



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
21.07.2021 Patentblatt 2021/29

(51) Int Cl.:
H04R 1/40 (2006.01)
H04R 25/00 (2006.01)
H04R 3/00 (2006.01)
H04R 29/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **20214070.3**

(22) Anmeldetag: **15.12.2020**

(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 KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **PUDER, Henning**
91058 Erlangen (DE)
• **HAIN, Jens**
91077 Kleinsendelbach (DE)

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

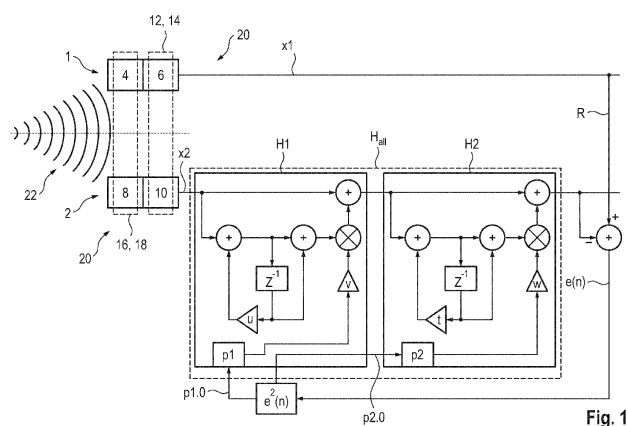
(30) Priorität: **17.01.2020 DE 102020200553**

(71) Anmelder: **Sivantos Pte. Ltd.**
Singapore 539775 (SG)

(54) **VERFAHREN ZUR ABSTIMMUNG DER JEWELIGEN PHASENGÄNGE EINES ERSTEN MIKROFONES UND EINES ZWEITEN MIKROFONS**

(57) Die Erfindung nennt ein Verfahren zur Abstimmung der jeweiligen Phasengänge eines ersten Mikrophones (1) und eines zweiten Mikrofons (2), welche jeweils zur Erzeugung eines ersten bzw. eines zweiten Mikrofonsignals (x_1 , x_2) eingerichtet sind, wobei ein erstes Filter (H1) zur Filterung des ersten Mikrofonsignals (x_1) und/oder des zweiten Mikrofonsignals (x_2) ermittelt wird, welches einem ersten Beitrag (12) eines Unterschiedes der Phasengänge zwischen dem ersten Mikrofon (1) und dem zweiten Mikrofon (2) entspricht, und welches einen ersten Adaptionparameter (p_1) aufweist, wobei ein zweites Filter (H2) zur Filterung des ersten Mikrofonsignals (x_1) und/oder des zweiten Mikrofonsignals (x_2) ermittelt wird, welches einem zweiten Beitrag (16) des besagten Unterschiedes der Phasengänge entspricht, und welches einen zweiten Adaptionparameter (p_2) auf-

weist, wobei anhand des ersten Filters (H1) und des zweiten Filters (H2) ein globales Filter (H_{all}) ermittelt wird, welches den ersten Beitrag (12) und den zweiten Beitrag (16) der besagten Phasenverschiebung abbildet, und welches den ersten Adaptionparameter (p_1) und den zweiten Adaptionparameter (p_2) aufweist, wobei anhand des globalen Filters (H_{all}) mittels einer mehrdimensionalen Optimierung ein erster Wert ($p_{1.0}$) für den ersten Adaptionparameter (p_1) und ein zweiter Wert ($p_{2.0}$) für den zweiten Adaptionparameter (p_2) bestimmt werden, und wobei zur Abstimmung der Phasengänge das erste Filter (H1) mit dem ersten Wert ($p_{1.0}$) für den ersten Adaptionparameter (p_1) und das zweite Filter (H2) mit dem zweiten Wert ($p_{2.0}$) für den zweiten Adaptionparameter (p_2) auf das erste Mikrofonsignal (x_1) und/oder das zweite Mikrofonsignal (x_2) angewandt werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Abstimmung der jeweiligen Phasengänge eines ersten Mikrophones und eines zweiten Mikrofon, welche jeweils ein erstes bzw. ein zweites Mikrofonsignal erzeugen, wobei ein erstes Filter zur Filterung des ersten Mikrofonsignals und/oder des zweiten Mikrofonsignals ermittelt wird, welches einem ersten Beitrag einer Phasenverschiebung zwischen dem ersten Mikrofon und dem zweiten Mikrofon entspricht, und welches einen ersten Adaptionsparameter aufweist, wobei ein zweites Filter zur Filterung des ersten Mikrofonsignals und/oder des zweiten Mikrofonsignals ermittelt wird, welches einem zweiten Beitrag der besagten Phasenverschiebung entspricht, und welches einen zweiten Adaptionsparameter aufweist, und wobei zur Abstimmung der Phasengänge das erste Filter mit einem ersten Wert für den ersten Adaptionsparameter und das zweite Filter mit einem zweiten Wert für den zweiten Adaptionsparameter auf das erste Mikrofonsignal und/oder das zweite Mikrofonsignal angewandt werden.

[0002] Mikrofone, welche in Hörgeräten oder auch in Kommunikationsgeräten oder -systemen verwendet werden, umfassen meist elektroakustische Komponenten wie z.B. Membrane zur Umwandlung des auftreffenden Schalls in ein elektrisches Signal sowie im weitesten Sinne elektronische Komponenten wie z.B. Vorverstärker für das erzeugte elektrische Signal. Derartige Komponenten führen dabei oft zu einem nicht-trivialen Phasengang im betreffenden Mikrofon, welcher in den meisten Fällen durch einen Hochpass approximiert werden kann. In Systemen mit mehreren Mikrofonen zur richtungsabhängigen Signalverarbeitung von Schall, können dabei die Phasengänge der einzelnen Mikrofone infolge von Fertigungstoleranzen der Komponenten der Mikrofone, aber auch durch ihre Alterung oder Verschmutzung, voneinander abweichen.

[0003] Für eine Verarbeitung der auftreffenden Schallsignale mittels differentieller Richtmikrofonie ist jedoch bei allen verwendeten Mikrofonen ein möglichst identischer Phasengang erforderlich, um möglichst über den gesamten Frequenzbereich die Unterdrückungsleistung eines differentiellen Mikrofon zu gewährleisten. Aus diesem Grund ist es insbesondere für Anwendungen von Richtmikrofonie von Vorteil, die möglicherweise unterschiedlichen Phasengänge von zwei oder mehr Mikrofonen aufeinander abzustimmen.

[0004] Eine Möglichkeit, die Phasengänge von zwei Mikrofonen aufeinander abzustimmen, besteht darin, die Einflüsse der elektroakustischen und der elektronischen Komponenten getrennt durch zwei unterschiedliche Filter zu kompensieren, welche auf eines der erzeugten Mikrofonsignale angewandt werden. Hierfür werden die Filter zur Kompensation des jeweiligen Unterschiedes im Phasengang angepasst, welcher sich aus den elektroakustischen bzw. den elektronischen Komponenten ergibt. Eine derartige Anpassung eines Filters beeinflusst jedoch, da beide Filter ein jeweiliges Hochpass-Verhalten der besagten Komponenten der Mikrofone mit ähnlichen Grenzfrequenzen (ca. 60 Hz für die elektroakustischen Komponenten und ca. 120 Hz für die elektronischen Komponenten) und geringer Flankensteilheit modellieren, immer auch das andere Filter.

[0005] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren zur Abstimmung der jeweiligen Phasengänge eines ersten Mikrophones und eines zweiten Mikrofon anzugeben.

[0006] Die genannte Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur insbesondere adaptiven Abstimmung der jeweiligen Phasengänge eines ersten Mikrophones und eines zweiten Mikrofon, welche jeweils zur Erzeugung eines ersten bzw. eines zweiten Mikrofonsignals eingerichtet sind, wobei ein erstes Filter zur Filterung des ersten Mikrofonsignals und/oder des zweiten Mikrofonsignals ermittelt wird, welches einem ersten Beitrag eines Unterschiedes der Phasengänge zwischen dem ersten Mikrofon und dem zweiten Mikrofon entspricht, und welches einen ersten Adaptionsparameter aufweist, wobei ein zweites Filter zur Filterung des ersten Mikrofonsignals und/oder des zweiten Mikrofonsignals ermittelt wird, welches einem zweiten Beitrag des besagten Unterschiedes der Phasengänge entspricht, und welches einen zweiten Adaptionsparameter aufweist, wobei anhand des ersten Filters und des zweiten Filters ein globales Filter ermittelt wird, welches den ersten Beitrag und den zweiten Beitrag der besagten Phasenverschiebung abbildet, und welches den ersten Adaptionsparameter und den zweiten Adaptionsparameter aufweist, wobei anhand des globalen Filters mittels einer mehrdimensionalen Optimierung ein erster Wert für den ersten Adaptionsparameter und, insbesondere zugleich, ein zweiter Wert für den zweiten Adaptionsparameter bestimmt werden, und wobei zur Abstimmung der Phasengänge das erste Filter mit dem ersten Wert für den ersten Adaptionsparameter und das zweite Filter mit dem zweiten Wert für den zweiten Adaptionsparameter auf das erste Mikrofonsignal und/oder das zweite Mikrofonsignal angewandt werden. Vorteilhafte und teils für sich gesehen erfinderische Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche und der nachfolgenden Beschreibung.

[0007] Bevorzugt werden hierbei als erstes und als zweites Mikrofon zwei Mikrofone eines Hörgerätes oder einer Kommunikationseinrichtung verwendet. Das erste Filter und das zweite Filter werden hierbei bevorzugt derart ermittelt, dass die jeweiligen Beiträge der unterschiedlichen Phasengänge, welche den beiden Filtern zugrunde liegen, jeweils mittels des ersten bzw. zweiten Adaptionsparameters durch das betreffende Filter kompensierbar sind, wenn das Filter, wie entsprechend seiner Konstruktion und Konzeption vorgesehen, auf das erste Mikrofonsignal oder das zweite Mikrofonsignal oder auf beide Mikrofonsignale angewandt wird. Bevorzugt bilden dabei der erste Beitrag und der zweite Beitrag der Unterschiede der Phasengänge jeweils physikalisch unterschiedliche Beiträge, insbesondere einen elektronischen und einen elektroakustischen Beitrag, der Phasengänge ab.

[0008] Dies bedeutet mit anderen Worten, dass bevorzugt das erste Filter und das zweite Filter anhand jeweils eines physikalisch-elektronischen Modells erzeugt werden, um jeweils physikalisch reale Unterschiede in den Phasengängen der Mikrofone zu kompensieren, wobei das erste Filter dabei einen Beitrag zum Phasengang adressiert, welcher von anderen Komponenten stammt, als jener Beitrag zum Phasengang, der durch das zweite Filter adressiert wird. Hierbei kann das erste Filter derart konzipiert sein, dass das erste Filter zur Kompensierung der Unterschiede in den Phasengängen, resultierend aus den dem ersten Filter zugrunde liegenden Komponenten bzw. dem entsprechenden Beitrag, nur auf das erste Mikrofonsignal oder nur auf das zweite Mikrofonsignal oder auf beide Mikrofonsignale anzuwenden ist. Vergleichbares gilt insbesondere auch für das zweite Filter. Bevorzugt ist dabei das erste Filter nur auf ein Mikrofonsignal anzuwenden und das zweite Filter ebenfalls nur auf ein Mikrofonsignal anzuwenden, und besonders bevorzugt sind beide Filter auf dasselbe Mikrofonsignal anzuwenden.

[0009] Insbesondere werden dabei das erste Filter und das zweite Filter wie beschrieben zur Kompensation von voneinander verschiedenen Beiträgen zu den Unterschieden der Phasengänge ermittelt, wobei eine isolierte, also alleinige Anwendung des ersten Filters auf das durch die Funktionsweise des ersten Filters entsprechend vorgesehene Mikrofonsignal (oder entsprechend auf beide Mikrofonsignale) genau denjenigen Beitrag zu den Unterschieden der Phasengänge kompensiert, welcher dem ersten Filter zugrunde liegt. Vergleichbares gilt für das zweite Filter. Zur eigentlichen Abstimmung der Phasengänge werden beide Filter mit dem ersten bzw. dem zweiten Wert für den jeweiligen Adaptionsparameter, wie sie in noch zu beschreibender Weise zu ermitteln sind, auf das jeweils betreffende Mikrofonsignal angewandt.

[0010] Anhand der beiden Filter wird nun, insbesondere durch deren sukzessive Anwendung z.B. in der Frequenz- oder in der z-Domäne (also in der "diskreten" Frequenzdomäne für z-transformierte, zeitdiskrete Signale), ein globales Filter ermittelt, welches die beiden Beiträge zur Phasenverschiebung abbildet, und diese insbesondere mittels des globalen Filters kompensierbar sind. Das globale Filter wird anhand des ersten Filters und des zweiten Filters derart ermittelt, dass der erste Adaptionsparameter des ersten Filters und der zweite Adaptionsparameter des zweiten Filters als freie Parameter enthalten sind, was insbesondere bei einer Erzeugung des globalen Filters durch die erwähnte sukzessive Anwendung (oder eine sukzessive Anwendung unter Zwischenschaltung weiterer Filter) der beiden Filter gegeben ist.

[0011] Anhand des globalen Filters werden nun mittels einer mehrdimensionalen Optimierung ein erster und ein zweiter Wert für den ersten bzw. den zweiten Adaptionsparameter bestimmt. Weist das globale Filter lediglich den ersten und den zweiten Adaptionsparameter als freie Parameter auf, kann die Optimierung insbesondere zweidimensional bezüglich der beiden besagten Adaptionsparameter erfolgen. Die Optimierung kann dabei direkt auf das globale Filter angewandt werden. Bevorzugt kann das globale Filter auch in eine Filterfunktion, welche unabhängig von den beiden genannten Adaptionsparametern ist, und ein effektives globales Adaptionsfilter, welches die Abhängigkeit des globalen Filters von beiden Adaptionsparametern beinhaltet, aufgeteilt werden, sodass die mehr- und insbesondere zweidimensionale Optimierung in diesem Fall auf das effektive globale Adaptionsfilter angewandt wird.

[0012] Mittels der besagten Optimierung werden der erste und der zweite Wert für den ersten bzw. den zweiten Adaptionsparameter bestimmt. Das erste Filter wird nun mit dem ersten Wert für den ersten Adaptionsparameter auf das betreffende, also entsprechend der Konstruktion und Wirkweise des ersten Filters vorgesehene Mikrofonsignal (oder auf beide Mikrofonsignale, falls vorgesehen) angewandt, und das zweite Filter wird nun mit dem zweiten Wert für den zweiten Adaptionsparameter auf das entsprechend vorgesehene Mikrofonsignal (bzw. auf beide Mikrofonsignale, wenn vorgesehen) angewandt, um die Unterschiede in den Phasengängen der beiden Mikrofone zu kompensieren und die Phasengänge aufeinander abzustimmen.

[0013] Die Abstimmung kann hierbei besonders vorteilhaft erfolgen, da physikalisch verschiedene Beiträge in den Phasengängen - und somit die aus besagten Beiträgen resultierenden Unterschiede in den Phasengängen - der beiden Mikrofone nicht durch zwei getrennt voneinander adaptierte Filter kompensiert werden, wodurch die Adaption eines Filters auch einen Einfluss auf das Gesamtverhalten des Systems und somit auf das andere Filter haben kann. Vielmehr wird durch das vorgeschlagene Vorgehen, ein globales Filter, welches anhand von zwei die jeweils unterschiedlichen Beiträge repräsentierenden Einzelfiltern gebildet wird, direkt in einem mehrdimensionalen Verfahren zu optimieren, um so möglichst global optimale Werte für die jeweiligen Adaptionsparameter der verwendeten Einzelfilter zu ermitteln, und diese Einzelfilter dann mit diesen optimalen Werten zu betreiben.

[0014] Bevorzugt wird das erste Filter derart ermittelt, dass der erste Beitrag des Unterschiedes der Phasengänge einen elektronischen Beitrag der Phasengänge abbildet, und/oder das zweite Filter derart ermittelt, dass der zweite Beitrag eines Unterschiedes der Phasengänge einen elektroakustischen Beitrag der Phasengänge abbildet. Dies bedeutet insbesondere, dass das zweite Filter derart ermittelt wird, dass durch seine Anwendung anhand des zweiten Adaptionsparameters ein Beitrag in den Unterschieden der Phasengänge der beiden Mikrofone kompensierbar ist, welcher durch elektroakustische Komponenten der beiden Mikrofone und insbesondere durch deren Unterschiede in den beiden Mikrofonen bedingt ist, also insbesondere durch die Membrane und deren jeweiliges Hochpassverhalten. Das zweite Filter kann hierbei insbesondere einen oder mehrere weitere Parameter aufweisen, welche den Frequenzgang modellieren, der sich aus den Unterschieden in den elektroakustischen Komponenten ergibt. Der Frequenzgang der

elektroakustischen Komponenten lässt sich für jedes der beiden Mikrofone im Wesentlichen jeweils über einen Hochpass erster Ordnung beschreiben, welcher insbesondere durch eine Grenzfrequenz (vorliegend jeweils im Bereich von 60 Hz für die elektroakustischen Komponenten eines jeden der beiden Mikrofone) beschrieben werden kann. Das unterschiedliche Verhalten der beiden Mikrofone, welche also jeweils durch besagte Hochpässe modellierbar sind, kann nun durch die Anwendung des adäquat konstruierten zweiten Filters auf eines der beiden oder auf beide Mikrofonsignale kompensiert werden. Die Grenzfrequenz lässt sich über die besagten Parameter im zweiten Filter abbilden.

[0015] Vergleichbares gilt für das erste Filter hinsichtlich der elektronischen Komponenten, welche insbesondere Ausgangsimpedanz und die Vorverstärker eines jeden Mikrofon umfassen. Insbesondere weist dabei das erste Filter einen oder mehrere weitere Parameter auf, welche den Frequenzgang modellieren, der sich aus den Unterschieden in den elektronischen Komponenten ergibt, wobei auch die elektronischen Komponenten eines jeden Mikrofon insbesondere jeweils durch einen Hochpass mit einer Grenzfrequenz jeweils im Bereich von 120 Hz modellierbar sind.

[0016] Günstigerweise werden das erste Mikrofon und das zweite Mikrofon mit einem bezüglich des ersten Mikrofon und des zweiten Mikrofon phasengleichen Schallsignal beaufschlagt, wobei hierdurch durch das erste Mikrofon ein erstes Testsignal des ersten Mikrofonsignals bzw. durch das zweite Mikrofon ein zweites Testsignal des zweiten Mikrofonsignals erzeugt wird, und wobei die mehrdimensionale Optimierung anhand des ersten Testsignals und des zweiten Testsignals durchgeführt wird. Insbesondere werden also das erste und das zweite Testsignal erzeugt, damit für die Durchführung des Verfahrens anhand der beiden Filter das betreffende Testsignal bzw. beide Testsignale verarbeitet werden können, und insbesondere das globale Filter während der Optimierung auf die Signalkomponenten des betreffenden Testsignals bzw. der Testsignale angewandt werden kann. Somit liegen während der Optimierung im ersten Mikrofonsignal und im zweiten Mikrofonsignal Signalkomponenten vor, welche infolge der beschriebenen Erzeugung keine Phasenunterschiede aufweisen, was für die Abstimmung von Unterschieden im Phasengang von besonderem Vorteil ist. Unter einem phasengleichen Schallsignal ist dabei insbesondere ein Schallsignal umfasst, dessen Schallquelle in der Symmetrieebene der beiden Mikrofone, oder orthogonal zur Verbindungsstrecke der beiden Mikrofone und in einem von der Symmetrieebene hinsichtlich der resultierenden akustischen Laufzeit vernachlässigbaren Abstand liegt.

[0017] Vorteilhafterweise verändern das erste Filter und das zweite Filter jeweils nur das zweite Mikrofonsignal. Während das erste Filter und das zweite Filter prinzipiell für eine Abstimmung der Phasengänge auch derart ermittelt werden können, dass durch die Anwendung beider Filter jedes der beiden Mikrofonsignale eine Veränderung erfährt, ist die Konzeption der Filter derart, dass nur ein Mikrofonsignal durch die beiden Filter verändert wird, während insbesondere die Wirkung der beiden Filter auf das andere Mikrofonsignal trivial ist, vorliegend von besonderem Vorteil, da das nicht veränderte Mikrofonsignal für die Optimierung als ein Referenzsignal verwendet werden kann.

[0018] Zweckmäßigerweise wird dabei die mehrdimensionale, insbesondere zweidimensionale Optimierung mittels eines Gradientenverfahrens implementiert, wobei ein Gradient bezüglich einer Variation in Richtung des ersten Adaptionsparameters und in Richtung des zweiten Adaptionsparameters auf eine Fehlerfunktion angewandt wird, welche ermittelt wird anhand einer Abweichung des durch das mit dem globalen Filter gefilterten zweiten Mikrofonsignals von einem Referenzsignal. Dies bedeutet insbesondere, dass das globale Filter - und somit das erste und das zweite Filter - auf das zweite Mikrofonsignal angewandt wird, und eine Abweichung des so gefilterten zweiten Mikrofonsignals von einem Referenzsignal, beispielsweise dem ersten Mikrofonsignal ermittelt wird.

[0019] Eine Fehlerfunktion für die Optimierung wird anhand dieser Abweichung ermittelt, beispielsweise als Quadrat der Abweichung, und der Gradient bezüglich der beiden Adaptionsparameter wird auf die Fehlerfunktion angewandt. Insbesondere kann dies durch die partielle Ableitung der Fehlerfunktion nach dem ersten bzw. dem zweiten Adaptionsparameter erfolgen. Anhand dieses Gradienten werden insbesondere Korrekturwerte für den ersten und den zweiten Wert für die beiden Adaptionsparameter ermittelt, und schrittweise, insbesondere adaptiv, die im Rahmen der Optimierung optimalen Werte bestimmt. Konkret kann dies z.B. durch eine Methode des steilsten Abstiegs oder einen diagonal skalierten steilsten Abstieg implementiert sein.

[0020] In einer vorteilhaften Ausgestaltung werden dabei das erste Filter und das zweite Filter derart gebildet, dass das globale Filter in einen Filterbeitrag mit unendlicher Impulsantwort (IIR), welcher unabhängig vom ersten Adaptionsparameter und vom zweiten Adaptionsparameter ist, und einen Filterbeitrag mit endlicher Impulsantwort (FIR) aufteilbar ist, wobei anhand des Filterbeitrags mit endlicher Impulsantwort in der Zeitdomäne ein Filterpolynom des ersten Adaptionsparameters und des zweiten Adaptionsparameters gebildet wird, wobei der erste Wert für den ersten Adaptionsparameter und/oder der zweite Wert für den zweiten Adaptionsparameter in der Zeitdomäne aktualisiert werden, wobei eine Schrittweite der besagten Aktualisierung in Abhängigkeit des Gradienten angewandt auf das Filterpolynom gebildet wird. Der Gradient wird hierbei insbesondere bezüglich einer Variation in Richtung des ersten Adaptionsparameters und in Richtung des zweiten Adaptionsparameters gebildet.

[0021] Dies bedeutet insbesondere, dass das erste Filter und das zweite Filter, gemäß der Beiträge zum Unterschied in den Frequenzgängen, derart zu bilden sind, dass das daraus resultierende globale Filter die beschriebene Form aufweist, nämlich aufteilbar ist in einen IIR-Filterbeitrag ohne Abhängigkeit von den beiden Adaptionsparametern, und einen FIR-Filterbeitrag, welches die gesamte Abhängigkeit von den beiden Adaptionsparametern beinhaltet. Anhand des FIR-Filterbeitrags, welcher insbesondere in der Frequenz-Domäne oder z-Domäne identifiziert werden kann, wird

nun, z.B. durch eine Ordnung der Beiträge in inversen Potenzen von z (in der z -Domäne) in der Zeitdomäne das Filterpolynom des ersten Adaptionparameters und des zweiten Adaptionparameters gebildet. Der erste Wert und/oder der zweite Wert für den ersten bzw. den zweiten Adaptionparameter werden nun in der Zeitdomäne, welche auch die diskrete Zeit-Domäne beinhalten soll, aktualisiert, wobei für jeden Aktualisierungsschritt (pro Zeiteinheit) eine Schrittweite zu verwenden ist, welche vom Gradienten angewandt auf das besagte Filterpolynom abhängt.

[0022] Dies ergibt sich insbesondere aus der beschriebenen Form für das globale Filter: Wird der Gradient auf die oben beschriebene Fehlerfunktion angewandt, welche ihrerseits eine Funktion der Abweichung des "global gefilterten" zweiten Mikrofonsignals von ersten Mikrofonsignal darstellt, so wird der Gradient auf besagte Abweichung und letztendlich auf das global gefilterte zweite Mikrofonsignal angewandt. Lässt sich das globale Filter dabei wie beschrieben in einen IIR-Filterbeitrag und einen FIR-Filterbeitrag aufteilen, welcher die gesamte Abhängigkeit des globalen Filters von den beiden Adaptionparametern beinhaltet, so resultiert eine Anwendung des Gradienten auf die Fehlerfunktion in der ggf. diskreten Zeitdomäne letztendlich in einer Anwendung des Gradienten (bzgl. der Adaptionparameter) auf das Filterpolynom.

[0023] Zweckmäßigerweise wird dabei die Schrittweite in Richtung des ersten Adaptionparameters und in Richtung des zweiten Adaptionparameters jeweils bezüglich der besagten Abweichung normiert. Eine solche Normierung verbessert die Konvergenzeigenschaften der Abstimmung, da hierdurch insbesondere ein "Overshoot" über ein Optimum hinaus infolge einer zu großen Schrittweite unterbunden werden kann. Die Normierung erfolgt dabei insbesondere über das Betragsquadrat des auf die Abweichung angewandten Gradienten.

[0024] Günstigerweise wird die Normierung jeweils in Abhängigkeit von der Fehlerfunktion regularisiert. Gerade wenn die Abweichung des global gefilterten zweiten Mikrofonsignals vom ersten Mikrofonsignal sich hinsichtlich der beiden Adaptionparameter pro Zeiteinheit (also z.B. pro diskretem Zeitschritt) nur noch geringfügig ändert (bei fortschreitender Konvergenz zu einem Optimum), ist eine Regularisierung vorteilhaft, um zu verhindern, dass bei einer kleinen Normierung die Korrekturwerte infolge des geringen Nenners groß werden, jedoch ggf. unzuverlässig werden können, wenn die Berechnung in Abhängigkeit sehr kleiner Signale erfolgt.

[0025] Bevorzugt wird für die Abstimmung der Phasengänge zusätzlich ein Parameter herangezogen, welcher eine unterschiedliche Lautstärken-Empfindlichkeit des ersten Mikrofons und des zweiten Mikrofons berücksichtigt. Unterschiede in der Lautstärken-Empfindlichkeit zwischen den beiden Mikrofonen, welche einerseits gesondert und isoliert von den Unterschieden der Phasengänge kompensierbar sind, können dennoch die Abstimmung der Phasengänge beeinflussen, weswegen eine Berücksichtigung der unterschiedlichen Lautstärken-Empfindlichkeit von Vorteil sein kann.

[0026] Als weiter vorteilhaft erweist es sich, wenn die Phasengänge zweier Mikrofone eines Hörgerätes abgestimmt werden. In Hörgeräten mit zwei oder mehr Mikrofonen werden oftmals Methoden der Richtmikrofonie, insbesondere zur Unterdrückung von Störgeräuschen sowie zur sonstigen Verbesserung eines Signal-zu-Rausch-Verhältnisses angewandt. Für insbesondere differentielle Richtmikrofonie ist hierbei ein möglichst identisches Verhalten der beteiligten Mikrofone hinsichtlich der Amplituden- und Phasengänge erwünscht, um z.B. bei einer Richtungserkennung einer Schallquelle keine Laufzeit- oder Lautstärkenunterschiede entstehen zu lassen, welche lediglich durch das unterschiedliche Verhalten der Mikrofone bedingt sind. Aus diesem Grund ist das vorliegende Verhalten zur Abstimmung der Phasengänge zweier Mikrofone eines Hörgerätes besonders nützlich.

[0027] Unter dem Begriff eines Hörgerätes ist hierbei ein solches Gerät zu verstehen, welches zur Versorgung eines Hörgeschädigten oder zum sonstigen Ausgleich einer Hörschwäche getragen wird, und welches auftreffenden Schall in Abhängigkeit des Hörschadens der Hörschwäche frequenzbandweise verarbeitet und insbesondere verstärkt wird, sodass dem Gehör des Trägers des Hörgerätes das entsprechend seiner individuellen Anforderungen verarbeitete Signal über einen Ausgangswandler zugeführt wird.

[0028] Die Erfindung nennt weiter ein System mit einem ersten Mikrofon und einem zweiten Mikrofon, welche jeweils zur Erzeugung eines ersten Mikrofonsignals bzw. eines zweiten Mikrofonsignals eingerichtet sind, sowie mit einer Steuereinheit, welche dazu eingerichtet ist, das vorbeschriebene Verfahren zur Abstimmung der jeweiligen Phasengänge des ersten Mikrofons und des zweiten Mikrofons durchzuführen. Das erfindungsgemäße System teilt die Vorzüge des erfindungsgemäßen Verfahrens. Die für das Verfahren und für seine Weiterbildungen angegebenen Vorteile können dabei sinngemäß auf das System übertragen werden.

[0029] Das System kann dabei insbesondere gegeben sein durch ein Hörgerät oder ein Kommunikationsgerät, welches jeweils die Steuereinheit zur Durchführung des Verfahrens umfasst. Insbesondere ist dabei die Steuereinheit zur Durchführung des Verfahrens gegeben durch eine Steuereinheit, welche im bestimmungsgemäßen Betrieb des Hörgerätes bzw. des Kommunikationsgerätes Funktionen des besagten Betriebes steuert. Bevorzugt ist das System dabei, z.B. über eine entsprechende Ausgestaltung der Steuereinheit, dazu eingerichtet, einen für die Durchführung des Verfahrens geeigneten Schall anhand des ersten und des zweiten Mikrofonsignals zu identifizieren. Insbesondere kann das System jedoch auch eine eigene Schallquelle aufweisen, welche dazu eingerichtet ist, zur Durchführung des Verfahrens das erste Mikrofon und das zweite Mikrofon mit einem dafür besonders geeigneten Schallsignal zu beaufschlagen.

[0030] Insbesondere umfasst das System dabei eine Schallquelle, welche dazu eingerichtet ist, das erste Mikrofon und/oder das zweite Mikrofon mit einem bezüglich des ersten Mikrofons und des zweiten Mikrofons phasengleichen

Schallsignal zu beaufschlagen. Ein derartiges Schallsignal ist für die Durchführung des Verfahrens besonders geeignet.

[0031] Bevorzugt sind dabei das erste Mikrofon und das zweite Mikrofon in einem Hörgerät angeordnet. Dies bedeutet insbesondere, dass das System durch ein Hörgerät gegeben ist, bzw. ein Hörgerät umfasst. Im erstgenannten Fall ist das Hörgerät, z.B. über einen Signalprozessor, in welchem auch die besagte Steuereinheit implementiert ist, dazu eingerichtet, das Verfahren mittels eines externen Schallsignals durchzuführen, wenn ein solches als geeignet für das Verfahren identifiziert wird. Im zweiten Fall ist das System insbesondere gegeben durch eine Testumgebung für ein Hörgerät und das besagte Hörgerät selbst, wobei die Testumgebung eine Schallquelle zur Erzeugung eines für das Verfahren geeigneten Schallsignals umfasst. Die Steuereinheit kann dabei durch eine Steuereinheit des Hörgerätes oder eine bzgl. des Hörgerätes externe Steuereinheit implementiert sein. Das System kann jedoch auch gegeben sein durch ein Hörgerät und ein externes Gerät, in welchem lediglich die Steuereinheit implementiert ist, z.B. ein Mobiltelefon, welches mit dem Hörgerät zur Datenübertragung verbunden werden kann.

[0032] Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand einer Zeichnung näher erläutert. Hierbei zeigen jeweils schematisch:

Fig. 1 in einem Blockschaltbild ein System mit zwei Mikrofonen sowie zwei Filtern zur Abstimmung der Phasengänge der beiden Mikrofone,

Fig. 2 ein Ersatzschaltbild für das unterschiedliche Hochpass-Verhalten der beiden Mikrofone nach Fig. 1 sowie für eine entsprechende Kompensierung, und

Fig. 3 in einem Blockschaltbild die Adaption eines globalen Filters, welches aus den beiden Filtern nach Fig. 1 resultiert.

[0033] Einander entsprechende Teile und Größen sind in allen Figuren jeweils mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0034] In Fig. 1 sind schematisch in einem Blockschaltbild ein erstes Mikrofon 1 und ein zweites Mikrofon 2 dargestellt. Das erste Mikrofon 1 und das zweite Mikrofon 2 sind dabei dazu eingerichtet, aus einem nicht näher dargestellten Schallsignal ein erstes Mikrofonsignal x_1 bzw. ein zweites Mikrofonsignal x_2 zu erzeugen. Das erste Mikrofon 1 weist erste elektroakustische Komponenten 4 auf, welche z.B. eine Membran des ersten Mikrofons 1 umfassen, sowie weiter, möglicherweise entgegen anderer üblicher Definitionen, erste elektronische Komponenten 6, welche u. A. einen Vorverstärker umfassen. Analog dazu weist das zweite Mikrofon 2 zweite elektroakustische Komponenten 8 sowie zweite elektronische Komponenten 10 auf. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind das erste Mikrofon 1 und das zweite Mikrofon 2 baugleich, d.h., die ersten und zweiten elektroakustischen Komponenten 4, 8 sowie die ersten und zweiten elektronischen Komponenten 6, 10 sind jeweils von identischer Bauart.

[0035] Infolge von Fertigungstoleranzen oder Alterung können jedoch die ersten elektroakustischen Komponenten 4 einen anderen Phasengang aufweisen als die zweiten elektroakustischen Komponenten 8, ebenso wie die ersten elektronischen Komponenten 6 einen anderen Phasengang aufweisen können als die zweiten elektronischen Komponenten 10. Die besagten elektronischen Komponenten 6, 10 liefern somit einen ersten Beitrag 12, welcher vorliegend durch einen elektronischen Beitrag 14 gegeben ist, zu einem Unterschied in den Phasengängen der beiden Mikrofone 1, 2. Die besagten elektroakustischen Komponenten 4, 8 liefern analog dazu einen zweiten Beitrag 16, welcher vorliegend durch einen elektroakustischen Betrag 18 gegeben ist, zum Unterschied in den Phasengängen der Mikrofone 1, 2.

[0036] Ein System 20, welches die beiden Mikrofone 1, 2 umfasst, ist nun dazu eingerichtet, die Unterschiede der Phasengänge der beiden Mikrofone 1, 2 auszugleichen. Dazu weist das System 20 ein erstes Filter H1 und ein zweites Filter H2 auf. Das erste und das zweite Filter H1, H2, werden dabei jeweils lediglich auf das zweite Mikrofonsignal x_2 angewandt (eine mögliche Anwendung der Filter H1, H2 auf das erste Mikrofonsignal x_1 resultiert also jeweils in der Identität). Eine andere Ausgestaltung der beiden Filter H1, H2, sodass diese jeweils auf unterschiedliche Mikrofonsignale x_1 , x_2 oder auch jeweils auf beide Mikrofonsignale x_1 , x_2 in nichttrivialer Weise angewandt werden, ist ebenso denkbar.

[0037] Das erste Filter H1 weist einen ersten Adaptionsparameter p_1 auf und ist dabei derart konstruiert, dass durch einen geeigneten Wert für den ersten Adaptionsparameter p_1 mittels des ersten Filters H1 der elektronische Beitrag 14 zu den Unterschieden der Phasengänge der beiden Mikrofone 1, 2 korrigierbar ist. Hierfür weist das erste Filter H1 noch zwei weitere Parameter v , u auf, welche den Phasengang des Filters an den elektronischen Beitrag 14 anpassen. Die Grenzfrequenz liegt dabei vorliegend bei ca. 120 Hz, der Übergangsbereich bei einigen zehn Hz.

[0038] Dazu vergleichbar weist das zweite Filter H2 einen zweiten Adaptionsparameter p_2 auf, sodass durch einen geeigneten Wert für den zweiten Adaptionsparameter p_2 mittels des zweiten Filters H2 der elektroakustische Beitrag 18 zu den Unterschieden der Phasengänge der beiden Mikrofone 1, 2 korrigierbar ist. In vergleichbarer Weise zum ersten Filter H1 ist der Phasengang des zweiten Filters H2 an den elektroakustischen Beitrag 18 über zwei weitere Parameter w , t anpassbar, wobei die Grenzfrequenz vorliegend bei ca. 60 Hz liegt. Das zweite Filter H2 gleicht dem ersten Filter H1 mit Ausnahme der verwendeten Parameter und der Adaptionsparameter p_1 bzw. p_2 .

[0039] In der z-Domäne lässt sich das erste Filter H1 beschreiben durch die Transferfunktion

$$H1(z) = \frac{[1 + p1 v] + [p1 v - u]z^{-1}}{1 - uz^{-1}}$$

mit den Parametern v, u, welche den Frequenzgang des ersten Filters H1 beschreiben, und entsprechend zur Anpassung an den elektronischen Beitrag 14 der Unterschiede der Phasengänge der beiden Mikrofone 1, 2 gewählt werden können. Das Argument z bezieht sich hierbei auf die z-Transformierte des Eingangssignals des ersten Filters H1, also auf das zweite Mikrofonsignal x2 in der z-Domäne. Das zweite Filter H2 lässt sich entsprechend darstellen durch die Transferfunktion

$$H2(z) = \frac{[1 + p2 w] + [p2 w - t]z^{-1}}{1 - tz^{-1}}$$

mit den Parametern w, t, welche den Frequenzgang des zweiten Filters H2 beschreiben, und entsprechend zur Anpassung an den elektroakustischen Beitrag 18 der Unterschiede der Phasengänge der beiden Mikrofone 1, 2 gewählt werden können.

[0040] Die konkrete Form des ersten bzw. zweiten Filters H1(z), H2(z) lässt sich anhand der Hochpass-Eigenschaft des zu kompensierenden elektronischen bzw. elektroakustischen Beitrags 14 bzw. 18 für jedes einzelne Mikrofon 1, 2 motivieren, wie anhand von Fig. 2 mittels generischer Hochpässe für jedes der beiden Mikrofonsignale x1, x2 erklärt wird: Die elektroakustischen oder elektronischen Komponenten des ersten Mikrofon 1 werden durch einen ersten Hochpass HP1 modelliert, die entsprechenden elektroakustischen bzw. elektronischen Komponenten des zweiten Mikrofon 2 werden durch einen zweiten Hochpass HP2 modelliert. Um nun die Unterschiede der beiden Hochpässe HP1, HP2 zu kompensieren, welche sich für die Phasengänge der beiden Mikrofone 1, 2 ergeben, wird das zweite Mikrofonsignal x2 mit einem Kompensationsfilter Hcomp gefiltert, welches die Form Hcomp = HP1/HP2 aufweist, sodass das derart gefilterte zweite Mikrofonsignal x2 nun mit dem selben Hochpassverhalten HP1 weiterverarbeitet wird, welches auch das erste Mikrofonsignal x1 (intrinsisch) erfährt. Stellt man die beiden Hochpässe HP1, HP2 über entsprechende RC-Glieder dar, so ergibt sich für das Kompensationsfilter Hcomp:

$$HP1(s) = \frac{s}{s + \frac{1}{R_1 C_1}}, HP2(s) = \frac{s}{s + \frac{1}{R_2 C_2}} \Rightarrow Hcomp(s) = \frac{s - q2}{s - q1}$$

mit $qj = -1/(Rj \cdot Cj)$. Man beachte dabei, dass die Hochpässe HP1, HP2 lediglich das jeweilige reale Verhalten der Mikrofone 1, 2 modellieren.

[0041] Mittels der Bilinear-Transformation

$$s = \frac{2}{T} \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}$$

in die z-Domäne (T bezeichnet hierbei die Abtastperiode bzw. inverse Abtastfrequenz) lässt sich die Form des Kompensationsfilters nach Zusammenfassung der einzelnen Glieder in Ordnungen von z^{-1} darstellen als

$$Hcomp(z) = \frac{1 - T q2/2 + (-1 - T q2/2)z^{-1}}{1 - T q1/2 + (-1 - T q1/2)z^{-1}}.$$

[0042] Durch Erweiterung (also Multiplikation des Zählers und des Nenners) um $(1 - T q1/2)^{-1}$ sowie die Verwendung der entsprechenden Näherung $(1 - T q1/2)^{-1} \approx 1 + T q1/2$ für kleine Argumente $T q1/2$ (was angesichts der Zeitskala T und der erwartbaren Werte für q1, also für R1 und C1, gerechtfertigt ist), ergibt sich (nur führende Terme in T·q1):

$$H_{comp}(z) = \frac{1 + T(q1 - q2)/2 + (-1 - T q1/2 - T q2/2)z^{-1}}{1 - (1 + T q1)z^{-1}}$$

[0043] Durch Verwendung der Definitionen

$$u := 1 + T q1$$

und

$$p1 \cdot v := T (q1 - q2)/2$$

mit v als Skalierungsfaktor und $p1$ als Adaptionparameter lässt sich das Kompensationsfilter $H_{comp}(z)$ schließlich auf die oben für das erste Filter $H1(z)$ angegebene Form (bzw. für das zweite Filter $H2(z)$ angegebene Form durch Verwendung von $p2$ als Adaptionparameter, w als Skalierungsfaktor sowie t statt u) bringen. Die Anwendung des Kompensationsfilters $H_{comp}(s)$ auf das zweite Mikrofonsignal $x2$ kompensiert somit für dieses die Unterschiede der beiden Hochpässe $HP1$ und $HP2$, welche sich aus dem Verhalten der beiden Mikrofone 1, 2 ergeben, und die resultierenden Unterschiede im Phasengang.

[0044] Um den ersten Adaptionparameter $p1$ und den zweiten Adaptionparameter $p2$ zu adaptieren, d.h., um jeweils einen ersten Wert $p1.0$ und einen zweiten Wert $p2.0$ für den ersten bzw. den zweiten Adaptionparameter $p1$, $p2$ zu ermitteln, mit welchen das erste bzw. das zweite Filter $H1$, $H2$ zur Abstimmung der Phasengänge der beiden Mikrofone 1, 2 auf das zweite Mikrofonsignal $x2$ anzuwenden ist, wird nun in noch zu beschreibender Weise in Abhängigkeit der beiden Filter $H1$, $H2$ eine Fehlerfunktion $e^2(n)$ gebildet, welche in einem Gradientenverfahren optimiert wird, wobei der Gradient bezüglich der Richtungen des ersten und des zweiten Adaptionparameters $p1$, $p2$ ermittelt wird. Eine Aktualisierung des ersten und des zweiten Adaptionparameters $p1$, $p2$ (also des Vektors $\mathbf{p}$ der beiden Adaptionparameter $p1$, $p2$) erfolgt dann mit einer Schrittweite, welche von besagten Gradienten abhängt.

[0045] Für die besagte Fehlerfunktion $e^2(n)$ wird zunächst anhand des ersten Filters $H1$ und des zweiten Filters $H2$, durch sukzessive Anwendung, ein globales Filter H_{all} gebildet, welches sich entsprechend durch die folgende Transferfunktion beschreiben lässt:

$$H_{all}(z) = \frac{([1 + p1 v] + [p1 v - u]z^{-1})([1 + p2 w] + [p2 w - t]z^{-1})}{(1 - uz^{-1})(1 - tz^{-1})}$$

[0046] Erneut ist hierbei das Argument z gegeben durch das zweite Mikrofonsignal $x2$ in der z -Domäne. Das mit dem globalen Filter H_{all} gefilterte zweite Mikrofonsignal $x2$ wird nun von einem Referenzsignal R subtrahiert, welches gegeben ist durch das (ungefilterte) erste Mikrofonsignal $x1$. Von einer hieraus ersichtlichen Abweichung $e(n)$ des "global gefilterten" zweiten Mikrofonsignals $x2$ vom ersten Mikrofonsignal $x1$ wird nun ein Absolutbetrag $e^2(n)$ als die besagte Fehlerfunktion ermittelt, welche bezüglich der beiden Adaptionparameter $p1$, $p2$ im Gradientenverfahren zu optimieren ist.

[0047] Um hierbei die Schrittweite zur Aktualisierung der beiden Adaptionparameter $p1$, $p2$ über den entsprechenden, zu verwendenden Gradienten zu ermitteln, wird das globale Filter H_{all} , wie in Fig. 3 in einem Blockschaltbild schematisch dargestellt, aufgeteilt in einen IIR-Filterbeitrag C und einen FIR-Filterbeitrag $\hat{H}$, welcher die vollständige Abhängigkeit des globalen Filters H_{all} von den beiden Adaptionparametern $p1$, $p2$ beinhaltet.

[0048] Die Transferfunktion für den IIR-Filterbeitrag C und den FIR-Filterbeitrag H ergeben sich dabei aus dem Nenner bzw. dem Zähler der oben angegebenen Transferfunktion des globalen Filters $H_{all}(z)$, also:

$$C(z) = \frac{1}{(1 - uz^{-1})(1 - tz^{-1})}$$

$$\hat{H}(z) = ([1 + p1 v] + [p1 v - u]z^{-1})([1 + p2 w] + [p2 w - t]z^{-1})$$

[0049] Wie aus Fig. 3 ersichtlich, ergibt die Anwendung des Gradienten in Richtung $\mathbf{p}$ (also in Richtung der beiden Adaptionsparameter p_1, p_2) auf die Abweichung $e(n) = x_1(n) - H_{\text{all}}(n) * x_2(n)$ (zur Ermittlung der Schrittweite für eine Aktualisierung von p_1 und p_2 und mit der Faltung des globalen IIR-Filters $H_{\text{all}}(n)$ mit dem zu kompensierenden zweiten Mikrofonsignal $x_2(n)$ in der Zeitdomäne) eine Anwendung des besagten Gradienten auf ein (vektoriertes) Filterpolynom $\hat{\mathbf{h}}(n)$. Dieses Filterpolynom $\hat{\mathbf{h}}(n)$ ist gegeben durch das dem FIR-Filterbeitrag $\hat{H}(z)$ in der (diskreten) Zeitdomäne entsprechende Polynom in p_1 und p_2 , wobei die Vektoreinträge $\hat{h}_j(n)$ ($j=1, 2, 3$) aus $\hat{H}(z)$ durch eine Ordnung in inversen Potenzen von z hervorgehen:

$$\begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1 + \hat{p}_1 v)(1 + \hat{p}_2 w) \\ (1 + \hat{p}_1 v)(\hat{p}_2 w - t) + (1 + \hat{p}_2 w)(\hat{p}_1 v - u) \\ (\hat{p}_1 v - u)(\hat{p}_2 w - t) \end{bmatrix}$$

[0050] Die Anwendung des Gradienten in Richtung von $\mathbf{p}$ auf das Filterpolynom $\hat{\mathbf{h}}(n)$ in der Abweichung $e(n) = x_1(n) - H_{\text{all}}(n) * x_2(n)$ führt dabei zu der folgenden Vorschrift für die Aktualisierungen der beiden Adaptionsparameter p_1 und p_2 :

$$\hat{\mathbf{p}}(n+1) = \hat{\mathbf{p}}(n) - \frac{\mu}{2} \nabla_{\hat{\mathbf{p}}(n)} e^2(n)$$

und somit

$$\hat{\mathbf{p}}(n+1) = \hat{\mathbf{p}}(n) - \mu e(n) \nabla_{\hat{\mathbf{p}}(n)} e(n)$$

[0051] Aufgelöst in den Richtungen der beiden Adaptionsparameter p_1, p_2 , und unter Berücksichtigung der Abweichung $e(n) = x_1(n) - H_{\text{all}}(n) * x_2(n)$ ergibt sich dabei

$$p_1(n+1) = p_1(n) - \mu e(n) \nabla_{p_1} e(n) = p_1(n) - \mu e(n) \sum_{j=1}^3 \frac{\partial \hat{h}_j(n)}{\partial p_1} x_c(n-j-1)$$

$$p_2(n+1) = p_2(n) - \mu e(n) \nabla_{p_2} e(n) = p_2(n) - \mu e(n) \sum_{j=1}^3 \frac{\partial \hat{h}_j(n)}{\partial p_2} x_c(n-j-1)$$

mit dem Signal $x_c(n)$ als dem zweiten Mikrofonsignal x_2 , gefiltert mit dem IIR-Filterbeitrag C in der (diskreten) Zeitdomäne. Die partiellen Ableitungen der Vektoreinträge $\hat{h}_j(n)$ des Filterpolynoms $\hat{\mathbf{h}}(n)$ nach den Adaptionsparametern p_1 bzw. p_2 ergeben sich dabei aus der oben angegebenen Form für die Vektoreinträge $\hat{h}_j(n)$.

[0052] Die Aktualisierungsvorschriften für die beiden Adaptionskoeffizienten in Abhängigkeit des IIR-vorgefilterten zweiten Mikrofonsignals $x_c(n)$ ergeben sich nach einer Normierung über dem Betragsquadrat des Gradienten nach p_1 bzw. p_2 , angewandt auf $e(n)$, sowie einer Regularisierung um $e^2(n)$ zu

$$\hat{p}_1(n+1) = \hat{p}_1(n) + \mu e(n) \frac{v(1 + \hat{p}_2(n)w)(x_c(n) + x_c(n-1)) + v(\hat{p}_2(n)w - t)(x_c(n-1) + x_c(n-2))}{|v(1 + \hat{p}_2(n)w)(x_c(n) + x_c(n-1)) + v(\hat{p}_2(n)w - t)(x_c(n-1) + x_c(n-2))|^2 + |e(n)|^2}$$

$$\hat{p}_2(n+1) = \hat{p}_2(n) + \mu e(n) \frac{w(1 + \hat{p}_1(n)v)(x_c(n) + x_c(n-1)) + w(\hat{p}_1(n)v - u)(x_c(n-1) + x_c(n-2))}{|w(1 + \hat{p}_1(n)v)(x_c(n) + x_c(n-1)) + w(\hat{p}_1(n)v - u)(x_c(n-1) + x_c(n-2))|^2 + |e(n)|^2}$$

[0053] Zur Abstimmung der Frequenzgänge wird nun das erste Filter nach Fig. 1 mit einem ersten Wert $p_1.0$ für den ersten Adaptionsparameter p_1 auf das zweite Mikrofonsignal x_2 angewandt, welcher sich vorzugsweise aus einer Konvergenz der genannten Vorschrift für p_1 ($n \rightarrow n+1$) ergibt. Ebenso wird das zweite Filter H_2 mit einem zweiten Wert $p_2.0$ für den zweiten Adaptionsparameter p_2 auf das zweite Mikrofonsignal x_2 angewandt, welcher sich vorzugsweise aus

einer Konvergenz der genannten Vorschrift für $p_2(n \rightarrow n+1)$ ergibt.

[0054] Für die Durchführung des Verfahrens werden dabei das erste Mikrofon 1 und das zweite Mikrofon 2 nach Fig. 1 bevorzugt durch ein phasengleiches Schallsignal beaufschlagt (siehe Schallsignal 22 in Fig. 1), um das Verfahren mittels Mikrofonsignalen x_1 , x_2 durchführen zu können, welche ihrerseits keine Phasenunterschiede in ihren Signalbeiträgen aufweisen. Die nicht näher dargestellte Schallquelle des für beide Mikrofone 1, 2 phasengleichen Schallsignals 22 liegt dabei in der Symmetrieebene 24 der beiden Mikrofone. Sind das erste Mikrofon 1 und das zweite Mikrofon 2 Teil eines nicht näher dargestellten Hörgerätes, so wird das Verfahren bevorzugt in einer Kalibrierung, z.B. ab Werk o.ä., durchgeführt, und im laufenden Betrieb mit den bei der Kalibrierung ermittelten Werten $p_{1.0}$, $p_{2.0}$ für den ersten bzw. den zweiten Adaptionsparameter p_1 , p_2 im ersten bzw. zweiten Filter H1, H2 angewandt.

[0055] 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 Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

[0056]

1	erstes Mikrofon
2	zweites Mikrofon
4	erste elektroakustische Komponenten
6	erste elektronische Komponenten
8	zweite elektroakustische Komponenten
10	zweite elektronische Komponenten
12	erster Beitrag (von Unterschieden der Phasengänge)
14	elektronischer Beitrag
16	zweiter Beitrag (von Unterschieden der Phasengänge)
18	elektroakustischer Beitrag
20	System
22	phasengleiches Schallsignal
24	Symmetrieebene

C	IIR-Filterbeitrag
$e(n)$	Abweichung
e^2	Fehlerfunktion
H1	erstes Filter
H2	zweites Filter
H_{all}	globales Filter
H	FIR-Filterbeitrag
$\hat{h}(n)$	Filterpolynom (vektoriell)
$\hat{h}_j(n)$	Filterpolynom (Vektoreintrag j)
HP1/2	erster/zweiter Hochpass
Hcomp	Kompensationsfilter
p_1	erster Adaptionsparameter
$p_{1.0}$	erster Wert
p_2	zweiter Adaptionsparameter
$p_{2.0}$	zweiter Wert
R	Referenzsignal
u, v, w, t	Parameter

Patentansprüche

- Verfahren zur Abstimmung der jeweiligen Phasengänge eines ersten Mikrophones (1) und eines zweiten Mikrofons (2), welche jeweils zur Erzeugung eines ersten bzw. eines zweiten Mikrofonsignals (x_1 , x_2) eingerichtet sind, wobei ein erstes Filter (H1) zur Filterung des ersten Mikrofonsignals (x_1) und/oder des zweiten Mikrofonsignals (x_2) ermittelt wird, welches einem ersten Beitrag (12) eines Unterschiedes der Phasengänge zwischen dem ersten Mikrofon (1) und dem zweiten Mikrofon (2) entspricht, und welches einen ersten Adaptionsparameter (p_1) aufweist, wobei ein zweites Filter (H2) zur Filterung des ersten Mikrofonsignals (x_1) und/oder des zweiten Mikrofonsignals

(x2) ermittelt wird, welches einem zweiten Beitrag (16) des besagten Unterschiedes der Phasengänge entspricht, und welches einen zweiten Adaptionparameter (p2) aufweist, wobei anhand des ersten Filters (H1) und des zweiten Filters (H2) ein globales Filter (H_{all}) ermittelt wird, welches den ersten Beitrag (12) und den zweiten Beitrag (16) der besagten Phasenverschiebung abbildet, und welches den ersten Adaptionparameter (p1) und den zweiten Adaptionparameter (p2) aufweist, wobei anhand des globalen Filters (H_{all}) mittels einer mehrdimensionalen Optimierung ein erster Wert (p1.0) für den ersten Adaptionparameter (p1) und ein zweiter Wert (p2.0) für den zweiten Adaptionparameter (p2) bestimmt werden, und wobei zur Abstimmung der Phasengänge das erste Filter (H1) mit dem ersten Wert (p1.0) für den ersten Adaptionparameter (p1) und das zweite Filter (H2) mit dem zweiten Wert (p2.0) für den zweiten Adaptionparameter (p2) auf das erste Mikrofonsignal (x1) und/oder das zweite Mikrofonsignal (x2) angewandt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das erste Filter (H1) derart ermittelt wird, dass der erste Beitrag (12) des Unterschiedes der Phasengänge einen elektronischen Beitrag (14) der Phasengänge abbildet, und/oder das zweite Filter (H2) derart ermittelt wird, dass der zweite Beitrag (16) eines Unterschiedes der Phasengänge einen elektroakustischen Beitrag (18) der Phasengänge abbildet.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei das erste Mikrofon (1) und/oder das zweite Mikrofon (2) mit einem bezüglich des ersten Mikrofons (1) und des zweiten Mikrofons (2) phasengleichen Schallsignal (22) beaufschlagt werden, und hierdurch durch das erste Mikrofon (1) ein erstes Testsignal des ersten Mikrofonsignals (x1) bzw. durch das zweite Mikrofon (2) ein zweites Testsignal des zweiten Mikrofonsignals (x2) erzeugt wird, und wobei die mehrdimensionale Optimierung anhand des ersten Testsignals bzw. des zweiten Testsignals durchgeführt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das erste Filter (H1) und das zweite Filter (H2) jeweils nur das zweite Mikrofonsignal (x2) verändern.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die mehrdimensionale Optimierung mittels eines Gradientenverfahrens implementiert wird, und wobei ein Gradient bezüglich einer Variation in Richtung des ersten Adaptionparameters (p1) und in Richtung des zweiten Adaptionparameters (p2) auf eine Fehlerfunktion ($e^2(n)$) angewandt wird, welche ermittelt wird anhand einer Abweichung ($e(n)$) des durch das mit dem globalen Filter gefilterten zweiten Mikrofonsignals (x2) von einem Referenzsignal (R).

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei als Referenzsignal (R) für die Abweichung ($e(n)$) das erste Mikrofonsignal (x1) verwendet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder Anspruch 6, wobei das erste Filter (H1) und das zweite Filter (H2) derart gebildet werden, dass das globale Filter (H_{all}) in einen Filterbeitrag (C) mit unendlicher Impulsantwort, welcher unabhängig vom ersten Adaptionparameter (p1) und vom zweiten Adaptionparameter (p2) ist, und einen Filterbeitrag ($\hat{H}$) mit endlicher Impulsantwort aufteilbar ist, wobei anhand des Filterbeitrags (H) mit endlicher Impulsantwort in der Zeitdomäne ein Filterpolynom ($\hat{h}(n)$) des ersten Adaptionparameters (p1) und des zweiten Adaptionparameters (p2) gebildet wird, wobei der erste Wert (p1.0) für den ersten Adaptionparameter (p1) und/oder der zweite Wert (p2.0) für den zweiten Adaptionparameter (p2) in der Zeitdomäne aktualisiert werden, wobei eine Schrittweite der besagten Aktualisierung in Abhängigkeit des Gradienten angewandt auf das Filterpolynom ($\hat{h}(n)$) gebildet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Schrittweite in Richtung des ersten Adaptionparameters (p1) und in Richtung des zweiten Adaptionparameters (p2) jeweils bezüglich der besagten Abweichung ($e(n)$) normiert wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei die Normierung jeweils in Abhängigkeit von der Fehlerfunktion ($e^2(n)$) regularisiert wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei für die Abstimmung der Phasengänge zusätzlich ein Parameter herangezogen wird, welcher eine unterschiedliche Lautstärken-Empfindlichkeit des ersten Mikrofons (1) und des zweiten Mikrofons (2) berücksichtigt.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei die Phasengänge zweier Mikrofone (1, 2) eines Hörgerätes abgestimmt werden.

5 12. System mit einem ersten Mikrofon (1) und einem zweiten Mikrofon (2), welche jeweils zur Erzeugung eines ersten Mikrofonsignals (x1) bzw. eines zweiten Mikrofonsignals (x2) eingerichtet sind, sowie mit einer Steuereinheit, welche dazu eingerichtet ist, das Verfahren zur Abstimmung der jeweiligen Phasengänge des ersten Mikrofons (1) und des zweiten Mikrofons (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche durchzuführen.

10 13. System nach Anspruch 12, weiter umfassend eine Schallquelle, welche dazu eingerichtet ist, das erste Mikrofon (1) und/oder das zweite Mikrofon (2) mit einem diffusen Schallsignal und/oder einem bezüglich des ersten Mikrofons (1) und des zweiten Mikrofons (2) phasengleichen Schallsignal (22) zu beaufschlagen.

15 14. System nach Anspruch 12 oder Anspruch 13,
wobei das erste Mikrofon (1) und das zweite Mikrofon (2) in einem Hörgerät angeordnet sind.

20

25

30

35

40

45

50

55

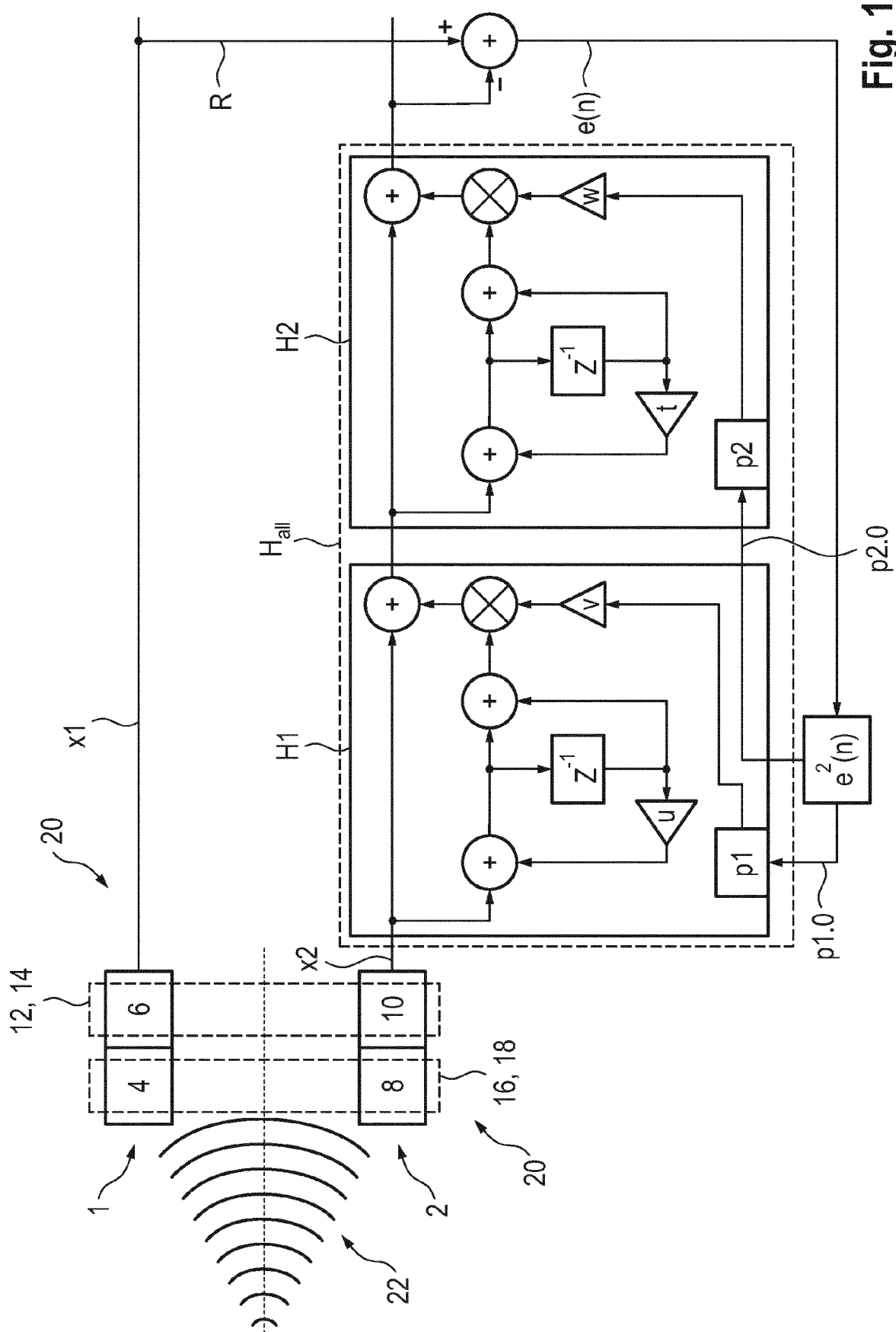


Fig. 1

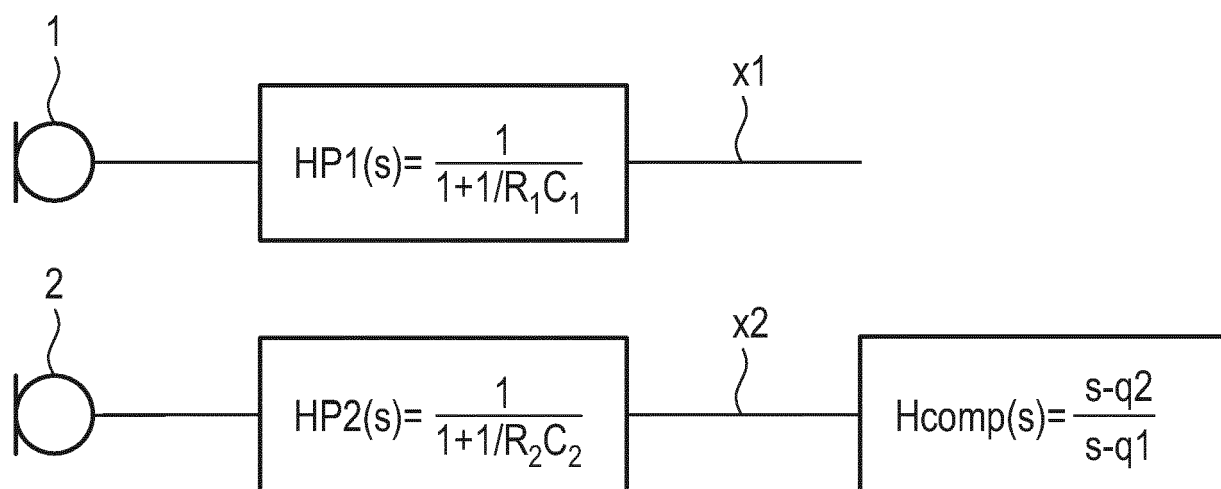


Fig. 2

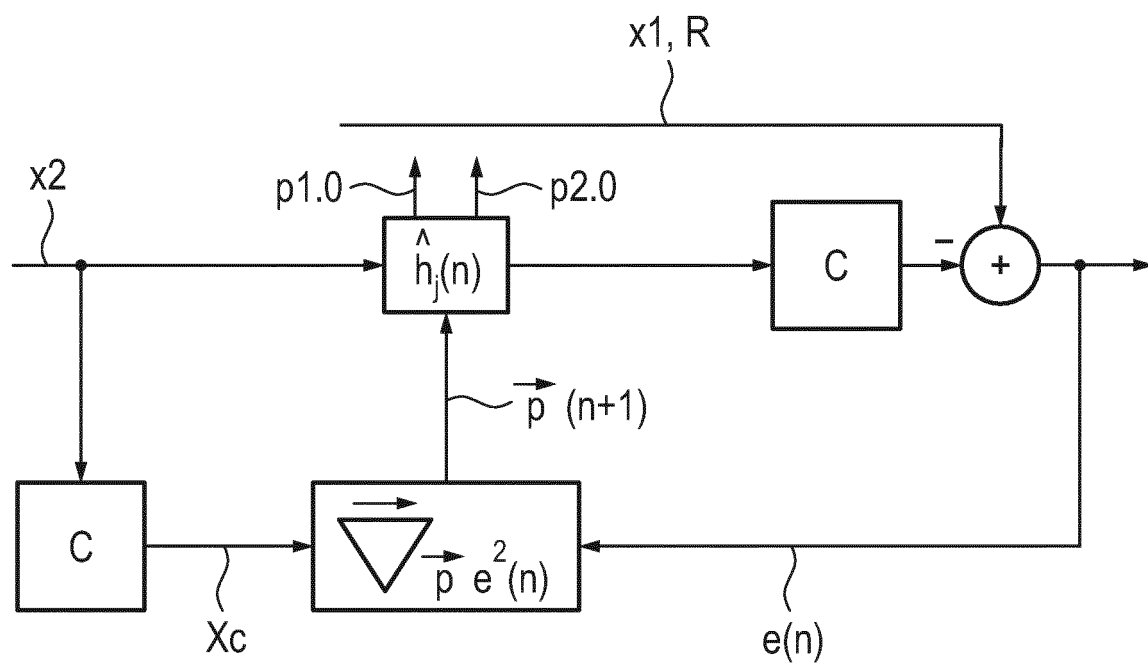


Fig. 3



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 20 21 4070

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 1 458 216 A2 (SIEMENS AUDIOLOGISCHE TECHNIK [DE]) 15. September 2004 (2004-09-15) * das ganze Dokument * -----	1-14	INV. H04R1/40 H04R3/00 H04R25/00 H04R29/00
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			H04R
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 15. April 2021	Prüfer Bücker, Martin
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

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

EP 20 21 4070

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.

15-04-2021

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	EP 1458216	A2	15-09-2004	AT	404032 T	15-08-2008
				DE	10310580 A1	07-10-2004
15				DK	1458216 T3	24-11-2008
				EP	1458216 A2	15-09-2004
				US	2004228495 A1	18-11-2004
20	-----					
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

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