



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 12 425 T2 2004.08.19**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 086 359 B1**

(51) Int Cl.⁷: **G01G 3/18**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 12 425.5**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US99/11047**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 925 674.6**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 99/064827**

(86) PCT-Anmeldetag: **18.05.1999**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **16.12.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **28.03.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **29.10.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **19.08.2004**

(30) Unionspriorität:

97043 12.06.1998 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT

(73) Patentinhaber:

Rupprecht & Patashnick Co. Inc., Albany, N.Y., US

(72) Erfinder:

HASSEL, R., David, Wynantskill, US

(74) Vertreter:

**Luderschmidt, Schüler & Partner, 65189
Wiesbaden**

(54) Bezeichnung: **VORRICHTUNG ZUR MASSEBESTIMMUNG MIT GEGENLÄUFIGEN NORMALISIERTEN TEMPERATURKOEFFIZIENTEN**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Diese Erfindung bezieht sich im Allgemeinen auf Massemessvorrichtungen und insbesondere auf das Verringern von nachteiligen Wirkungen einer Temperaturänderung auf die Leistung einer Massebestimmung durch Massemessvorrichtungen, insbesondere Inertialmassemessgeräte einschließlich Messgeräte für partikulierte Materie.

HINTERGRUND DER TECHNIK

[0002] Eine Messvorrichtung für partikulierte Materie kann ein elastisches Element und einen verbundenen Kollektor für partikulierte Materie benutzen, der ein Filter sein kann. Die Massemessvorrichtung arbeitet durch Messen von Änderungen in der Frequenz basierend auf der Massebeladung. D. h., das elastische Element und der Kollektor werden dazu gebracht, mit einer Resonanzfrequenz zu schwingen, die sich mit der partikulierten Materie ändert, die auf den Sammler geladen wird. Ein beispielhafter Aufbau und Betrieb einer derartigen Massemessvorrichtung werden in den US-Patenten Nr. 3 926 271 und 4 391 338, die an den gleichen Anmelder wie denjenigen dieser Anmeldung übertragen sind, offenbart. Weitere Inertialmassemessvorrichtungen vom Stimmgabeltyp werden in den japanischen Patentveröffentlichungen JP 2-161323 und JP 4-191639 offenbart.

[0003] Die Massemessvorrichtung wird häufig unter geänderten Umgebungstemperaturen benutzt. Um Masse genau zu messen, erfordert eine derartige Vorrichtung im Allgemeinen eine sorgfältige Steuerung der Temperatur des elastischen Elements und des Filters.

[0004] Somit ist es übliche Praxis, die Temperatur des elastischen Elements und des Filters auf einen sehr stationären Wert über der höchsten erwarteten Umgebungstemperatur zu halten. Diese Praxis erfordert jedoch nachteilhafterweise große Energieaufwendungen bei niedrigen Umgebungstemperaturen. Derartige Energieaufwendungen würden beispielsweise bei tragbaren Geräten ungeeignet große Batterien erfordern. Wenn das elastische Element und das Filter auf einer Temperatur gehalten werden, die zu hoch über einer bestimmten vorübergehenden Umgebungstemperatur ist, dann kann außerdem der Charakter der gesammelten Probemasse nachteilig geändert werden.

[0005] Eine bekannte Konfiguration zum Messen von Masse, die den Fehler aufgrund einer Temperaturänderung des elastischen Elements verringert, benutzt eine Technik, um den Temperaturkoeffizienten des Elastizitätsmoduls des elastischen Elements so nahe wie möglich auf Null zu bringen. Insbesondere wird die Zusammensetzung elastischer Glaselemente geändert, um einen Nahe-Null-Temperaturkoeffizienten des Elastizitätsmoduls zu erzeugen. Eine der-

artige Anordnung wird in dem US-Patent Nr. 4 855 260 an Dumbaugh, Jr. et al. (mit dem Titel "Glasses Exhibiting Low Thermal Coefficients of Elasticity", erteilt am 8. August 1989 und zugewiesen an Corning Incorporated) offenbart. Unerwünschterweise benutzt diese Erzeugung von Nahe-Null-Temperaturkoeffizienten des Elastizitätsmoduls Verfahren, die hinsichtlich Arbeit, Material und Zeit aufwändig sind. Ferner kann eine Inertialwaage das elastische Element plus eine Substratoberfläche umfassen, auf der Masse aufgebracht ist. Die frühere Ausgestaltung widmet sich jedoch nicht den Auswirkungen der Substratoberfläche auf den Gesamttemperaturkoeffizienten. Sollte eine Bildung der Substratoberfläche oder ihres Äquivalenten eine bedeutende Komponente zu der Temperaturreaktion der Inertialwaage beitragen, würde es misslingen, die Massemessleistung der Inertialwaage zu optimieren.

[0006] Somit existiert ein Bedarf nach einer Massemessvorrichtung mit einem elastischen Element und einem Massehalter, wobei die Vorrichtung die Genauigkeit der Massebestimmung bei der Anwesenheit einer sich ändernden Temperatur verbessert hat, während die Notwendigkeit für eine aktive Temperaturregung für die Vorrichtung verringert oder eliminiert wird.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0007] Die Erfindung wird mit den Ansprüchen 1, 6 gegeben.

[0008] Mängel des Stands der Technik werden überwunden und zusätzliche Vorteile werden durch die Bereitstellung einer Massebestimmungsvorrichtung bestandteilbildendem Material bereitgestellt, das verarbeitet und/oder selektiert wird, um eine gewünschte Verbesserung der Massebestimmungsgenauigkeit während der Temperaturänderung zu erhalten. Vorzugsweise werden normierte Temperaturkoeffizienten der Frequenz, die beispielsweise einem elastischen Element und einem Massehalter zuzuschreiben sind, im Wesentlichen ausgeglichen. Wie es nachstehend weiter erläutert wird, ist ein Temperaturkoeffizient der Frequenz die Steigung der Frequenz in Abhängigkeit von der Temperaturkurve, die erhalten wird, während die Temperatur verändert und die Schwingungsfrequenz der Gesamtschwingungsmasse der Massebestimmungsvorrichtung beobachtet wird.

[0009] Eine Massebestimmungsvorrichtung umfasst eine Kombination eines mit einem Massehalter verbundenen elastischen Elements. Die Kombination weist einen normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz auf, der im Wesentlichen gleich Null über einem Temperaturbereich des Verwendungszweckes der Massebestimmungsvorrichtung ist, wodurch die Massebestimmungsgenauigkeit der Vorrichtung während der Temperaturänderung in dem Bereich verbessert wird.

[0010] Das elastische Element kann einen ersten

normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz über den Temperaturbereich aufweisen. Ein zweiter normierter Temperaturkoeffizient der Frequenz über den Temperaturbereich ist dem Massehalter zuzuschreiben. Der erste normierte Temperaturkoeffizient und der zweite normierte Temperaturkoeffizient können im Wesentlichen über den Temperaturbereich ausgeglichen werden.

[0011] Das elastische Element kann ein hohles röhrenförmiges Element umfassen. Der Massehalter kann ein Filter umfassen.

[0012] Das elastische Element und der Massehalter können eine Inertialwaage umfassen. Das elastische Element kann aus einer Invar-Legierung und/oder einer Legierung vom Invar-Typ zusammengesetzt sein.

[0013] Eine Massebestimmungsvorrichtung umfasst ein mit einem Massehalter verbundenes elastisches Element. Das elastische Element weist einen ersten normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz über einen Temperaturbereich des Verwendungszwecks für die Massebestimmungsvorrichtung auf. Ein zweiter normierter Temperaturkoeffizient der Frequenz über den Temperaturbereich ist dem Massehalter zuzuschreiben. Der erste normierte Temperaturkoeffizient und der zweite normierte Temperaturkoeffizient werden im Wesentlichen über den Temperaturbereich ausgeglichen, wodurch die Massebestimmungsgenauigkeit der Vorrichtung während der Temperaturänderung in dem Bereich verbessert wird.

[0014] Das elastische Element und der Massehalter können eine Kombination mit einem normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz umfassen, der im Wesentlichen gleich Null über den Temperaturbereich ist.

[0015] Es wird ein Verfahren zum Verbessern der Genauigkeit einer Massebestimmungsvorrichtung in Betracht gezogen, das angepasst ist, um während einer Temperaturänderung in einem Temperaturbereich des Verwendungszwecks der Massebestimmungsvorrichtung zu arbeiten. Die Vorrichtung umfasst eine Kombination eines elastischen Elements mit einem Massehalter. Für eine Anordnung eines Testelements eines elastischen Elements mit dem Massehalter wird ein erster normierter Temperaturkoeffizient der Frequenz über den Temperaturbereich bestimmt. Nur für das Testelement wird ein zweiter normierter Temperaturkoeffizient der Frequenz über den Temperaturbereich bestimmt. Die ersten und zweiten normierten Temperaturkoeffizienten werden benutzt, um einen dritten normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz, der allein dem Massehalter zuzuschreiben ist, über den Temperaturbereich herzuleiten. Dieser dritte normierte Temperaturkoeffizient kann nicht direkt sondern nur als die Differenz zwischen den ersten und zweiten Koeffizienten gemessen werden.

[0016] Das Verhalten der ersten, zweiten und dritten normierten Temperaturkoeffizienten wird über den Temperaturbereich abgebildet.

[0017] Ein Vergleich der zweiten und dritten nor-

mierten Temperaturkoeffizienten ergibt Information, die benutzt werden kann, um eine Wärmebehandlung zu modifizieren und/oder eine Materialzusammensetzung auszuwählen und/oder die Bildung eines Endprodukts eines elastischen Elements auf eine solche Art und Weise zu verändern, dass bei einer Anordnung, die das Endprodukt des elastischen Elements benutzt, der erste normierte Temperaturkoeffizient im Wesentlichen Null ist.

[0018] Es wird ein Verfahren zum Verbessern der Genauigkeit einer Massebestimmungsvorrichtung in Betracht gezogen, die angepasst ist, um während einer Temperaturänderung in einem Temperaturbereich eines Verwendungszwecks der Massebestimmungsvorrichtung zu arbeiten. Die Vorrichtung umfasst eine Kombination eines elastischen Elements mit einem Massehalter. Eine Anordnung eines Prüfobjekt-Massehalters mit dem elastischen Element wird ein erster normierter Temperaturkoeffizient der Frequenz über den Temperaturbereich bestimmt. Nur für das elastische Element wird ein zweiter normierter Temperaturkoeffizient der Frequenz über den Temperaturbereich bestimmt. Die ersten und zweiten normierten Temperaturkoeffizienten werden benutzt, um einen dritten normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz über den Temperaturbereich herzuleiten, der dem Prüfobjekt-Massehalter zuzuschreiben ist.

[0019] Ein Vergleich der zweiten und dritten normierten Temperaturkoeffizienten ergibt Information, die benutzt werden kann, um die Materialauswahl, die Verarbeitung und/oder die Haltergeometrie für die Bildung eines Endprodukt-Massehalters zu modifizieren, so dass bei der Endproduktkombination der erste normierte Temperaturkoeffizient im Wesentlichen Null ist.

[0020] Somit erkennt die vorliegende Erfindung vorteilhafterweise, dass bei einer Massebestimmungsvorrichtung mit einem mit einem Massehalter verbundenen elastischen Element der Massehalter eine Rolle beim Bestimmen der Reaktion der Vorrichtung auf Temperaturänderungen spielt. Ferner werden Teile der Vorrichtung (z. B. das elastische Element und der Massehalter) ausgeführt, um ausgeglichene normierte Temperaturkoeffizienten der Frequenz aufzuweisen, so dass die Vorrichtung weniger Temperaturverursachte Fehler über einen ausgewählten Bereich von Temperaturen aufweist.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0021] Die vorhergehenden und weitere Objekt, Merkmale und Vorteile der Erfindung werden ohne weiteres aus der folgenden ausführlichen Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen in Verbindung mit den begleitenden Zeichnungen verstanden, in denen zeigen:

[0022] **Fig. 1** ein Beispiel einer Massebestimmungsvorrichtung, die die ausgeglichenen normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz der vorliegenden Erfindung aufnimmt und verwendet;

[0023] **Fig. 2** ist eine weggeschnittene Teilschnittansicht, die im Wesentlichen entlang der Linie 2-2 von **Fig. 1** gerichtet ist, die eine beispielhafte Elliptizität darstellt;

[0024] **Fig. 3** eine graphische Darstellung eines Beispiels von ausgeglichenen normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz für Abschnitte der Massebestimmungsvorrichtung von **Fig. 1**; und

[0025] **Fig. 4A** und **4B** veranschaulichen eine Ausführungsform eines Ablaufdiagramms eines Verfahrens zum Bilden der Massebestimmungsvorrichtung von **Fig. 1** in Übereinstimmung mit den Prinzipien der vorliegenden Erfindung.

BESTE BETRIEBSART ZUM AUSFÜHREN DER ERFINDUNG

[0026] In Übereinstimmung mit den Prinzipien der vorliegenden Erfindung wird eine Massebestimmungsvorrichtung bereitgestellt, bei der das Maßschneiden von Eigenschaften eines elastischen Elements und/oder eines Massehalters dazu dient, (einen) durch (eine) Temperaturänderung(en) verursachte(n) Fehler im großen und ganzen zu eliminieren.

[0027] Ein Beispiel einer Massebestimmungsvorrichtung, die die neuartigen Merkmale der vorliegenden Erfindung aufnimmt und verwendet, wird in **Fig. 1** dargestellt und hier ausführlich beschrieben.

[0028] Bei dieser beispielhaften Ausführungsform umfasst eine allgemein mit **100** bezeichnete Massebestimmungsvorrichtung einen Massewandler **101**, der aus einem elastischen Element **102** (ein Ende dessen ist mit einem Anker **104** befestigt) und einem Massehalter **106** zusammengesetzt ist. Der Massehalter ist zum Halten der Probemasse **108** geeignet, wie es hier beschrieben ist.

[0029] Die Massebestimmungsvorrichtung **100** kann beispielsweise eine Inertialwaage umfassen. Wie es in der Technik bekannt ist, dient eine Inertialwaage dazu, Masse anstatt von Gewicht zu messen. Für ein gegebenes Objekt ist die Masse überall gleich; Masse verändert sich nicht. Umgekehrt kann sich das Gewicht abhängig von der Position auf oder weg von der Erde, (einem) anderen Planeten oder Satelliten verändern. D. h., das Gewicht ist der Betrag der Kraft, die etwas aufgrund der Schwerkraft ausübt. Für die Messung von Gewicht, wie beispielsweise mit einer Federwaage, ist Stille erwünscht, um die durch Gravitationskraft verursachte Verschiebung der Feder zu messen. Für die Massebestimmung mit einer Waage vom Schalentyp wird ein Schwenkpunkt eingerichtet und eine bekannte Masse gegen eine unbekannte Masse ausgeglichen. Eine derartige Anordnung erfordert nichtsdestotrotz Schwerkraft und wird durch Auftrieb kompliziert, es sei denn, dass sie in einer Vakuumkammer durchgeführt wird.

[0030] Im Gegensatz dazu erfordert eine Inertialwaage keine Schwerkraft oder irgendeine äußere Kraft. Inertialwaagen sind vollständig in sich ge-

schlossen. Eine Inertialwaage erfordert im Allgemeinen nur ein elastisches Element **102**, einen Anker **104** und einen Massehalter **106** zum Halten einer Probemasse **108**.

[0031] Wie es in **Fig. 1** dargestellt ist, umfasst das elastische Element **102** eine freitragende Konstruktion mit einem ersten freien Ende **110** und einem zweiten eingespannten Ende **112**. Ein Massehalter **106** ist an dem ersten Ende befestigt. Das zweite Ende ist an dem Anker **104** befestigt. Wie es in **Fig. 1** dargestellt ist, ist der Anker seinerseits an einer großen Masse, wie beispielsweise einer Masse, die mit Bezug auf eine Oberfläche der Erde stabil ist, befestigt (z. B. verschraubt). Der Anker ist verankert, um keine Energie zu absorbieren und/oder konsumieren, die bestimmt ist, die Schwingung einer Gesamtschwingungsmasse **110** aufrechtzuerhalten, was hier ausführlich erläutert wird.

[0032] Jede Anzahl von Teilen der Massebestimmungsvorrichtung **110** kann einstückig ausgebildet sein. Beispielsweise kann das elastische Element **102** und der Anker **104** einstückig ausgebildet sein, wobei man ein zweites Ende **112** als an einer großen Masse verankert betrachten könnte, wie es oben erläutert wurde. Bei einem weiteren Beispiel können das elastische Element und der Massehalter **106** einstückig ausgebildet sein.

[0033] Ein Abschnitt/Abschnitte des elastischen Elements **102**, des Massehalters **106** und/oder der Probemasse **108** kann/können eine Gesamtschwingungsmasse **116** bilden. Wenn die Massebestimmungsvorrichtung ein optionales Ziel/optionale Ziele **114** umfasst, das/die mit dem elastischen Element verbunden ist/sind, dann kann die Gesamtschwingungsmasse ferner einen Abschnitt/Abschnitte des/der optionalen Ziels/Ziele umfassen, wie es Fachleuten bekannt ist. Das optionale Ziel wird/Die optionalen Ziele werden nachstehend erläutert.

[0034] Der Massewandler **101** wird, wenn er angeregt wird, wie es hier beschrieben ist, mit einer ersten Resonanzfrequenz vibrieren oder schwingen, d. h. einer Frequenz einer Gesamtbewegung der Massebestimmungsvorrichtung **100**. Die Schwingung oder die Vibration des Massewandlers mit der dazu hinzugefügten Probemasse **108** wird zu einer zweiten Resonanzfrequenz führen, die nur für den Massewandler niedriger als die erste Resonanzfrequenz der Schwingung ist, wie es für Fachleute ersichtlich ist.

[0035] Das folgende Verfahren ermöglicht eine Kalibrierung der Massemessung: Man kann eine bekannte Masse an dem Massehalter **106** lokalisieren und dann eine Schwingungsfrequenz für die Gesamtschwingungsmasse **116** messen. Wenn man ebenfalls die Schwingungsfrequenz ohne die bekannte Masse, d. h. nur die Schwingungsfrequenz des Massewandlers misst, kann man die Kalibrierungskonstante für den Massewandler der Massebestimmungsvorrichtung **100** bestimmen. Danach kann können beispielsweise für ein gegebenes Beispiel einer Probemasse **108** (eine) geeignete mathematische For-

mel(n) angewendet werden, um das gegebene Beispiel der Probemasse mit der Resonanzfrequenz des Massewandlers plus dem gegebenen Beispiel der Probemasse in Beziehung zu bringen, wie es für Fachleute ersichtlich ist.

[0036] Wie es hier beschrieben ist, wird eine Vibration oder Schwingung in die Gesamtschwingungsmasse **116** mit einer natürlichen oder Resonanzfrequenz für den Massewandler plus der Probemasse **108** eingeführt, wobei die Probemasse in Übereinstimmung mit den Prinzipien der vorliegenden Erfindung veränderbar ist. Für jede getrennte Probemasse **108**, die zu messen, bestimmen oder auszuwerten ist, gibt es eine getrennte Resonanzfrequenz für den Massewandler plus die der getrennten Probemasse, wie es für Fachleute ersichtlich ist.

[0037] Das elastische Element **102** kann aus Metall, Glas, Keramik und/oder (einem) anderen Materialien) gebildet werden. Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist das elastische Element mindestens aus einer Invar-Legierung und/oder einer Legierung/Legierungen vom Invar-Typ aufgebaut. Metalle, die niedrige thermische Koeffizienten des Elastizitätsmoduls, eine gute Maßhaltigkeit, eine niedrige thermische Ausdehnung, eine gute Streckgrenze, eine leichte Fertigung und eine steuerbare Wärmebehandlung aufweisen, sind wünschenswerte Kandidaten für das elastische Element.

[0038] Das elastische Element **102** kann viele unterschiedliche Formen und Konstruktionen annehmen. Bei einer Ausführungsform kann das elastische Element **102** einen freitragenden Träger oder ein röhrenförmiges Element umfassen. Wie es in den **Fig. 1** bis **2** dargestellt ist, kann das elastische Element ferner ein hohles, elliptisches röhrenförmiges Element umfassen. Beispielsweise kann die Elliptizität des elastischen Elements durch Zusammendrücken in einer Richtung eines anfangs zylindrischen röhrenförmigen Elements erreicht werden. Die Elliptizität des in **Fig. 2** dargestellten elastischen Elements dient dazu, das elastische Element im Wesentlichen in einer Richtung, nämlich im Wesentlichen entlang der kleinen Achse **200** schwingend zu halten, wodurch die Bestimmung der Schwingungsfrequenz erleichtert wird, wie es hier erläutert ist.

[0039] Mit Bezug auf **Fig. 2** ist die Elliptizität des elastischen Elements **102** vorzugsweise angeordnet, so dass das elastische Element im Wesentlichen senkrecht mit Bezug auf die große Achse **202** desselben, d. h. im Allgemeinen entlang der kleinen Achse **200** schwingt. Insbesondere ist das elastische Element vorzugsweise mit Bezug auf einen Treiber **126** angeordnet (**Fig. 1**), so dass die große Achse im Allgemeinen senkrecht mit Bezug darauf angeordnet ist. Der Treiber und weitere bevorzugte Komponenten des Rückkopplungssystems **120** (**Fig. 1**) werden nachstehend weiter beschrieben.

[0040] Bei einer weiteren Ausführungsform kann das elastische Element **102** einem konischen Element gleichen, wie es beispielsweise in dem obigen

US-Patent Nr. 4 391 338 an Patashnick et al. (mit dem Titel "Microbalance and Method for Measuring the Mass of Matter Suspended Within a Fluid Medium", erteilt am 5. Juli 1983) und dem US-Patent Nr. 3 926 271 an Patashnick (mit dem Titel "Microbalance" und erteilt am 16. Dezember 1975) offenbart ist. Alternativ kann das elastische Element einer herkömmlichen Stimmgabel gleichen, wie es beispielsweise in den japanischen Patentveröffentlichungen JP 2-161323 und/oder JP 4-191639 gezeigt ist.

[0041] Mit Bezug auf **Fig. 1** kann ein Massehalter **106** viele unterschiedliche Formen, wie beispielsweise ein Filter, ein Prallblech oder einen Behälter annehmen, und kann an dem freien Ende **110** des elastischen Elements **102** in jeder geeigneten Art und Weise befestigt sein. Für veranschaulichende Zwecke stellt **Fig. 1** den Massehalter **106** als ein Filter dar, das ein Filtergehäuse **150** und ein Filtermedium **152** umfasst. Vorzugsweise ermöglicht das Filtergehäuse die Befestigung des Massehalters an dem ersten Ende **110** des elastischen Elements **102**. Außerdem trägt das Filtergehäuse vorzugsweise das Filtermedium. Außerdem kann das Filtergehäuse dazu dienen, das Filtermedium abzudichten und/oder einzuschließen. Das Filtergehäuse kann aus Kunststoff, Aluminium und/oder (einem) anderen Materialien) gebildet sein. Das Filtermedium kann beispielsweise ein Glasgewebe umfassen, das mit einem von E. I. Du Pont De Nemours Company hergestellten und unter dem Handelsnamen TEFLON® veräußerte Material aus Polytetrafluorethylen (PTFE) beschichtet wird. Das Filter kann eine beliebige Anzahl von Elementen umfassen.

[0042] Bei einem Aspekt der vorliegenden Erfindung kann ein Teil/können Teile der Massebestimmungsvorrichtung **100** jede gewünschte Orientierung oder überhaupt keine eingestellte Orientierung aufweisen, wie es für Anwendungen im Weltraum angemessen sein kann. Außerdem kann jede gewünschte Konfiguration verwendet werden, um die Probemasse **108** in den Massehalter **106** einzuführen. Beispielsweise kann ein in einem optionalen Durchgangsweg **118** des elastischen Elements **102** erzeugter verringerter Druck beispielsweise Luft, das partikulierte Material enthält, zu einem als der Massehalter dienendem Filter ziehen, das. Ein derartiger Durchgangsweg **118** oder eine Strömung im Allgemeinen kann jede Konfiguration oder Richtung aufweisen. Bei einem anderen Beispiel kann die Probemasse **108** hervorragen oder zu einer Prellplatte bewegt werden, die als der Massehalter dient. Bei einem noch weiteren Beispiel kann der Massehalter eine manuelle Platzierung der Probemasse **108** darauf ermöglichen.

[0043] Mit Bezug auf **Fig. 1** regt bei einer Ausführungsform das Rückkopplungssystem **120** die Schwingung oder Vibration der Gesamtschwingungsmasse **116** an. Ferner verstärkt das Rückkopplungssystem die Gesamtbewegung, d. h. die Resonanzfrequenz der Gesamtschwingungsmasse **116**

der Massebestimmungsvorrichtung **100**. Das Rückkopplungssystem kann einen Bewegungssensor **122** umfassen, der mit einem Verstärker **124** gekoppelt ist, der seinerseits mit dem Treiber **126** und einem Frequenzzähler **128** gekoppelt ist, wie es hier erläutert ist.

[0044] Ein optionales Ziel kann/Optionale Ziele **114** können (**Fig. 1**) ein auf dem elastischen Element **102** lokalisiertes Objekt zur Wechselwirkung mit dem Treiber **126** und/oder dem Bewegungssensor **122** aufweisen. Bei einer Ausführungsform kann ein Abschnitt/können Abschnitte des Ziels/der Ziele einstückig mit dem elastischen Element ausgebildet sein, so dass der Treiber und/oder der Sensor direkt mit dem elastischen Element selber wechselwirken.

[0045] Beispielsweise kann das Ziel/können die Ziele **114** eine Metallplatte (z. B. aus Aluminium oder rostfreiem Stahl) umfassen. Der Treiber dient dazu, eine Trägheitskraft vorzusehen, die eine verschiedene Art/verschiedene Arten einer Eingabe/von Eingaben oder einer Anregung/Anregungen, beispielsweise magnetisch und/oder elektrostatisch, umfassen kann können. Der Treiber regt vorzugsweise das elastische Element symmetrisch, d. h. entlang einer zentralen Achse desselben an. Der Bewegungssensor **122** kann beispielsweise eine Spule/Spulen und/oder (eine) fotoelektrische Zelle(n) umfassen. Der Bewegungssensor kann jeden geeigneten Abschnitt der Gesamtschwingungsmasse **116** abtasten, da alle Abschnitte der Gesamtschwingungsmasse mit deren Resonanzfrequenz schwingen.

[0046] Bei einem Beispiel misst der Bewegungssensor **122** eine Schwingungsfrequenz des Ziels/der Ziele **114** und überträgt ein repräsentatives Signal/repräsentative Signale an den Verstärker **124**. Der Bewegungssensor kann, wie es angemessen ist, jede gewählte Eigenschaft (z. B. Verschiebung und/oder Geschwindigkeit) der Gesamtschwingungsmasse **116** beobachten. Der Verstärker empfängt diese Information und erzeugt ein verstärktes Signal, wie es für Fachleute ersichtlich ist.

[0047] Sobald die Masse **116** zu schwingen oder zu vibrieren beginnt, wird die Masse dafür eine Eigenfrequenz, wenn auch anfangs bei einer kleinen Amplitude, annehmen.

[0048] Der Bewegungssensor **122** erfasst diese Anfangsschwingung und die entsprechende Eigenfrequenz und überträgt dafür ein repräsentatives Signal/repräsentative Signale an den Verstärker **124**, der das Signal/die Signale mit ausreichender Energie für den Treiber **126** auffüllt, um die Schwingungs- oder Vibrationsamplitude der Gesamtschwingungsmasse **116** zu erhöhen, wie es für Fachleute ersichtlich ist. Bei einem Aspekt dient der Verstärker während der Schwingung oder Vibration der Masse dazu, Energieverluste in der Amplitude aufgrund von beispielsweise Strömungswiderstand (z. B. Luftwiderstand) oder interne Reibung wettzumachen.

[0049] Weiterhin mit Bezug auf **Fig. 1** dient ein mit dem Verstärker **124** gekoppelte Frequenzzähler **128**

als eine Schnittstelle für die Massebestimmungsvorrichtung **100**. Beispielsweise kann der Frequenzzähler als ein Beobachtungspunkt dienen, was es einem Benutzer ermöglicht, die Aktivität der Gesamtschwingungsmasse **116** zu überwachen oder auszuwerten. [0050] Die Probemasse umfasst ein Objekt (z. B. Staub oder Partikel) deren Masse zu bestimmen ist. Die Taramasse umfasst die Gesamtschwingungsmasse der Massebestimmungsvorrichtung, die vorhanden ist, bevor die Probemasse gesammelt wird. D. h., die Taramasse umfasst die gesamte Masse der Massebestimmungsvorrichtung **100**, die schwingt. Jede Masse der Massebestimmungsvorrichtung, die nicht in Bewegung ist, trägt nicht zu der Resonanz- oder Schwingungsfrequenz bei und ist daher kein Teil der Taramasse. Zu einem bestimmten Zeitpunkt und bei einer bestimmten Ausführungsform der Massebestimmungsvorrichtung kann die Taramasse einen Massehalter **106**, einen Abschnitt eines elastischen Elements **102**, ein etwaig innerhalb eines schwingenden Abschnitts (z. B. innerhalb eines schwingenden Abschnitts eines röhrenförmigen Elements **102** vorhandene Luft) der Massebestimmungsvorrichtung vorhandenes Fluid, ein optionales Ziel/optionale Ziele **114** sowie auch jedes Verbindungsmaterial (z. B. Klebstoff) dafür umfassen, wie es für Fachleute ersichtlich ist. Während des kontinuierlichen Betriebs kann die Taramasse ferner ein Beispiel/Beispiele einer zuvor gesammelten und noch vorhanden (z. B. in einem als der Massehalter dienenden Filter) Probemasse umfassen, wenn eine neue Probemasse **108** auszuwerten ist, wie es für Fachleute ersichtlich ist. [0051] Bei einer bevorzugten Verwendung der Massebestimmungsvorrichtung **100** würde man eine erste Resonanzfrequenz der Gesamtschwingungsmasse **116** messen, bevor eine vorgegebene Probemasse **108** dazu hinzugefügt wird. Dann würde man eine zweite Resonanzfrequenz dieser vorexistierenden Taramasse plus der vorgegebenen Probemasse messen. Das Anwenden einer geeigneten mathematischen Formel/geeigneter mathematischer Formeln auf diese ersten und zweiten Frequenzen ermöglicht die Massebestimmung für die vorgegebene Probemasse. Derartige Berechnungen können manuell oder automatisch (z. B. durch einen digitalen Computer) durchgeführt und auf eine beliebige Art und Weise angezeigt werden (z. B. analoge oder digitale Ablesungen oder graphische Darstellungen). Bei einer bevorzugten Ausführungsform erhält man eine graphische Darstellung der Frequenzänderung in Abhängigkeit von der Zeit. Außerdem kann man durch eine Anwendung/Anwendungen einer mathematischen Formel/von mathematischen Formeln auf die Frequenzänderung eine graphische Darstellung der Gesamtmasse **130** zu jedem beliebigen Zeitpunkt sowie auch eine graphische Darstellung des Anstiegs in der Masse in Abhängigkeit von der Zeit, die als "Massenrate" bezeichnet wird, erhalten. Außerdem kann man die Rate, mit der die Masse ansteigt, durch die Strömungsrate eines Fluids (z. B. Luft oder ein ande-

res Gas) teilen, das (z. B. durch ein als Massehalter **106** dienendes Filter) strömt, um vorteilhafterweise eine graphische Darstellung der Konzentration der Probemasse (z. B. Staub oder Partikel) **108** in dem Fluid zu erhalten.

[0052] Jedes Teile/Alle Teile der Massebestimmungsvorrichtung **100** können aus jedem geeigneten Material gebildet werden. Vorzugsweise wird das Material/werden die Materialien ausgewählt und/oder gebildet, um eine Anzahl von gewünschten Eigenschaften mit Bezug auf einen Faktor/Faktoren, wie beispielsweise der beabsichtigten Temperaturregion(en), Verwendung(en), Umgebung(en), Anwendungen) und/oder Bedingungen) aufzuweisen. Die vorliegende Erfindung kann vorteilhafterweise für welche Spezifikation auch immer ausgewählt sind, benutzt werden.

[0053] Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird ein Abschnitt/werden Abschnitte der Massebestimmungsvorrichtung **100** im Hinblick auf die folgenden Spezifikationen ausgestaltet oder optimiert. Die erwarteten Betriebs- und Umgebungstemperaturen sind vorzugsweise in dem Bereich von -100° bis 700°C und am bevorzugtesten in dem Bereich von 20° bis 60°C . Die Länge einer Kombination eines mit einem Massehalter **106** verbundenen elastischen Elements **102** ist vorzugsweise im Bereich von 2 bis 50 cm und am bevorzugtesten im Bereich von 5 bis 15 cm.

[0054] Mit Bezug auf beispielhafte Ausführungsformen des Massehalters **106**, die ein Filter in der Form einer Platte umfassen, kann der Hauptdurchmesser der Platte ungefähr 1,5 cm betragen.

[0055] **Fig. 3** veranschaulicht eine graphische Darstellung eines normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz als die Ordinate in Abhängigkeit von der Temperatur als die Abszisse. Wie es hier beschrieben ist, ist der Temperaturkoeffizient der Frequenz die Steigung; der Frequenz in Abhängigkeit von der Temperaturkurve in dem Temperaturbereich von Interesse. Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird dieser Steigungswert durch Teilen durch eine ausgewählte Konstante in der Form einer Durchschnittsfrequenz der Gesamtschwingungsmasse **116** über den Temperaturbereich von Interesse normiert. Die Subjekttemperatur ist die Temperatur der Gesamtschwingungsmasse und ihrer Umgebungen. Außerdem ist die Frequenz die Schwingungsfrequenz der Gesamtschwingungsmasse.

[0056] Wie bekannt ist, ist ein Koeffizient eine Zahl, die sich aus Sammeln von Daten und Anwenden einer mathematischen Formel/von mathematischen Formeln auf die Daten ergibt. Der Temperaturkoeffizient der Frequenz kann in Einheiten von Hertz pro Grad Celsius ausgedrückt werden. Außerdem wird der Temperaturkoeffizient der Frequenz vorzugsweise auf die Frequenz normiert, wobei die Normierung einfach eine Skalierung von Werten darstellt. Wie es für Fachleute ersichtlich ist, ermöglicht die Normierung des Temperaturkoeffizienten der Frequenz ei-

nen Vergleich unterschiedlicher elastischer Elemente **102** von unterschiedlichen Gesamtschwingungsmassen **116** bei unterschiedlichen Schwingungsfrequenzen. Einheiten für den normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz können auf den Kehrwert von Grad Celsius reduziert werden. Zwecks Klarheit wird der normierte Temperaturkoeffizient der Frequenz vorzugsweise in Einheiten von Hertz pro Hertz pro Grad Celsius ausgedrückt.

[0057] Zwecks Erläuterung wird nun eine einführende Beschreibung der beispielhaften allgemeinen Merkmale von **Fig. 3** bereitgestellt. Insbesondere kann eine gegebene Ordinate des normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz für eine gegebene Abszisse der Temperatur durch Nehmen der Steigung an dieser vorgegebenen Abszissentemperatur auf einer Kurve (nicht gezeigt, jedoch im Stande, eine beliebige Anzahl von Verhalten, Eigenschaften und/oder Charakteristika in Übereinstimmung mit den Prinzipien der vorliegenden Erfindung aufzuweisen) der Frequenz in Abhängigkeit von der Temperatur erhalten werden, wie es für Fachleute ersichtlich ist. Die Änderung in der Steigung der Kurve der Frequenz in Abhängigkeit von der Temperatur kann als eine im Allgemeinen gerade Linie aufgetragen werden, wie es in **Fig. 3** dargestellt ist. Insbesondere kann eine Ableitung einer Gleichung für die Kurve der Frequenz in Abhängigkeit von der Temperatur theoretisch eine im Allgemeinen gerade Linie ergeben, wie es in **Fig. 3** dargestellt ist.

[0058] Die Kurven in der graphischen Darstellung von **Fig. 3** werden hier zwecks Darstellung als im Allgemeinen gerade beschrieben. Nichtsdestotrotz stellen diese Kurven dar, was immer durch Auftragen der erhaltenen Daten erhalten wird, wie es hier beschrieben ist. D. h., dass die Auftragungen der graphischen Darstellung von **Fig. 3** Kurven umfassen können, die beispielsweise von der Art des beteiligten Materials/den Arten der beteiligten Materialien abhängen können. In Übereinstimmung mit den Prinzipien der vorliegenden Erfindung werden Daten zur Verwendung beim Ausgleichen von normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz unabhängig von irgendeiner Form irgendeiner Kurve oder Linie gesammelt, der die Daten zugeordnet sein können. Beispielsweise kann man von den Daten als eine kontinuierliche jedoch undefinierte Funktion Gebrauch machen, um beispielsweise die Verarbeitung und/oder Zusammensetzung eines Materials/von Materialien zu beeinflussen, um ein gewünschtes Ergebnis des normierten Temperaturkoeffizienten der Gesamtschwingungsmasse **116** zu erhalten, die innerhalb einer gewählten Toleranz von Null über einen Temperaturbereich von Interesse gesteuert wird.

[0059] Für beispielhafte Anwendungen der Massebestimmungsvorrichtung **100** werden nun bevorzugte Toleranzen bezüglich einem Null-Wert für den gesamten normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz angegeben. Für die Auswertung von Umgebungsluft kann die Toleranz ungefähr $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ Hertz

pro Hertz pro Grad Celsius betragen. Für die Auswertung von Gesundheitsrisiken in einer Mine kann die Toleranz ungefähr $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ Hertz pro Hertz pro Grad Celsius betragen. Für die Auswertung einer Verunreinigung von einem Schornstein kann die Toleranz ungefähr $\pm 5 \cdot 10^{-5}$ Hertz pro Hertz pro Grad Celsius betragen. In Übereinstimmung mit den Prinzipien der vorliegenden Erfindung wird die Toleranz für den normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz basierend auf (eine) beabsichtigte Anwendungen) eines Beispiels einer Massebestimmungsvorrichtung **100** ausgewählt. Mit Bezug auf die Ausgestaltung und den Betrieb einer gegebenen Massebestimmungsvorrichtung **100** wird erwartet, dass ein anderer Faktor/andere Faktoren als der normierte Temperaturkoeffizient der Frequenz (einen) Fehler bei der Massebestimmung der Größe verursacht/verursachen, der größer als die Toleranz ist, die für den normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz ausgewählt wurde.

[0060] Mit Bezug auf **Fig. 1** kann das elastische Element **102**, der Anker **104**, der Massehalter **106**, jedes optionale/alle optionalen Ziele) **114**, der Bewegungssensor **122** und der Treiber **126** in einer temperaturgesteuerten Umgebung, d. h. für die die Temperatur verändert werden kann, eingeschlossen werden. Außerdem kann man für verschiedene stationäre Temperaturpunkte die Frequenz aufzeichnen, wie sie von dem Frequenzzähler **128** geliefert werden. Das Auftragen dieser Frequenzen beispielsweise in Intervallen von 1°C über einen gewünschten Bereich ergibt die obige Kurve der Frequenz in Abhängigkeit von der Temperatur über den gewünschten Bereich. D. h., dass diese Frequenzen als diskrete Punkte aufgetragen werden können, die dann verbunden werden, um eine kontinuierliche Kurve zu bilden. Die Steigung wird lokal auf dieser Kurve bestimmt, um die Temperaturkoeffizienten der Frequenz zu erhalten, die dann gemäß der graphischen Darstellung von **Fig. 1** normiert werden.

[0061] Bei einem Aspekt bildet die vorliegende Erfindung vorteilhafterweise das Verhalten des normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz für die Gesamtschwingungsmasse **116** und/oder einen ausgewählten Abschnitte/ausgewählte Abschnitte derselben über einen gewünschten Temperaturbereich oder eine bestimmte Temperatur ab.

[0062] Ein Beispiel, wie die Gesamtschwingungsmasse **116** in der Form einer Kombination eines elastischen Elements **102** und eines Massehalters **106** geformt wird, um einen normierten Gesamttemperaturkoeffizienten der Frequenz innerhalb einer gewählten Toleranz von Null für einen bestimmten Temperaturbetriebsbereich für die Massebestimmungsvorrichtung **100** hervorzubringen, wird nachstehend mit Bezug auf **Fig. 4A** bis **4B** beschrieben. Vorteilhafterweise ermöglichen die folgenden Schritte die Auswertung und Optimierung von normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz für eine Anzahl von Komponenten des Massewandlers.

[0063] Bei Schritten **400** und **402** wird ein elastisches Element **102** ausgestaltet und eine Wärmebehandlung dafür auf der Grundlage der Festigkeit, Stabilität und Ermüdungsbeständigkeit spezifiziert. Außerdem beabsichtigt die Spezifikation im Allgemeinen die Menge der Tarmasse zu minimieren. Bemerkenswerterweise müssen die Schritte **400** und **402** keinen bestimmten normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz für das elastische Element spezifizieren.

[0064] Wie es für Fachleute ersichtlich ist, kann die Wärmebehandlung jede Steuerung der Temperatur, Zeit, Rate und/oder Atmosphäre (z. B. Luft, Wasserstoff, Cracked-Gas, Kohlenstoffmonoxid, Vakuum und/oder Argon) umfassen. Beispielhafte Wärmebehandlungen umfassen Glühen, Tempern, Härten und/oder Abschrecken.

[0065] Bei Schritt **404** ist der Massehalter **106** durch Berücksichtigung Kriterien, wie beispielsweise der Gesamtkapazität, des Druckabfalls, der Strömungsfähigkeit und der Festigkeit ausgestaltet:

[0066] Bei Schritt **406** werden verschiedene identische oder nahezu identische Beispiele des elastischen Elements **102** gemäß der bei Schritt **400** spezifizierten Ausgestaltungsgeometrie angefertigt. Insbesondere werden diese Beispiele des elastischen Elements gleichmäßig angefertigt, um im Wesentlichen innerhalb einer bestimmten Herstellungstoleranz gleich zu sein. Bei Schritt **408** wird eines der Beispiele des bei Schritt **406** angefertigten elastischen Elements gemäß der vorher bei Schritt **402** spezifizierten Wärmebehandlung wärmebehandelt. D. h., dass das bei Schritt **408** wärmebehandelte elastische Element vorzugsweise als ein Prüfobjekt dient, wie es hier beschrieben ist.

[0067] Bei Anfrage **410** wird eine Anordnung einschließlich des Massehalters **106** und des ersten Beispiels des elastischen Elements **102** ausgewertet, um zu bestimmen, ob der normierte Temperaturkoeffizient der Frequenz zufrieden stellend ist. Beispielsweise könnte man mit Bezug auf Kurve A von **Fig. 3** und unter Berücksichtigung einer Temperatur für den Verwendungszweck der Massebestimmungsvorrichtung **100** von ungefähr 50°C (z. B. $\pm 0,1^\circ\text{C}$) Messungen der Frequenz bei beispielsweise 46°C , 48°C , 50°C und 52°C der Schwingungsanordnung innerhalb der Massebestimmungsvorrichtung **100** nehmen. Wie es oben ausführlich erläutert ist, können diese Messungen verwendet werden, um die Temperaturkoeffizienten der Frequenz zwischen diesen Temperaturen zu bestimmen. Bei einem Beispiel ist der Temperaturkoeffizient der Frequenz relativ klein, so dass dessen Bestimmungen bei relativ großen Intervallen (z. B. 2°C) dazu dienen, eine Erfassung einer Änderung in dem Temperaturkoeffizient der Frequenz zu ermöglichen.

[0068] Bei einem Beispiel kann die Information, die bei dieser beispielhaften Iteration für die Temperatur eines Verwendungszwecks von ungefähr 50°C (z. B. $\pm 0,1^\circ\text{C}$) erhalten wird, vorteilhafterweise für eine un-

terschiedliche Temperatur eines Verwendungszwecks, wie beispielsweise ungefähr 52°C (z. B. $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$), benutzt werden, da die normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz in der Region von Interesse bereits bestimmt wurden. Bei einem weiteren Beispiel kann ein Verfahren, wie es beispielsweise in den **Fig. 4A bis 4B** dargestellt ist, für jede Temperatur eines Verwendungszweckes und/oder für jede gewünschte Toleranz oder Genauigkeitsgrad wiederholt werden.

[0069] Fortfahrend mit der Beschreibung der Anfrage **401** können die Temperaturkoeffizienten der Frequenz für die Bestimmung und/oder Auswertung der normierten Temperaturkoeffizienten benutzt werden, wie es oben beschrieben ist. Wenn der normierte Temperaturkoeffizient der Frequenz für die ausgewertete Anordnung innerhalb einer gewählten Toleranz von Null für den Objekt-Temperaturbetriebsbereich ist, dann verlässt das vom Erfolg gekennzeichnete Verfahren die Anfrage **410** für die Beendigung bei Schritt **412**. Wenn der normierte Temperaturkoeffizient der Frequenz für die Anordnung unzufriedensstellend ist, dann rückt das Verfahren von Anfrage **410** zu Schritt **414** vor (**Fig. 4B**).

[0070] Bei Schritt **414** wird der normierte Temperaturkoeffizient der Frequenz für die Anordnung ohne den Massehalter **106**, d. h. die Aufmerksamkeit ist auf das elastische Element **102** gerichtet, über einen Temperaturbereich bestimmt (Kurve B von **Fig. 3**). Beispielsweise kann der Massehalter entfernt werden, während ein verbleibender Teil der Massebestimmungsvorrichtung **100** geprüft wird.

[0071] Bei Schritt **416** werden der normierte Temperaturkoeffizient der Frequenz von Anfrage **410** (d. h. bezüglich einer Anordnung des elastischen Elements **102** mit dem Massehalter **106**) und der normierte Temperaturkoeffizient der Frequenz von Schritt **414** (d. h. die Aufmerksamkeit ist auf das elastische Element gerichtet) benutzt, um den theoretischen normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz graphisch darzustellen, der dem Massehalter zuzuschreiben ist (Kurve C von **Fig. 3**). Insbesondere kann bei Schritt **416** der normierte Temperaturkoeffizient der Frequenz für das elastische Element (bei Schritt **414** bestimmt) von dem normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz für die Anordnung des elastischen Elements mit dem Massehalter (für Anfrage **410** erhalten) subtrahiert werden, um den normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz zu theoretisieren, der dem Massehalter zuzuschreiben ist, wie es durch die Kurve C in **Fig. 3** dargestellt ist. Somit widmet sich Schritt **416** vorteilhafterweise der Herausforderung, dass ein normierter Temperaturkoeffizient der Frequenz, der dem Massehalter in dem Zusammenhang einer vorgegebenen Schwingungsanordnung zuschreibbar ist, die ebenfalls einen Abschnitt eines elastischen Elements **102** umfasst, nicht direkt unabhängig von dem elastischen Element gemessen werden kann.

[0072] Bei Schritt **418** wird das bei Schritt **416** ge-

wonnene Wissen benutzt, um die Wärmebehandlungsparameter für ein bei Schritt **406** gefertigtes vorgegebenes elastisches Element **102** zu modifizieren. Beispielsweise kann die Spitzentemperatur und/oder die bei der Spitzentemperatur verbrauchte Menge an Zeit für die Wärmebehandlung für das elastische Element modifiziert werden. Ein Erhöhen der Temperatur der Wärmebehandlung für das elastische Element kann beispielsweise den Betrag des normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz für das elastische Element erhöhen. Ein Verringern der Temperatur der Wärmebehandlung für das elastische Element kann ferner den Betrag des normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz für das elastische Element verringern. Insbesondere bezweckt Schritt **418**, den normierten Koeffizienten der Frequenz für das elastische Element und den normierten Koeffizienten der Frequenz für den Massehalter **106** über einen Temperaturbereich in Übereinstimmung mit den Prinzipien der vorliegenden Erfindung im Wesentlichen auszugleichen.

[0073] Für veranschaulichende Zwecke wird nun ein Beispiel präsentiert. Beispielsweise kann die Temperatur von Interesse 50°C sein. Der normierte Temperaturkoeffizient der Frequenz, der dem Massehalter **106** zuzuschreiben ist, der bei Schritt **416** theoretisiert wurde, kann $-1,7 \cdot 10^{-5}$ Hertz pro Hertz pro Grad Celsius bei 50°C betragen. Außerdem kann der normierte Temperaturkoeffizient der Frequenz, dessen Aufmerksamkeit auf das elastische Element **102** gerichtet ist und bei Schritt **414** erhalten wurde, $2 \cdot 10^{-5}$ Hertz pro Hertz pro Grad Celsius bei 50°C betragen. Dann modifiziert in Übereinstimmung mit den Prinzipien der vorliegenden Erfindung Schritt **418** vorzugsweise die Wärmebehandlung, um den normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz des elastischen Elements um $0,3 \cdot 10^{-6}$ Hertz pro Hertz pro Grad Celsius bei 50°C auf einen optimierten Wert von $1,7 \cdot 10^{-5}$ Hertz pro Hertz pro Grad Celsius bei 50°C zu verringern, wodurch der dem Massehalter zuschreibbare normierte Temperaturkoeffizient der Frequenz bei der Temperatur von Interesse ausgeglichen wird.

[0074] Das folgende Szenario und die folgende Erläuterung sind für veranschaulichende Zwecke vorgesehen. Es sei eine Anordnung, z. B. ein Massewandler, betrachtet, der aus nur einem elastischen Element **102** und einem Massehalter **106** aufgebaut ist. Sobald der Massehalter aufgebaut ist, ändert sich der normierte Temperaturkoeffizient der Frequenz für diesen Massehalter in der Ausgestaltung mit der Anordnung nicht, die das elastische Element umfasst, solange wie die Geometrie des elastischen Elements fest vorgegeben ist. Somit kann man den Aufbau von und/oder das/die Verarbeitungsverfahren für das mit diesem Massehalter in der Anordnung zu kombinierende elastische Element modifizieren, um den normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz für die Anordnung durch Verändern des normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz zu optimieren, der das elastische Element betrifft, während der dem

Massehalter zuzuschreibende normierte Temperaturkoeffizient der Frequenz als konstant betrachtet wird. D. h., man kann unterschiedliche Gestaltungen des elastischen Elements iterieren, um hin zu einem gewünschten Werts des normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz hinsichtlich des elastischen Elements zu optimieren, ohne ebenfalls jedes ausgestaltete elastische Element in Kombination mit dem Massehalter iterativ zusammenzubauen, da sich der gewünschte Wert des normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz hinsichtlich des elastischen Elements in diesem Zusammenhang nicht ändert. Ein derartiges Verfahren wird bei Schritt **418** dargestellt.

[0075] Wenn bei der Anfrage **420** die bei Schritt **418** spezifizierte Wärmebehandlung Parameter erfüllt, dann wärmebehandelt der Schritt **422** ein weiteres (z. B. ein zweites, ein drittes, etc.) Beispiel der elastischen Elemente, die bei Schritt **406** angefertigt wurden. D. h., dass das bei Schritt **422** wärmebehandelte elastische Element vorzugsweise als ein Prüfobjekt dient, wie es hier erläutert ist. Von dem Schritt **422** wird die Anfrage **410** (Fig. 4A) durchgeführt, die bereits oben beschrieben wurde.

[0076] Vorteilhafterweise kann bei einer bevorzugten Ausführungsform die Wärmebehandlung des elastischen Elements **102** einen ziemlich breiten Bereich eines annehmbaren Verhaltens für die Massebestimmungsvorrichtung **100** bereitstellen. Die Wärmebehandlung des elastischen Elements kann ebenfalls relativ wirksam, einfach und kostengünstig erreicht werden.

[0077] Bei der Anfrage **420** gibt es die Option, wenn die Wärmebehandlungsparameter für das elastische Element **102** an ihre Grenzen gezwungen wurden, d. h. wenn die Parameter nicht beliebig weiter geändert werden können, als es notwendig sein würde, um einen gewünschten normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz innerhalb einer gewählten Toleranz für die Anordnung zu erreichen, den/die Parameter für den Massehalter **106** durch Vorrücken zu Schritt **424** zu ändern. Beispielsweise kann Schritt **424** ein Ändern der Geometrie und/oder des Materials für den Massehalter zur Folge haben, um den gewünschten normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz der Anordnung zu erhalten.

[0078] D. h., dass der Schritt **424** und der nachfolgende Schritt **404** ein Verfahren ausführen können, das mit dem oben mit Bezug auf Schritt **418** beschriebene Verfahren vergleichbar ist, indem die Geometrie und/oder das Material eines Massehalters **106** ohne Ändern eines elastischen Elements **102** geändert wird, wie es für Fachleute ersichtlich ist. D. h., dass der bei Schritten **424** und **404** verarbeitete Massehalter vorzugsweise als ein Prüfobjekt dient, wie es hier beschrieben ist. Beispielsweise kann Schritt **424** benutzt werden, um einen Temperaturbereich zu meistern, bei dem passende oder wünschenswerte Wärmebehandlungsoptionen für das elastische Element **102** aufgebraucht wurden.

[0079] Außerdem kann ein als ein Massehalter **106**

dienendes Filter für einen bestimmten Zweck auf eine Weise ausgestaltet sein, die den Bereich der verfügbaren Einstellungen der Ausgestaltung des Massehalters begrenzt. Beispielsweise kann ein als der Massehalter **106** dienendes Filter mit einem relativen großen Durchmesser für ein röhrenförmiges Element darin ausgebildet sein, um einen relativ niedrigen Druckabfall für eine tragbare Massebestimmungsvorrichtung **100** bereitzustellen, wodurch Energieverwendungsforderungen, wie beispielsweise in der Form von Batterieverbrauch, verringert werden. In diesem Fall kann das elastische Element **102** vorteilhafterweise geändert werden, wie es oben für Schritt **418** beschrieben ist.

[0080] Bei einer bevorzugten Ausführungsform beinhalten Verarbeitungsschritte, wie beispielsweise die Schritte **418** und **424**, ein Ändern einer Anzahl von Abmessungen und/oder einer Anzahl von bestandteilbildenden Materialien einer/von betreffenden Komponente(n) des Massewandlers, z. B. des elastischen Elements und/oder des Massehalters.

[0081] Insbesondere weist die Massebestimmungsvorrichtung **100** vorzugsweise Eigenschaften auf, die mit Bezug auf Zeit und Temperatur stabil sind. Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird die Erzeugung eines mathematisch ordnungsgemäßen normierten Temperaturkoeffizienten der Frequenz als unannehmbar betrachtet, wenn dieser normierte Temperaturkoeffizient der Frequenz für die gewünschte Toleranz über den bestimmten Temperaturbereich nicht stabil sein würde.

[0082] Schritte, wie sie beispielsweise bei den Fig. 4A bis 4B veranschaulicht und oben beschrieben sind, können beispielsweise vorteilhafterweise benutzt werden, wenn eine neue Ausgestaltung für einen Massehalter **106** erreicht wird. Insbesondere ist es nicht notwendig, bereits die Verhalten und/oder die Charakteristika des neu ausgestalteten Massehalters als Teil des Massewandlers zu kennen. An diesem Punkt dient die vorliegende Erfindung wünschenswerterweise dazu, eine resultierende Kombination des neu ausgestalteten Massehalters mit einem elastischen Element **102** zu optimieren. Beispielsweise kann das Subjekt der Erfindung die Wärmebehandlung und/oder Zusammensetzung für das elastische Element modifizieren, um den neu ausgestalteten Massehalter unterzubringen.

[0083] Sobald die Bildung und/oder die Kombination einer beliebigen Anzahl von Komponenten für den Massewandler optimiert ist, kann die Fertigung jeder Komponente in großen Mengen ausgeführt werden, und die Fertigung aller Komponenten kann parallel ausgeführt werden, um eine anschließende Bildung von zahlreichen Beispielen der Massebestimmungsvorrichtung **100** zu ermöglichen, wobei jedes wünschenswerterweise einen normierten Gesamtemperaturkoeffizienten der Frequenz innerhalb der gewählten Toleranz eines Wertes von Null über den Temperaturbereich von Interesse aufweist, wie es für Fachleute ersichtlich ist.

[0084] Die Massebestimmungsvorrichtung **100** kann für verschiedenartige (z. B. von Luft- und Raumfahrt- bis zu Industrie- bis zu Gesundheitserhaltungs-) Anwendungen in verschiedenen Umgebungen benutzt werden. Bei einem Beispiel kann die Massebestimmungsvorrichtung benutzt werden, um partikulierte Materie in Umgebungsluft (z. B. Außenluft) zu messen. Bei einem anderen Beispiel kann die Massebestimmungsvorrichtung verwendet werden, um die Folgen von passivem Zigarettenrauchen zu untersuchen. Bei noch einem weiteren Beispiel kann die Massebestimmungsvorrichtung verwendet werden, um die Wirksamkeit von Maßnahmen zu überwachen, um Kunstwerke oder historische Gegenstände zu erhalten, während sie öffentlich ausgestellt werden. Außerdem kann ein Betrieb der Massebestimmungsvorrichtungen Zeiträume oder Intervalle von Aktion oder Nicht-Aktion umfassen, wie beispielsweise eine aktive Verwendung gefolgt von Leerlauf.

[0085] Die hier dargestellten Ablaufdiagramme sind nur beispielhaft. Es kann viele Variationen zu diesen Diagrammen oder Schritten (oder Vorgängen) geben, die darin beschrieben sind, ohne von dem Geist der Erfindung abzuweichen. Beispielsweise können die Schritte in einer unterschiedlichen Reihenfolge durchgeführt oder Schritte können hinzugefügt, gelöscht oder modifiziert werden. Alle diese Variationen werden als Teil der beanspruchten Erfindung betrachtet.

Patentansprüche

1. Inertialmassebestimmungsvorrichtung (**100**) mit einer Kombination mit:
einem schwingenden elastischen Element (**102**) und einem Massehalter (**106**), der aufgrund dessen, dass er mit dem elastischen Element verbunden ist, schwingt, wobei der Massehalter dazu dient, eine Probemasse (**108**) zu halten, und wobei eine Änderung in der Schwingungsfrequenz verwendet wird, um die Masse der Probemasse zu bestimmen; **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kombination einen Gesamtfrequenztemperaturkoeffizienten aufweist, der im Wesentlichen gleich Null über einem Temperaturbereich ist, der zur Verwendung für die Massebestimmungsvorrichtung bestimmt ist, wodurch die Massebestimmungsgenauigkeit der Vorrichtung während einer Temperaturänderung in dem Bereich verbessert wird, und wobei das elastische Element (**102**) einen ersten Frequenztemperaturkoeffizienten über dem Temperaturbereich aufweist, wobei ein zweiter Frequenztemperaturkoeffizient über dem Temperaturbereich dem Massehalter (**106**) zuzuschreiben ist, und wobei der erste Temperaturkoeffizient und der zweite Temperaturkoeffizient im Wesentlichen über dem Temperaturbereich ausgeglichen werden.

2. Massebestimmungsvorrichtung (**100**) gemäß

Anspruch 1, bei der das elastische Element (**102**) ein hohles röhrenförmiges Element und der Massehalter (**106**) ein Filter umfasst.

3. Massebestimmungsvorrichtung (**100**) gemäß einem vorhergehenden Anspruch, bei der das elastische Element (**102**) eine Konfiguration vom Stimmgabeltyp aufweist.

4. Massebestimmungsvorrichtung (**100**) gemäß einem vorhergehenden Anspruch, bei der jeder Frequenztemperaturkoeffizient einen normierten Frequenztemperaturkoeffizienten umfasst.

5. Massebestimmungsvorrichtung (**100**) gemäß einem vorhergehenden Anspruch, bei der das elastische Element (**102**) mindestens eine Invar-Legierung und/oder eine Legierung vom Invar-Typ aufweist.

6. Verfahren zum Verbessern der Genauigkeit einer Inertialmassebestimmungsvorrichtung (**100**), die angepasst ist, um während einer Temperaturänderung in einem Temperaturbereich zu arbeiten, der zur Verwendung für die Massebestimmungsvorrichtung bestimmt ist, wobei die Vorrichtung eine Kombination (**101**) eines schwingenden elastischen Elements (**102**) mit einem Massehalter (**106**) aufweist, der aufgrund dessen, dass er mit dem elastischen Element verbunden ist, schwingt, und wobei eine Änderung in der Schwingungsfrequenz verwendet wird, um eine von dem Massehalter gehaltene Probemasse (**108**) zu bestimmen, gekennzeichnet durch:

Bestimmen für eine Anordnung des schwingenden elastischen Elements mit dem Massehalter, wobei mindestens eines von diesen ein Prüfobjekt umfasst, eines ersten Frequenztemperaturkoeffizienten über dem Temperaturbereich;

Bestimmen (**414**) für das elastische Element ohne den Massehalter eines zweiten Frequenztemperaturkoeffizienten über dem Temperaturbereich; und wenn das elastische Element das Prüfobjekt umfasst:

Herleiten (**416**) aus den ersten und zweiten Temperaturkoeffizienten eines dritten Frequenztemperaturkoeffizienten über dem Temperaturbereich, der allein dem Massehalter (**106**) zuzuschreiben ist; und Benutzen des dritten Frequenztemperaturkoeffizienten, um einen ausgleichenden Frequenztemperaturkoeffizienten für das elastische Element (**102**) in der Kombination anzugeben, wobei der ausgleichende Frequenztemperaturkoeffizient bei der Kombination dazu dient, den dritten Frequenztemperaturkoeffizienten für den Massehalter über dem Temperaturbereich im Wesentlichen auszugleichen; und wenn der Massehalter das Prüfobjekt umfasst:

Benutzen der ersten und zweiten Temperaturkoeffizienten, um einen ausgleichenden Frequenztemperaturkoeffizienten anzugeben, der dem Massehalter in der Kombination zuzuschreiben ist, wobei der ausgleichende Temperaturkoeffizient den zweiten Tem-

peraturkoeffizienten in der Kombination im Wesentlichen ausgleicht, so dass der erste Frequenztemperaturkoeffizient der Kombination im Wesentlichen gleich Null über dem Temperaturbereich ist.

7. Verfahren gemäß Anspruch 6, ferner mit einem Abbilden des Verhaltens mindestens eines der ersten, zweiten und/oder dritten Temperaturkoeffizienten über dem Temperaturbereich.

8. Verfahren gemäß Anspruch 6, ferner mit, wenn das elastische Element das Prüfobjekt umfasst, Modifizieren (**418**) der Wärmebehandlung bei der Bildung des elastischen Elements (**102**), um ein elastisches Element bereitzustellen, das den ausgleichenden Frequenztemperaturkoeffizienten aufweist.

9. Verfahren gemäß Anspruch 6, ferner mit, wenn das elastische Element das Prüfobjekt umfasst, Verändern der Zusammensetzung des elastischen Elements (**102**), um ein elastisches Element bereitzustellen, das den ausgleichenden Frequenztemperaturkoeffizienten aufweist.

10. Verfahren gemäß Anspruch 6, bei dem, wenn der Massehalter das Prüfobjekt umfasst, der zugeordnete Benutzungsschritt ein Subtrahieren des zweiten Temperaturkoeffizienten von dem ersten Temperaturkoeffizienten umfasst.

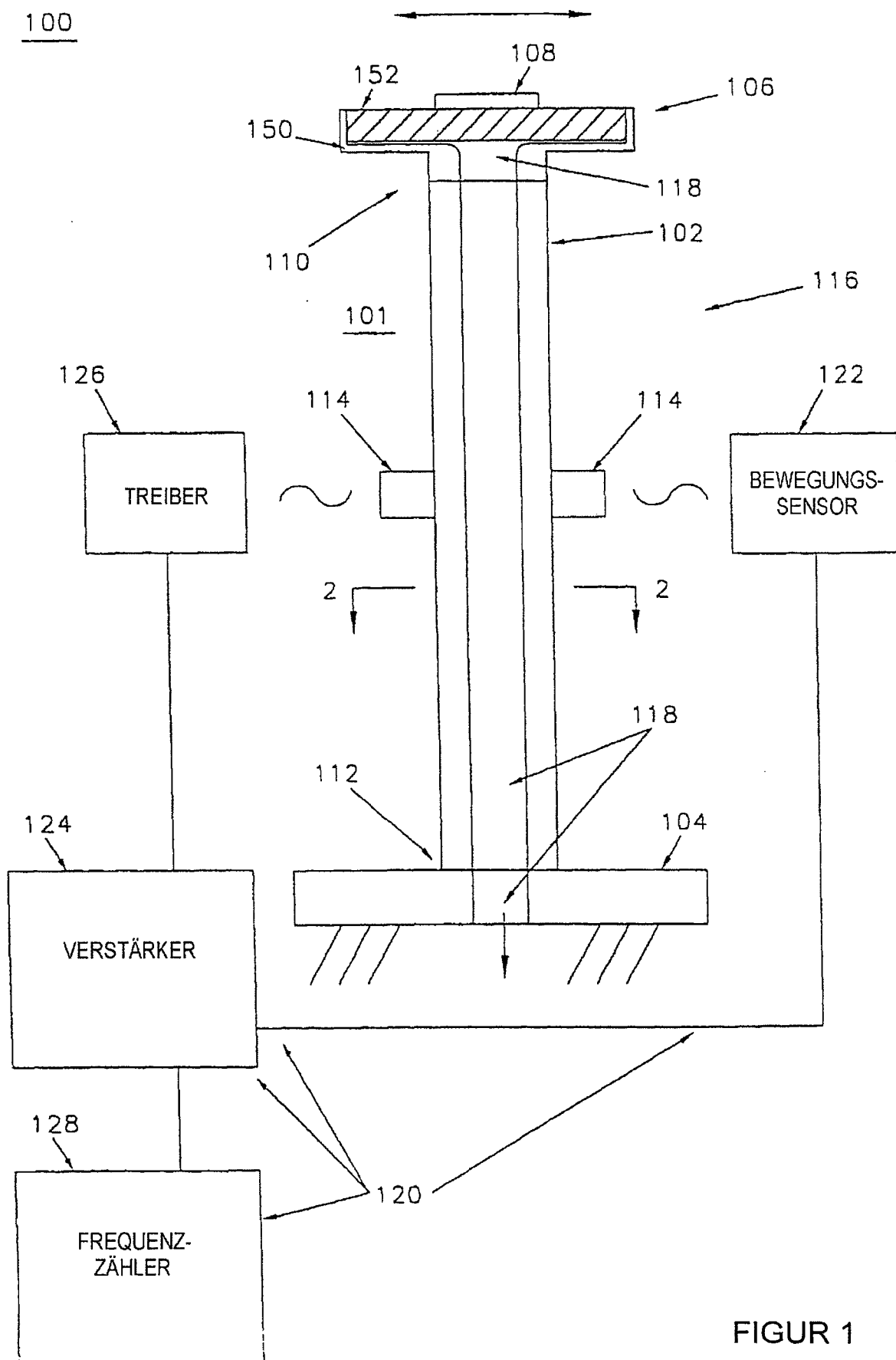
11. Verfahren gemäß Anspruch 6, ferner mit, wenn der Massehalter das Prüfobjekt umfasst, Modifizieren (**424**) mindestens der Massehaltergeometrie und/oder des Materials bei der Bildung des Massehalters, um den Massehalter mit dem ausgleichenden Temperaturkoeffizienten zu versehen.

12. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 6 bis 11, bei dem jeder Frequenztemperaturkoeffizient einen normierten Frequenztemperaturkoeffizienten umfasst.

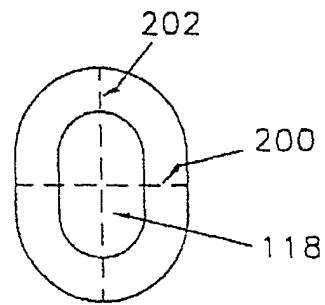
Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

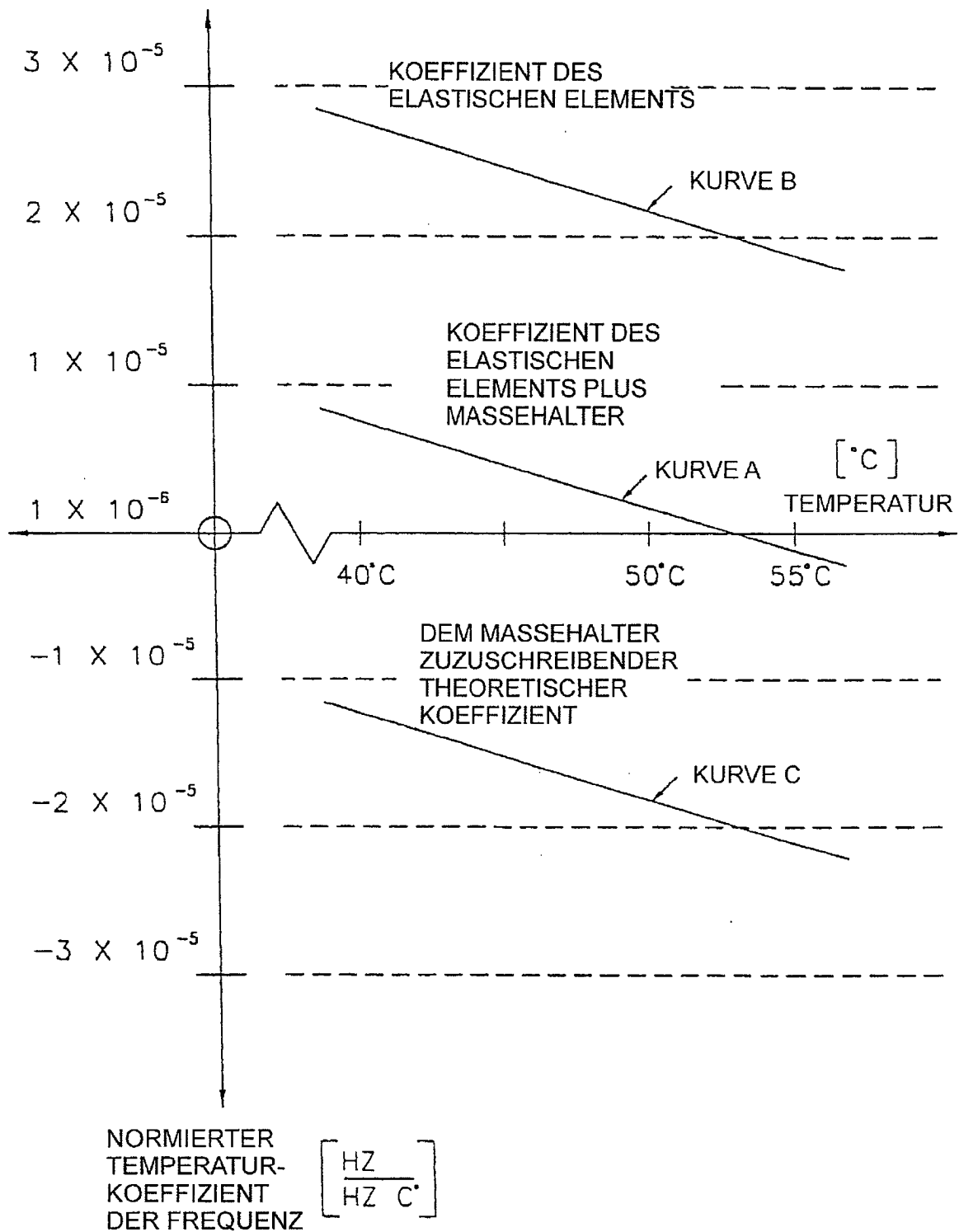
100



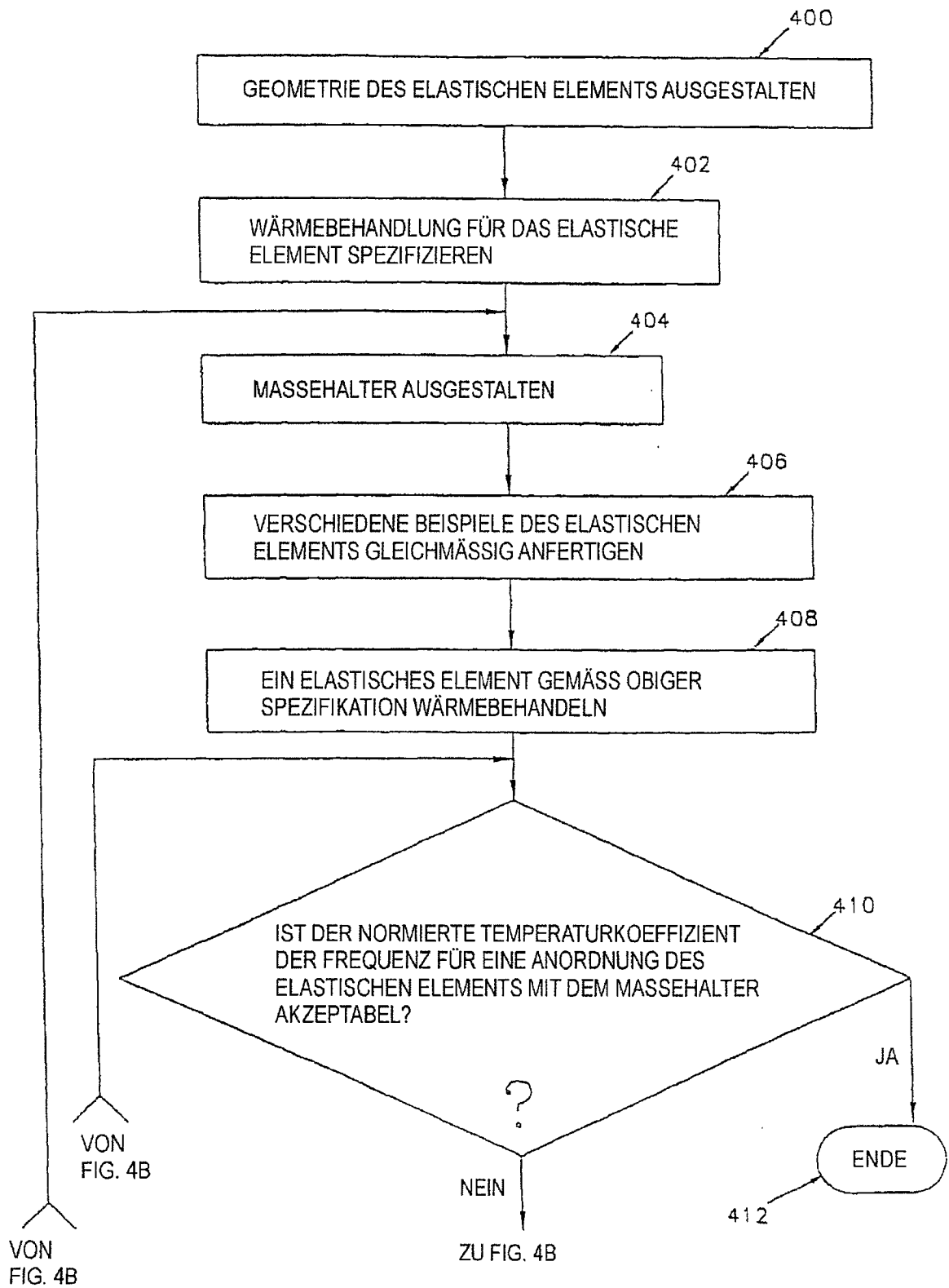
102



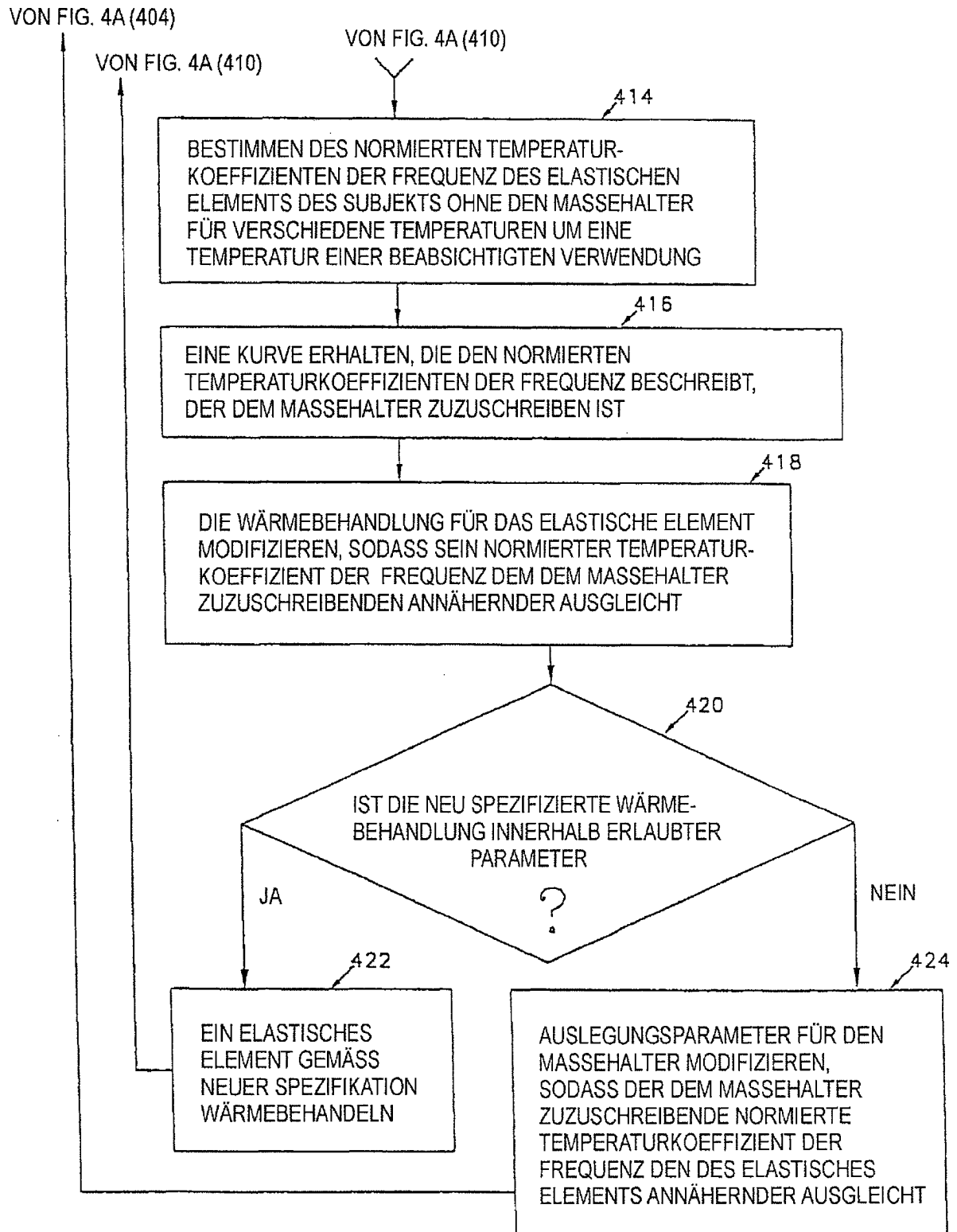
FIGUR 2



FIGUR 3



FIGUR 4A



FIGUR 4B