



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
25.05.2022 Patentblatt 2022/21

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
H04R 1/10 (2006.01) H04R 29/00 (2006.01)
G10K 11/178 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **20207549.5**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
H04R 1/1083; G10K 11/17815; G10K 11/17817;
G10K 11/17854; H04R 29/00; G10K 2210/1081;
G10K 2210/3055; G10K 2210/504; H04R 2410/05;
H04R 2460/01

(22) Anmeldetag: **13.11.2020**

(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
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **Perkmann, Michael**
1230 Wien (AT)
• **Wöhler, Daniel**
1230 Wien (AT)
• **Kollenz, Ludwig**
1230 Wien (AT)

(71) Anmelder: **Austrian Audio GmbH**
1230 Wien (AT)

(74) Vertreter: **Patentanwälte**
Barger, Piso & Partner
Operngasse 4
1010 Wien (AT)

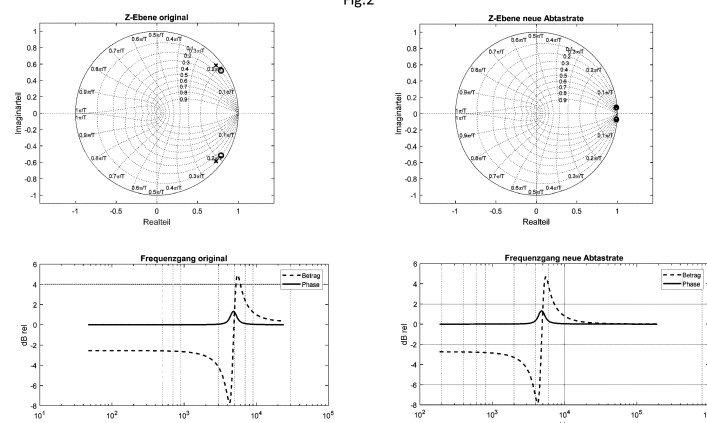
(54) **VERFAHREN ZUR ADAPTION VON ANC-KOPFHÖRERN**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kalibrierung bzw. Anpassung eines ANC-Kopfhörers der über zumindest einen Signalprozessor verfügt, auf dem zumindest ein Filter, insbesondere ein IIR-Filter, und dessen Parameter gespeichert sind, dadurch gekennzeichnet, dass es folgende Schritte umfasst:

- Aufsetzen des Kopfhörers auf ein Messmittel, beispielsweise einen Kuppler, einen Kunstkopf mit Messmikrofonen, einen realen Kopf mit Sondenmikrofonen, mit einer Datenübertragung und einer EDV,
- Vermessen der relevanten Übertragungsstrecken, unter Anregen des ANC-Kreises des Kopfhörers, beispiels-

- weise durch Chirpen oder Rauschen,
- Definition zumindest einer Zielfunktion zur Kalkulation der Komplementärfunktion zumindest einer Übertragungsstrecke der ANC-Kreis des Kopfhörers,
- Berechnen der Impulsantwort der Komplementärfunktion/en aus den Messungen der relevanten Übertragungsstrecken,
- Approximation der Parameter des/der Filter/s, die zum Erreichen der Komplementärfunktion/en notwendig sind,
- Eingeben bzw. Aktivieren der berechneten Parameter im Signalprozessor

Fig.2



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Anpassung bzw. Kalibrierung eines ANC-Kopfhörers, entsprechend dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und der WO 2010/049241 A1.

[0002] Diese Druckschrift, entsprechend der US 9,779,714 schlägt vor, dass im Zuge der Herstellung eines ANC-Kopfhörers dieser mit einem aus Versuchen abgeleiteten Filter (entsprechend einem Equalizer) auf einen Kunstkopf mit Mikrofonen aufgesetzt wird, dass das von den Lautsprechern abgestrahlte Signal bei Auftreten (bekannten) äußeren Lärms festgestellt wird, und dass durch Einstellung des Verstärkungspegels des ANC-Mikrofons eine bestmögliche Löschung des Umgebungslärms erzielt wird. Diese Einstellung des Mikrofons wird sodann für die Lebensdauer des Kopfhörers verwendet.

[0003] Trotz der Einfachheit dieses Verfahrens haften ihm einige Mängel an, insbesondere können keinerlei Abweichungen in der Charakteristik vom Versuchshörer berücksichtigt werden. Durch die endgültige Einstellung des Pegels können auch die im Laufe des Lebens eines Kopfhörers auftretenden Änderungen, sei es die Qualität der Abschirmung durch die Kopfhörerschalen bzw. deren Polster, sei es elektronische Drift bei den Verstärkern oder beim Lautsprecher oder beim Mikrofon durch Alterungsprozesse der dabei unbedingt notwendigen, bewegten Membranen etc. berücksichtigt werden.

[0004] Allgemein kann zum Stand der Technik gesagt werden, dass die Abstimmung von ANC-Kopfhörern durch Messen der Impulsantworten von Prototypen und Bestimmung "mittlerer" (optimierter) Filtercharakteristiken erfolgt, die auf den Signalprozessoren (in der Regel ANC-ICs) entsprechend programmiert werden. Diese Filtercharakteristiken werden bei allen Kopfhörern dieser Serie verwendet. Im Zuge der Herstellung der eigentlichen Produkte wird Stück für Stück die reale Impulsantwort gemessen und es wird die Verstärkung des ANC-Mikrofons bestmöglich an den Unterschied von Messergebnissen und gewünschten Endresultat angepasst.

[0005] Unter ANC-Kopfhörer werden in der Anmeldung und den Ansprüchen auch Ohrhörer, sogenannte In-Ear, Earbud, On-Ear und Circumaural-Ear Hörer und auch Hörgeräte aller Art verstanden.

[0006] Es ist Ziel und Aufgabe der Erfindung ein Verfahren anzugeben, das in der Lage ist auch derartige Abweichungen sowie Unterschiede zu der gewünschten, für das jeweilige Einzel-Produkt idealen, Filtercharakteristik zu berücksichtigen.

[0007] Diese Ziele werden erfindungsgemäß durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 angegebenen Kennzeichen erreicht, mit anderen Worten; es wird eine anzustrebende Übertragungsstrecke im Zuge der Entwicklung des Kopfhörers festgelegt, es werden die Übertragungsstrecken des produzierten ANC-Kopfhörers gemessen, aus den Messungen werden (rekursive)

Filter für den Signalprozessor so ermittelt, dass der Kopfhörer die angestrebte (idealen) Übertragungsstrecke aufweist, die so ermittelten Filterkoeffizienten und/oder Verstärkungsfaktoren werden am Signalprozessor gespeichert bzw. aktiviert.

[0008] Genauer ausgeführt, umfasst das erfindungsgemäße Verfahren zur Kalibrierung bzw. Anpassung eines ANC-Kopfhörers, der über zumindest einen Signalprozessor verfügt, auf dem zumindest ein Filter, insbesondere ein IIR-Filter, und dessen Parameter gespeichert sind, folgende Schritte:

- a) Aufsetzen des Kopfhörers auf ein geeignetes Messmittel, (beispielsweise einen Kuppel, einen Kunstkopf mit Messmikrofonen, einen realen Kopf mit Sondenmikrofonen) mit einer Datenübertragung und einer analogen oder digitalen EDV,
- b) Vermessung der relevanten Übertragungsstrecken unter Anregen des ANC Kreises des Kopfhörers, beispielsweise durch Chirpen oder Rauschen,
- c) Definition zumindest einer Zielfunktion zur Kalkulation der Komplementärfunktion zumindest einer Übertragungsstrecke der ANC Anwendung,
- d) Berechnen der Impulsantwort der Komplementärfunktion/en aus den Messungen der relevanten Übertragungsstrecken,
- e) Approximation der Parameter des/der Filter/s, die zum Erreichen der Komplementärfunktion/en notwendig sind,
- f) Eingeben bzw. Aktivieren der berechneten Parameter im Signalprozessor

[0009] Allgemein gesagt umfasst das erfindungsgemäße Verfahren, dass im Zuge der Messung beim fertigen Produkt die Filtercharakteristik geändert und an das jeweilige Einzelprodukt angepasst wird, was durch die Struktur der Signalprozessor ermöglicht ist, weil diese über Bluetooth oder andere drahtlose Verbindungsmöglichkeit verfügen, oder aber über eine galvanische Schnittstelle wie USB oder Ähnliches zugänglich sind. Da die Messergebnisse digital vorliegen und digital verarbeitet werden (ohne dass dies zwingend notwendig wäre) ist es ein Leichtes, über diese Datenübertragungsmöglichkeiten die digitalen Filterkoeffizienten der Signalprozessor wunschgemäß anzupassen.

[0010] Es braucht nicht extra erwähnt zu werden, dass eine derartige Anpassung auch nach Jahren noch am benutzten Produkt vorgenommen werden kann, wenn ein entsprechender Messplatz zur Verfügung steht, um eventuelle Änderungen im akustischen Verhalten durch die eingangs erwähnten Alterungsprozesse auszugleichen.

[0011] Es soll auch nur kurz darauf hingewiesen werden, dass die angestrebten Filtereigenschaften nicht nur auf eine möglichst vollständige Reduktion der Außengeräusche abgestimmt werden, sondern auch stets die Stabilität berücksichtigen, um alle Arten von Übersteuerungen und Klirren zu vermeiden.

[0012] In einer Ausgestaltung der Erfindung werden die so bestimmten Transferfunktionen in Polynome zweiter Ordnung zerlegt, wodurch es möglich wird die bei Signalprozessoren häufig verwendeten biquadratischen Kaskaden anzuwenden.

[0013] Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigt die Fig. 1 den Graphen einer Approximation einer erfindungsgemäß errechneten Impulsantwort (Komplementärfunktion), aus gemessenen Übertragungsstrecken und Zielfunktion, mittels Prony Methode, die Fig. 2 ein Beispiel eines IIR Filters von 48kHz umgesetzt für 384kHz. Die linke Spalte zeigt das Original, die Rechte die Version bei höherer Abtastrate. Oben sind die Pole und Nullstellen in der komplexen Ebene dargestellt, unten Magnituden-(strichliert) und Phasengang (durchgezogen), die Fig. 3 das Ergebnis der Abtastanpassung der Impulsantwort am Beispiel der mit biquadratischen Filtern (IIR) approximierten Komplementärfilterfunktion und die Fig. 4 die Einzelfunktionen eines Feedback-Systems mit $h(n)$ (links oben), $t(n)$ (links unten) und durch Dekonvolution erhaltene und approximierte Komplementärfilter - Impulsantwort (rechts oben), rechts unten: das Ergebnis der Faltung von Sekundärstrecke und approximiertem Komplementärfilter - Impulsantwort zur Kontrolle der erfolgreichen Synthesisierung der Zielfunktion.

[0014] Ein Beispiel für das erfindungsgemäße Verfahren bzw. das dabei verwendete Optimierungsverfahren (Methode) wird im Folgenden beschrieben:

Die hier erfindungsgemäße Methode verwendet IIR-Filter, da diese deutlich weniger Rechenleistung und Speicher als FIR-Filter bei gleichem Ergebnis bedürfen. Zusätzlich erlauben manche ICs ausschließlich IIR-Filter, sodass diese Methode universell einsetzbar ist. Es kann sich hierbei um ein Feedforward-, ein Feedback- oder ein Hybrid-System handeln. Ein Messsystem ermittelt die Impulsantworten der Übertragungsstrecken (Feedforward und Feedback). Dies kann mit allen üblichen Methoden erfolgen, etwa durch Anregung mittels Chirps oder Rauschen ist aber nicht auf diese beschränkt. Zu den ermittelten Impulsantworten der passiven Strecken müssen noch die bekannten Charakteristiken der Mikrophone und des Treibers, die ja vorliegen, hinzugefügt werden (mittels Konvolution). Somit ist die Impulsantwort der Feedforward-Strecke gegeben über:

$$x(n) * m(n) * f(n) = -p(n)$$

[0015] Wobei $x(n)$ der Übertragungsstrecke des Lautsprechers des ANC-Kopfhörers zum Auslöschungspunkt des Feedforward ANC Systems (Kupplermikrofon, Kunstkopfmikrofon, realer Kopf mit Sondenmikrofon, o.Ä.) und $m(n)$ der Übertragungsstrecke zum Feedforwardmikrofon entsprechen. Die Zielfunktion $p(n)$ entspricht bei einem Feedforward-System der passiven Übertragungsstrecke zum Auslöschungspunkt Aus den

vorliegenden drei Strecken $x(n)$, $m(n)$ und $p(n)$ kann also analog zum Feedback-System die angestrebte Komplementärfunktion $f(n)$ durch Dekonvolution errechnet und anschließend nach dem erfindungsgemäßen Verfahren approximiert werden.

[0016] Die Feedback-Strecke wird ermittelt, indem eine Ziel-Impulsantwort $t(n)$ durch Dekonvolution erreicht wird.

$$h(n) * i(n) = t(n)$$

[0017] Die gemessene reale Impulsantwort $h(n)$ die auch als Sekundärstrecke (entsprechend der Übertragungsstrecke zwischen ANC-Kopfhörer, Lautsprecher und Feedbackmikrofon) bezeichnet wird, gefaltet mit der errechneten Impulsantwort $i(n)$ ergibt die Zielfunktion $t(n)$. Somit sind die Impulsantworten für Feedforward und Feedback gegeben. Die Einzelfunktionen sowie die resultierende bereits approximierte Komplementärfilter-Impulsantwort sind in Fig.4 dargestellt.

[0018] Eine gegebene Impulsantwort kann als FIR-Filter der Länge der Impulsantwort betrachtet werden, wobei die Werte der einzelnen Samples als Filterkoeffizienten fungieren. Die Übertragungsfunktion hat somit die Form

$$H(z) = \sum_{i=0}^M b_i z^{-i}$$

[0019] Ein IIR-Filter hingegen hat die Form

$$H(z) = \frac{\sum_{i=0}^M b_i z^{-i}}{\sum_{i=0}^N a_i z^{-i}}$$

[0020] Ein gegebener integrierter Schaltkreis hat aufgrund von Limitationen der Hardware nicht notwendigerweise die Möglichkeit ein FIR-Filter für ANC zu nutzen (solche Filter benötigt zu viele Taps). Mit einem IIR-Filter ist es hingegen schon möglich, da die rückgekoppelte Struktur weniger Taps benötigt. Daher ist es vorteilhaft die gegebene Impulsantwort durch ein IIR-Polynom zu approximieren.

[0021] Es gibt hierzu verschiedene Möglichkeiten: In einer Ausführungsform wird die Prony-Methode, in Fig.1 dargestellt, verwendet, welche die gegebene Impulsantwort durch exponential-gedämpfte Kosinusschwingungen approximiert. (Die Erfindung ist selbstverständlich nicht auf die Prony-Methode beschränkt.)

$$\hat{f}(t) = \sum_{i=1}^M A_i e^{\sigma_i t} \cos(\omega_i t + \phi_i)$$

[0022] Durch die Approximation besitzt die ermittelte Transferfunktion mehr Koeffizienten als benötigt: ANC-Filter werden üblicherweise bis 2kHz definiert, da oberhalb eine gute passive Dämpfung erwartet werden kann. Optional kann die Ordnung der Transferfunktion reduziert werden.

[0023] Impulsantworten werden im Regelfall bei einer geringeren Abtastrate als im ANC-System verwendet aufgezeichnet. Üblich sind 44.1 oder 48kHz, während ein ANC-System eher 192 oder 384kHz getaktet ist. Das ermittelte IIR-Filter muss somit von z.B. 48kHz auf 384kHz skaliert werden, wobei der Frequenzgang absolut gesehen (in Hz) gleich bleiben soll (in einem relevanten Bereich).

[0024] Die Skalierung eines IIR-Filters ist nicht offensichtlich, da sich die Transferfunktion ändern muss. Die hier vorgeschlagene Methode nutzt Pole und Nullstellen der Transferfunktion $H(z)$. Der Einheitskreis auf der z-Ebene bildet den Frequenzgang ab (welcher auch über die Fourier Transformation ermittelt werden kann), da dort

$$z = e^{j\omega}$$

[0025] An der (kartesischen) Koordinate $1 + 0j$ ist der DC-Anteil (0Hz) zu finden, während an $-1 + 0j$ die halbe Abtastfrequenz zu finden ist (Nyquist-Frequenz). Für 48kHz ist die Nyquist Frequenz 24kHz. In Radiant handelt es sich um π , also den halben Einheitskreis. Für die höhere Abtastrate (384kHz) ist π gleich 192kHz. Das bedeutet im selben Bereich in Radiant befindet sich mehr Bandbreite (in Hz).

[0026] Wird eine Gerade vom Ursprungspunkt ($0 + 0j$) durch einen Pol (oder eine Nullstelle) bis zu Einheitskreis gezogen ist zunächst deren Winkel (bezogen auf die Abszisse) für die niedrige Abtastrate ersichtlich. Der Punkt am Einheitskreis entspricht einer Frequenz f in Hz.

$$f = \frac{\varphi f_s}{\pi 2} \text{ in Hz}$$

[0027] Der Punkt am Einheitskreis in Hz kann für die erhöhte Abtastrate in korrespondierenden Radianten umgerechnet werden.

$$\varphi_u = \frac{f}{0.5f_{su}} \pi$$

[0028] Somit ist der Winkel bekannt um welchen die Pole und Nullstellen gedreht werden müssen um die Transferfunktion für die höhere Abtastrate zu skalieren. Zusätzlich müssen die Dämpfungsfaktoren angepasst werden. Die Linien konstanter Dämpfung der s-Ebene werden durch entsprechende Abbildung (bilineare Transformation, Impuls Invarianz, o.ä.) zu spiralförmigen

Wurzel-Ortskurve auf der z-Ebene. Vom ursprünglichen Punkt eines Pols oder einer Nullstelle muss die Orts-Wurzel-Funktion zum DC-Punkt ermittelt werden. Die neue Position eines Pols/ Nullstelle ist an der Intersektion zwischen Orts-Wurzel-Funktion und des neuen Winkels für die höhere Abtastrate. Das Ergebnis dieser Anpassung ist in Fig.2 (rechts oben und unten) dargestellt.

[0029] Sonderregelungen des Vorgehens sind nötig für Pole/ Nullstellen welche an der Nyquist-Frequenz für die niedrige Abtastrate liegen: Da diese für die höhere Abtastrate wandert (von π zu $< \pi$) müssen diese Pole/Nullstellen mitwandern und entlang der Abszisse gespiegelt werden um ein reellwertiges Filter zu erhalten. In Zuge dieses Vorgangs können mehr Nullstellen als Pole entstehen, was zu einer nicht wohldefinierten Übertragungsfunktion führt. Es sind Pole nahe des Ursprungspunkts hinzuzufügen, so dass deren Einfluss gering ist aber die Übertragungsfunktion wohldefiniert wird. Es ist bekannt, dass ein Polynom mit mehr Koeffizienten im Zähler als im Nenner nicht wohldefiniert ist, da es antikausal wäre.

[0030] Nach skalieren der Übertragungsfunktion, entsprechend der Fig. 3, ist diese in Funktionen 2. Ordnung zu zerlegen (biquadratische Kaskade), da diese meist in ICs umgesetzt werden kann und auch stabiler sind. Optional kann die Skalierung auf nach der Zerlegung in bi-quadratische Filter erfolgen. Die Zerlegung kann mittels Partialbruchzerlegung erfolgen.

[0031] Die so gewonnenen Koeffizienten für bi-quadratische, somit rekursive, Filter können in eine Differenzengleichung umgewandelt und in einem passenden integrierten Schaltkreis verwendet werden. Da die meisten ANC ICs in Ihrer Programmieroberfläche/Entwicklungsumgebung die Möglichkeit haben, Filterkoeffizienten i.d.R. IIR manchmal auch FIR direkt einzugeben, ist dies problemlos durchführbar.

[0032] Dabei wird beispielsweise im Signalprozessor eines Feedback ANC Systems das Feedback Filter mit den Koeffizienten, der nach obiger Beschreibung approximierten, errechneten Komplementärfunktion, programmiert. Diese Programmierung wird in der Regel über die Entwicklungsumgebung der jeweiligen Signalprozessoren (ANC ICs) oder durch einspielen einer mit den Koeffizienten versehenen Firmware über die bereits erläuterten Methoden bewerkstelligt.

[0033] Die Erfindung kann verschiedentlich abgewandelt und verändert werden, so kann das Messmittel neben den genannten Möglichkeiten eines Kunstkopfes, etc. jede andere Anordnung von Mikrofonen haben bzw. daraus bestehen, solange nur die benötigten, dem Fachmann in Kenntnis der Erfindung geläufigen, Daten erfasst werden.

[0034] Es können andere Approximationsverfahren als die genannte und dargelegte Prony-Methode verwendet werden, insbesondere, wenn andere Filter und Signalprozessoren als in der Beschreibung genannt, vorliegen, es können auch analoge Verfahren verwendet werden, wenn das auch derzeit nicht üblich ist, so ist es doch

in Kenntnis der Erfindung für den Fachmann leicht übertragbar.

[0035] Ob zu Beginn des Verfahrens im Signalprozessor ein beliebiges oder ein aufgrund der Erfahrung schon in etwa angepasstes Filter konfiguriert ist, spielt letztlich keine Rolle, da ein nochmaliges Durchlaufen des Verfahrens vom Schritt b) an, eventuell mit weiteren Wiederholungen, zu einem raschen Erreichen des optimal erreichbaren Zustandes führt.

[0036] Dies ist insbesondere bei der Endanpassung einer ganzen Serie von Kopfhörern spürbar, bei denen von einer Anfangskonfiguration ausgegangen werden kann, die beispielsweise durch den ersten erfindungsgemäß konfigurierten Kopfhörer erreicht ist.

[0037] Auch Adjustierungen von bereits länger benutzten Kopfhörern sind problemlos möglich.

[0038] Ausgestaltungen der Erfindung sehen beispielsweise vor, dass im Schritt b) die Messung der Übertragungsstrecken digital mit der Abtastrate des Messsystems erfolgt, dass der ANC-Kopfhörer eine, vom digitalen Signalprozessor gegebene, Taktrate aufweist, dass die Taktrate höher ist als die Abtastrate und dass die/der approximierte/n ANC Filter im Verhältnis der Abtastrate zur Taktrate skaliert werden, wobei der Frequenzgang der/des approximierten Komplementärfilter/s absolut, in Hertz, betrachtet gleich bleibt.

[0039] Eine weitere Ausgestaltung sieht vor, dass im Schritt e) die Ordnung des/der approximierten Komplementärfilter/s höher ist/sind als der/die Signalprozessor(en) verarbeiten kann(können) und dass die Ordnung der/des approximierten Komplementärfilter/s passend für die Leistung des(der) Signalprozessors(en) reduziert wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kalibrierung bzw. Anpassung eines ANC-Kopfhörers der über zumindest einen Signalprozessor verfügt, auf dem zumindest ein Filter, insbesondere ein IIR-Filter, und dessen Parameter gespeichert sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** es folgende Schritte umfasst:

a) Aufsetzen des Kopfhörers auf ein Messmittel, beispielsweise einen Kuppler, einen Kunstkopf mit Messmikrofonen, einen realen Kopf mit Sondenmikrofonen, mit einer Datenübertragung und einer EDV,

b) Vermessen der relevanten Übertragungsstrecken, unter Anregen des ANC-Kreises des Kopfhörers, beispielsweise durch Chirpen oder Rauschen,

c) Definition zumindest einer Zielfunktion zur Kalkulation der Komplementärfunktion zumindest einer Übertragungsstrecke des ANC-Kreises des Kopfhörers,

d) Berechnen der Impulsantwort der Komple-

mentärfunktion/en aus den Messungen der relevanten Übertragungsstrecken,

e) Approximation der Parameter des/der Filter/s, die zum Erreichen der Komplementärfunktion/en notwendig sind,

f) Eingeben bzw. Aktivieren der berechneten Parameter im Signalprozessor.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Schritt b) die Messung der Übertragungsstrecken digital mit der Abtastrate des Messsystems erfolgt, dass der ANC-Kopfhörer einen digitalen Signalprozessor gegebenen Taktrate aufweist, dass die Taktrate höher ist als die Abtastrate und dass die/der approximierte/n ANC Filter/s im Verhältnis der Abtastrate zur Taktrate skaliert werden, wobei der Frequenzgang der/des approximierten Komplementärfilter/s absolut, in Hertz, betrachtet gleich bleibt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Schritt b) die Ordnung des/der approximierten Komplementärfilter/s höher ist/sind als der/die Signalprozessor(en) verarbeiten kann(können) und dass die Ordnung der/des approximierten Komplementärfilter/s passend für die Leistung des(der) Signalprozessors(en) reduziert wird.

4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es zur Kontrolle und/oder genaueren Kalibrierung ab Schritt b) wiederholt wird.

5. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kopfhörer einer aus einer Serie ist, bei der die ursprünglichen Parameter des Filters aufgrund vorhergehender Tests eingegeben bzw. aktiviert sind.

Fig.1

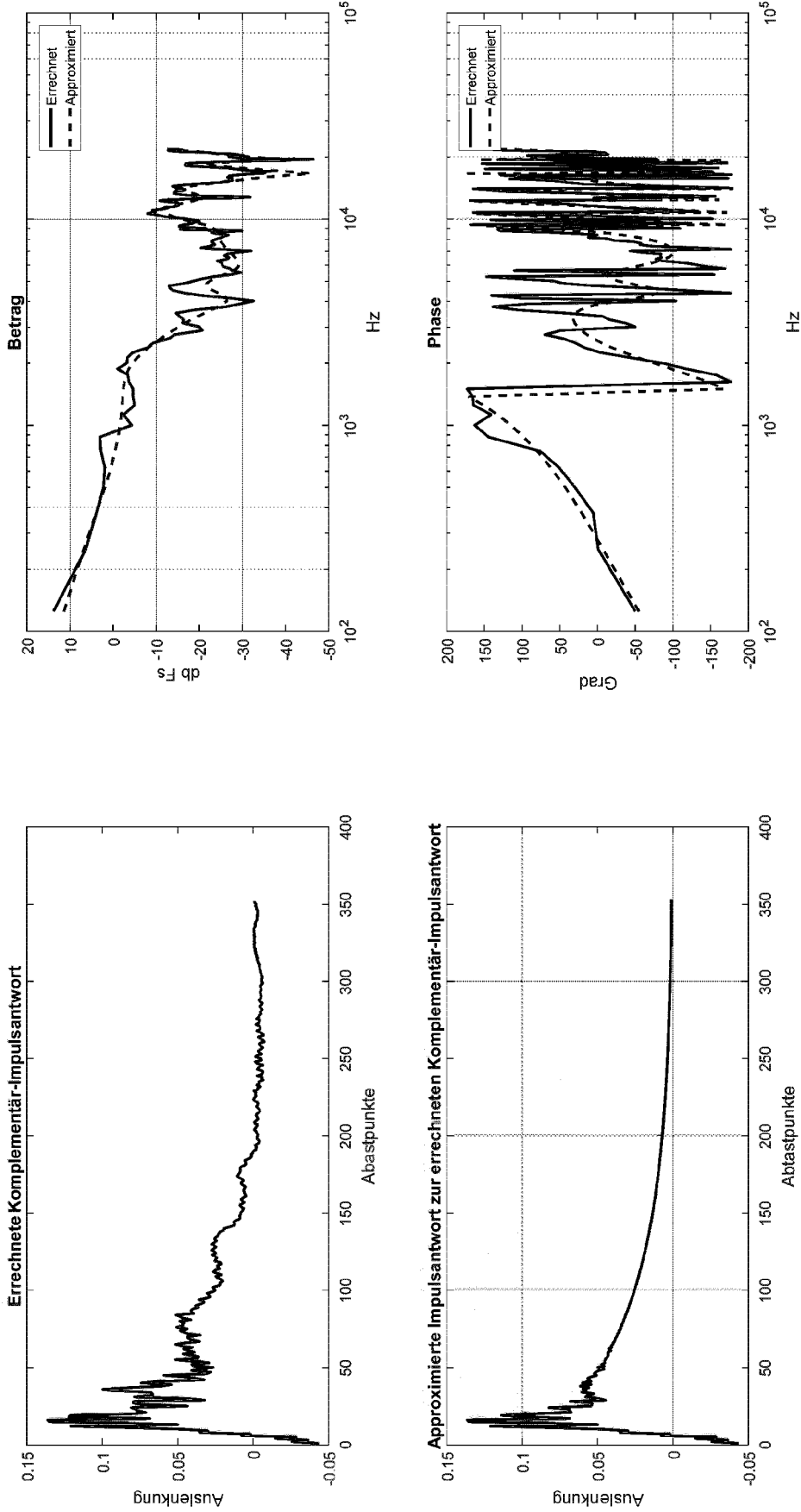


Fig.2

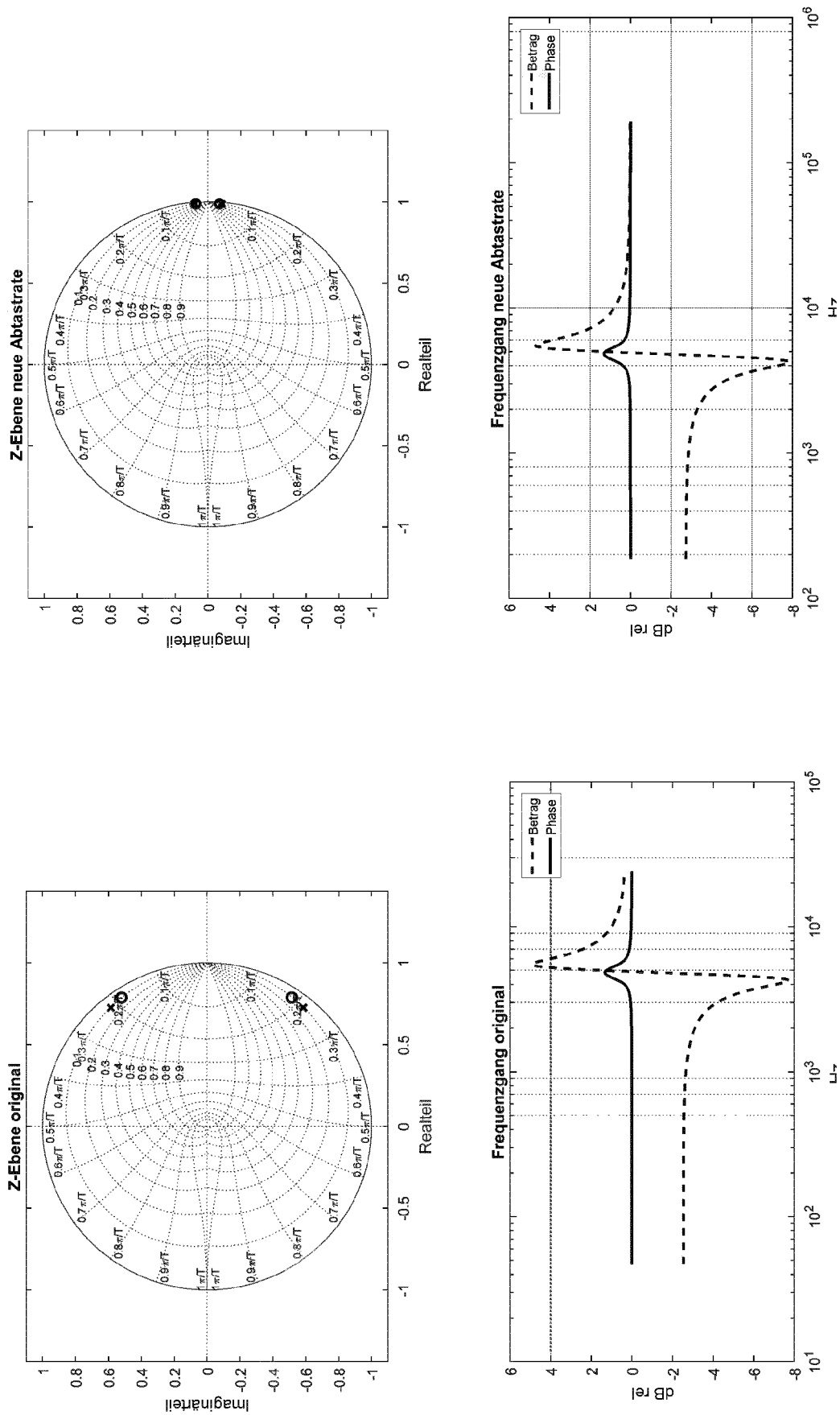


Fig. 3

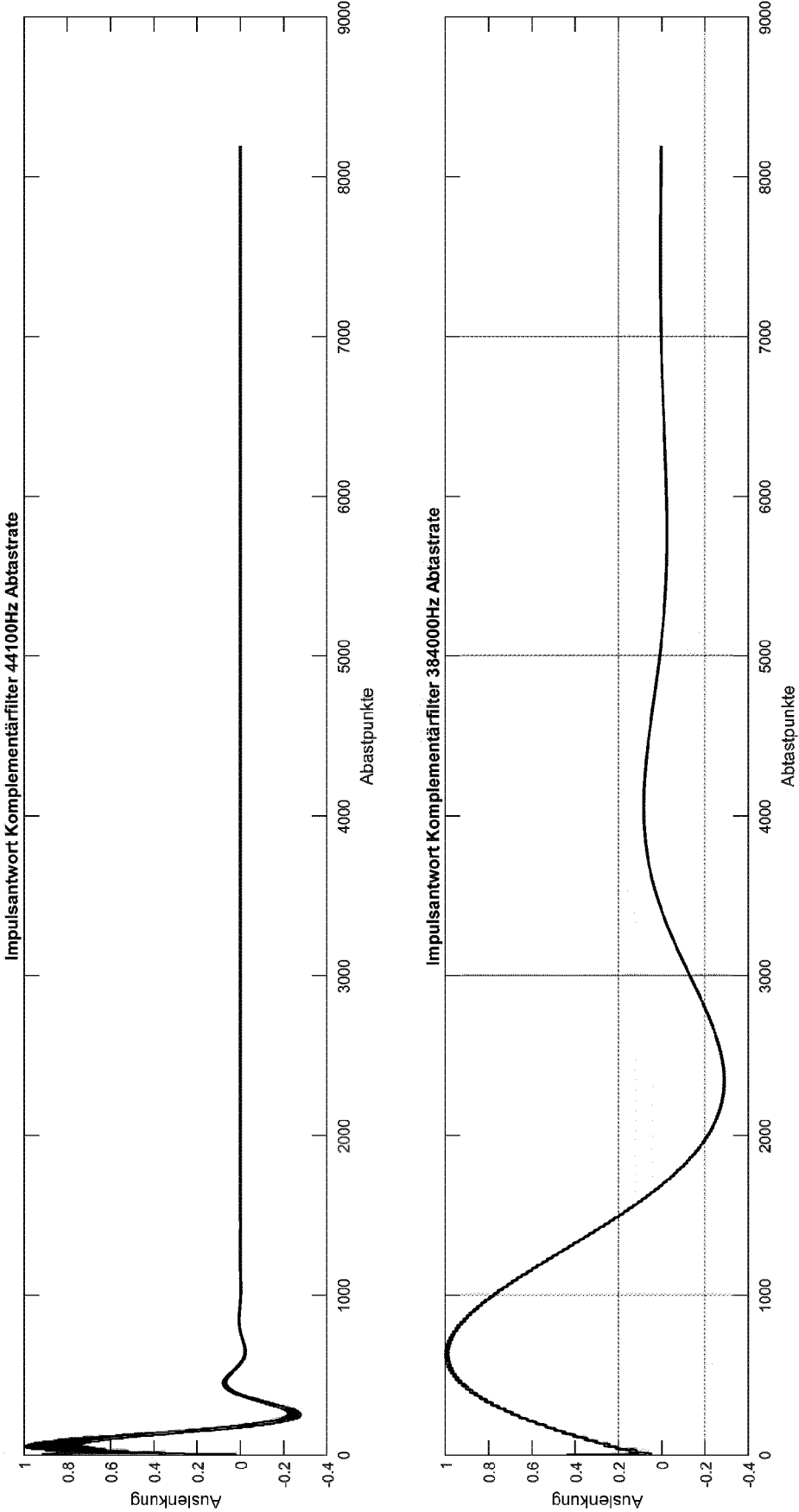
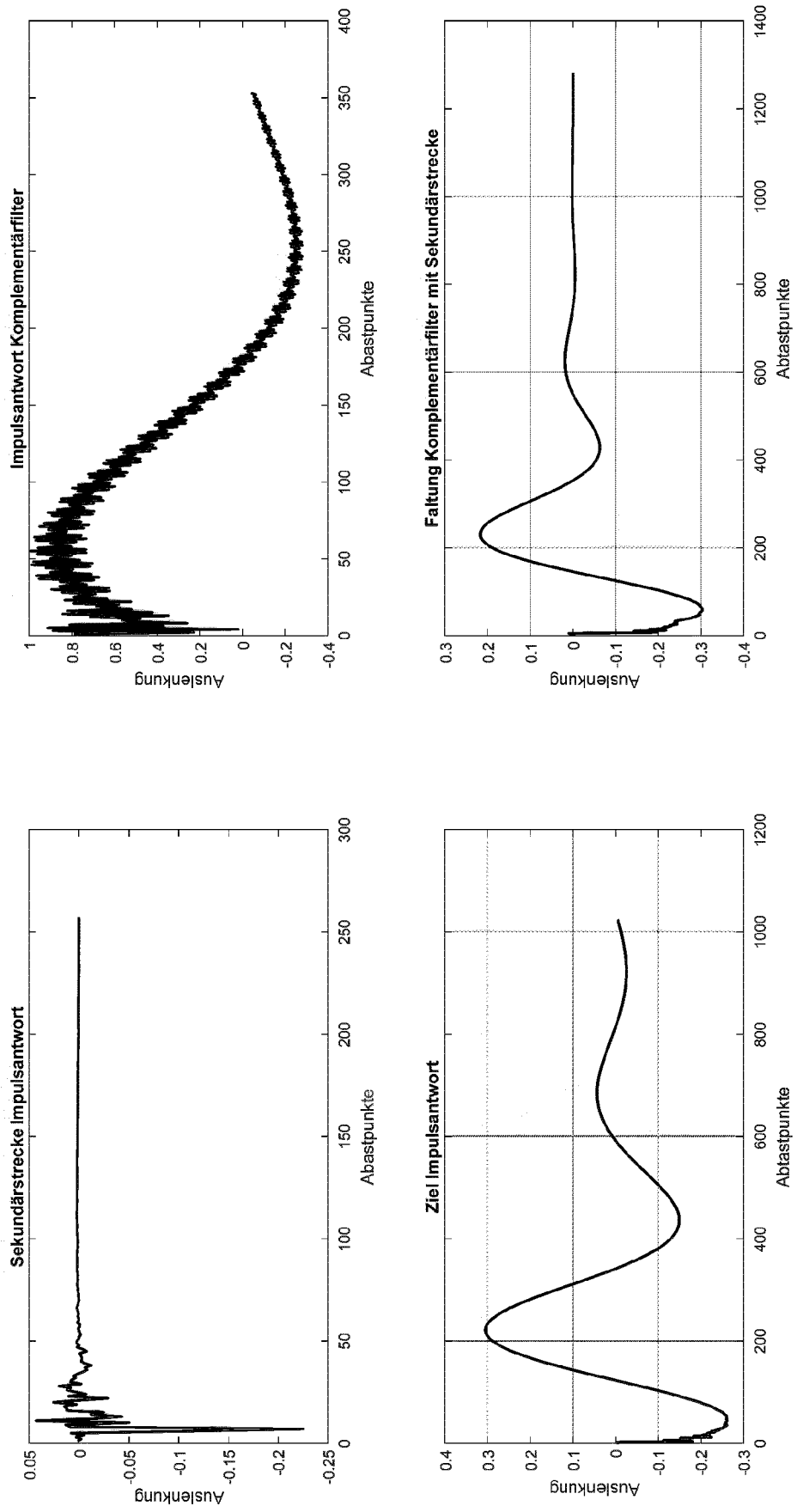


Fig.4





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 20 20 7549

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE | | | |
|---|---|---|---|
| Kategorie | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile | Betrifft Anspruch | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC) |
| X | CN 111 800 694 A (SHENZHEN HORN AUDIO CO LTD) 20. Oktober 2020 (2020-10-20) * das ganze Dokument * | 1-5 | INV. H04R1/10 H04R29/00 G10K11/178 |
| X | US 2011/222696 A1 (BALACHANDRAN NIKHIL [US] ET AL) 15. September 2011 (2011-09-15) * das ganze Dokument * | 1-5 | |
| X | US 2019/080682 A1 (DARLINGTON PAUL [CH] ET AL) 14. März 2019 (2019-03-14) * das ganze Dokument * | 1-5 | |
| | | | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) |
| | | | H04R G10K |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt | | | |
| Recherchenort Den Haag | | Abschlußdatum der Recherche 30. März 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 | |

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 20 20 7549

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.

30-03-2021

| 10 | Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|----|--|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| | CN 111800694 A | 20-10-2020 | KEINE | |
| 15 | US 2011222696 A1 | 15-09-2011 | CN 103026247 A | 03-04-2013 |
| | | | JP 2013523014 A | 13-06-2013 |
| | | | TW 201202676 A | 16-01-2012 |
| | | | US 2011222696 A1 | 15-09-2011 |
| | | | WO 2011115836 A2 | 22-09-2011 |
| 20 | US 2019080682 A1 | 14-03-2019 | CN 108781324 A | 09-11-2018 |
| | | | EP 3430818 A1 | 23-01-2019 |
| | | | US 2019080682 A1 | 14-03-2019 |
| | | | WO 2017158325 A1 | 21-09-2017 |
| 25 | | | | |
| 30 | | | | |
| 35 | | | | |
| 40 | | | | |
| 45 | | | | |
| 50 | | | | |
| 55 | | | | |

EPO FORM P0461

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

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 Patentdokumente

- WO 2010049241 A1 [0001]
- US 9779714 B [0002]