



(11) **EP 1 858 004 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**21.11.2007 Patentblatt 2007/47**

(51) Int Cl.:  
**G10K 11/178 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **07009841.3**

(22) Anmeldetag: **16.05.2007**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI SK TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL BA HR MK YU**

(72) Erfinder:  
• **Sachau, Delf**  
**22047 Hamburg (DE)**  
• **Böhme, Sten**  
**24106 Kiel (DE)**  
• **Kletschkowski, Thomas**  
**22047 Hamburg (DE)**

(30) Priorität: **19.05.2006 DE 102006023630**

(74) Vertreter: **UEXKÜLL & STOLBERG**  
**Patentanwälte**  
**Beselerstrasse 4**  
**22607 Hamburg (DE)**

(71) Anmelder: **Helmut- Schmidt- Universität**  
**Universität der**  
**Bundeswehr Hamburg**  
**22043 Hamburg (DE)**

(54) **Gegenschallsystem**

(57) Ein Gegenschallsystem weist eine Regeleinrichtung, mindestens einen Lautsprecher (12) und mindestens ein Mikrofon (10) auf, wobei die Regeleinrichtung bei einem einfallenden Primärschallfeld den Lautsprecher (12) in Antwort auf von dem Mikrofon (10) abgegebene Signale so ansteuert, dass in einem vorgegebenen Bereich, dem Ruhebereich, der Schalldruck durch Überlagerung des von dem Lautsprecher (12) erzeugten Sekundärschallfelds mit dem Primärschallfeld reduziert wird. Das Mikrofon (10) ist außerhalb des Ruhebereichs

angeordnet. Die Regeleinrichtung ist dazu eingerichtet, den Schalldruck an einer Stelle im Ruhebereich, dem Ort eines virtuellen Mikrofons (16), mit Hilfe des von dem Mikrofon (10) gemessenen Schalldrucks, mit Hilfe von experimentell ermittelten Übertragungsfunktionen ( $Z_{real}$ ,  $Z_{virtuell}$ ) für das Sekundärschallfeld am Ort des Mikrofons (10) und am Ort des virtuellen Mikrofons (16) sowie mit Hilfe einer experimentell ermittelten Übertragungsfunktion ( $T_{rv}$ ) für das Primärschallfeld zwischen dem Ort des Mikrofons (10) und dem Ort des virtuellen Mikrofons (16) zu reduzieren oder zu minimieren.

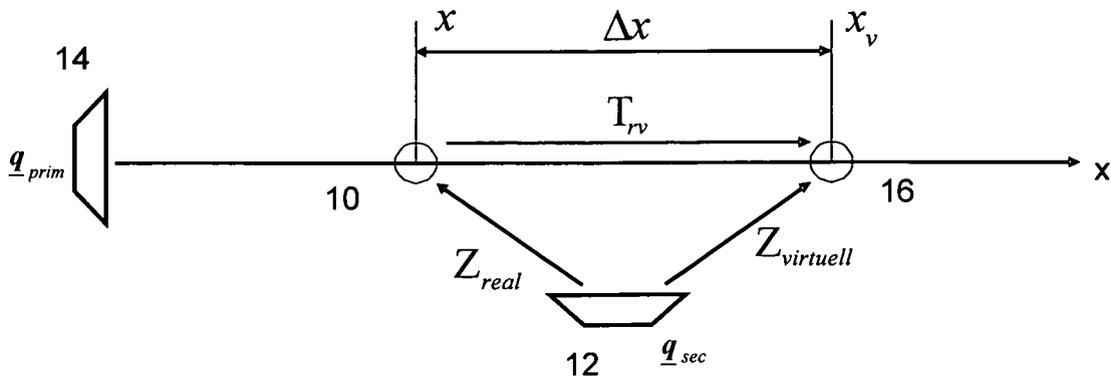


Fig. 2

EP 1 858 004 A2

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Gegenschallsystem sowie ein Verfahren zum Reduzieren des Schalldrucks in einem Ruhebereich mittels eines derartigen Gegenschallsystems.

**[0002]** Ein Gegenschallsystem ist ein System zur aktiven lokalen Lärmbekämpfung ("Active Noise Control"; ANC) und besteht im Wesentlichen aus einer räumlichen Anordnung von Lautsprechern (Aktuatoren) und Fehlermikrofonen (Sensoren; im Folgenden auch kurz als Mikrofone bezeichnet), die mit einer digitalen Regeleinrichtung verbunden sind. Der zu löschende Lärm, auch als Primärschall bezeichnet, wird mit dem erzeugten Schallfeld (Sekundärschall) der Lautsprecher überlagert. Die Fehlermikrofone messen den daraus resultierenden Schalldruckpegel. Diese Information verarbeitet die digitale Regeleinrichtung und steuert die Lautsprecher so an, dass der Schalldruckpegel an den Mikrofonen minimal wird. Dadurch wird eine Lärmreduzierung an den Mikrofonpositionen erzielt.

**[0003]** Bei derartigen Gegenschallsystemen befindet sich in dem Ruhebereich, wo der Schalldruck reduziert werden soll, ein Mikrofon. Es gibt jedoch Anwendungsfälle, wo ein solches Mikrofon stören würde, weil es die Bewegungsmöglichkeiten eines Benutzers einschränken würde. Denn der Ruhebereich ist bevorzugt in der Zone der Ohren eines Benutzers, der aber seinen Kopf ungehindert bewegen möchte.

**[0004]** Bisher gibt es zwei unterschiedliche Ansätze, um bei einem ANC-System auch ohne ein Mikrofon im Ruhebereich auszukommen.

**[0005]** Dazu wird ein sogenanntes virtuelles Mikrofon implementiert, das den Schalldruck an einem Ort im Ruhebereich rechnerisch erfasst oder annähert, und zwar basierend auf Signalen, die ein reales Mikrofon außerhalb des Ruhebereichs aufnimmt.

**[0006]** Einer der Ansätze beschäftigt sich mit der Berechnung von Schalldrücken mittels vorher gemessener Übertragungsfunktionen. Dem anderen Ansatz liegt eine Interpolation des Schalldruckes über mindestens zwei reale Mikrofone zum Ort des virtuellen Mikrofons zu Grunde.

**[0007]** Zunächst soll der erste Ansatz betrachtet werden. Er wurde von Elliott und anderen entwickelt (Garcia-Bonito, Elliott, Boucher: Generation of zones of quiet using a virtual microphone arrangement, Journal of the Acoustical Society of America, 101(6): 3498-3516, 1997).

**[0008]** Der komplexe Druck  $\mathbf{p}(\mathbf{x})$  (Vektor zur Angabe des Schalldruckpegels mit Richtung und Phase) an einer Stelle  $\mathbf{x}$  lässt sich aus dem komplexen Druck des Primärfeldes  $\mathbf{p}_P(\mathbf{x})$  und der komplexen Ansteuerung einer oder mehrerer Sekundärquellen (Lautsprecher), zusammengefasst im Vektor  $\mathbf{q}_S$ , berechnen:

$$\mathbf{p}(\mathbf{x}) = \mathbf{p}_P(\mathbf{x}) + \mathbf{Z}\mathbf{q}_S \quad (1)$$

**[0009]** Hierbei ist  $\mathbf{Z}$  die Matrix der komplexen Übertragungsimpedanzen (Übertragungsfunktionen) der fest aufgestellten Lautsprecher zu der Stelle  $\mathbf{x}$ . (Hier und im folgenden werden Vektoren in kleinen Buchstaben und fett und die als Matrizen ausgedrückten Übertragungsfunktionen in großen Buchstaben und fett dargestellt.)  $\mathbf{Z}$  kann experimentell ermittelt werden, indem bei vorgegebenen Ansteuerungen  $\mathbf{q}_S$  und bei Abwesenheit eines Primärfeldes der Druck  $\mathbf{p}(\mathbf{x})$  mit Hilfe eines Mikrofons an der Stelle  $\mathbf{x}$  gemessen wird. Entsprechend ergibt sich der Druck  $\mathbf{p}(\mathbf{x}_V)$  am Ort  $\mathbf{x}_V$  eines virtuellen Mikrofons aus

$$\mathbf{p}(\mathbf{x}_V) = \mathbf{p}_P(\mathbf{x}_V) + \mathbf{Z}_V\mathbf{q}_S \quad (2)$$

wobei  $\mathbf{Z}_V$  die Matrix der komplexen Übertragungsimpedanzen der fest aufgestellten Lautsprecher zu der Stelle  $\mathbf{x}_V$  ist.  $\mathbf{Z}_V$  wird vermessen, indem man ein reales Mikrofon an die Stelle  $\mathbf{x}_V$  platziert und für spätere Anwendungen wieder entfernt.

**[0010]** Unter der Annahme, dass das Primärfeld an den Stellen  $\mathbf{x}$  und  $\mathbf{x}_V$  gleich ist, ergibt sich der Druck an der Stelle  $\mathbf{x}_V$  nach (1) und (2) aus dem mit einem realen Mikrofon gemessenen Druck  $\mathbf{p}(\mathbf{x})$  an der Stelle  $\mathbf{x}$  zu

$$\mathbf{p}(\mathbf{x}_V) = \mathbf{p}(\mathbf{x}) - (\mathbf{Z} - \mathbf{Z}_V)\mathbf{q}_S \quad (3)$$

**[0011]** Es wird davon ausgegangen, dass die experimentell ermittelten Werte für die Übertragungsimpedanzen  $\mathbf{Z}$  und  $\mathbf{Z}_V$  zeitlich invariant sind.

**[0012]** Durch die Annahme, dass das Primärfeld an beiden Orten  $\mathbf{x}$  und  $\mathbf{x}_V$  näherungsweise gleich ist, unterliegt der Einsatz dieser Formulierung bestimmten Einschränkungen. Die Annahme trifft nur dann zu, wenn der Abstand zwischen

dem realen und dem virtuellen Mikrofon klein gegenüber der Wellenlänge des Primärfelds (Lärm) ist. Der maximale Abstand zwischen dem virtuellen und dem realen Mikrofon wird mit ungefähr  $\Delta x = 0,1 \lambda$  ( $\lambda$ : Wellenlänge des Schalls) angegeben (Garcia-Bonito et al., *loc. cit.*), was wiederum eine starke Einschränkung in der technischen Anwendung bedeutet.

5 **[0013]** Des Weiteren wurde bei experimentellen Versuchen die höchste Schalldruckreduzierung am realen Mikrofon erreicht und nicht wie gewünscht am Ort des virtuellen Mikrofons (Munn: Virtual sensors for active noise control, PhD Thesis, University of Adelaide, Australia, 2004).

10 **[0014]** Der zweite Ansatz, eine Druckberechnung über Interpolation, wurde von einer Forschergruppe aus Australien entwickelt (Munn, *loc. cit.*). Dabei wird der Schalldruck an mindestens zwei Mikrofonen gemessen, und dann wird der Schalldruck linear oder mit höheren mathematischen Ansätzen am Ort eines virtuellen Mikrofons interpoliert. Damit ergibt sich zum Beispiel für die lineare Näherung am Ort  $\mathbf{x}_v$  aus zwei an Stellen  $\mathbf{x}_1$  und  $\mathbf{x}_2$  gemessenen Schalldrücken  $\mathbf{p}_1$  und  $\mathbf{p}_2$ :

$$15 \quad \mathbf{p}(\mathbf{x}_v) = \mathbf{p}_1 + (\mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_1) \Delta x / h, \quad (4)$$

20 wobei  $h$  der Abstand zwischen  $\mathbf{x}_2$  und  $\mathbf{x}_1$  und  $\Delta x$  der Abstand zwischen  $\mathbf{x}_v$  und  $\mathbf{x}_1$  ist. In der eindimensionalen Schallausbreitung kann dieser Ansatz sinnvoll sein, wenn der Abstand  $\Delta x < \lambda/4$  ist. Bei höheren Abständen entscheidet die Ordnung des verwendeten Interpolationsverfahrens über die Genauigkeit des Schätzwertes für  $\mathbf{p}(\mathbf{x}_v)$ . In der technischen Anwendung ist dieser Ansatz deswegen nur eingeschränkt einsetzbar.

**[0015]** Es ist Aufgabe der Erfindung, die vorbekannten Möglichkeiten zur Realisierung eines virtuellen Mikrofons zu verbessern.

25 **[0016]** Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Gegenschallsystem mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und durch ein Verfahren zum Reduzieren des Schalldrucks in einem Ruhebereich mittels eines derartigen Gegenschallsystems mit den Merkmalen des Anspruchs 5. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

30 **[0017]** Das erfindungsgemäße Gegenschallsystem weist eine Regeleinrichtung, mindestens einen Lautsprecher und mindestens ein Mikrofon auf. Die Regeleinrichtung ist dazu eingerichtet, bei einem einfallenden Primärschallfeld den Lautsprecher (bzw. bei mehreren Lautsprechern die Lautsprecher) in Antwort auf von dem Mikrofon abgegebene Signale so anzusteuern, dass in einem vorgegebenen Bereich, dem Ruhebereich, der Schalldruck durch Überlagerung des von dem Lautsprecher erzeugten Sekundärschallfelds mit dem Primärschallfeld reduziert wird. Das (mindestens eine) Mikrofon ist außerhalb des Ruhebereichs angeordnet. Erfindungsgemäß ist die Regeleinrichtung dazu eingerichtet, den Schalldruck an einer Stelle im Ruhebereich, dem Ort eines virtuellen Mikrofons, mit Hilfe des von dem Mikrofon gemessenen Schalldrucks, mit Hilfe von experimentell ermittelten Übertragungsfunktionen für das Sekundärschallfeld am Ort des Mikrofons und am Ort des virtuellen Mikrofons sowie mit Hilfe einer experimentell ermittelten Übertragungsfunktion für das Primärschallfeld zwischen dem Ort des Mikrofons und dem Ort des virtuellen Mikrofons zu reduzieren.

35 **[0018]** Bei dem erfindungsgemäßen Gegenschallsystem handelt es sich also um ein System zur aktiven lokalen Lärmbekämpfung ("Active Noise Control"; ANC), bei dem keine Sensoren im Ruhebereich, d.h. dem Bereich der lokalen Lärmreduktion (Zielbereich), notwendig sind. Mit Hilfe mindestens eines Mikrofons (reales Fehlermikrofon) kann der Schalldruck an einem Ort (Ort eines virtuellen Mikrofons) in der Ruhezone berechnet werden. Dieser Schalldruck lässt sich dann als Fehlersignal in ein ANC-System einführen, welches durch Ansteuerung der Lautsprecher den Druck am Ort des virtuellen Mikrofons reduziert und vorzugsweise minimiert. Dies erlaubt es, den Lärm (Schalldruck) an Orten zu minimieren, an denen der Einbau von realen Fehlersensoren nicht möglich ist.

40 **[0019]** Der Ansatz von Elliott (siehe oben) hat keine Gültigkeit bei unterschiedlichem Primärschallfeld an den virtuellen und realen Sensoren. Der Interpolationsansatz der australischen Forschergruppe (siehe oben) kann nicht auf räumliche Problemstellungen übertragen werden und ist stark abhängig von der Ausprägung des Schallfeldes. Damit sind beide Ansätze für den Einsatz bei ANC-Systemen nur begrenzt oder gar nicht verwendbar. Durch die Einführung einer Übertragungsfunktion für das Primärschallfeld zwischen dem Ort des (realen) Mikrofons und dem Ort des virtuellen Mikrofons ist der erfindungsgemäße Ansatz dagegen unabhängig von der Entfernung zwischen den virtuellen und realen Mikrofonen bzw. Sensoren und der Ausprägung des Primärschallfeldes, was den allgemeinen Einsatz von virtuellen Mikrofonen in ANC-Systemen ermöglicht. Dies wird im folgenden für den Fall eines einzigen realen Mikrofons verdeutlicht.

45 **[0020]** Dazu wird zwischen dem realen Mikrofon am Ort  $\mathbf{x}$  und einem nur zu Messzwecken installierten Mikrofon am Ort  $\mathbf{x}_v$  des virtuellen Mikrofons eine von  $\mathbf{x}$  und  $\mathbf{x}_v$  abhängige Übertragungsfunktion  $T$ , im Folgenden Transmissibilität genannt, für das Primärschallfeld vermessen. Es gilt:

$$55 \quad \mathbf{p}_p(\mathbf{x}_v) = T \mathbf{p}_p(\mathbf{x}) . \quad (5)$$

[0021] Zusammen mit den Gleichungen (1) und (2) folgt für die Berechnung des Schalldruckes an der Stelle  $x_v$ :

$$p(x_v) = T p_p(x) + Z_v q_s = T(p(x) - Z q_s) + Z_v q_s . \quad (6)$$

[0022] Damit lässt sich mit dem gemessenen Übertragungsverhalten  $Z$ ,  $Z_v$  für das Sekundärschallfeld und der gemessenen Transmissibilität  $T$  bei vorgegebenen Ansteuerungen  $q_s$  der Druck  $p(x_v)$  an jedem beliebigen Ort  $x_v$  berechnen und durch Variation von  $q_s$  reduzieren oder minimieren. Somit ist bei der technischen Umsetzung nur noch auf die zeitliche Invarianz der Übertragungsstrecken zu achten. Anstelle der Übertragungsimpedanzen des Sekundärfeldes können ebenfalls Transmissibilitäten bestimmt werden.

[0023] Weiterhin ist es möglich, mit mehreren realen Mikrofonen zu arbeiten. Die dadurch zur Verfügung stehende zusätzliche Messinformation kann über ein Fehlerminimierungsverfahren genutzt werden, um den Schalldruck am Ort des virtuellen Mikrofons im Ruhebereich noch genauer zu bestimmen. Auf diese Weise lassen sich die durch die Einführung der Übertragungsfunktionen entstehenden Approximationsfehler senken. Falls mehrere Lautsprecher vorgesehen sind, ist es auch denkbar, die Lautsprecher unabhängig voneinander anzusteuern, um die Variationsmöglichkeiten für das Sekundärschallfeld zu erhöhen.

[0024] Im folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen weiter erläutert. Die Zeichnungen zeigen in

Figur 1 eine Veranschaulichung des prinzipiellen Aufbaus eines Gegenschallsystems (ANC-System),

Figur 2 eine schematische Ansicht des prinzipiellen Aufbaus eines einkanaligen Gegenschallsystems gemäß der Erfindung und

Figur 3 ein Blockschaltbild für eine Ausführungsform zur Umsetzung des erfindungsgemäßen Gegenschallsystems.

[0025] In Figur 1 ist der prinzipielle Aufbau eines Gegenschallsystems dargestellt. Im Ausführungsbeispiel vier Lautsprecher 1, 2, 3 und 4 können über eine digitale Regeleinrichtung 5 angesteuert werden, um ein Sekundärschallfeld zu erzeugen, das sich mit einem einfallenden Primärschallfeld (Lärm) überlagert. Zur Messung des Schalldrucks dienen hier drei Mikrofone 6, 7 und 8, die Signale an die Regeleinrichtung 5 abgeben. In Reaktion auf diese Signale steuert die Regeleinrichtung die Lautsprecher 1, 2, 3, 4 so, dass das resultierende Schallfeld in einem Ruhebereich reduziert oder minimiert wird. Bei herkömmlichen Gegenschallsystemen befinden sich die Mikrofone 6, 7, 8 innerhalb des Ruhebereichs, während sie bei dem erfindungsgemäßen System außerhalb davon angeordnet sind.

[0026] Die Figur 2 zeigt schematisch ein Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes Gegenschallsystem mit einem realen Mikrofon (einkanaliges System) und verdeutlicht dessen Funktionsweise.

[0027] Dieses Gegenschallsystem weist ein reales Mikrofon 10 (an der Stelle  $x$ ) und einen Lautsprecher 12 auf, der bei einer Ansteuerung  $q_{sec}$  durch eine nicht eingezeichnete Regeleinrichtung ein Sekundärschallfeld erzeugt. Das Mikrofon 10 und der Lautsprecher 12 sind mit der Regeleinrichtung verbunden. Ein Primärschallfeld wird von einer Lärmquelle 14 erzeugt. In einem Ruhebereich um einen Ort  $x_v$  eines virtuellen Mikrofons 16 herum soll der Schalldruck durch Überlagerung des Sekundärschallfeldes mit dem Primärschallfeld reduziert werden.

[0028] Der Druck  $p(x)$  am Ort  $x$  ergibt sich aus (1) (mit  $p_p(x) = p_{prim}(x)$ ,  $Z = Z_{real}$  und  $q_s = q_{sec}$ ):

$$p(x) = p_{prim}(x) + Z_{real} q_{sec} . \quad (7)$$

[0029] Der Druck  $p(x_v)$  an der Stelle  $x_v$  des virtuellen Mikrofons 16 berechnet sich nach (6) (mit  $T = T_{rv}$ ,  $Z_v = Z_{virtuell}$  und  $q_s = q_{sec}$ ) zu:

$$p(x_v) = T_{rv}(p(x) - Z_{real} q_{sec}) + Z_{virtuell} q_{sec} . \quad (8)$$

[0030] Der nach (8) berechnete Schalldruck am Ort des virtuellen Mikrofons 16 kann als Information in die digitale Regeleinrichtung geführt werden. Diese berechnet dann anhand von dem Fachmann geläufigen Algorithmen die Ansteuerung  $q_{sec}$  des Lautsprechers 12, so dass der Druck am virtuellen Mikrofon 16 minimiert wird. Die Übertragungsfunktionen  $Z_{real}$  und  $Z_{virtuell}$  sowie die Transmissibilität  $T_{rv}$  werden vorher unter Verwendung eines an der Stelle  $x_v$  platzierten realen Mikrofons gemessen.

[0031] In Figur 3 ist ein schematisches Blockdiagramm zur Umsetzung einer Reglerstruktur gemäß dem anhand von Figur 2 erläuterten Ausführungsbeispiel dargestellt. Hierbei ist der Druck  $p_{prim}(x)$  des Primärschallfeldes durch eine Übertragungsstrecke  $P_{real}$  und eine Anregung  $q_{prim}$  einer Lärmquelle ausgedrückt:

$$p_{prim}(x) = P_{real}q_{prim} \quad (9)$$

## Patentansprüche

1. Gegenschallsystem mit einer Regeleinrichtung, mindestens einem Lautsprecher (12) und mindestens einem Mikrofon (10), wobei die Regeleinrichtung dazu eingerichtet ist, bei einem einfallenden Primärschallfeld den Lautsprecher (12) in Antwort auf von dem Mikrofon (10) abgegebene Signale so anzusteuern, dass in einem vorgegebenen Bereich, dem Ruhebereich, der Schalldruck durch Überlagerung des von dem Lautsprecher (12) erzeugten Sekundärschallfelds mit dem Primärschallfeld reduziert ist, und wobei das Mikrofon (10) außerhalb des Ruhebereichs angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regeleinrichtung dazu eingerichtet ist, den Schalldruck an einer Stelle im Ruhebereich, dem Ort eines virtuellen Mikrofons (16), mit Hilfe des von dem Mikrofon (10) gemessenen Schalldrucks, mit Hilfe von experimentell ermittelten Übertragungsfunktionen für das Sekundärschallfeld am Ort des Mikrofons (10) und am Ort des virtuellen Mikrofons (16) sowie mit Hilfe einer experimentell ermittelten Übertragungsfunktion für das Primärschallfeld zwischen dem Ort des Mikrofons (10) und dem Ort des virtuellen Mikrofons (16) zu reduzieren.
2. Gegenschallsystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gegenschallsystem mit genau einem Mikrofon (10) arbeitet und die Regeleinrichtung dazu eingerichtet ist, den Schalldruck  $p(x_v)$  am Ort  $x_v$  des virtuellen Mikrofons (16) aus der Beziehung

$$p(x_v) = T(p(x) - Zq_s) + Z_vq_s$$

zu berechnen, wobei

$p(x)$ : gemessener Schalldruck am Ort  $x$  des Mikrofons,  
 $q_s$ : Ansteuerung des mindestens einen Lautsprechers,  
 $Z$ : Übertragungsfunktion für das Sekundärschallfeld am Ort  $x$  des Mikrofons,  
 $Z_v$ : Übertragungsfunktion für das Sekundärschallfeld am Ort  $x_v$  des virtuellen Mikrofons,  
 $T$ : Übertragungsfunktion für das Primärschallfeld zwischen dem Ort  $x$  des Mikrofons und dem Ort  $x_v$  des virtuellen Mikrofons.

3. Gegenschallsystem nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regeleinrichtung dazu eingerichtet ist, den mindestens einen Lautsprecher (12) so anzusteuern, dass der Schalldruck am Ort des virtuellen Mikrofons (16) minimiert ist.
4. Gegenschallsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regeleinrichtung dazu eingerichtet ist, über ein vorgegebenes Frequenzintervall des Primärschallfelds zur Reduzierung des Schalldrucks im Ruhebereich den mindestens einen Lautsprecher (12) bei den Frequenzen aus dem vorgegebenen Frequenzintervall anzusteuern.
5. Verfahren zum Reduzieren des Schalldrucks in einem Ruhebereich mittels eines Gegenschallsystems, das eine Regeleinrichtung, mindestens einen Lautsprecher (12) und mindestens ein außerhalb des Ruhebereichs angeordnetes Mikrofon (10) aufweist, wobei die Regeleinrichtung dazu eingerichtet ist, bei einem einfallenden Primärschallfeld den Lautsprecher (12) in Antwort auf von dem Mikrofon (10) abgegebene Signale so anzusteuern, dass in dem Ruhebereich der Schalldruck durch Überlagerung des von dem Lautsprecher (12) erzeugten Sekundärschallfelds mit dem Primärschallfeld reduziert wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regeleinrichtung den Schalldruck an einer Stelle im Ruhebereich, dem Ort eines virtuellen Mikrofons (16), mit Hilfe des von dem Mikrofon (10) gemessenen Schalldrucks, mit Hilfe von experimentell ermittelten Übertragungsfunktionen für das Sekundärschallfeld am Ort

des Mikrofons (10) und am Ort des virtuellen Mikrofons (16) sowie mit Hilfe einer experimentell ermittelten Übertragungsfunktion für das Primärschallfeld zwischen dem Ort des Mikrofons (10) und dem Ort des virtuellen Mikrofons (16) ermittelt und den mindestens einen Lautsprecher (12) so ansteuert, dass der Schalldruck am Ort des virtuellen Mikrofons (16) reduziert, vorzugsweise minimiert, wird.

- 5  
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gegenschallsystem mit genau einem Mikrofon (10) arbeitet und die Regeleinrichtung den Schalldruck  $p(x_v)$  am Ort  $x_v$  des virtuellen Mikrofons (16) aus der Beziehung

$$10 \quad p(x_v) = T(p(x) - Zq_s) + Z_v q_s$$

berechnet, wobei

- 15  
 $p(x)$  : gemessener Schalldruck am Ort  $x$  des Mikrofons,  
 $q_s$  : Ansteuerung des mindestens einen Lautsprechers,  
 $Z$  : Übertragungsfunktion für das Sekundärschallfeld am Ort  $x$  des Mikrofons,  
 $Z_v$  : Übertragungsfunktion für das Sekundärschallfeld am Ort  $x_v$  des virtuellen Mikrofons,  
20  
 $T$  : Übertragungsfunktion für das Primärschallfeld zwischen dem Ort  $x$  des Mikrofons und dem Ort  $x_v$  des virtuellen Mikrofons.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regeleinrichtung zur Reduzierung des Schalldrucks im Ruhebereich über ein vorgegebenes Frequenzintervall des Primärschallfelds den mindestens einen Lautsprecher (12) bei den Frequenzen aus dem vorgegebenen Frequenzintervall ansteuert.

25

30

35

40

45

50

55

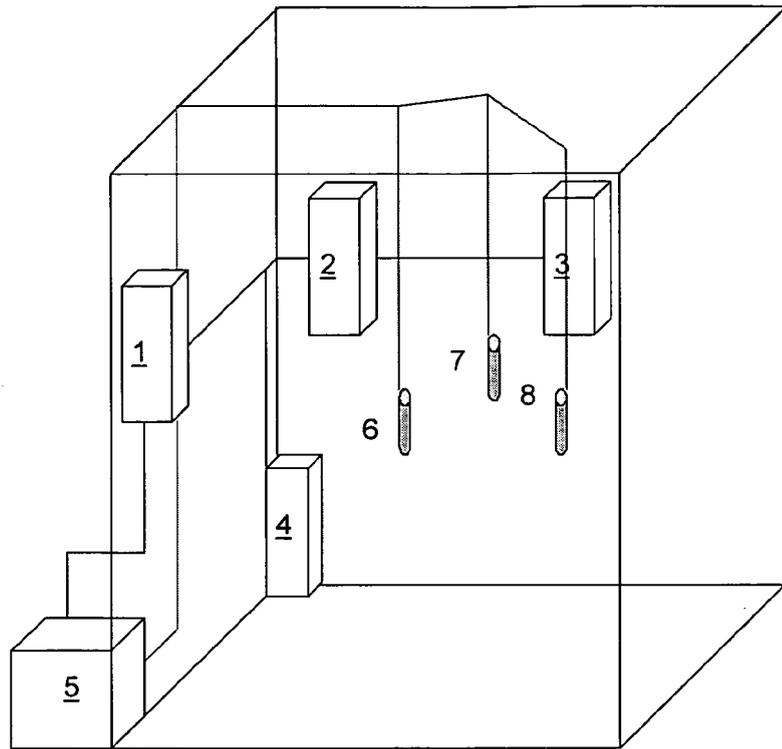


Fig. 1

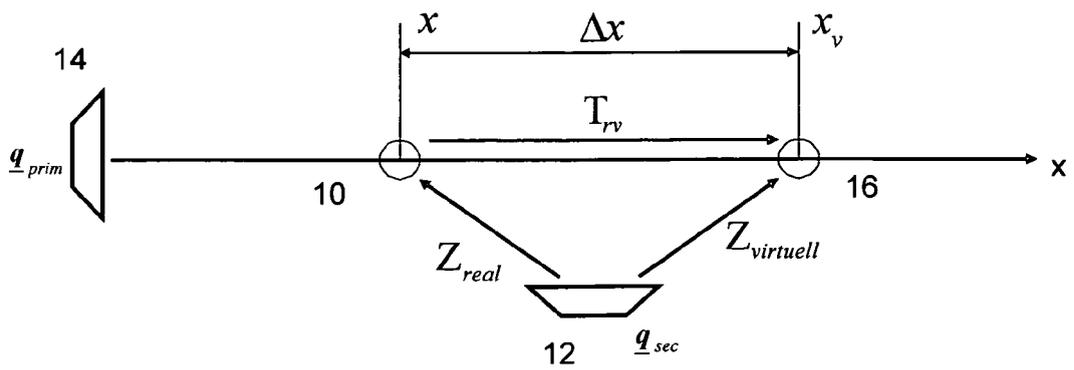


Fig. 2

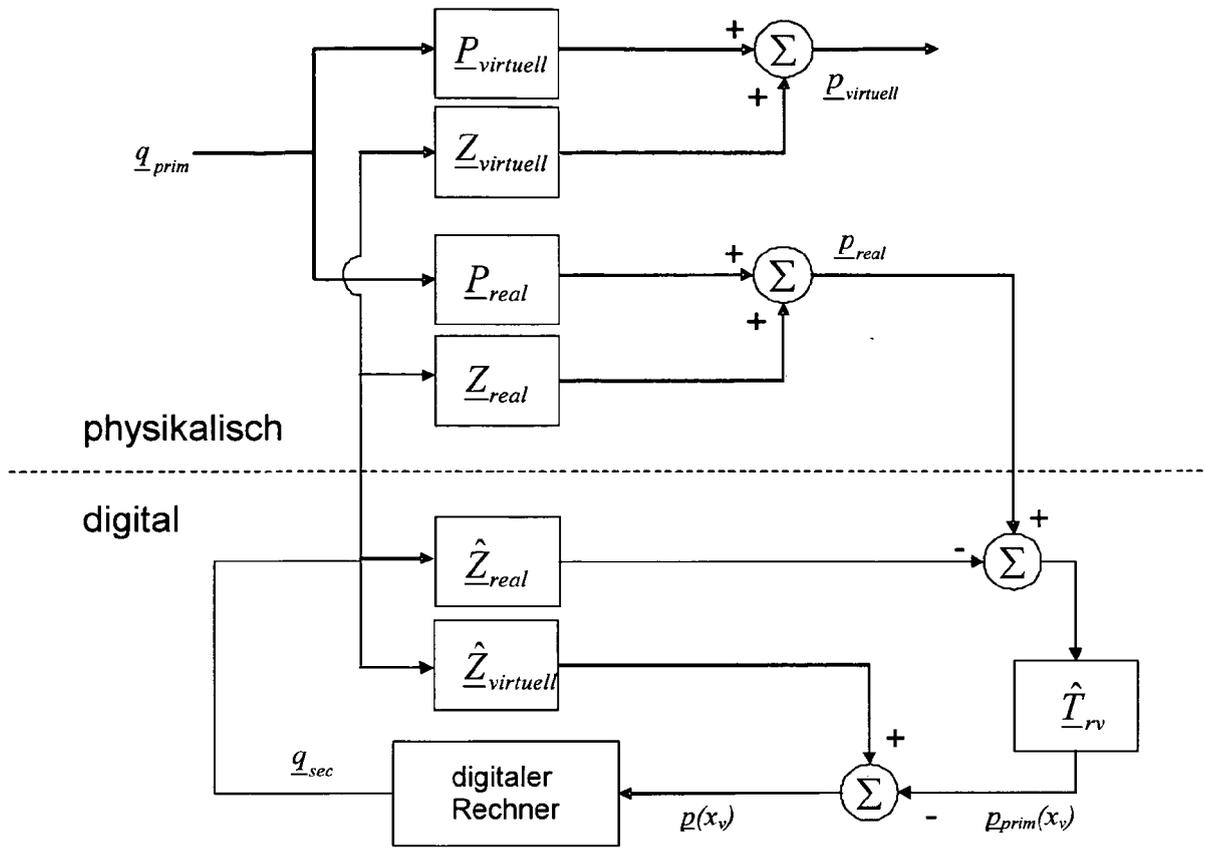


Fig. 3

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur**

- **GARCIA-BONITO ; ELLIOTT, BOUCHER.** Generation of zones of quiet using a virtual microphone arrangement. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1997, vol. 101 (6), 3498-3516 [0007]
- **MUNN.** Virtual sensors for active noise control. University of Adelaide, 2004 [0013]