



(10) **DE 10 2012 005 992 B3** 2013.07.11

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2012 005 992.2**
(22) Anmeldetag: **23.03.2012**
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **11.07.2013**

(51) Int Cl.: **F16K 31/12 (2012.01)**
F16K 31/64 (2012.01)
F16K 31/06 (2012.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Karlsruher Institut für Technologie, 76131,
Karlsruhe, DE**

(74) Vertreter:
**Müller-Boré & Partner Patentanwälte, European
Patent Attorneys, 81671, München, DE**

(72) Erfinder:
**Rapp, Bastian, Dr., 76137, Karlsruhe, DE; Wilhelm,
Elisabeth, 76139, Karlsruhe, DE; Voigt, Achim,
76344, Eggenstein-Leopoldshafen, DE; Neumann,
Christiane, 76344, Eggenstein-Leopoldshafen, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

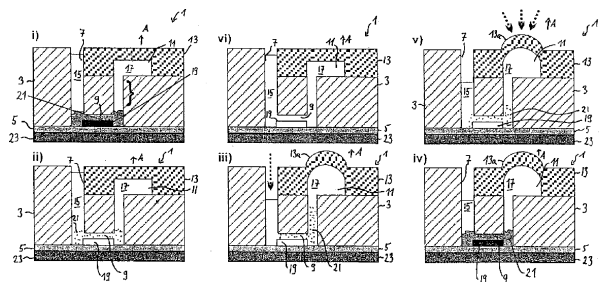
DE	103 10 072	B4
DE	41 19 955	A1
DE	10 2008 022 504	A1
DE	10 2009 018 365	A1
DE	10 2010 032 799	A1
DE	697 33 125	T2
DE	60 2005 001 114	T2
WO	2007/ 104 064	A1

**Kwang W Oh; Chong H Ahn: A
review of microvalves. In: JOURNAL OF
MICROMECHANICS AND MICROENGINEERING,
24.03.2006, 1-27.**

(54) Bezeichnung: **Bistabiler Aktor, Aktoranordnung, Verfahren zum Aktuieren und Verwendung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum bistabilen Aktuieren eines Aktors umfassend die Schritte:

- Anlegen eines Überdrucks in einer Aktorfluidzufuhr, welche mittels einer Aktorfluidzufuhrverbindung mit einer Aktorkammer fluidisch verbunden ist, wobei ein Arbeitsüberdruck in der Aktorkammer erzeugt wird, wodurch ein mit der Aktorkammer fluidisch verbundenes Aktorelement von einer Ruheposition in eine Aktuationsposition überführt wird;
- druckdichtes Verschließen der Aktorfluidzufuhrverwendung, so daß der Arbeitsdruck in der Aktorkammer erhalten bleibt und das Aktorelement in der Aktuationsposition verbleibt sowie einen Aktor, eine Aktoranordnung sowie eine Verwendung.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen bistabilen Aktor, eine Aktoranordnung, ein Verfahren zum Aktuieren und eine Verwendung der Aktoranordnung.

[0002] Insbesondere in der Mikrosystemtechnik ist die Bereitstellung von linearen Aktorhüben von besonderer Bedeutung (siehe z. B. den Artikel von Oh und Ahn, (2006): "A review of microvalves", Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 16, 5). Solche linearen Aktorhübe können für die präzise Positionierung von Bauteilen in der Optik, in Sensoren oder vergleichbaren Systemen zum Einsatz kommen. Die Auswahl eines geeigneten Aktors erfolgt zumeist unter Berücksichtigung von Randbedingungen, wie beispielsweise des erreichbaren Stelldruckes, des Stellweges, sowie der Positionierungsgenauigkeit. In Anwendungen innerhalb der Mikrosystemtechnik ist jedoch häufig die Frage der Skalierbarkeit bzw. der Integrationsdichte von besonderer Bedeutung. Insbesondere stellt sich für den Fachmann die Aufgabe Hunderte oder Tausende dieser Aktoren in einer Aktoranordnung bzw. einem Aktorarray anzuordnen und zu verschalten, so daß jeder der Aktoren in einfacher, energieeffizienter und zuverlässiger Weise angesteuert werden kann. Weiter ist es eine Aufgabe eine Aktoranordnung bereitzustellen, welche hochintegriert ist, das heißt, welche auf kleiner Fläche möglichst viele einzelne adressierbare Aktoren aufweist.

[0003] Die Druckschrift DE 10 2009 018 365 A1 offenbart einen thermopneumatischen Aktor, der eine durch Wandungen begrenzte, hermetisch abgedichtete Kavität hat, die mit einem Arbeitsmedium befüllt ist, das bei einer Temperaturänderung seinen Gasdruck verändert. Ein Wandungsbereich der Kavität ist als biegsame Membran ausgebildet, die in mindestens zwei beidseits einer Neutrallage befindliche Arbeitslagen auslenkbar ist, in denen die Membran in zueinander entgegengesetzte Richtungen gekrümmt ist. Zum Verändern des Gasdrucks in der Kavität und zum Verstellen der Membran von der einen in die andere Arbeitslage ist eine Temperiereinrichtung wärmeleitend mit dem Arbeitsmedium verbunden. Die Membran ist in der Neutrallage derart kompressiv vorgespannt, dass sie in beiden Arbeitslagen ihre Lage jeweils beibehält, wenn auf die Membran keine äußere Kraft einwirkt.

[0004] Die Druckschrift DE 697 33 125 T2 offenbart eine elektrostatische Membran-Betätigungseinrichtung für ein Mikroventil, wobei die Betätigungseinrichtung mindestens ein Paar gewölbte oder ausgebauchte Membranabschnitte aufweist, und Substratelektroden vorgesehen sind, welche örtlich dem mindestens einen Paar Membranabschnitten zugeordnet sind, wobei die Membranabschnitte die Elektroden zur Bildung von Hohlräumen einschließen oder um-

geben, die durch einen Kanal verbunden sind, wodurch die Membranabschnitte des mindestens einen Paares in entgegengesetzten Richtungen ausbauchen oder gewölbt werden, wobei die Membranabschnitte des mindestens einen Paares eine innere Spannung oder Eigendruckfestigkeit haben, zur Ausbauchung und Rückbauchung bzw. Wölbung zwischen stabilen Betriebspunkten als Wirkung von mindestens einer dünnen Schicht auf den Membranabschnitten und wobei die Substratelektroden gekrümmt sind.

[0005] Die Druckschrift DE 10 2010 032 799 A1 offenbart ein Mikroventil, das aus zwei fest verbundenen Substraten gebildet ist ein membrangetriebenes Aktorelement zum gesteuerten Öffnen und Schließen eines ersten und/oder zweiten Durchlasses aufweist.

[0006] Die Druckschrift DE 41 19 955 A1 offenbart ein Miniatur-Betätigungselement mit einem Trägerkörper, einer Membran, wobei zwischen Trägerkörper und Membran ein Hohlraum ausgebildet und eine Isolierschicht angeordnet ist, und zwei Elektrodenanschlüssen zum Erzeugen eines elektrostatischen Feldes zwischen Membran und Trägerkörper für einen aktivierten Zustand. Der Hohlraum ist nur im Ruhezustand vorhanden und im aktivierten Zustand nahezu vollständig verschwunden.

[0007] Die Druckschrift WO 2007/104 064 A1 offenbart ein Blindenschrift-Lesegerät zur elektronischen Darstellung von Brailleschrift sowie taktilen Punktgrafiken mit einem flächenhaften Darstellungs-Träger mit erhabenen Rastpunkten, die von selektiv durch Öffnungen in der Oberfläche des Darstellungsträgers hindurch ragenden Stiften gebildet werden. Der Darstellungsträger besteht aus einer dünnen, strukturierten Metallfolie, wobei die die Rastpunkte bildenden Stifte durch Achsen im Band fixiert und drehbar gelagert sind und so durch vertikales Aufklappen (tastbare Position) und horizontales Niederlegen unter die Oberfläche (nicht tastbare Position) die zu lesenden Zeichen dargestellt werden können.

[0008] Die Druckschrift DE 10 2008 022 504 A1 offenbart einen schaltbaren Wirbelgenerator, insbesondere für ein Strömungskanalmodell. Der Wirbelgenerator weist eine gefaltete Aktormembran auf, die durch Anlegen eines Überdrucks in dem Zwischenraum zwischen gefalteter Aktormembran und einer Trägermembrane gezielt verformbar ist. Die Aktormembran kann dabei durch einen Haltemagnet bzw. durch ein Federelement in dem verformten Zustand gehalten werden, ohne daß der Überdruck aufrecht erhalten werden muß.

[0009] Die Druckschrift DE 103 10 072 B4 offenbart einen mikromechanischen Aktor mit einem Substrat und einem freitragenden Balken, wobei der Balken zumindest auf einer Seite seines freitragenden Bereiches über einen Anker mit dem Substrat verbun-

den und auf diesem gelagert ist. Der Balken ist zumindest bereichsweise mit einer Metallbeschichtung versehen und besteht zumindest in dem mit Metall beschichteten Bereich aus einem Material, das einen geringeren thermischen Ausdehnungskoeffizienten als das Metall der Beschichtung aufweist. Der Balken ist in dem mit Metall beschichteten Bereich heizbar.

[0010] Die Druckschrift DE 60 2005 001 114 T2 offenbart ein pyrotechnisches Mikrosystem mit einem Substrat, das mindestens zwei getrennte elektrische Initialzündungszonen eines auf das Substrat aufgetragenen pyrotechnischen Materials aufweist, wobei die gleiche Beschichtung aus pyrotechnischem Material die beiden Initialzündungszonen bedeckt und wobei die auf dem Substrat hergestellte Beschichtung eine ausreichend geringe Stärke hat, damit die Initialzündung des pyrotechnischen Materials in Höhe einer Initialzündungszone lokalisiert bleibt und sich nicht bis zur anderen Initialzündungszone ausbreitet, aber ausreichend ist, um eine bestimmte Menge an Gas zu erzeugen.

[0011] Die Aufgabe wird durch ein Verfahren zum bistabilen Aktuieren eines Aktors gemäß Anspruch 1, durch einen bistabilen Aktor gemäß Anspruch 7 durch eine Aktoranordnung gemäß Anspruch 12 und durch eine Verwendung der Aktoranordnung gemäß Anspruch 13 gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Verfahren zum bistabilen Aktuieren
eines Aktors gemäß einem Aspekt.

[0012] Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum bistabilen Aktuieren eines Aktors umfassend die Schritte:

- Anlegen eines Überdrucks in einer Aktorfluidzufuhr, welche mittels einer Aktorfluidzufuhrverbindung mit einer Aktorkammer fluidisch verbunden ist, wobei ein Arbeitsüberdruck in der Aktorkammer erzeugt wird, wodurch ein mit der Aktorkammer fluidisch verbundenes Aktorelement von einer Ruheposition in eine Aktuationsposition überführt wird;
- druckdichtes Verschließen der Aktorfluidzufuhrverbindung, so daß der Arbeitsdruck in der Aktorkammer erhalten bleibt und das Aktorelement in der Aktuationsposition verbleibt.

[0013] Vorteilhafterweise bewirkt das druckdichte Verschließen der Aktorfluidzufuhrverbindung, daß der Arbeitsdruck in der Aktorkammer unabhängig davon erhalten bleibt, ob ein Überdruck in der Aktorfluidzufuhr angelegt ist. Mit anderen Worten kann der Überdruck in der Aktorfluidzufuhr, welcher benötigt wurde, um den Arbeitsüberdruck in der Aktorkammer zu erzeugen, wodurch das Aktorelement von der Ruheposition in die Aktuationsposition überführt wurde,

noch anliegen oder bereits nicht mehr anliegen. Nach dem Übergang des Aktorelements in die Aktuationsposition kann der Überdruck in der Aktorfluidzufuhr vorteilhafterweise abgelassen werden. Das bistabile Aktuieren des Aktors benötigt daher lediglich zum Wechseln der Position des Aktorelements von der Ruheposition in die Aktuationsposition Energie. Im Ruhezustand des Aktors befindet sich das Aktorelement in der Ruheposition und ist dort ohne weitere Energiezufuhr zum Aktor stabil gehalten. Im Aktuationszustand des Aktors befindet sich das Aktorelement in der Aktuationsposition und ist dort ohne weitere Energiezufuhr zum Aktor stabil gehalten. Die Ruheposition und die Aktuationsposition sind vorteilhafterweise beide ohne weitere Energiezufuhr stabil.

[0014] Der Aktor ist ein fluidischer bzw. mikrofluidischer Aktor, der mittels eines Aktorfluids, welches über die Aktorfluidzufuhr bereitgestellt wird, aktuiert wird. Das heißt, daß die Arbeitsleistung des Aktorelements wird durch einen Fluiddruck eines Aktorfluids, beispielsweise hydraulisch oder pneumatisch, erzeugt. Das Aktorfluid kann eine gasförmige Phase, eine flüssige Phase oder ein Gemisch davon umfassen. Besonders bevorzugt ist das Aktorfluid inkompressibel. Zum Aktuieren des Aktors bzw. zum Verlagern des Aktorelements in die Aktuationsposition wird in der Aktorfluidzufuhr ein Überdruck angelegt. Das Anlegen des Überdrucks in der Aktorfluidzufuhr kann umfassen, daß eine Aktorfluidquelle bereitgestellt ist, welche mit der Aktorfluidzufuhr fluidisch verbunden ist, wobei die Aktorfluidquelle das Aktorfluid mit dem gewünschten und vorbestimmten Überdruck bereitstellt. Das Bereitstellen kann hydraulisch oder pneumatisch erfolgen, beispielsweise aus einer Fluidquelle oder einem Fluidreservoir. Über die Aktorfluidzufuhrverbindung wirkt der Überdruck in der Aktorfluidzufuhr auf ein in der Aktorkammer befindliches Aktorfluid. Die Aktorkammer kann ebenfalls mit Aktorfluid oder mit einem anderen Fluid gefüllt sein. Durch den in der Aktorfluidzufuhr befindlichen Überdruck kann Aktorfluid zumindest bereichsweise in die Aktorfluidzufuhrverbindung eindringen und zumindest bereichsweise die Aktorkammer füllen. Die Aktorkammer und/oder die Aktorfluidzufuhrverbindung kann neben dem Aktorfluid ein weiteres Aktorkammerfluid enthalten, welches insbesondere inkompressibel ist.

[0015] Durch den in der Aktorfluidzufuhr wirkenden Überdruck wird bei offener Aktorfluidzufuhrverbindung ein Arbeitsüberdruck in der Aktorkammer erzeugt. Der Arbeitsüberdruck in der Aktorkammer entspricht im wesentlichen dem Überdruck in der Aktorfluidzufuhr. Mit anderen Worten entspricht der Arbeitsüberdruck mit einer Abweichung von kleiner als etwa 100 hPa bevorzugt kleiner als etwa 50 hPa dem Überdruck in der Aktorfluidzufuhr.

[0016] Das mit der Aktorkammer fluidisch verbundene Aktorelement kann durch den Arbeitsüberdruck in

der Aktorkammer zumindest bereichsweise verformt bzw. verlagert werden. Insbesondere trennt das Aktorelement fluidisch die Aktorkammer von dem Äußeren des Aktors bzw. von der Atmosphäre. Beispielsweise kann das Aktorelement als verformbare Membran ausgebildet sein und zumindest bereichsweise eine Wandung der Aktorkammer ausbilden. Der Arbeitsüberdruck in der Aktorkammer beschreibt dann die Druckdifferenz zwischen dem Fluiddruck in der Aktorkammer und dem Fluiddruck bzw. Luftdruck im Äußeren des Aktors. Dementsprechend ist der Überdruck in der Aktorfluidzufuhr als die Druckdifferenz zwischen dem Fluiddruck in der Aktorfluidzufuhr und dem Fluiddruck im Äußeren des Aktors definiert. Bedingt durch den wirksamen Differenzdruck zwischen der Aktorkammer und dem Äußeren des Aktors kann das Aktorelement zumindest bereichsweise verformt bzw. verlagert werden. Die Verlagerung des Aktorelements bzw. eines Bereiches des Aktorelementes erfolgt bevorzugt linear entlang einer Aktuationsrichtung A. Bevorzugt kann das Aktorelement in genau zwei Stellzustände gebracht werden, nämlich die Ruheposition und die Aktuationsposition, wobei das Aktorelement durch ein Verlagern entlang der Aktuationsrichtung A von der Ruheposition in die Aktuationsposition überführbar ist. Eine präzisere Einstellbarkeit der Position des Aktorelements entlang der Aktuationsrichtung A ist in vielen Fällen nicht notwendig. Beispielsweise kann der Aktor Teil eines mikrofluidischen Ventils sein, welche lediglich zwei Stellzustände aufweisen, nämlich offen oder geschlossen. Beispielsweise kann ein mikrofluidischer Kanal dadurch geschlossen werden, daß das Aktorelement in der Aktuationsposition in einen mikrofluidischen Kanal hineinragt und diesen dadurch verschließt. Eine präzise Positionierung des Aktorelements entlang der Aktuationsrichtung A ist zum Öffnen und Schließen eines solchen mikrofluidischen Ventils in der Regel nicht notwendig.

[0017] Nachdem das Aktorelement von der Ruheposition in die Aktuationsposition überführt wurde, erfolgt ein druckdichtes Verschließen der Aktorfluidzufuhrverbindung. Bevorzugt wird nach dem druckdichten Verschließen der Aktorfluidzufuhrverbindung das Anlegen des Überdrucks in der Aktorfluidzufuhr beendet. Da die Aktorfluidzufuhrverbindung druckdicht verschlossen ist, bleibt der Arbeitsüberdruck in der Aktorkammer erhalten. Mit anderen Worten befindet sich der Aktor in einem stabilen Aktuationszustand, wobei sich das Aktorelement in der Aktuationsposition befindet. Insbesondere ist es vorteilhafterweise nicht notwendig, den Aktor weiter Energie, beispielsweise in Form des Überdrucks in der Aktorfluidzufuhr, zuzuführen, um den Aktor in der Aktuationsposition zu halten. Dadurch kann der Aktor vorteilhafterweise mit einem verringerten Energieaufwand betrieben werden. Der Aktuationszustand des Aktors kann auch als zweiter stabiler Zustand bezeichnet werden.

[0018] Durch ein Öffnen der Aktorfluidzufuhrverbindung kann der Arbeitsüberdruck aus der Aktorkammer durch die Aktorfluidzufuhrverbindung in Richtung der Aktorfluidzufuhr entweichen, wenn in der Aktorfluidzufuhr kein Überdruck anliegt. Das Aktorelement kann folglich entgegen der Aktuationsrichtung A verlagert werden, um in die Ruheposition (die erste stabile Position) zurückzukehren. Dazu kann das Aktorelement in einer bevorzugten Ausführungsform rückstellfähig ausgebildet sein. Alternativ oder zusätzlich kann das Aktorelement eine Rückstellvorrichtung umfassen oder mit einer Rückstellvorrichtung verbunden sein, welche eine Rückstellkraft an das Aktorelement anlegt, um dieses entgegen der Aktuierungsrichtung A zu verlagern, wenn der Arbeitsüberdruck in der Aktorkammer einen vorbestimmten Wert unterschreitet.

[0019] Vorzugsweise erfolgt das druckdichte Verschließen der Aktorfluidzufuhrverbindung mittels eines verflüssigbaren Verschlußmediums, welches in der Aktorfluidzufuhrverbindung angeordnet ist und in der Aktorfluidzufuhrverbindung erstarrbar ist, wobei die Aktorkammer von der Aktorfluidzufuhr durch das erstarrte Verschlußmedium fluidisch getrennt ist. Insbesondere kann das Verflüssigen bzw. Aufschmelzen und das Erstarren des Verschlußmediums wiederholbar sein bzw. mehrfach erfolgen. Insbesondere ändern sich dadurch nicht die physikalischen und/oder chemischen Eigenschaften des Verschlußmediums. Beispielhafte Verschlußmedien umfassen ein oder mehrere Alkane. Weiter bevorzugt umfaßt das Verschlußmedium Paraffin mit einer molaren Masse zwischen 270 g/Mol und etwa 600 g/Mol. Die Schmelztemperatur des Paraffins liegt dabei bevorzugt zwischen etwa 45°C und etwa 80°C, weiter bevorzugt zwischen etwa 50°C und 60°C. Die notwendige Schmelzwärme zum Aufschmelzen eines Kilogramms Paraffin liegt zwischen etwa 200 kJ und 240 kJ. Um die Aktorfluidzufuhrverbindung fluiddicht bzw. druckdicht zu verschließen, wird die Aktorfluidzufuhrverbindung derart mit dem Verschlußmedium gefüllt, daß der gesamte Querschnitt der Aktorfluidzufuhrverbindung mit flüssigem Verschlußmedium gefüllt ist. Das Verschlußmedium kann dadurch in flüssigem Zustand gebracht bzw. gehalten werden, daß Wärme mittels eines Heizelementes dem Verschlußmedium in der Aktorfluidzufuhrverbindung zugeführt wird. Im Falle von Paraffin als Verschlußmedium ist das Verschlußmedium auf Temperaturen von über etwa 45° bzw. über etwa 80°C zu erwärmen. Das Verschlußmedium verbleibt in flüssigem Zustand solange die notwendige Wärme zugeführt wird. Wird das Heizelement abgeschaltet, so sinkt die Temperatur des Verschlußmediums aufgrund der Auskühlung über die angrenzenden Wandungen der Aktorfluidzufuhrverbindungen und das mit dem Verschlußmedium kontaktierende Aktorfluid. Unterschreitet die Temperatur des Verschlußmediums den Erstarrungspunkt bzw. die Erstarrungstemperatur von etwa 45°C, so

verfestigt sich das Verschußmedium innerhalb der Aktorfluidzufuhrverbindung, wodurch die Aktorkammer von der Aktorfluidzufuhr durch das nun feste Verschußmedium fluidisch und druckdicht getrennt wird. Das vorangehend beschriebene Verfahren bedingt, daß der Aktor insgesamt bei einer Temperatur betrieben wird, die unterhalb der Erstarrungstemperatur des Verschußmediums liegt. Das Verschußmedium ist dementsprechend zu wählen. Alternativ kann das Verschußmedium derart gewählt werden, daß das Verschußmedium bei der Betriebstemperatur des Aktors in einem flüssigen Zustand vorliegt, so daß eine permanente Kühlung des Verschußmediums durchgeführt werden muß, um die Aktorfluidzufuhrverbindung mittels des erstarrten Verschußmediums druckdicht zu verschließen. Eine aktive Kühlung des Verschußmediums in der Aktorfluidzufuhrverbindung kann beispielsweise mittels eines Peltier-Elementes als bevorzugte Wärmesenke erfolgen. Nach dem Abschalten des Kühlelementes bzw. des Peltier-Elementes erwärmt sich das Verschußmedium aufgrund von Wärmezufuhr über die Wandungen der Aktorfluidzufuhrverbindung bzw. über das Aktorfluid, so daß das Verschußmedium wieder aufschmilzt und die Aktorfluidzufuhrverbindung nicht mehr druckdicht verschlossen ist. Eine aktive Kühlung des Verschußmediums durch ein Kühlelement bzw. ein Peltier-Element kann auch zur Verkürzung der Erstarrungszeit des Verschußmediums genutzt werden, wenn die Erstarrungstemperatur oberhalb der Betriebstemperatur des Aktors liegt und das Verschußmedium daher zum Verflüssigen mittels eines Heizelementes erwärmt werden muß.

[0020] Vorzugsweise umfaßt das Verfahren den weiteren Schritt:

- Verflüssigen bzw. Schmelzen des Verschußmediums, welches in einer Aktorfluidzufuhrverbindung zwischen einer Aktorkammer und einer Aktorfluidzufuhr angeordnet ist und die Aktorkammer von der Aktorfluidzufuhr fluidisch trennt, wobei das aufgeschmolzene Verschußmedium beim Anlegen des Überdrucks zumindest teilweise in Richtung der Aktorkammer verlagert wird.

[0021] Besonders bevorzugt ist die Aktorfluidzufuhrverbindung derart ausgelegt, um das Verschußmedium vollständig zu beinhalten, so daß das Verschußmedium beim Übergang des Aktors in die Aktuationsposition nicht in die Aktorkammer eindringt. Mit anderen Worten kann das flüssige Verschußmedium innerhalb der Aktorfluidzufuhrverbindung zwischen einer Ruheposition und einer Aktuationsposition hin und her verlagert werden in Abhängigkeit davon, ob ein Überdruck in der Aktorfluidzufuhr anliegt oder nicht. Dabei ist das Verschußmedium innerhalb der Aktorfluidzufuhrverbindung lediglich dann verlagerbar, wenn sich das Verschußmedium in der flüssigen Phase befindet. Dazu kann das Verschußmedium mittels des Heizelementes erwärmt werden, um von ei-

ner festen in die flüssige Phase überzugehen. Erhärtert das Verschußmedium innerhalb der Aktorfluidzufuhrverbindung, beispielsweise da das Verschußmedium nicht mehr mittels des Heizelementes erwärmt wird, so ist das Verschußmedium innerhalb der Aktorfluidzufuhrverbindung nicht mehr verlagerbar und die Aktorkammer von der Aktorfluidzufuhr druckdicht getrennt.

[0022] Alternativ kann das Verflüssigen des Verschußmediums auch in einem Verschußmediumreservoir statt innerhalb der Aktorfluidzufuhrverbindung erfolgen. Das Verfahren umfaßt dann bevorzugt die Schritte:

- Verflüssigen bzw. Schmelzen des Verschußmediums in einem Verschußmediumreservoir;
- Beaufschlagen des Verschußmediumreservoirs mit einem Überdruck, wobei ein Verschußelement von einer Offenposition in einer Geschlossenposition überführt wird, so daß die Aktorkammer von der Aktorfluidzufuhr von dem Verschußelement fluidisch getrennt wird und
- Erstarren des Verschußmediums, so daß das Verschußelement in der Geschlossenposition verbleibt.

[0023] Bevorzugt ist das Verschußelement als ein elastisch ausgebildeter Bereich der gemeinsamen Wandung des Verschußmediumreservoirs mit der Aktorfluidzufuhrverbindung ausgebildet. Dadurch ist vorteilhafterweise das Verschußmedium fluidisch von dem Aktorfluid bzw. dem Aktorkammerfluid getrennt. Der Überdruck zwischen dem Verschußmediumreservoir und der Aktorfluidzufuhrverbindung beschreibt dabei eine Druckdifferenz zwischen dem Verschußmedium innerhalb des Verschußmediumreservoirs und dem Aktorfluid innerhalb der Aktorfluidzufuhrverbindung. Mit anderen Worten weist das Verschußmedium einen höheren Druck auf als das Aktorfluid, so daß das Verschußelement verformt bzw. verlagert wird. Das Verschußelement wirkt mit anderen Worten als Ventil innerhalb der Aktorfluidzufuhrverbindung, wobei diese druckdicht verschlossen wird.

[0024] Das Verschußmedium kann innerhalb des Verschußmediumreservoirs mittels eines Heizelementes erwärmt und damit verflüssigt bzw. geschmolzen werden. Nach dem Abschalten des Heizelementes verliert das Verschußmedium seine Wärme an die Umgebung, das heißt an die Wandungen des Verschußmediumreservoirs, so daß die Erstarrungstemperatur des Verschußmediums unterschritten wird und das Verschußmedium erstarrt. Als bevorzugtes Verschußmedium kann ebenfalls Paraffin eingesetzt werden.

[0025] Bevorzugt wird das Verschußmediumreservoir mittels eines Reservoirfluids (Wasser, Druckluft und so weiter) beaufschlagt, um den Überdruck in

dem Verschlußmediumreservoir zu erzeugen. Dazu kann das Verschlußmediumreservoir mittels einer Reservoirfluidzufuhrverbindung mit der Reservoirfluidzufuhr mittelbar oder unmittelbar verbunden sein. Bei einer unmittelbaren Verbindung der Reservoirfluidzufuhr mit dem Verschlußmediumreservoir können das Reservoirfluid und das Verschlußmedium miteinander kontaktieren. Bei einer mittelbaren Verbindung des Verschlußmediumreservoirs mit der Reservoirfluidzufuhr kontaktieren Reservoirfluid und Verschlußmedium nicht miteinander. Im Gegenteil sind beide beispielsweise durch eine elastische Membran voneinander getrennt. Die Reservoirfluidzufuhr ist bevorzugt mit einer Reservoirfluidquelle fluidisch verbunden, welche das Reservoirfluid mit dem notwendigen Überdruck bereitstellt.

[0026] Das Reservoirfluid sowie das Aktorfluid können zueinander identisch oder verschieden sein. Bevorzugt sind das Reservoirfluid und/oder das Aktorfluid inkompressibel. Beispielsweise kann das Reservoirfluid und/oder das Aktorfluid ein Öl, Wasser, Druckluft oder ein anderes Gas umfassen.

[0027] Vorzugsweise umfaßt das Verfahren den Schritt:

- Ablassen des Überdrucks oder Anlegen eines Unterdrucks in der Aktorfluidzufuhr.

[0028] Besonders bevorzugt wird die Aktorfluidquelle, welche die Aktorfluidzufuhr speist, nach dem Erreichen der Aktuationsposition durch den Aktor abgeschaltet, so daß der Überdruck in der Aktorfluidzufuhr entweicht. Da der Aktor bistabil ist, verbleibt dieser in der Aktuationsposition.

[0029] Vorzugsweise umfaßt das Verfahren den Schritt:

- Verflüssigen bzw. Schmelzen des Verschlußmediums in der Aktorfluidzufuhrverbindung, wobei der Arbeitsüberdruck in der Aktorkammer sinkt und das Aktorelement von der Aktuationsposition in die Ruheposition zurückkehrt.

[0030] Besonders bevorzugt wird das verflüssigte Verschlußmedium innerhalb der Aktorfluidzufuhrverbindung von der Aktorkammer weg verlagert, so daß der Druck in der Aktorkammer aufgrund der Vergrößerung des Volumens, welches dem in der Aktorkammer vorhandenen Fluids zur Verfügung steht, sinkt. Das Aktorelement wird dann entgegen der Aktuationsrichtung A verlagert und kehrt in die Ruheposition zurück. Nach dem Erreichen der Ruheposition kann das Erwärmen des Verschlußmediums beendet werden, so daß das Verschlußmedium wieder erstarrt. Das von dem Verschlußmedium aus der Aktorfluidzufuhrverbindung verdrängte Aktorfluid wird während der Rückkehr in die Ruheposition in die Aktorfluidzufuhr verdrängt. Die Aktorfluidzufuhr ist entsprechend druckfrei, um das verdrängte Aktorfluid aufzuneh-

men. Dazu kann die Aktorfluidzufuhr mit dem Äußeren verbunden sein und/oder ein Druckausgleichsreservoir umfassen, welches das aus der Aktorfluidzufuhrverbindung verdrängte Aktorfluid aufnimmt. Der Aktor geht somit in der stabilen Ruheposition zurück.

Bistabiler Aktor gemäß einem Aspekt

[0031] Ein Aspekt der Erfindung betrifft einen bistabilen Aktor umfassend:

- eine Aktorfluidzufuhr, durch welche ein Aktorfluid bereitstellbar ist und welche mittels einer Aktorfluidzufuhrverbindung mit einer Aktorkammer fluidisch verbunden ist;
- zumindest ein mit der Aktorkammer fluidisch verbundenes Aktorelement, welches durch Anlegen eines Überdrucks in der Aktorkammer von einer Ruheposition in eine Aktuationsposition überführbar ist;
- eine Verschlußvorrichtung, mit welcher die Aktorfluidzufuhrverbindung druckdicht verschließbar ist.

[0032] Bevorzugt ist die Aktorfluidzufuhr ausgelegt, daß Aktorfluid mit einem Überdruck von größer als etwa 100 hPa, bevorzugt größer als etwa 500 hPa, insbesondere größer als etwa 1000 hPa bereitzustellen. Die Aktorfluidzufuhr umfaßt weiter bevorzugt einen mikrofluidischen Kanal, welcher das Aktorfluid leitet. Der mikrofluidische Kanal weist insbesondere einen Durchmesser von weniger als etwa 5 mm, bevorzugt weniger als etwa 2 mm, besonders bevorzugt weniger als etwa 1 mm und insbesondere weniger als etwa 0,1 mm auf. Dementsprechend kann die Querschnittsfläche des mikrofluidischen Kanals, welcher die Aktorfluidzufuhr ausbildet, weniger als etwa 5 mm², bevorzugt weniger als etwa 1 mm² und insbesondere weniger als etwa 0,1 mm² betragen. Ebenso kann die Aktorfluidzufuhrverbindung als mikrofluidischer Kanal ausgebildet sein, welcher dementsprechend dieselben Durchmesser bzw. Querschnittsdimension aufweist, oder jeweils um den Faktor von etwa 2, bevorzugt um ein Faktor von etwa 5 kleiner ist als etwa die Abmessungen der Aktorfluidzufuhr.

[0033] Das mit der Aktorkammer fluidisch verbundene Aktorelement ist durch das Anlegen des Überdrucks in der Aktorkammer verformbar bzw. verlagerbar. Insbesondere ist das Aktorelement entlang einer Aktuationsrichtung A linear verlagerbar. Besonders bevorzugt ist das Aktorelement als eine rückstellfähige elastische Membran ausgebildet. Insbesondere bildet die Membran bzw. das Aktorelement eine Wandung der Aktorkammer aus.

[0034] Die Verschlußvorrichtung in der Aktorfluidzufuhrverbindung wirkt als Ventil, welches die Aktorfluidzufuhr druckdicht bzw. fluiddicht verschließen kann. Die Verschlußvorrichtung kann ebenfalls einen Aktor umfassen. Beispielsweise kann die Verschluß-

vorrichtung als ein elastisch rückstellfähiger Bereich der Wandung der Aktorfluidzufuhrverbindung ausgebildet sein. Dieser elastisch rückstellfähige Bereich der Wandung kann verlagert bzw. derart verformt werden, beispielsweise durch einen fluidischen oder mechanischen Aktor, daß der Querschnitt der Aktorfluidzufuhrverbindung verschlossen ist.

[0035] Vorzugsweise umfaßt die Verschlußvorrichtung ein verflüssigbares Verschlußmedium und ein Heizelement, mit welchem das Verschlußmedium verflüssigbar ist. Weiter vorzugsweise ist das Verschlußmedium im der Aktorflußzufuhrverbindung angeordnet.

[0036] Vorzugsweise ist das Verschlußmedium in einem Verschlußmediumreservoir angeordnet, welches fluidisch mit einem Verschlußelement verbunden ist, welches durch Anlegen eines Überdrucks im Verschlußmediumreservoir von einer Offenposition in eine Geschlossenposition überführbar ist, so daß die Aktorkammer von der Aktorfluidzufuhr durch das Verschlußelement fluidisch trennbar ist.

[0037] Besonders bevorzugt ist das Verschlußelement als elastisch rückstellfähig ausgebildeter Bereich der Wandung der Aktorfluidzufuhrverbindung ausgebildet. Durch Anlegen des Überdrucks im Verschlußmediumreservoir kann das elastisch rückstellfähig ausgebildete Verschlußelement insbesondere derart verformt bzw. verlagert werden, daß sich die Wandung der Aktorfluidzufuhrverbindung im Bereich des Verschlußelements derart verformt, daß die Aktorfluidzufuhrverbindung verschlossen ist. Das Verschlußmedium kann insbesondere eine inkompressible Flüssigkeit, wie beispielsweise flüssiges Paraffin, sein. Zum Verschließen der Aktorfluidzufuhrverbindung kann das Verschlußmediumreservoir mittels des Heizelements erwärmt werden, so daß das darin enthaltene Verschlußmedium aufgeschmolzen wird bzw. flüssig wird. Durch Anlegen eines Überdrucks in dem Verschlußmediumreservoir kann das Verschlußmedium auf das Verschlußelement wirken, so daß sich dieses verlagert bzw. verformt. Durch das Verformen bzw. Verlagern des Verschlußelementes gelangt dieses in die Geschlossenposition, wobei die Aktorfluidzufuhrverbindung fluiddicht bzw. druckdicht verschlossen wird. Nach dem Erreichen der Geschlossenposition kann das Heizelement abgeschaltet werden, so daß das Verschlußmedium innerhalb des Verschlußmediumreservoirs erstarrt, und das Verschlußelement daran gehindert ist, sich rückzustellen, um in die Offenposition zurückzukehren.

[0038] Da das Verschlußelement in der Geschlossenposition die Aktorfluidzufuhrverbindung druckdicht verschließt, verweilt auch das Aktorelement in seiner Position, gleichgültig, ob dies die Ruheposition oder die Aktuationsposition ist.

[0039] Vorzugsweise umfaßt der Aktor eine Reservoirfluidzufuhr, welche mittels einer Reservoirfluidzufuhrverbindung mit dem Verschlußmediumreservoir fluidisch verbunden ist. Mittels der Reservoirfluidzufuhr kann ein Überdruck in dem Verschlußmediumreservoir erzeugt werden. Dazu ist die Reservoirfluidzufuhr bevorzugt mit einer Reservoirfluidquelle verbunden, welche ein Reservoirfluid mit dem notwendigen Überdruck bereitstellt, so daß das Reservoirfluid den Überdruck über die Reservoirfluidzufuhrverbindung in dem Verschlußmediumreservoir erzeugen kann. Dabei kann das Reservoirfluid mit dem in dem Verschlußmediumreservoir enthaltenen Verschlußmedium mittelbar oder unmittelbar kontaktieren. Insbesondere kann die Reservoirfluidzufuhrverbindung eine verformbare Wandung umfassen, welche durch einen Überdruck in der Reservoirfluidzufuhr verformbar ist. Die Verformung dieser Wandung in der Reservoirfluidzufuhrverbindung kann elastisch und/oder plastisch erfolgen. Dieser verformbare Bereich der Wandung bildet bevorzugt zumindest bereichsweise die Wandung des Verschlußmediumreservoirs aus, so daß eine Verformung der Wandung einen Überdruck in dem Verschlußmediumreservoir erzeugt. Die Reservoirfluidzufuhr kann ebenfalls als mikrofluidischer Kanal mit den entsprechenden Abmessungen ausgebildet sein. Insbesondere können die Reservoirfluidzufuhr und die Aktorfluidzufuhr innerhalb einer, bevorzugt ein und derselben, Schicht ausgebildet sein. Diese Schicht ist bevorzugt aus einem Kunststoff, beispielsweise einem Elastomer oder einem Polymer, ausgebildet. Insbesondere ist die Schicht, in welcher die mikrofluidischen Kanäle ausgebildet sind, starr genug, um beim Anlegen eines Überdrucks in der Reservoirfluidzufuhr bzw. Aktorfluidzufuhr nicht zu verformen.

Aktoranordnung gemäß einem Aspekt

[0040] Ein Aspekt der Erfindung betrifft eine Aktoranordnung mit zumindest zwei erfindungsgemäßen Aktoren, wobei die Fluidzufuhren der Aktoren fluidisch miteinander verbunden sind. Es versteht sich, daß auch 3, 4, 5, 6, 7, 8 oder mehr Aktoren zu einer Aktoranordnung zusammengefaßt werden können. Besonders bevorzugt können die Aktoren in einer rechteckigen Anordnung zu Feldern von zweimal zwei, dreimal drei, zweimal drei, ..., n mal m Aktoren angeordnet werden, wobei n und m beliebige natürliche Zahlen sind. Weiter bevorzugt sind die m Aktoren entlang einer Richtung x äquidistant angeordnet. Weiter bevorzugt sind die n Aktoren entlang einer Richtung y äquidistant beabstandet voneinander angeordnet, insbesondere stehen die Richtungen x und y senkrecht zueinander. Vorteilhafterweise können in beliebiger Anordnungen von beliebig vielen Aktoren gebildet werden, wobei die Aktoren gemeinsam von einer gemeinsamen Aktorfluidquelle gespeist werden können, da die Aktorfluidzufuhren untereinander fluidisch verbunden sind. Weiter bevorzugt können die Akto-

ren jeweils eine Reservoirfluidzufuhr aufweisen, wobei die Reservoirfluidzufuhren der Aktoren untereinander fluidisch verbunden sind und insbesondere mit einer gemeinsamen Reservoirfluidquelle verbunden sind. Weiter bevorzugt werden die Aktoren der Aktoranordnung von einer einzigen Systemsteuerung angesteuert. Das heißt, daß die Systemsteuerung die Heizelemente der Aktoren sowie die Aktorfluidquelle und gegebenenfalls die Reservoirfluidquelle steuert.

Verwendung gemäß einem Aspekt

[0041] Ein Aspekt der Erfindung betrifft eine Verwendung einer erfindungsgemäßen Aktoranordnung als haptische Anzeigevorrichtung, wobei mittels der Aktorelemente der Aktoranordnung eine Vielzahl von ertastbaren Zeichen darstellbar ist. Insbesondere können die Aktoren verwendet werden um Zeichen in Blindenschrift darzustellen. Beispielsweise können die Aktoren zu Gruppen von dreimal zwei Aktoren angeordnet sein, wodurch jeweils ein Buchstabe in Braille-Schrift darstellbar ist. Eine Mehrzahl solcher Gruppen kann zu einer Zeile angeordnet werden. Weiter können mehrere Zeilen untereinander ausgebildet sein, so daß eine Anzahl von 40, 60, 80, 120, 200, 300, 400, 600, 960 oder mehr Zeichen gleichzeitig darstellbar ist. Die Aktoren bilden durch ihre Aktorelemente in der Aktuationsposition jeweils eine punktförmige Ausbuchtung einer Oberfläche der Anzeigevorrichtung, welche von einem Nutzer ertastbar ist. Vorteilhafterweise können Inhalte in Blindenschrift durch die bistabilen Aktoren in energieeffizienter Weise dargestellt werden, da zum Aufrechterhalten eines Schriftbildes keine Energie mehr notwendig ist. Eine Energiezufuhr ist erst notwendig, wenn das Schriftbild der Anzeigevorrichtung geändert werden soll.

Figurenbeschreibung

[0042] Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen beispielhaft erläutert, wobei einzelne Merkmale losgelöst voneinander beliebig zu neuen Ausführungsformen kombiniert werden können. Es zeigen

[0043] **Fig. 1:** Schnittansichten durch eine bevorzugte Ausführungsform eines bistabilen Aktors in sechs verschiedenen Zuständen i bis vi und

[0044] **Fig. 2:** Schnittansichten durch eine weitere bevorzugte Ausführungsform eines bistabilen Aktors in acht verschiedenen Zuständen i bis viii.

[0045] Die **Fig. 1** zeigt einen Aktor in sechs verschiedenen Zuständen i bis iv. Die **Fig. 1i** zeigt den Aktor **1** in einem Ruhezustand. Der Aktor **1** ist als mikrofluidischer Aktor ausgebildet, welcher einen starren Volumenkörper **3** umfaßt, der auf einem planaren Substrat

5 angeordnet ist. In dem Volumenkörper **3** des Aktors **1** sind eine Aktorfluidzufuhr **7**, eine Aktorfluidzufuhrverbindung **9** und eine Aktorkammer **11** ausgebildet. Die Wandung der Aktorkammer **11** ist dabei bereichsweise durch eine Elastomermembran **13** ausgebildet, welche an dem Volumenkörper **3** befestigt ist, beispielsweise durch Kleben oder Laminieren.

[0046] Die Aktorfluidzufuhr **7** und die Aktorfluidzufuhrverbindung **9** sind als mikrofluidische Kanäle ausgebildet. Mit anderen Worten weisen die Aktorfluidzufuhr **7** und/oder die Aktorfluidzufuhrverbindung **9** einen Durchmesser von weniger als 1 mm, bevorzugt weniger als 100 µm und insbesondere einen Durchmesser von etwa 10 µm bis etwa 50 µm auf. Das Volumen der Aktorkammer **11** liegt dementsprechend in einem Bereich von etwa 0,01 mm³ bis etwa 2 mm³. Bei einem betriebsgemäßen Gebrauch des Aktors **1** ist die Aktorfluidzufuhr **7** mit einem Aktorfluid **15** gefüllt und mit einer Aktorfluidquelle (nicht gezeigt) fluidisch verbunden, um einen Überdruck in der Aktorfluidzufuhr **7** bereitstellen zu können. Die Aktorkammer **11** ist bei betriebsgemäßem Gebrauch mit einem Aktorkammerfluid **17** gefüllt, welches von dem Aktorfluid **15** in der Aktorfluidzufuhr **7** verschieden oder damit identisch sein kann. Da beim betriebsgemäßen Gebrauch des Aktors **1** in der Aktorfluidzufuhr **7**, in der Aktorfluidzufuhrverbindung **9** sowie in der Aktorkammer **11** ein Überdruck anliegen kann, ist der Volumenkörper **3** des Aktors **1** derart mechanisch starr ausgebildet, daß sich der Volumenkörper **3** im wesentlichen nicht mechanisch verformt, wenn ein Überdruck anliegt. Der Volumenkörper **3** kann beispielsweise aus einem Polymer gefertigt sein, wie beispielsweise PVC, PE, PP, ABS, Polycarbonat und ähnlichem. Dagegen ist die Elastomermembran **13** elastisch rückstellfähig verformbar ausgebildet. Mit anderen Worten kann die Elastomermembran **13** durch einen in der Aktorkammer **11** angelegten Überdruck verformt werden. Da die Elastomermembran **13** rückstellfähig ausgebildet ist, kehrt die Elastomermembran **13** in ihre ursprüngliche Form bzw. Position zurück, wenn der Überdruck des Aktorkammerfluids **17** in der Aktorkammer **11** nicht mehr anliegt. Mit anderen Worten ist der Volumenkörper **3** starrer ausgebildet als die Elastomermembran **13**. Insbesondere weist der Volumenkörper **3** einen größeren Schermodul und/oder Elastizitätsmodul als die Elastomermembran **13** auf.

[0047] In der Aktorfluidzufuhrverbindung **9** ist ein Heizelement **19** angeordnet, welches beispielsweise als Ohm'scher Widerstand bzw. Heizwiderstand **19** ausgebildet sein kann. Insbesondere kann das Heizelement **19** als SMD Bauteil ausgebildet sein, welches elektrisch mit einer Leiterplatte **5** als bevorzugtem planaren Substrat **5** elektrisch verbunden sein kann. Vorteilhafterweise kann die Leiterplatte **5** dann sowohl als mechanischer Träger des Volumenkör-

pers **3** als auch als Energieversorgung für das Heizelement **19** dienen.

[0048] Die Aktorfluidzufuhrverbindung **9** ist mit einem Verschußmedium **21** gefüllt. Das Verschußmedium **21** kann auch Teile der Aktorfluidzufuhr **7** füllen. In der in [Fig. 1](#) gezeigten bevorzugten Ausführungsform des Aktors **1** kontaktiert das Verschußmedium **21** unmittelbar das Heizelement **19**. Es versteht sich jedoch, daß das Verschußmedium und das Heizelement **19** auch voneinander noch durch weitere Elemente getrennt sein können, wobei das Heizelement **19** das Verschußmedium **21** thermisch kontaktiert. Mit anderen Worten ist das Verschußmedium **21** mittels des Heizelements **19** erwärmbar.

[0049] In dem in [Fig. 1i](#) gezeigten Zustand ist das Verschußmedium **21** in einem festen Aggregatzustand, so daß die Aktorfluidzufuhrverbindung **9** durch das Verschußmedium **21** druckdicht geschlossen ist. Mit anderen Worten hat ein Überdruck in dem Aktorfluid **15** innerhalb der Aktorfluidzufuhr **7** keine Wirkung auf das Aktorkammerfluid **17** in der Aktorkammer **11**. Demnach kann das Anlegen eines Überdrucks in der Aktorfluidzufuhr **7** keine Verformung der Elastomermembran **13** bewirken.

[0050] Weiter bevorzugt umfaßt der Aktor **1** ein Kühlelement **23**, welches beispielsweise als Peltier-Element ausgeführt sein kann. In der in [Fig. 1](#) gezeigten bevorzugten Ausführungsform des Aktors **1** kontaktiert das Kühlelement **23** das Verschußmedium **21** lediglich mittelbar über das planare Substrat **5**. Mit anderen Worten wird der thermische Kontakt über das planare Substrat **5** hergestellt. Somit kann das Verschußmedium **21** mittels des Kühlelements **23** gekühlt werden. Insbesondere kann die Kühlung lokal erfolgen, wobei das Verschußmedium **21** bevorzugt ausschließlich innerhalb der Aktorfluidzufuhrverbindung **9** bzw. im Bereich der Aktorfluidzufuhrverbindung **9** gekühlt wird bzw. kühlbar ist.

[0051] Der Aktor **1** wird bevorzugt bei einer Umgebungstemperatur von 20°C bis etwa 24°C betrieben. Da der Aktor **1** außer dem Heizelement **19** und dem Kühlelement **23** keine weiteren thermisch aktiven Bauelemente aufweist, entspricht die Temperatur innerhalb des Aktors, insbesondere innerhalb der Aktorfluidzufuhrverbindung **9**, der Umgebungstemperatur, wenn das Heizelement **19** und das Kühlelement **23** deaktiviert sind. Bevorzugt wird das Verschußmedium **21** derart ausgewählt, daß es bei einer Temperatur entsprechend der Umgebungstemperatur (also etwa 20°C bis 24°C) in einem festen Aggregatzustand vorliegt. Weiter wird das Heizelement **19** derart dimensioniert, daß das Heizelement **19** eine Heizleistung bereitstellt, die ausreicht, das Verschußmedium **21** auf eine Temperatur oberhalb des Schmelzpunktes zu erwärmen. Ein beispielhaftes Verschußmedium **21** ist Paraffin, welches je nach Moleküllän-

ge der darin enthaltenen Alkane einen Schmelzpunkt von etwa 45°C bis etwa 80°C aufweist.

[0052] Zweckmäßigerweise ist das Verschußmedium **21** gegenüber dem Aktorfluid **15** chemisch beständig, insbesondere nicht lösbar. Beispielsweise kann das Verschußmedium **21** aus einer oder mehreren nicht-polaren Substanz(en) bestehen, während das Aktorfluid **15** aus einer oder mehreren polaren Substanz(en) besteht. Bei der bevorzugten Verwendung von Paraffin als Verschußmedium **21** kann beispielsweise Wasser als Aktorfluid **15** dienen.

[0053] Bevorzugt können Aktorfluid **15** und Verschußmedium **21** identisch sein. Insbesondere für den Fall, daß das Verschußmedium **21** gekühlt wird, um zu erstarren, können Aktorfluid **15** und Verschußmedium **21** aus einer einzigen Flüssigkeit (beispielsweise Wasser) bestehen, die ohne Kühlung flüssig ist und die durch die Kühlung erstarrt.

[0054] In dem in [Fig. 1i](#) gezeigten Ruhezustand des Aktors **1** sind der Heizwiderstand **19** sowie das Kühlelement **23** ausgeschaltet und das Verschußmedium **21** liegt in einem festen Aggregatzustand vor, so daß die Aktorfluidzufuhrverbindung **9** fluiddicht bzw. druckdicht durch das Verschußmedium **21** verschlossen ist und damit die Aktorkammer **11** fluidisch von der Aktorfluidzufuhr **7** getrennt ist. Da dem Aktor **1** keinerlei Energie zugeführt werden muß, um den Ruhezustand zu erhalten, kann dieser Ruhezustand als erster stabiler Zustand bezeichnet werden.

[0055] Wird das Heizelement **19** aktiviert bzw. eingeschaltet, so geht der Aktor **1** in den in [Fig. 1ii](#) gezeigten Zustand über, der solange aufrechterhalten wird, solange das Heizelement **19** eingeschaltet ist. Durch die durch das Heizelement **19** abgegebene thermische Energie wird das Verschußmedium **21** auf eine Temperatur oberhalb der Schmelztemperatur, beispielsweise oberhalb 45°C oder etwa oberhalb 80°C, erwärmt, so daß das Verschußmedium **21** in den flüssigen Aggregatzustand übergeht. Dadurch ist die Aktorkammer **11** nicht mehr mittels des Verschußmediums **21** von der Aktorfluidzufuhr **7** druckdicht getrennt.

[0056] Durch Beaufschlagen des Aktorfluids **15** in der Aktorfluidzufuhr **7** mit einem Überdruck werden das Aktorfluid **15** und das Verschußmedium **21** in Richtung der Aktorkammer **11** verlagert.

[0057] Durch Anlegen eines Überdrucks in der Aktorfluidzufuhr **7** wird auch ein Überdruck in der Aktorkammer **11**, die jetzt über die Aktorfluidzufuhrverbindung **9** fluidisch mit der Aktorfluidzufuhr **7** verbunden ist, angelegt. Durch den Überdruck in der Aktorkammer **11** wird die Elastomermembran **13** verformt bzw. zumindest teilweise entlang einer Aktuatiionsrichtung A verlagert. Der Druck in der Aktorfluid-

zufuhr 7 kann beispielsweise mittels einer nicht gezeigten Aktorfluidquelle angelegt werden. Alternativ kann das in der Aktorfluidzufuhr 7 enthaltene Aktorfluid 5 auch mittels eines anderen Fluids mit dem Überdruck beaufschlagt werden. Beispielsweise kann ein inkompressibles Aktorfluid 15 in die Aktorfluidzufuhr 7 gefüllt sein, wie beispielsweise eine Flüssigkeit, z. B. Wasser oder aliphatische Kohlenwasserstoffe. Im wesentlichen können alle Flüssigkeiten als Aktorfluid 15 eingesetzt werden, deren Schmelzpunkte knapp unterhalb des Arbeitsbereichs (beispielsweise etwa 0°C) des Aktors liegen. Inkompressible Flüssigkeiten sind vorteilhafterweise volumeninvariant, so daß der in der Aktorfluidzufuhr 7 wirkende Überdruck keine Änderung des Aktorfluidvolumens bewirkt, wodurch vorteilhafterweise Wirkungsverluste durch das Komprimieren des Aktorfluids vermieden werden. Beispielsweise kann das Aktorfluid 15 in der Aktorfluidzufuhr 7 pneumatisch mit einem Überdruck belegt werden. Insbesondere kann eine Druckluftquelle (nicht gezeigt) mit der Aktorfluidzufuhr 7 fluidisch verbunden sein, so daß das in der Aktorfluidzufuhr 7 enthaltene Aktorfluid 15 mittels der Druckluft mit einem Überdruck beaufschlagt wird. Der für das Aktivieren der Elastomermembran 13 als bevorzugte Ausführungsform eines Aktorelements benötigte Überdruck kann etwa 1 bar bis etwa 4 bar betragen, weiter bevorzugt kann der Überdruck etwa 2 bar bis etwa 3 bar betragen.

[0058] Nachdem das Aktorelement bzw. die Elastomermembran 13 entlang der Aktuationsrichtung A verformt wurde, wird das Heizelement 19 abgeschaltet, so daß das Verschlußmedium 21 nicht weiter erwärmt wird. Zusätzlich kann das Verschlußmedium 21 mittels des Kühlelements 23 gekühlt werden. Ist das Verschlußmedium 21 unterhalb des Schmelzpunktes abgekühlt, so liegt das Verschlußmedium 21 wieder in festem Aggregatzustand vor. Dabei wird die Aktorfluidzufuhrverbindung 9 wieder druckdicht verschlossen. Nach dem Erstarren des Verschlußmediums 21 bzw. dem Verschließen der Aktorfluidzufuhrverbindung 9 ist ein weiteres Kühlen mittels des Kühlelements 23 nicht mehr notwendig.

[0059] Alternativ kann das Kühlelement 23 kontinuierlich betrieben werden, wobei das Heizelement 19 lediglich zum Schmelzen des Verschlußmediums 21 eingeschaltet wird. Diese alternative Betriebsart erfolgt zweckmäßigerweise für den Fall, daß das Verschlußmedium 21 einen Schmelzpunkt aufweist, der unterhalb der Betriebstemperatur des Aktors 1 liegt, beispielsweise bei der Verwendung von Wasser als Verschlußmedium 21.

[0060] Es wird der in Fig. 1iv gezeigte Aktuationszustand des Aktors 1 erreicht, bei welchem das Aktorelement bzw. die Elastomermembran 13 aufgrund des in der Aktorkammer 11 gehaltenen Überdrucks des Aktorkammerfluids 17 in der Aktuationsposition

verlagert bzw. verformt bleibt. Da der Überdruck des Aktorkammerfluids 17 in der Aktorkammer 11 aufgrund des druckdichten Verschließens der Aktorfluidzufuhrverbindung 9 mittels des Verschlußmediums 21 von den Druckverhältnissen in der Aktorfluidzufuhr 7 unabhängig ist, kann der an die Aktorfluidzufuhr 7 angelegte Überdruck wieder abgelassen werden. Der Aktuationszustand kann deshalb auch als zweiter stabiler Zustand bezeichnet werden.

[0061] Ein Aktivieren des Heizelementes 19 führt zu einem Aufschmelzen des Verschlußmediums 21 in der Aktorfluidzufuhrverbindung 9, so daß der in der Aktorkammer 11 vorhandene Überdruck durch ein Verlagern des Verschlußmediums 21 zu einer von der Aktorkammer 11 weiter entfernten Position entweichen kann, wenn in der Aktorfluidzufuhr 7 kein Überdruck anliegt. Insbesondere kann der Druck in der Aktorfluidzufuhr 7 dem Umgebungsdruck des Aktors 1 entsprechen, welcher auch auf die Außenseite 13a der Elastomermembran 13 entgegen der Aktuationsrichtung A wirkt. Die Rückstellkraft der rückstellfähig elastisch verformbaren Elastomermembran 13 sorgt dann für ein Rückstellen der Elastomermembran und für ein Verlagern des Verschlußmediums 21, wie in Fig. 1vi gezeigt. Sobald die Elastomermembran 13 in ihrer Ursprungsposition zurückgekehrt ist, kann das Heizelement 19 deaktiviert werden, so daß das Verschlußmedium 21 wieder erstarrt und die Aktorfluidzufuhrverbindung 9 druckdicht verschließt, so daß der Aktor 1 in die Ruheposition, wie in Fig. 1i gezeigt, zurückkehrt. Da der Aktor 1, wie in der Fig. 1 gezeigt, genau zwei stabile Zustände aufweist, nämlich den Ruhezustand und den Aktuationszustand, kann der Aktor 1 auch als bistabiler Aktor 1 bezeichnet werden.

[0062] Mit anderen Worten kann der in Fig. 1 gezeigte bistabile Aktor 1 ein Verfahren zum bistabilen Aktivieren mit folgenden Schritte durchführen:

- Verflüssigen des Verschlußmediums 21, welches in der Aktorfluidzufuhrverbindung 9 zwischen einer Aktorkammer 11 und einer Aktorfluidzufuhr 7 angeordnet ist und die Aktorkammer 11 von der Aktorfluidzufuhr 7 fluidisch trennt;
- Anlegen eines Fluidüberdruckes in der Aktorfluidzufuhr 7, wobei das umaufgeschmolzene Verschlußmedium 21 zumindest teilweise in Richtung der Aktorkammer 11 verlagert wird und wobei ein Arbeitsüberdruck in der Aktorkammer 11 erzeugt wird, wodurch ein mit der Aktorkammer 11 fluidisch verbundenes Aktorelement 13 von einer Ruheposition in eine Aktuationsposition überführt wird;
- Erstarren des Verschlußmediums 21, wobei die Aktorfluidzufuhrverbindung 9 druckdicht verschlossen wird, so daß der Arbeitsdruck in der Aktorkammer 11 erhalten und das Aktorelement 13 in der Aktuationsposition verbleibt.

[0063] Der Aktor befindet sich nach diesen Schritten in einem stabilen Aktuationszustand, der keine weitere Energiezufuhr benötigt. Bevorzugt kann das Verfahren einen oder mehrere folgender weiterer Schritte umfassen:

- Ablassen des Überdrucks oder Anlegen eines Unterdrucks in der Aktorfluidzufuhr **7**;
- Verflüssigen des Verschlußmediums **21** in der Aktorfluidzufuhrverbindung **9**, wobei der Arbeitsüberdruck in der Aktorkammer **11** sinkt und das Aktorelement **13** von der Aktuationsposition in die Ruheposition zurückkehrt.
- Erstarren des Verschlußmediums **21**, wobei der Aktor **1** ist seinen ursprünglichen Ruhezustand übergeht.

[0064] Der in der [Fig. 1](#) gezeigte Aktor **1** weist bevorzugt eine Aktorfluidzufuhrverbindung **9** auf, welche einen Durchmesser bzw. eine Spaltbreite von etwa 10 µm bis etwa 1 mm aufweist, wodurch nur ein geringes Volumen an Verschlußmedium **21** notwendig ist, um die Aktorfluidzufuhrverbindung **9** zu verschließen. Dadurch hat der Aktor **1** vorteilhafterweise eine verbesserte Aktordynamik, da die Zeit zum Aufschmelzen des geringen Volumens an Verschlußmedium **21** entsprechend klein ist. Die Schaltzeiten des Aktors **1** vom Ruhezustand in den Aktuationszustand kann daher im Bereich von etwa 0,1 sec bis etwa 1 sec betragen.

[0065] Da es lediglich notwendig ist, das Verschlußmedium **21** im Bereich der Aktorfluidzufuhrverbindung **9** derart zu erwärmen, daß das Verschlußmedium **21** in den flüssigen Aggregatzustand übergeht, bleibt die Erwärmungszone für das Heizelement **19** auf den Bereich der Aktorfluidzufuhrverbindung **9** beschränkt. Insbesondere kann das Heizelement **19** eine Wandung der Aktorfluidzufuhrverbindung **9** ausbilden. Dadurch kann die Kontaktfläche des Heizelements **19** mit dem Verschlußmedium **21** im Verhältnis zum Volumen des Verschlußmediums **21** derart günstig ausfallen, daß ein Aufschmelzen des Verschlußmediums **21** im gesamten Volumen der Aktorfluidzufuhrverbindungen **9** vorzugsweise in einer Zeit kleiner als 1 sec erfolgen kann. Bevorzugt kann das Heizelement **19** als SMD Bauteil (surface mounted device) ausgebildet sein, wodurch das Heizelement **19** insbesondere in einfacher Weise an eine Leiterplatte **5** als bevorzugtes planares Substrat **5** befestigt und elektrisch kontaktiert werden kann.

[0066] Weiter vorteilhafterweise ermöglicht der Aktor **1** eine räumliche Entkopplung und damit eine effektive thermische Trennung zwischen der (thermisch modulierten) Aktorfluidzufuhrverbindung **9** und der Aktorkammer **11** bzw. dem Aktorelement **13**, welches bevorzugt als Elastomermembran **13** ausgebildet ist, das heißt, dem Ort, an welchem das Aktorelement **13** entlang der Aktuierungsrichtung A verlagert wird (an dem Ort, an welchem ein Aktorhub auftritt).

Da das Aktorfluid **15** bevorzugt eine inkompressible Flüssigkeit ist, kann der Aktorhub nahezu unbegrenzt hydraulisch übertragen werden. Mit anderen Worten kann die fluidische Verbindung zwischen der Aktorkammer **11** und der Aktorfluidzufuhrverbindung **9** länger als einige Millimeter, insbesondere größere als 1 cm, bevorzugt größer als 5 cm sein, wodurch die Ausbildung des Aktors variabel erfolgen kann.

[0067] In einer bevorzugten Ausführungsform des in der [Fig. 1](#) gezeigten Aktors **1** umfaßt der Aktor neben dem Heizelement eine Wärmesenke bzw. ein Kühlelement **23**, welche beispielsweise in Form einer heat pipe oder eines Peltier-Elements ausgeführt sein kann. Das Kühlelement **23** kann bevorzugt permanent in Betrieb sein. Dies ist insbesondere deshalb vorteilhaft, da es technisch einfacher ist, lokal Wärme zu erzeugen, als lokal Wärme abzuführen. Das Heizelement **19** kann zur Überkompensation des Kühlelements **23** zeitlich gesteuert ein- und ausgeschaltet werden. Die Erzeugung von Wärme erfolgt vorteilhafterweise sehr schnell, das heißt, bevorzugt schneller als etwa 100 Millisekunden, bevorzugt schneller als etwa 50 Millisekunden und insbesondere schneller als etwa 10 Millisekunden, beispielsweise im Fall eines Ohm'schen Widerstandes als bevorzugte Ausführungsform eines Heizelementes **19**. Da das Abführen der Wärme bevorzugt kontinuierlich erfolgt, weist der Aktor **1** nach dem Abschalten des Heizelements **19** eine ähnlich gute Aktordynamik auf, wie beim Aufheizen. Weiter bevorzugt kann in einer Anordnung von mehreren Aktoren **1** ein gemeinsames Kühlelement **23** vorgesehen sein, welches als gemeinsame Wärmesenke für eine Mehrzahl von Heizelementen **19** dient.

[0068] Weiter vorteilhafterweise ist der in [Fig. 1](#) gezeigte Aktor **1** konstruktiv einfach aufgebaut. Er umfaßt vorzugsweise einen festen Volumenkörper **3**, ein planares Substrat **5**, mit daran angeordneten bzw. befestigten und elektrisch kontaktierten Heizelementen **19** sowie einer auf dem Volumenkörper **3** aufgebrachten Elastomermembran **13**. Es sind somit vorteilhafterweise lediglich zwei Verbindungsschritte notwendig, um einen Aktor gemäß [Fig. 1](#) herzustellen. Insbesondere sind die Verbindungen zwischen dem Volumenkörper **3** und der Elastomermembran **13** bzw. dem Volumenkörper **3** und dem planaren Substrat **5** flächig bzw. flächenwirksam ausgebildet. Mit anderen Worten kann die Elastomermembran **13** durch ein Kleben bzw. Laminieren mit dem Volumenkörper **3** verbunden werden. Weiter vorzugsweise kann der Volumenkörper **3** durch ein Kleben oder Laminieren mit dem planaren Substrat **5** verbunden werden.

[0069] Weiter vorteilhafterweise ist der in [Fig. 1](#) gezeigte Aktor **1** im klassischen Sinne bistabil: Der Ruhezustand des Aktors, in welchem das Aktorelement sich in einer Ruheposition befindet, ebenso wie der

Aktuationszustand, bei welchem das Aktorelement entlang der Aktuierungsrichtung A ausgelenkt ist und sich in einer Aktuierungsposition befindet, werden über den Phasenübergang des Verschlußmediums stabilisiert. Mit anderen Worten bewirkt der feste Aggregatzustand des Verschlußmediums **21**, daß sich der Zustand des Aktors **1** nicht mehr ändert, ohne daß dem Aktor **1** Energie zugeführt wird, welche beispielsweise mittels des Heizelements **19** das Verschlußmedium **21** in den flüssigen Aggregatzustand überführt. Im Gegensatz dazu muß das Aktorfluid **15** bei den Temperaturen, die beim betriebsgemäßen Gebrauch des Aktors **1** in der Aktorfluidzufuhr **7** auftreten, immer flüssig sein. Daher eignen sich Paraffine, welche typischerweise einen Schmelzpunkt größer als 40°C aufweisen, nicht als Aktorfluid **15**. Bevorzugt werden inkompressible Flüssigkeiten als Aktorfluid **15** eingesetzt, beispielsweise Wasser oder aliphatische Kohlenwasserstoffe, deren Schmelzpunkte unterhalb der Temperatur des Aktors **1** bei betriebsgemäßem Gebrauch (beispielsweise um 0°C) liegen.

[0070] Die **Fig. 2** zeigt Schnittansichten durch eine weitere bevorzugte Ausführungsform eines bistabilen Aktors **1** in acht verschiedenen Zuständen i bis viii. Der Aufbau des Aktors **1** in **Fig. 2** entspricht in vielen Elementen dem Aufbau des in **Fig. 1** gezeigten Aktors. Die identischen Bauteile sind deshalb mit identischen Bezugszeichen versehen.

[0071] Der Aktor **1** umfaßt einen Volumenkörper **3**, welcher aus zwei Schichten **3a** und **3b** besteht, welche miteinander verbunden bzw. verklebt sind, beispielsweise durch Laminieren. In dem Volumenkörper **3** ist eine Aktorfluidzufuhr **7** und eine Aktorfluidzufuhrverbindung **9** innerhalb einer ersten Schicht **3a** des Volumenkörpers **3** ausgebildet. Die zweite Schicht **3b** des Volumenkörpers **3** bildet zumindest teilweise eine Aktorkammer **11** aus, welche mit der Aktorfluidzufuhrverbindung **9** fluidisch verbunden ist. An der zweiten Schicht **3b** des Volumenkörpers **3** ist eine Elastomermembran **13** befestigt, wobei die Elastomermembran **13** zumindest eine Wandung der Aktorkammer **11** ausbildet. Weiter sind in der ersten Schicht **3a** des Volumenkörpers **3** eine Reservoirfluidzufuhr **25** sowie eine Reservoirfluidzufuhrverbindung **27** ausgebildet, welche nicht mit der Aktorfluidzufuhr **7** fluidisch verbunden sind bzw. von dieser getrennt sind.

[0072] An der ersten Schicht **3a** des Volumenkörpers **3** ist eine zweite Elastomermembran **29** angeordnet bzw. befestigt, welche zumindest bereichsweise eine Wandung der Aktorfluidzufuhrverbindung **9** und der Reservoirfluidzufuhrverbindung **27** ausbildet. Insbesondere ist die zweite Elastomermembran **29** in dem Bereich, der die Wandung der Aktorfluidzufuhrverbindung **9** ausbildet, elastisch rückstellfähig ausgebildet, so daß die zweite Elastomermembran **29** in diesem Bereich als Verschlußelement **29a** fungiert.

Weiter ist die zweite Elastomermembran **29** in dem Bereich, welcher die Wandung der Reservoirfluidzufuhrverbindung **27** ausbildet, verformbar ausgebildet, so daß dieser Bereich der zweiten Elastomermembran **29** als Druckübertragungselement **29b** dienen kann. Insbesondere ist das Druckübertragungselement **29b** dadurch verformbar, daß mittels der Reservoirfluidzufuhr **25** ein Überdruck in der Reservoirfluidzufuhrverbindung **27** an das Druckübertragungselement **29b** angelegt wird, welches sich dadurch verformt. An der Seite der zweiten Elastomermembran **29**, welche dem Volumenkörper **3** gegenüberliegt bzw. entgegengesetzt ist, ist ein zweiter Volumenkörper **31** an der zweiten Elastomermembran **29** angeordnet bzw. befestigt. In dem zweiten Volumenkörper **31** ist ein Verschlußmediumreservoir **33** ausgebildet, welches ein Verschlußmedium **21** enthält. Das Verschlußmediumreservoir **33** ist fluidisch mit dem Verschlußelement **29a** und dem Druckübertragungselement **29b** verbunden. Dies kann bevorzugt dadurch realisiert sein, daß das Verschlußelement **29a** und/oder das Druckübertragungselement **29b** zumindest bereichsweise die Wandung des Verschlußmediumreservoirs **33** ausbildet bzw. ausbilden.

[0073] Weiter kann bevorzugt in dem Verschlußmediumreservoir **33** ein Heizelement **19** angeordnet sein, welches ausgelegt ist, das Verschlußmedium **21** innerhalb des Verschlußmediumreservoirs **33** zu erwärmen, um dieses von einem festen Zustand in einen flüssigen Zustand zu überführen. Ein bevorzugtes Verschlußmedium **21** ist Paraffin, wie dies schon im Bezug auf **Fig. 1** beschrieben ist. An dem zweiten Volumenkörper **31** ist in der in **Fig. 2** gezeigten Ausführungsform ein planares Substrat **5** angeordnet bzw. befestigt, wobei das planare Substrat **5** in einer bevorzugten Ausführungsform als Leiterplatte **5** ausgebildet ist, welche das Heizelement **19** trägt und dieses elektrisch kontaktiert.

[0074] Die Funktionsweise der in **Fig. 2** gezeigten Ausführungsform des Aktors **1** entspricht im wesentlichen der Funktionsweise des in **Fig. 1** gezeigten Aktors, wobei die Verschlußvorrichtung des in **Fig. 2** gezeigten Aktors **1** einen mit dem Verschlußmedium **21** gefüllten bistabilen Aktor umfaßt.

[0075] In dem in **Fig. 2i** gezeigten Ruhezustand des Aktors **1** befindet sich das Aktorelement **13**, welches als elastisch und rückstellfähig verformbare Elastomermembran **13** ausgebildet ist, in einer Ruheposition. Die Aktorfluidzufuhrverbindung **9** ist durch einen verformten Bereich der zweiten Elastomermembran **29** fluiddicht und druckdicht verschlossen, so daß die Aktorkammer **11** von der Aktorfluidzufuhr **7** fluidisch getrennt ist. Der verformte Bereich der zweiten Elastomermembran wirkt daher als Verschlußelement **29a**. Das Verschlußelement **29a** wird bevorzugt durch ein erstarrtes Verschlußmedium **21**, welches in dem Verschlußmediumreservoir **33** angeordnet ist, in seiner

Position gehalten. Ob in der Reservoirfluidzufuhr **25** ein Überdruck anliegt, ist daher für die Position des Verschlusselements **29a** nicht relevant. Der Aktor **1** befindet sich somit in einem stabilen Zustand.

[0076] Durch das Aktivieren des Heizelements **19** wird das Verschlußmedium **21** in dem Verschlußmediumreservoir **33** aufgeschmolzen bzw. verflüssigt, so daß sich das rückstellfähig ausgebildete Verschlußelement **29a** in seine ursprüngliche Form bzw.

[0077] Lage zurückkehren kann, wenn kein Überdruck in der Reservoirfluidzufuhr **25** herrscht. Dadurch geht der Aktor in den in der **Fig. 2ii** gezeigten Zustand über, bei welchem die Aktorkammer **11** fluidisch mit der Aktorfluidzufuhr **7** über die Aktorfluidzufuhrverbindung **9** fluidisch verbunden ist.

[0078] Das Heizelement **19** kann nun wieder deaktiviert werden, wie dies in **Fig. 2iv** dadurch dargestellt ist, daß das Heizelement **19** nicht mehr gefüllt dargestellt ist.

[0079] Durch das Anlegen eines Überdrucks in der Aktorfluidzufuhr **7** kann ein Arbeitsüberdruck in der Aktorkammer **11** angelegt werden, wodurch sich das Aktorelement **13** verformt bzw. entlang einer Aktuationsrichtung **A** linear verlagert. Das aktuelle Element **13** geht somit in die Aktuationsposition über, wie dies in **Fig. 2v** gezeigt ist.

[0080] Durch das Aktivieren des Heizelements **19** kann das Verschlußmedium **21** in dem Verschlußmediumreservoir **33** aufgeschmolzen werden bzw. flüssig gehalten werden, so daß durch Anlegen eines Überdrucks in der Reservoirfluidzufuhr **25**, welche mit der Reservoirfluidzufuhrverbindung **27** den Überdruck auf das Verschlußmediumreservoir **33** ausüben kann, das flüssige Verschlußmedium **21** derart mit einem Überdruck beaufschlagt werden, so daß das elastische verformbare Verschlußelement **29a** derart verformt wird, um die Aktorfluidzufuhrverbindung **9** zu verschließen. Dieser Zustand ist in der **Fig. 2vi** gezeigt.

[0081] Nach dem Deaktivieren des Heizelements **19** erstarrt das Verschlußmedium **21** in dem Verschlußmediumreservoir **33**, so daß das Verschlußelement **29a** stabil in der Geschlossenposition, wie in **Fig. 2viii** gezeigt ist, gehalten wird. Dieser Zustand, welcher als Aktuationszustand des Aktors **1** bezeichnet werden kann, ist ohne weitere Energiezufuhr stabil.

[0082] Um den Aktor **1** von dem Aktuationszustand zurück in den Ruhezustand zu überführen, kann das Heizelement **19** aktiviert werden, wobei gleichzeitig kein Überdruck in der Reservoirfluidzufuhr **25** angelegt ist, wie dies in **Fig. 2vii** gezeigt ist. Dadurch geht das Verschlußelement **29a** zurück in eine Offenposition, in der die Aktorfluidzufuhrverbindung **9** zwischen

der Aktorkammer **11** und der Aktorfluidzufuhr **7** geöffnet ist.

[0083] Das Heizelement **19** kann in dieser Phase deaktiviert werden, wie dies in **Fig. 2v** gezeigt ist.

[0084] Ist kein Überdruck in der Aktorfluidzufuhr **7** angelegt bzw. herrscht in der Aktorfluidzufuhr **7** ein Unterdruck gegenüber dem Umgebungsdruck des Aktors **1**, so wird das Aktorelement **13** entgegen der Aktuationsrichtung **A** verlagert bzw. kehrt das aktuelle Element **13** durch seine Rückstellfähigkeit in seine ursprüngliche Lage zurück, wie dies in **Fig. 2iv** gezeigt ist.

[0085] Um das Aktorelement **13** stabil in der Ruheposition zu halten, kann wiederum das Heizelement **19** aktiviert sein, um das Verschlußmedium **21** in dem Verschlußmediumreservoir **33** flüssig zu halten bzw. aufzuschmelzen, wobei dann ein Überdruck in der Reservoirfluidzufuhr **25** angelegt wird, um, wie oben beschrieben, das Verschlußelement **29a** in eine Geschlossenposition zu überführen, in welcher die Aktorfluidzufuhrverbindung **9** fluidicht und druckdicht geschlossen ist. Dieser Zustand ist in **Fig. 2iii** gezeigt.

[0086] Nach dem Deaktivieren des Heizelements **19** und dem Erstarren des Verschlußmediums **21** wird das Verschlußelement **29a** stabil in der Geschlossenposition gehalten, so daß der Aktor **1** in den in **Fig. 2i** gezeigten Ruhezustand zurückkehrt.

[0087] Die vorstehend mit Bezug auf die **Fig. 1** und **Fig. 2** beschriebenen Aktoren sind bistabil und binär ausgeführt. Mit anderen Worten kann das Aktorelement **13** in zwei verschiedenen Zuständen vorliegen, nämlich in der Ruheposition und in der Aktuationsposition. Dabei kann der Aktor **1** jeweils in einen stabilen Zustand gebracht werden, bei welchem das Aktorelement in der Ruheposition bzw. in der Aktuationsposition ohne weitere Energiezufuhr gehalten wird. Weiterhin sind die beschriebenen Aktoren vorteilhafterweise so hochintegrierbar. Insbesondere ist es konstruktiv einfach, mehrere solche Aktoren in einen festen Volumenkörper, beispielsweise einer Polymerkomponente einzubringen. Dies kann vorteilhafterweise durch einfache und kostengünstige Fertigungsverfahren, beispielsweise mittels Spritzgußtechnik erfolgen.

[0088] In einem nächsten Schritt zum Herstellen eines Aktors bzw. einer Aktoranordnung kann eine Leiterplatte an einer Seite der Polymerkomponente bzw. des Volumenkörpers **3** angeordnet bzw. befestigt werden. Insbesondere kann jedem Aktor **1** ein individuell adressierbarer Heizwiderstand **19** zugeordnet sein. Die Aktorkammern **11**, die Aktorfluidzufuhrverbindung **9** sowie zumindest teilweise die Aktorfluidzufuhr **7** kann dann mit einem Fluid, beispielsweise Wasser, befüllt werden. Zur besseren Handha-

bung kann diese Anordnung in diesem Zustand eingefroren werden, beispielsweise in einem Tiefkühlschrank, bevor flächig eine Ebene und strukturierte Elastomermembran **13** als bevorzugtes Aktorelement **13** aufgebracht bzw. befestigt wird, wobei die Elastomermembran **13** die Aktorkammern **11** verschließt.

[0089] Mit Hilfe dieses Herstellungsverfahrens ist es möglich, zugleich eine Mehrzahl von Aktoren **1** in einer Aktoranordnung herzustellen. Insbesondere können mehrere zig oder hundert solcher Aktoren gleichzeitig in einer Aktoranordnung hergestellt werden. Vorteilhafterweise ist keine Justierung aktiv bewegter mechanischer Komponenten notwendig und bis auf eine grobe Ausrichtung, die sicherstellt, daß die Heizelemente **19** relativ zu den Aktorfluidzufuhrverbindungen **9** bzw. den Verschlußmediumreservoirs **33** angeordnet sind, ist in der Herstellung der Aktoranordnung keine genaue Positionierung weiterer Komponenten notwendig.

[0090] Weiter vorteilhafterweise sind die gezeigten Ausführungsformen gut skalierbar. Hierfür können eine Vielzahl der Aktoren **1** konstruktiv hochintegriert werden, beispielsweise etwa 500 Aktoren in unmittelbarer Nähe. Diese können bevorzugt über eine Leiterplatte mit entsprechend etwa hundert einzeln adressierbaren Heizelementen **19** gesteuert werden, wobei jedem einzelnen Aktor ein einzeln adressierbares Heizelement **19** zugeordnet ist. An der Leiterplatte kann bevorzugt eine gemeinsame Wärmesenke angebracht bzw. angeordnet sein, beispielsweise in Form eines elektrisch schaltbaren Peltier-Elements. Werden nun konstruktiv die einzelnen Aktorfluidzufuhren über eine gemeinsame Fluidquelle bzw. ein gemeinsames Fluidreservoir mit einem Aktorfluid betrieben, so wird einfaches skalierbares Funktionsprinzip ermöglicht. Hierbei wird das gemeinsame Fluidreservoir periodisch mit einem Überdruck (beispielsweise 3 bar) belastet, für wenige Sekunden gehalten und wieder auf Umgebungsdruck entspannt. Nun können synchron zu dieser Druckbeaufschlagung und Entlastung, die Einzelheizelemente **19** an bzw. abgeschaltet werden. Durch die Verwendung dieser parallelen Druckbeaufschlagung in Verbindung mit der Verwendung eines Phasenübergangs bzw. Aggregatzustandsübergangs in einer Aktorfluidzufuhrverbindung, die als dünner Spalt bzw. dünner Kanal ausgebildet sein kann, ergibt sich, daß eine einfache robuste binäre wie stabile hochintegrierbare und nahezu unbegrenzt skalierbare Aktoranordnung hergestellt werden kann.

[0091] Dabei besitzt der Aktor eine hohe Dynamik, da aufgrund des geringen Volumens in der Aktorfluidzufuhrverbindung **9** das Volumen an Verschlußmedium **21**, welches aufzuschmelzen bzw. zu erstarren ist, sehr gering ist, beispielsweise kleiner als 1 mm³ und insbesondere kleiner als 0,1 mm³. Dadurch kann vorteilhafterweise eine nahezu punktförmige Heiz-

quelle in Form eines Heizelements **19** verwendet werden, um das Aufschmelzen des Verschlußmediums **21** durchzuführen. Weiter bevorzugt kann ein solches Heizelement kostengünstig und einfach als SMD Widerstand ausgebildet sein, welcher in einfacher Art und Weise an die Leiterplatte kontaktiert werden kann.

[0092] Dennoch kann ein beliebiger Aktorhub des Aktorelements **13** erfolgen, da die Stärke des Aktorhubs von der Menge des Verschlußmediums unabhängig ist. Vielmehr kann ein Aktorfluid mit beliebigem Druck und beliebigem Volumen bereitgestellt sein, um einen beliebigen Aktorhub des Aktorelements **13** bzw. eine beliebige Aktuationskraft des Aktorelements **13** bereitzustellen. Weiter ist es vorteilhafterweise möglich, einen parallelen Betrieb von mehreren Aktorelementen **13** mit einer einzigen externen Druckquelle, welche ein Aktorfluid **15** bereitstellt, durchzuführen.

[0093] Weiter vorteilhafterweise ist eine Aktoranordnung in einfacher Weise aufzubauen und herzustellen, da die einzelnen Bauelemente separat hergestellt werden können und flächig miteinander durch Verkleben bzw. Laminieren verbunden werden können. Im besonderen ist dadurch das Einfüllen des Verschlußmediums in einfacher Weise möglich. Dieses kann als Feststoff oder in flüssiger Form in die zugehörige Ausnehmung des entsprechenden Bauelements der Aktoranordnung beim Herstellen angeordnet werden.

[0094] Weiter vorteilhafterweise sind die Heizelemente **19** von dem Aktorelement **13** beliebig beabstandbar, wobei insbesondere das Verschlußmedium **21** das aktuelle Element nicht kontaktiert. Dadurch ist es konstruktiv möglich, eine einfache und effizientere Wärmeabfuhr für das Verschlußmedium **21** vorzusehen, wodurch dieses in kürzerer Zeit erstarren kann.

Bezugszeichenliste

1	Aktor
3	Volumenkörper
5	planares Substrat, Leiterplatte
7	Aktorfluidzufuhr
9	Aktorfluidzufuhrverbindung
11	Aktorkammer
13	Elastomermembran, Aktorelement
13a	Oberfläche bzw. Außenfläche der Elastomermembran
15	Aktorfluid
17	Aktorkammerfluid
19	Heizelement
21	Verschlußmedium
23	Kühlelement, Peltier-Element
25	Reservoirfluidzufuhr
27	Reservoirfluidzufuhrverbindung
29	Zweite Elastomermembran

29a	Verschlusselement
29b	Druckübertragungselement
31	Zweiter Volumenkörper
33	Verschlussmediumreservoir
A	Aktuationsrichtung

Patentansprüche

1. Verfahren zum bistabilen Aktuieren eines Aktors (1) umfassend die Schritte:

– Anlegen eines Überdrucks in einer Aktorfluidzufuhr (7), welche mittels einer Aktorfluidzufuhrverbindung (9) mit einer Aktorkammer (11) fluidisch verbunden ist, wobei ein Arbeitsüberdruck in der Aktorkammer (11) erzeugt wird, wodurch ein mit der Aktorkammer (11) fluidisch verbundenes Aktorelement (13) von einer Ruheposition in eine Aktuationsposition überführt wird;

– druckdichtes Verschließen der Aktorfluidzufuhrverbindung (9), so daß der Arbeitsüberdruck in der Aktorkammer (11) erhalten bleibt und das Aktorelement (13) in der Aktuationsposition verbleibt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das druckdichte Verschließen mittels eines verflüssigbaren Verschlussmediums (21) erfolgt, welches in flüssigem Zustand in der Aktorfluidzufuhrverbindung (9) angeordnet ist und in der Aktorfluidzufuhrverbindung (9) erstarrt, wobei die Aktorkammer (11) von der Aktorfluidzufuhr (7) durch das erstarrte Verschlussmedium (21) fluidisch getrennt ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, weiter umfassend den Schritt:

– Verflüssigen des Verschlussmediums (21), welches in der Aktorfluidzufuhrverbindung (9) zwischen der Aktorkammer (11) und der Aktorfluidzufuhr (7) angeordnet ist und die Aktorkammer (11) von der Aktorfluidzufuhr (7) fluidisch trennt, wobei das aufgeschmolzene Verschlussmedium (21) beim Anlegen des Überdrucks zumindest teilweise in Richtung der Aktorkammer (11) verlagert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2, weiter umfassend die Schritte:

– Verflüssigen des Verschlussmediums (21) in einem Verschlussmediumreservoir (33);

– Beaufschlagen des Verschlussmediumreservoirs (33) mit einem Überdruck, wobei ein Verschlusselement (29a) von einer Offenposition in eine Geschlossenposition überführt wird, so daß die Aktorkammer (11) von der Aktorfluidzufuhr (7) von dem Verschlusselement (29a) fluidisch getrennt wird und

– Erstarren des Verschlussmediums (21), so daß das Verschlusselement (29a) in der Geschlossenposition verbleibt.

5. Verfahren nach einem der vorigen Ansprüche, weiter umfassend den Schritt:

– Ablassen des Überdrucks oder Anlegen eines Unterdrucks in der Aktorfluidzufuhr (7).

6. Verfahren nach Anspruch 5, weiter umfassend den Schritt:

– Verflüssigen des Verschlussmediums (21) in der Aktorfluidzufuhrverbindung (9), wobei der Arbeitsüberdruck in der Aktorkammer (11) sinkt und das Aktorelement (13) von der Aktuationsposition in die Ruheposition zurückkehrt.

7. Bistabiler Aktor (1) umfassend:

– eine Aktorfluidzufuhr (7), durch welche ein Aktorfluid (15) bereitstellbar ist und welche mittels einer Aktorfluidzufuhrverbindung (9) mit einer Aktorkammer (11) fluidisch verbunden ist;

– zumindest ein mit der Aktorkammer (11) fluidisch verbundenes Aktorelement (13), welches durch Anlegen eines Überdrucks in der Aktorkammer (11) von einer Ruheposition in eine Aktuationsposition überführbar ist;

– eine Verschlussvorrichtung (19, 21; 21, 29a, 33), mit welcher die Aktorfluidzufuhrverbindung (9) druckdicht verschließbar ist.

8. Aktor (1) gemäß Anspruch 7, wobei die Verschlussvorrichtung (19, 21) ein verflüssigbares Verschlussmedium (21) und ein Heizelement (19), mit welchem das Verschlussmedium (21) verflüssigbar ist, umfaßt.

9. Aktor (1) gemäß Anspruch 8, wobei das Verschlussmedium (21) in der Aktorfluidzufuhrverbindung (9) angeordnet ist.

10. Aktor (1) gemäß Anspruch 8, wobei das Verschlussmedium (21) in einem Verschlussmediumreservoir (33) angeordnet ist, welches fluidisch mit einem Verschlusselement (29a) verbunden ist, welches durch Anlegen eines Überdrucks im Verschlussmediumreservoir (33) von einer Offenposition in eine Geschlossenposition überführbar ist, so daß die Aktorkammer (11) von der Aktorfluidzufuhr (7) durch das Verschlusselement (29a) fluidisch trennbar ist.

11. Aktor (1) gemäß Anspruch 9, mit einer Reservoirfluidzufuhr (25), welche mittels einer Reservoirfluidzufuhrverbindung (27) mit dem Verschlussmediumreservoir (33) fluidisch verbunden ist.

12. Aktoranordnung mit zumindest zwei Aktoren (1) gemäß einem der Ansprüche 7 bis 11, wobei die Aktorfluidzufuhren (7) der Aktoren (1) fluidisch miteinander verbunden sind.

13. Verwendung einer Aktoranordnung gemäß Anspruch 12 als haptische Anzeigevorrichtung, wobei

mittels der Aktorelemente (**13**) der Aktoranordnung
eine Vielzahl von ertastbaren Zeichen darstellbar ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

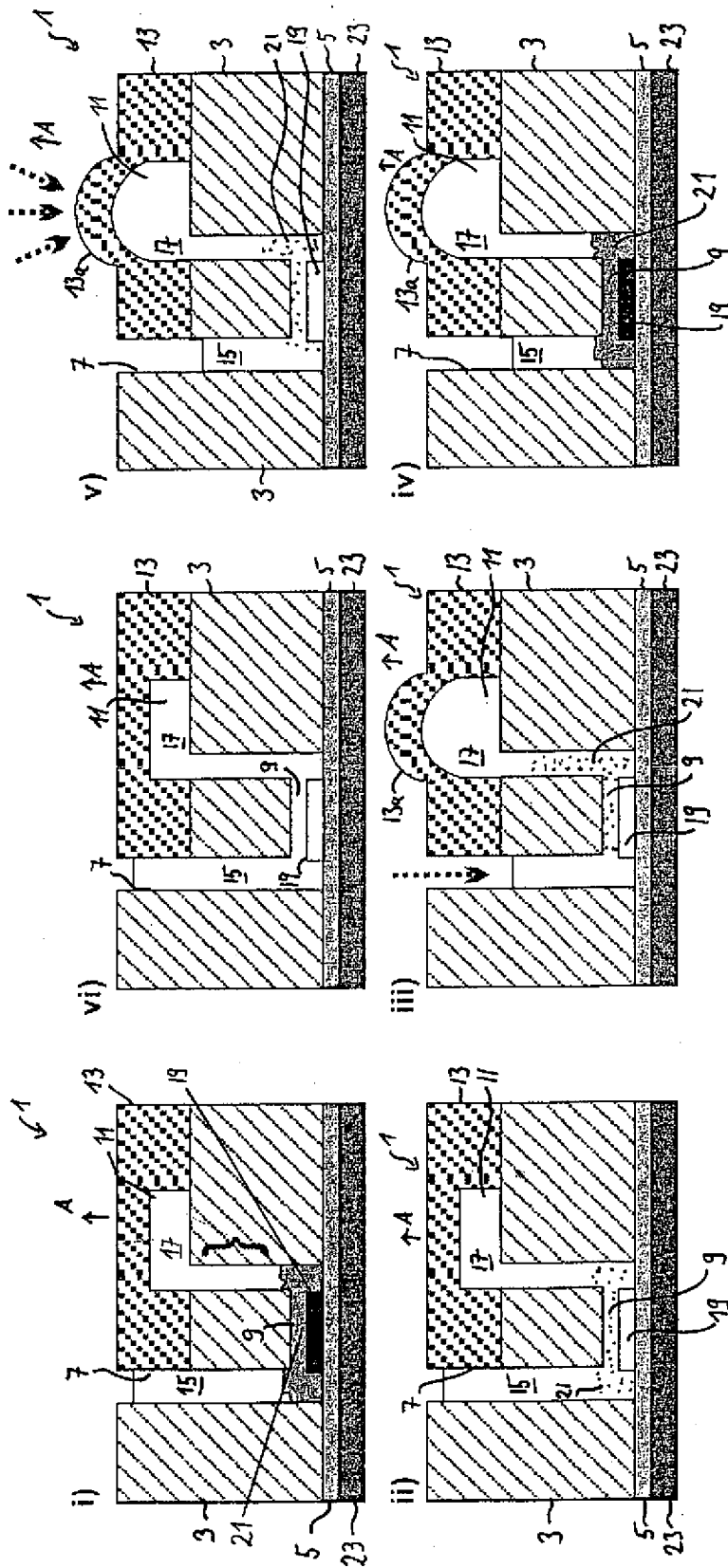


Fig. 1

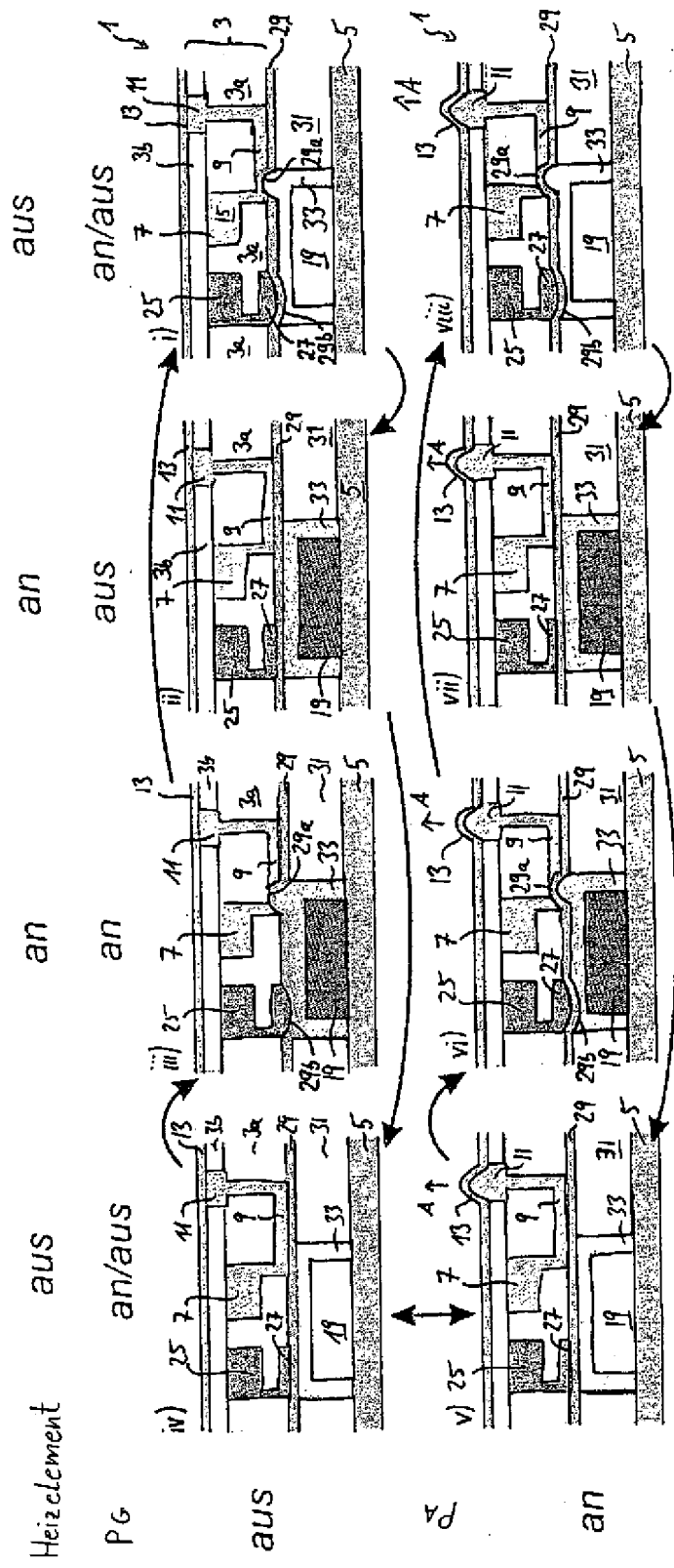


Fig. 2