



(10) **DE 10 2014 221 001 A1** 2016.04.21

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 221 001.1**

(22) Anmeldetag: **16.10.2014**

(43) Offenlegungstag: **21.04.2016**

(51) Int Cl.: **H02N 2/02 (2006.01)**

H02N 2/12 (2006.01)

(71) Anmelder:
Picofine GmbH, 26135 Oldenburg, DE

(74) Vertreter:
**Eisenführ Speiser Patentanwälte Rechtsanwälte
PartGmbH, 28217 Bremen, DE**

(72) Erfinder:
**Kortschack, Axel, 26121 Oldenburg, DE; Raß,
Christoph, 26123 Oldenburg, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

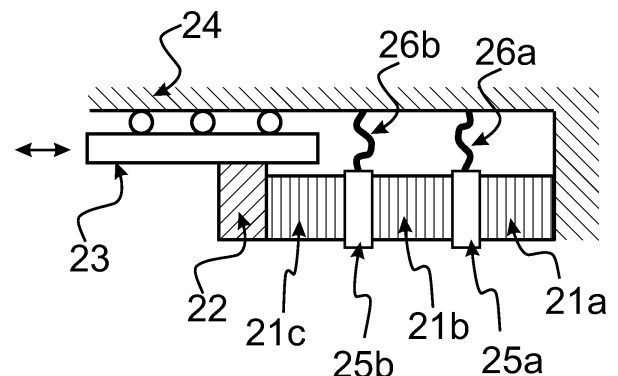
DE	196 26 671	C1
DE	101 26 918	A1
DE	198 56 185	A1
US	5 182 484	A
WO	99/ 41 791	A1
WO	2005/ 078 815	A1

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

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Antriebsvorrichtung und -verfahren zur linearen und/oder rotatorischen Positionierung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Antriebsvorrichtung zur linearen oder rotatorischen Positionierung eines zu bewegenden Objektes mittels piezoelektrischer oder elektrostriktiver Aktorik, bei der der mindestens eine piezoelektrische oder elektrostriktive Aktor der eine Reibfläche einer kraftübertragende Struktur, die mit dem zu bewegenden Objekt in Reibkontakt steht vor- und zurückbewegt um das zu bewegende Objekt gemäß dem Prinzip eines Trägheitsantriebs und/oder eines Krabbelantriebs und/oder eines Mehraktorantriebs voranzutreiben, wobei der mindestens eine Aktor über eine thermisch leitfähige Struktur mechanisch direkt oder indirekt an eine thermische Senke angebunden ist, so dass ein großer Teil der vom Aktor im Betrieb erzeugten Wärme an die thermische Senke abgeführt wird, ohne dass die Bewegung des mindestens einen Aktors nicht durch die Struktur verhindert wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Antriebsvorrichtung zur linearen und/oder rotatorischen Positionierung eines Objekts, auch Läufer genannt, und ein entsprechendes Antriebsverfahren, insbesondere ein Verfahren und eine Antriebsvorrichtung zur linearen oder rotatorischen Positionierung eines zu bewegenden Objektes mittels piezoelektrischer oder elektrostriktiver Aktorik, bei der die von dem mindestens einen Aktor erzeugte lokale Wärme über mindestens eine mechanische, thermisch leitfähige Vorrichtung an mindestens eine Wärmesenke abgeführt wird, wobei die mechanische Vorrichtung die Bewegung des mindestens einen Aktors nicht unterdrückt, so dass der mindestens eine Aktor mit hoher Ansteuerfrequenz und hohem Steuersignal betrieben werden kann, ohne dass es zur lokalen Überhitzung des mindestens einen Aktors kommt.

[0002] Piezoantriebe sind seit den 1950er Jahren bekannt, wobei bisher bereits eine Vielzahl von unterschiedlichen Antrieben entwickelt worden sind.

[0003] Besonders für Präzisionspositionierungen sind Piezoaktoren oder auch Elektrostriktionsaktoren interessant, da diese in der Lage sind, sehr feine Bewegungsaufösungen, sogar im Sub-Nanometerbereich, zu bieten, die mit anderweitigen Antrieben wenn überhaupt nur mit einem sehr großen apparativen Aufwand zu realisieren sind.

[0004] Ein Überblick über die verschiedenen Klassen der Piezoantriebe findet sich in „Survey of the Various Operating Principles of Ultrasonic Piezomotors“ von K. Spanner (Proceedings of the 10th International Conference on New Actuators, Actuator 2006, Seiten 414 bis 421). Entsprechendes gilt im Grundsatz auch für elektrostriktive Antriebe.

[0005] In dieser Klassifizierung werden die Piezoantriebe in Quasistatische Antriebe (im Folgenden auch „nicht-resonante Antriebe“ genannt) und Ultraschallantrieb unterteilt.

[0006] Die Quasistatischen Antriebe können unterteilt werden in Antriebe nach dem Schrittprinzip (häufig auch Inch-Worm-Antrieb genannt), solche nach dem Trägheitsprinzip und solche nach dem Mehraktorantrieb unterteilt.

[0007] Zu den Ultraschallantrieben zählen solche, die eine stehende Welle und solche die eine Wanderwelle nutzen. Bei der stehenden Welle wird weiter nach bi- oder unidirektional unterschieden. Die bidirektionalen Antriebe können einen einzelnen Aktor oder mehrere Aktoren aufweisen. Kennzeichnend für viele der Ultraschallantriebe sind die verhältnismäßig hohen Geschwindigkeiten, mit denen die Läufer bewegt werden können. Diese übertreffen häufig 200

mm/s, wobei diese Geschwindigkeit sogar langfristig gehalten werden kann. Jedoch leiden Ultraschallantriebe erheblich unter der Wärmeentwicklung der Aktoren im Betrieb. In der Regel verschieben sich mit der Erhöhung der Temperatur in den Aktoren und der Antriebsstruktur die Betriebsfrequenzen der Antriebe, so dass diese aufwendig nachgeregelt werden müssen. Steigt die Temperatur zu sehr, kommt es sogar zum Ausfall der Aktoren selber. Besonders problematisch ist der Einsatz bei Vakuumanwendungen, da dann der Wärmeabtransport durch Konvektion fehlt, so dass eine Erwärmung der Aktoren sehr schnell erfolgt. Grundsätzlich könnten die Ultraschallantriebe mit einer aggressiveren Ansteuerung (z.B. höhere Ansteueramplituden) schneller und länger am Stück betrieben werden, wenn die Wärmeentwicklung der Aktoren im Griff gehalten werden kann.

[0008] 200 mm/s und mehr sind Geschwindigkeiten, die bisher von quasi-statischen piezoelektrischen oder elektrostriktiven Antrieben nicht über lange Zeit (Minuten oder gar Stunden) aufrecht erhalten werden können. Auch hier stellt die Temperaturentwicklung der Aktoren eine wesentliche Limitation der Leistung der Antriebe dar.

[0009] Der erste bekannte Schrittantrieb-basierende Piezoantrieb ist der sogenannte Inchworm[®]-Antrieb der Firma Burleigh Instruments, der beispielsweise in US 3,902,084 beschrieben ist.

[0010] Diese Klasse von Antrieben basiert ursprünglich auf drei Aktoren, von denen zwei ein zu bewegendes Objekt klemmen können (Klemmaktoren), während ein dritter Aktor (Distanzaktor) die Distanz zwischen den Klemmaktoren variieren kann.

[0011] Befindet sich ein erster Klemmaktor in der Klemmung, kann der zweite Klemmaktor innerhalb des Hubes des Distanzaktors bewegt werden. Wird dieser dann nach der Auslenkung des Distanzaktors ebenfalls geklemmt, kann der erste Klemmaktor gelöst und dann durch ein Bewegen des Distanzaktors auf die ursprüngliche Distanz zwischen den Klemmaktoren gebracht werden. Durch diesen Zyklus hat sich das bewegliche Objekt, also der Läufer des Antriebs, ein kleines Stück bewegt. Wird dieser Zyklus immer wieder wiederholt, kann das zu positionierende Objekt sehr präzise über große Distanzen positioniert werden.

[0012] Ein in diesem Zusammenhang eingesetzter typischer Piezoaktor weist lediglich einen Hub von nur wenigen µm auf. Wenn allerdings die mechanischen Toleranzen nicht deutlich geringer sind als die Hübe der klemmenden Aktoren, kann sicheres Klemmen nicht mehr gewährleistet werden und der Antrieb verliert seine Funktionsfähigkeit. In diesem Zusammenhang ist die vom Antrieb verursachte Temperaturänderung für die Funktion kritisch, da aufgrund der

thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Komponenten ein solcher Antrieb schnell aus den ursprünglich engen Toleranzen gerät.

[0013] In der Folge sind derartige Antriebe bisher nicht für schnelle Bewegungen geeignet, da die Aktoren nicht mit hohen Frequenzen angesteuert werden können, insbesondere dann nicht, wenn es sich um große piezo- oder elektrostriktive Aktoren handelt.

[0014] Diese Klasse von Schrittantrieben wird im Folgenden als „Krabbelantrieb“ bezeichnet. Andere Krabbelantriebe, wie z.B. in DE 44 086 18 A1 und US 6,337,532 beschrieben sind zwar toleranter gegenüber geometrischen Veränderungen der mechanischen Komponenten aufgrund veränderlicher Temperatur, die Aktoren können aber nicht hochfrequent mit hoher Signalamplitude angesteuert werden, ohne die Aktoren damit zu zerstören, da die Aktoren sich dabei zu sehr aufheizen. Somit ist nicht bekannt, dass diese Klasse von Antrieben an die Geschwindigkeit von Ultraschallantrieben heranreicht.

[0015] Auch für die Klasse der nicht-resonanten Trägheitsantriebe und Mehraktorantriebe liegt ein Temperaturproblem vor bzw. limitiert die Wärmeentwicklung in den Aktoren deren breiteren Einsatz für Anwendungen, bei denen hohe Geschwindigkeiten und hohe Kräfte gewünscht oder erforderlich sind. Das ist besonders dann der Fall, wenn die im Zusammenhang mit Trägheitsantrieben und Mehraktorantriebe häufig zum Einsatz kommenden Sägezahnspannungen angelegt werden, da hierbei besonders viel Wärme im Aktor entsteht.

[0016] Es ist bekannt, Trägheitsantriebe (z.B. Piezo-Slip-Stick-Antriebe) mit elektrischen Signalen zu versorgen, um ein zu positionierendes Objekt mit einer hohen Bewegungsauflösung zu bewegen. Es ist allen Trägheitsantrieben gemein, dass eine Anpresskraft zwischen dem zu positionierenden Objekt und einer, die vom Aktor bewegten Reibfläche aufgebracht werden muss, da die Bewegung über eine Reibkraft übertragen wird. Die Anpresskraft wurde bei ersten Systemen über die Gravitation und/oder magnetische Kräfte erzeugt. In späteren, leistungsfähigen Systemen wurde die Anpresskraft mechanisch erzeugt.

[0017] Beispielhafte Ausführungen sind z.B. aus „Dynamic piezoelectric translation devices“ von D.W. Pohl (Review of Scientific Instruments, vol. 58 (1), Januar 1987, Seiten 54 bis 57) und WO 98/19347 A2 bekannt.

[0018] Ebenfalls sind Mehraktorantriebe bekannt, bei denen ein Objekt durch den Einsatz mehrerer Aktoren mit einer hohen Bewegungsauflösung positioniert wird, wobei hier die mehreren Aktoren in einer geeigneten Weise zusammenarbeiten, um gemeinsam ein zu positionieren-

des Objekt zu bewegen. Beispiele hierzu finden sich in EP 0 750 356 A1, dem prinzipiell identischen US 3,138,749, in WO 93/19494 A1 und in DE 10 2009 013 849 A1. Ähnlich wie bei Trägheitsantrieben muss eine Anpresskraft zwischen dem zu positionierenden Objekt und einer von den Aktoren bewegten Reibfläche aufgebracht werden.

[0019] Bei allen drei Klassen von Antrieben (Krabbelantrieb, Trägheitsantrieb und Mehraktorantrieb) handelt es sich um nicht-resonante Antriebe. Es werden also keine Eigenschwingungen ausgenutzt, um über einen oder mehrere Reibflächen ein Objekt voranzutreiben, sondern die Bewegungen der Aktoren werden über Reibflächen auf ein zu positionierendes Objekt übertragen, welches ununterbrochen im Reibkontakt mit den Reibflächen steht. In beiden Fällen hängt die Geschwindigkeit des Antriebs davon ab mit welcher Frequenz die Schritte durchgeführt werden und wie weit die einzelnen Schritte, je Ansteuersignalzyklus sind. Das heißt, dass der Einsatz von großen Aktoren (also mit hoher elektrischer Kapazität und in der Regel mit einem großen Hub), die dann mit einer hohen Frequenz angesteuert werden, zu einer hohen Geschwindigkeit führen sollte.

[0020] Jedoch zeigt die Praxis, dass solche Antriebe innerhalb kurzer Zeit (häufig innerhalb weniger Sekunden) einen Defekt aufweisen. Aufgrund der häufig gewählten Sägezahnspannungen, erwärmen sich die Aktoren noch viel schneller als es bei Ultraschallantrieben der Fall ist. Typische Defekte sind, dass die Aktoren der Antriebe, insbesondere im Falle von Piezoaktoren, einen geringeren inversen piezoelektrischen Effekt aufweisen als ursprünglich, so dass die Aktoren dramatisch an Geschwindigkeit und Kraft verlieren. In manchen Fällen kommt es auch zu mechanischen Ausfällen, wie z.B. Rissen in den Aktoren, die zu einem schlagartigen Ausfall der Antriebe führen können, insbesondere dann, wenn diese Risse zu einem Kurzschluss der Elektroden der Aktoren führen. Genauso verhält es sich, wenn statt einem großen Aktor mehrere kleinere Aktoren aufeinander gesetzt zum Einsatz kommen. Eine solche Aktorgruppe zeigt das gleiche Ausfallverhalten.

[0021] Alle piezoelektrischen, bzw. elektrostriktiven Antriebe weisen prinzipbedingt über die notwendige mechanische Ankopplung zum Abgriff der Aktorbewegung eine nur minimale thermische Anbindung der Aktoren an eine oder mehrere weitere Komponenten des Antriebs auf. Prinzipbedingt muss der mindestens eine Aktor an zwei Seiten mit den restlichen Komponenten des Antriebs verbunden sein. So ist z.B. bei den Trägheitsantrieben, wie beschrieben in EP1 894 258 A1 und dem oben bereits erwähnten Trägheitsantrieb von D.W. Pohl (Review of Scientific Instruments, vol. 58 (1), Januar 1987, Seiten 54 bis 57), der Aktor auf der einen Seite fest mit einem Rahmen verbunden und auf der anderen Seite mit ei-

nem Festkörpergelenk, welches die kraftübertragenden Struktur lokal führt. Jedoch ist eine solche, sich automatisch ergebende thermische Anbindung nicht ausreichend, um die in den Aktoren erzeugte Wärme so schnell abzuführen, dass die Antriebe schnell (hohe Frequenzen mit großen Hüben der Aktoren) und kräftig (hohe Beschleunigung der Aktoren mit großer Kraft) bewegt werden können. Wie der Stand der Technik zeigt, kommt es dabei zur lokalen Überhitzung der Aktoren mit der Folge, dass im besten Fall nur die Leistung der Antriebe nachlässt bis hin zu dem Fall, dass die Aktoren der Antriebe zerstört werden.

[0022] Bei bisher gut funktionierenden piezoelektrischen oder elektrostriktiven Trägheits- und Mehraktorantrieben werden zwei Ansätze verfolgt:

[0023] Im ersten Fall werden verhältnismäßig kleine Aktoren eingesetzt, die dann mit einer hohen Frequenz, auch mit der Nennspannung angesteuert werden können. Jedoch sind aufgrund der kleinen Aktoren (also in der Regel auch mit kleinen elektrischen Kapazitäten) die resultierenden Geschwindigkeiten und Kräfte nicht hoch.

[0024] Im zweiten Fall werden zwar große Aktoren, bzw. mehrere kleine in Reihe angeordnete Aktoren, eingesetzt, die dann aber nicht langfristig mit einer hohen Frequenz und mit Nennspannung betrieben werden, da das erfahrungsgemäß kurzfristig zum Ausfall führt. Statt dessen werden entweder nur geringe Frequenzen zur Ansteuerung genutzt, was dann zu einer langsamen Geschwindigkeit führt, oder es wird die Nennspannung der Ansteuersignale für den Dauerbetrieb reduziert, wenn hohe Frequenzen genutzt werden sollen, was wiederum die Geschwindigkeit gering hält und in der Regel auch zu einer Kraftreduktion der Antriebe führt.

[0025] In den Fällen, in denen hohe Geschwindigkeiten benötigt werden, werden in der Regel Ultraschallantriebe eingesetzt, jedoch auch hier verhindert es die Temperaturentwicklung in den Aktoren, das volle Potential der Technik auszunutzen. So werden z.B. die Ultraschallantriebe der Firma Elliptec nur mit einer Spannung von 5 V angesteuert, obwohl der verwendete Aktor mit einer Nennspannung von 54 V betrieben werden dürfte. Es wird also weniger als 1/10 der zulässigen Nennspannung und somit weniger als 1/100 der Leistung verwendet.

[0026] Es ist es von großem Interesse, die piezoelektrischen und elektrostriktiven Antriebe so weiterzuentwickeln, dass über eine aggressivere Ansteuerung der Aktoren (z.B. höhere Frequenzen und höhere Ansteueramplituden) höhere Geschwindigkeiten und höhere Kräfte zu erzielen sind.

[0027] Es gilt für die vom Aktor erzeugte thermische Leistung P:

$$P \approx \pi/4 \cdot \tan \delta \cdot f \cdot C \cdot U_{pp}^2$$

P	= Leistung, die in Wärme umgewandelt wird, in [W]
tan δ	= dielektrischer Verlustfaktor (üblicherweise im Bereich 0,01 bis 0,02)
f	= Ansteuerfrequenz [Hz]
C	= elektrische Kapazität [F]
U_{pp}	= Spannung [V]

[0028] Es ist zu erkennen, dass für gegebene Aktoren die Parameter der Ansteuerfrequenz und der Spannung (Spitze-Spitze) direkten Einfluss auf die Wärmeentwicklung haben. Steigt die Temperatur der Aktoren über die zulässige Betriebstemperatur hinaus, ist ein Schaden am Aktor zu erwarten.

[0029] Eine Integration von Temperatursensoren kann genutzt werden, um die Ansteuerung abzuschwächen, wenn die Aktoren der nicht-resonanten Trägheitsantriebe, Krabbelantriebe und Mehraktorantriebe zu heiß werden. Das mag dann zwar den Ausfall aufgrund defekter Aktoren verhindern, jedoch bleibt das Problem bestehen, dass die Antriebe nicht langfristig eine hohe Geschwindigkeit und eine hohe Kraft aufbringen können.

[0030] Eine der vorliegenden Erfindung zugrundeliegenden Aufgabe ist es, eine Antriebsvorrichtung und ein entsprechendes Verfahren vorzustellen, die eine schnelle Positionierung bzw. einen schnellen Antrieb, bzw. einen kräftigen Antrieb ermöglichen, indem die im Betrieb von den Aktoren entwickelte Wärme mit konstruktiven Mitteln effektiv auf eine ausreichend große Wärmesenke abgeleitet wird, so dass eine lokale Überhitzung der Aktoren verzögert, bzw. verhindert wird.

[0031] Die Aufgabe wird mit einer elektromechanischen Antriebsvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0032] Ebenso wird entsprechend dem Anspruch 15 ein nicht-resonantes Antriebsverfahren zur linearen und/oder rotatorischen Positionierung eines Objekts vorgeschlagen.

[0033] Der Erfindung liegt die folgende Erkenntnis zu Grunde:

Die Aktoren der piezoelektrischen und elektrostriktiven Antriebe können, wenn diese, wie noch beschrieben wird, so in den Antrieb eingebunden werden, dass deren im Betrieb entstehende lokale Wärme auf eine Wärmesenke abgeführt werden deutlich aggressiver, d.h. z.B. mit hohen Ansteueramplituden und hochfrequenter, angesteuert werden als es bei sonst gleicher Bauweise dem Stand der Technik nach mög-

lich ist. In Folge dessen lassen sich deutlich schnellere und kräftigere piezoelektrische und elektrostriktive Antriebe realisieren.

[0034] Mit dieser Erfindung werden die Grenzen in Bezug auf erreichbare Geschwindigkeiten und Kräfte für piezoelektrische und elektrostriktive Antriebe deutlich positiv verschoben. Es ist möglich, die Aktoren mit hohen Frequenzen auch bei Nennspannung zu betreiben, ohne dass die Aktoren dabei vorzeitig einen Ausfall aufgrund der lokalen Erwärmung zeigen.

[0035] Die hier vorgeschlagene Antriebstechnik kann für lineare und rotatorische Antriebsvorrichtungen verwendet werden. Es sind auch Antriebsvorrichtungen mit mehr als einem Freiheitsgrad möglich.

[0036] Erfindungsgemäße Antriebsvorrichtungen können im Grunde, wie für leistungsfähige piezoelektrische und elektrostriktive Antriebe üblich, in jeder Raumlage eingesetzt werden. Sie lassen sich somit auch untereinander kombinieren, um komplexere Positioniersysteme zu erhalten.

[0037] Die Abführung der von der Aktoren erzeugten Wärme auf eine Wärmesenke erfolgt über erfindungsgemäße Vorrichtungen und Verfahren, wobei für die Wärmeabfuhr stets konstruktive Maßnahmen vorgesehen sind. Einige beispielhafte Ansätze werden im Folgenden erläutert. Um die Erläuterungen einfach zu halten, erfolgen die Erklärungen im Folgenden hauptsächlich anhand eines einfachen Trägheitsantriebs.

[0038] Bei der Wärmesenke muss sich nicht unbedingt um einen vom Antrieb zu unterschiedenen Körper handeln. Die thermische Leistung der Aktoren im Betrieb ist an sich in der Regel nicht hoch. Daher kann es in vielen Fällen schon ausreichen, wenn die Wärme, die lokal zu zu hohen Temperaturen am Aktor führen kann, auf einige oder alle weiteren Komponenten des Antriebs verteilt wird, so dass die Aktoren keine Temperaturspitzen oberhalb der zulässigen Betriebstemperatur mehr erfahren. Sollten die thermischen Leistungen in Extremfällen doch zu hoch sein, so kann die Wärme noch immer auf eine separate Wärmesenke angeführt werden. Jedoch in den folgenden Beispielen wird zur Vereinfachung der Erklärung meist die stationäre Komponente des Antriebs als Wärmesenke herangezogen.

[0039] Eine erste Möglichkeit die Wärme abzuführen ist es, dass anstatt großer Aktoren (insbesondere Aktoren mit einer großen elektrischen Kapazität), die im Betrieb zur Überhitzung gebracht werden, mehrere kleine Aktoren (insbesondere jeweils mit einer kleineren Kapazität), vorzugsweise in Reihe, eingesetzt werden, die in der Summe einen Hub und eine Kraft in der Größenordnung des großen Aktors erreichen.

Zwischen den einzelnen Aktoren dieser Aktorgruppe können Platten (oder andere entsprechende Elemente, die nicht unbedingt eine plattenförmige Form haben müssen, wobei im hier im Allgemeinen vereinfachend nur auf Platten Bezug genommen wird), mit einer vorzugsweise hohen thermischen Leitfähigkeit gesetzt werden. Diese Platten führen die Wärme vom Inneren der Aktorguppe nach außen, so dass diese Wärme dann durch die Anbindung von wärmeleitfähigen Materialien an die vorgesehene Wärmesenke abtransportiert werden kann.

[0040] Grundsätzlich muss drauf geachtet werden, dass die Bewegung der Aktoren möglichst nicht gehemmt wird.

[0041] So kann z.B. eine Litze, die einerseits an die Platten zwischen den Aktoren und andererseits an der Wärmesenke befestigt ist, genutzt werden, so dass die Wärme über die Litze an die Senke gebracht wird. Hier bietet sich z.B. eine Kupferlitze an, die so ausgelegt sein, muss, dass die thermische Leistung des Aktors ausreichend abgeführt werden kann. Der Querschnitt darf nicht zu klein sein und die Länge der Litze solle möglichst kurz gehalten werden um einen effizienten Wärmeübergang zu ermöglichen. Da die Litze die Bewegung der Aktoren möglichst wenig hemmen soll, kann die Litze aber nicht beliebig dick und kurz sein. Es gilt im speziellen Einsatzfall einen guten Kompromiss zu finden.

[0042] Statt der Litze können auch Festkörpergelenke eingesetzt werden, die insbesondere in Bewegungsrichtung der Aktoren nachgiebig sind. D.h. ein für den Wärmeübergang bevorzugter großer Querschnitt ist möglich, ohne damit die Bewegung der Aktoren zu blockieren.

[0043] Die Platten können alternativ auch so ausgestaltet sein, dass diese bis an die Wärmesenke reichen, so dass die Wärme direkt von den Platten auf die Wärmesenke übertragen wird. Hier bietet sich es an die Platten in Form von Festkörpergelenken, wie zuvor beschrieben, auszuführen, damit die Bewegung der Aktoren so gering wie möglich beeinflusst wird.

[0044] Die platten-artigen Strukturen sind vorzugsweise so ausgestaltet, dass diese miteinander verbunden oder sogar monolithisch ausgeführt sind, da dieses die Handhabung der Teile bei der Fertigung der Antriebe deutlich vereinfacht.

[0045] Diese Strukturen können wiederum so ausgeführt sein, dass sie eine einzelne Aktorgruppe oder eine Vielzahl von Aktorgruppen (zwei oder mehr) aufnehmen können.

[0046] Es sei darauf hingewiesen, dass die Aktorgruppen einzeln und auch in einer Vielzahl (seriell

oder parallel) eingesetzt werden können. Insbesondere bei Mehraktorantrieben werden dann mehr als eine Aktorgruppe eingesetzt.

[0047] Es ist auch möglich, den mindestens einen Aktor so auszugestalten, dass in regelmäßigen oder unregelmäßigen Abständen schichten-ähnliche Strukturen (vorzugsweise mehrere Schichten) aus einem Material mit einer vorzugsweise hohen thermischen Leitfähigkeit eingebracht sind, die im Betrieb entstehende Wärme der Aktoren nach außen führen, wobei diese Wärme dann direkt oder indirekt an eine thermische Senke angebunden ist, wobei eine indirekte Anbindung vorzugsweise über nachgiebige Strukturen erfolgt, die die Bewegung der Aktoren nicht verhindern, wie z.B. Festkörpergelenke oder Litzen. Dabei ist es für den Abtransport der Wärme unerheblich, ob die Schichten gleichzeitig auch als Elektroden genutzt werden, so dass sich ein sogenannter Mehrlagenaktor-Aktor (Multilayer-Aktor) ergibt. Es muss bei der Auslegung der Schichten beachtet werden, dass die Schichten ein ausreichend großes Volumen und eine ausreichend gute thermische Leitfähigkeit aufweisen, um die Wärme, die im Aktor im Betrieb entsteht, nach Außen abzuführen.

[0048] Die indirekte Anbindung an die Wärmesenke sollte vorzugsweise über nachgiebige Strukturen erfolgen, die die Bewegung der Aktoren nicht verhindern, wie z.B. Festkörpergelenke oder Litzen. Im Falle einer direkten Anbindung bietet es sich an, die Anbindung auf der nicht-beweglichen Seite des Aktors zu realisieren, oder die Wärmesenke muss selber nachgiebige Strukturen aufweisen, die die Bewegungen der Aktorik mitmachen kann, so dass die Bewegung der Aktoren nicht verhindert wird.

[0049] Es bietet sich an, dass die direkte oder indirekte thermische Anbindung über die Fläche erfolgt, die bei Mehrlagenaktoren in der Regel auch zur elektrischen Kontaktierung genutzt wird (Elektroden), da hierüber eine sehr gute, haltbare Anbindung möglich ist. Die Elektroden können dann bei einer indirekten Anbindung z.B. über Festkörpergelenke angebunden werden, die den Kontakt zur Wärmesenke herstellen. Vorzugsweise wird gelötet oder geklebt, da das bereits etablierte Verfahren für die Kontaktierung der Elektroden sind. Für Befestigungen im beweglichen Bereich der Aktoren sind nachgiebige Strukturen zu wählen, da die Bewegung der Aktoren möglichst wenig gehemmt werden sollen. Schleifende Verbindungen sind möglichst zu vermeiden, da ansonsten ein Verschleiß zu erwarten ist, der die Funktion des Antriebs schnell negativ beeinflussen kann.

[0050] Die Elektroden können dann bei einer indirekten Anbindung z.B. über Festkörpergelenke angebunden werden, die den Kontakt zur Wärmesenke herstellen. Vorzugsweise wird gelötet oder geklebt, da das bereits etablierte Verfahren für die Kontak-

tierung der Elektroden sind. Festkörpergelenke sind hier gegenüber steifen Anbindungen zu bevorzugen, da die Aktoren in Bewegung sind. Diese Bewegung soll möglichst wenig gehemmt werden. Schleifende Verbindungen sind allerdings zu vermeiden, da ansonsten ein Verschleiß zu erwarten ist, der die Funktion des Antriebs schnell negativ beeinflussen kann.

[0051] Neben Festkörpergelenken können auch andere nachgiebige Strukturen angebracht werden, wie z.B. eine Litze. Diese sollte dann auf möglichst kurzem Weg an die Wärmesenke geführt und dort befestigt werden, so dass die Wärme der Aktoren an die Wärmesenke abgegeben werden kann. Prinzipiell kann die Wärmeübertragung auch über mit dem Aktor in Verbindung stehenden Platinen erfolgen. Dabei muss weiterhin darauf geachtet werden, dass die Platine die Bewegung des Aktors nicht stört und dass die Platine, oder die auf oder in der Platine befindlichen Materialien (z.B. Kupferleiterbahnen) eine ausreichend gute Fähigkeit zur Wärmeübertragung aufweisen.

[0052] Eine weitere Möglichkeit, die Wärme abzutransportieren, ist es, die freien Flächen der Aktoren, also die Flächen, die zugänglich sind und die nicht als Elektrodenfläche genutzt werden) direkt oder indirekt mit der Wärmesenke in Kontakt gebracht zu bringen. Dabei gibt es vielfältige Möglichkeiten, wie z.B. Kleben, Löten (z.B. wenn die Fläche zuvor metallisiert wurde) und Klemmen. Wichtig ist dabei stets, dass die Bewegung der Aktoren dabei möglichst wenig Hemmung erfährt. Im Falle einer direkten Anbindung ist es zu bevorzugen, die Anbindung über nachgiebige Strukturen zu realisieren, die direkt in die Wärmesenke eingearbeitet sind, oder die Anbindung auf der Seite zu realisieren, auf der der Aktor seine unbewegliche Masse hat. Die indirekte Anbindung an die Wärmesenke sollte vorzugsweise über nachgiebige Strukturen erfolgen, die die Bewegung der Aktoren nicht verhindern, wie z.B. Festkörpergelenke oder Litzen oder eine wärmeleitende weiche Füllmasse. Für den Fall, dass eine Füllmasse eingesetzt wird, muss darauf geachtet werden, dass diese nachgiebig oder beweglich (insbesondere elastisch) genug ist, um die Bewegung der Aktoren nicht zu hemmen. Eine solche Füllmasse kann auch in Kombination mit den wärmeleitenden nachgiebigen Strukturen eingesetzt werden. Damit ist es dann nicht zwingend notwendig, dass die Füllmasse bis an die Flächen des mindestens einen Aktors heranreicht, da die Füllmasse die wärmeleitenden nachgiebigen Strukturen beim Abtransport der Wärme unterstützt. Bevorzugt wird aber beim Einsatz der Füllmasse, dass diese in Kontakt mit mindestens einer Fläche des mindestens einen Aktors steht.

[0053] Eine Kombination der verschiedenen erfindungsgemäßen Ansätze ist möglich. Hierdurch wird ein besonders guter Wärmeübergang realisiert.

[0054] Darüber hinaus ist es selbstverständlich weiterhin möglich die Temperatur zu überwachen, um im Falle von zu hohen Temperaturen, z.B. durch die Reduktion der Leistung reagieren zu können um einen Schaden der Aktoren zu verhindern.

[0055] Im Folgenden werden anhand verschiedener Abbildungen beispielhafte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtungen vorgestellt. Das erfindungsgemäße Antriebsverfahren wird anhand einer Abbildung erläutert.

[0056] Bevorzugte und vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind insbesondere in den abhängigen Ansprüchen definiert, wobei zu verstehen ist, dass eine Ausführungsform, die im Zusammenhang mit einem erfindungsgemäßen Verfahren beschrieben ist ebenso als Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zu verstehen ist, was auch umgekehrt gilt.

[0057] Im Folgenden wird die Erfindung anhand beispielhafter Ausführungsbeispiele unter Bezug auf die beiliegenden Figuren näher erläutert. Es handelt sich lediglich um Beispiele, die keinesfalls einschränkend wirken sollen.

[0058] Hierbei zeigt

[0059] Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Trägheitsantriebsvorrichtung gemäß dem Stand der Technik,

[0060] Fig. 2 eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung,

[0061] Fig. 3 eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung,

[0062] Fig. 4 eine schematische Darstellung eines dritten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung,

[0063] Fig. 5 eine schematische Darstellung eines vierten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung,

[0064] Fig. 6 eine schematische Darstellung eines fünften Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung,

[0065] Fig. 7 eine schematische Darstellung eines sechsten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung

[0066] Fig. 8 eine schematische Darstellung eines siebten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung

[0067] Fig. 9 eine schematische Darstellung eines achten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung

[0068] Fig. 10 ein schematisches Ablaufdiagramm eines erfindungsgemäßen Antriebsverfahrens.

[0069] Fig. 1 zeigt eine Prinzipskizze eines Trägheitsantriebs mit entsprechender, typischer Sägezahnsteuerung.

[0070] An dieser Stelle wird nur das Arbeitsprinzip eines Trägheitsantriebs erläutert, da sich der Trägheitsantrieb für die folgenden Erläuterungen der erfindungsgemäßen Antriebe aufgrund des sehr einfachen Aufbaus besonders gut eignet. Zum grundsätzlichen Funktionsprinzip der anderen piezoelektrischen und elektrostriktiven Antriebe, wie z.B. Ultraschallantriebe, Mehraktorantriebe und Krabbelantriebe gibt die Fachliteratur Auskunft, wobei zudem der Fachmann mit den entsprechenden Detail ohnehin so vertraut ist, dass eingehendere Erläuterungen nicht nötig sind.

[0071] Zum Aufbau: In Trägheitsantrieben ist ein Aktor (11) vorgesehen, der mit einem sägezahn-ähnlichen, periodischen Signal beaufschlagt wird. Aus der Fachliteratur sind viele weitere geeignete Kurvenformen bekannt. Der Aktor (11) kann monolithisch ausgeführt sein, aber auch als Mehrlagenaktor. Der Aktor (11) ist üblicherweise mit einer kraftübertragenden Struktur (12) verbunden, die von dem Aktor (11) lokal bewegt werden kann. Die kraftübertragende Struktur (12) kann vielfältig ausgestaltet sein. So kann diese z.B. den Hub des Aktors (11) auch umlenken und den Hub z.B. über Hebelwirkungen vergrößern oder auch verkleinern. Ein Teil der kraftübertragenden Struktur (12) steht mit einem zu bewegenden Läufer (13) in Reibkontakt, so dass der Läufer den Bewegungen der kraftübertragenden Struktur folgt, solange keine zu hohen Beschleunigungen oder Kräfte auf den Läufer (13) wirken, die der jeweiligen Bewegung der kraftübertragenden Struktur (12) entgegenstehen. Der Läufer ist üblicherweise gegenüber einer stationären Komponente (14) beweglich gelagert. Es sei hier noch darauf hingewiesen, dass auch die Komponente (14) als beweglich betrachtet werden kann, wobei dann das Objekt (13) zur stationären Komponente wird.

[0072] Zum Bewegungszyklus: Anhand der Bezeichnungen „I, II, III, IV“ sind die typischen Abschnitte eines Bewegungszyklus dargestellt.

[0073] I stellt den Ausgangszustand dar.

[0074] II stellt die Situation dar, nachdem der Aktor (11) mit einem langsam erhöhten Signal beaufschlagt wurde. In der Folge hat sich der Aktor (11) ausgedehnt und dabei die kraftübertragenden Komponente

(12) mitbewegt. Der mit der kraftübertragenden Komponente (12) im Reibkontakt stehende Läufer (13) folgt der Bewegung entsprechend.

[0075] III stellt die Situation dar, nachdem das am Aktor (11) anliegende Signal schlagartig zurückgenommen wurde. In der Folge hat der Aktor (11) seine ursprüngliche Länge sprunghaft wieder angenommen und dabei die kraftübertragenden Komponente (12) entsprechend mitgenommen und dabei stark beschleunigt. Dieser hohen Beschleunigung konnte der Läufer (13) aufgrund der Massenträgheit nicht folgen, so dass dieser gegenüber der kraftübertragenden Komponente (12) verrutscht, so dass nun der Aktor (11) zwar seine ursprüngliche Länge hat, der Läufer (13) aber ein Stück nach links verschoben ist. Wir dieser Zyklus wiederholt, so verfährt der Läufer (13) ein weiteres Stück.

[0076] IV stellt den Zustand während der nächsten langsam steigenden Flanke dar. Hier wird der Läufer (13) wieder parallel zur Auslenkung des Aktors (11) mitbewegt.

[0077] Zur Feinpositionierung kann der Aktor (11) und damit der Läufer (13) quasi-statisch durch langsam variierende Steuersignale in die gewünschte Lage gebracht werden, so dass eine Bewegungsauflösung vorliegt, die deutlich feiner als die Schrittweite ist. Der Begriff „Schrittweite“ bezeichnet hier die Strecke, die der Läufer nach Durchlaufen eines Sägezahn der Ansteuerung versetzt wurde.

[0078] Soll die Bewegung nicht nach links, sondern nach rechts erfolgen, so muss die langsame Flanke fallen und die schnelle Flanke steigen.

[0079] Durch ein wiederholtes Anlegen dieses Zyklus kann der Läufer (13) mit einer sehr hohen Bewegungsauflösung über große Strecken, die größer sein können als der Hub der eingesetzten Aktorik, bewegt werden.

[0080] Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung anhand eines Trägheitsantriebs. Zu erkennen ist, dass der in Fig. 1 gezeigte Aktor (11) nicht mehr vorhanden ist, sondern dass stattdessen mehrere kleinere Aktoren (21a, 21b, 21c) genutzt werden. Dabei können prinzipiell zwei oder mehr Aktoren verwendet werden. Zwischen den Aktoren sind platten-ähnliche Strukturen (25a, 25b) angeordnet. Vorzugsweise haben diese Platten eine hohe thermische Leitfähigkeit. Die Platten sind thermisch über die Strukturen (26a, 26b) an die Wärmesenke (24), die im dargestellten Fall gleichzeitig die stationäre Komponente (24) darstellt, angebunden, so dass die im inneren der Aktoren (21a, 21b, 21c) entstehende Wärme, bzw., die Wärme, die im Aktor (11) aus Fig. 1 im Inneren entstanden wäre, gut an die

Wärmesenke abgeführt wird. In Folge dessen wird die lokale Aufheizung der Aktoren, die zur Zerstörung der Aktoren führen kann, verhindert. Bei den Strukturen (26a, 26b) kann es sich z.B. um thermisch gut leitende Litzen (z.B. Kupferlitzen) oder z.B. um Festkörpergelenke handeln. Wichtig ist, dass diese Strukturen die freie Bewegung der Aktoren (21a, 21b, 21c) möglichst wenig beschränken.

[0081] Es ist in der Fig. 2 zwar nicht dargestellt, aber es ist vorteilhaft die kraftübertragende Struktur (22) ebenfalls mit einer Struktur wie die Strukturen (26a, 26b) an die Wärmesenke (24) thermisch anzubinden.

[0082] Es kann auch vorgesehen werden (ebenfalls nicht dargestellt), dass zwischen dem Aktor (21c) und der kraftübertragenden Struktur (22) eine plattenähnliche Struktur entsprechend den plattenähnlichen Strukturen (25a, 25b) vorgesehen ist, die ebenfalls thermisch mit der einen oder auch einer anderen Wärmesenke verbunden ist.

[0083] Selbstverständlich kann statt der stationären Komponente (24) auch ein anderes Objekt als Wärmesenke genutzt werden. Es ist auch möglich die Wärmesenke aktiv auf einer Temperatur zu halten.

[0084] Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung anhand eines Trägheitsantriebs. Der Aufbau ist dem ersten Ausführungsbeispiel ähnlich. Konkret wird bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel die thermische Anbindung der Aktoren (31a, 31b, 31c) über Festkörpergelenke (26a, 26b) realisiert. Diese Festkörpergelenke (26a, 26b) erlauben die freie Bewegung der Aktoren (31a, 31b, 31c) und ermöglichen eine gute thermische Anbindung an die thermische Senke (24).

[0085] Festkörpergelenke können dem Stand der Technik so ausgelegt werden, dass einige Freiheitsgrade gesperrt werden, während andere nicht gesperrt werden. Das kann für die erfindungsgemäßen Antriebe einen wertvollen Zusatznutzen bringen. So können die Festkörpergelenke so ausgelegt werden, dass die Bewegung der Aktoren entlang der Schubrichtung des Läufers nicht gehemmt werden, aber alle anderen linearen Bewegungen entsprechend gehemmt werden. Bereits ein Festkörpergelenk in Form einer Blattfeder hat diese Eigenschaft. Das hat zur Folge, dass die ersten Biegemoden gehemmt, bzw. in einen höheren Frequenzbereich verschoben werden. Das ist insbesondere bei lang bauenden Aktorgruppen von Interesse, da diese dann mit höheren Frequenzen angesteuert werden können, ohne dass die Aktoren sich aufschwingen, im Vergleich zu Aktorgruppen ohne die Anbindung über solche Festkörpergelenke.

[0086] Es ist von Vorteil, wenn auch nicht notwendig, wenn die plattenähnlichen Strukturen (**35a**, **35b**) aus einem Stück mit den Festkörpergelenken (**36a**, **36b**) gefertigt werden, da so eine idealer Wärmeübergang gewährleistet ist und die Fertigung besonders einfach ausfällt.

[0087] Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung eines dritten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung anhand eines Trägheitsantriebs. Der Aufbau ist dem zweiten Ausführungsbeispiel ähnlich. Bei diesem Beispiel wird deutlich gemacht, dass die Festkörpergelenke (**46a**, **46b**) auch gleich einteilig mit der Wärmesenke (**44**) gefertigt werden können, was wiederum vorteilhaft für einen guten Wärmeübergang zur Wärmesenke ist.

[0088] Fig. 5 zeigt eine schematische Darstellung eines vierten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung anhand eines Trägheitsantriebs. Die Struktur (**57**) beinhaltet sowohl die Platten (**55a**, **55b**), die zwischen den Aktoren (**51a**, **51b**, **51c**) aufgenommen sind, als auch die Festkörpergelenke (**56a**, **56b**). Vorzugsweise ist die Struktur (**57**) einteilig gefertigt. Es ist in der Fig. 5 zwar nicht dargestellt, aber es ist vorteilhaft, die kraftübertragende Struktur (**52**) ebenfalls thermisch an die Struktur (**57**) anzubinden. Von Vorteil ist, wenn die kraftübertragende Struktur (**52**) auch Teil einer idealerweise einteilig gefertigten Struktur (**57**) ist.

[0089] Anhand Fig. 6 wird ein Beispiel gezeigt, wie eine solche Struktur die kraftübertragende Struktur bilden kann. Die Struktur (**57**) des Ausführungsbeispiels aus der Fig. 5 kann an, bzw. in der stationäre Komponente (**54**) befestigt werden. Die Funktion der Wärmesenke wird in diesem Fall sowohl von der Struktur (**57**), als auch von der stationären Komponente (**54**) übernommen.

[0090] Fig. 6 zeigt eine schematische Darstellung eines fünften Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung anhand eines Antriebs, der entsprechend dem Prinzip eines Trägheitsantriebs oder eines Mehraktorantriebs betrieben werden kann. Gezeigt sind zwei Aktorguppen („ga“ bzw. „gb“) die jeweils eine kraftübertragende Struktur (**66a** bzw. **66b**) beschleunigen können. Die kraftübertragenden Strukturen (**66a** und **66b**) stehen mit dem Läufer (**63**) in Reibkontakt und können diesen wahlweise gemäß dem Prinzip eines Trägheitsantriebs oder einer Mehraktorantriebs vorantreiben. Selbstverständlich ist die Anzahl der Aktorguppen beliebig. Gleiches gilt für die Anzahl von Aktoren in den jeweiligen Aktorguppen. Im dargestellten Ausführungsbeispiel werden die Bewegungen der Aktoren durch die wärmeübertragende Struktur (**67**) nicht behindert, da geeignete Federgelenke eingesetzt werden, die in Bewegungsrichtung der Aktoren nachgiebig sind. Selbstverständlich können statt Federgelenke auch

andere Strukturen, wie z.B. Litzen verwendet werden. Im dargestellten Ausführungsbeispiel stehen sowohl die zwischen den Aktoren befindlichen plattenähnliche Strukturen, als auch die kraftübertragenden Strukturen in guter thermischer Anbindung mit dem Rest der Struktur (**67**). Die Struktur (**67**) des Ausführungsbeispiels aus der Fig. 6 kann an, bzw. in der stationären Komponente (**64**) befestigt werden. Die Funktion der Wärmesenke wird in diesem Fall sowohl von der Struktur (**67**), als auch von der stationären Komponente (**64**) übernommen. Prinzipiell ist es auch möglich, eine andere Wärmesenke zu wählen, mit der die Struktur (**67**) in Kontakt gebracht wird. Das kann insbesondere dann von Interesse sein, wenn die sonstigen Komponenten des Antriebs nicht betriebsabhängigen Temperaturschwankungen unterworfen sein sollen. Auch eine einteilige Ausführung von stationärer Komponente (**64**) und Struktur (**67**) ist möglich.

[0091] Fig. 7 zeigt eine schematische Darstellung eines sechsten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung anhand eines Trägheitsantriebs. Zu erkennen ist, dass ein Aktor (**71**) zum Einsatz kommt, der mit Elektrodenschichten (**75**) im Inneren versehen ist. Dargestellt ist das durch einen virtuellen Schnitt durch den Aktor, so dass der innere Aufbau schematisch zu erkennen ist. Die thermisch angebondenen Elektroden (**75**) sind für eine bessere Visualisierung dicker dargestellt es die in der Fig. 7 nicht angebondenen Elektroden. Die Elektroden (**75**) durchziehen den Aktor, so dass diese beim Erwärmen des Aktors die Wärme gut aufnehmen und an einen äußeren Terminal (**77**) weiterleiten können. Dieser Terminal (**77**) kann direkt mit einer Wärmesenke in Kontakt stehen, oder indirekt, so wie in der Fig. 7, wo die Strukturen (**76**) die Wärme vom Terminal (**77**) aufnehmen und an die Wärmesenke (**74**) abgeben. Die Strukturen (**76**) können beliebige Formen annehmen. Bevorzugt ist die Ausprägung als Festkörpergelenk oder als thermisch gut leitende Litze mit einem ausreichend großen Querschnitt und einer idealerweise kurzen Länge. Es ist nicht notwendig, dass die in den Aktor eingezogenen Schichten auch als Elektrode(n) genutzt werden. Es reicht, wenn die Schichten für die Wärmeableitung herangezogen werden. Wichtig ist, dass die Schichten in Kombination mit dem Terminal (**77**) die Bewegung des Aktors (**71**) nicht behindern. Hierfür kann der Terminal (**77**) z.B. nachgiebig gestaltet werden, z.B. durch eine ausreichend dünne, vorzugsweise metallische, Schicht, die aber noch dick genug ist, um die Wärme an die Strukturen (**76**) weiterzuleiten, oder indem nachgiebige Strukturen in die Schichten bzw. in den Terminal (**77**) vorgesehen werden.

[0092] Die Kabel, die genutzt werden, um den Aktor elektrisch mit der Quelle der Steuersignale zu verbinden, können nicht als thermische Anbindung betrachtet werden. Diese Kabel haben nicht das Poten-

tial Wärmeleistung im nennenswerten Umfang abtransportieren. Zunächst sind die Kabel dem Stand der Technik nach dafür zu dünn und in der Regel auch zu lang, so dass die Wärmeleitfähigkeit praktisch nicht nutzbar ist. Im Gegensatz dazu muss für die Struktur (76) eine Form gewählt werden, die einen großen Querschnitt aufweist und idealerweise möglichst kurz ist, ohne die Bewegung der Aktoren dabei zu sehr zu behindern. Hinzu kommt, dass die Kabel im Betrieb aufgrund eines hohen Stroms selber Wärme erzeugen. Als Struktur (76) bieten sich beispielsweise Festkörpergelenke oder korrekt ausgelegte Litzen, wie z.B. aus dem Bereich der Cryotechnik bekannt, an. Wichtig ist auf jedem Fall, dass diese Strukturen (76) die Bewegung der Aktoren so wenig wie möglich hemmen.

[0093] Fig. 8 zeigt eine schematische Darstellung eines siebten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung anhand eines Trägheitsantriebs. Die Wärme des Aktors (81) kann auch an Flächen abgegriffen werden, die nicht als Elektrode genutzt werden oder die nicht mit evtl. eingezogenen Schichten verbunden sind. Hierzu wird, wie in Fig. 8 schematisch dargestellt, mindestens eine Fläche des Aktors (81), bei dem es sich sowohl um einen monolithischen, oder auch um einen Mehrlagenaktor handeln kann, mit einer Kontaktstruktur (85) in Kontakt gebracht. Diese Kontaktstruktur muss so ausgebildet sein, dass diese die Bewegung des Aktors so wenig wie möglich behindert. Es ist möglich, die Kontaktstruktur durch eine ausreichend dünne, vorzugsweise metallische, Schicht zu realisieren, die die Bewegung der Aktoren nicht behindert aber ausreichend dick ist um die Wärme der Aktoren direkt oder indirekt an die Wärmesenke abzuführen. An einer solchen Kontaktfläche können die nachgiebigen Strukturen (86) sehr gut befestigt werden, z.B. durch Löten oder Kleben, während ein guter thermischer Übergang gewährleistet werden kann. Selbstverständlich können die nachgiebigen Strukturen (86) auch direkt, ohne den Einsatz einer Kontaktfläche oder einer Kontaktstruktur (85) an den Aktor (81) geführt werden. Bevorzugt wird aber der Einsatz einer räumlichen Kontaktstruktur (85), an die die Strukturen (86) und/oder die kraftübertragende Struktur (82) und/oder die stationäre Komponente (84) angebunden sind. Hier bietet es sich beispielsweise an die Kontaktstruktur (85) wie in der Fig. 8 dargestellt mäanderförmig auszugestalten. Das erlaubt die freie Bewegung der Aktoren, da die Mäanderform eine hohe Nachgiebigkeit in Bewegungsrichtung aufweist. Aufgrund der vielen Kontakte mit dem Aktor (81) kann die Wärme des Aktors gut von der Kontaktstruktur (84) aufgenommen und an die Struktur (86) weitergegeben werden. Die Strukturen (86) und die Kontaktstruktur (84) können vorzugsweise einteilig ausgeführt werden. Eine einteilige Ausführung samt der stationären Komponente (84) ist ebenfalls möglich.

[0094] Fig. 9a zeigt eine schematische Darstellung eines achten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung anhand eines Trägheitsantriebs. Die Wärme des Aktors (91) kann auch an dessen Flächen abgegriffen werden. Hierzu wird, wie in Fig. 9 schematisch dargestellt mindestens eine Fläche des Aktors (91), bei dem es sich sowohl um einen monolithischen, oder auch um einen Mehrlagenaktor handeln kann, mit einer wärmeleitenden, nachgiebigen Kontaktmasse (98) in Kontakt gebracht. (Die Kontaktmasse ist mit einer Kreuzschraffur gekennzeichnet). Diese Kontaktmasse muss eine derartige Konsistenz aufweisen, dass diese die Bewegung des Aktors so wenig wie möglich behindert. Vorzugsweise hat die Kontaktmasse eine Konsistenz, die ihre Form beibehält. Es ist aber auch möglich, dass diese Füllmasse flüssig ist oder aus einem feinen Schüttgut besteht. Die Kontaktmasse kann sehr gut in Kombination mit anderen wärmeleitenden Strukturen eingesetzt werden, wie beispielhaft anhand der Fig. 9b gezeigt wird.

[0095] Fig. 9b zeigt eine schematische Darstellung einer Kombination aus dem dritten Ausführungsbeispiel und dem achten Ausführungsbeispiel. Die Wärme des Aktors (91) wird bei diesem Beispiel an dessen Flächen durch die Kontaktmasse (98) (visualisiert durch eine Kreuzschraffur) abgegriffen und parallel durch die Festkörpergelenke (96a, 96b), die in diesem Beispiel auch gleich einteilig mit der Wärmesenke (94) ausgeführt sind, so dass die Wärme effizient an die Wärmesenke (94) geführt wird. Eine solche, beispielhafte Kombination ist vorteilhaft für einen guten Wärmeübergang zur Wärmesenke.

[0096] Fig. 10 zeigt ein schematisches Ablaufdiagramm eines erfindungsgemäßen Antriebsverfahrens. Das Antriebsverfahren 100 umfasst die Schritte Anordnen 101 einer Reibfläche einer kraftübertragenden Struktur mit einer Objektoberfläche des anzutreibenden Läufers und Bereitstellen 102 einer Anpresskraft zum Anpressen der Reibfläche an die Objektoberfläche, wobei die Anpresskraft eine senkrecht zu einer Bewegungsrichtung des Objekts gerichtete Komponente aufweist.

[0097] Im Anschluss an Schritt 102 werden die Schritte des Positionierens des Läufers wahlweise über die Positionierung mittels des Trägheitsantriebsprinzips 103 oder die Positionierung mittels des Prinzips eines Mehraktorantriebs 104 oder mittels des Prinzips eines Krabbelantriebs 105 oder mittels des Prinzips eines Ultraschallantriebs 106 erzeugt. Im Schritt 107 wird die in den Aktoren im Betrieb erzeugte Wärme mittels thermisch leitfähigen Vorrichtungen nach Außen transportiert. Im Schritt 108 wird die in den Aktoren erzeugte Wärme indirekt über eine wärmeleitende Struktur an eine Wärmesenke abgeführt, die mit den Aktoren in Kontakt steht und die die Bewegung der Aktoren weiterhin zulässt, oder im Schritt

109 wird die in den Aktoren erzeugte Wärme direkt an die Wärmesenke abgeführt, wobei die mit den Aktoren in Kontakt stehende Wärmesenke die Bewegung der Aktoren weiterhin zulässt, wobei die Schritte **108** und **109** wahlweise einzeln oder auch parallel durchgeführt werden können.

[0098] Auch wenn die oben diskutierten Ausführungsbeispiele sich vornehmlich auf eine lineare Bewegung beziehen, ist die Erfindung nicht auf eine solche lineare Bewegung beschränkt und eine rotatorische Bewegung sowie zusammengesetzte Bewegungen und Positionierungen sind ebenfalls möglich.

[0099] In einer Ausführungsform der Erfindung erfolgt eine Positionierung eines zu bewegendes Objektes mittels vorzugsweise piezoelektrischer Aktorik.

[0100] Es kann zudem vorgesehen sein, dass eine mechanische Führung die Bewegungsrichtung des anzutreibenden Objektes vorgibt, wobei es sich entweder um eine separate Führung (bzw. Lager) oder eine in den Antrieb integrierte Führung handeln kann.

[0101] Es kann vorgesehen sein, dass die kraftübertragende Struktur die Bewegungsrichtung der Aktorik umlenkt und/oder über Hebelstrukturen den am Reibkontakt abgreifbaren Hub der Aktoren vergrößert oder verkleinert.

[0102] Es können mehrere Antriebe parallel eingesetzt werden, wobei es sowohl möglich ist diese Antriebe entweder mit identischen Ansteuerkurven anzusteuern, oder auch alternativ mit versetzten Ansteuerkurven mit gleicher Periodenlänge, oder mit Ansteuerkurven, bei denen eine oder mehrere Periodenlängen ein ganzes Vielfaches der anderen Periodenlängen ist.

[0103] Die vorliegende Erfindung wurde insbesondere in den Ausführungsbeispielen in der Weise beschrieben, dass die Antriebsvorrichtung als solche ortsfest ist, während das zu bewegendes Objekt relativ zur Antriebsvorrichtung und damit auch absolut bewegt wird. Es muss jedoch verstanden werden, dass die Bewegung zwischen Antriebsvorrichtung und Objekt primär als die Relativbewegung zwischen diesen Elementen zu verstehen ist. Es ist ebenfalls möglich, dass die Bewegung zwischen Objekt und Antriebsvorrichtung sich als eine absolute Bewegung der Antriebsvorrichtung äußert, wobei dann das Objekt absolut gesehen ortsfest bleiben würde. Ebenso ist es möglich, dass die Relativbewegung zu einer jeweiligen Absolutbewegung von sowohl Antriebsvorrichtung als auch Objekt (in jeweils entgegengesetzter Richtung) führt.

[0104] In einer Ausgestaltung sieht die Erfindung eine piezoelektrische oder elektrostriktive Antriebsvorrichtung vor zur linearen und/oder rotatorischen Posi-

tionierung mindestens eines Läufers über eine Strecke bis in den Bereich jenseits des einfachen Hubs des mindestens einen Aktors, der die Reibfläche mindestens einer kraftübertragenden Struktur vor- und zurückbewegt, um den oder die in Reibkontakt stehenden Läufer anzutreiben, wobei der mindestens eine Aktor über die übliche zweiseitige, mechanische Anbindung hinaus über mindestens eine thermisch leitfähige Struktur mechanisch so an eine oder mehrere thermische Senken angebunden ist, dass ein erheblicher Teil der vom Aktor im Betrieb erzeugten Wärme an die thermische Senke abgeführt wird, wobei die thermische Anbindung mindestens eine vorzugsweise elastische Komponente aufweist, welche der lokalen Bewegung des Aktors folgen kann, so dass die Bewegung des mindestens einen Aktors nicht behindert oder gar verhindert wird.

[0105] In einer anderen Ausgestaltung sieht die Erfindung ein piezoelektrische oder elektrostriktive Antriebsvorrichtung vor zur linearen und/oder rotatorischen Positionierung mindestens eines Läufers über eine Strecke bis in den Bereich jenseits des einfachen Hubs des mindestens einen Aktors, der die Reibfläche mindestens einer kraftübertragenden Struktur vor- und zurückbewegt, um den oder die in Reibkontakt stehenden Läufer anzutreiben, wobei der mindestens eine Aktor mit mindestens einer wärmeableitenden Struktur ausgestattet ist, welche die Bewegung des Aktors aufgrund einer vorzugsweise elastischen Ausführung mitmacht, wobei die mindestens eine thermisch leitfähige Struktur mechanisch an eine oder mehrere thermische Senken angebunden ist, so dass ein erheblicher Teil der vom Aktor im Betrieb erzeugten Wärme an die thermische Senke abgeführt wird.

[0106] In einer Variante der obigen Ausgestaltung bilden mehrere Aktoren eine Aktorgruppe, die gemeinsam die mindestens eine kraftübertragende Struktur bewegen, wobei zwischen den Aktoren mindestens eine platten-ähnliche Struktur, aus einem Material, welches vorzugsweise eine hohe thermische Leitfähigkeit aufweist, angeordnet ist, die über eine direkte oder indirekten Anbindung an eine Wärmesenke Wärme der Aktoren abführt.

[0107] In einer Modifikation dieser Variante erfolgt die Anbindung der mindestens einen platten-ähnlichen Struktur an die Wärmesenke über mindestens eine verformbare Struktur, welche mindestens in Bewegungsrichtung der Aktoren lokal nachgiebig ist und so die Bewegung der Aktoren zulässt, wobei es sich bei dem nachgiebigen Teil der Struktur um Litze handelt, die nahezu verschleißfrei der Bewegung der Aktoren folgen kann.

[0108] In einer anderen Modifikation dieser Variante erfolgt die Anbindung der mindestens einen platten-ähnlichen Struktur an die Wärmesenke über mindes-

tens eine verformbare Struktur, welche mindestens in Bewegungsrichtung der Aktoren lokal nachgiebig ist und so die Bewegung der Aktoren zulässt, wobei es sich bei dem nachgiebigen Teil der Struktur um Festkörpergelenke handelt, die nahezu verschleißfrei der Bewegung der Aktoren folgen können.

[0109] In einer Weiterbildung dieser anderen Modifikation bilden die zwischen den Aktoren angeordneten platten-ähnlichen Strukturen eine zusammenhängender Struktur, die vorzugsweise aus einem Teil gefertigt ist und aus einem Material mit hoher thermischer Leitfähigkeit besteht, wobei die Verbindung zwischen den platten-ähnlichen Strukturen über elastisch verformbare Bereiche verfügt, die die Bewegung der Aktoren erlaubt. Insbesondere weist hierbei die die platten-ähnliche Struktur umfassende, zusammenhängende Struktur mehr als eine Aktorgruppe auf, die jeweils eine eigene kraftübertragenden Struktur lokal bewegen.

[0110] In einer anderen Variante der obigen Ausgestaltungen ist der mindestens eine Aktor so ausgestaltet ist, dass in (regelmäßigen oder unregelmäßigen) Abständen eingebrachte schichten-ähnliche Strukturen aus einem Material mit einer vorzugsweise hohen thermischen Leitfähigkeit die im Betrieb entstehende Wärme der Aktoren nach außen führen, wobei diese Wärme dann direkt oder indirekt an eine thermische Senke angebunden ist, wobei die Anbindung vorzugsweise über nachgiebige Strukturen erfolgt, die die Bewegung nicht hemmen, wobei es sich dabei vorzugsweise um Festkörpergelenke oder Litze handelt.

[0111] In einer Modifikation dieser Variante sind die eingebrachten Schichten elektrisch leitfähig und können als interne Elektrode eines Mehrschichtaktors genutzt werden, wobei die Schichten eines gemeinsamen elektrischen Potentials vorzugsweise auf dem Aktor zusammengeführt werden und diese, vorzugsweise flächigen Zusammenführung über eine direkte oder indirekten Ankopplung an eine thermische Senke verfügt, wobei die indirekte Anbindung vorzugsweise über nachgiebige Strukturen erfolgt, die die Bewegung nicht hemmen, wobei es sich dabei vorzugsweise um Festkörpergelenke oder Litze handelt.

[0112] In einer weiteren Variante der obigen Ausgestaltungen ist der mindestens eine Aktor so ausgestaltet, dass über die in Bewegungsrichtung ausgerichteten Stirnflächen des mindestens einen Aktors hinaus weitere Flächen an mindestens eine wärmeleitende Struktur angekoppelt sind, welche direkt oder indirekt an eine thermische Senke angebunden ist, wobei die Anbindung vorzugsweise über nachgiebige Strukturen erfolgt, welche die Bewegung des mindestens eine Aktors nicht hemmen, wobei es sich bei der nachgiebigen Struktur vorzugsweise um Festkörpergelenke oder Litze handelt.

[0113] In einer weiteren Ausgestaltung sieht die Erfindung eine piezoelektrische oder elektrostriktive Antriebsvorrichtung vor zur linearen und/oder rotatorischen Positionierung mindestens eines Läufers über eine Strecke bis in den Bereich jenseits des einfachen Hubs des mindestens einen Aktors, der die Reibfläche mindestens einer kraftübertragenden Struktur vor- und zurückbewegt, um den oder die in Reibkontakt stehenden Läufer anzutreiben, wobei der mindestens eine Aktor über mindestens eine thermisch leitfähige Kontaktmasse thermisch so an eine oder mehrere thermische Senken angebunden ist, dass ein erheblicher Teil der vom Aktor im Betrieb erzeugten Wärme an die thermische Senke abgeführt wird, wobei die Kontaktmasse eine nachgiebige Konsistenz aufweist, so dass die der der lokalen Bewegung des Aktors folgen kann, so dass die Bewegung des mindestens einen Aktors nicht verhindert wird, wobei vorzugsweise der mindestens eine Aktor mit einer wärmeableitenden Struktur ausgestattet ist, welche der Bewegung des Aktors aufgrund einer elastischen Ausführung folgen kann und thermisch an eine oder mehrere thermische Senken angebunden ist.

[0114] Die Erfindung sieht zudem ein nicht-resonantes Antriebsverfahren zur linearen und/oder rotatorischen Positionierung eines Objektes vor, wobei mindestens eine Reibfläche der mindestens einen kraftübertragenden Struktur durch das Bereitstellen einer Anpresskraft mit einer Objektoberfläche des anzutreibenden Läufers in Reibkontakt steht und so Bewegungen des mindestens einen Aktors auf den Läufer überträgt, und im Betrieb gemäß dem Prinzip eines Trägheitsantriebs und/oder eines Krabbelantriebs und/oder eines Ultraschallantriebs und/oder eines Mehraktorantriebs die im Aktor entstehende Wärme durch eine direkte oder indirekte Ankopplung an mindestens eine Wärmesenke abgeführt wird, wobei die wärme-transportierende Struktur so ausgeführt ist, dass die Bewegung des mindestens einen Aktors nicht verhindert wird.

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

- US 3902084 [0009]
- DE 4408618 A1 [0014]
- US 6337532 [0014]
- WO 98/19347 A2 [0017]
- EP 0750356 A1 [0018]
- US 3138749 [0018]
- WO 93/19494 A1 [0018]
- DE 102009013849 A1 [0018]
- EP 1894258 A1 [0021]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- „Survey of the Various Operating Principles of Ultrasonic Piezomotors“ von K. Spanner (Proceedings of the 10th International Conference on New Actuators, Actuator 2006, Seiten 414 bis 421) [0004]
- „Dynamic piezoelectric translation devices“ von D.W. Pohl (Review of Scientific Instruments, vol. 58 (1), Januar 1987, Seiten 54 bis 57) [0017]
- D.W. Pohl (Review of Scientific Instruments, vol. 58 (1), Januar 1987, Seiten 54 bis 57) [0021]

Patentansprüche

1. Piezoelektrische oder elektrostriktive Antriebsvorrichtung zur linearen und/oder rotatorischen Positionierung mindestens eines Läufers über eine Strecke bis in den Bereich jenseits des einfachen Hubs des mindestens einen Aktors, der eine Reibfläche mindestens einer kraftübertragenden Struktur vor- und zurückbewegt, um den oder die in Reibkontakt stehenden Läufer anzutreiben,

wobei der Aktor an einer seiner Stirnflächen von einer stationären Komponente der Antriebsvorrichtung gehalten wird und an der anderen Stirnfläche die kraftübertragende Struktur hält,

wobei der Aktor in wenigstens einem Bereich außer den Stirnflächen mit einer thermisch leitfähigen Struktur thermisch verbunden ist, die ausgestaltet ist, im Betrieb des Aktors erzeugte Wärme vom Aktor an eine Wärmesenke abzuführen,

wobei die thermisch leitfähige Struktur eine Beweglichkeit aufweist, derart dass eine Bewegung des Aktors zur Vor- und Zurückbewegung der kraftübertragenden Struktur nicht behindert wird.

2. Antriebsvorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Aktor aus einer Aktorgruppe mit mehreren Teilaktoren gebildet ist, die gemeinsam die mindestens eine kraftübertragende Struktur bewegen, wobei zwischen Teilaktoren mindestens eine platten-ähnliche Struktur als Teil der thermisch leitfähigen Struktur angeordnet ist.

3. Antriebsvorrichtung nach Anspruch 2, wobei die Anbindung der mindestens einen platten-ähnlichen Struktur an die Wärmesenke über mindestens eine verformbare Struktur als Teil der thermische leitfähigen Struktur erfolgt, welche mindestens in Bewegungsrichtung der Aktoren lokal nachgiebig ist und so die Bewegung der Aktoren zulässt.

4. Antriebsvorrichtung nach Anspruch 3, wobei die verformbare Struktur Litze und/oder ein Festkörpergelenk aufweist und ausgestaltet ist, im Wesentlichen verschleißfrei der Bewegung der Aktoren zu folgen.

5. Antriebsvorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei mehrere zwischen den Teilaktoren angeordnete platten-ähnliche Strukturen eine zusammenhängender Struktur bilden, die vorzugsweise aus einem Teil gefertigt ist, wobei die Verbindung zwischen den platten-ähnlichen Strukturen über einen oder mehrere verformbare, insbesondere elastisch verformbare Bereiche verfügt, die die Bewegung der Aktoren erlauben.

6. Antriebsvorrichtung nach Anspruch 5, wobei die Antriebsvorrichtung mehrere Aktoren aufweist, die jeweils für eine lokale Bewegung einer eigenen kraftübertragenden Struktur vorgesehen sind,

wobei die zusammenhängende Struktur platten-ähnliche Strukturen aufweist, die zwischen jeweiligen Teilaktoren aller Aktoren angeordnet sind.

7. Antriebsvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der mindestens eine Aktor wenigstens eine Ausnehmung aufweist, in die eine schichten-ähnliche Struktur als Teil der thermisch leitfähigen Struktur eingebracht ist, um Wärme aus dem Inneren des Aktors abzuführen.

8. Antriebsvorrichtung nach Anspruch 7, wobei die jeweils eingebrachte schichten-ähnliche Struktur elektrisch leitfähig ist und zur Nutzung als interne Elektrode eines Mehrschichtaktors ausgestaltet ist,

wobei mehrere schichten-ähnliche Strukturen eines gemeinsamen elektrischen Potentials vorzugsweise auf dem Aktor zusammengeführt werden und diese, vorzugsweise flächige, Zusammenführung Teil der thermisch leitfähigen Struktur ist.

9. Antriebsvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die thermisch leitfähige Struktur an wenigstens eine Oberfläche des mindestens einen Aktors außer den in Bewegungsrichtung ausgerichteten Stirnflächen thermisch angekoppelt ist.

10. Antriebsvorrichtung nach Anspruch 9, wobei die thermisch leitfähige Struktur zur Ankoppelung an die wenigstens eine Oberfläche eine thermisch leitfähige und nachgiebige Kontaktmasse aufweist, wobei die Nachgiebigkeit der Kontaktmasse zur Beweglichkeit der thermisch leitfähigen Struktur beiträgt.

11. Antriebsvorrichtung nach Anspruch 10, wobei Kontaktmasse einen thermisch leitfähigen Elastomer, eine thermisch leitfähige Paste, eine thermisch leitfähige Flüssigkeit und/oder ein thermisch-leitfähiges Schüttgut aufweist.

12. Antriebsvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die thermisch leitfähige Struktur im Bereich einer Arbeitstemperatur der Antriebsvorrichtung in Richtung der Wärmeabfuhr vom Aktor zur Wärmesenke einen Wärmewiderstand von nicht mehr als 100 K/W aufweist.

13. Antriebsvorrichtung nach Anspruch 12, wobei der Wärmewiderstand der thermisch leitfähigen Struktur kleiner ist als ein Quotient aus einer als für den Betrieb des Aktors als zulässig vorbestimmten Temperaturdifferenz zwischen Aktor und Wärmesenke und einer maximal vom Aktor im Betrieb erzeugten Wärmeleistung.

14. Antriebsvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Antriebsvorrichtung um eine nicht-resonante Antriebsvorrichtung ist.

15. Nicht-resonantes Antriebsverfahren zur linearen und/oder rotatorischen Positionierung mindestens eines Läufers unter Nutzung einer piezoelektrischen oder elektrostriktiven Antriebsvorrichtung über eine Strecke bis in den Bereich jenseits des einfachen Hubs des mindestens einen Aktors, der eine Reibfläche mindestens einer kraftübertragenden Struktur vor- und zurückbewegt, um den oder die in Reibkontakt stehenden Läufer anzutreiben, wobei der Aktor an einer seiner Stirnflächen von einer stationären Komponente der Antriebsvorrichtung gehalten wird und an der anderen Stirnfläche die kraftübertragende Struktur hält, mit den Schritten:

- Vorsehen der Antriebsvorrichtung derart, dass der Aktor in wenigstens einem Bereich außer den Stirnflächen mit einer thermisch leitfähigen Struktur thermisch verbunden ist, wobei die thermisch leitfähige Struktur eine Beweglichkeit aufweist, derart dass eine Bewegung des Aktors zur Vor- und Zurückbewegung der kraftübertragenden Struktur nicht behindert wird,
- Betreiben der Antriebsvorrichtung unter Abführen von im Betriebs des Aktors erzeugter Wärme durch die thermisch leitfähige Struktur eine Wärmesenke abzuführen.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

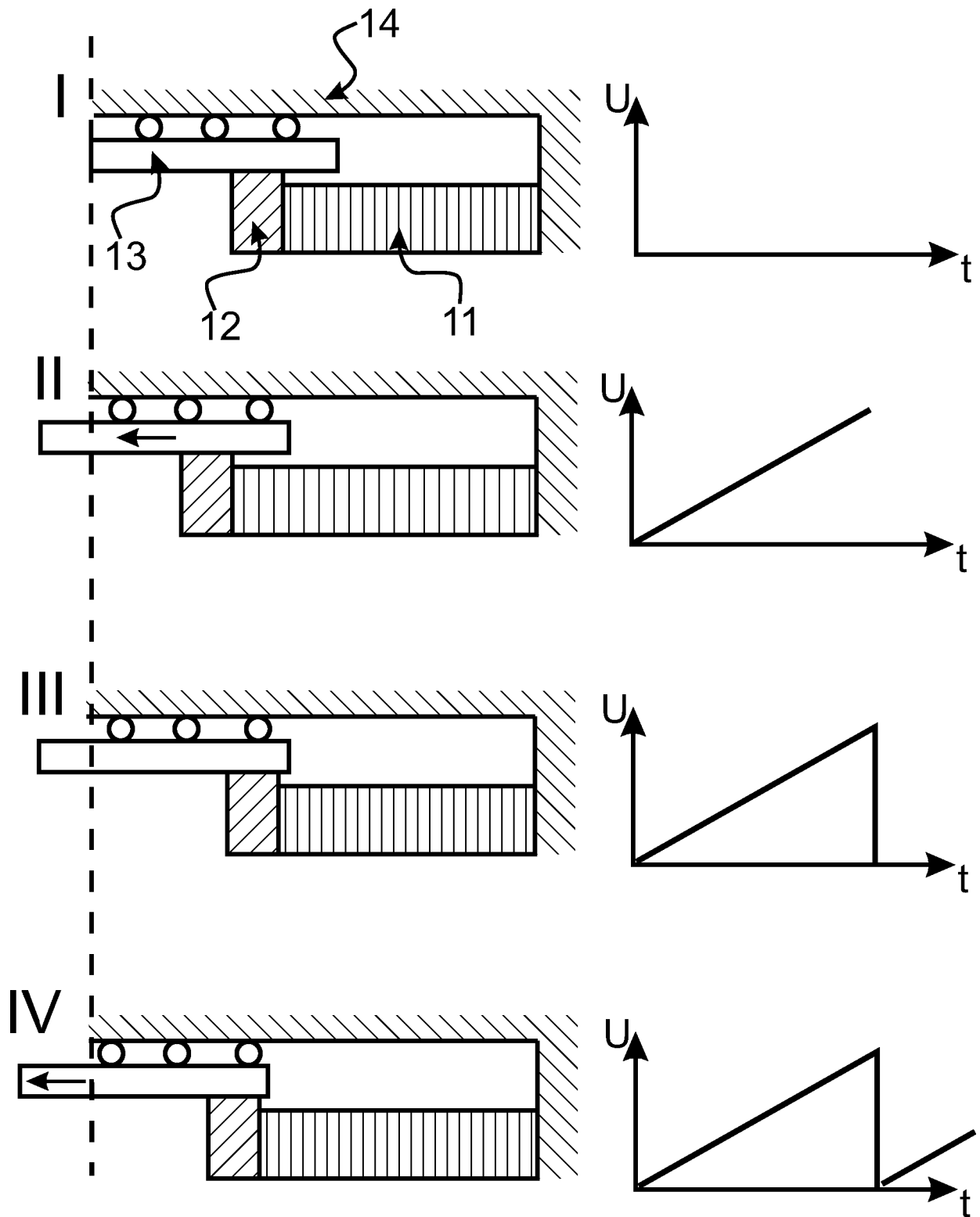


Fig. 1

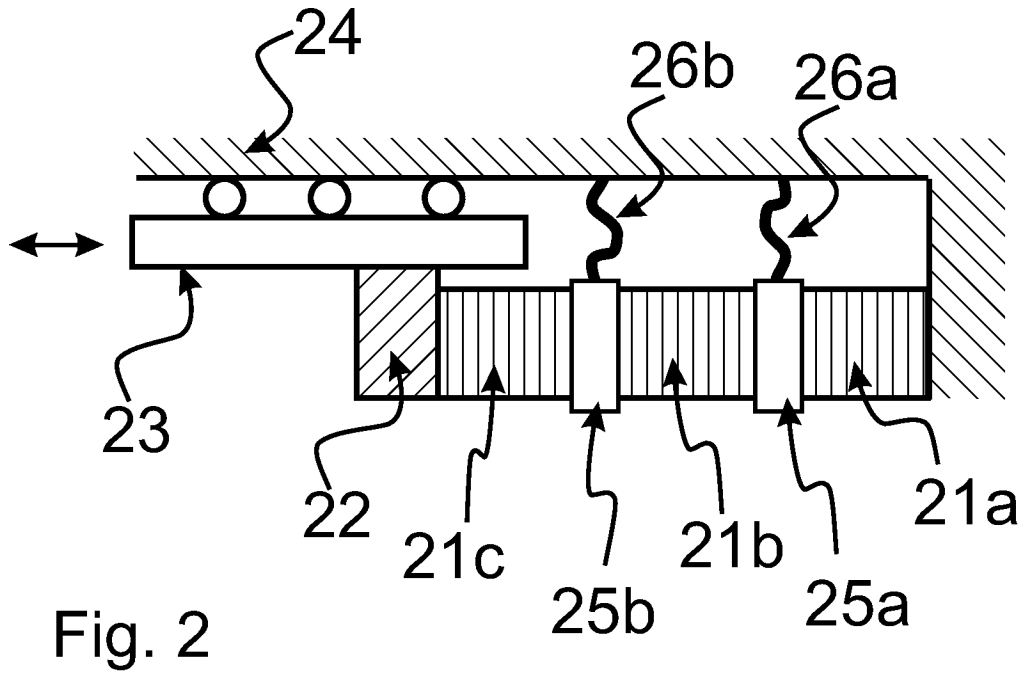


Fig. 2

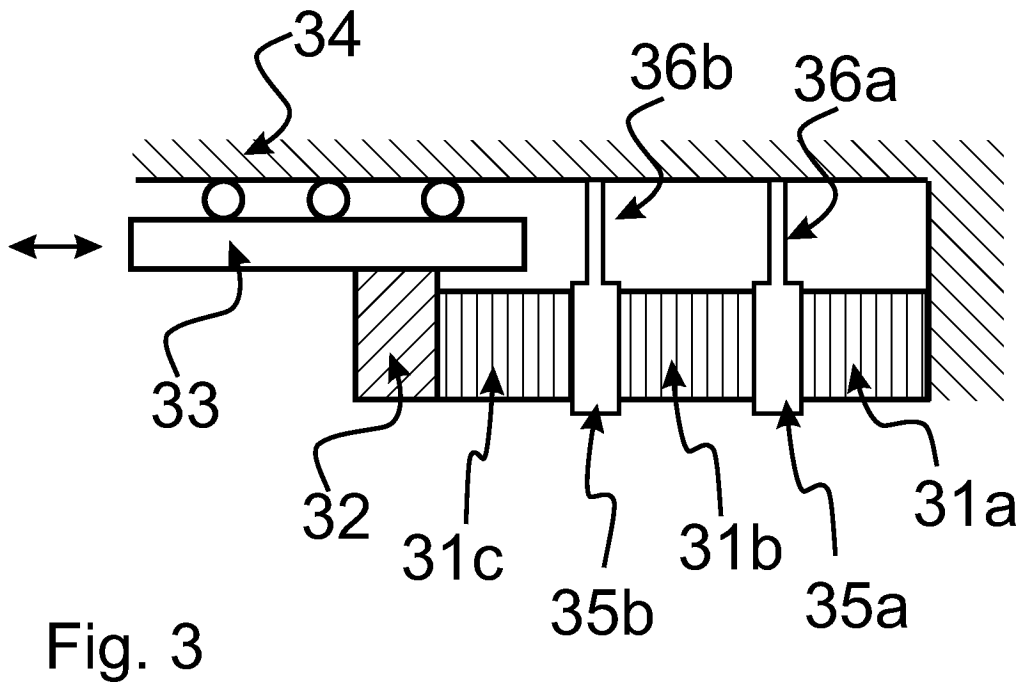
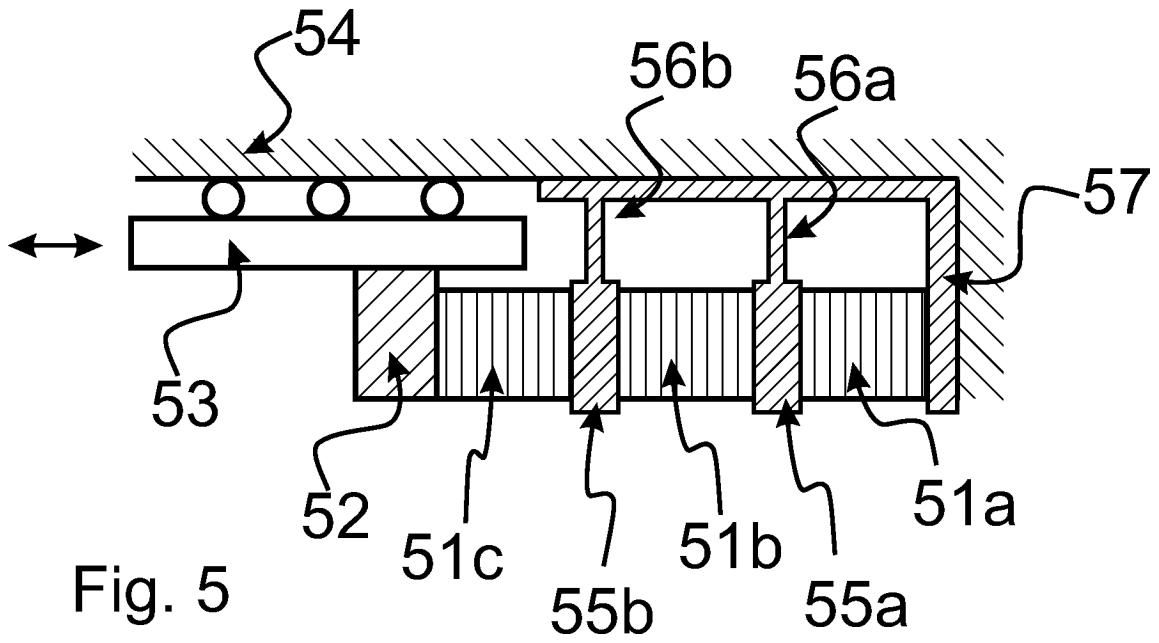
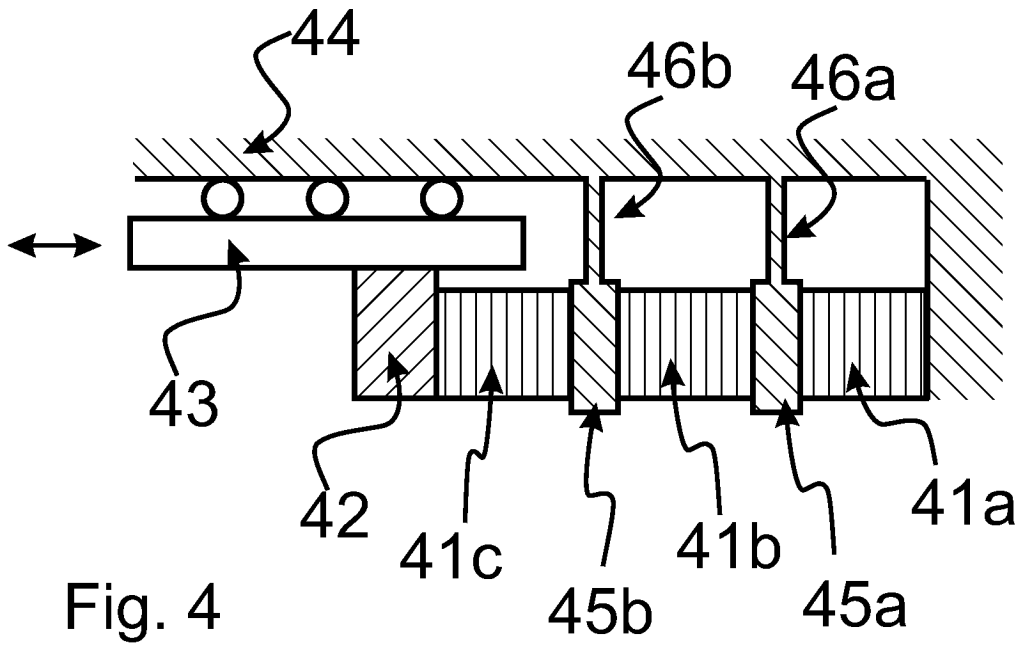


Fig. 3



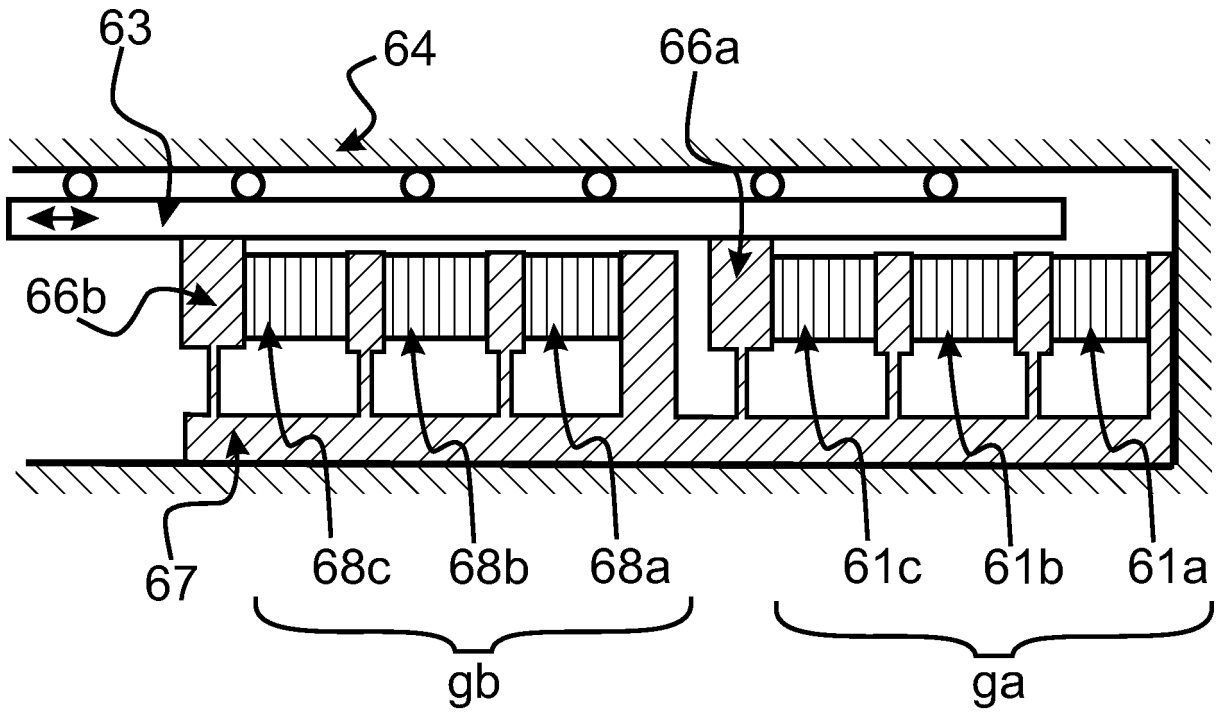


Fig. 6

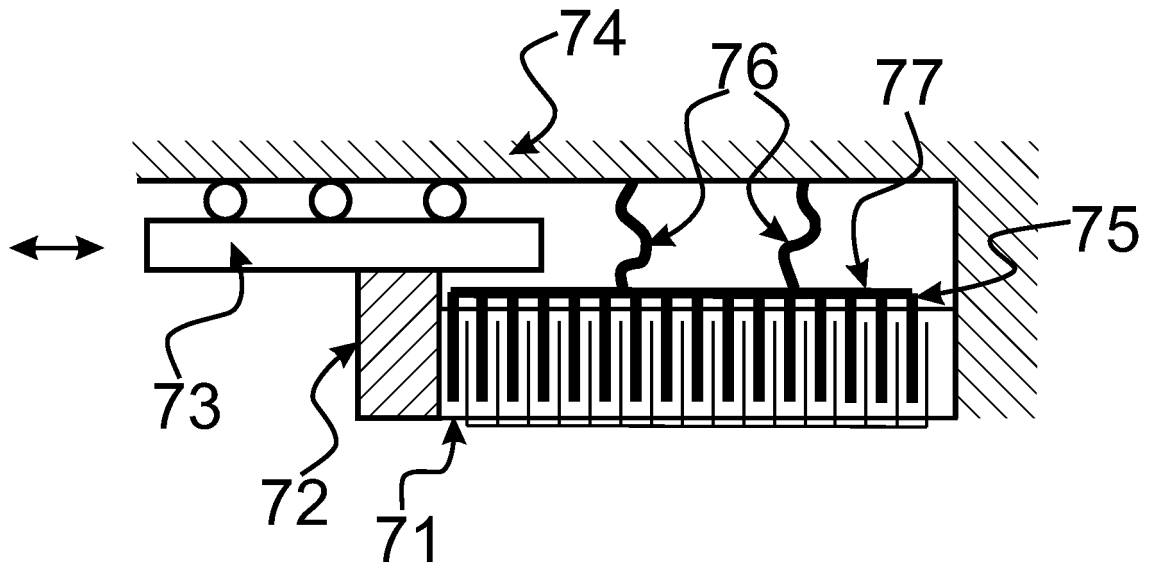


Fig. 7

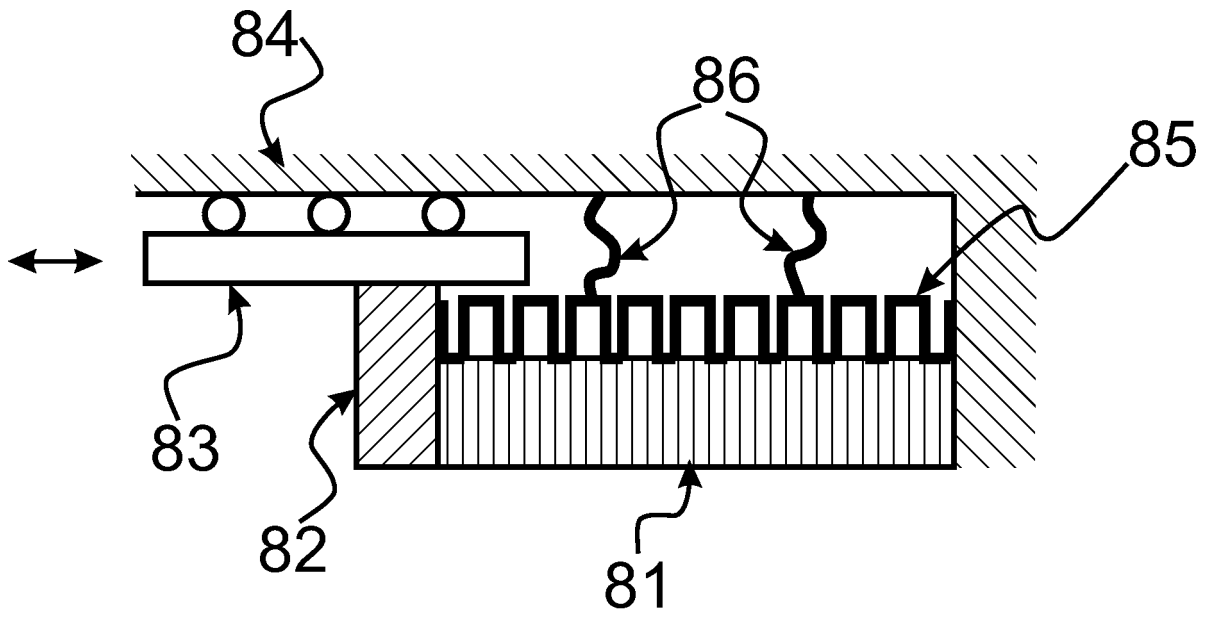


Fig. 8

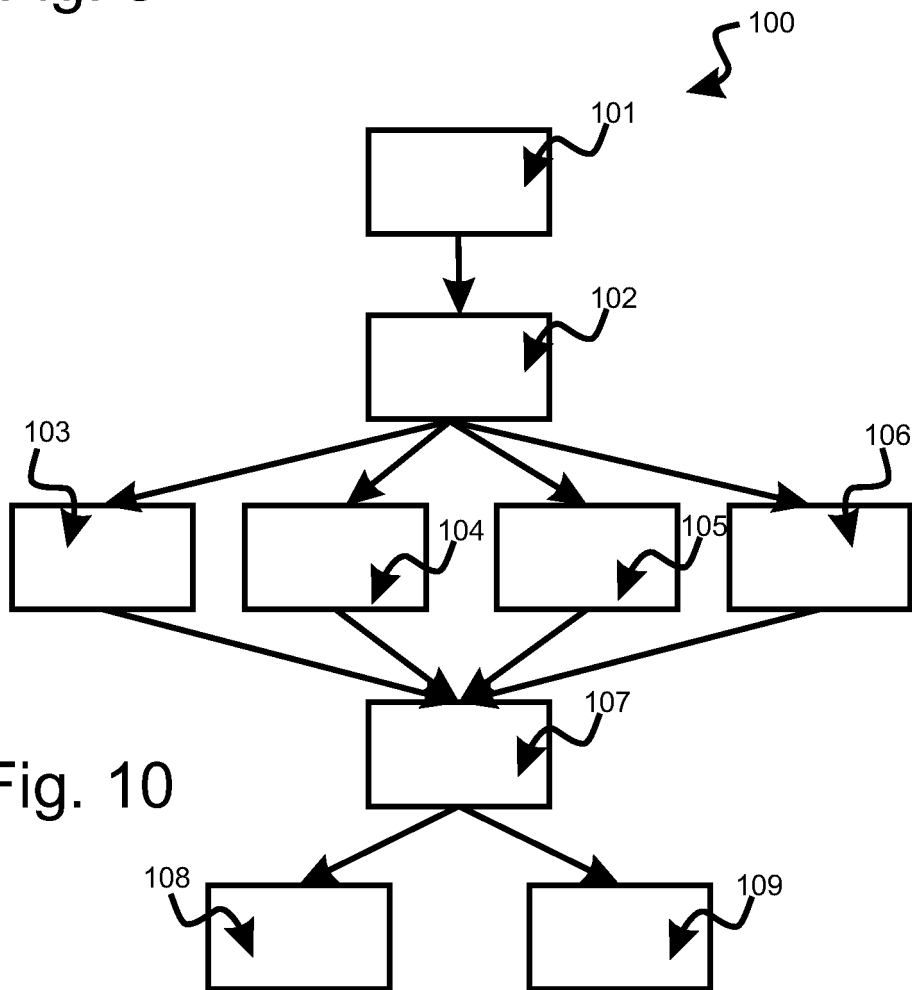


Fig. 10

a)

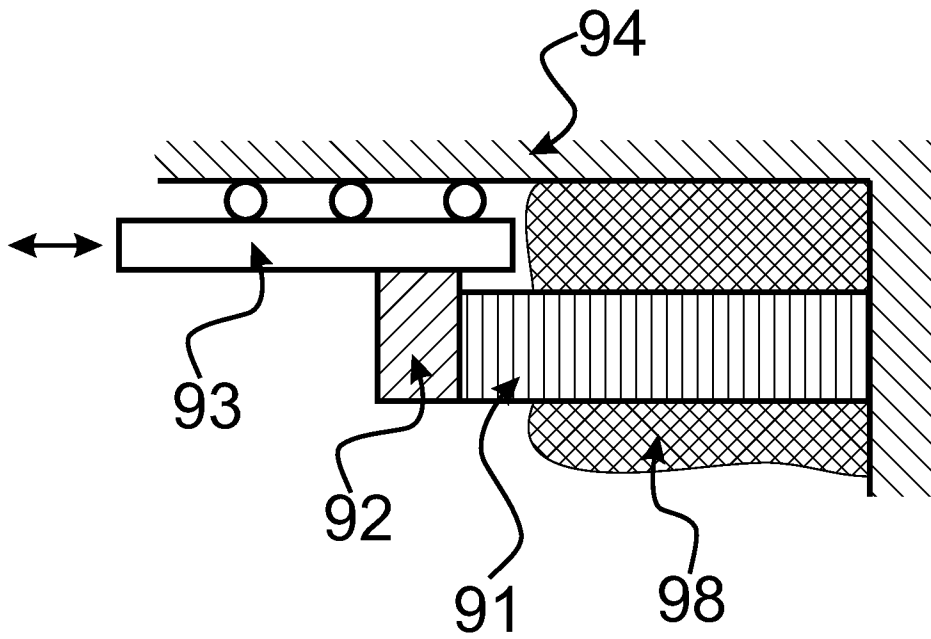


Fig. 9

b)

