einzelfall von den individuell optimalen Anregungsparametern deutlich abweichen, mit folgenden unerwünschten Begleiterscheinungen: 1) Es werden DPOAE von deutlich niedrigeren Amplituden gemessen, was in den üblichen Realisierungen von automatisierten Messverfahren dazu führt, dass länger gemessen werden muss, um das geforderte SNR zu erreichen; 2) der global optimale Anregungspfad (global optimal: als Gruppenmittelwert bestimmt) liegt so, dass er im individuellen Fall zu einer deutlichen Verformung der Wachstumsfunktion und damit zu einer Fehlschätzung bei der Extrapolation führt, die auf der Annahme einer linearen Funktion basiert.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren bereitzustellen, das gegenüber dem Stand der Technik verbessert ist und das die individuellen Parameter eines menschlichen oder tierischen Gehörs einbezieht. Eine einfache Handhabung ist ebenfalls wünschenswert.

5 Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur automatischen Bestimmung einer individuellen Funktion einer DPOAE-Pegelkarte mit $p_{dp,I} = f(L_1, L_2)$ eines menschlichen oder tierischen Gehörs, welches die folgenden Schritte beinhaltet:

- 10 - Einlesen einer Modellfunktion $p_{dp,M} = f(L_1, L_2)$ mit Modellparametern einer DPOAE-Pegelkarte, basierend auf einer Anzahl von N DPOAE-Messungen eines Anregungsfrequenzpaares $\{f_1, f_2\}$ mit jeweils unterschiedlichen Pegelpaaren $\{L_1^{(1...N)}, L_2^{(1...N)}\}$ bei einer Population (p) von Normalhörenden, in einer Arbeitsspeicher einer Rechneinheit, wobei $N \geq 40$ und $p \geq 2$ ist,
- 15 - automatische Präsentation von n unterschiedlichen Pegelpaaren $\{L_1^{(1...n)}, L_2^{(1...n)}\}$ eines Anregungsfrequenzpaares $\{f_1, f_2\}$ über Tonausgabemittel an ein Individuum und Erfassen der korrespondierenden DPOAE des Individuums über Tonaufnahmemittel, wobei wenigstens das erste Pegelpaar $\{L_1^{(1)}, L_2^{(1)}\}$ vordefiniert ist und wobei $n < N$ ist,
- 20 - iteratives Anpassen der Modellfunktion $p_{dp,M} = f(L_1, L_2)$ an die gemessenen n DPOAE bis zum Erhalt einer individuellen Funktion $p_{dp,I} = f(L_1, L_2)$ mit individuellen Parametern einer DPOAE-Pegelkarte des Individuums durch die Rechneinheit, und
- Ausgabe der individuellen Funktion $p_{dp,I} = f(L_1, L_2)$ und/oder deren individueller Parameter an einer Ausgabeeinheit der Rechneinheit.

25

Das erfindungsgemäße Verfahren kann für konventionelle, d.h. quasi kontinuierlich gemessene DPOAE eingesetzt werden. Bevorzugt wird es mit einer Methode kombiniert, die Artefakte aufgrund der Interferenz von zwei verschiedenen Quellbeiträgen einer DPOAE unterdrückt, wie z.B. ein Verfahren mit gepulsten DPOAE gemäß DE 102014108663 A1.

30

Durch das erfindungsgemäße Verfahren zur automatischen Bestimmung einer individuellen Funktion einer DPOAE-Pegelkarte werden Fehler bei der Extrapolation der Wachstumsfunktionen vermieden, die in den Verfahren zur Messung der Distorsionsproduktschwelle nach dem vorbeschriebenen Stand der Technik prinzipbedingt vorkommen.

- 5 Ferner werden gegenüber den bekannten Verfahren zusätzliche Daten erhalten, die dann für eine Diagnose zur Verfügung stehen. Neben der Distorsionsproduktschwelle L_{edpt} und der Steigung der Wachstumsfunktion werden bei dem erfindungsgemäßen Verfahren auch Daten zur Frequenzauflösung und Kompression der zugrundeliegenden Wanderwellen und dem Schalleitungsverlust erfasst. Der generelle Vorteil der neuen Methode besteht also darin, daß
- 10 bei gleichem oder sogar geringerem Zeitaufwand für die Meßpunkte vier statt im Stand der Technik zwei Informationen erhalten werden, und daß Schätzfehler bei den bisher erhaltenen Parametern (der Distorsionsproduktschwelle L_{edpt} und der Steigung der Wachstumsfunktion) reduziert werden.

- 15 In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung weist das erste Pegelpaar $\{L_1^{(1)}, L_2^{(1)}\}$ einen Pegel L_1 von 67 ± 10 dB und einen Pegel L_2 von 57 ± 10 dB auf. Diese Pegel von L_1 und von L_2 haben sich als besonders günstige Anfangspegel erwiesen. Bei Normalhörenden befinden sich diese Anregungspegel nämlich noch in dem Bereich, bis zu welchem die Pegelkarte näherungsweise linear ansteigt, und selbst bei Hörverlusten bis ca. 40 dB kann immer noch
- 20 ein DPOAE bei diesen Pegeln gemessen werden. Man erhält also in den meisten Fällen Werte, die für die Erfassung der Pegelkarte valide sind.

- Die Modellfunktion definiert einen linear ansteigenden Grat, dem linear miteinander verknüpfte $\{L_1^{(G)}, L_2^{(G)}\}$ Pegelpaare zugeordnet sind (wobei „G“ der Index für „dem Grat zugeordnet“ ist). In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung liegen mindestens die Hälfte
- 25 der gemessenen Pegelpaare $\{L_1^{(i)}, L_2^{(i)}\}$ um mindestens 5 dB zu beiden Seiten abseits der dem Grat zugeordneten $\{L_1^{(G)}, L_2^{(G)}\}$ Pegelpaare (wobei „i“ der Index der Messung von 1 bis n ist).

- 30 In einer weiteren vorteilhaften Ausbildung der Erfindung werden die unterschiedlichen Pegelpaare $\{L_1^{(i)}, L_2^{(i)}\}$ in einer Sequenz präsentiert, die für jedes Individuum identisch ist. Durch dieses stark vereinfachte und vereinheitlichte (starre) Verfahren wird zwar die Annäherung an

die individuelle Funktion einer Pegelkarte etwas weniger genau, jedoch ist dieses Verfahren in der Durchführung sehr schnell.

Von Vorteil kann es ferner sein, wenn die vordefinierten, unterschiedlichen Pegelpaare $\{L_1, L_2\}$ in einer Sequenz präsentiert werden, die eine Anzahl von k Subsequenzen aufweist, deren Pegelpaare $\{L_1, L_2\}$ im Wesentlichen quer zu den linear miteinander verknüpften und dem Grat zugeordneten Pegelpaaren $\{L_1^{(G)}, L_2^{(G)}\}$ liegen. Durch die Einschaltung der Subsequenzen kann der Grat an mehreren Stellen abgetastet werden, was die Genauigkeit der Bestimmung der individuellen Funktion der DPOAE-Pegelkarte erhöht.

- 10 In einer günstigen Weiterbildung der Erfindung ist $n \geq 5$ und ≤ 12 , vorzugsweise $6 \leq n \leq 8$. Durch die kleine Anzahl an vorgesehenen Messungen wird eine kurze Messdauer erzielt bei gleichzeitig guter Erfassung der individuellen Funktion der DPOAE-Pegelkarte.

- 15 Vorteilhaft ist die Anzahl der Subsequenzen $k \geq 2$ und ≤ 5 , wodurch eine gute Abtastung des Grats der DPOAE Pegelkarte erreicht wird.

- Weiter vorteilhaft ist es, wenn die einem ersten vordefinierten Pegelpaar $\{L_1^{(1)}, L_2^{(1)}\}$ nachfolgenden Pegelpaare $\{L_1^{(2 \dots n_k)}, L_2^{(2 \dots n_k)}\}$ einer Subsequenz mit n_k Messungen über eine Funktion $\{L_1^{(i)}, L_2^{(i)}\} = \{L_1^{(i-1)} + \mu \cdot \Delta L_1, L_2^{(i-1)} + \mu \cdot \Delta L_2\}$ aus dem jeweils vorhergehenden Pegelpaar $L_1^{(i-1)}, L_2^{(i-1)}$ bestimmt werden, wobei $\mu = \pm 1$, insbesondere $+1$ ist, und $\Delta L_1, \Delta L_2$ ein Pegelabstand von zwei aufeinanderfolgenden Pegelpaaren ist und Werte von $\Delta L_1 = 4$ bis 14 dB, vorzugsweise von 6 bis 10 dB, und $\Delta L_2 = 0$ bis $-2,78$ dB, vorzugsweise $\Delta L_2 = -1,52$ bis $-2,78$ dB aufweist. Der Faktor μ legt dabei die Suchrichtung (zu kleineren oder größeren L -Meßpegeln hin) quer zum Grat fest.

25

- In einer günstigen Weiterbildung des Verfahrens, wird, wenn das erste Pegelpaar $\{L_1^{(1)}, L_2^{(1)}\}$ und das zweite Pegelpaar $\{L_1^{(2)}, L_2^{(2)}\}$ zwei DPOAE mit $p_{dp,l}^{(1 \dots 2)}$ produziert, die einen Rauschabstand von je ≥ 4 dB, vorzugsweise ≥ 10 dB aufweisen, der Pegel eines nachfolgenden dritten Pegelpaars $\{L_1^{(3)}, L_2^{(3)}\}$ wenigstens um $\Delta L_1 \geq 4$ dB unterschiedlich eingestellt als der Pegel des vorhergehenden Pegelpaars $\{L_1^{(2)}, L_2^{(2)}\}$, wenn $p_{dp,l}^{(2)} - p_{dp,l}^{(1)} > 0$, und wird andererseits der Pegel eines nachfolgendes Pegelpaars $\{L_1^{(3)}, L_2^{(3)}\}$ wenigstens um $\Delta L_1 \leq -4$ dB
- 30

unterschiedlich eingestellt als der Pegel des ersten Pegelpaars $\{L_1^{(1)}, L_2^{(1)}\}$, wenn $p_{dp,l}^{(2)} - p_{dp,l}^{(1)} \leq 0$. Mit dieser Vorgehensweise wird erreicht, daß wenigstens ein Punkt links und ein Punkt rechts des Grates und dazwischenliegend ein Punkt in der Nähe des Grates gemessen wird.

5

In einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens wird, wenn das erste Pegelpaar $\{L_1^{(1)}, L_2^{(1)}\}$ keine DPOAE mit $p_{dp,l}^{(1)}$ produziert, die einen Rauschabstand von ≥ 4 dB, vorzugsweise ≥ 10 dB aufweisen, in derselben Suchrichtung weiterverfahren, bis entweder der maximale bzw. minimale Anregungspegel $L_1^{(i)}$ erreicht ist, oder eine Gruppe von drei validen

10 DPOAE mit $p_{dp,l}^{(i..i+2)}$ produziert wurde, die einen Rauschabstand von je ≥ 4 dB, vorzugsweise ≥ 10 dB aufweisen. Hiermit wird gegenüber einem starren Verfahren erreicht, daß der Grat auch dann aufgefunden wird, wenn er deutlich neben der für Normalhörende zu erwartenden Position liegt, wie es etwa bei Schallleitungsstörungen der Fall sein kann.

15 In einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens, wird, wenn in der ersten Subsequenz nach Messung bei i Anregungspegelpaaren keine Gruppe von drei validen DPOAE produziert wird, die einen Rauschabstand von je ≥ 4 dB, vorzugsweise ≥ 10 dB aufweisen, eine weitere Subsequenz mit höherem Pegelpaar $\{L_1^{(i+1)}, L_2^{(i+1)}\}$ gestartet, wobei das Startpegelpaar für die erneute Subsequenz auf $L_2^{(i+3)} = L_2^{(1)} + 20 \pm 10 \text{ dB}$, $L_1^{(i+3)} = L_1^{(1)} + 20 \pm 10 \text{ dB}$ eingestellt

20 wird. Der Pegel wird vorzugsweise auf den technisch maximal erreichbaren bzw. sinnvollen Pegel begrenzt. Dieser maximale Pegel kann z.B. bei 75-85 dB SPL Schalldruck liegen. Durch diese Vorgehensweise, können auch stark vom Durchschnitt abweichende individuelle Pegelkarten bzw. deren Funktion noch ermittelt werden.

25 In einer vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens, wird, nach der Erfassung der DPOAE von wenigstens 3 Pegelpaaren $\{L_1^{(1..3)}, L_2^{(1..3)}\}$, die vorzugsweise einer Subsequenz zugeordnet sind, aus diesen 3 Pegelpaaren $\{L_1^{(1..3)}, L_2^{(1..3)}\}$ die Lage des Grates $\{L_1^{(G)}, L_2^{(G)}\}$ längs der durch die 3 Pegelpaare gebildeten Linie ermittelt und im Anschluss daran ein viertes Pegelpaar $\{L_1^{(4)}, L_2^{(4)}\}$ präsentiert, welches in einem vorgegebenen Abstand

gratabwärts liegt, wobei der Gruppenmittelwert der Gratriichtung, φ verwendet wird, und wobei anhand der aus den vier präsentierten Pegelpaaren $\{L_1^{(1..4)}, L_2^{(1..4)}\}$ bestimmten DPOAE eine Steigung m des linearen Grats der Pegelkarte ermittelt wird.

- 5 Vorzugsweise wird, wenn in der ersten oder zweiten Subsequenz eine Gruppe von drei validen DPOAE mit $p_{dp,I}^{(i-2...i)}$ produziert wird, die einen Rauschabstand von je ≥ 4 dB, vorzugsweise ≥ 10 dB aufweisen, durch automatische Anpassung einer geeigneten Berechnungsfunktion an die zugehörigen DPOAE $p_{dp,I}^{(i...i-2)}$ das Pegelpaar unterhalb des Grates $\{L_1^{(G)}, L_2^{(G)}\} = \{L_1^{(i-2)} + \varepsilon \cdot \Delta L_1, L_2^{(i-2)} + \varepsilon \cdot \Delta L_2\}$ bestimmt, wobei ε so berechnet wird, daß
- 10 $p_{dp,I}(L_1^{(G)}, L_2^{(G)})$ ein Maximum bildet, und davon ausgehend ein viertes Pegelpaar $\{L_1^{(i+1)}, L_2^{(i+1)}\}$ präsentiert wird, mit einer Funktion $\{L_1^{(i+1)}, L_2^{(i+1)}\} = \{L_1^{(i)} + \Delta L_1, L_2^{(i)} + \Delta L_2\}$, wobei $\Delta L_2 = -15 \pm 10$ dB eingestellt wird, und das Pegelpaar vorzugsweise auf der Projektion des erwarteten Grates auf die L1,L2-Ebene, d.h. mit $\Delta L_1/\Delta L_2 \approx 0.51 \pm 0.15$ eingestellt wird, und wobei anhand der aus den vier präsentierten Pegelpaaren $L_1^{(i-2...i+1)}, L_2^{(i-2...i+1)}$
- 15 bestimmten DPOAE die Steigung m des näherungsweise linearen Grats der Pegelkarte ermittelt wird.

- Anhand der ermittelten Steigung m des linearen Grats der Pegelkarte können z.B. wenigstens zwei, vorzugsweise drei weitere Pegelpaare $L_1^{(i+1...i+3)}, L_2^{(i+1...i+3)}$ automatisch definiert werden, deren Anregungspegel in einer Subsequenz formiert werden, und die aufgrund der bereits bekannten Lage und Steigung des Grates so bestimmt werden, dass erwartet werden
- 20 kann, valide DPOAE innerhalb einer Messzeit von je $t_m \leq 40$ s zu messen, wozu eine Modellfunktion an die vorzugsweise vier bereits valide gemessenen DPOAE angepasst wird, und dann in der Modellfunktion die letzten zwei oder drei Pegelpaare so bestimmt werden, dass die erwarteten DPOAE-Pegel vorzugsweise bei $p_{DP,I}^{(i+1...i+3)}, p_{DP,I}^{(i+1...i+3)} \geq 10$ μ Pa liegen.

25

Vorzugsweise werden die Pegelpaare $\{L_1^{(1-n)}, L_2^{(1-n)}\}$ gepulst präsentiert, wobei jeder einzelne Puls mit einer Dauer T_D von 2 bis 40 ms präsentiert wird. Durch die Verwendung einer solchen gepulsten Präsentation kann der Einfluss der beiden Quellbeiträge einer DPOAE unterdrückt bzw. separiert werden.

30

In einer vorteilhaften Fortbildung des Verfahrens, werden die Pegelpaare $\{L_1^{(1..n)}, L_2^{(1..n)}\}$ in Blöcken aus mehreren, zeitlich nacheinander in Pulsen präsentierten Pegelpaaren $\{L_1^{(1..n)}, L_2^{(1..n)}\}$ präsentiert, wobei zeitlich direkt aufeinanderfolgende Pegelpaare $\{L_1^{(1..n)}, L_2^{(1..n)}\}$ unterschiedliche Anregungsfrequenzen $\{f_2, f_1\}$ aufweisen. In einem Block folgen also auf ein erstes gepulst präsentiertes Pegelpaar mit $\{f_{2,1}, f_{1,1}\}$ ein zweites Pegelpaar mit unterschiedlichen Frequenzen $\{f_{2,2}, f_{1,2}\}$ und ggf. weitere mit $\{f_{2,m}, f_{1,m}\}$, wobei das Frequenzverhältnis immer nahe bei $f_{2,m}/f_{1,m} = 1,2$ gehalten wird. Mehrere Blöcke mit Zeit-Frequenz-verschränkten Pulspaaren können gemittelt werden, bevor eine Auswertung erfolgt. Durch diese Maßnahme wird es möglich, die Zeit, in der die Pulsantwort auf eine Präsentation bei einem Frequenzpaar abklingt, zu nutzen, um bei einer anderen Frequenz zu messen, und so die Messzeit gegenüber einer hinsichtlich der gewünschten Messfrequenzen rein sequentiellen Vorgehensweise zu reduzieren.

Vorteilhaft wird in einem Verfahrensschritt, die ermittelte individuelle Funktion einer DPOAE-Pegelkarte und deren Parameter von der Rechneinheit in einem nicht-flüchtiger Speicher abgespeichert. Ebenfalls können die ermittelten Rohdaten von der Rechneinheit in dem nicht-flüchtiger Speicher abgespeichert werden. Die abgespeicherten Daten können von der Rechneinheit zur kontinuierlichen Erweiterung des, der Modellfunktion einer Pegelkarte zugrundeliegenden Datensatzes verwendet werden.

Die gestellte Aufgabe wird ebenfalls noch durch ein System zur Durchführung des Verfahrens gelöst, wobei das System beinhaltet: eine Rechneinheit, einen Arbeitsspeicher, einen nicht-flüchtigen Speicher zur Speicherung einer Modellfunktion $p_{dp,M} = f(L1, L2)$ und Modellparametern der Modellfunktion, wenigstens ein über die Rechneinheit angesteuertes Tonausgabemittel zur Präsentation von Tönen an ein Individuum, wenigstens ein mit der Rechneinheit verbundenes Tonaufnahmemittel zum Erfassen von DPOAE aus dem Ohr des Individuums. Ein Vorteil des neuen Systems liegt darin, daß bei gleichem oder sogar geringerem Zeitaufwand für die Messungen vier statt im Stand der Technik zwei Informationen erhalten werden, und daß Schätzfehler bei den bisher erhaltenen Parametern (der Distorsionsproduktschwelle L_{edpt} und der Steigung der Wachstumsfunktion) reduziert werden.

Vorteilhaft ist, daß wenigstens ein Tonausgabemittel einen Lautsprecher mit einer hochlinearen Charakteristik aufweist, wodurch bei gleichzeitigem Abspielen zweier Töne f_1 , f_2 keine Distorsion entsteht und ein Lautsprecher für die Präsentation beider Töne ausreichend ist.

- 5 Vorteilhaft ist ein Ausgabemittel zur Ausgabe der individuellen Funktion einer DPOAE-Pegelkarte vorgesehen, wie z.B. eine Anzeigeeinheit, Monitor, Display oder wie ein Drucker oder eine Schnittstelle zur Datenübertragung an eine externe Anzeigeeinheit, Monitor, Display oder Drucker etc., über die eine ermittelte individuellen Funktion einer DPOAE-Pegelkarte eines menschlichen oder tierischen Gehörs und deren Parameter von dem System ausgegeben werden und einem Nutzer zugänglich gemacht werden können.

Ferner ist vorteilhaft ein nicht-flüchtiger Speicher zur Speicherung der ermittelten individuellen Funktion einer DPOAE-Pegelkarte und deren Parameter vorgesehen.

- 15 In den nachfolgenden Figuren wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 Ein System zur automatischen Bestimmung einer individuellen Funktion einer DPOAE-Pegelkarte;

20

Figur 2 Eine Modellfunktion deren dreidimensionaler Graph einer Modellpegelkarte entspricht;

Figur 3 erfindungsgemäße Schritte eines Verfahrens zur automatischen Bestimmung einer individuellen Funktion einer DPOAE-Pegelkarte;

25

Figur 4 eine Detaillierung des verfahrensgemäßen Schrittes nach der Markierung IV in Figur 3.

30

In Figur 1 ist ein System zur automatischen Bestimmung einer individuellen Funktion einer DPOAE-Pegelkarte eines menschlichen oder tierischen Gehörs in einer möglichen erfin-

5 dungsgemäßen Ausgestaltung dargestellt. Zu dem System 1 gehören eine an einem Ohr positionierbare Sonden-Einheit 20, insbesondere eine OAE-Sonde, und eine Rechneinheit 10. Die Sonden-Einheit weist eine Sondenspitze 24 auf, die in den Gehörgang eines Ohres einführbar ist. In der Sonden-Einheit 20 ist ein Tonaufnahmemittel 23, wie z.B. ein Mikrofon, angeordnet, welches zur Aufnahme von aus dem Gehörgang kommenden Tönen eingerichtet ist. In der Sonden-Einheit 20 sind ferner ein erstes und ein zweites Tonausgabemittel 21 und 22 vorgesehen, die als f1-Schallgeber (Tonausgabemittel 21) und als f2-Schallgeber (Tonausgabemittel 22) fungieren. Die Tonausgabemittel 21, 22 können dabei z. B. als Lautsprecher ausgebildet sein. Es kann auch nur ein Tonausgabemittel bzw. nur ein Lautsprecher vorgesehen sein, das/der zum gleichzeitigen Abspielen zweier Töne f_1 , f_2 eingerichtet ist und insbesondere eine hochlineare Charakteristik besitzt. Die Sonden-Einheit 20 ist z.B. über eine Kabelverbindung 2 mit der Steuereinheit, die die Rechneinheit 10 beinhaltet, verbunden. In der Kabelverbindung 2 sind vorzugsweise geschirmte Leitungen 3, 4, 5 vorhanden über welche die Tonausgabemittel 21, 22 sowie das Tonaufnahmemittel 23 mit einer AD/DA-Wandlereinheit 12 der Steuereinheit verbunden sind. Die AD/DA-Wandlereinheit 12 ist ihrerseits mit der Rechneinheit 10 über wenigstens eine Leitung 6 für einen bi-direktionalen Datenaustausch verbunden. Alternativ zu der Kabelverbindung 2 könnte die Sonden-Einheit 20 auch drahtlos mit der Steuereinheit bzw. mit der Rechneinheit 10 kommunizieren. Die drahtlose Verbindung könnte z. B. eine bluetooth-Funkstrecke oder eine andere geeignete Funkverbindung sein, die vorzugsweise eine kurze Reichweite aufweist.

Die Rechneinheit 10 verfügt über einen Arbeitsspeicher 15 und über einen nicht-flüchtigen Speicher 16 in dem eine Modellfunktion $p_{dp,M} = f(L_1, L_2)$ für eine Modellpegelkarte eines menschlichen oder tierischen Gehörs und die zu dieser Modellfunktion gehörenden Parameter gespeichert sind. Ebenfalls ist in dem nicht-flüchtigen Speicher 16 die Anweisung zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens hinterlegt. Das System 1 verfügt ferner über ein Ausgabemittel 11 bzw. eine Anzeigeeinheit, wie z.B. ein Display, einen Monitor oder dergleichen, über die eine ermittelte einer individuellen Funktion einer DPOAE-Pegelkarte eines menschlichen oder tierischen Gehörs und deren Parameter von dem System 1 ausgegeben werden und einem Nutzer zugänglich gemacht werden können. Das Ausgabemittel 11 kann auch in Form einer Schnittstelle realisiert sein, über die ein externes Ausgabe-
30 gerät, wie z.B. ein Drucker oder ein Monitor an das System angeschlossen werden können.

Zur Durchführung eines automatischen Messvorgangs zur Erstellung einer individuellen Funktion einer DPOAE-Pegelkarte eines menschlichen oder tierischen Gehörs wird die Sonden-Einheit 23 in Richtung des Pfeils 40 in den Gehörgang 31 eines Ohrs 30 (in Fig. 1 angedeutet) eingeführt. Das erfindungsgemäße Verfahren wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 3 und 4 erläutert.

Zunächst ist aber in Figur 2 beispielhaft eine Modellfunktion dargestellt, deren dreidimensionaler Graph 70 einer Modellpegelkarte entspricht. Die beispielhaft dargestellte Modellfunktion beruht auf den Messdaten von $p \geq 2$, vorliegend $p = 6$, normalhörenden Individuen mit $N \geq 40$, vorliegend $N = 47$, gemessenen unterschiedlichen Pegelpaaren $\{L_1^{(1 \dots N)}, L_2^{(1 \dots N)}\}$ bei Anregungsfrequenzen $f_2 = 2$ kHz und $f_1 = 1,67$ kHz. Die Anregungsfrequenzen f_2 und f_1 eines Pegelpaares $\{L_1, L_2\}$ sind dabei vorzugsweise über ein Frequenzverhältnis $f_2/f_1 = 1,2$ verknüpft. Dabei wurde ein bestimmtes Distorsionsprodukt ausgewertet, welches bevorzugt bei der Frequenz $f_{dp} = 2f_1 - f_2$ liegt. Dabei bedeuten die hochgestellten Indizes in den Klammern den 1. bis N. Meßpunkt.

Die Modellfunktion definiert einen näherungsweise linear ansteigenden Grat 73, dem näherungsweise linear miteinander verknüpfte $\{L_1^{(G)}, L_2^{(G)}\}$ Pegelpaare zugeordnet sind. Linien quer zum Grat können durch die Beziehung $L_2 + aL_1 = C$ definiert werden, wobei C eine beliebige Konstante, und wobei a der Steigungsparameter der Projektion des Grates auf die $\{L_1, L_2\}$ -Ebene ist. Im mathematischen Sinne ist die Lage des Grates durch eine hintereinanderhängende Schar von Gradientenvektoren des Skalarfeldes, das durch die DPOAE gebildet wird, definiert, wobei alle anderen durch Gradientenvektoren gebildeten Feldlinien auf diesen Grat zulaufen und einschwenken. In die unterhalb der Modellpegelkarte eingezeichnete, der Deutlichkeit halber um $p_{dp} = 100$ μ Pa verschobene $\{L_1, L_2\}$ -Ebene 71 ist das transformierte $\{L'_1, L'_2\}$ -Koordinatensystem 72 eingezeichnet, welches durch Verschiebung des Ursprungs nach $\{L_{1,edpt}, L_{2,edpt}\}$ und Drehung um $\arctan(a)$ zustande kommt, sowie Höhenlinien der Pegelkarte im 20 μ Pa-Abstand. Die L'_2 -Achse entspricht der Projektion des Grates der Pegelkarte auf die $\{L_1, L_2\}$ -Ebene. Die L'_1 -Achse schneidet den der Pegelkarte angenäherten Modell-Hügel orthogonal. Dieser Schnitt durch den Hügel quer zum Grat wird durch eine Parabel 2. Ordnung angenähert, deren Spreizung durch einen Parameter c gegeben ist, und der Eingang in folgende Gleichung findet:

$$L'_{dp} = -c(L'_1)^2 + L'^{(G)}_{dp}$$

mit

$$5 \quad L'^{(G)}_{dp} = 20 \log_{10}(m(L'_2))$$

L'_{dp} und $L'^{(G)}_{dp}$ ist dabei der Pegel einer beliebigen bzw. einer auf dem Grat befindlichen DPOAE und m ist die Steigung des Grats entlang der L'_2 -Achse.

- 10 Das $\{L'_1, L'_2\}$ – Koordinatensystem befindet sich in der von dem bekannten Koordinatensystem $\{L_1, L_2\}$ der Primärtonpegel aufgespannten Fläche. Die vorhergehend bereits angesprochene Koordinatentransformation lässt sich z. B. wie folgt ausdrücken:

$$L'_1 = (L_1 - L_{1,edpt}) \cos(\varphi) - (L_2 - L_{2,edpt}) \sin(\varphi)$$

$$15 \quad L'_2 = (L_1 - L_{1,edpt}) \sin(\varphi) + (L_2 - L_{2,edpt}) \cos(\varphi)$$

- Dabei entspricht die Projektion des Grates des L_{dp} -Hügels auf die $\{L_1, L_2\}$ -Ebene der L'_2 -Achse. Ferner entspricht der Punkt $\{L_{2,edpt}, L_{1,edpt}\}$ dem Fußpunkt des Grates des L_{dp} -Hügels, und φ ist der Winkel zwischen der L_2 -Achse und der Projektion des Grates des L_{dp} -Hügels auf die $\{L_1, L_2\}$ -Ebene, gegeben durch die bereits genannte L'_2 -Achse. Der Winkel φ ist also der Winkel, um den die L'_2 -Achse gegenüber der L_2 -Achse gedreht ist. Der Fußpunkt des Grates kann in weiterem Sinne als äquivalent, aber nicht identisch zum "estimated distortion product level" (edpt) interpretiert werden, wie er aus [P. Boege and T. Janssen., *J. Acoust. Soc. Am.*, 111(4): 1810–1818, 2002] bekannt ist.

25

Die Modellfunktion für die Pegelkarte kann für den Gültigkeitsbereich positiver L_{dp} durch fünf freie Parameter beschrieben werden: a ; b ; c ; $L'_{2,edpt}$; m . Um aus Messwerten diese Fläche berechnen zu können, werden also mindestens 5 DPOAE benötigt.

- 30 Das erfindungsgemäße Verfahren beruht auf der Anpassung der dreidimensionalen Modellfunktion an eine grob abgetastete dreidimensionale DPOAE-Pegelkarte mit vorzugsweise we-

nigstens 5 Messungen. In einem ersten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens zur automatischen Bestimmung einer individuellen Funktion einer DPOAE-Pegelkarte mit $p_{dp} = f(L_1, L_2)$ eines menschlichen oder tierischen Gehörs werden dem Gehör eines Individuums von dem aus Figur 1 ersichtlichen System n vordefinierte, z.B. $n = 6$ vordefinierte, Anregungspegelpaare $\{L_1, L_2\}$ 51, 52, 53, 54, 55, 56 präsentiert. Diese sechs vordefinierten Anregungspegelpaare $\{L_1, L_2\}$ 51, 52, 53, 54, 55, 56 sind beispielhaft in Figur 2 in der $\{L_1, L_2\}$ -Ebene markiert. Aus diesen 6 vordefinierten Anregungspegelpaaren $\{L_1, L_2\}$ 51, 52, 53, 54, 55, 56, die in zwei Subsequenzen 57, 58 präsentiert werden, werden dann DPOAE ermittelt, die über das erfindungsgemäße Verfahren zur Ermittlung der individuellen Funktion einer DPOAE-Pegelkarte genutzt werden.

Gemäß Figur 3 wird in einem ersten Schritt 110 des erfindungsgemäßen Verfahrens zunächst die bereits beschriebene Modellfunktion aus dem nicht-flüchtigen Speicher 16 in die Recheneinheit 10 des Systems 1, bzw. den Arbeitsspeicher 15 der Recheneinheit 10, eingelesen. Nach dem Einlesen der Modellfunktion werden von dem System 1 im zweiten Schritt 120 eine Anzahl von unterschiedlichen Pegelpaaren $\{L_1^{(1...n)}, L_2^{(1...n)}\}$ eines Anregungsfrequenzpaares $\{f_1, f_2\}$ über die Tonausgabemittel 21, 22 der Sonden-Einheit 20 ausgegeben bzw. einem Individuum präsentiert und die korrespondierenden DPOAE des Individuums über die Tonaufnahmemittel 23 erfasst, wobei wenigstens das erste Pegelpaar $\{L_1^{(1)}, L_2^{(1)}\}$ vordefiniert ist und wobei $n \ll N$ ist. Die korrespondierenden DPOAE werden mittels der AD/DA-Wandlereinheit 12 der Recheneinheit 10 zur Weiterverarbeitung zugeleitet. Dabei bedeuten die hochgestellten Indizes in den Klammern den 1. bis n . Meßpunkt.

Der zweite Schritt 120 beinhaltet in einer ersten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens, das als adaptive Variante bezeichnet werden kann, eine Reihe von Subschritten 121 bis 127, die nachfolgend mit Bezug auf Figur 4 näher erläutert werden.

Gemäß Figur 4 wird in einem ersten Subschritt 121 des zweiten Schritts 120 zunächst ein Startpegel $\{L_1^{(1)}, L_2^{(1)}\}$ (vorzugsweise ein Pegel L_1 von 67 ± 10 dB und ein Pegel L_2 von 57 ± 10 dB) für ein erstes Pegelpaar aus dem nicht-flüchtigen Speicher 16 in die Recheneinheit 10 eingelesen. Ferner werden in diesem Subschritt 121 die Schrittweiten $\Delta L_1, \Delta L_2$ für die

weiteren Pegelpaare $\{L_1^{(2...n)}, L_2^{(2...n)}\}$ sowie Schwellen für Suchrichtungsentscheidungen $L_{dp,min}^{(G,1)}$; SNR_{min} in die Rechneinheit 10 eingelesen. SNR_{min} bezeichnet dabei das gewünschte SNR (signal-to-noise ratio - Rauschabstand) und $L_{dp,min}^{(G,1)}$ bezeichnet dabei den DPOAE-Pegel auf dem Grat, der mindestens entlang einer ersten Subsequenz von k Subsequenzen vorliegen muß, damit eine nächste Subsequenz unterhalb der ersten noch mit ausreichendem SNR erwartet werden kann. Wird dieser Wert nicht erreicht, dann wird die nächste Subsequenz oberhalb der ersten, also grataufwärts, abgetastet, um eine zu lange Messzeit zum Erreichen eines ausreichenden SNR zu vermeiden. Die Schrittweiten ΔL_1 , ΔL_2 bezeichnen den Pegelabstand von zwei aufeinanderfolgenden Pegelpaaren wobei ΔL_1 insbesondere einen Wert von $\Delta L_1 = 4$ bis 14 dB, vorzugsweise von 6 bis 10 dB aufweist und wobei $\Delta L_2 = 0$ bis -2,78 dB ist, vorzugsweise $\Delta L_2 = -1,52$ bis -2,78 dB ist.

In einem zweiten Subschritt 122 des zweiten Schritts erfolgen nun die Messungen der ersten Subsequenz von k Subsequenzen quer zum vermuteten Grad der individuellen Funktion einer Pegelkarte. Die DPOAE werden dabei bei den bereits oben beschriebenen Anregungsfrequenzen $f_2 = 2$ kHz und $f_1 = 1,67$ kHz durchgeführt. Die Anregungsfrequenzen f_2 und f_1 eines Pegelpaares $\{L_1, L_2\}$ sind dabei vorzugsweise über ein Frequenzverhältnis von etwa $f_2/f_1 = 1,2$ verknüpft. Die Subsequenz gehört dabei zu einer Anzahl von k Subsequenzen, wobei $k \geq 2$ und ≤ 5 ist. In jeder Subsequenz werden dabei eine Anzahl von n_k Pegelpaaren $\{L_1, L_2\}$ gemessen.

Der Startpegel $\{L_1^{(1)}, L_2^{(1)}\}$ wird entsprechend den festgelegten Schrittweiten ΔL_1 , ΔL_2 variiert entsprechend der Formel $L_1^{(n+1)} = L_1^{(n)} + \Delta L_1' \cos(\varphi)$ und der weiteren Formel $L_2^{(n+1)} = L_2^{(n)} - \Delta L_1' \sin(\varphi)$. Wird in die gemessene Subsequenz eine absteigende oder keine ansteigende Flanke gemessen, wird die Suchrichtung umgekehrt und $\Delta L_1' = -\Delta L_1'$

In einem dritten Subschritt 123 wird überprüft, ob wenigstens drei valide DPOAE gemessen wurden. Ist diese Überprüfung positiv, das heißt es wurden drei valide DPOAE gemessen, geht das Verfahren weiter zum nächsten Subschritt 124. Wurden keine drei validen DPOAE gemessen, dann erfolgt eine Wiederholung der Messung, bei der aus dem ursprünglichen Anregungspegel $L_1^{(alt)}$, $L_2^{(alt)}$ ein neuer Anregungspegel $L_1^{(1)}$, $L_2^{(1)}$ nach

$$\begin{aligned} L_2^{(1)} &= L_2^{(alt)} + \Delta L_2 \cos(\varphi), \\ L_1^{(1)} &= L_1^{(alt)} + \Delta L_2 \sin(\varphi) \end{aligned}$$

bestimmt wird.

5

In dem nachfolgenden vierten Subschritt 124 erfolgt die Bestimmung der Lage des Grates der individuellen Funktion anhand der drei valide bestimmten Messwerte, z.B. durch Lösung einer Parabelgleichung und Auffinden des individuellen Maximums nach der Funktion:

10

$$L_{dp}'^{(G,1)} = f(L_1^{(1..3)}, L_2^{(1..3)})$$

Hier bedeutet $L_{dp}'^{(G,1)}$ denjenigen Punkt auf dem geschätzten Grat der individuellen Modellfunktion, dessen zugehöriges Anregungspegelpaar auf der durch $\{L_1^{(1..3)}, L_2^{(1..3)}\}$ gebildeten Linie liegen. Die Lage des Grates der individuellen Funktion bei den höheren Anregungspegeln $L^{(1..3)}$ ist nun also bereits aus dem Subschritt 124 bekannt, die Steigung des Grates, d.h. der Parameter m , jedoch nicht.

15

Im nachfolgenden fünften Subschritt 125 des zweiten Schritts 120 erfolgt eine Messung einer zweiten Subsequenz entlang des vermuteten Grates, wobei lediglich ein Messwert ermittelt wird. Die Messung erfolgt nach der Formel $L_1^{(4)} = L_{dp}'^{(G,1)} - \Delta L_2 \sin(\varphi)$.

20

Unterschreitet $L_{dp}'^{(G,1)}$ eine voreingestellte Grenze ($L_{dp,min}'^{(G,1)}$), wird dieser Schritt zu höheren Pegeln hin ausgeführt ($\Delta L_2 = -\Delta L_2$).

25

Der dort gemessene Wert des DPOAE ($L_{dp}^{(4)}$) wird nachfolgend im sechsten Subschritt 126 dazu verwendet, die individuelle Steigung des Grates, m , zu bestimmen.

In dem sechsten Subschritt 126 des zweiten Schritts 120 erfolgt die Berechnung der individuellen Steigung des Grates nach der Formel $m = f(L_{dp}^{(G,1)}, L_1^{(G,1)}, L_2^{(G,1)}, L_{dp}^{(4)}, L_1^{(4)}, L_2^{(4)})$. Anhand der ermittelten Steigung m des Grates erfolgt nun die Festlegung eines Startpegels $L_1^{(5)}, L_2^{(5)}$ für die dritte Subsequenz.

30

Im siebten Subschritt 127 des zweiten Schritts 120 erfolgen nun die Messungen der dritten Subsequenz quer zu dem vermuteten Grat der Funktion: Es erfolgt eine Variation von $\Delta L'_1$ in $L_1^{(n+1)} = L_1^{(n)} + \Delta L'_1 \cos(\varphi)$.

Vorzugsweise liegen mindestens die Hälfte der Pegelpaare $\{L_1, L_2\}$, bei denen gemessen wird, um mindestens 5 dB zu beiden Seiten abseits der Gruppe der dem Grat (der Modellfunktion) zugeordneten $\{L_1^{(G)}, L_2^{(G)}\}$ Pegelpaare.

Mit den gemäß dem zweiten Schritt 120 und seinen Subschritten 121 bis 127 ermittelten Messwerten, erfolgt nun eine Anpassung der bereits vorgestellten Modellfunktion an die gewonnenen Messwerte in einem dritten Schritt 130 in der Rechneinheit 10. Hierbei wird an die gemessenen DPOAE-Werte die dreidimensionale Modellfunktion $p_{dp,M} = f(L_1, L_2)$ angepasst. Die Anpassung erfolgt mit den mathematischen Methoden der Ausgleichsrechnung, z.B. mit der Methode der kleinsten Quadrate, d.h., mit der iterativen Minimierung der Differenz zwischen den n Messwerten und den Werten der Modellfunktion $p_{dp,M} = f(L_1, L_2)$ an die gemessenen n DPOAE (entsprechend den zugehörigen L_1, L_2 -Koordinaten) bis zum Erhalt einer individuellen Funktion $p_{dp,I} = f(L_1, L_2)$ mit individuellen Parametern einer DPOAE-Funktion und -Pegelkarte des Individuums durch die Rechneinheit 10. Man erhält damit auf einfache Weise eine individuelle Funktion / Pegelkarte des Gehörs eines Individuums mit stark verringertem messtechnischem Aufwand in kurzer Zeit.

In einem vierten Schritt 140 erfolgt nun die Ausgabe der individuell angepassten Funktion und ihrer Funktionsparameter in einem Ausgabemittel 11 des Systems 1, wie z.B. einem Display, Monitor, Drucker, etc.. Die ausgegebenen Funktionsparameter beinhalten dabei insbesondere die bereits oben beschriebenen Parameter a ; b ; c ; $L'_{2,edpt}$; und die Steigung des Grades m . Das Ausgabemittel 11 kann, wie bereits erwähnt, auch in Form einer Schnittstelle realisiert sein, über die ein externes Ausgabegerät, wie z.B. ein Drucker oder ein Monitor an das System 1 angeschlossen werden können.

In einem möglichen weiteren Verfahrensschritt, kann die ermittelte individuelle Funktion einer DPOAE-Pegelkarte und deren Parameter von der Rechneinheit 10 in dem nicht-flüchtigen Speicher 16 abgespeichert werden. Auch können die gemessenen Rohdaten von der

Rechnereinheit 10 in dem nicht-flüchtiger Speicher 16 abgespeichert werden. Die abgespeicherten Daten können von der Rechneinheit 10 z.B. zur kontinuierlichen Erweiterung des, der Modellfunktion einer Pegelkarte zugrundeliegenden Datensatzes verwendet werden.

- 5 Aus der erfindungsgemäß erhaltenen individuell angepassten Funktion und den dazugehörigen Funktionsparametern können folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Es kann eine angenäherte Distorsionsproduktschwelle berechnet werden, die Auskunft über die Schwelle des Eingangssignals für die inneren Haarzellen des gemessenen Gehörs liefert.

- 10 Als entsprechenden Parameter kann $L_{2,edpt}$ angesehen werden.

- Die Breite des Grates, in der Funktion durch den Parameter c beschrieben, ist ein Maß für die Kompression und damit für die Frequenzauflösung der zugrundeliegenden Wanderwellen im gemessenen Gehör.

15

- Die Lage und der Winkel, in der Funktion ausgedrückt durch die Parameter a ; b enthält Informationen über die Natur eines Hörverlustes: Bei einem reinen Schallleitungsverlust verändert sich der Winkel (in der Funktion ausgedrückt durch den Parameter a) nicht, stattdessen verschiebt sich der Hügel in erster Näherung in gleichem Maße in Richtung höherer L_1 - und L_2 -Pegel. Wenn sich z.B. die Verschiebung des Hügels (gegenüber den Normwerten, oder gegenüber einer Referenzmessung des Individuums zu einem früheren Zeitpunkt) mit der Verschlechterung der Distorsionsproduktschwelle deckt, also $\Delta L_2 \approx \Delta L_1 \approx \Delta L_{2,edpt}$ kann auf einen reinen Schallleitungsverlust geschlossen werden.

20

- 25 - Die Steilheit des Grates, ausgedrückt durch den Parameter m , lässt Rückschlüsse auf einen möglichen Schallleitungsverlust zu. Solange der Hörverlust unterhalb 30 dB liegt, kann erwartet werden, daß bei einem reinen Schallleitungsverlust die Steigung den Normwerten entspricht, während bei einer Abweichung gegenüber dem Normwert eine proportionale Reduzierung der retrograden Mittelohrübertragung bei f_{dp} indiziert ist.

30

In einer alternativen Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird anstelle der Sub-Schritte 121 bis 127 im Rahmen der Messungen des zweiten Schritts 120 eine Anzahl von n

festgelegten bzw. vordefinierten aber unterschiedlichen Pegelpaaren $\{L_1, L_2\}$ (wobei n vorzugsweise ≥ 5 und ≤ 12 ist, insbesondere ≥ 5 und ≤ 8) vom System ausgegeben und die Reaktion des Gehörs eines Individuums auf diese Pegelpaare $\{L_1, L_2\}$ erfasst. Diese Variante kann dabei als starres Verfahren bezeichnet werden. Die Pegelpaare $\{L_1, L_2\}$ können dabei
 5 wiederum in einer Anzahl k Subsequenzen (57, 58; vgl. Fig. 2) gemessen werden, wobei $k \geq 2$ und ≤ 12 ist. Die n Pegelpaare sind dabei dann weitestgehend statisch und es erfolgt keine Anpassung der zweiten und ggf. dritten Subsequenz auf die Ergebnisse der Messungen der ersten Subsequenz, wie es bei dem vorhergehend geschilderten Verfahren der Fall ist. Die Anzahl n der Pegelpaare $\{L_1, L_2\}$ ist dabei nach einer Abwägung von Meßzeit (möglichst wenig Meßpunkte) gegenüber erzielbarer Genauigkeit (möglichst viele Punkte) ausgelegt.
 10

In diesem starren Verfahren mit fest vorgegebenen Anregungspegeln kann bspw. mit $L'_2 = 40$ dB für die drei höheren Anregungspegel, und $L'_2 = 25$ dB für die drei niedrigeren Anregungspegel, und innerhalb einer Gruppe von drei Anregungspegeln jeweils $L'_1 = 0 \pm 6$ dB gemessen werden. Im $\{L_1, L_2\}$ -Koordinatensystem entspricht das den Anregungspegeln $L_2 = 68,1; 65,6; 63,1; 42,8; 45,3; 40,3$ und $L_1 = 68,0; 73,5; 79,0; 63,3; 57,8; 68,7$ (vgl. hierzu Fig. 2). Dabei verfolgt
 15 die Wahl $L'_1 = 0 \pm 6$ dB das Ziel, mit drei Punkten, die quer zur vermuteten Lage des Grates liegen, dessen Lage sicher einzumessen: bei $f_2 = 2$ kHz fällt das DPOAE mit $\Delta L'_1 \pm 6$ dB typischerweise auf etwa 50% des Maximalwertes ab. Wenn in erster Linie normalhörende Individuen gemessen werden sollen, wie es üblicherweise bei Siebttests der Fall ist, wird die
 20 starre Anordnung gute Ergebnisse liefern. Ausreißer müssen aber erkannt werden. Dies ist über den quadratischen Fehler der Modellanpassung möglich. Ist der Fehler zu hoch, d.h. ist der rms-Fehler (rms: root-mean-square) beispielsweise größer als $5 \mu Pa$, müssen weitere Pegelpaare gemessen werden, bis der Fehler gering genug ist. Hier bieten sich weitere $\Delta L'_1$ -Schritte an. Ebenso muß verfahren werden, wenn wegen zu geringem Rauschabstand einzelne Meßpunkte nicht registriert werden können.
 25

Abschließend bleibt noch anzumerken, dass abweichend von dem verwendeten und vorgängig beschriebenen Frequenzverhältnis f_2/f_1 von 1,2 auch ein anderes Frequenzverhältnis gewählt werden kann. So kann das Frequenzverhältnis f_2/f_1 z. B. auch auf einen anderen geeigneten Wert zwischen 1,15 und 1,35 festgelegt werden. Ferner könnte das Frequenzverhältnis f_2/f_1 eine Funktion von f_2 sein.
 30

Bezugszeichenliste

	1	System
	2	Kabelverbindung
5	3	erste Leitung
	4	zweite Leitung
	5	dritte Leitung
	6	vierte Leitung
10	10	Rechneinheit
	11	Ausgabemittel
	12	AD/DA-Wandlereinheit
	13	DA-Wandler
	14	AD-Wandler
15	15	Arbeitsspeicher
	16	nicht-flüchtiger Speicher mit gespeicherter Modellfunktion
	20	Sonden-Einheit, OAE-Sonde
	21	erstes Tonausgabemittel, f1-Schallgeber
20	22	zweites Tonausgabemittel, f2-Schallgeber
	23	Tonaufnahmemittel, Mikrophon
	24	Sondenspitze
	30	Ohr
25	31	Gehörgang
	40	Pfeil
	51	Anregungspegelpaar $\{L_1, L_2\}$
30	52	Anregungspegelpaar $\{L_1, L_2\}$
	53	Anregungspegelpaar $\{L_1, L_2\}$
	54	Anregungspegelpaar $\{L_1, L_2\}$
	55	Anregungspegelpaar $\{L_1, L_2\}$

- 56 Anregungspegelpaar $\{L_1, L_2\}$
- 57 erste Subsequenz
- 58 zweite/weitere Subsequenz

- 5 70 Graph / Modellpegelkarte
- 71 $\{L_1, L_2\}$ -Ebene
- 72 transformiertes $\{L'_1, L'_2\}$ -Koordinatensystem
- 73 Grat (der DPOAE Modellpegelkarte)

- 10 110 erster Verfahrensschritt
- 120 zweiter Verfahrensschritt
- 121 erster Subschritt
- 122 zweiter Subschritt
- 123 dritter Subschritt
- 15 124 vierter Subschritt
- 125 fünfter Subschritt
- 126 sechster Subschritt
- 127 siebter Subschritt
- 130 dritter Verfahrensschritt
- 20 140 vierter Verfahrensschritt

Patentansprüche

1. Verfahren, zur automatischen Bestimmung einer individuellen Funktion einer DPOAE-Pegelkarte mit $p_{dp,I} = f(L_1, L_2)$ eines menschlichen oder tierischen Gehörs, dadurch gekennzeichnet, dass es die folgenden Schritte beinhaltet:
 - Einlesen einer Modellfunktion $p_{dp,M} = f(L_1, L_2)$ mit Modellparametern einer DPOAE-Pegelkarte, basierend auf einer Anzahl von N DPOAE-Messungen eines Anregungsfrequenzpaares f_1, f_2 mit jeweils unterschiedlichen Pegelpaaren $\{L_1^{(1...N)}, L_2^{(1...N)}\}$ bei einer Population (p) von Normalhörenden, in einen Arbeitsspeicher (15) einer Rechneinheit (10), wobei $N \geq 40$ und $p \geq 2$ ist,
 - automatische Präsentation von n unterschiedlichen Pegelpaaren $\{L_1^{(1...n)}, L_2^{(1...n)}\}$ eines Anregungsfrequenzpaares f_1, f_2 über Tonausgabemittel (21, 22) an ein Individuum und Erfassen der korrespondierenden DPOAE des Individuums über Tonaufnahmemittel (23), wobei wenigstens das erste Pegelpaar $\{L_1^{(1)}, L_2^{(1)}\}$ vordefiniert ist und wobei $n \ll N$ ist,
 - iteratives Anpassen der Modellfunktion $p_{dp,M} = f(L_1, L_2)$ an die gemessenen n DPOAE bis zum Erhalt einer individuellen Funktion $p_{dp,I} = f(L_1, L_2)$ mit individuellen Parametern einer DPOAE-Pegelkarte des Individuums durch die Rechneinheit (10),
 - Ausgabe der individuellen Funktion $p_{dp,I} = f(L_1, L_2)$ und/oder deren individueller Parameter an einem Ausgabemittel (11) der Rechneinheit (10).
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Pegelpaar $\{L_1^{(1)}, L_2^{(1)}\}$ einen Pegel $L_1^{(1)}$ von 67 ± 10 dB und einen Pegel $L_2^{(1)}$ von 57 ± 10 dB aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Modellfunktion einen näherungsweise linear ansteigenden Grat (73) der aufweist, dem näherungsweise linear miteinander verknüpfte $\{L_1^{(G)}, L_2^{(G)}\}$ Pegelpaare zugeordnet sind, wobei mindestens die Hälfte der gemessenen Pegelpaare $\{L_1, L_2\}$, um mindestens 5 dB zu

beiden Seiten abseits der Gruppe der dem Grat (73) zugeordneten $\{L_1^{(G)}, L_2^{(G)}\}$ Pegelpaare liegen.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die unterschiedlichen Pegelpaare $\{L_1, L_2\}$ in einer Sequenz präsentiert werden die für jedes Individuum identisch ist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die vordefinierten, unterschiedlichen Pegelpaare $\{L_1, L_2\}$ in einer Sequenz präsentiert werden, die eine Anzahl von k Subsequenzen aufweisen, deren Pegelpaare $\{L_1, L_2\}$ im Wesentlichen quer zu den linear miteinander verknüpften und dem Grat zugeordneten Pegelpaaren $\{L_1^{(G)}, L_2^{(G)}\}$ liegen.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass $n \geq 5$ und ≤ 12 ist, vorzugsweise $n \geq 5$ und ≤ 8 ist.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass $k \geq 2$ und ≤ 8 .
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die einem ersten vordefinierten Pegelpaar $\{L_1^{(1)}, L_2^{(1)}\}$ nachfolgenden Pegelpaare $\{L_1^{(2..n_k)}, L_2^{(2..n_k)}\}$ einer Subsequenz mit n_k Messungen über eine Funktion $\{L_1^{(i)}, L_2^{(i)}\} = \{L_1^{(i-1)} + \mu \cdot \Delta L_1, L_2^{(i-1)} + \mu \cdot \Delta L_2\}$ aus dem jeweils vorhergehenden Pegelpaar $\{L_1^{(i-1)}, L_2^{(i-1)}\}$ bestimmt werden, wobei $\mu = \pm 1$, vorzugsweise $+1$ ist, und $\Delta L_1, \Delta L_2$ ein Pegelabstand von zwei aufeinanderfolgenden Pegelpaaren ist und Werte von $\Delta L_1 = 4$ bis 14 dB, vorzugsweise von 6 bis 10 dB, und $\Delta L_2 = 0$ bis $-2,78$ dB, vorzugsweise $\Delta L_2 = -1,52$ bis $-2,78$ dB aufweist.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass, wenn das erste Pegelpaar $\{L_1^{(1)}, L_2^{(1)}\}$ und das zweite Pegelpaar $\{L_1^{(2)}, L_2^{(2)}\}$ zwei DPOAE mit $p_{dp,i}^{(12)}$ produziert, die einen Rauschabstand von je ≥ 4 dB, vorzugsweise ≥ 10 dB aufweisen, der Pegel eines nachfolgendes dritten Pegelpaars

$\{L_1^{(3)}, L_2^{(3)}\}$ wenigstens um $\Delta L_1 \geq 4$ dB unterschiedlich eingestellt wird als der Pegel des vorhergehenden Pegelpaars $\{L_1^{(2)}, L_2^{(2)}\}$, wenn $p_{dp,l}^{(2)} - p_{dp,l}^{(1)} > 0$, andererseits der Pegel eines nachfolgenden Pegelpaars $\{L_1^{(3)}, L_2^{(3)}\}$ wenigstens um $\Delta L_1 \leq -4$ dB unterschiedlich eingestellt wird als der Pegel des ersten Pegelpaars $\{L_1^{(1)}, L_2^{(1)}\}$, wenn $p_{dp,l}^{(2)} - p_{dp,l}^{(1)} \leq 0$.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass, wenn das erste Pegelpaar $\{L_1^{(1)}, L_2^{(1)}\}$ keine DPOAE mit $p_{dp,l}^{(1)}$ produziert, die einen Rauschabstand von ≥ 4 dB, vorzugsweise ≥ 10 dB aufweist, in derselben Suchrichtung weiterverfahren wird, bis entweder der maximale bzw. minimale Anregungspegel $L_1^{(i)}$ erreicht ist, oder eine Gruppe von drei validen DPOAE mit $p_{dp,l}^{(i..i+2)}$ produziert wurde, die einen Rauschabstand von je ≥ 4 dB, vorzugsweise ≥ 10 dB aufweisen.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass, wenn in der ersten Subsequenz keine Gruppe von drei validen DPOAE produziert wird, die einen Rauschabstand von je ≥ 4 dB, vorzugsweise ≥ 10 dB aufweisen, eine erneute Subsequenz mit höherem Pegelpaar $\{L_1^{(i+1)}, L_2^{(i+1)}\}$ gestartet wird, wobei das Startpegelpaar für die erneute Subsequenz auf $L_2^{(i+3)} = L_2^{(1)} + 20 \pm 10$ dB, $L_1^{(i+3)} = L_1^{(1)} + 20 \pm 10$ dB, höchstens aber auf die maximal erreichbaren Pegel eingestellt wird.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nach der Erfassung der DPOAE von wenigstens 3 Pegelpaaren $\{L_1^{(1..3)}, L_2^{(1..3)}\}$, vorzugsweise einer Subsequenz, aus diesen 3 Pegelpaaren $\{L_1^{(1..3)}, L_2^{(1..3)}\}$ die Lage des Grates $\{L_1^{(G)}, L_2^{(G)}\}$ längs der durch die 3 Pegelpaare gebildeten Linie ermittelt wird und ein viertes Pegelpaar $\{L_1^{(4)}, L_2^{(4)}\}$ präsentiert wird, welches in einem vorgegebenen Abstand gratabwärts gelegt wird, wobei der Gruppenmittelwert der Gratrichtung, φ verwendet wird, und wobei anhand der aus den vier präsentierten Pegelpaaren $\{L_1^{(1..4)}, L_2^{(1..4)}\}$ bestimmten DPOAE eine Steigung des linearen Grats der Pegelkarte ermittelt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 1 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass, wenn in der ersten oder zweiten Subsequenz eine Gruppe von drei validen DPOAE mit $p_{DPI}^{i-2...i}$ produziert wird, die einen Rauschabstand von je ≥ 4 dB, vorzugsweise ≥ 10 dB aufweisen, durch Anpassung einer mathematischen Funktion an die zugehörigen DPOAE $p_{DPI}^{i-2...i}$ das Pegelpaar unterhalb des Grades $\{L_1^{(i)}, L_2^{(i)}\} = \{L_1^{(i-2)} + \varepsilon \cdot \Delta L_1, L_2^{(i-2)} + \varepsilon \cdot \Delta L_2\}$ bestimmt wird, wobei ε so berechnet werden muß, daß $p_{DPI}(L_1^{(i)}, L_2^{(i)})$ ein Maximum bildet, und davon ausgehend ein viertes Pegelpaar $L_1^{(i+1)}, L_2^{(i+1)}$ präsentiert wird, mit einer Funktion $\{L_1^{(i+1)}, L_2^{(i+1)}\} = \{L_1^{(i)} + \Delta L_1, L_2^{(i)} + \Delta L_2\}$, wobei $\Delta L_2 = -15 \pm 10$ dB eingestellt wird, und das Pegelpaar vorzugsweise auf der Projektion des erwarteten Grades auf die L1,L2-Ebene, d.h. mit $\Delta L_1/\Delta L_2 \approx 0.51 \pm 0.15$ eingestellt wird, und wobei anhand der aus den vier präsentierten Pegelpaaren $L_1^{(i-2...i+1)}, L_2^{(i-2...i+1)}$ bestimmten DPOAE eine Steigung m des näherungsweise linearen Grats der Pegelkarte ermittelt wird.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Pegelpaare $\{L_1^{(1..n)}, L_2^{(1..n)}\}$ gepulst präsentiert werden, wobei jeder einzelne Puls mit einer Dauer T_D von 2 bis 40 ms präsentiert wird.
15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Pegelpaare $\{L_1^{(1..n)}, L_2^{(1..n)}\}$ innerhalb eines Messblocks aus mehreren, zeitlich nacheinander in Pulsen präsentierten Pegelpaaren $\{L_1^{(1..n,m)}, L_2^{(1..n,m)}\}$ präsentiert werden, wobei zeitlich direkt aufeinanderfolgende Pegelpaare $\{L_1^{(1..n,i)}, L_2^{(1..n,i)}\}; \{L_1^{(1..n,i+1)}, L_2^{(1..n,i+1)}\}$ unterschiedliche Anregungsfrequenzen $\{f_{2,i}, f_{1,i}\}; \{f_{2,i+1}, f_{1,i+1}\}$ aufweisen.
16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass in einem weiteren Verfahrensschritt, die ermittelte individuelle Funktion einer DPOAE-Pegelkarte und deren Parameter von der Rechneinheit (10) in einem nicht-flüchtigen Speicher (16) abgespeichert wird.
17. System zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 16, mit einer Rechneinheit 10, mit einem Arbeitsspeicher (15), mit einem nicht-flüchtigen

Speicher (16) zur Speicherung einer Modellfunktion $p_{dp\ M} = f(L_1, L_2)$ und Modellparametern der Modellfunktion, mit wenigstens einem über die Rechereinheit (10) angesteuerten Tonausgabemittel (21, 22) zur Präsentation von Tönen an ein Individuum, mit wenigstens einem mit der Rechereinheit (10) verbundenen Tonaufnahmemittel (23) zum Erfassen von DPOAE aus dem Ohr des Individuums.

18. System nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass das wenigstens eine Tonausgabemittel (21, 22) ein Lautsprecher mit einer hochlinearen Charakteristik ist.
19. System nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass ein Ausgabemittel (11) zur Ausgabe der individuellen Funktion einer DPOAE-Pegelkarte an einen Nutzer vorgesehen ist.

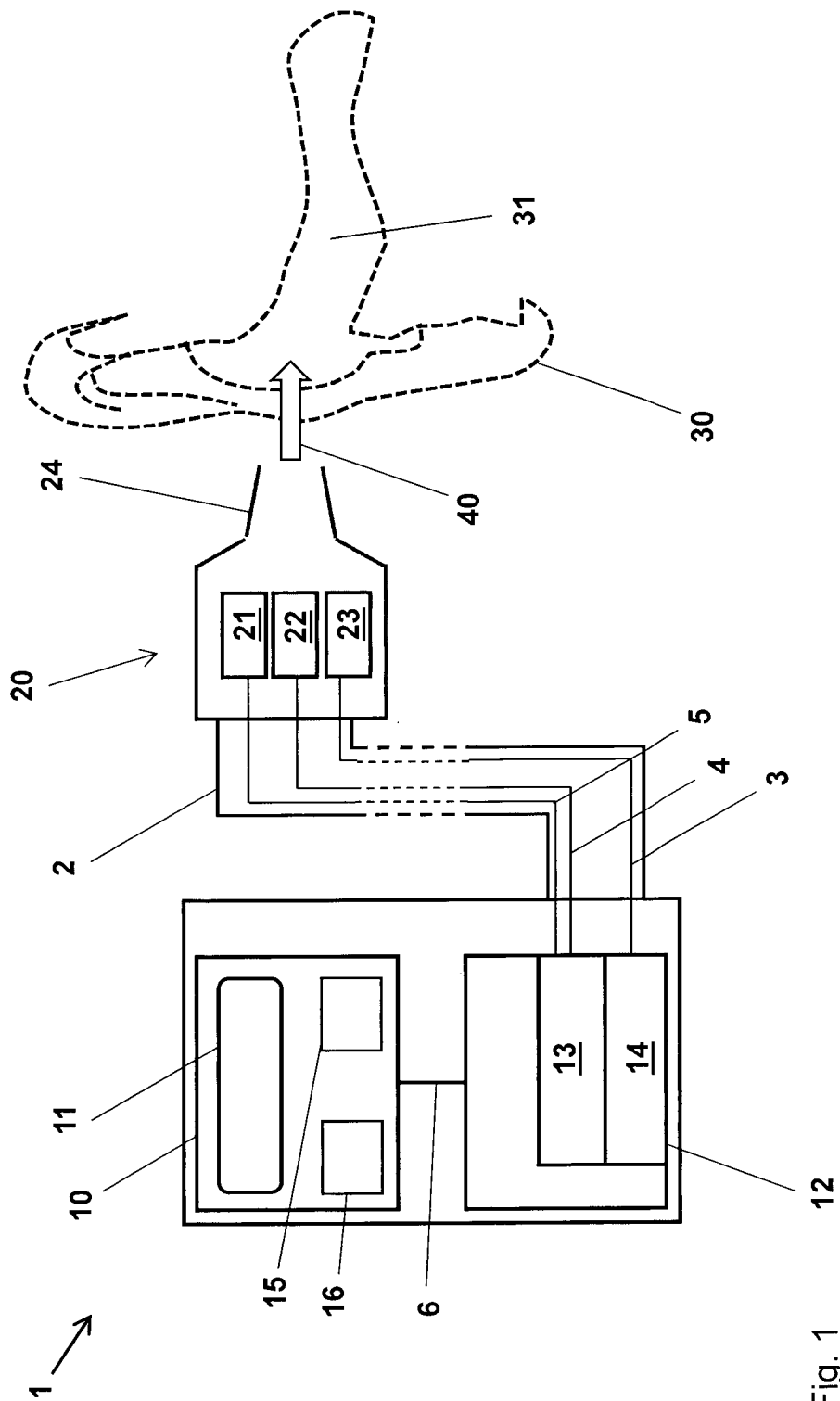


Fig. 1

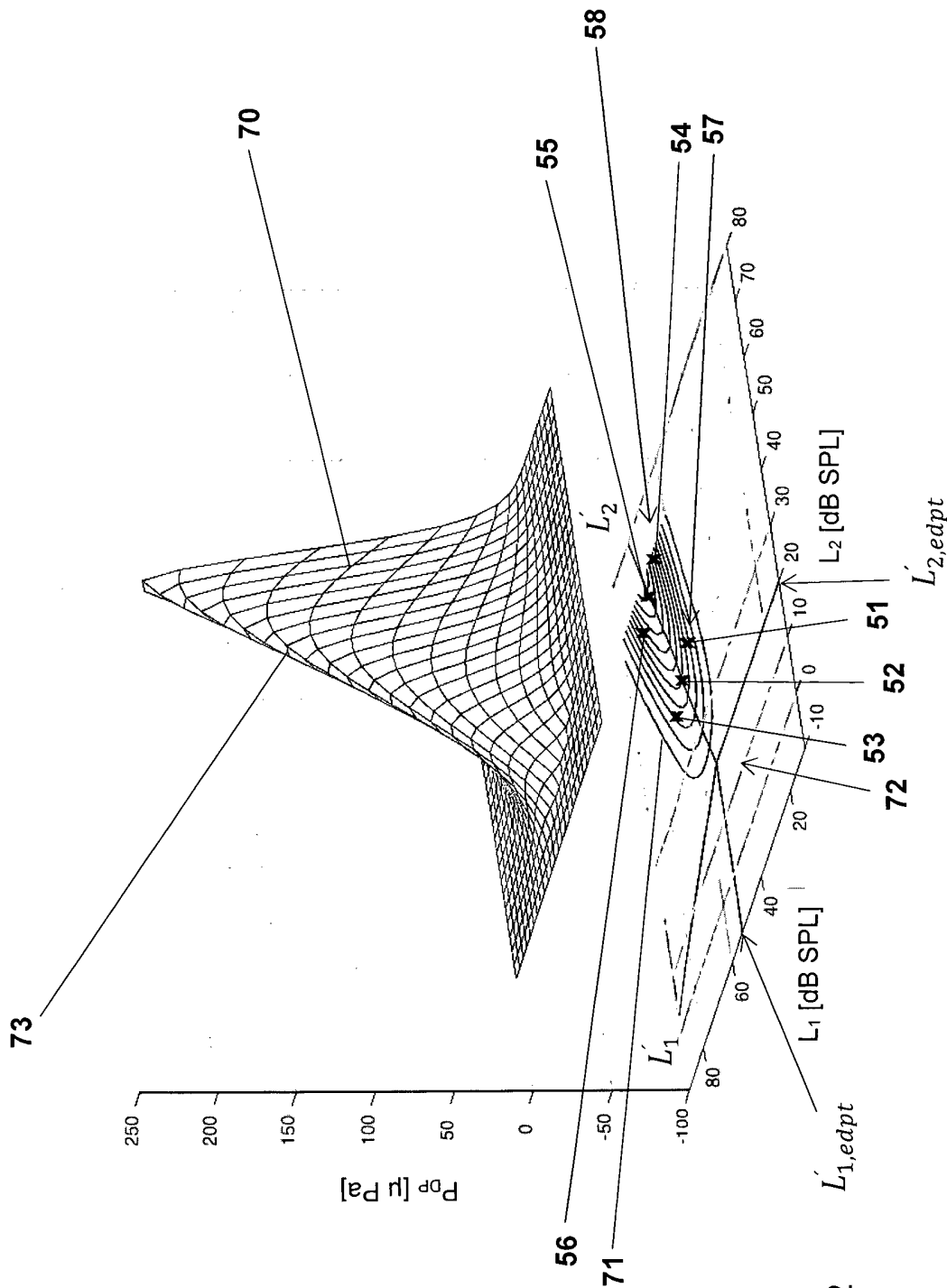


Fig. 2

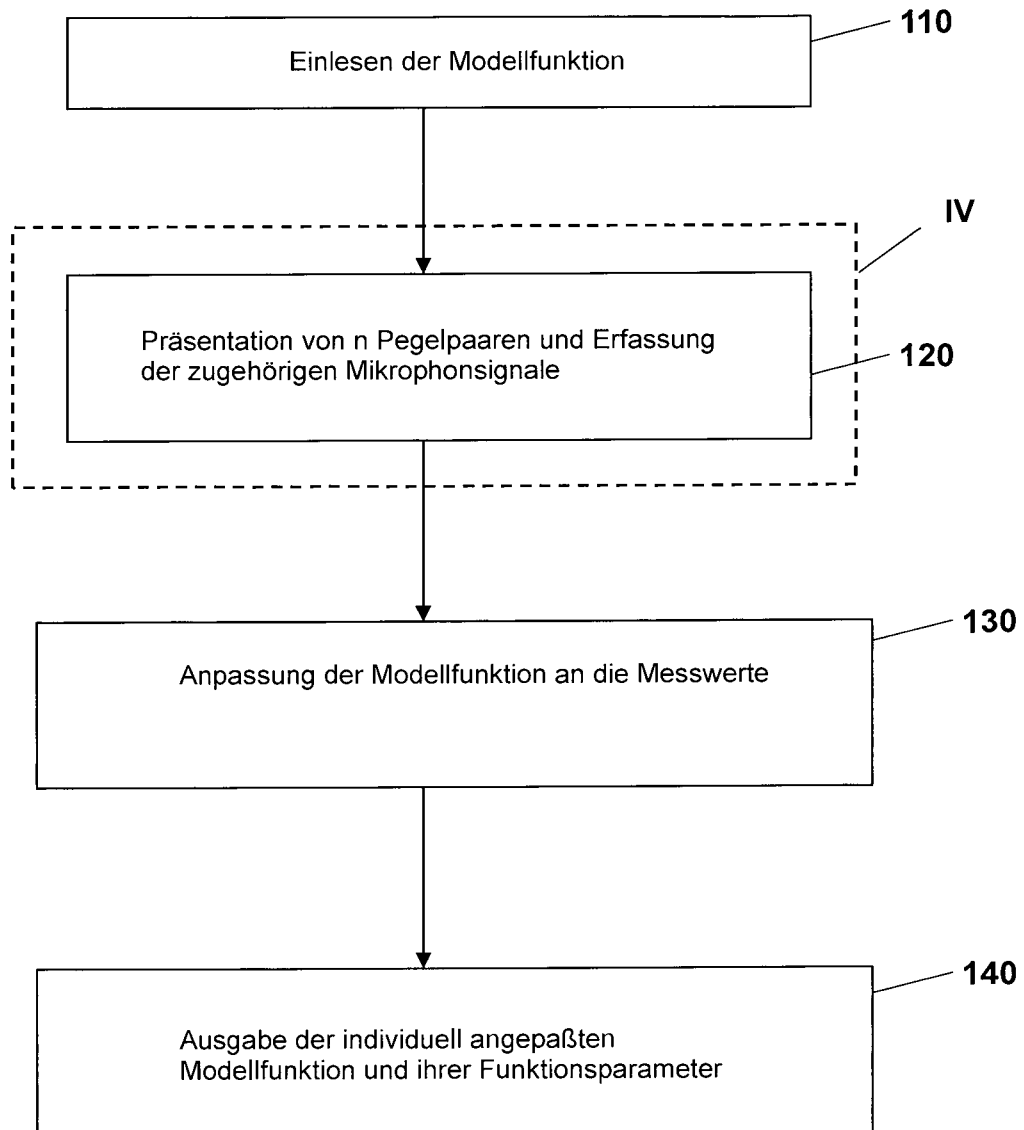


Fig. 3

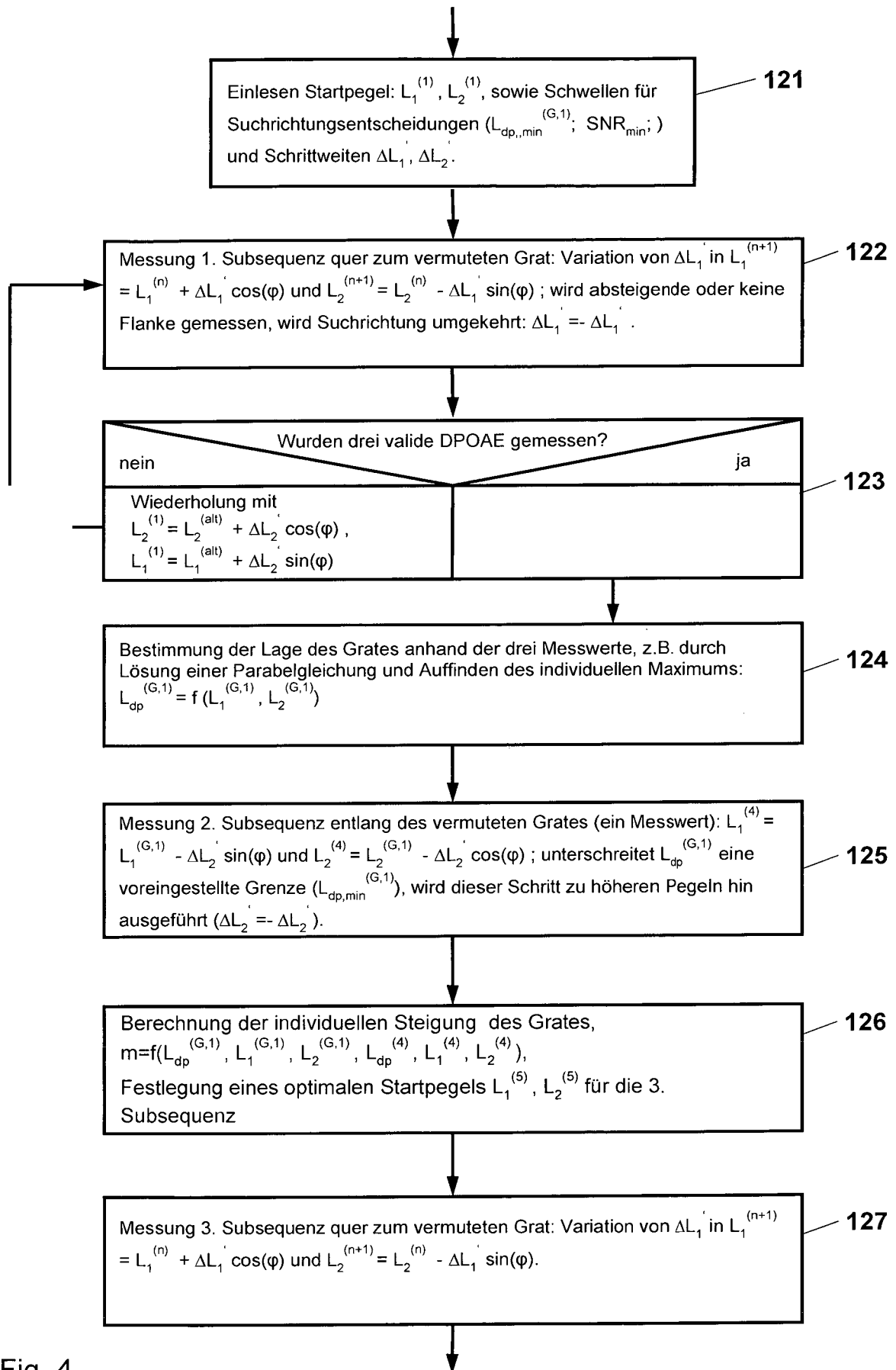


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/000334

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. A61B5/00 A61B5/12
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
A61B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	M. L. WHITEHEAD ET AL: "Dependence of distortion-product otoacoustic emissions on primary levels in normal and impaired ears. II. Asymmetry in L 1 , L 2 space", THE JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, vol. 97, no. 4, 1 April 1995 (1995-04-01), pages 2359-2377, XP055378625, New York, NY, US ISSN: 0001-4966, DOI: 10.1121/1.411960 das ganze Dokument, insbesondere: figure 1 abstract Abschnitt II.A.1 Abschnitt V.B ----- -/-	1-19

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

6 June 2017

Date of mailing of the international search report

14/06/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Albrecht, Ronald

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/000334

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	ZELLE DENNIS ET AL: "Level dependence of the nonlinear-distortion component of distortion-product otoacoustic emissions in humans)", THE JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS FOR THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, NEW YORK, NY, US, vol. 138, no. 6, 8 December 2015 (2015-12-08), pages 3475-3490, XP012203260, ISSN: 0001-4966, DOI: 10.1121/1.4936860 [retrieved on 1901-01-01] the whole document -----	1-19
A	DAVID M. MILLS: "Interpretation of distortion product otoacoustic emission measurements. I. Two stimulus tones", THE JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, vol. 102, no. 1, 1 July 1997 (1997-07-01), pages 413-429, XP055378615, New York, NY, US ISSN: 0001-4966, DOI: 10.1121/1.419763 the whole document -----	1-19

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. A61B5/00 A61B5/12
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
A61B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	M. L. WHITEHEAD ET AL: "Dependence of distortion-product otoacoustic emissions on primary levels in normal and impaired ears. II. Asymmetry in L 1 , L 2 space", THE JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, Bd. 97, Nr. 4, 1. April 1995 (1995-04-01), Seiten 2359-2377, XP055378625, New York, NY, US ISSN: 0001-4966, DOI: 10.1121/1.411960 das ganze Dokument, insbesondere: Abbildung 1 Zusammenfassung Abschnitt II.A.1 Abschnitt V.B ----- -/-	1-19



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

6. Juni 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

14/06/2017

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Albrecht, Ronald

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	ZELLE DENNIS ET AL: "Level dependence of the nonlinear-distortion component of distortion-product otoacoustic emissions in humans)", THE JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS FOR THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, NEW YORK, NY, US, Bd. 138, Nr. 6, 8. Dezember 2015 (2015-12-08), Seiten 3475-3490, XP012203260, ISSN: 0001-4966, DOI: 10.1121/1.4936860 [gefunden am 1901-01-01] das ganze Dokument -----	1-19
A	DAVID M. MILLS: "Interpretation of distortion product otoacoustic emission measurements. I. Two stimulus tones", THE JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, Bd. 102, Nr. 1, 1. Juli 1997 (1997-07-01), Seiten 413-429, XP055378615, New York, NY, US ISSN: 0001-4966, DOI: 10.1121/1.419763 das ganze Dokument -----	1-19

专利名称(译)	用于自动确定人或动物听力的dpoae水平图的个体功能的方法		
公开(公告)号	EP3429457A1	公开(公告)日	2019-01-23
申请号	EP2017712027	申请日	2017-03-14
申请(专利权)人(译)	EBERHARD - 卡尔斯安大学蒂宾根		
当前申请(专利权)人(译)	EBERHARD - 卡尔斯安大学蒂宾根		
[标]发明人	DALHOFF ERNST ZELLE DENNIS		
发明人	DALHOFF, ERNST ZELLE, DENNIS		
IPC分类号	A61B5/00 A61B5/12		
CPC分类号	A61B5/125 A61B5/7235 A61B5/7239 A61B5/7271 G06F19/34 A61B5/7203 A61B5/7225 A61B5/7228 A61B5/7275		
优先权	102016003133 2016-03-15 DE		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

一种用于自动确定人或动物听力的DPOAE水平图的个体功能的方法，包括以下步骤： - 利用DPOAE水平图的模型参数读取模型函数 p_{dp} ， $M = f(L_1, L_2)$ 。在正常听力受试者群体中具有各自不同水平对 $\{L_1(1 \dots N), L_2(1 \dots N)\}$ 的激励频率对 f_1, f_2 的多个N DPOAE测量的基础， - 通过音频输出装置 (21,22) 向个体呈现n个激励频率对 f_1, f_2 的不同电平对 $\{L_1(1..n), L_2(1..n)\}$ 并检测通过音频捕获装置 (23) 的个体的DPOAE，其中至少定义第一级对 $\{L_1(1), L_2(1)\}$ ，并且 $n \ll N$ ， - 迭代地调整模型函数 p_{dp} ，M到测量的n DPOAE，直到获得个体函数 $p_{dp}, l = f(L_1, L_2)$ ，其具有个体的DPOAE水平图的各个参数，并且 - 输出个体函数 p_{dp}, l 。