

(19)



(11)

**EP 3 070 964 A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**21.09.2016 Patentblatt 2016/38**

(51) Int Cl.:  
**H04R 25/00** <sup>(2006.01)</sup> *H04R 23/00* <sup>(2006.01)</sup>  
*H04R 3/14* <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **16155817.6**

(22) Anmeldetag: **16.02.2016**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**  
Benannte Validierungsstaaten:  
**MA MD**

(72) Erfinder:  
• **CHAN, Hoong Yih**  
**640249 Singapore (SG)**  
• **LEE, Chuan Foong**  
**81000 Johor Bahur (MY)**  
• **BAS, Eduardo Jr**  
**130003 Singapore (SG)**

(30) Priorität: **19.03.2015 DE 102015204996**

(74) Vertreter: **FDST Patentanwälte**  
**Nordostpark 16**  
**90411 Nürnberg (DE)**

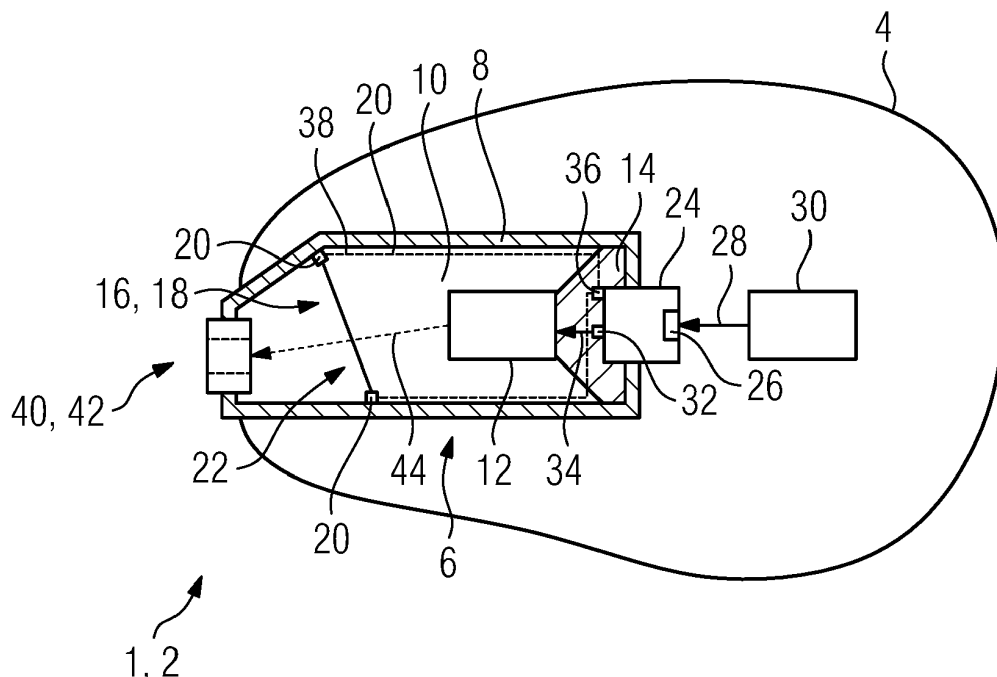
(71) Anmelder: **Sivantos Pte. Ltd.**  
**Singapore 139959 (SG)**

### (54) HÖRGERÄT, INSBESONDERE HÖRHILFEGERÄT

(57) Die Erfindung nennt ein Hörgerät (1), insbesondere Hörhilfegerät (2), umfassend ein Gehäuse (4), eine im Gehäuse angeordnete Signalverarbeitungseinheit (30), einen ersten Schallerzeuger (12), der im Gehäuse (4) angeordnet ist, und einen zweiten Schallerzeuger (16), wobei der erste Schallerzeuger (12) und der zweite

Schallerzeuger (16) jeweils dazu eingerichtet sind, ein Ausgangssignal (28) der Signalverarbeitungseinheit (30) in Schall umzuwandeln, und wobei der zweite Schallerzeuger (16) einen thermoakustischen Wandler (18) umfasst.

**FIG 1**



**EP 3 070 964 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Hörgerät, insbesondere ein Hörhilfegerät, umfassend ein Gehäuse, eine im Gehäuse angeordnete Signalverarbeitungseinheit und einen ersten Schallerzeuger, der im Gehäuse angeordnet ist, wobei der erste Schallerzeuger dazu eingerichtet ist, ein Ausgangssignal der Signalverarbeitungseinheit in Schall umzuwandeln.

**[0002]** In einem Hörhilfegerät, welches ein Mikrofon und einen elektroakustischen Wandler aufweist, können durch den elektroakustischen Wandler hervorgerufene mechanische Vibrationen zu einer Instabilität des Signalweges führen. Beispielsweise können die Vibrationen durch eine akustische Rückkopplung vom Mikrofon aufgezeichnet und in ein elektrisches Signal umgewandelt werden, welches nach Verstärkung dem elektroakustischen Wandler zugeführt und von diesem in Schall umgewandelt wird. Hierdurch wird eine geschlossene Schleife gebildet, in welcher die Vibrationen immer weiter verstärkt werden. Als Folge droht eine Instabilität des Systems, welche sich bemerkbar macht in einer Verstärkung von unerwünschten Signalanteilen, die die Belastungsgrenze einzelner Komponenten des Hörhilfegeräts oder die Schmerzgrenze eines Benutzers des Hörhilfegeräts überschreiten können.

**[0003]** Insbesondere ist hierbei nicht nur eine rein elektroakustische Rückkopplung eines durch den elektroakustischen Wandler wiedergegebenen Schallsignals über das Mikrofon in den Signalweg von Belang. Auch mechanische Vibrationen des elektroakustischen Wandlers, welche beispielsweise durch eine resonante Anregung des ihn umgebenden Gehäuses im Hörhilfegerät resultieren können, finden im Fall unzureichender akustischer Abschirmung des Mikrofons gegen die Vibrationen durch diesen Eingang in den elektrischen Signalweg. Durch eine Verstärkung in der Signalverarbeitung des Hörhilfegeräts und eine Wiedergabe über den elektroakustischen Wandler können die den mechanischen Vibrationen entsprechenden Frequenzen die sie ursprünglich erzeugenden Vibrationen weiter verstärken. Durch diese elektroakustische Rückkopplung wird die mechanische Vibration ebenso resonant angeregt. Die Anregung erfolgt dabei umso stärker, je größer die Verstärkung des Signals in der Signalverarbeitung ist.

**[0004]** Aufgrund der Dimensionen üblicher Hörhilfegeräte und der daraus resultierenden Resonanzeigenschaften sind Frequenzen zwischen 1 kHz und 12 kHz besonders von der elektroakustischen Verstärkung und resonanten Rückkopplung mechanischer Vibrationen betroffen. Eine hinreichend hohe Verstärkung eines Signals vor der Schallerzeugung ist jedoch insbesondere für Frequenzen zwischen 2 kHz und 4 kHz wichtig. Da in diesem Frequenzband besonders wichtige Formanten zur Erkennung von Konsonanten auftreten, ist eine gute Wiedergabedynamik, also insbesondere ein möglichst hoher Ausgangspegel, gerade für die Sprachverständlichkeit von Bedeutung. Das Hörhilfegerät soll also in diesem

Frequenzband eine möglichst laute Schallerzeugung ermöglichen, um bei einer Wiedergabe von Sprache ein möglichst reiches Klangbild erzeugen zu können.

**[0005]** Üblicherweise wird daher anhand von Testreihen und entsprechender Algorithmen versucht, für verschiedene Frequenzen die maximale Verstärkung zu ermitteln, bei welcher eine Instabilität des Signalwegs infolge resonanter Anregung noch unterbunden bleibt. Jedoch sind der maximalen Verstärkung und somit einem reichen Klangbild auch bei einer derartigen frequenzabhängigen Optimierung der Verstärkung an die jeweilige Stabilitätsgrenze hin enge Grenzen durch die mechanischen Gegebenheiten des Hörhilfegeräts gesetzt. Bei derartigen Testreihen sind zudem die ggf. in realen Situationen auftretenden nichtlinearen Effekte bei der resonanten Anregung zu berücksichtigen, um den noch zulässigen Verstärkungsfaktor nicht fälschlich als zu hoch anzusetzen, was in der Praxis eine Instabilität begünstigen würde. Eine aus den genannten Überlegungen konservative Abschätzung der noch zulässigen Verstärkung bei einer jeweiligen Frequenz begrenzt allerdings die Dynamik der Wiedergabe zusätzlich.

**[0006]** Der Erfindung liegt die daher Aufgabe zugrunde, ein Hörgerät anzugeben, welches bei der Schallerzeugung eine möglichst hohe Wiedergabedynamik über ein breites Frequenzspektrum hinweg erlaubt, und dabei eine kompakte Bauweise sowie eine möglichst geringe Anfälligkeit für mechanische Vibrationen aufweisen soll.

**[0007]** Die genannte Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Hörgerät, insbesondere ein Hörhilfegerät, umfassend ein Gehäuse, eine im Gehäuse angeordnete Signalverarbeitungseinheit, einen ersten Schallerzeuger, der im Gehäuse angeordnet ist, und einen zweiten Schallerzeuger, wobei der erste Schallerzeuger und der zweite Schallerzeuger jeweils dazu eingerichtet sind, ein Ausgangssignal der Signalverarbeitungseinheit in Schall umzuwandeln, und wobei der zweite Schallerzeuger einen thermoakustischen Wandler umfasst. Weiter umfasst das Hörgerät eine Frequenzweiche mit einem Signaleingang, einem Niederfrequenz-Ausgang und einem Hochfrequenz-Ausgang, wobei über den Signaleingang die Signalverarbeitungseinheit zur Einspeisung des Ausgangssignals mit der Frequenzweiche verbunden ist, und wobei der Niederfrequenz-Ausgang mit dem ersten Schallerzeuger und der Hochfrequenz-Ausgang mit dem zweiten Schallerzeuger verbunden ist.

**[0008]** Vorteilhafte und teils für sich gesehen erfindेरische Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche und der nachfolgenden Beschreibung.

**[0009]** Die Erfindung geht dabei von einem Hörgerät aus, welches ein Gehäuse, eine im Gehäuse angeordnete Signalverarbeitungseinheit, und einen im Gehäuse angeordneten Schallerzeuger aufweist, welcher dazu eingerichtet ist, ein Ausgangssignal der Signalverarbeitungseinheit in Schall umzuwandeln. Insbesondere ist der Schallerzeuger dabei als ein elektroakustischer Wandler ausgebildet.

**[0010]** Die Erfindung erkennt in einem ersten Schritt,

dass für eine möglichst hohe Wiedergabedynamik in einem breiten Frequenzspektrum eine frequenzabhängige Abschwächung der Signalpegel zur Unterbindung von Vibrationen kontraproduktiv ist, da die fehlende Dynamik in den entsprechenden Frequenzbändern die Klangqualität derart beeinträchtigt, dass dies nicht durch andere Maßnahmen behoben werden kann. Es soll somit versucht werden, das Entstehen von Vibrationen über konstruktive Maßnahmen und nicht über eine Regelung der Verstärkung zu unterbinden.

**[0011]** Die zu unterbindenden Vibrationen entstehen hierbei im Wesentlichen zunächst als Vibrationen des den Schallerzeuger umgebenden Gehäuses, welches beispielsweise durch eine nicht ausreichend gedämpfte Aufhängung des Schallerzeugers von diesem Vibrationsenergie aufnimmt, welche der Schallerzeugung entsteht, und hierdurch das Gehäuse entsprechend seiner Resonanzeigenschaften angeregt wird. Eine Verbesserung der Dämpfung der Aufhängung ist jedoch aus Platzgründen nur eingeschränkt möglich. Insbesondere ist eine derartige Anpassung der Dämpfung bei kompakter Bauweise nur für bestimmte Frequenzbänder ausreichend wirksam, da einerseits die Dämpfungswirkung bei einer vorgegebenen Elastizität eines Dämpfers frequenzabhängig ist, und andererseits die entsprechenden Dämpfungskonstanten der Aufhängung von deren Abmessung abhängen.

**[0012]** Die Unterdrückung einer Einkopplung von durch den Schallerzeuger generierter Vibrationsenergie in das ihn umgebende Gehäuse ist somit unter den konstruktiven Vorgaben nicht für beliebig breitbandige Frequenzspektren zu erreichen. Da jedoch gerade im Frequenzband von 2 kHz bis 4 kHz eine besonders hohe Dynamik in der Wiedergabe von Signalen erwünscht ist, um eine hohe Sprachverständlichkeit zu erreichen, könnte man geneigt sein, einen zweiten Schallerzeuger vorzusehen, und dessen Aufhängung derart auszugestalten, dass in diesem Frequenzband Vibrationen besonders wirksam gedämpft werden.

**[0013]** Dies würde erlauben, im besagten Frequenzband eine besonders hohe Signalverstärkung anzuwenden. Der zweite Schallerzeuger wäre dabei insbesondere für eine hohe Wiedergabeleistung in diesem Frequenzband auszulegen. Der erste - also der bereits ursprünglich vorhandene - Schallerzeuger könnte dann beispielsweise für niedrigere Frequenzbänder ausgelegt sein, und die Aufhängung des ersten Schallerzeugers könnte besonders für die Dämpfung von niederfrequenten Vibrationen konzipiert werden.

**[0014]** Dies ist jedoch vor dem Hintergrund der gewünschten kompakten Konstruktion nur schwer zu realisieren. Selbst bei einer kompakten Dimensionierung des zweiten Schallerzeugers ist seine bauliche Integration in ein Hörgerät, in welchem ein weiterer Schallerzeuger vorgesehen ist, nicht zuletzt vor dem Hintergrund der erforderlichen dämpfenden Aufhängung der beiden Schallerzeuger nicht ohne weiteres zu bewerkstelligen. Überdies ist der mittels eines Schallerzeugers maximal

erzeugbare Schalldruck - und somit auch die durch diesen erreichbare Wiedergabedynamik - meist auch dimensionsabhängig. Eine zu weitgehende Verringerung der Größe des zweiten Schallerzeugers hätte wiederum ein unbefriedigendes Klangbild in den Frequenzbändern zur Folge, für welche der zweite Schallerzeuger überhaupt besonders vorgesehen wäre.

**[0015]** Demgegenüber schlägt die Erfindung vor, dass der zweite Schallerzeuger einen thermoakustischen Wandler umfasst. Dies erlaubt eine besonders kompakte Schallerzeugung insbesondere höherer Frequenzen bei hoher Wiedergabedynamik.

**[0016]** Während üblicherweise die Schallerzeugung in einem Hörgerät durch elektroakustische Wandler erfolgt, hat der Einsatz eines thermoakustischen Wandlers im zweiten Schallerzeuger hierbei zunächst den Vorteil, dass dieser bei der Schallerzeugung keine Vibrationsenergie generiert. Bei einem thermoakustischen Wandler wird aus einem elektrischen Signal ein Schallsignal dadurch erzeugt, dass an einer Fläche oder einer Oberfläche des thermoakustischen Wandlers durch das elektrische Signal Temperaturschwankungen erzeugt werden. Diese schnell oszillierenden Temperaturschwankungen an der Fläche oder Oberfläche des thermoakustischen Wandlers führen zu einem zeitveränderlichen Temperaturgradienten der angrenzenden Luftschichten. Durch diesen zeitveränderlichen Temperaturgradienten können die angrenzenden Luftschichten in Schwingungen versetzt werden, welche sich als ein Schallsignal ausbreiten.

**[0017]** Für eine derartige Schallerzeugung ist eine wie auch immer geartete Eigenbewegung des thermoakustischen Wandlers nicht erforderlich, und auch nicht vorgesehen. Bei der Schallerzeugung durch den thermoakustischen Wandler entstehen somit keine Vibrationen, welche an die Umgebung oder an eine Aufhängung abgegeben werden können. Dies ist im Fall eines Schallerzeugers für ein Hörgerät insbesondere vor dem Hintergrund relevant, dass die üblicherweise verwendeten Dimensionen insbesondere für das Gehäuse und die Aufhängung des Schallerzeugers zu einem Resonanzspektrum führen, welches durch eine mechanische Vibration in Frequenzbereichen oberhalb von 1 kHz leicht zu einer Instabilität des Systems führen kann. Ein Schallerzeuger mit einem thermoakustischen Wandler, insbesondere ein solcher, welcher von seiner Dimensionierung her für eine Anordnung in einem Hörgerät geeignet ist, weist zudem für Frequenzen oberhalb von 1 kHz besonders dynamisches Wiedergabeverhalten auf.

**[0018]** Dadurch, dass also bei der Schallerzeugung durch den zweiten Schallerzeuger keine Vibrationsenergie generiert wird, welche über eine Aufhängung in das Gehäuse einkoppeln und dort zum Mikrofon gelangen kann, werden durch Vibrationen bedingte Instabilitäten wirksam unterbunden. Durch die besonders hohe Dynamik bei der Wiedergabe von Frequenzen im Bereich oberhalb von 1 kHz kann diese Erhöhung der Systemstabilität ohne zu erwartende Verluste bei der Klangqua-

lität erreicht werden.

**[0019]** Unter einem Niederfrequenz-Ausgang ist vorliegend ein Ausgang zu verstehen, an welchem Signalanteile eines über den Signaleingang in die Frequenzweiche eingegebenen Signals derart ausgegeben werden, dass ab einer ersten Grenzfrequenz der Signalpegel bis zu einer zweiten Grenzfrequenz abnimmt und ab der zweiten Grenzfrequenz kein nennenswerter Signalpegel mehr zu verzeichnen ist. Ein Hochfrequenz-Ausgang ist entsprechend als ein Ausgang definiert, an welchem Signalanteile ausgegeben werden, welche nur oberhalb einer dritten Grenzfrequenz einen nennenswerten Signalpegel aufweisen. Die dritte Grenzfrequenz liegt dabei bevorzugt deutlich unterhalb der zweiten Grenzfrequenz und besonders bevorzugt im Bereich der ersten Grenzfrequenz, damit ein ausreichender Überlapp der Frequenzgänge des Niederfrequenz-Ausgangs und des Hochfrequenz-Ausgangs gewährleistet ist.

**[0020]** Bevorzugt ist dabei die Frequenzweiche derart eingerichtet, dass der Frequenzgang des Niederfrequenz-Ausgangs auf den Frequenzgang des ersten Schallerzeugers abgestimmt ist, und dass der Frequenzgang des Hochfrequenz-Ausgangs auf den Frequenzgang des zweiten Schallerzeugers, also des thermoakustischen Wandlers abgestimmt ist. Die Verwendung einer derartigen Frequenzweiche erlaubt den Betrieb des ersten Schallerzeugers und des als thermoakustischen Wandler ausgebildeten zweiten Schallerzeugers mit einem gemeinsamen Ausgangssignal der Signalverarbeitungseinheit, wodurch an dieser nur ein Signalausgang erforderlich ist.

**[0021]** Zweckmäßigerweise umfasst der thermoakustische Wandler wenigstens einen aus Carbon-Nanoröhren gebildeten Film, welcher mit wenigstens einem Signalanschluss verbunden ist, wobei durch ein Anlegen einer Signalspannung an den oder jeden Signalanschluss ein zeitveränderliches Erhitzen in dem oder jedem Film hervorgerufen wird, durch welches mittels des thermoakustischen Effekts ein Schall erzeugt wird. In einem derartigen Film können die Carbon-Nanoröhren weitgehend parallel zueinander ausgerichtet sein, auch mehrere Lagen von Bündeln zueinander paralleler Carbon-Nanoröhren, wobei die Ausrichtungen der Carbon-Nanoröhren zweier aufeinander folgender Lagen zueinander orthogonal sind, ist hierbei möglich.

**[0022]** Die beschriebene Mikrostruktur des Films erlaubt eine weitgehend ungehinderte Propagation eines Schalls durch den Film hindurch. Dies ermöglicht eine Anordnung des zweiten Schallerzeugers zwischen dem ersten Schallerzeuger und einem Schallausgang, von welchem aus das erzeugte Schallsignal zum Gehör eines Benutzers weitergeführt wird, z.B. mittels eines Schallleiters und/oder eines Ohrpassestücks. Ein thermoakustischer Wandler mit einem Carbon-Nanoröhren-Film kann überdies unter den Vorgaben der erwünschten Klangwiedergabe besonders kompakt dimensioniert sein.

**[0023]** Günstigerweise ist der zweite Schallerzeuger

im Gehäuse angeordnet. Eine derartige Positionierung vereinfacht die Verbindung des zweiten Schallerzeugers mit der Signalverarbeitungseinheit. Eine Anordnung des zweiten Schallerzeugers ist prinzipiell jedoch auch in einem mit dem Hörgerät verbindbaren Schallleiter möglich, über welchen ein erzeugtes Schallsignal zum Gehör eines Benutzers weitergeführt wird. Ein derartiges Vorgehen erlaubt eine weitere Verringerung der Größe des Hörgeräts.

**[0024]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der erste Schallerzeuger derart ausgebildet, dass er für Frequenzen in einem Frequenzbereich bis zu 4 kHz, bevorzugt bis 2 kHz, einen höheren maximalen Wiedergabepegel aufweist als für Frequenzen oberhalb dieses Frequenzbereichs. Der maximale Wiedergabepegel ist hierbei auf den maximal erzeugbaren Schalldruck zu beziehen. Insbesondere kann der Frequenzgang des ersten Schallerzeugers ab einer ersten Grenzfrequenz unterhalb von 4 kHz, bevorzugt unterhalb von 3 kHz, abnehmen und bei einer zweiten Grenzfrequenz, bevorzugt oberhalb von 4 kHz, insbesondere oberhalb von 6 kHz, ein vollständiges Cut-off aufweisen. Während ein thermoakustischer Wandler, insbesondere ein solcher, welcher von seiner Dimensionierung her für eine Anordnung in einem Hörgerät geeignet ist, besonders für die Schallerzeugung von Frequenzen oberhalb von 1 kHz ausgelegt ist, und dabei einen maximalen Wiedergabepegel bevorzugt im Bereich zwischen 2 kHz und 4 kHz aufzuweisen hat, kann ein erster Schallerzeuger, welcher seinen maximalen Wiedergabepegel in tieferen Frequenzbändern erreicht, in Kombination mit dem zweiten Schallerzeuger zu einem vollständigen Klangbild beitragen.

**[0025]** Bevorzugt ist im Gehäuse ein Schallraum mit einem Schallausgang ausgebildet, wobei der erste Schallerzeuger dazu eingerichtet ist, Schall im Schallraum zu erzeugen, und wobei der zweite Schallerzeuger im Schallraum angeordnet ist. Der erzeugte Schall kann hierbei über den Schallausgang und ggf. einen Schallleiter und/oder ein Ohrpassestück zum Gehör eines Benutzers weitergeführt werden. Unter einer Schallerzeugung des ersten Schallerzeugers im Schallraum ist dabei zu verstehen, dass ein wesentlicher Anteil der erzeugten Schallleistung als Schalldruck im Schallraum registrierbar ist, wobei eine Abstrahlung in andere Bereiche des Hörgeräts nicht ausgeschlossen ist. Eine derartige Anordnung ermöglicht insbesondere eine modulare Bauweise des Hörgeräts, bei welcher der erste Schallerzeuger, der zweite Schallerzeuger, die entsprechenden Aufhängungen und Signalverbindungen, sowie, falls vorhanden, eine Frequenzweiche zu einem Modul in einem die genannten Komponenten umgebenden Innengehäuse zusammengefasst werden können. Der Schallraum ist dabei im Innengehäuse ausgebildet. Die modulare Bauweise erlaubt ein Design und eine Auslegung der verbleibenden Komponenten des Hörgeräts - z.B. der Signalverarbeitungseinheit oder des oder jedes Mikrofons - unabhängig von den Schallerzeugern.

**[0026]** Günstigerweise ist hierbei der zweite Schallerzeuger im Schallweg zwischen dem ersten Schallerzeuger und dem Schallausgang angeordnet. Unter dem Schallweg zwischen dem ersten Schallerzeuger und dem Schallausgang ist hierbei der primäre - also möglichst reflexionsfreie - Weg zu verstehen, entlang dessen ein vom ersten Schallerzeuger erzeugtes Schallsignal zum Schallausgang propagiert. Eine derartige Anordnung erlaubt einerseits eine besonders kompakte Bauweise, andererseits wird hierdurch insbesondere im Fall, dass der zweite Schallerzeuger einen Film aus Carbon-Nanoröhren aufweist, die Mikrostruktur des thermoakustischen Wandlers optimal ausgenutzt, welche eine nahezu ungehinderte Propagation eines Schallsignals durch den Film hindurch erlaubt.

**[0027]** Alternativ dazu ist der zweite Schallerzeuger bevorzugt seitlich zum Schallweg zwischen dem ersten Schallerzeuger und dem Schallausgang angeordnet. Die Auswahl der Positionierung des zweiten Schallerzeugers kann dabei insbesondere von seiner Dimensionierung und von den gewünschten individuellen spektralen Eigenschaften hinsichtlich der Wiedergabedynamik abhängig gemacht werden.

**[0028]** In einer weiter vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung umfasst das Hörgerät einen dritten Schallerzeuger, welcher dazu eingerichtet ist, ein Ausgangssignal der Signalverarbeitungseinheit in Schall umzuwandeln, wobei der dritte Schallerzeuger einen thermoakustischen Wandler umfasst. Insbesondere kann der dritte Schallerzeuger unterschiedlich zum zweiten Schallerzeuger sein, und insbesondere kann der dritte Schallerzeuger einen anderen Frequenzgang aufweisen als der zweite Schallerzeuger. Hierdurch kann die Klangqualität bei gleichbleibender Vibrationsunterdrückung weiter verbessert werden, da das erzeugbare Schallspektrum auf die einzelnen Schallerzeuger weiter ausdifferenziert werden kann.

**[0029]** Zweckmäßigerweise umfasst das Hörgerät einen mit dem Gehäuse reversibel verbindbaren Schallleiter, welcher eine Anzahl an Signalanschlüssen aufweist, wobei der zweite Schallerzeuger und/oder der dritte Schallerzeuger im Schallleiter angeordnet ist, und wobei in verbundenem Zustand des Schallleiters mit dem Gehäuse über die Anzahl an Signalanschlüssen des Schallleiters eine Signalverbindung von der Signalverarbeitungseinheit zum zweiten bzw. dritten Schallerzeuger hergestellt ist. Über einen in einem Schallleiter angeordneten Schallerzeuger mit einem thermoakustischen Wandler lassen sich die spektralen Eigenschaften des Schallleiters zur Verbesserung der Wiedergabedynamik ausnutzen.

**[0030]** Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand einer Zeichnung näher erläutert. Hierbei zeigen jeweils schematisch:

FIG 1 in einer Schnittdarstellung ein Hörgerät mit einem konventionellen und einem thermoakustischen Wandler, und

FIG 2 in einer Schnittdarstellung das Hörgerät nach FIG 1 mit einer alternativen Anordnung des thermoakustischen Wandlers.

5 **[0031]** Einander entsprechende Teile und Größen sind in allen Figuren jeweils mit gleichen Bezugszeichen versehen.

**[0032]** In FIG 1 ist in einer Schnittdarstellung schematisch ein Hörgerät 1 gezeigt, welches hier als ein Hörhilfegerät 2 ausgebildet ist. Das Hörgerät 1 umfasst ein Gehäuse 4, in welchem eine modulare Einheit 6 eingesetzt ist. Die modulare Einheit 6 weist ein Innengehäuse 8 auf, welches einen Schallraum 10 umgibt. Innerhalb des Innengehäuses 8 der modularen Einheit 6 ist ein erster Schallerzeuger 12 an einer dämpfenden Aufhängung 14 angeordnet. Der erste Schallerzeuger 12 ist hierbei als ein konventioneller, elektroakustischer Wandler ausgebildet. Weiter ist im Innengehäuse 8 der modularen Einheit 6 ein zweiter Schallerzeuger 16 angeordnet, welcher als ein thermoakustischer Wandler 18 ausgebildet ist. Der zweite Schallerzeuger 16 weist zwei Signalanschlüsse 20 und einen Film 22 aus Carbon-Nanoröhren auf.

**[0033]** Für die Erzeugung eines Schallsignals ist zunächst im Innengehäuse 8 eine Signalweiche 24 mit einem Signaleingang 26 zum Empfang eines Ausgangssignals 28 einer Signalverarbeitungseinheit 30 angeordnet. Von einem Niederfrequenz-Ausgang 32 der Signalweiche 24 führt eine Niederfrequenz-Verbindung 34 zum ersten Schallerzeuger 12. Weiter weist die Signalweiche 24 einen Hochfrequenz-Ausgang 36 auf, von welchem jeweils Hochfrequenz-Verbindungen 38 zu den beiden Signalanschlüssen 20 des thermoakustischen Wandlers 18 führen. Das von der Signalverarbeitungseinheit 30 ausgegebene Ausgangssignal 28 wird in der Signalweiche 24 in einen niederfrequenten Anteil und einen hochfrequenten Anteil zerlegt.

**[0034]** Der niederfrequente Anteil des Ausgangssignals 28 wird am Niederfrequenz-Ausgang 32 über die Niederfrequenz-Verbindung 34 an den ersten Schallerzeuger ausgegeben, und von diesem in Schall mit vorwiegend niedrigen Frequenzen umgewandelt. Der vom ersten Schallerzeuger 12 erzeugte Schall propagiert dabei vorwiegend im Schallraum 10 zu einem Schallausgang 40, wodurch ein Schallweg 44 gebildet wird. Der Schallausgang 40 weist dabei einen Gummistutzen 42 auf, auf welchen ein nicht näher dargestellter Schallleiter aufsetzbar ist, durch den der im Schallraum 10 erzeugte Schall zu einem weiteren Ohrpassstück und letztlich zum Benutzer des Hörgeräts weitergeleitet werden kann.

**[0035]** Der hochfrequente Signalanteil des Ausgangssignals 28 wird am Hochfrequenz-Ausgang 36 über die jeweiligen Hochfrequenz-Verbindungen 38 zum thermoakustischen Wandler 18 ausgegeben, und von diesem in Schall mit vorwiegend hohen Frequenzen umgewandelt. Die Anordnung des thermoakustischen Wandlers 18 im Schallweg 44 des ersten Schallerzeugers 12 hat hierbei aufgrund der Mikrostruktur des Carbon-Nanoröh-

ren-Films 22 keine nennenswerten Auswirkungen auf den Schall des ersten Schallerzeugers 12 und seine Propagation.

**[0036]** Der erste Schallerzeuger 12 ist als elektroakustischer Wandler für eine leistungsstarke Schallerzeugung bis zu Frequenzen von 3 kHz ausgelegt, oberhalb dieser Frequenzen nimmt das Wiedergabe-Spektrum kontinuierlich bis zu einem vollständigen Cut-Off bei ca. 6-7 kHz ab. Der thermoakustische Wandler 18 ist für eine besonders leistungsstarke Schallerzeugung im Bereich von ca. 1 kHz bis 15 kHz ausgelegt. Bei der akustischen Auslegung der Wiedergabeleistung des thermoakustischen Wandlers 18 besteht eine gewisse Freiheit, wobei jedoch die Untergrenze - also die Frequenz, ab der der thermoakustische Wandler einen nennenswerten Schalldruck zu erzeugen vermag - für den Frequenzbereich so zu wählen ist, dass ein nennenswerter Überlapp mit dem Wiedergabe-Spektrum des ersten Schallerzeugers 12 gewährleistet ist, und die Obergrenze - ab welcher der erzeugbare Schalldruck abnimmt - vorrangig von den noch für die jeweilige Anwendung gewünschten und/oder erforderlichen Frequenzen abhängt.

**[0037]** Dadurch, dass das Ausgangssignal 28 durch die Signalweiche 24 in einen niederfrequenten Anteil und einen hochfrequenten Anteil aufgeteilt wird, welche jeweils von unterschiedlichen Schallerzeugern in Schall umgewandelt werden, können in der Signalverarbeitungseinheit 30 die Gains für entsprechende Frequenzbänder dahingehend optimiert werden, dass bei möglichst geringer Rückkopplung in ein in der Zeichnung nicht näher dargestelltes Mikrofon des Hörgeräts 1 eine möglichst dynamische Wiedergabe erzielt wird. Durch die dämpfende Aufhängung 14 des ersten Schallerzeugers 12 können zum einen mechanische Vibrationen des ersten Schallerzeugers teilweise aufgefangen werden. Der erste Schallerzeuger kann des Weiteren auf einen möglichst vibrationsarmen Betrieb im niederfrequenten Bereich optimiert werden.

**[0038]** Eine derartige Optimierung des Betriebs ist aufgrund der mechanischen Komplexität von typischerweise in einem Hörgerät eingesetzten Schallerzeugern meist nur für bestimmte, eingeschränkte Frequenzbänder möglich. Die Verwendung eines ersten Schallerzeugers 12 und eines zweiten Schallerzeugers 16 erlaubt nun einerseits, den ersten Schallerzeuger hinsichtlich seiner Wiedergabe- und Vibrationseigenschaften im niederfrequenten Bereich zu optimieren, und den zweiten Schallerzeuger für einen maximalen Gain in bestimmten höheren Frequenzbändern - z.B. im für die Sprachverständlichkeit relevanten Bereich von 2 kHz bis 4 kHz - zu optimieren.

**[0039]** Die Anordnung eines zweiten Schallerzeugers 16 in einem Hörgerät 1 ist üblicherweise aus Platzgründen nicht realisierbar. Durch die Verwendung eines thermoakustischen Wandlers 18 ist dieser jedoch in Kombination mit einem konventionellen, elektroakustischen Wandler möglich, wie er im ersten Schallerzeuger 12 gegeben ist. Aufgrund der Mikrostruktur des Films 22 aus

Carbon-Nanoröhren, welche einem feinen Gewebe gleicht, durch welches der Schall des ersten Schallerzeugers 12 propagieren kann, entstehen auch keine Einschränkungen für die Anordnung des thermoakustischen Wandlers 18 bzgl. des Schallwegs 44.

**[0040]** In FIG 2 ist in einer Schnittdarstellung eine alternative Anordnung des thermoakustischen Wandlers 18 in einem Hörgerät 1 gezeigt, welches bis auf die Positionierung des thermoakustischen Wandlers 18 bereits in FIG 1 dargestellt ist. Der thermoakustische Wandler 18 ist hierbei nicht im Schallweg 44 des Schalls angeordnet, welcher vom ersten Schallerzeuger 12 zum Schallausgang 40 des Schallraums 10 propagiert, sondern seitlich und längs zum Schallweg 44. Die konkrete Auswahl der Anordnung kann dabei von der erforderlichen Dimensionierung des thermoakustischen Wandlers 18, insbesondere des Carbon-Nanoröhren-Films 22, abhängig gemacht werden, welche wiederum in Zusammenhang mit dem gewünschten optimalen Frequenzgang des zweiten Schallerzeugers 16 steht.

**[0041]** Zur Vollständigkeit der Darstellung ist in FIG 2 ein Schallleiter 46 gezeigt, welcher an einem Ende einen Steckverbinder 48 aufweist. Der Steckverbinder 48 ist hierbei in den Gummistutzen 42 gesteckt, wodurch eine vibrationsgedämpfte mechanische Verbindung zwischen dem Hörgerät 1 und dem Schallleiter 46 hergestellt ist. Weiter weist der Schallleiter 46 einen Signalanschluss 50 und einen dritten Schallerzeuger 52 auf, welcher wie der zweite Schallerzeuger 16 ebenfalls als ein thermoakustischer Wandler 54 ausgebildet ist. Der Signalanschluss 50 ist hierbei mit dem thermoakustischen Wandler 54 verbunden, so dass über einen entsprechenden Kontakt-Pin am Gehäuse 4 des Hörgeräts bzw. am Innengehäuse 8 eine Signalverbindung 56 zwischen dem thermoakustischen Wandler 54 und der Signalverarbeitungseinheit 30 herstellbar ist. Alternativ zur in FIG 2 gezeigten Darstellung ist auch eine Anordnung des als thermoakustischer Wandler ausgebildeten zweiten Schallerzeugers im Schallleiter denkbar, und durch eine entsprechende Signalverbindung unmittelbar über Kontakt-Pins oder mittelbar - über einen Hochfrequenz-Ausgang einer Signalweiche - mit der Signalverarbeitungseinheit verbunden ist. Der erste Schallerzeuger im Gehäuse des Hörgeräts erzeugt hierbei vorrangig niederfrequenten Schall, welcher direkt in den Schallleiter propagiert. Dort wird für ein möglichst breitbandiges Signal Wandler der hochfrequente Schall durch den thermoakustischen Wandler "hinzugefügt".

**[0042]** Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, ist die Erfindung nicht durch dieses Ausführungsbeispiel eingeschränkt. Andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzbereich der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

**[0043]**

- 1 Hörgerät
- 2 Hörhilfegerät
- 4 Gehäuse
- 6 modulare Einheit
- 8 Innengehäuse
- 10 Schallraum
- 12 erster Schallerzeuger
- 14 dämpfende Aufhängung
- 16 zweiter Schallerzeuger
- 18 thermoakustischer Wandler
- 20 Signalanschluss
- 22 Film aus Carbon-Nanoröhren
- 24 Signalweiche
- 26 Signaleingang
- 28 Ausgangssignal
- 30 Signalverarbeitungseinheit
- 32 Niederfrequenz-Ausgang
- 34 Niederfrequenz-Verbindung
- 36 Hochfrequenz-Ausgang
- 38 Hochfrequenz-Verbindung
- 40 Schallausgang
- 42 Gummistutzen
- 44 Schallweg
- 46 Schallleiter
- 48 Steckverbinder
- 50 Signalanschluss
- 52 dritter Schallerzeuger
- 54 thermoakustischer Wandler
- 56 Signalverbindung

#### Patentansprüche

1. Hörgerät (1), insbesondere Hörhilfegerät (2), umfassend ein Gehäuse (4), eine im Gehäuse angeordnete Signalverarbeitungseinheit (30), einen ersten Schallerzeuger (12), der im Gehäuse (4) angeordnet ist, und einen zweiten Schallerzeuger (16), wobei der erste Schallerzeuger (12) und der zweite Schallerzeuger (16) jeweils dazu eingerichtet sind, ein Ausgangssignal (28) der Signalverarbeitungseinheit (30) in Schall umzuwandeln, und wobei der zweite Schallerzeuger (16) einen thermoakustischen Wandler (18) umfasst, sowie weiter umfassend eine Frequenzweiche (24) mit einem Signaleingang (26), einem Niederfrequenz-Ausgang (32) und einem Hochfrequenz-Ausgang (36), wobei über den Signaleingang (26) die Signalverarbeitungseinheit (30) zur Einspeisung des Ausgangssignals (28) mit der Frequenzweiche (24) verbunden ist, und wobei
  - der Niederfrequenz-Ausgang (32) mit dem ersten Schallerzeuger (12) und
  - der Hochfrequenz-Ausgang (36) mit dem zweiten Schallerzeuger (16) verbunden ist
2. Hörgerät (1) nach Anspruch 1, wobei der thermoakustische Wandler (18) eine Anzahl an Signalanschlüssen (20) und wenigstens einen jeweils mit wenigstens einem Signalanschluss (20) verbundenen, aus Carbon-Nanoröhren gebildeten Film (22) umfasst, und wobei durch ein Anlegen einer Signalspannung an den oder jeden Signalanschluss (20) ein zeitveränderliches Erhitzen in dem oder jedem Film (22) hervorgerufen wird, durch welches mittels des thermoakustischen Effekts ein Schall erzeugt wird.
3. Hörgerät (1) nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei der zweite Schallerzeuger (16) im Gehäuse (4) angeordnet ist.
4. Hörgerät (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der erste Schallerzeuger (12) derart ausgebildet ist, dass er für Frequenzen in einem Frequenzbereich bis zu 4 kHz einen höheren maximalen Wiedergabepegel aufweist als für Frequenzen oberhalb dieses Frequenzbereichs.
5. Hörgerät (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei im Gehäuse ein Schallraum (10) mit einem Schallausgang (40) ausgebildet ist, wobei der erste Schallerzeuger (12) dazu eingerichtet ist, Schall im Schallraum (10) zu erzeugen, und wobei der zweite Schallerzeuger (16) im Schallraum angeordnet ist.
6. Hörgerät (1) nach Anspruch 5, wobei der zweite Schallerzeuger (16) im Schallweg (44) zwischen dem ersten Schallerzeuger (12) und dem Schallausgang (40) angeordnet ist.
7. Hörgerät (1) nach Anspruch 5, wobei der zweite Schallerzeuger (16) seitlich zum Schallweg (44) zwischen dem ersten Schallerzeuger (12) und dem Schallausgang (40) angeordnet ist.
8. Hörgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend einen dritten Schallerzeuger (52), welcher dazu eingerichtet ist, ein Ausgangssignal (28) der Signalverarbeitungseinheit (30) in Schall umzuwandeln, wobei der dritte Schallerzeuger (52) einen thermoakustischen Wandler (54) umfasst.
9. Hörgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend einen mit dem Gehäuse (4) reversibel verbindbaren Schallleiter (46), welcher eine Anzahl an Signalanschlüssen (50) aufweist, wobei der zweite Schallerzeuger (16) und/oder der dritte Schallerzeuger (52) im Schallleiter (46) angeordnet ist, und

wobei in verbundenem Zustand des Schallleiters (46) mit dem Gehäuse (4) über die Anzahl an Signalanschlüssen (50) des Schallleiters (46) eine Signalverbindung (56) von der Signalverarbeitungseinheit (30) zum zweiten (16) bzw. dritten Schallerzeuger (52) hergestellt ist. 5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55



FIG 1

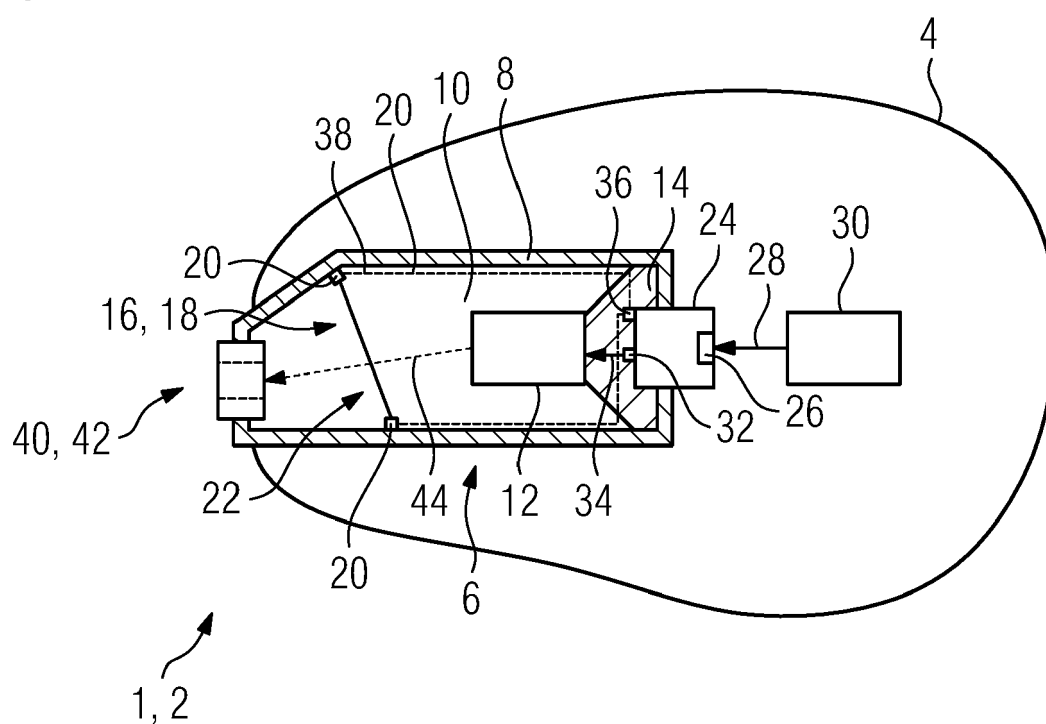
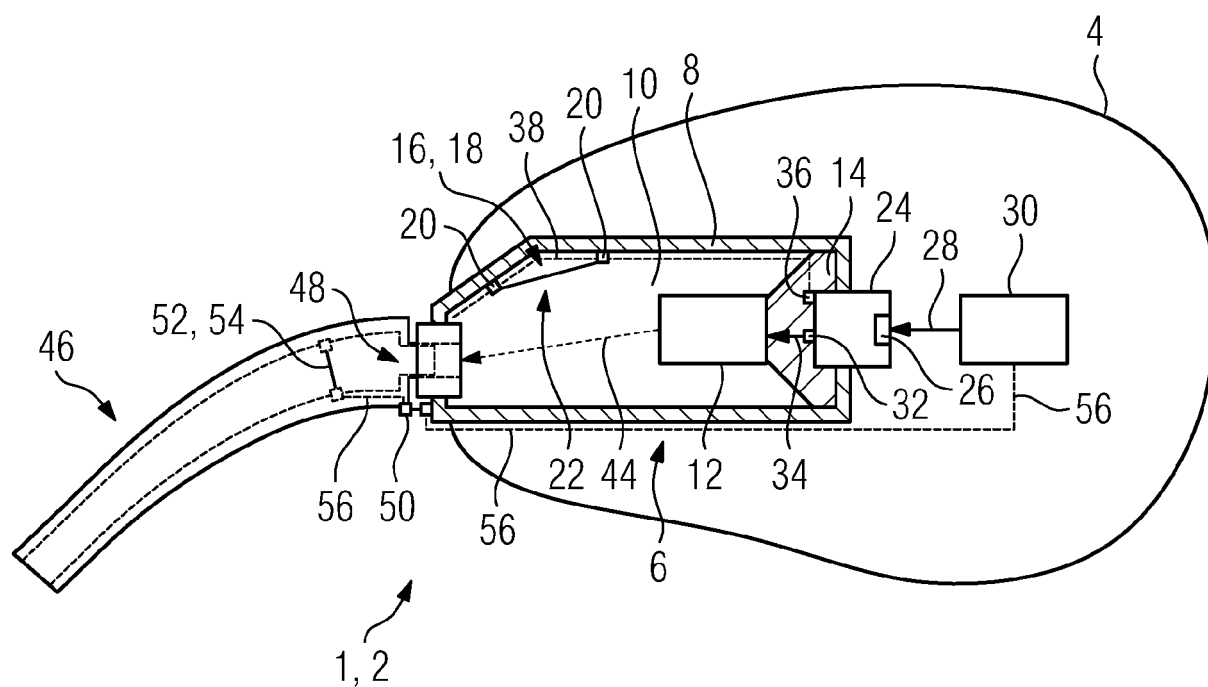


FIG 2





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 15 5817

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                         | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile                                                                        | Betrifft Anspruch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC) |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                 | US 2007/291971 A1 (HALTEREN AART Z V [NL])<br>20. Dezember 2007 (2007-12-20)<br>* Absätze [0002], [0039], [0053];<br>Abbildungen 1a, 2, 3, 4a, 4d, 4e, 6 * | 1-9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | INV.<br>H04R25/00                  |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                 | US 2010/195858 A1 (RASMUSSEN KARSTEN BO [DK] ET AL) 5. August 2010 (2010-08-05)<br>* Absätze [0001], [0023] - [0024],<br>[0062] - [0063] *                 | 1-9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | ADD.<br>H04R23/00<br>H04R3/14      |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                 | US 2006/159298 A1 (VON DOMBROWSKI SVEN [CH] ET AL) 20. Juli 2006 (2006-07-20)<br>* Abbildungen 3, 5, 7, 10, 11 *                                           | 1-9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | H04R                               |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                    |
| Recherchenort<br><b>Den Haag</b>                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                            | Abschlußdatum der Recherche<br><b>15. Juli 2016</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Prüfer<br><b>Fachado Romano, A</b> |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE<br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : mündliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |                                                                                                                                                            | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |                                    |

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 16 15 5817

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

15-07-2016

| 10 | Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument |    | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie |               | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----|----------------------------------------------------|----|-------------------------------|-----------------------------------|---------------|-------------------------------|
|    | US 2007291971                                      | A1 | 20-12-2007                    | CN                                | 101094541 A   | 26-12-2007                    |
|    |                                                    |    |                               | DK                                | 1871141 T3    | 01-10-2012                    |
|    |                                                    |    |                               | EP                                | 1871141 A2    | 26-12-2007                    |
| 15 |                                                    |    |                               | US                                | 2007291971 A1 | 20-12-2007                    |
|    | -----                                              |    |                               |                                   |               |                               |
|    | US 2010195858                                      | A1 | 05-08-2010                    | CN                                | 101795430 A   | 04-08-2010                    |
|    |                                                    |    |                               | DK                                | 2217006 T3    | 25-11-2013                    |
|    |                                                    |    |                               | EP                                | 2217006 A1    | 11-08-2010                    |
| 20 |                                                    |    |                               | US                                | 2010195858 A1 | 05-08-2010                    |
|    | -----                                              |    |                               |                                   |               |                               |
|    | US 2006159298                                      | A1 | 20-07-2006                    | US                                | 2006159298 A1 | 20-07-2006                    |
|    |                                                    |    |                               | US                                | 2011091060 A1 | 21-04-2011                    |
|    |                                                    |    |                               | US                                | 2011091061 A1 | 21-04-2011                    |
| 25 | -----                                              |    |                               |                                   |               |                               |
|    |                                                    |    |                               |                                   |               |                               |
| 30 |                                                    |    |                               |                                   |               |                               |
|    |                                                    |    |                               |                                   |               |                               |
| 35 |                                                    |    |                               |                                   |               |                               |
|    |                                                    |    |                               |                                   |               |                               |
| 40 |                                                    |    |                               |                                   |               |                               |
|    |                                                    |    |                               |                                   |               |                               |
| 45 |                                                    |    |                               |                                   |               |                               |
|    |                                                    |    |                               |                                   |               |                               |
| 50 |                                                    |    |                               |                                   |               |                               |
|    |                                                    |    |                               |                                   |               |                               |
| 55 |                                                    |    |                               |                                   |               |                               |

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82