



(10) **DE 10 2013 213 675 A1** 2015.01.15

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 213 675.7**

(22) Anmeldetag: **12.07.2013**

(43) Offenlegungstag: **15.01.2015**

(51) Int Cl.: **G01M 9/06 (2006.01)**

**G01M 9/08 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Airbus Operations GmbH, 21129 Hamburg, DE**

(74) Vertreter:

**Hecht, Christoph, Dipl.-Phys. Univ. Dr. rer. nat.,  
80801 München, DE**

(72) Erfinder:

**Kordt, Michael, 22587 Hamburg, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

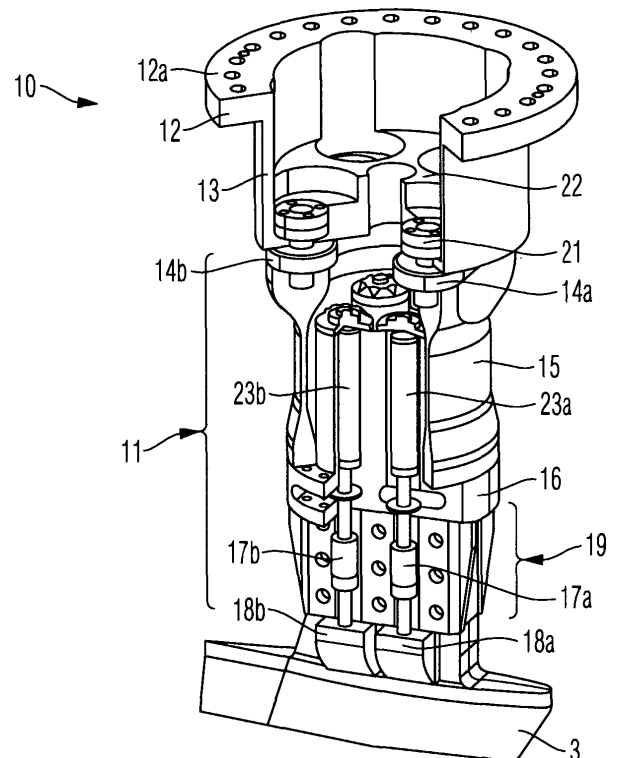
DE	195 13 083	C1
US	2005 / 0 188 759	A1
US	2010 / 0 312 497	A1
US	2 582 814	A
US	4 019 375	A
US	4 107 986	A

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Windkanalwaage und System mit Flügelmodell und Windkanalwaage**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Windkanalwaage, mit einem Kanalwandadapter, welcher dazu ausgelegt ist, die Windkanalwaage an einer Wand eines Windkanals zu befestigen, einem Aktuatorengehäuse, welcher mit dem Kanalwandadapter verbunden ist, einer Vielzahl von Kraftsensoren, welche zwischen dem Aktuatorengehäuse und dem Kanalwandadapter angeordnet sind, und welche dazu ausgelegt sind, auf das Aktuatorengehäuse wirkende Kräfte zu detektieren, eine Schwenkkupplung, über welche ein Tragflächenmodell eines Flugzeugs an das Aktuatorengehäuse schwenkbar koppelbar ist, und einer Vielzahl von piezoelektrischen Aktuatoren, welche in dem Aktuatorengehäuse angeordnet sind, und welche dazu ausgelegt sind, ein an der Schwenkkupplung montiertes Tragflächenmodell in drei Raumrichtungen steuerbar auszu lenken.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung befasst sich mit einer Windkanalwaage sowie einem System mit einem an einer Windkanalwaage montierten Flügelmodell, insbesondere für die Verwendung in einem kryogenen Windkanal zur Vermessung von kritischen aeroelastischen Modellen bei hohen Reynolds-Zahlen im Überschallbereich.

**[0002]** Dynamische Windkanalexperimente mit elastischen Flügelmodellen werden hauptsächlich bei Reynolds-Zahlen durchgeführt, die etwa eine Größenordnung unter den tatsächlich bei Reisefluggeschwindigkeiten von großen Flugzeugen auftretenden Reynolds-Zahlen liegen. Die Aussagekraft derartiger Experimente ist daher begrenzt.

**[0003]** Experimente bei hohen Reynolds-Zahlen sind bisher schwierig durchzuführen, da es insbesondere an präzisen, stabilen und hochfrequent arbeitenden Flügelaufhängungen, sogenannten Windkanalwaagen, mangelt. Mit einer 6-Komponenten-Windkanalwaage können drei Kräfte entlang orthogonal zueinander stehenden Achsen und drei Momente um diese Achsen gemessen werden. Die Windkanalwaage hält das Flügelmodell in Ruhe, wobei den von außen auf das Flügelmodell wirkenden Kräften entsprechende Gegenkräfte entgegengesetzt werden, die dann gemessen werden können.

**[0004]** Die Druckschrift EP 0 340 316 A1 offenbart beispielsweise eine 6-Komponenten-Windkanalwaage, welche eine Belastungseinrichtung aufweist, über die Belastungskräfte in drei zueinander senkrecht stehenden Achsen und Momente um diese Achsen auf ein Prüfmodell aufgebracht werden können. Die Druckschrift US 5,663,497 A offenbart eine 6-Komponenten-Windkanalwaage zur Vermessung von Kräften und Momenten auf ein Flugzeugmodell in einem Windkanal.

**[0005]** Es besteht jedoch ein Bedarf nach Windkanalwaagen, mit denen kritische aeroelastische Modelle abgebildet werden können, die Aktuatoren und Sensoren in einem Gehäuse vereinen, die für kryogene Experimentierumgebungen ausgelegt sind und mit denen Flügelmodelle im Bereich hoher Reynolds-Zahlen getestet werden können.

**[0006]** Daher wird gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung eine Windkanalwaage bereitgestellt, mit einem Kanalwandadapter, welcher dazu ausgelegt ist, die Windkanalwaage an einer Wand eines Windkanals zu befestigen, einem Aktuatorengehäuse, welcher mit dem Kanalwandadapter verbunden ist, einer Vielzahl von Kraftsensoren, welche zwischen dem Aktuatorengehäuse und dem Kanalwandadapter angeordnet sind, und welche dazu ausgelegt sind, auf das Aktuatorengehäuse wirkende Kräfte zu de-

tektieren, eine Schwenkkupplung, über welche ein Tragflächenmodell eines Flugzeugs an das Aktuatorengehäuse schwenkbar koppelbar ist, und einer Vielzahl von piezoelektrischen Aktuatoren, welche in dem Aktuatorengehäuse angeordnet sind, und welche dazu ausgelegt sind, ein an der Schwenkkupplung montiertes Tragflächenmodell in drei Raumrichtungen steuerbar auszulenken.

**[0007]** Weiterhin wird gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung ein System mit einer erfindungsgemäßen Windkanalwaage gemäß dem ersten Aspekt und einem an der Windkanalwaage dreh- und kippbar montiertes Tragflächenmodell eines Flugzeugs bereitgestellt.

**[0008]** Gemäß einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Windkanalwaage können die Kraftsensoren piezoelektrische Kraftsensoren aufweisen, welche unter Vorspannung mit Vorspannbolzen zwischen dem Aktuatorengehäuse und dem Kanalwandadapter eingespannt sind. Dadurch ist der dynamische Messbereich der Kraftsensoren vorteilhafterweise verbessert.

**[0009]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Windkanalwaage können die piezoelektrischen Aktuatoren dazu ausgelegt sein, Auslenkungen des Tragflächenmodells mit einer Anregungsfrequenz von mehr als 100 Hz zu erzeugen. Dies ist insbesondere vorteilhaft zur Durchführung von aeroelastischen Experimenten im Überschallregime hoher Reynolds-Zahlen, die realistischen Strömungsbedingungen bei Reisefluggeschwindigkeiten großer Flugzeuge entsprechen.

**[0010]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Windkanalwaage kann die Anzahl der piezoelektrischen Aktuatoren mindestens vier betragen, welche dazu ausgelegt sind, Momente um die drei Raumrichtungen in das Tragflächenmodell einzukoppeln. Dies ermöglicht es in vorteilhafter Weise mindestens sechs Freiheitsgrade bei der Einkopplung von Anregungen in das Tragflächenmodell zu berücksichtigen.

**[0011]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Windkanalwaage können die piezoelektrischen Aktuatoren derart innerhalb des Aktuatorengehäuses angeordnet sein, dass bei Ausfall eines der piezoelektrischen Aktuatoren das Tragflächenmodell durch die übrigen piezoelektrischen Aktuatoren noch in drei Raumrichtungen auslenkbar bleibt. Dadurch ist eine Redundanz der Aktuatoren gewährleistet. Insbesondere bei vorbereitungsaufwändigen Experimenten unter kryogenen Bedingungen ist es in einem Windkanal vorteilhaft, ein Experiment für Wartungs- und Reparaturarbeiten nicht unterbrechen zu müssen, um einen ausgefallenen Aktuator zu ersetzen oder zu reparieren. Bei redun-

danter Auslegung der Windkanalwaage kann auch bei Ausfall eines Aktuators das Experiment ohne Einschränkungen fortgeführt werden.

**[0012]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Windkanalwaage kann die Schwenkkupplung Kraftübertragungselemente und Verbindungsblöcke aufweisen, über welche jeweils einer der piezoelektrischen Aktuatoren mit einer Halteleiste des Tragflächenmodells verbindbar ist.

**[0013]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Windkanalwaage kann das Aktuatorengehäuse im Wesentlichen zylinderförmig ausgebildet sein. Dies ermöglicht eine formstabile und sehr steife Auslegung der Windkanalwaage.

**[0014]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Windkanalwaage kann die Windkanalwaage nur Schwingungseigenfrequenzen von mehr als 800 Hz aufweisen. Dadurch ist die Windkanalwaage besonders stabil und rigide, insbesondere im Bereich der Anregungsfrequenzen des Tragflächenmodells, welche in etwa zwischen 100 Hz und 300 Hz liegen können.

**[0015]** Gemäß einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Systems kann auf dem Tragflächenmodell eine Vielzahl von Drucksensoren, Beschleunigungssensoren, Dehnungsmessstreifen und/oder Positionsmarkern angebracht sein.

**[0016]** Die Erfindung wird im Folgenden genauer im Zusammenhang und in Bezug auf die beispielhaften Ausführungsformen wie in den beigefügten Zeichnungen beschrieben.

**[0017]** Die beigefügten Zeichnungen dienen dem besseren Verständnis der vorliegenden Erfindung und illustrieren beispielhafte Ausführungsvarianten der Erfindung. Sie dienen zur Erläuterung von Prinzipien, Vorteilen, technischen Effekten und Variationsmöglichkeiten. Selbstverständlich sind andere Ausführungsformen und viele der beabsichtigten Vorteile der Erfindung ebenso denkbar, insbesondere mit Blick auf die im Folgenden dargestellte ausführliche Beschreibung der Erfindung. Die Elemente in den Zeichnungen sind nicht notwendigerweise maßstabgetreu dargestellt und aus Gründen der Übersichtlichkeit teils vereinfacht oder schematisiert dargestellt. Gleiche Bezugszeichen bezeichnen dabei gleiche oder gleichartige Komponenten oder Elemente.

**[0018]** Fig. 1 zeigt eine schematische Illustration eines Systems mit einem an einer Windkanalwaage montierten Tragflächenmodell eines Flugzeugs gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

**[0019]** Fig. 2 zeigt eine schematische Illustration einer Windkanalwaage gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung.

**[0020]** Fig. 3 zeigt eine schematische Illustration der Windkanalwaage in Fig. 2 in Schnittansicht.

**[0021]** Obwohl hierin spezielle Ausführungsformen beschrieben und dargestellt sind, ist es für einen Fachmann klar, dass eine Fülle weiterer, alternativer und/oder äquivalenter Implementierungen für die Ausführungsformen gewählt werden können, ohne im Wesentlichen vom Grundgedanken der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Im Allgemeinen sollen alle Variationen, Modifikationen und Abwandlungen der hierin beschriebenen Ausführungsbeispiele ebenfalls von der Erfindung als abgedeckt gelten.

**[0022]** Fig. 1 zeigt eine schematische Illustration eines Systems **100** mit einem Tragflächenmodell **3** einer Tragfläche eines Flugzeugs, welches dreh- und kippar an einer Windkanalwaage **10** montiert ist. Das System **100** kann beispielsweise in einem kryogenen Windkanal, zum Beispiel dem European Transonic Wind Tunnel, genutzt werden, um Experimente bei tiefen Temperaturen, beispielsweise in Flüssigstickstoffatmosphäre durchzuführen. Das Tragflächenmodell **3** kann beispielsweise ein HIRENASD-Modell („High Reynolds Number Aerostructural Dynamics“) sein. Zur Messung von aerodynamischen Parametern können auf dem Tragflächenmodell **3** eine Vielzahl von (nicht dargestellten) Drucksensoren, Beschleunigungssensoren, Dehnungsmessstreifen und/oder Positionsmarkern angebracht sein. Das Tragflächenmodell **3** wird durch ein entsprechendes Balkenmodell **4**, hier gestrichelt angedeutet, simuliert.

**[0023]** Das Tragflächenmodell **3** ist an einer Schwenkkupplung der Windkanalwaage **10** fest montiert. Die Windkanalwaage **10** weist dazu in einem tragflächenseitigen Endbereich einen Aktuatorenbereich **11** auf, welcher zur Anregung bzw. zur Einkopplung von Kräften in das Tragflächenmodell **3** dient. Der Aktuatorenbereich **11** ist über einen Kanalwandadapter mit einem Windkanaladapter **2** verbunden, der die Windkanalwaage **10** und das Tragflächenmodell **3** fest mit einer Windkanalwand **1** bzw. der Windkanaldecke verbindet. In vielen Windkanälen gibt es hierzu spezielle Windkanaladapter **2**, die einen Adapterkopf **2a** aufweisen, welcher mit einem Modellwagen verbunden werden kann. Der Modellwagen dient als Schutzummantelung für die Windkanalwaage **10** und als Transportvehikel für das Einbringen des Modells in den Windkanal.

**[0024]** Fig. 2 zeigt eine schematische Illustration einer Windkanalwaage **10**. Beispielsweise kann die Windkanalwaage **10** in einem System **100** wie in Fig. 1 dargestellt eingesetzt werden. Fig. 3 zeigt ei-

ne entsprechende Schnittansicht der Windkanalwaage **10** in **Fig. 2**. Im Folgenden wird der Aufbau der beispielhaften Windkanalwaage **10** in Bezug auf beide **Fig. 2** und **Fig. 3** beschrieben.

**[0025]** Die Windkanalwaage **10** umfasst einen Kanalwandadapter **13**, welcher dazu ausgelegt ist, die Windkanalwaage **10** an einer Wand eines Windkanals zu befestigen. Der Kanalwandadapter **13** kann beispielsweise aus Stahl gefertigt werden und eine Hohlzylinderform aufweisen, welche am wandseitigen Ende einen Befestigungsflansch **12** mit Bolzenlöchern **12a** umfasst, über die der Kanalwandadapter **13** mit Bolzen an der Kanalwand befestigt werden kann. Im Inneren des Kanalwandadapters **13** ist ein strukturierter Adapterboden **21** ausgebildet, welcher entsprechende Ausnehmungen oder Rücksetzungen zur Aufnahme von Befestigungsschrauben bzw. -bolzen **21** aufweisen kann.

**[0026]** Der Kanalwandadapter **13** kann über die Befestigungsschrauben bzw. -bolzen im Adapterboden **21** mit einem Aktuatorengehäuse **15** verbunden werden. Dabei sind zwischen dem Aktuatorengehäuse **15** und dem Kanalwandadapter **12** eine Vielzahl von Kraftsensoren **14a** und **14b** angeordnet, welche dazu ausgelegt sind, auf das Aktuatorengehäuse **15** wirkende Kräfte zu detektieren. Die Kraftsensoren **14a** und **14b** können dabei piezoelektrisch arbeitende Kraftsensoren aufweisen, welche mit Vorspannbolzen **21** zwischen dem Aktuatorengehäuse **15** und dem Kanalwandadapter **12** eingespannt sind. Beispielsweise können die Kraftsensoren **14a** und **14b** unter einer Vorspannung von 300 kN eingespannt werden, und jeweils Kräfte in einem Bereich zwischen -100 kN und +100 kN detektieren.

**[0027]** Das Aktuatorengehäuse **15** kann im Wesentlichen zylinderförmig ausgebildet sein und ebenfalls aus Stahl gefertigt werden. Im Inneren des Aktuatorengehäuses **15** sind eine Vielzahl von piezoelektrischen Aktuatoren **23a** bzw. **23b** angeordnet, welche dazu ausgelegt sind, ein an der Windkanalwaage **10** montiertes Tragflächenmodell **3** in drei Raumrichtungen steuerbar auszulenken. Dazu können die piezoelektrischen Aktuatoren **23a** bzw. **23b** beispielsweise Hochvoltpiezostapel mit einer Steuerspannung zwischen 0 V und 100 V aufweisen, die eine Maximalauslenkung von 200 µm bei einer Maximalkraft von 50 kN ermöglichen. Die piezoelektrischen Aktuatoren **23a** bzw. **23b** sind dabei entlang der Hauptachse des Aktuatorengehäuses **15** angeordnet und können geeignet im Inneren platziert werden, so dass die piezoelektrischen Aktuatoren **23a** und **23b** Auslenkungen des Tragflächenmodells **3** mit einer Anregungsfrequenz von mehr als 100 Hz erzeugen können.

**[0028]** Die Anzahl der piezoelektrischen Aktuatoren **23a** und **23b** kann mindestens vier betragen, so dass Momente um die drei Raumrichtungen in das Trag-

flächenmodell **3** einkoppelbar sind. Die piezoelektrischen Aktuatoren **23a** und **23b** sind dabei derart innerhalb des Aktuatorengehäuses **15** angeordnet, dass bei Ausfall eines der piezoelektrischen Aktuatoren **23a** bzw. **23b** das Tragflächenmodell **3** durch die übrigen piezoelektrischen Aktuatoren **23a** und **23b** noch in drei Raumrichtungen auslenkbar bleibt. Wie in **Fig. 2** und **Fig. 3** dargestellt, sind die piezoelektrischen Aktuatoren **23a** bzw. **23b** beide parallel zueinander angeordnet und an derselben Seite des Tragflächenmodells **3** angekoppelt. Bei Ausfall eines der Aktuatoren kann der jeweils andere Aktuator nach wie die Aktuierung des Tragflächenmodells **3** übernehmen.

**[0029]** Die Anzahl der Aktuatoren ist jedoch nicht auf vier begrenzt – es kann jede andere Anzahl von Aktuatoren ebenso vorgesehen sein, mit der eine Aktuierung des Tragflächenmodells in drei Raumrichtungen und eine Einkopplung von Momenten um diese drei Raumrichtungen gewährleistet bleibt. Ebenso ist die Anzahl der Kraftsensoren nicht auf zwei beschränkt. Auch hier kann die Anzahl der Kraftsensoren so gewählt werden, dass eine Sensierung von Kräften, die auf das Tragflächenmodell in drei Raumrichtungen wirken, und Momenten, die auf das Tragflächenmodell um diese drei Raumrichtungen herum wirken, gewährleistet bleibt. Vorzugsweise kann die Anzahl der Kraftsensoren mit der Anzahl der Aktuatoren korrespondieren.

**[0030]** Die Windkanalwaage **10** kann im unteren Aktuatorenbereich **11** eine Schwenkkupplung **19** aufweisen, über welche ein Tragflächenmodell **3** eines Flugzeugs an das Aktuatorengehäuse **15** schwenkbar koppelbar ist. Dazu kann die Schwenkkupplung **19** Kraftübertragungselemente **17a** und **17b** sowie Verbindungsblöcke **18a** bzw. **18b** aufweisen, über welche jeweils einer der piezoelektrischen Aktuatoren **23a** bzw. **23b** mit einer Halteleiste des Tragflächenmodells **3** verbindbar ist. Die Kraftübertragungselemente **17a** und **17b** können federnd unter Vorspannung in einem Zwischenrahmen **16** an die Aktuatoren **23a** bzw. **23b** angekoppelt sein. Insgesamt ist die Windkanalwaage **10** so ausgelegt, dass sie nur Schwingungseigenfrequenzen oberhalb eines vorbestimmten Frequenzwertes, beispielsweise von mehr als 800 Hz aufweist. Dadurch wird gewährleistet, dass die Windkanalwaage **10** selbst in dem Frequenzregime, welches die Schwingungen des Tragflächenmodells **3** während eines Windkanalexperiments aufweisen, möglichst steif und stabil bleibt. Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass das Aktuatorgehäuse **15** zusammen mit der Schwenkkupplung **19** einstückig ausgebildet ist und das Aktuatorgehäuse **15** unter Vorspannung mit dem Kanalwandadapter **13** gekoppelt ist.

**[0031]** Die Windkanalwaage **10** eignet sich insbesondere für kritische aeroelastische Tragflächenmo-

delle, die zu Schwingungen und Vibrationen neigen, sowie für die Analyse stationären und nicht-stationärer Experimente mit einem superkritischen elastischen Tragflächenmodell im transsonischen Strömungsbereich, das heißt, in einem Strömungsbereich, in dem in der Umströmung der Tragfläche lokal die Schallgeschwindigkeit überschritten werden kann. Diese Experimente können bei hohen Reynolds-Zahlen durchgeführt werden, welche realistische Bedingungen bei einer Reisefluggeschwindigkeit von großen Flugzeugen simulieren können.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Windkanalwand
<b>2</b>	Windkanaladapter
<b>2a</b>	Adapterkopf
<b>3</b>	Tragflächenmodell
<b>4</b>	Balkenmodell
<b>10</b>	Windkanalwaage
<b>11</b>	Aktuatorbereich
<b>12</b>	Befestigungsflansch
<b>12a</b>	Bolzenlöcher
<b>13</b>	Kanalwandadapter
<b>14a</b>	Kraftsensor
<b>14b</b>	Kraftsensor
<b>15</b>	Aktuatorengehäuse
<b>16</b>	Zwischenrahmen
<b>17a</b>	Kraftübertragungselement
<b>17b</b>	Kraftübertragungselement
<b>18a</b>	Verbindungsblock
<b>18b</b>	Verbindungsblock
<b>19</b>	Schwenkkupplung
<b>21</b>	Vorspannbolzen
<b>22</b>	Adapterboden
<b>23a</b>	Aktuator
<b>23b</b>	Aktuator
<b>100</b>	System

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- EP 0340316 A1 [0004]
- US 5663497 A [0004]

### Patentansprüche

1. Windkanalwaage (10), mit:  
 einem Kanalwandadapter (13), welcher dazu ausgelegt ist, die Windkanalwaage (10) an einer Wand eines Windkanals zu befestigen;  
 einem Aktuatorengehäuse (15), welcher mit dem Kanalwandadapter (12) verbunden ist;  
 einer Vielzahl von Kraftsensoren (14a; 14b), welche zwischen dem Aktuatorengehäuse (15) und dem Kanalwandadapter (12) angeordnet sind, und welche dazu ausgelegt sind, auf das Aktuatorengehäuse (15) wirkende Kräfte zu detektieren;  
 eine Schwenkkupplung (19), über welche ein Tragflächenmodell (3) eines Flugzeugs an das Aktuatorengehäuse (15) schwenkbar koppelbar ist; und  
 einer Vielzahl von piezoelektrischen Aktuatoren (23a; 23b), welche in dem Aktuatorengehäuse (15) angeordnet sind, und welche dazu ausgelegt sind, ein an der Schwenkkupplung (19) montiertes Tragflächenmodell (3) in drei Raumrichtungen steuerbar auszulenkten.
2. Windkanalwaage (10) nach Anspruch 1, wobei die Kraftsensoren (14a; 14b) piezoelektrische Kraftsensoren aufweisen, welche mit Vorspannbolzen (21) zwischen dem Aktuatorengehäuse (15) und dem Kanalwandadapter (12) eingespannt sind.
3. Windkanalwaage (10) nach einem der Ansprüche 1 und 2, wobei die piezoelektrischen Aktuatoren (23a; 23b) dazu ausgelegt sind, Auslenkungen des Tragflächenmodells (3) mit einer Anregungsfrequenz von mehr als 100 Hz zu erzeugen.
4. Windkanalwaage (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Anzahl der piezoelektrischen Aktuatoren (23a; 23b) mindestens vier beträgt, welche dazu ausgelegt sind, Momente um die drei Raumrichtungen in das Tragflächenmodell (3) einzukoppeln.
5. Windkanalwaage (10) nach Anspruch 4, wobei die piezoelektrischen Aktuatoren (23a; 23b) derart innerhalb des Aktuatorengehäuses (15) angeordnet sind, dass bei Ausfall eines der piezoelektrischen Aktuatoren (23a; 23b) das Tragflächenmodell (3) durch die übrigen piezoelektrischen Aktuatoren (23a; 23b) noch in drei Raumrichtungen auslenkbar bleibt.
6. Windkanalwaage (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Schwenkkupplung (19) Kraftübertragungselemente (17a; 17b) und Verbindungsböcke (18a; 18b) aufweist, über welche jeweils einer der piezoelektrischen Aktuatoren (23a; 23b) mit einer Halteleiste des Tragflächenmodells (3) verbindbar ist.
7. Windkanalwaage (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Aktuatorengehäuse (15) im Wesentlichen zylinderförmig ausgebildet ist.
8. Windkanalwaage (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Windkanalwaage (10) nur Schwingungseigenfrequenzen von mehr als 800 Hz aufweist.
9. System (100), mit:  
 einer Windkanalwaage (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 8; und  
 einem Tragflächenmodell (3) eines Flugzeugs, welches an dreh- und kippbar an der Windkanalwaage (10) montiert ist.
10. System (100) nach Anspruch 8, wobei auf dem Tragflächenmodell (3) eine Vielzahl von Drucksensoren, Beschleunigungssensoren, Dehnungsmessstreifen und/oder Positionsmarkern angebracht ist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

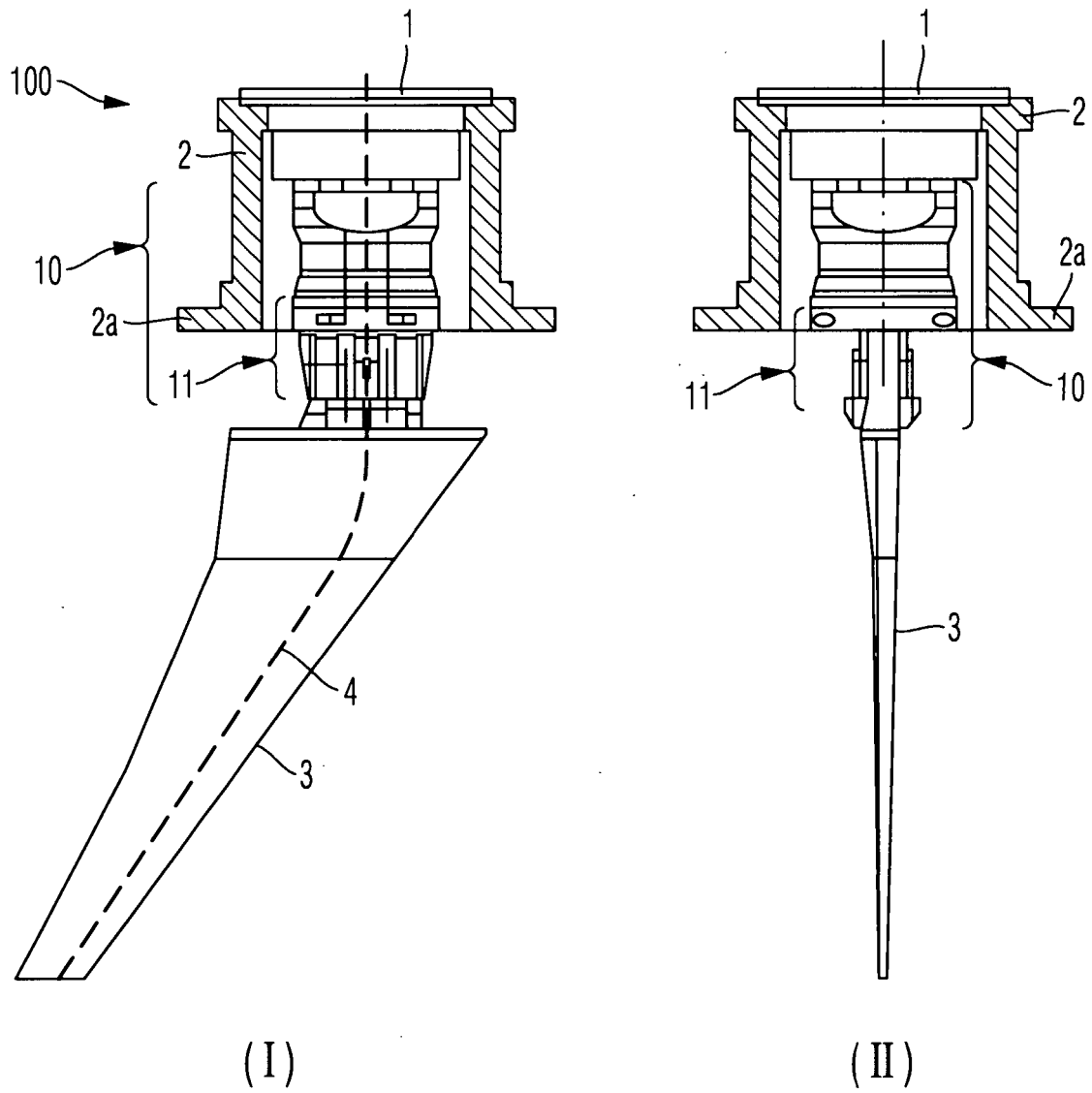


Fig. 1



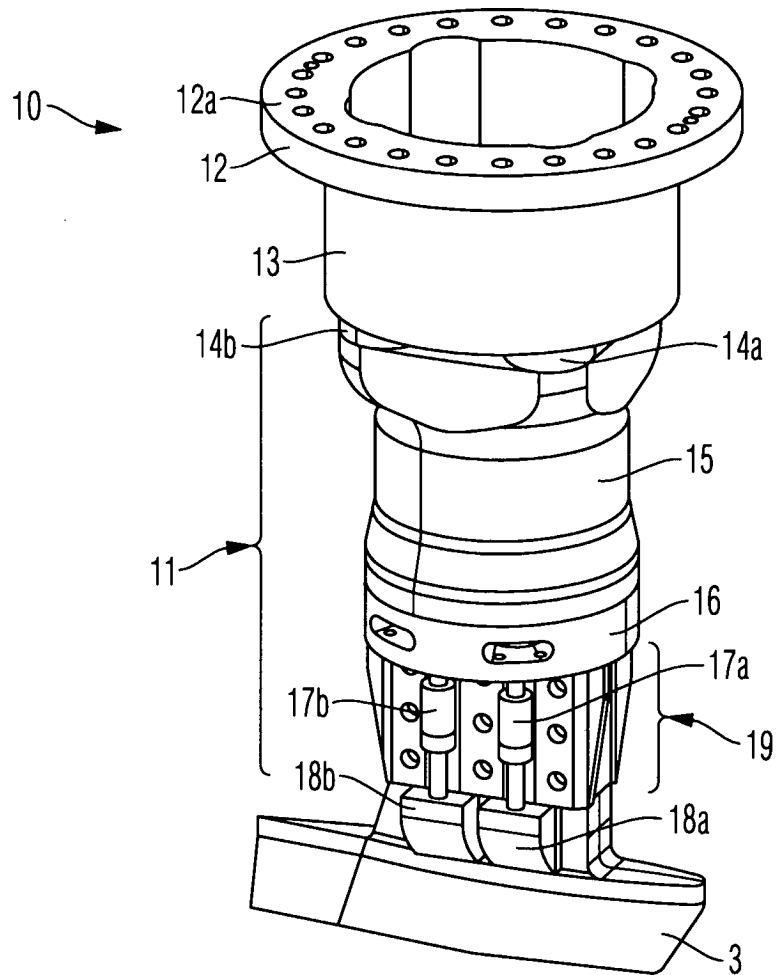


Fig. 2

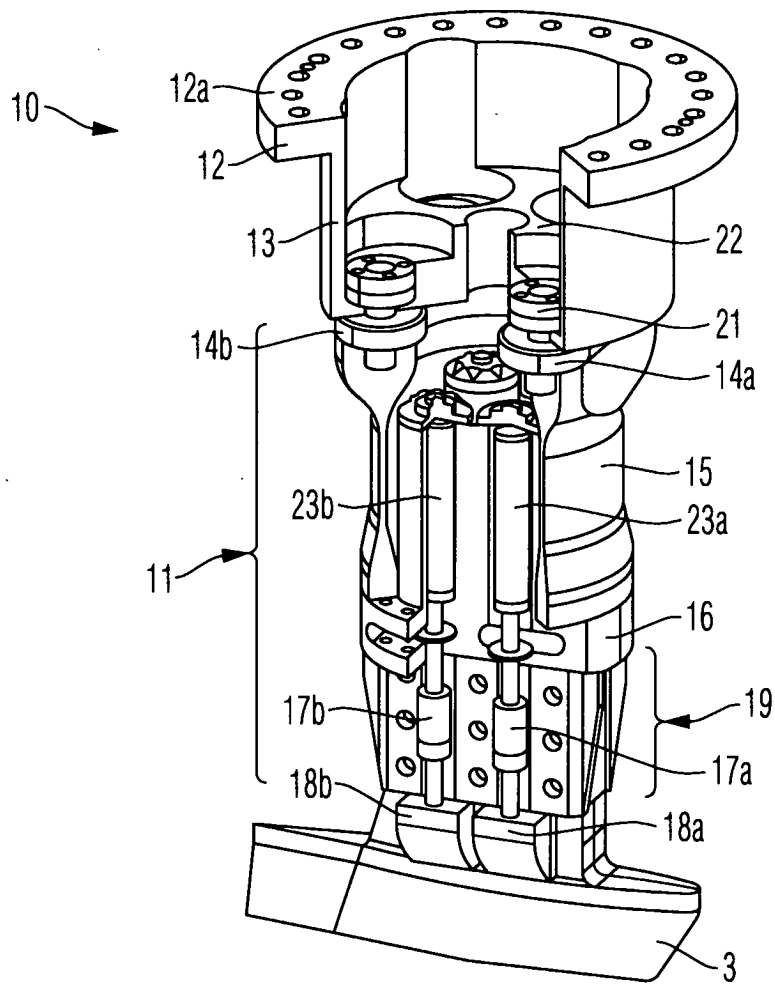


Fig. 3