

Aktormodul mit einem hermetisch verschlossenen Gehäuse

Die Erfindung betrifft ein Aktormodul mit einem hermetisch verschlossenen Gehäuse mit
5 zumindest einem im Gehäuse angeordneten Piezoaktor und mit elektrischen Anschlüssen
zumindest für den Piezoaktor, ein Dosiersystem mit einem solchen Aktormodul, ein Ver-
fahren zur Herstellung eines solchen Aktormoduls, eine Verwendung eines solchen Ak-
tormoduls in einem Dosiersystem und ein hermetisch verschlossenes Gehäuse.

10 Piezokeramische Vielschichtaktoren oder kurz Piezoaktoren bestehen aus einer Vielzahl
von gestapelten dünnen Schichten eines piezoelektrischen Materials, z.B. Blei-Zirkonat-
Titanat. Bei solchen mehrlagigen Piezoaktoren (auch „Multilayer-Elemente“, „Piezostack“
oder „Piezostapel“ genannt) erfolgt eine Kaskadierung dadurch, dass mehrere dünne Pie-
zoelemente mit dazwischenliegenden Innenelektroden zusammengefügt werden. Die In-
15 nenelektroden werden alternierend an eine Oberfläche des Piezoaktors geführt, wobei
zwei Außenelektroden die jeweiligen Innenelektroden verbinden. Die Innenelektroden
werden elektrisch parallelgeschaltet und zu zwei Gruppen zusammengefasst, welche die
Anschlusspole des Piezoaktors ausbilden. Beim Anlegen einer elektrischen Spannung an
20 die Anschlusspole wird diese auf die Innenelektroden parallel übertragen und bewirkt dar-
über ein elektrisches Feld in den Schichten des piezoelektrischen Materials. Die Summe
der mechanischen Verformungen der einzelnen Schichten des piezoelektrischen Materi-
als ergibt die nutzbare Dehnung und/oder Kraft des Piezoaktors.

Piezoaktoren werden in unterschiedlichen technischen Gebieten eingesetzt, z.B. in Stell-
25 und Positionierantrieben oder in Dosiersystemen zur gezielten Dosierung von flüssigen
bis zähflüssigen Dosierstoffen, insbesondere in sogenannten Jetventilen. Besondere Vor-
teile von Piezoaktoren sind beispielsweise, dass sie eine große Steifigkeit und Druck-
Belastbarkeit haben, eine hohe Positionsauflösung ermöglichen, ein schnelles Ansprech-
verhalten zeigen und hohe Beschleunigungen bewirken und prinzipiell verschleißfrei ar-
30 beiten.

Ungeachtet dieser Vorteile hat sich die Zuverlässigkeit von Piezoaktoren in der Vergan-
genheit häufig als unzureichend herausgestellt. Bedingt durch eine hohe elektrische Feld-
stärke, die im Betrieb an einer Oberfläche des Piezoaktors anliegt, werden polare Molekü-
35 le, z. B. Wassermoleküle, aus der Umgebungsluft des Aktors angezogen. Die Anlagerung
von Wassermolekülen führt zu einer erhöhten Leitfähigkeit an der Oberfläche des Piezo-

aktors und zu ansteigendem Leckstrom. In der Folge kann es zu einem Kurzschluss in den Schichten des piezoelektrischen Materials kommen, was sich nachteilig auf die Einsatzdauer des Piezoaktors auswirkt.

- 5 Es sind zwar Piezoaktoren bekannt, bei denen das piezoelektrische Material z.B. mit einer keramischen Beschichtung oder mit Gläsern überzogen ist. Allerdings bilden sich im Betrieb des Piezoaktors häufig Mikrorisse, wobei Wassermoleküle die Beschichtung passieren können. Es sind weiter Piezoaktoren bekannt, die in einer Metallhülse oder in einem Metallgehäuse angeordnet sind. Bei solchen Piezoaktoren besteht häufig das Problem,
10 dass bereits geringe Mengen an Wassermolekülen im Gehäuse, z.B. in Folge der Herstellung, ausreichen können, um den beschriebenen nachteiligen Effekt auszulösen.

- Weiterhin gibt es Piezoaktoren, die in ein Metallgehäuse dicht eingeschlossen sind, wobei in dem Gehäuse z.B. ein wasserabsorbierendes Medium angeordnet sein kann, beispielsweise ein Mittel, das Wassermoleküle chemisch umwandelt und/oder bindet. Ein
15 Nachteil solcher Piezoaktoren kann sein, dass deren Herstellung auf Grund eines komplexen Herstellverfahrens und der verwendeten Chemikalien vergleichsweise aufwendig ist.

- 20 Ein weiterer Nachteil von Piezoaktoren, die in ein Metallgehäuse - mit oder ohne wasserabsorbierendes Medium - dicht eingeschlossen sind, kann sich daraus ergeben, dass im Betrieb des Piezoaktors eine Wärmeabfuhr von der Oberfläche des Piezoaktors wegen des Metallgehäuses und/oder eines (wasserabsorbierenden) Mediums im Gehäuse eingeschränkt ist. Die Temperatur eines Piezoaktors kann sich auf die Geometrie des Piezo-
25 aktors auswirken, besonders auf dessen Längserstreckung in einem (ungeschalteten) Ruhezustand.

- In Folge einer thermisch bedingten Expansion, insbesondere auf Grund einer unzureichenden Wärmeableitung vom Piezoaktor im Betrieb, kann die in Folge einer Beschaltung des Piezoaktors bewirkte Längsdehnung des Piezoaktors und/oder eine erzeugte
30 Kraft und/oder eine Position des Piezoaktors innerhalb einer Maschine von einem bestimmten Sollwert abweichen. Da in vielen Anwendungsfällen eine besonders hohe Präzision im Betrieb des Piezoaktors erforderlich ist, soll eine temperaturbedingte Längenänderung eines Piezoaktors möglichst vermieden werden.

Folglich können bekannte Piezoaktoren mit einem dicht verschlossenen Metallgehäuse und/oder mit einem bestimmten, z.B. wasserabsorbierenden Medium im Gehäuse in vielen technischen Gebieten nur bedingt eingesetzt werden. Insbesondere bei den eingangs genannten Jetventilen, die derzeit typischerweise mit hohen Taktfrequenz von bis zu 1 kHz arbeiten, wobei im Piezoaktor eine entsprechend große Verlustwärme entsteht, ist ein Aktormodul wünschenswert, das eine ausreichende Wärmeableitung von der Oberfläche des Piezoaktors und zugleich eine wirksame Abschirmung des Piezoaktors vor schädigenden Umweltbedingungen für einen zuverlässigen Betrieb ermöglicht.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Aktormodul mit einem hermetisch verschlossenen Gehäuse, ein Dosiersystem mit einem solchen Aktormodul sowie ein Verfahren zur Herstellung eines Aktormoduls und ein Gehäuse bereitzustellen, mit dem die zuvor beschriebenen Nachteile vermieden oder zumindest verringert werden können.

Diese Aufgabe wird durch ein Aktormodul gemäß Patentanspruch 1 und ein Herstellverfahren nach Patentanspruch 7 sowie durch ein Dosiersystem nach Patentanspruch 14 und durch ein Gehäuse nach Patentanspruch 15 sowie durch eine Verwendung eines Aktormoduls nach Patentanspruch 16 gelöst.

Ein erfindungsgemäßes Aktormodul weist ein hermetisch dicht, insbesondere in sich dicht, verschlossenes Gehäuse auf. In einem Inneren des Gehäuses ist zumindest ein Piezoaktor angeordnet. Der Piezoaktor kann insbesondere ein piezokeramischer Vielschichtaktor sein. Das Aktormodul weist wenigstens zwei elektrische Anschlüsse zumindest für den Piezoaktor auf. Die elektrischen Anschlüsse sind, insbesondere hermetisch dicht und elektrisch isoliert, durch eine Gehäusewandung des Gehäuses geführt.

Im Rahmen der Erfindung wird der Begriff „hermetisch“ verschlossen so verstanden, dass das Gehäuse so ausgebildet ist, dass keine Stoffe das Gehäuse passieren können bzw. keine Stoffe durch das verschlossene Gehäuse hindurchtreten können. Das Gehäuse ist „hermetisch“ so verschlossen, dass im Betrieb des Aktormoduls keine Feststoffe und/oder keine Flüssigkeiten und/oder keine Gase von außen in das Gehäuse eintreten können. Das Gehäuse bildet bevorzugt einen „absolut dichten“ Abschluss bzw. Einschluss des Piezoaktors gegenüber einer Umgebung des Gehäuses aus. Unter einem „absolut dichten“ Gehäuse wird verstanden, dass insbesondere ein Austausch von Luft und/oder Wassermolekülen über das Gehäuse verhindert wird. Entsprechend kann das Gehäuse für eine bestimmte Betriebszeit zumindest (relativ) in Bezug auf Luft und/oder Wassermole-

küle „absolut dicht“ sein, insbesondere um eine Langzeitdiffusion von Wassermolekülen durch die Materialien des Gehäuses im Betrieb zu unterbinden. Die Dichtheit des Gehäuses kann z.B. über einen Helium Lecktest geprüft werden. Das Gehäuse kann insbesondere ein tiefgezogenes Gehäuse sein, wie später beschrieben wird.

5

Erfindungsgemäß ist in einem Gehäuseinnenraum im Inneren des Gehäuses zwischen dem Piezoaktor und der Gehäusewandung eine Vergussmasse angeordnet, welche die Gehäusewandung, insbesondere im Betrieb des Piezoaktors, elektrisch gegenüber dem Piezoaktor isoliert.

10

Die Vergussmasse ist ein Feststoff, insbesondere ein elastischer Feststoff, und umfasst zumindest einen partikulären, wärmeleitenden und dielektrischen Hilfsstoff. Insbesondere ist der Hilfsstoff selbst ein Dielektrikum. Der Hilfsstoff ist partikulär ausgebildet, d.h. der Hilfsstoff liegt in der Vergussmasse als Feststoff vor. Der Hilfsstoff kann auch als Funktionsstoff bezeichnet werden.

15

Erfindungsgemäß ist der Hilfsstoff so in der Vergussmasse im Gehäuse angeordnet, dass über die Vergussmasse, insbesondere über den Hilfsstoff in der Vergussmasse, eine Wärmeableitung vom Piezoaktor zur Gehäusewandung im Betrieb des Aktormoduls erfolgt. Der Hilfsstoff ist bevorzugt so in der Vergussmasse angeordnet, dass im Betrieb des Aktormoduls eine Wärmeableitung von einer Oberfläche des Piezoaktors im Wesentlichen gleichmäßig entlang einer gesamten Längserstreckung des Piezoaktors erfolgt, insbesondere in einer lateralen Richtung. Bevorzugt kann die vom Piezoaktor abgeleitete Wärme über die Vergussmasse größtenteils auf einen Gehäusemantel einer Gehäusewandung übertragen werden, wie später beschrieben wird. Die vom Piezoaktor abgeleitete Wärme kann insbesondere Verlustwärme sein, die im Betrieb des Piezoaktors entsteht.

20

25

Vorteilhafterweise kann mit dem erfindungsgemäßen Aktormodul die Zuverlässigkeit eines Piezoaktors verbessert werden, da der Piezoaktor über das hermetisch verschlossene Gehäuse im Betrieb wirksam gegen schädigende Umwelteinflüsse geschützt ist, insbesondere gegen (Luft-)Feuchtigkeit. Weiterhin kann über die Kombination einer festen, elastischen Vergussmasse mit einem darin erfindungsgemäß angeordneten wärmeleitenden, dielektrischen Hilfsstoff eine besonders effiziente Wärmeableitung vom Piezoaktor erfolgen, wobei der Piezoaktor zuverlässig vor einer Überhitzung geschützt werden kann. Das kann sich einerseits vorteilhaft auf die Nutzungsdauer des Piezoaktors selbst auswirken, so dass dieser bzw. das Aktormodul seltener ersetzt werden muss. Andererseits

30

35

kann durch das Aktormodul bei Dosiersystemen eine besonders hohe Dosierpräzision erreicht werden, da eine thermisch bedingte Expansion des Piezoaktors weitestgehend verhindert wird, wobei auch eine Effizienz eines Dosiersystems verbessert werden kann, da der Piezoaktor auch im Dauerbetrieb vor einer Überhitzung geschützt ist, so dass Unterbrechungen des Dosierbetriebs auf Grund einer kritischen Piezoaktortemperatur vermieden werden können.

Weiter vorteilhaft eignet sich das erfindungsgemäße Aktormodul auch für Anwendungen, bei denen besonders hohe Taktfrequenzen eines Piezoaktors gefordert sind, da über die Vergussmasse und den zugesetzten Hilfsstoff eine besonders effiziente Ableitung von Verlustwärme von einer Piezoaktoroberfläche zu einer Gehäusewandung und darüber eine Abgabe der Wärme an die Umgebung möglich ist. Damit kann das Aktormodul vorteilhafterweise in Jetventilen mit einer sehr hohen Taktfrequenz von z.B. bis zu 2 kHz eingesetzt werden, was zumindest einer Verdoppelung der Taktfrequenz gegenüber herkömmlichen Jetventilen entspricht und was mit bekannten Aktormodulen nicht ohne Weiteres möglich ist. Weiterhin könnte das Aktormodul gewinnbringend auch in Jetventilen eingesetzt werden, die mit Taktfrequenzen von 3 kHz oder 4 kHz arbeiten.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Herstellung eines Aktormoduls, vorzugsweise eines erfindungsgemäßen Aktormoduls, mit einem hermetisch verschlossenen Gehäuse und zumindest einem im Gehäuse angeordneten Piezoaktor umfasst zumindest die folgenden Schritte:

In einem Schritt wird ein hermetisch verschließbares Gehäuse bereitgestellt, wobei das Gehäuse elektrische Anschlüsse zumindest für einen Piezoaktor aufweist. Die Anschlüsse sind im verschlossenen Zustand des Gehäuses, insbesondere hermetisch dicht und elektrisch isoliert, durch eine Gehäusewandung des Gehäuses geführt. Die Bereitstellung des Gehäuses kann das Durchführen der elektrischen Anschlüsse durch die Gehäusewandung beinhalten. Es ist aber auch möglich, dass ein Gehäuse mit den durchgeführten elektrischen Anschlüssen in das Verfahren eingesetzt wird. Das Gehäuse kann insbesondere ein tiefgezogenes Gehäuse sein.

In einem weiteren Schritt wird zumindest ein Piezoaktor in einen Gehäuseinnenraum im Inneren des Gehäuses eingebracht. Bevorzugt werden vor dem Einbringen des Piezoaktors in das Gehäuse die elektrischen Anschlüsse des Gehäuses in Wirkkontakt gebracht mit zugeordneten Anschlussstellen bzw. Anschlusspolen des Piezoaktors. Beispielsweise

können die elektrischen Anschlüsse durch einen Gehäusedeckel durchgeführt sein, wobei vor dem Einbringen des Piezoaktors in den Gehäuseinnenraum die elektrischen Anschlüsse mit den Anschlusspolen des Piezoaktors verbunden werden und/oder wobei der Piezoaktor am Gehäusedeckel fixiert wird.

5

In einem optionalen Schritt kann zumindest ein Teil des Piezoaktors, insbesondere zumindest ein Teil einer Oberfläche des Piezoaktors, mittels eines Plasmas gereinigt werden. Vorzugsweise kann im Wesentlichen die gesamte Oberfläche des Piezoaktors, die der Gehäusewandung zugewandt ist, mittels Plasmareinigung gereinigt werden. Bevorzugt kann mittels Plasma eine zum Gehäuseinnenraum weisende (äußere) Oberfläche des piezokeramischen Materials des Piezoaktors und/oder die Anschlusspole des Piezoaktors gereinigt werden, insbesondere eine Oberfläche des Piezoaktors zwischen den Anschlusspolen.

Alternativ oder zusätzlich kann optional zumindest ein Teil einer Innenseite der Gehäusewandung mittels eines Plasmas gereinigt werden. Die Innenseite der Gehäusewandung ist der Bereich der Gehäusewandung, der dem Gehäuseinnenraum zugewandt ist, insbesondere dem Piezoaktor im Gehäuse. Entsprechend kann die zum Gehäuseinnenraum weisende (innenliegende) Gehäusewandung zumindest abschnittsweise mittels Plasmareinigung gereinigt werden. Bevorzugt kann im Wesentlichen die gesamte zum Gehäuseinnenraum gerichtete Gehäusewandung, insbesondere im Wesentlichen die gesamte Innenseite der Gehäusewandung, mittels eines Plasmas gereinigt werden.

In einem weiteren Schritt wird eine Vergussmasse bereitgestellt, die, vorzugsweise im erhärteten Zustand, die Gehäusewandung elektrisch isoliert gegenüber dem Piezoaktor.

In einem weiteren Schritt wird die, vorzugsweise fließfähige, Vergussmasse in den Gehäuseinnenraum zwischen den Piezoaktor und die Gehäusewandung eingebracht. Bevorzugt kann die Vergussmasse über eine Einfüllöffnung im Gehäuse, insbesondere in einem Gehäusedeckel, in den Gehäuseinnenraum eingebracht werden.

Die Vergussmasse ist, insbesondere nach einem Erhärten bzw. Aushärten im Gehäuseinnenraum im Gehäuse, ein Feststoff, vorzugsweise ein elastischer Feststoff, und umfasst zumindest einen partikulären, wärmeleitenden und dielektrischen Hilfsstoff. Der Hilfsstoff wird so in der Vergussmasse angeordnet, dass über die Vergussmasse, insbesondere über den Hilfsstoff in der Vergussmasse, eine Wärmeableitung vom Piezoaktor, insbe-

sondere von einer Piezoaktoroberfläche, zur Gehäusewandung im Betrieb des Aktormoduls erfolgt.

In einem weiteren Schritt wird das Gehäuse hermetisch verschlossen zur Ausbildung des
5 Aktormoduls. Dazu kann vorzugsweise die Einfüllöffnung durch Einpressen einer Presskugel, die einen größeren Durchmesser hat als die Einfüllöffnung, verschlossen werden.

Es sei darauf hingewiesen, dass die Verfahrensschritte nicht zwingend in der beschriebenen Reihenfolge durchgeführt werden müssen. Es wäre auch möglich, dass zwei Verfahrensschritte zu einem Schritt zusammengefasst werden oder im Wesentlichen gleichzeitig
10 durchgeführt werden.

Vorteilhafterweise können mit dem Verfahren Aktormodule hergestellt werden, die zur Nutzung in Dosiersystemen, wie z.B. in Jetventilen, besonders geeignet sind. Solche Aktormodule für Dosiersysteme müssen häufig besonders strenge Qualitätsanforderungen
15 erfüllen, insbesondere bezüglich einer Abschirmung des Piezoaktors gegenüber Feuchtigkeit und einer Piezoaktortemperatur im Betrieb, wobei diese Anforderungen durch das erfindungsgemäße Herstellverfahren und die dadurch erhältlichen Aktormodule erfüllt werden können.

20 Ein erfindungsgemäßes Dosiersystem für einen Dosierstoff umfasst eine Düse zur Abgabe von Dosierstoff, einen Zuführkanal für Dosierstoff zur Düse, ein vorzugsweise beweglich gelagertes Ausstoßelement und ein mit dem Ausstoßelement und/oder mit der Düse gekoppeltes erfindungsgemäßes Aktormodul mit einem hermetisch verschlossenen Gehäuse und zumindest einem im Gehäuse angeordneten Piezoaktor. Das Dosiersystem
25 kann weitere Komponenten umfassen, wie später beschrieben wird.

Vorteilhafterweise kann das erfindungsgemäße Aktormodul in einem Dosiersystem, insbesondere in einem Jetventil, besonders gewinnbringend eingesetzt werden, wie zuvor
30 beschrieben wurde. Insbesondere kann unter Nutzung des Aktormoduls eine Taktfrequenz zur Dosierstoffabgabe im Vergleich zu bekannten Dosiersystem mit herkömmlichen gekapselten Piezoaktoren erheblich gesteigert werden.

Die Erfindung betrifft weiterhin ein hermetisch dicht verschlossenes Gehäuse mit zumindest einem im Gehäuse angeordneten Bauelement, vorzugsweise ein Piezoaktor. Das
35 Gehäuse umfasst wenigstens zwei elektrische Anschlüsse zumindest für das Bauelement,

insbesondere zur Ansteuerung des Piezoaktors. Die Anschlüsse sind, insbesondere hermetisch dicht und elektrisch isoliert, durch eine Gehäusewandung des Gehäuses geführt. Das Gehäuse hat einen einstückig ausgebildeten Gehäusegrundkörper und einen, insbesondere hermetisch dicht, damit verbundenen Gehäusedeckel.

5

Erfindungsgemäß ist der Gehäusegrundkörper erhältlich durch Tiefziehen, insbesondere durch Tiefziehen eines Blechzuschnitts. Das bedeutet, dass der Gehäusegrundkörper ein Tiefziehteil ist. Der Gehäusegrundkörper ist einteilig bzw. einstückig ausgebildet und umfasst einen, vorzugweise röhrenförmigen, Gehäusemantel und einen Gehäuseboden, wobei bei der Gehäuseboden den Gehäusemantel an einer (End-)Seite abschließt bzw. begrenzt. Der Gehäuseboden kann grundsätzlich - je nach Ausgestaltung des Gehäuses und/oder Anordnung des Bauelements, z.B. des Piezoaktors, im Gehäuse - auch als Gehäusedeckel bezeichnet werden. Entsprechend ist der erfindungsgemäße Gehäusegrundkörper darüber definiert, dass der Gehäusegrundkörper einstückig ausgebildet ist und zumindest einen Gehäusemantel und eine damit fest verbundene einseitige Begrenzung des Gehäusemantels umfasst, z.B. ähnlich eines tiefgezogenen Topfes. In der Beschreibung wird, ohne eine Beschränkung darauf, davon ausgegangen, dass der Gehäusegrundkörper einen Gehäusemantel und einen einstückig damit verbundenen Gehäuseboden umfasst.

20

Vorteilhafterweise kann bei dem Gehäuse eine Masse des durch Tiefziehen hergestellten Gehäusebodens gegenüber herkömmlichen Gehäusen mit einem separaten Gehäuseboden, der z.B. mit einem Gehäusemantel nachträglich verschweißt ist, erheblich reduziert sein. Dadurch, dass der vom Piezoaktor aktiv bewegbare Gehäuseboden eine vergleichsweise geringe Masse hat, kann der effektive Hub des Piezoaktors gegenüber herkömmlich gekapselten Piezoaktoren deutlich erhöht werden. Da bei dem Gehäuse nur noch ein Element mit dem Gehäusegrundkörper zu verbinden ist, z.B. ein Gehäusedeckel, ist die Herstellung des Gehäuses im Hinblick auf eine zu erreichende hermetische Dichtheit weniger aufwendig.

30

Auf Grund der geringen bewegten Masse des Gehäusebodens eignet sich das Gehäuse auch für Dosiersysteme mit besonders hohen Taktfrequenzen, insbesondere Jetventile. Entsprechend kann das tiefgezogene Gehäuse besonders vorteilhaft als Teil eines erfindungsgemäßen Aktormoduls verwendet werden, weil sich dadurch die vorteilhaften Effekte des Gehäuses mit den Vorteilen des besonderen Aktormoduls, insbesondere bei hohen Taktfrequenzen, synergistisch ergänzen lassen.

35

Die Erfindung betrifft weiterhin eine Verwendung eines Aktormoduls mit einem hermetisch verschlossenen Gehäuse und zumindest einem im Gehäuse angeordneten Piezoaktor, insbesondere ein erfindungsgemäßes Aktormodul, in einem Dosiersystem mit zumindest einen Zuführkanal für Dosierstoff, einer Düse zur Abgabe von Dosierstoff und einem vorzugsweise beweglich gelagerten Ausstoßelement, wobei das Aktormodul im Betrieb zur Dosierstoffabgabe mit dem Ausstoßelement und/oder der Düse zusammenwirkt bzw. damit gekoppelt ist.

Weitere, besonders vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung, wobei die unabhängigen Ansprüche einer Anspruchskategorie auch analog zu den abhängigen Ansprüchen und Ausführungsbeispielen einer anderen Anspruchskategorie weitergebildet sein können und insbesondere auch einzelne Merkmale verschiedener Ausführungsbeispiele bzw. Varianten zu neuen Ausführungsbeispielen bzw. Varianten kombiniert werden können.

Das Gehäuse ist so ausgebildet, dass der gesamte Piezoaktor vollständig in dem Gehäuse angeordnet ist. Insbesondere ist der Piezoaktor in das Gehäuse hermetisch dicht eingekapselt. Damit unterscheidet sich das Gehäuse von bekannten Umhüllungen wie z.B. Metallhülsen, die auf einen Piezoaktor nur aufgeschoben werden, wobei dann einzelne Piezoaktorbereiche, wie z.B. ein Aktorfuß, aus der Hülse hinausragen. Solche Hülsen sind also kein „hermetisch“ verschlossenes Gehäuse im Sinne der Erfindung. Es wäre grundsätzlich auch möglich, dass zwei oder mehr Piezoaktoren in dasselbe Gehäuse hermetisch dicht eingeschlossen sind. Beispielsweise könnten zwei separat ansteuerbare Piezoaktoren im Wesentlichen parallel zueinander in demselben Gehäuse angeordnet sein, wobei dann der Gehäuseinnenraum zwischen den jeweiligen Piezoaktoren und der Gehäusewandung und/oder zwischen den beiden Piezoaktoren die Vergussmasse enthalten kann. Die Erfindung wird nachfolgend, ohne eine Beschränkung darauf und sofern nicht anders erwähnt, anhand eines Gehäuses mit nur einem Piezoaktor beschrieben.

Das Gehäuse kann, wie eingangs erwähnt, ein tiefgezogenes Gehäuse sein. Es sei darauf hingewiesen, dass bei sämtlichen Ausführungsformen bzw. Weiterbildungen der Erfindung ein durch Tiefziehen erhältliches Gehäuse verwendet werden kann. Das bedeutet, dass im Rahmen der Beschreibung unter einem „Gehäuse“ insbesondere ein tiefgezogenes Gehäuse zu verstehen ist.

Das Gehäuse umfasst eine Vergussmasse, die vorzugsweise in fließfähiger Form in das Gehäuse eingebracht wird zum Aushärten bzw. Erhärten im Gehäuse. Insbesondere kann die Vergussmasse in das Gehäuse eingegossen und/oder eingespritzt werden. Folglich kann die Vergussmasse auch als Ausgießmasse bezeichnet werden. Bevorzugt ist die

5 Vergussmasse im Gehäuse hergestellt durch Einbringen einer fließfähigen Vergussmasse in das Innere des Gehäuses. Bevorzugt bildet die Vergussmasse im Gehäuse, insbesondere im Betrieb des Aktormoduls, im erhärteten Zustand einen flexiblen Festkörper aus.

Die Vergussmasse im Gehäuse umfasst zumindest eine Art von wärmeleitendem Hilfsstoff. Vorzugsweise kann eine inhärente Wärmeleitfähigkeit des Hilfsstoffs, d.h. eine

10 Wärmeleitfähigkeit des Hilfsstoffs selbst, zumindest etwa $2,5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, vorzugsweise zumindest etwa $30 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, bevorzugt zumindest etwa $50 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, weiter bevorzugt zumindest etwa $100 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, weiter bevorzugt zumindest etwa $200 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, besonders bevorzugt zumindest etwa $300 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, insbesondere zumindest etwa $400 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, be-

15 tragen. Die zuvor genannten Werte können sich vorzugsweise auf die Wärmeleitfähigkeit eines Hilfsstoffs beziehen, der in Form eines festen Materialblocks vorliegt, z.B. ein massiver Hilfsstoffblock. Unter der Wärmeleitfähigkeit bzw. dem Wärmeleitkoeffizienten wird, wie allgemein üblich, eine Stoffeigenschaft des Hilfsstoffs verstanden, die den Wärmestrom durch ein Material bzw. den Hilfsstoff auf Grund der Wärmeleitung bestimmt.

20 Der wärmeleitende, dielektrische Hilfsstoff umfasst vorzugsweise eine Vielzahl von einzelnen Hilfsstoffpartikeln bzw. Hilfsstoffteilchen, insbesondere vor dem Einbringen in die Vergussmasse. Die Hilfsstoffpartikel können sich grundsätzlich auch zu mehreren Partikeln zusammenlagern und ggf. eine zusammenhängende Struktur ausbilden. Es ist jedoch bevorzugt, dass die jeweiligen Hilfsstoffpartikel separat ausgebildet sind, insbesondere vor dem Einbringen in die Vergussmasse. In der Beschreibung der Erfindung wird - ohne eine Beschränkung darauf - davon ausgegangen, dass der eingesetzte Hilfsstoff eine Vielzahl von Hilfsstoffpartikeln umfasst, wobei zumindest ein Großteil der Hilfsstoffpartikel separat ausgebildet ist, d.h. die Hilfsstoffpartikel liegen bevorzugt in vereinzelter

25 Form vor. Vorzugsweise kann der Hilfsstoff inhärent eine Pulverform haben, insbesondere vor dem Einbringen in die Vergussmasse.

Vorzugsweise kann ein pulverartiger Hilfsstoff, insbesondere außerhalb einer Vergussmasse, eine (inhärente) Wärmeleitfähigkeit von zumindest etwa $1 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, vorzugsweise

35 zumindest etwa $2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, bevorzugt zumindest etwa $3 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, weiter bevorzugt zumindest etwa $4 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, weiter bevorzugt zumindest etwa $5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, haben.

Der Hilfsstoff kann vorzugsweise in Form von Plättchen, auch bezeichnet als Hilfsstoff-Plättchen, ausgebildet sein. Bevorzugt kann der Hilfsstoff in der Vergussmasse im Gehäuse in Form von Plättchen vorliegen. Insbesondere kann ein jeweiliger Hilfsstoffpartikel im Gehäuse eine überwiegend plättchenartige Ausgestaltung haben. Bevorzugt kann der

5 Hilfsstoff ein „anisotroper“ Füllstoff und/oder ein Füllstoff mit einem großen Aspektverhältnis sein. Ein Aspektverhältnis eines Hilfsstoffpartikels kann z.B. zumindest etwa 5:1, vorzugsweise zumindest etwa 25:1, bevorzugt zumindest etwa 40:1, sein.

Unter einem „Plättchen“ wird ein flaches, im Wesentlichen überall gleich dickes, auf zwei

10 gegenüberliegenden Seiten von je einer im Verhältnis zu einer Dicke vergleichsweise ausgedehnten überwiegend ebenen Fläche (Grundfläche) begrenztes Element bzw. Partikel verstanden. Es sei darauf hingewiesen, dass ein jeweiliger Hilfsstoffpartikel auch nur näherungsweise als „Plättchen“ ausgestaltet sein kann. Entsprechend werden auch solche Hilfsstoffpartikel als „Plättchen“ bezeichnet, die innerhalb desselben Partikels gering-

15 fällig unterschiedliche Dicken haben. Die Grundflächen können unterschiedliche Geometrien haben, wie z.B. näherungsweise elliptische oder kreisförmige Formen, wobei eine Außenkontur einer Grundfläche auch unregelmäßig ausgebildet sein kann. Entsprechend ist ein „plättchenartiger“ Hilfsstoffpartikel, auch bezeichnet als Hilfsstoff-Plättchen, insbesondere darüber definiert, dass er zwei überwiegend plane Grundflächen hat, wobei eine

20 Dicke des Hilfsstoffpartikels (entspricht dem Abstand zwischen den Grundflächen) in Relation zur Ausdehnung der Grundflächen um ein Vielfaches geringer ist.

Der Hilfsstoff kann zumindest teilweise so in der Vergussmasse angeordnet sein, insbesondere im Wesentlichen alle Hilfsstoffpartikel, dass eine Längserstreckung eines jeweiligen Plättchens bzw. Hilfsstoff-Plättchens quer, vorzugsweise im Wesentlichen orthogonal,

25 zu einer Längserstreckung des Piezoaktors im Gehäuse verläuft. Bevorzugt können die Hilfsstoffpartikel, insbesondere im Wesentlichen alle Hilfsstoffpartikel, so in der Vergussmasse angeordnet sein, dass eine Längserstreckung eines jeweiligen Hilfsstoff-Plättchens einer kürzesten Distanz zwischen einer Oberfläche des Piezoaktors und der Gehäuse-

30 wandung, insbesondere einem definierten Wärmeabgabebereich des Gehäuses, entspricht.

Unter der Längserstreckung (Längsausdehnung) des Piezoaktors wird die größte bzw. längste Erstreckung (Ausdehnung) des Piezoaktors in eine Richtung verstanden. Unter

35 der Längserstreckung (Längsausdehnung) eines Hilfsstoff-Plättchens wird die größte bzw.

längste Erstreckung (Ausdehnung) des Hilfsstoff-Plättchens in eine Richtung verstanden, insbesondere entlang zumindest einer Grundfläche des Hilfsstoff-Plättchens.

Vorteilhafterweise kann über die besondere Anordnung der Hilfsstoff-Plättchen in der Vergussmasse in Bezug auf den Piezoaktor eine besonders effiziente Wärmeableitung im Betrieb erfolgen. Bei Piezoaktoren erfolgt auf Grund des schichtweisen Aufbaus im Betrieb üblicherweise eine Wärmeemission größtenteils in lateraler bzw. radialer Richtung. Das bedeutet, dass Verlustwärme überwiegend zur Seite hin von einer Piezoaktoroberfläche abgegeben wird in Bezug auf die Längserstreckung des Piezoaktors, wobei kaum Wärme in axialer Richtung, z.B. in Richtung eines Aktorfußes bzw. -kopfs, abgegeben wird. Bei gekapselten Piezoaktoren ist es deshalb besonders effektiv, wenn zumindest ein Großteil der Verlustwärme über die Hilfsstoff-Plättchen in der Vergussmasse lateral bzw. radial vom Piezoaktor weggeführt werden kann, insbesondere da ein lateraler Bereich eines Piezoaktors einen relativ großen Teil einer gesamten Oberfläche des Piezoaktors ausmacht.

Vorteilhafterweise können die Hilfsstoff-Plättchen in der Vergussmasse so positioniert sein, insbesondere auch in unmittelbarer Nähe zu einer Oberfläche des Piezoaktors (Piezoaktoroberfläche) und/oder zur Gehäusewandung, dass die Längserstreckung der einzelnen Hilfsstoff-Plättchen im Wesentlichen einer im Betrieb gegebenen (Haupt-)Wärmeabgaberrichtung des Piezoaktors entspricht. Bevorzugt können die Hilfsstoff-Plättchen in der Vergussmasse unidirektional ausgerichtet sein und im Wesentlichen gleichmäßig verteilt entlang der Längserstreckung des Piezoaktors angeordnet sein. Über den wärmeleitenden Hilfsstoff und dessen Ausrichtung in der Vergussmasse kann die entstehende Verlustwärme besonders effizient von der Piezoaktoroberfläche in Richtung der Gehäusewandung abgeführt werden. Demgegenüber ist es bei bekannten Bauteilen mit eingelagerten Hilfsstoffen häufig so, dass die Hilfsstoffpartikel technisch bedingt nicht in einer bestimmten Orientierung angeordnet werden können, was sich nachteilig auf die thermischen Eigenschaften des Bauteils auswirken kann.

Weiter vorteilhaft können über den Hilfsstoff auch besonders effiziente „Wärmeleitpfade“ in der Vergussmasse ausgebildet sein, insbesondere in einem (gesamten) Bereich zwischen der Piezoaktoroberfläche und der Gehäusewandung, insbesondere zwischen der Piezoaktoroberfläche und dem Gehäusemantel. Unter dem Gehäusemantel wird in der Beschreibung der Teil eines, vorzugsweise tiefgezogenen, Gehäuses verstanden, der

sich zumindest entlang der Längserstreckung des Piezoaktors erstreckt, insbesondere der Teil, der sich entlang des piezoelektrischen Materials des Piezoaktors erstreckt.

Vorteilhafterweise kann über die Beschaffenheit des Hilfsstoffs (plättchenförmige Ausgestaltung) im Zusammenspiel mit der Ausrichtung der einzelnen Hilfsstoff-Plättchen in der Vergussmasse (überwiegend orthogonal zur Längserstreckung des Piezoaktors) erreicht werden, dass die einzelnen Hilfsstoff-Plättchen in der Vergussmasse möglichst jeweils über zumindest eine Kontaktstelle in Wirkkontakt mit wenigstens einem anderen Hilfsstoff-Plättchen stehen. Vorzugsweise können zwei Hilfsstoffpartikel an einer Kontaktstelle einen direkten Kontakt haben.

Insbesondere können die Hilfsstoff-Plättchen so in der Vergussmasse angeordnet sein, dass über die jeweiligen Kontaktstellen eine, vorzugsweise unterbrechungsfreie, Verbindung bzw. „Brücke“ zwischen zwei oder mehr Hilfsstoffpartikeln ausgebildet ist. Bevorzugt kann eine solche Brücke aus Hilfsstoffpartikeln jeweils so ausgebildet sein, dass darüber ein Wärmeleitpfad für Verlustwärme zwischen der Piezoaktoroberfläche und der Gehäusewandung, insbesondere dem Gehäusemantel, vorzugsweise unterbrechungsfrei ausgebildet ist. Besonders bevorzugt können die Hilfsstoff-Plättchen so in der Vergussmasse angeordnet sein, dass eine Vielzahl von derartigen Brücken aus Hilfsstoffpartikeln („Hilfsstoffpartikelbrücken“), vorzugsweise überwiegend parallel, in der Vergussmasse angeordnet ist. Bevorzugt können die Brücken aus Hilfsstoffpartikeln im Wesentlichen gleichmäßig verteilt entlang der Längserstreckung des Piezoaktors in der Vergussmasse angeordnet sein.

Vorteilhafterweise kann über solche Wärmeleitpfade die Wärmeableitung vom Piezoaktor weiter verbessert werden. Da vorzugsweise im Wesentlichen alle Hilfsstoff-Plättchen bezüglich ihrer Längserstreckung überwiegend orthogonal zur Längsrichtung des Piezoaktors in der Vergussmasse angeordnet sind, kann die Wärme vom Piezoaktor gezielt zum Gehäusemantel der Gehäusewandung geführt werden, wobei eine unerwünschte, z.B. axiale Wärmeleitung in der Vergussmasse weitestgehend verhindert werden kann. Weiterhin kann durch die Ausrichtung der Hilfsstoff-Plättchen die Verlustwärme über die Brückenbildung auf möglichst direktem bzw. kurzem Weg zum Gehäusemantel geführt werden.

Ein weiterer Vorteil ist, dass über die plättchenartig ausgestalteten Hilfsstoffpartikel und deren Ausrichtung in der Vergussmasse eine vergleichsweise große Anzahl an Kontakt-

stellen zwischen den (in der Vergussmasse vorhanden) Hilfsstoffpartikeln ausgebildet werden kann, insbesondere im Vergleich zu derselben Stoffmenge eines isotropen, z.B. kugelförmigen Hilfsstoffs. Da ein fehlender (direkter) Kontakt zwischen Hilfsstoffpartikeln sich nachteilig auf die Wirksamkeit von Wärmeleitpfaden auswirken kann, z.B. wegen
5 einer wenig wärmeleitenden Vergussmasse, kann durch die Ausgestaltung der Hilfsstoffpartikel und deren Ausrichtung in der Vergussmasse die vom Piezoaktor im Betrieb abgeleitete Wärmemenge (pro Zeiteinheit) weiter gesteigert werden.

Bevorzugt kann der Hilfsstoff Bornitrid (BN) sein. Besonders bevorzugt kann der Hilfsstoff
10 hexagonales Bornitrid (α -Bornitrid) sein. Hexagonales Bornitrid (α -BN, hexagonal) besteht aus Schichten einer planaren, hexagonalen Wabenstruktur, bei der die B- und N-Atome jeweils abwechselnd vorkommen und ist im Übrigen allgemein bekannt. Besonders bevorzugt kann das Bornitrid als Hilfsstoff vor der Verarbeitung in Pulverform mit einer ausgeprägten Kristallstruktur vorliegen. Insbesondere kann das Bornitrid vor der Verarbeitung
15 und/oder in der erhärteten Vergussmasse in Form von plättchenförmigen Einzelkristallen vorliegen. Besonders bevorzugt kann jeweils ein (BN) Einzelkristall jeweils einen Hilfsstoffpartikel bzw. jeweils ein Hilfsstoff-Plättchen ausbilden.

Eine mittlere Größe der Plättchen bzw. Hilfsstoff-Plättchen, insbesondere ein gemittelter
20 Durchmesser der BN-Einzelkristalle in der Vergussmasse, kann zumindest etwa 10 μm , vorzugsweise zumindest etwa 20 μm , bevorzugt zumindest etwa 30 μm und/oder höchstens etwa 100 μm , vorzugsweise höchstens etwa 80 μm , bevorzugt höchstens etwa 60 μm , insbesondere etwa 45 μm , sein. Unter der Größe bzw. dem Durchmesser eines Hilfsstoff-Plättchens wird allgemein die längste Erstreckung eines Hilfsstoff-Plättchens in eine
25 Richtung verstanden, insbesondere sofern ein Hilfsstoff-Plättchen eine unregelmäßige Außenkontur hat. Vorzugsweise kann eine mittlere Partikelgröße (D_{50}) in der Vergussmasse in etwa 45 μm sein. Beispielsweise kann der Hilfsstoff Bornitrid vom Typ „CL-SP 045“ sein (Hersteller: Henze Boron Nitride Products AG, Deutschland).

Vorteilhafterweise kann durch die besonders hohe Wärmeleitfähigkeit von Bornitrid (z.B. bis zu etwa 5 $\text{W}(\text{m}\cdot\text{K})$ bei pulverisiertem BN) die Wärmeableitung von der Piezoaktoroberfläche weiter erhöht werden. Ein weiterer Vorteil von Bornitrid gegenüber anderen wärmeleitenden Stoffen ist eine hohe dielektrische Widerstandsfähigkeit sowie eine niedrige Dielektrizitätskonstante, so dass sich Bornitrid insbesondere in Verbindung mit gekapselten
35 Piezoaktoren eignet. Da Bornitrid in der α -Modifikation eine im Vergleich zu anderen wärmeleitenden Stoffen geringe Dichte hat (ca. 2,25 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), kann der Masseanteil von Borni-

trid in der Vergussmasse im Vergleich zu anderen wärmeleitenden Stoffen reduziert sein, wobei dennoch ein bestimmter Wärmestrom erreicht werden kann. Dadurch kann das Gewicht des Aktormoduls erforderlichenfalls reduziert werden. Unter dem Wärmestrom wird hier die pro Zeiteinheit von der Piezoaktoroberfläche durch die gesamte Verguss-

5 masse abgeführte Wärmeenergie verstanden, d.h. eine Wärmeleistung.

Weiterhin vorteilhaft kann über die besondere Form und die Größe der einzelnen BN-Hilfsstoffpartikel die Wärmeableitung vom Piezoaktor weiter gesteigert werden, da mit zunehmender Partikelgröße die Anzahl der nötigen Kontaktstellen zwischen den einzel-

10 nen Hilfsstoffpartikeln zur Ausbildung von Wärmeleitpfaden reduziert werden kann, wobei jede Kontaktstelle einen thermischen Widerstand ausbildet. Folglich ist bei BN-Hilfsstoffpartikeln einer bestimmten Größe eine besonders effiziente Wärmeableitung möglich, wobei die BN-Hilfsstoffpartikel dennoch in gewünschter Weise in der Verguss-

15 masse angeordnet werden können. Ein weiterer Vorteil ergibt sich daraus, dass hexagonales Bornitrid die Eigenschaft eines Trockenschmierstoffs hat, wobei der Reibungskoeffizient bei betriebsüblichen (Oberflächen-)Temperaturen von Piezoaktoren stabil bleibt. Folglich kann der Piezoaktor über das Bornitrid in der Vergussmasse gleitend gelagert sein.

Bevorzugt kann der Hilfsstoff, insbesondere hexagonales Bornitrid, eine Mischung von

20 (Hilfsstoff-)Partikeln, vorzugsweise Plättchen, mit zumindest zwei unterschiedlichen mittleren Größen umfassen. Insbesondere kann der Hilfsstoff eine Mischung von pulverförmigem Bornitrid mit einer ersten mittleren Teilchengröße und pulverförmigem Bornitrid mit einer dazu unterschiedlichen, zweiten mittleren Teilchengröße umfassen. Der Hilfsstoff,

25 der in Form einer solchen Mischung bereitgestellt ist, wird auch als Hilfsstoff-Mischung bezeichnet.

Vorzugsweise kann eine Mischung so bereitgestellt werden, dass Bornitrid-Pulver mit einer (relativ) kleinen mittleren Teilchengröße beigemischt wird zu Bornitrid-Pulver mit einer

30 (relativ) großen mittleren Teilchengröße. Bevorzugt kann der Hilfsstoff eine Mischung sein aus pulverförmigem Bornitrid mit einer mittleren Teilchengröße (D_{50}) von etwa 45 μm und aus pulverförmigem Bornitrid mit einer mittleren Teilchengröße (D_{50}) von etwa 20 μm . Vorzugsweise kann für die Mischung Bornitrid vom Typ „CL-SP 045“ und vom Typ „CL-ADM 020“ verwendet werden (Hersteller: Henze Boron Nitride Products AG, Deutsch-

35 land). Vorzugsweise hat das pulverförmige Bornitrid mit der mittleren Teilchengröße von etwa 20 μm , z.B. Typ „CL-ADM 020“, eine annähernd plättchenartige Ausgestaltung.

Bevorzugt kann pulverförmiges Bornitrid mit einer mittleren Teilchengröße von etwa 20 µm beigemischt werden zu pulverförmigem Bornitrid mit einer mittleren Teilchengröße von etwa 45 µm, so dass der (Beimischungs-)Anteil zumindest etwa 1 Gew.-% beträgt, bezogen auf die Gesamtmenge des (fertig gemischten) Hilfsstoffs bzw. der Hilfsstoff-Mischung.

5 Vorzugsweise kann der (Beimischungs-)Anteil zumindest etwa 2 Gew.-%, bevorzugt zumindest etwa 3 Gew.-%, besonders bevorzugt zumindest etwa 4 Gew.-%, sein. Bevorzugt kann der (Beimischungs-)Anteil etwa 4,25 Gew.-% sein, insbesondere etwa 4,5 Gew.-%.

Vorteilhafterweise kann durch die Verwendung von Bornitrid, das Pulver mit unterschiedlichen mittleren Teilchengrößen beinhaltet, die Wärmeableitung vom Piezoaktor weiter gesteigert werden. Beispielsweise können die (relativ) kleinen Bornitridpartikel in Zwischenräume zwischen den (relativ) großen Bornitridpartikeln eintreten und diese zumindest teilweise ausfüllen und/oder können die Kontaktfläche von Bornitrid mit dem Gehäuse vergrößern.

15 Die Vergussmasse im Gehäuse umfasst zusätzlich zu dem Hilfsstoff vorzugsweise ein Silikongel, welches zumindest ein Basissilikon und zumindest ein Vernetzungsmittel, insbesondere einen Härter, umfasst. Alternativ oder zusätzlich zum dem Silikongel könnte die Vergussmasse im Gehäuse auch einen oder mehrere Polyurethane umfassen.

20 Grundsätzlich könnte die Vergussmasse auch aus anderen Grundkomponenten ausgebildet sein.

Bevorzugt ist die Vergussmasse im Gehäuse so ausgebildet, dass sie im Betrieb des Aktormoduls für eine bestimmte Verwendungsdauer des Aktormoduls wenigstens eine, vorzugsweise alle der nachfolgenden Eigenschaften (gleichzeitig), aufweist:

25

- Im Betrieb erfolgt im Wesentlichen keine Abspaltung von niedermolekularen Reaktionsprodukten, wie z.B. H₂O, NH₃, CO₂, Essigsäure etc. aus der Vergussmasse.
 - Ein Isolationswiderstand der Grundkomponenten der Vergussmasse (ohne Hilfsstoff), z.B. ein Silikongel, beträgt vorzugsweise zumindest $1 \cdot 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$, bevorzugt zumindest $1 \cdot 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$, insbesondere zumindest $1 \cdot 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$ oder mehr.
 - Eine (maximale) Arbeitstemperatur der Vergussmasse beträgt zumindest 140 °C, vorzugsweise zumindest 160 °C, bevorzugt zumindest 200 °C oder mehr.
 - Die Vergussmasse ist für eine bestimmte Verwendungsdauer stabil gegenüber Alterungsprozessen, insbesondere durch Verhinderung von Abspaltungen von leitfähigen Reaktionsprodukten.
- 35

- Eine Wärmeleitfähigkeit der Grundkomponenten der Vergussmasse (ohne Hilfsstoff), z.B. ein Silikongel, beträgt vorzugsweise zumindest $0,08 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, bevorzugt zumindest $0,15 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, insbesondere zumindest $0,2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

5 Vorzugsweise hat die (erhärtete) Vergussmasse im Gehäuse, insbesondere durch das Silikongel, eine mittlere Härte (Shore A) von zumindest etwa 25, vorzugsweise zumindest etwa 35, bevorzugt zumindest etwa 55 und/oder eine mittlere Härte von höchstens etwa 75, vorzugsweise von höchstens etwa 65.

10 Vorteilhafterweise ist die Vergussmasse im Gehäuse als Festkörper so (fest) ausgebildet, dass eine bestimmte Ausrichtung der Hilfsstoffpartikel in der Vergussmasse im Betrieb des Aktormoduls erhalten bleibt. Allerdings ist die Vergussmasse im Gehäuse auch flexibel dazu ausgebildet, um eine Expansionsbewegung des Piezoaktors im Betrieb zu ermöglichen und/oder um eine (geringfügige) Verformung des Gehäuses im Betrieb zu ermöglichen.
15 Ein weiterer Vorteil der Vergussmasse mit zumindest einem Silikongel ergibt sich bei der Herstellung des Aktormoduls, wobei die Vergussmasse in fließfähiger Form über eine kleine Einfüllöffnung in das Gehäuse eingebracht werden kann und dann im Gehäuse endgültig zum flexiblen Festkörper erstarrt, wie später beschrieben wird.

20 Die Vergussmasse kann vorzugsweise so beschaffen sein, dass ein Anteil an Hilfsstoff, insbesondere hexagonales Bornitrid, bzw. ein Anteil einer Hilfsstoff-Mischung an der Vergussmasse im Gehäuse, insbesondere an der erhärteten Vergussmasse, zumindest etwa 50 Gew.-%, vorzugsweise zumindest etwa 60 Gew.-%, bevorzugt zumindest etwa 65 Gew.-%, insbesondere zumindest etwa 70 Gew.-%, beträgt.

25 Vorteilhafterweise kann über einen derart hohen Masseanteil von hexagonalem Bornitrid in der Vergussmasse die Wärmeableitung vom Piezoaktor weiter verbessert werden. Insbesondere kann bei einem Masseanteil an α -Bornitrid von 50 Gew.-% und mehr erreicht werden, dass eine Wärmeleitfähigkeit der Vergussmasse im Gehäuse, d.h. unter Ein-
30 schluss des Bornitrids, sich einer Wärmeleitfähigkeit des Piezoaktors in lateraler Richtung annähert, wobei eine Wärmeleitfähigkeit der Vergussmasse auch im Wesentlichen einer Wärmeleitfähigkeit des Piezoaktors in lateraler Richtung entsprechen kann.

Entsprechend kann der Hilfsstoff, insbesondere Bornitrid, so in der Vergussmasse ange-
35 ordnet sein, dass eine Wärmeleitfähigkeit der erhärteten Vergussmasse im Gehäuse zumindest etwa 90 %, vorzugsweise zumindest etwa 95 %, bevorzugt zumindest etwa 99 %,

besonders bevorzugt etwa 100 %, insbesondere etwa 101 % oder mehr, einer Wärmeleitfähigkeit des Piezoaktors beträgt, insbesondere einer Wärmeleitfähigkeit des Piezoaktors in einer lateralen Richtung bzw. in Richtung eines kürzesten Wegs zur Gehäusewandung. Unter einer lateralen Richtung wird eine Richtung im Wesentlichen quer zur Längserstreckungen des Piezoaktors verstanden. Beispielsweise kann eine laterale Richtung annähernd parallel zu den Innenelektroden eines Piezoaktors verlaufen. Ein lateraler Bereich eines Piezoaktors kann vorzugsweise ein Bereich des Piezoaktors zwischen einem Aktorfuß und einem Aktorkopf sein, insbesondere ein Abschnitt mit schichtweise gestapelten Innenelektroden.

10

Beispielsweise könnte eine Wärmeleitfähigkeit der Piezoaktoroberfläche in lateraler Richtung im Betrieb des Aktormoduls, d.h. im Betrieb des Piezoaktors, bei etwa $2,45 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ liegen. Vorzugsweise kann dann die Vergussmasse so ausgebildet sein, insbesondere hinsichtlich der Beschaffenheit von Bornitrid und/oder des Masseanteils von Bornitrid und/oder der Ausrichtung der BN-Einzelkristalle in der Vergussmasse, dass eine Wärmeleitfähigkeit der fertigen Vergussmasse, insbesondere in einer lateralen Richtung von einer Piezoaktoroberfläche zur Gehäusewandung bzw. zum Gehäusemantel, zumindest etwa $2,45 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ oder etwas mehr beträgt. Vorteilhafterweise kann eine weitere Steigerung der Wärmeleitfähigkeit der fertigen Vergussmasse, insbesondere in der lateralen Richtung, durch eine Mischung von Bornitrid-Pulvern mit unterschiedlichen mittleren Teilchengrößen erreicht werden. Beispielsweise kann bei einem Beimischungsanteil von etwa 1,5 Gew.-% Bornitrid mit einer mittleren Teilchengröße von $20 \mu\text{m}$ zu 98,5 Gew.-% Bornitrid mit einer mittleren Teilchengröße von etwa $45 \mu\text{m}$ eine Wärmeleitfähigkeit der fertigen Vergussmasse von mehr als $3,5 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ erreicht werden. Weiterhin kann die Wärmeleitfähigkeit der fertigen Vergussmasse auch $4 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ oder mehr sein.

25

Vorteilhafterweise kann damit die im Betrieb des Aktormoduls auftretende Verlustwärme überwiegend vollständig von der Piezoaktoroberfläche abgeführt werden, so dass der Piezoaktor in einem bestimmten Temperaturbereich gehalten werden kann. Das kann insbesondere bei Jetventilen mit hohen Taktfrequenzen Vorteile haben, da eine Gefahr der Überhitzung des Piezoaktors verhindert wird und so ein Dauerbetrieb möglich ist.

30

Für eine besonders effiziente Wärmeableitung kann der Gehäuseinnenraum zwischen dem Piezoaktor und der Gehäusewandung im Betrieb im Wesentlichen vollständig mit der erhärteten Vergussmasse ausgefüllt sein. Unter „im Wesentlichen vollständig“ ist zu verstehen, dass im Gehäuse ein bestimmtes Ausdehnungsvolumen vorhanden sein kann,

35

insbesondere um eine (notwendige) thermische Expansion des Piezoaktors und/oder der Vergussmasse zu kompensieren. Ein solcher von Vergussmasse freier Expansionsbereich könnte z.B. ein Volumen eines Inertgases umfassen und/oder kann als länglicher Hohlraum ausgebildet sein, der im Wesentlichen parallel zu einer Längserstreckung des Gehäuses verläuft.

Das Gehäuse, das den Piezoaktor hermetisch einschließt, ist vorzugsweise „dauerschwingfest“ ausgebildet. Unter „dauerschwingfest“ bzw. „dauerfest“ wird hier verstanden, dass im Rahmen einer typischen Lebensdauer des im Gehäuse angeordneten Piezoaktors selbst, d. h. nach einer Anzahl von Schwingungen (Auslenkungen), die der Piezoaktor ungeachtet der Kapselung im Betrieb (konstruktionsbedingt) üblicherweise durchlaufen kann, am Gehäuse selbst keine Ermüdungserscheinungen auftreten. Bevorzugt ist das Gehäuse dazu ausgebildet, um eine ausreichend „dauerhafte“ und kontinuierlich wirksame hermetische Diffusionsbarriere auszubilden, so dass keine Feststoffe und/oder keine Flüssigkeiten und/oder keine Gase durch das Gehäuse hindurchtreten können. Vorzugsweise ist das Gehäuse „dauerhaft“ so ausgebildet, dass es auch nach einer Anzahl von wenigstens $2,5 \cdot 10^8$, besonders bevorzugt von wenigstens $1 \cdot 10^9$, Zyklen bzw. Auslenkungen des gekapselten Piezoaktors vollständig intakt ist, d.h. insbesondere eine hermetische Einhausung für den Piezoaktor ausbildet.

Um eine Dauerschwingfestigkeit des Gehäuses zu erreichen, kann das Gehäuse überwiegend mittels eines metallischen Werkstoffs realisiert sein. Alternativ können einzelne Bereiche des Gehäuses auch aus einem anderen, nicht-metallischen, Werkstoff ausgebildet sein. Beispielsweise könnte ein Gehäuseboden und/oder –deckel einen keramischen Grundstoff umfassen oder mittels einer biegsamen Membran realisiert sein. Auch andersartige Werkstoffe sind denkbar, solange sie eine ausreichend dauerhafte hermetische Verschlüsselung des Gehäuses auch während des Betriebs des Aktormoduls ermöglichen.

Besonders bevorzugt kann das Gehäuse hergestellt sein durch Tiefziehen, wie eingangs beschrieben wurde. Das Material eines tiefgezogenen Gehäusegrundkörpers kann vorzugsweise Berylliumkupfer und/oder Edelstahl und/oder Stahl sein. Ein Gehäusedeckel kann vorzugsweise aus Berylliumkupfer und/oder aus Edelstahl und/oder aus Stahl und/oder aus Kupfer und/oder aus Messing ausgebildet sein. Grundsätzlich kann ein Gehäusedeckel auch aus zumindest einem anderen Metall oder einer metallischen Legierung ausgebildet sein. Eine Wandstärke eines tiefgezogenen Gehäusegrundkörpers kann z.B. zumindest etwa 0,05 mm, vorzugsweise zumindest etwa 0,08 mm, sein. Beispiels-

weise kann eine Wandstärke eines tiefgezogenen Gehäusegrundkörpers etwa 0,09 mm, vorzugsweise etwa 0,1 mm, sein. Grundsätzlich sind auch größere Wandstärken möglich, z.B. 0,15 mm oder mehr.

- 5 Zur Ausbildung eines tiefgezogenen, hermetisch verschließbaren Gehäuses können ein Gehäusegrundkörper und ein Gehäusedeckel miteinander verlötet werden. Vorzugsweise kann eine Temperatur beim Löten weniger als 200 °C betragen, vorzugsweise weniger als 190 °C, bevorzugt weniger als 180 °C. Vorzugsweise kann als Lot ein Bleilot und/oder ein Zinnlot und/oder Mischungen daraus verwendet werden. Besonders vorteilhaft ist die
- 10 Verwendung eines eutektischen Lotes.

- Bevorzugt können der Gehäusegrundkörper und/oder der Gehäusedeckel zum Verlöten mit einem Lot beschichtet sein. Beispielsweise kann eine Schicht von etwa 8 µm Dicke eines Lotes auf einen zu verlötenden Randbereich des Gehäusedeckels und/oder einen
- 15 den Randbereich aufnehmenden Teil des Gehäusegrundkörpers vor dem Löten aufgetragen werden. Bevorzugt kann zum Löten eine Lotschicht auf dem Gehäusegrundkörper und/oder auf dem Gehäusedeckel mittels Induktion zumindest teilweise verflüssigt werden. Vorzugsweise kann zum Löten eine Frequenz einer Induktionsspule zumindest 20 kHz, vorzugsweise zumindest 50 kHz, bevorzugt zumindest 100 kHz, sein. Beispielsweise
- 20 kann eine Frequenz höchstens 500 kHz, vorzugsweise höchstens 200 kHz, bevorzugt höchstens 150 kHz, sein. Grundsätzlich können zum Löten aber auch höhere Frequenzen verwendet werden, z.B. 600 kHz oder mehr.

- Vorteilhafterweise kann, insbesondere unter Nutzung des Skin-Effekts, eine sichere, insbesondere hermetisch dichte, Verbindung zwischen dem Gehäusegrundkörper und dem
- 25 Gehäusedeckel ausgebildet werden, wobei eine Temperatur im Gehäuse möglichst gering gehalten werden kann, um darin angeordnete Elemente wie z.B. einen Piezoaktor zu schützen. Vorteilhafterweise kann unter Nutzung des Skin-Effekts durch eine sehr kurze Induktionszeit, z.B. im Bereich von weniger als 500 Millisekunden, eine Temperatur im
- 30 Gehäuseinnenraum und/oder im Piezoaktor weniger als 200 °C betragen.

- Es wäre grundsätzlich auch möglich, dass ein Gehäuseboden, ein Gehäusemantel und ein Gehäusedeckel (zunächst) als separate Elemente hergestellt werden und zur Ausbildung des Gehäuses dauerhaft und hermetisch dicht miteinander verbunden werden, z.B.
- 35 mittels Schweißen, Bördeln, Löten, Verpressen etc., wobei die drei Elemente dann eine Gehäusewandung ausbilden. Es wäre grundsätzlich auch möglich, zunächst zwei Gehä-

sehälften bereitzustellen und diese dann, vorzugsweise entlang ihrer Längserstreckung, zur Ausbildung eines Gehäuses dauerhaft und hermetisch dicht zu verbinden. Es ist jedoch bevorzugt, dass ein Gehäuse zumindest teilweise mittels Tiefziehen hergestellt wird, wie zuvor beschrieben wurde.

5

Bevorzugt kann ein Gehäuse - ungeachtet der konkreten Ausführung - zumindest abschnittsweise nach der Art eines faltenartigen Balgs, insbesondere eines faltenartigen Metallbalgs, ausgebildet sein. Beispielsweise kann bei einem tiefgezogenen Gehäuse in den Gehäusegrundkörper, insbesondere in den röhrenartigen Gehäusemantel, zumindest in Teilbereichen ein Faltenbalg eingearbeitet sein. Ein solcher Faltenbalg kann (nach dem Tiefziehen) z.B. mittels Hydroforming in den Gehäusemantel eingebracht werden. Den oberen Abschluss des Gehäuses kann ein fest mit dem Gehäusemantel verbundener, vorzugsweise zum Gehäuseboden planparalleler, Gehäusedeckel ausbilden. In diesem Fall bilden der Gehäusegrundkörper und der Gehäusedeckel dann die Gehäusewandung aus.

15

Vorteilhafterweise kann durch die zumindest partielle Ausgestaltung des Gehäuses nach der Art eines metallischen Faltenbalgs erreicht werden, dass das Gehäuse teilweise nachgiebig ausgebildet ist, wobei eine möglichst ungehinderte Ausdehnung des Piezoaktors im Gehäuse bei angelegter Spannung erfolgen kann. Ein besonderer Vorteil ergibt sich in Kombination mit einem tiefgezogenen Gehäuse, da hier die schnelle Ausdehnung des Piezoaktors durch die geringe bewegte Masse des Gehäusebodens zusätzlich erleichtert wird.

20

Der Bereich des Gehäuses mit einem Faltenbalg kann vorzugsweise einen definierten Wärmeabgabebereich des Gehäuses ausbilden, über den im Betrieb des Aktormoduls eine besonders effiziente Wärmeübertragung von der Gehäusewandung (Gehäusemantel) an die Umgebung erfolgt. Beispielsweise könnte dem Wärmeabgabebereich im Betrieb eine Kühleinrichtung einer übergeordneten Maschine, z.B. als Teil eines Jentventils, zugeordnet sein, wobei der Faltenbalg dann „Kühlrippen“ ausbildet, die vorzugsweise von einem Kühlmedium umströmt werden. Dadurch kann die Temperatur des Piezoaktors im Betrieb des Aktormoduls auf einen bestimmten Sollwert eingestellt werden und insbesondere aktiv reguliert werden. Vorzugsweise kann der Wärmeabgabebereich des Gehäuses dem lateralen Bereich eines Piezoaktors zugeordnet sein.

30

35

Bevorzugt kann ein Gehäuse zumindest teilweise, insbesondere im Wesentlichen vollständig, aus einem oder mehreren anorganischen Stoffen ausgebildet sein. Vorzugsweise kann ein Gehäuse ausschließlich aus anorganischen Materialien aufgebaut sein, um ein hermetisch dicht verschlossenes Gehäuse auszubilden. Bevorzugt kann eine hermetisch dichte Einkapselung des Piezoaktors (auch) dadurch erreicht werden, dass nur anorganische Materialien zur Einkapselung des Piezoaktors, insbesondere zur Ausbildung des Gehäuses, verwendet werden. Beispielsweise kann das Gehäuse hergestellt sein aus Berylliumkupfer und/oder Edelstahl und/oder Stahl und/oder Kupfer und/oder Messing und/oder einem anderen Metall oder einer metallischen Legierung. Entsprechend kann das Gehäuse frei von organischen Materialien sein.

Bevorzugt ist das Gehäuse hermetisch dicht verschlossen so ausgebildet, dass ein Durchtritt von Stoffen, z.B. Wassermoleküle, durch das Gehäuse, insbesondere mittels Permeation, im Betrieb des Aktormoduls verhindert bzw. unterbunden wird. Vorzugsweise kann eine Permeation während des Betriebs des Aktormoduls gegen null gehen. Mit anderen Worten kann das Gehäuse im Betrieb eine Permeations-Barriere oder Permeations-Sperre ausbilden, insbesondere für Wassermoleküle. Bevorzugt kann das Gehäuse während des Betriebs des Aktormoduls permeationsdicht ausgebildet sein. Entsprechend kann das Gehäuse zur Verhinderung der Permeation so ausgebildet sein, dass während des Betriebs keine Stoffe (Permeate) das Gehäuse durchdringen oder durchwandern können.

Vorteilhafterweise kann durch ein Gehäuse nur aus anorganischen Stoffen eine besonders zuverlässige hermetische Kapselung des Piezoaktors und dadurch eine dauerhafte Abschirmung von Wassermolekülen erreicht werden. Bei anderen Piezoaktoren, die eine Ummantelung haben, die vollständig oder überwiegend aus organischen Materialien besteht, z.B. auf Basis von Silikon, ist im Betrieb des Piezoaktors ein Durchtritt von Wassermolekülen (Permeation) durch das organische Material möglich, besonders wenn ein Konzentrationsgradient über die Ummantelung vorliegt. Die organischen Stoffe solcher Ummantelungen, z.B. Silikon-Elastomere, beinhalten häufig freie Wassermoleküle in niedriger Konzentration. Da die Wassermoleküle nicht im organischen Stoff gebunden sind, können sich diese bewegen, bis ein Konzentrationsausgleich zwischen zwei Seiten des organischen Stoffs stattgefunden hat, z.B. zwischen einer Außenseite und einer Innenseite einer Ummantelung.

Vorteilhafterweise kann das hermetisch verschlossene Gehäuse so ausgebildet sein, dass der Piezoaktor im Gehäuse während einer bestimmten Verwendungsdauer des Aktormoduls unter einer dauerhaften elektrischen Bestromung (Dauer-Bestromung) stehen kann. Vorteilhafterweise kann der Piezoaktor auch bei einem im Betrieb dauerhaft anlie-

5 genden elektrischen Feld durch das hermetisch verschlossene Gehäuse wirksam von Wassermolekülen der äußeren Umgebung des Gehäuses abgeschirmt sein. Bei anderen Piezoaktoren mit einer organischen Ummantelung, z.B. ein Silikon, können Wassermoleküle durch das in Folge der Bestromung des Piezoaktors entstehende elektrische Feld, insbesondere bei einer Dauer-Bestromung, durch die Ummantelung hindurchtransportiert

10 und in die Ummantelung hineintransportiert werden.

Bevorzugt kann der Piezoaktor so im Inneren des verschlossenen Gehäuses angeordnet sein, dass die jeweiligen Enden bzw. Endbereiche des Piezoaktors dem Gehäusegrundkörper bzw. dem Gehäuseboden und -deckel direkt aufliegen, insbesondere, wenn sich

15 der Piezoaktor in einem ruhenden, also nicht expandierten Zustand, befindet. Vorzugsweise kann zumindest ein Endbereich des Piezoaktors, z. B. ein Aktorkopf, fest mit dem Gehäuse(-deckel) verbunden sein.

Bevorzugt kann das Gehäuse so ausgestaltet sein, dass eine Oberfläche des im Gehäuse

20 angeordneten Piezoaktors und eine Innenseite der Gehäusewandung, zumindest im Bereich des Gehäusemantels, einander nicht direkt berühren. Mit anderen Worten kann ein innerer Querschnitt des Gehäuses, welcher im Wesentlichen quer zur Längserstreckung des Gehäuses verläuft, vorzugsweise größer sein als ein entsprechender Querschnitt des im Gehäuse angeordneten Piezoaktors.

25 Zur Überwachung einer Temperatur kann zumindest ein Temperatursensor an einer zum Piezoaktor weisenden Innenseite der Gehäusewandung und/oder an einer der Innenseite gegenüberliegenden Außenseite der Gehäusewandung und/oder innerhalb der Vergussmasse angeordnet sein. Vorzugsweise kann zumindest ein Temperatursensor, bevorzugt

30 zwei oder mehr Temperatursensoren, in unterschiedlichen Bereichen der Piezoaktoroberfläche angeordnet sein, um einen Temperaturgradienten entlang der Längserstreckung des Piezoaktors zu erfassen. Es könnte auch zumindest ein Temperatursensor unmittelbar in einem Piezoaktorkern, also in einem zentralen Mittelpunkt eines quer geschnittenen Piezoaktors angeordnet sein, oder in einem radial davon beabstandeten (Rand-)Bereich

35 eines Piezoaktors.

Die Temperatursensoren sind vorzugsweise mit elektrischen Anschlüssen des Gehäuses gekoppelt, die hermetisch dicht und elektrisch isoliert durch die Gehäusewandung geführt sind. Außerhalb des Gehäuses können die erfassten Messwerte z.B. einer dem Aktormodul zugeordneten Steuereinrichtung zugeführt werden. Es sei darauf hingewiesen, dass zur Durchführung durch die Gehäusewandung zwei oder mehr elektrische Anschlüsse

5 zumindest vorübergehend so zusammengefasst werden können, dass mehrere elektrische Anschlüsse über dieselbe Durchführung durch die Gehäusewandung hindurchgeführt sind. Es ist aber ebenso möglich, dass ein jeweiliger elektrischer Anschluss separat durch die Gehäusewandung geführt ist.

10

Bevorzugt können die elektrischen Anschlüsse mittels elektrischer Stecker bzw. Anschlussstifte realisiert sein. Vorzugsweise erfolgt die Durchführung eines jeweiligen Steckers durch das Gehäuse mittels jeweils eines fest in das Gehäuse integrierten Glaslots. Bevorzugt können die jeweiligen Glaslote bzw. Glasdurchführungen in den Gehäusebo-

15 den (bzw. den Gehäusegrundkörper) und/oder den Gehäusedeckel eingebracht sein. Besonders bevorzugt werden die elektrischen Stecker bzw. Leiter mittels Glaslot hermetisch dicht und elektrisch isoliert vom Inneren des Gehäuses nach außen geführt.

20

Zur Herstellung eines Aktormoduls wird, wie schon beschrieben, eine Vergussmasse bereitgestellt, die vorzugsweise im erhärteten Zustand eine Gehäusewandung von einem Piezoaktor elektrisch isoliert. Vorzugsweise ist die Vergussmasse selbst, d.h. ohne den Hilfsstoff, ein Dielektrikum. Die Vergussmasse ist bevorzugt so im Gehäuseinnenraum angeordnet, dass im Wesentlichen die gesamte Piezoaktoroberfläche elektrisch gegen-

über der Gehäusewandung isoliert ist.

25

In einem bevorzugten Verfahren wird eine fließfähige Vergussmasse so hergestellt, dass die in das Gehäuse einzubringende Vergussmasse ein Silikongel umfasst, das zumindest ein Basissilikon und ein Vernetzungsmittel umfasst. Das Basissilikon kann z.B. ein Silikon vom Typ SG 75L2-30 sein, wobei als Vernetzer bzw. „cross-linker“ ein Typ SG 79L5-30

30 verwendet werden kann (Hersteller jeweils: Elantas, Deutschland). Wie schon beschrieben, könnte auch ein Polyurethan verwendet werden oder ein anderes geeignetes Silikon, wobei die Vergussmasse bevorzugt die eingangs genannten Eigenschaften haben sollte. Beispielsweise könnte - je nach Herstellungsverfahren des Aktormoduls - auch ein Silikongel mit einer höheren Viskosität als das zuvor genannte verwendet werden.

35

Bevorzugt kann zur Bereitstellung bzw. Herstellung der fließfähigen Vergussmasse in einem (ersten) Schritt ein erster hälftiger Anteil des gesamten einzusetzenden Hilfsstoffs bzw. der gesamten Hilfsstoff-Mischung mit zumindest einem Anteil eines Basissilikons gemischt werden. Vorzugsweise wird ein zweiter (identisch großer) hälftiger Anteil des Hilfsstoffs bzw. der Hilfsstoff-Mischung mit zumindest einem Anteil des Vernetzungsmittels gemischt. Bevorzugt kann der erste hälftige Anteil des Hilfsstoffs mit einer zur Herstellung der Vergussmasse vorgesehenen Gesamtmenge des Basissilikons gemischt werden. Entsprechend kann der zweite hälftige Anteil des Hilfsstoffs mit einer Gesamtmenge an Vernetzer gemischt werden.

10

Vorzugsweise können in einem weiteren (zweiten) Schritt die so erhaltenen jeweiligen Mischungen miteinander gemischt werden, um darüber die in das Gehäuse einzubringende fließfähige Vergussmasse herzustellen.

15 Vorzugsweise kann die fließfähige Vergussmasse so hergestellt werden, dass ein jeweiliger Anteil an Basissilikon und/oder an Vernetzungsmittel an der Vergussmasse vor einem Einbringen der Vergussmasse in das Gehäuse zumindest etwa 10 Gew.-%, vorzugsweise zumindest etwa 20 Gew.-%, bevorzugt zumindest etwa 25 Gew.-%, insbesondere zumindest etwa 30 Gew.-% oder mehr, beträgt.

20

Bevorzugt kann die fließfähige Vergussmasse so hergestellt werden, dass ein Anteil an Hilfsstoff, insbesondere an hexagonalem Bornitrid, bzw. ein Anteil der Hilfsstoff-Mischung an der Vergussmasse vor einem Einbringen der Vergussmasse in das Gehäuse zumindest etwa 10 Gew.-%, vorzugsweise zumindest etwa 20 Gew.-%, bevorzugt zumindest etwa 25 Gew.-%, besonders bevorzugt zumindest etwa 30 Gew.-%, insbesondere zumindest etwa 35 Gew.-%, beträgt. Vorzugsweise wird die Vergussmasse so hergestellt, dass der Anteil des Hilfsstoffs bzw. der Hilfsstoff-Mischung an der (gesamten) fließfähigen Vergussmasse höchstens etwa 50 Gew.-%, vorzugsweise höchstens etwa 40 Gew.-%, beträgt. Vorzugsweise kann der Hilfsstoff, insbesondere hexagonales Bornitrid, in Form von Plättchen (Hilfsstoff-Plättchen) in der fließfähigen Vergussmasse angeordnet werden.

30

Vorteilhafterweise kann dadurch, dass der Hilfsstoff zur Herstellung der Vergussmasse portioniert wird und anteilig mit den Einzelkomponenten der herzustellenden Vergussmasse gemischt wird, ein Masseanteil an Hilfsstoff in der fertigen, fließfähigen Vergussmasse möglichst hoch eingestellt werden. Insbesondere kann der Masseanteil an hexagonalem Bornitrid erhöht werden gegenüber einem Verfahren, bei dem dieselbe Stoff-

35

menge (α -BN) mit nur einer Komponente der herzustellenden Vergussmasse gemischt wird, wobei die Vergussmasse dennoch fließfähig bzw. verarbeitbar ist. Unter „fließfähig“ wird eine Vergussmasse verstanden, die so beschaffen ist, dass die Vergussmasse mittels Druck und/oder mittels einer, insbesondere technisch erzeugten, Trägheitskraft in ein Gehäuse eingebracht werden kann zur Herstellung des Aktormoduls, insbesondere über eine Einfüllöffnung des Gehäuses. Beispielsweise kann eine „fließfähige“ Vergussmasse eine Viskosität von höchstens 1000 cSt (Zentistokes), vorzugsweise von höchstens 500 cSt, haben.

Vorteilhafterweise kann durch eine fließfähige Vergussmasse erreicht werden, dass die Vergussmasse über eine sehr kleine Einfüllöffnung, z.B. mit einem Durchmesser von 1 mm oder weniger, in ein ansonsten bereits verschlossenes Gehäuse eingebracht werden kann. Weiter vorteilhaft kann sich die Vergussmasse im Gehäuseinnenraum so verteilen, dass im Wesentlichen die gesamte Oberfläche des Piezoaktors unmittelbar an die erhärtete Vergussmasse angrenzt. Insbesondere kann die fließfähige Vergussmasse im Gehäuse um Ecken herum fließen und kleine Hohlräume ausfüllen.

Gemäß einer Ausführungsform des Herstellungsverfahrens kann, insbesondere zur Ausrichtung der Hilfsstoffpartikel in der Vergussmasse, der Hilfsstoff bzw. die Hilfsstoffmischung, vorzugsweise hexagonales Bornitrid, in Form von Plättchen in der fließfähigen Vergussmasse angeordnet werden, wobei die noch nicht erhärtete Vergussmasse in einem (noch) unverschlossenen Gehäuse für eine bestimmte Zeit mit einem Druckmedium beaufschlagt wird. Insbesondere kann eine Einfüllöffnung des Gehäuses noch unverschlossen sein. Bevorzugt kann die Druckbeaufschlagung von außerhalb des Gehäuses so erfolgen, dass ein jeweiliges Hilfsstoff-Plättchen in Folge der Druckbeaufschlagung so in der fließfähigen und/oder in der aushärtenden und/oder in der erhärteten Vergussmasse angeordnet wird, dass eine Längserstreckung eines jeweiligen Hilfsstoff-Plättchens quer, vorzugsweise im Wesentlichen orthogonal, zu einer Längserstreckung des Piezoaktors verläuft.

Vorzugsweise kann ein Druck zumindest 100 bar, bevorzugt zumindest 200 bar, besonders bevorzugt zumindest 300 bar oder mehr, betragen.

Die Druckbeaufschlagung kann für zumindest eine Minute, vorzugsweise für zumindest 5 Minuten, bevorzugt für zumindest 10 Minuten, erfolgen. Das Druckmedium kann ein Silikonöl sein. Alternativ oder zusätzlich kann das Druckmedium ein trockenes Gas und/oder

ein trockenes Gasgemisch sein. Vorzugsweise hat das trockene Gas bzw. Gasgemisch einen Feuchtigkeitsgehalt von höchstens etwa 5 parts per million (ppm), vorzugsweise von höchstens etwa 3 ppm, bevorzugt von höchstens etwa 2 ppm, besonders bevorzugt von höchstens etwa 1 ppm, insbesondere bevorzugt von höchstens etwa 0,5 ppm.

5

Alternativ oder zusätzlich kann die Vergussmasse im Gehäuse für eine bestimmte Zeit einem gegenüber Normaldruck reduzierten Druck ausgesetzt sein, insbesondere auch einem Vakuum. Bevorzugt kann eine gepulste Druckbelastung so durchgeführt werden, dass die Vergussmasse im Gehäuse alternierend mit einem Überdruck und mit einem

10 Normal- oder Unterdruck beaufschlagt wird, jeweils bezogen auf Normaldruck.

Vorteilhafterweise kann eine gepulste oder mehrfache Druckbelastung dazu beitragen, dass im Wesentlichen alle Hilfsstoffpartikel bzw. Hilfsstoff-Plättchen eine bestimmte Ausrichtung in der erhärteten Vergussmasse, insbesondere im Betrieb des Piezoaktors, ha-

15 ben.

Gemäß einer Ausführungsform des Herstellungsverfahrens kann, insbesondere zur Ausrichtung der Hilfsstoffpartikel in der Vergussmasse, der Hilfsstoff bzw. die Hilfsstoff-Mischung, vorzugsweise hexagonales Bornitrid, in Form von Plättchen in der fließfähigen

20 Vergussmasse angeordnet werden, wobei die Bereitstellung der Vergussmasse wie zuvor beschrieben erfolgen kann. Bei dieser Ausführungsform kann die vorzugsweise noch nicht erhärtete Vergussmasse in einem unverschlossenen oder verschlossenen Gehäuse einer bestimmten, insbesondere technisch erzeugten, Trägheitskraft ausgesetzt werden. Bevorzugt kann die fließfähige und/oder die aushärtende und/oder die erhärtete Verguss-

25 masse einer, insbesondere technisch erzeugten, Zentrifugalkraft ausgesetzt werden, so dass ein jeweiliges Hilfsstoff-Plättchen in Folge der Zentrifugalkraft derart in der fließfähigen und/oder in der aushärtenden und/oder in der erhärteten Vergussmasse angeordnet wird, dass eine Längserstreckung eines jeweiligen Hilfsstoff-Plättchens quer, vorzugsweise im Wesentlichen orthogonal, zu einer Längserstreckung des Piezoaktors verläuft.

30

Besonders bevorzugt kann bei dieser Ausführungsform der Hilfsstoff bzw. die Hilfsstoff-Mischung, insbesondere hexagonales Bornitrid, in Form von Plättchen in der fließfähigen Vergussmasse angeordnet werden, wobei die Vergussmasse mittels einer auf das Gehäuse und/oder auf die Vergussmasse einwirkenden bestimmten, bevorzugt technisch

35 erzeugten, Trägheitskraft, insbesondere einer Zentrifugalkraft, in das Gehäuse selbst eingebracht wird. Vorzugsweise wird die Trägheitskraft so angelegt, dass die Trägheitskraft

beim Einbringen und/oder beim Verfestigen der Vergussmasse im Wesentlichen orthogonal auf eine Grundfläche der jeweiligen Hilfsstoffpartikel wirkt, insbesondere bezogen auf eine räumliche Anordnung bzw. Ausrichtung der Partikel in der erhärteten Vergussmasse.

- 5 Insbesondere kann eine technisch erzeugte Fliehkraft so auf das Gehäuse und/oder auf die Vergussmasse wirken, dass ein jeweiliges Hilfsstoff-Plättchen in Folge der Fliehkraft in Bezug auf dessen Längserstreckung quer, vorzugsweise im Wesentlichen orthogonal, zu einer Längserstreckung des Piezoaktors in der fließfähigen und/oder in der aushärtenden und/oder in der erhärteten Vergussmasse angeordnet wird.

10

Das Verfahren kann vorzugsweise so durchgeführt werden, dass die Trägheitskraft im Wesentlichen in Richtung einer Längserstreckung des Gehäuses, vorzugsweise in Richtung einer Längserstreckung des Piezoaktors im Gehäuse, auf die Vergussmasse einwirkt, insbesondere auf den Hilfsstoff in der Vergussmasse. Vorzugsweise kann die Träg-

15 heitskraft überwiegend orthogonal zu einer kürzesten Entfernung zwischen dem Piezoaktor und der Gehäusewandung, insbesondere dem Gehäusemantel, auf die Vergussmasse und/oder den Hilfsstoff wirken.

20

Vorteilhafterweise kann mittels einer Trägheitskraft sowohl die Vergussmasse mit den Hilfsstoff-Plättchen in das Gehäuse eingebracht werden als auch eine bestimmte, vorteilhafte Ausrichtung der Hilfsstoff-Plättchen in der Vergussmasse erreicht werden. Dadurch kann das Herstellungsverfahren besonders effizient durchgeführt und eine bestimmte Ausrichtung im Wesentlichen aller Hilfsstoffpartikel in der (erhärteten) Vergussmasse erreicht werden. Die Trägheitskraft kann vorzugsweise eine technisch erzeugte Zentrifugalkraft bzw. eine Fliehkraft sein.

25

30

Ein weiterer Vorteil ist, dass bei dem Herstellungsverfahren durch Nutzung einer in bestimmter Weise zum Gehäuse ausgerichteten Trägheitskraft der Masseanteil des Hilfsstoffs, insbesondere hexagonales Bornitrid, in der erhärteten Vergussmasse deutlich erhöht werden kann gegenüber anderen Verfahren. Vorzugsweise kann mittels des besonderen Verfahrens ein Anteil von z.B. bis zu 70 Gew.-% hexagonales Bornitrid in der erhärteten Vergussmasse im Gehäuse erreicht werden, wobei die fließfähige Vergussmasse z.B. nur einen Anteil von 35 Gew.-% hexagonales Bornitrid hat. Vorteilhafterweise kann dadurch einerseits der Masseanteil α -BN so eingestellt sein, dass die Vergussmasse gerade noch fließfähig ist, wobei andererseits der Masseanteil α -BN in der erhärteten Vergussmasse durch das Herstellungsverfahren deutlich erhöht ist im Vergleich zum Aus-

35

gangswert. Dadurch kann die Wärmeleitfähigkeit der Vergussmasse erhöht werden, um eine besonders hohe Wärmeableitung vom Piezoaktor zu erreichen.

Es ist grundsätzlich möglich, dass die beiden zuvor beschriebenen Ausführungsformen miteinander kombiniert werden. Beispielsweise kann eine fließfähige Vergussmasse mittels einer technisch erzeugten Zentrifugalkraft in ein Gehäuse eingebracht werden. Die Ausrichtung der Hilfsstoffpartikel in der Vergussmasse könnte dann z.B. mittels einer Druckbeaufschlagung der Vergussmasse im Gehäuse erfolgen. Es wäre auch möglich, eine fließfähige Vergussmasse mittels Zentrifugalkraft in ein Gehäuse einzubringen, wobei dann eine Druckbeaufschlagung der Vergussmasse erfolgt und wobei anschließend nochmals eine Zentrifugalkraft angelegt wird.

In dem Herstellungsverfahren kann - ungeachtet der konkreten Ausführungsform - vorgesehen sein, dass zumindest das Gehäuse und/oder der Piezoaktor und/oder der Hilfsstoff vor dem Einfüllen der Vergussmasse in das Gehäuse einer Vorbehandlung unterzogen werden. Bevorzugt kann eine Vorbehandlung beinhalten, dass die Komponenten für eine bestimmte Zeitspanne einem Vakuum ausgesetzt sind und/oder auf eine bestimmte Temperatur erhitzt werden.

Zur Erhitzung und/oder Evakuierung kann das Gehäuse bevorzugt einen tiefgezogenen Gehäusegrundkörper und einen damit fest verbundenen Gehäusedeckel umfassen, wobei im Gehäuse ein Piezoaktor angeordnet ist und wobei die Verbindung zwischen den Gehäusekomponenten derart ist, dass darüber ein hermetisch dichter Verschluss des Gehäuses (später) ausgebildet werden kann. Bevorzugt hat der Gehäusedeckel zumindest eine verschließbare (Einfüll-)Öffnung, die zur Ausbildung des fertigen Gehäuses hermetisch dicht verschließbar ist. Bevorzugt wird ein solches Gehäuse (mit eingebautem Piezoaktor) sowie der Hilfsstoff bzw. die Hilfsstoff-Mischung, insbesondere außerhalb des Gehäuses, einem Vakuum von z.B. 10 bis 100 mbar ausgesetzt. Bevorzugt erfolgt gleichzeitig eine Erhitzung der Komponenten. Entsprechend kann das Herstellungsverfahren vorzugsweise einen Vakuum-Trocknungsprozess beinhalten. Für den Vakuum-Trocknungsprozess können die Komponenten in einem beheizbaren Vakuumgefäß angeordnet sein, z.B. in einer Vakuumkammer.

Vorzugsweis erfolgt eine Erhitzung auf eine Temperatur von zumindest 60 °C, vorzugsweise zumindest 90 °C, bevorzugt zumindest 110 °C und/oder höchstens 190 °C, vorzugsweise höchstens 150 °C, bevorzugt höchstens 140 °C. Die Erhitzung und/oder die

Evakuierung kann für zumindest 1 Stunde, vorzugsweise zumindest 2 Stunden, bevorzugt zumindest 3 Stunden, besonders bevorzugt zumindest 4 Stunden, insbesondere zumindest 5 Stunden, oder mehr erfolgen.

- 5 Bevorzugt erfolgt eine Erhitzung der Komponenten auf eine Temperatur von 130 °C für eine Dauer von 48 Stunden. Besonders bevorzugt sind die Komponenten beim Erhitzen in einem Vakuum von etwa 10 mbar angeordnet. Die Erhitzung kann, ungeachtet der konkreten Erhitzungsparameter, vorzugsweise mittels Infrarotstrahlung erfolgen.
- 10 Vorteilhafterweise kann bereits dadurch erreicht werden, dass der Gehäuseinnenraum bzw. die Komponenten, die im Inneren des herzustellenden hermetisch verschlossenen Gehäuses angeordnet sind, möglichst vollständig frei von H₂O-Molekülen sind.

- Vorzugsweise kann der Piezoaktor bei einer Erhitzung und/oder Evakuierung, insbesondere während einer Erhitzung unter Vakuum, zumindest einmalig bzw. kurzzeitig mit einer elektrischen Spannung beaufschlagt werden. Bevorzugt kann der Piezoaktor in dem Vakuum-Trocknungsprozess mehrmalig mit elektrischer Spannung beaufschlagt werden, insbesondere kontinuierlich während einer gesamten Dauer einer Erhitzung unter Vakuum. Bevorzugt kann die Spannung eine für den Piezoaktor höchstzulässige Spannung
- 15 sein. Dieses Vorgehen kann dazu beitragen, dass die zu trocknenden bzw. getrockneten Komponenten, insbesondere ein Piezoaktor im Gehäuse, besonders effizient und zuverlässig von H₂O-Molekülen befreit werden.
- 20

- Vorzugsweise kann der Vakuum-Trocknungsprozess so durchgeführt werden, dass das Vakuumgefäß zumindest einmalig mit einem Schutzgas geflutet wird. Vorzugsweise können die zu trocknenden Komponenten für eine bestimmte Zeitspanne mit Schutzgas beaufschlagt werden, insbesondere für eine Dauer von etwa 30 Sekunden. Vorzugsweise kann beim Fluten mit Schutzgas ein Druck von etwa 600 mbar im Vakuumgefäß erzeugt werden. Bevorzugt kann nach Beendigung einer Schutzgasbeaufschlagung ein ursprüngliches Vakuum wieder angelegt werden. Das Schutzgas kann ein trockenes Inertgas sein, z.B. trockenes Argon.
- 25
- 30

- Bevorzugt kann der Vakuum-Trocknungsprozess so durchgeführt werden, dass das Vakuumgefäß zweimalig oder mehrmalig zeitweise mit Schutzgas geflutet wird. Vorzugsweise kann nach einer jeweiligen Flutung mit Schutzgas wieder ein Vakuum angelegt werden. Besonders bevorzugt kann der Vakuum-Trocknungsprozess für eine Dauer von 48
- 35

Stunden erfolgen, wobei das Vakuumgefäß im Abstand von etwa zwei Stunden vorübergehend mit einem Schutzgas, insbesondere trockenem Argon, geflutet wird. Eine jeweilige Flutungsdauer kann etwa 30 Sekunden sein. Vorteilhafterweise kann durch das Beaufschlagen der Komponenten mit Schutzgas und das anschließende Evakuieren erreicht werden, dass Moleküle, die im Betrieb des Piezoaktors unerwünscht sind (z.B. H₂O, H, O₂), besonders zuverlässig von den zu trocknenden Komponenten entfernt werden können, insbesondere aus einem bereits teilweise verschlossenen Gehäuse.

In dem Herstellungsverfahren kann vorgesehen sein, dass zumindest ein Teil des Piezoaktors, insbesondere zumindest ein Teil der Oberfläche des Piezoaktors, und/oder zumindest ein Teil der innenliegenden Gehäusewandung mittels Plasmareinigung gereinigt wird. Die Plasmareinigung kann bevorzugt in einem Vakuum durchgeführt werden. Insbesondere kann die Plasmareinigung in den beschriebenen Vakuum-Trocknungsprozess integriert sein. Es wäre grundsätzlich auch möglich, dass eine Plasmareinigung unabhängig von dem Vakuum-Trocknungsprozess erfolgt. Beispielsweise kann die Plasmareinigung dann einen separaten Schritt des Herstellungsverfahrens bilden. Die Plasmareinigung erfolgt ungeachtet der konkreten Ausführungsform bevorzugt vor dem Einfüllen der Vergussmasse in das Gehäuse.

Die Plasmareinigung wird vorzugsweise durchgeführt an einem Gehäuse mit einem darin angeordneten Piezoaktor. Bevorzugt ist das Gehäuse bereits teilweise verschlossen, wobei der Gehäuseinnenraum über eine verschließbare (Einfüll-)Öffnung im Gehäusedeckel von außerhalb zugänglich ist. Der Piezoaktor kann zumindest am Gehäusedeckel, vorzugsweise auch am gegenüberliegenden Gehäuseboden, verklebt sein. Vorzugsweise kann die Plasmareinigung während des beschriebenen Vakuum-Trocknungsprozesses durchgeführt werden. Bevorzugt kann während der Vakuumtrocknung einmalig oder mehrmalig ein Plasma für jeweils eine bestimmte Dauer erzeugt werden. Es ist auch möglich, dass während des gesamten Vakuum-Trocknungsprozesses ein Plasma erzeugt wird. Entsprechend kann das Gehäuse mit dem Piezoaktor zur Plasmareinigung in demselben Vakuumgefäß (als Prozesskammer) angeordnet sein, in dem, insbesondere zeitgleich, der Vakuum-Trocknungsprozess durchgeführt wird. Vorteilhafterweise kann die Erzeugung eines Plasmas durch ein Vakuum begünstigt werden. Weiter vorteilhaft kann durch diese Kombination von Einzelprozessen das Verfahren effizienter durchgeführt werden. Alternativ könnte die Plasmareinigung auch an einem Gehäuse durchgeführt werden, das zuvor einem Vakuum-Trocknungsprozess unterzogen wurde.

Das Verfahren kann so durchgeführt werden, dass der Piezoaktor im Gehäuse während der Plasmareinigung einen elektrischen Pol bildet. Bevorzugt können die beiden elektrischen Anschlüsse bzw. Anschlusspole des Piezoaktors mit elektrischem Strom beaufschlagt werden. Insbesondere können die beiden elektrischen Anschlüsse des Piezoaktors während der Plasmareinigung kurzgeschlossen sein, um ein Spannungspotential im Piezoaktor zu vermeiden. Zur Erzeugung eines elektrischen Felds kann ein weiterer elektrischer Pol durch das Gehäuse gebildet werden, insbesondere durch den tiefgezogenen Gehäusegrundkörper. Dann kann ein Plasma zwischen dem Gehäuse und der Piezoaktoroberfläche erzeugt werden. Das Gehäuse kann vorzugsweise einen Masseanschluss bilden. Die beiden Pole sind vorzugsweise mit einer außerhalb vom Vakuumgefäß liegenden Spannungsquelle verbunden.

Das Verfahren kann auch so durchgeführt werden, dass jeweils ein Anschlusspol des Piezoaktors einen elektrischen Pol zur Erzeugung des Plasmas bildet. Dann kann das Plasma (in gewissen Grenzen) lokal erzeugt werden zwischen den beiden Anschlusspolen des Piezoaktors. Auch eine Kombination der beiden Ausführungsformen ist möglich, insbesondere in demselben Vakuum-Trocknungsprozess.

Das Plasma kann bevorzugt mittels Gleichspannung erzeugt werden, die zwischen den beiden elektrischen Polen (als Elektroden) angelegt wird. Beispielsweise kann eine Spannung von zumindest 100 Volt angelegt werden, vorzugsweise zumindest etwa 200 Volt.

Das Plasma kann bevorzugt in Argon bzw. mit Argon erzeugt werden. Das hat den Vorteil, dass die Plasmareinigung direkt in den beschriebenen Vakuum-Trocknungsprozess integriert werden kann, da in diesem vorzugsweise Argon als Schutzgas verwendet wird. Weiter vorteilhaft kann sich in Argon schon ab einer Spannung von etwa 100 Volt Plasma bilden. Alternativ kann zur Plasmareinigung Sauerstoff verwendet werden. Das kann vorteilhaft sein, weil Sauerstoff eine vergleichsweise starke Reinigungswirkung hat.

Vorteilhafterweise können durch ein solches Plasma Verunreinigungen besonders effektiv von der Piezoaktoroberfläche und/oder von der Innenseite des Gehäuses entfernt werden. Solche oberflächlichen Verschmutzungen bzw. Verunreinigungen können im Herstellungsprozess entstehen, z.B. beim Einbringen des Piezoaktors in das Gehäuse und/oder beim Verlöten des Gehäusedeckels, und sind häufig organischen Ursprungs. Besonders der Piezoaktor kann in einer Vielzahl von Prozessschritten Verunreinigungen ausgesetzt sein, z. B. auch durch Anfassen. Diese Verunreinigungen können sich nachteilig auf den

Betrieb des gekapselten Piezoaktors auswirken und dadurch die Einsatzdauer des Aktormoduls reduzieren. Vorteilhafterweise kann mittels Plasma eine gründliche und zugleich effiziente Reinigung der Piezoaktoroberfläche bzw. der innenliegenden Gehäusewandung erreicht werden, wobei die abgelösten Verunreinigungen bzw. deren Bestandteile als Gas
5 aus dem Gehäuse entfernt werden können.

Vorteilhafterweise kann die Piezoaktoroberfläche mittels Plasma im Bereich zwischen den Anschlusspolen des Piezoaktors, insbesondere zwischen den Außenelektroden, von Verunreinigungen gereinigt werden. Solche Verunreinigungen können im Betrieb einen
10 Kriechstrom oder Kurzschluss zwischen den sehr engliegenden Plus- und Minuspole des Piezoaktors erzeugen. Weiterhin kann mittels Plasma z.B. die Innenseite des Gehäusebodens, die Innenseite des Gehäusemantels, vorzugsweise die Innenseite des tiefgezogenen Gehäusegrundkörpers, und die Innenseite des Gehäusedeckels gereinigt werden (zumindest in Bereichen, die nicht vom Piezoaktor verdeckt sind). Da der Piezoaktor wäh-
15 rend der Plasmareinigung bestimmungsgemäß im Gehäuse positioniert ist, wobei das Gehäuse bereits weitestgehend verschlossen ist, kann eine spätere Kontamination des Piezoaktors und/oder der Innenseite der Gehäusewandung möglichst vermieden werden. Besondere Vorteile lassen sich bei einer Kombination des Vakuum-Trocknungsprozesses mit einer gleichzeitigen Plasmareinigung erreichen. Durch das Plasma können Verunrei-
20 nigungen zumindest weitestgehend verdampft werden, so dass diese als Gas aus dem Gehäuse abgesaugt werden können. Bevorzugt kann während des Vakuum-Trocknungsprozesses das Vakuum regelmäßig durch einströmendes Schutzgas, vorzugsweise Argongas, für eine bestimmte Zeitspanne, z.B. einige Sekunden, angehoben werden, z.B. bis auf etwa 500 mbar, und anschließend wieder abgesenkt werden. Durch
25 das periodische Fluten mit Schutzgas und das anschließende Absenken des Vakuums können Gase und ggf. darin enthaltene Partikel, die z.B. aus verdampften Verunreinigungen resultieren, durch die unverschlossene (Einfüll-)Öffnung im Gehäuse aus dem Gehäuse entfernt werden, insbesondere daraus ausgespült werden.

Vorzugsweise kann nach dem Trockenprozess mittels Wärme und Vakuum das Vakuum derart aufgehoben werden, insbesondere kann nach Beendigung der Plasmareinigung vorgesehen sein, dass die getrockneten Komponenten und/oder der mittels Plasma ge-
30 reinigte Piezoaktor bzw. das Gehäuse mit einem trockenen Gas beaufschlagt bzw. geflutet werden, welches Gas vorzugsweise schwerer als Luft ist, so dass das Gas z.B. in das aufrecht stehende Gehäuse eintritt und darin verbleibt, wobei ein Zutritt von Luft verhin-
35

dert wird. Vorzugsweise kann das trockene Gas Argon sein, wie später noch beschrieben wird.

Zur Bereitstellung der Vergussmasse unter Verwendung des getrockneten Hilfsstoffs, vorzugsweise getrocknetes hexagonales Bornitrid in Pulverform, können die weiteren Bestandteile bzw. die Grundkomponenten der Vergussmasse, d.h. z.B. das Basissilikon und ein Vernetzer, vor dem Zusammenbringen mit dem Hilfsstoff evakuiert und/oder getrocknet werden, z.B. wie zuvor für das Gehäuse beschrieben wurde. Beispielsweise könnte das Trocknen des Gehäuses und des Hilfsstoffs sowie der Grundkomponenten der Vergussmasse in einem gemeinsamen Verfahrensschritt erfolgen, insbesondere in derselben Vakuumkammer und/oder unter denselben Parametern. Vorzugsweise können die getrockneten (Grund-)Komponenten der Vergussmasse unter Aufhebung des Vakuums mit einem trockenen Gas beaufschlagt werden, insbesondere zur Ausbildung einer Schutzgasatmosphäre gegenüber der Umgebungsluft. Es wird darauf hingewiesen, dass das Evakuieren und/oder Erhitzen der Grundkomponenten der Vergussmasse ein optionaler Schritt ist und z.B. bei einem auf einer Trägheitskraft basierenden Herstellungsverfahren entfallen kann.

Vorzugsweise können das Gehäuse und/oder der Piezoaktor und/oder der Hilfsstoff und/oder die Grundkomponenten der Vergussmasse anschließend an die Erhitzung und/oder Evakuierung, insbesondere das Gehäuse mit dem Piezoaktor im Anschluss an eine Plasmareinigung, mit einem trockenen Gas oder Gasgemisch, insbesondere zumindest ein Inertgas, beaufschlagt werden, bevorzugt zur Ausbildung einer Schutzgasatmosphäre. Vorzugsweise hat das trockene Gas(-gemisch) einer Schutzgasatmosphäre eine Restfeuchte von höchstens etwa 5 ppm, vorzugsweise von höchstens etwa 3 ppm, bevorzugt von höchstens etwa 2 ppm, besonders bevorzugt von höchstens etwa 1 ppm, insbesondere bevorzugt von höchstens etwa 0,5 ppm. Vorzugsweise hat das trockene Gas eine höhere Dichte als Luft, z.B. reines trockenes Argon.

Besonders bevorzugt kann, ungeachtet der konkreten Ausführungsform des Verfahrens, ein Vakuum, in dem das Gehäuse und/oder der Piezoaktor und/oder der Hilfsstoff und/oder die (ungemischten) Grundkomponenten der Vergussmasse angeordnet sind, unmittelbar durch eine Schutzgasatmosphäre ersetzt werden. Vorzugsweise kann das Evakuieren und/oder das Erhitzen und/oder die Ausbildung einer Schutzgasatmosphäre in einer Vakuumkammer erfolgen, die in Richtung entgegen der Schwerkraft zu öffnen ist, wobei die getrockneten Komponenten in einem Volumen des trockenen Gases angeord-

net sind, insbesondere vollständig davon umhüllt sind. Vorzugsweise sind das Gehäuse und/oder der Piezoaktor und/oder der Hilfsstoff und/oder die Grundkomponenten der Vergussmasse auch unter Aufhebung des Vakuums über ein trockenes Gas hoher Dichte (als Schutzgasatmosphäre) gegenüber einer Umgebungsatmosphäre abgeschirmt.

5

Vorteilhafterweise kann bei Verwendung eines solchen Gases trotz Aufhebung des Vakuums und einem (noch) unverschlossenen Gehäuse sichergestellt werden, dass keine Feuchtigkeit in das Gehäuse und/oder in den Hilfsstoff eindringen kann. Insbesondere kann sich das trockene Gas im Gehäuse sammeln und kann anschließend z.B. mittels Zentrifugation durch eintretende Vergussmasse aus dem Gehäuse verdrängt werden, wie später beschrieben wird. Die Verwendung von Argon mit einer Restfeuchte von weniger als 3 ppm hat sich als vorteilhaft erwiesen, da damit eine ausreichend sichere Prozessumgebung für den Piezoaktor im Gehäuse erreichbar ist, wobei die Beschaffungskosten gegenüber ungetrocknetem Gas moderat sind.

15

Bevorzugt kann nach Beendigung des Trockenprozesses die Bereitstellung der Vergussmasse, insbesondere das Mischen der Grundkomponenten der Vergussmasse mit dem getrockneten Hilfsstoff, in einer solchen (Schutzgas-)Atmosphäre aus einem trockenen Gas erfolgen, z.B. Argon mit einer Restfeuchte von weniger als 3 ppm. Wie schon beschrieben wurde, kann der Hilfsstoff vorzugsweise jeweils hälftig mit einem Basissilikon und einem Vernetzer gemischt werden, bevor die so erhaltenen Mischungen zur Herstellung der fließfähigen Vergussmasse zusammengebracht werden. Vorzugsweise wird die so fertig hergestellte Vergussmasse unmittelbar nach dem Zusammenbringen der Substanzen weiterverarbeitet, um eine möglichst effektive Ausrichtung der Hilfsstoff-Plättchen in der Vergussmasse im Gehäuse zu erreichen (ungeachtet der Ausführungsform des Verfahrens).

20

Die fertig hergestellte fließfähige Vergussmasse hat zum Einbringen in das Gehäuse - ungeachtet der Ausführungsform des Verfahrens - vorzugsweise eine Viskosität von zumindest etwa 100 cSt, vorzugsweise zumindest etwa 200 cSt, bevorzugt zumindest etwa 300 cSt und/oder höchstens etwa 1000 cSt, vorzugsweise höchstens etwa 750 cSt, bevorzugt höchstens etwa 500 cSt. Grundsätzlich kann eine Viskosität auch höher sein. Vorzugsweise ist eine fließfähige Vergussmasse so beschaffen, dass sie mittels einer technisch erzeugten Trägheitskraft, bevorzugt mittels Zentrifugation, in das Gehäuse eingebracht werden kann.

35

Bevorzugt kann die so hergestellte Vergussmasse bei einer Ausführungsform des Verfahrens mit einem Druck von zumindest 1 bar, vorzugsweise zumindest 2 bar, über die Einfüllöffnung in das Gehäuse eingedrückt bzw. eingespritzt werden, wobei insbesondere ein Eintritt von (Luft-)Feuchtigkeit in das Gehäuse und/oder in die Vergussmasse durch das Vorhalten der beteiligten Komponenten in einer Schutzgasatmosphäre aus trockenem Gas beim Einbringen verhindert werden kann. Vorteilhaftweise kann das trockene Gas, z.B. Argon, das sich vor dem Befüllen im Gehäuse befindet, beim Eindrücken der Vergussmasse aus dem Gehäuse verdrängt werden, wobei im Wesentlichen keine Luftfeuchtigkeit in das Gehäuse eintreten kann. Anschließend kann zur Ausrichtung der Hilfsstoff-Plättchen in der Vergussmasse das Gehäuse und/oder die Vergussmasse im Gehäuse mit einem hohen Druck von z.B. 300 bar beaufschlagt werden, wie schon beschrieben wurde. Anschließend kann die Einfüllöffnung durch Einpressen einer Kugel hermetisch verschlossen werden.

Alternativ wäre es auch möglich, dass die Bereitstellung der Vergussmasse, insbesondere das Mischen der Grundkomponenten mit dem Hilfsstoff, unter Vakuum erfolgt, z.B. bei einem Druck von 10 mbar bis 100 mbar. Insbesondere könnte die Herstellung der Vergussmasse unter kontinuierlichem Vorhalten des Gehäuses und/oder des Hilfsstoffs und/oder des Piezoaktors und/oder der Grundkomponenten der Vergussmasse in Vakuum erfolgen. Es wäre auch möglich, dass eine hergestellte fließfähige Vergussmasse vor dem Einbringen in das Gehäuse (nochmals) evakuiert wird. Ein zuvor beschriebenes Vorgehen kann z.B. vorteilhaft sein, wenn die Vergussmasse, wie beschrieben, mittels Druck in das Gehäuse eingebracht wird, da so ein Austritt der Vergussmasse und/oder des darin enthaltenen Gases aus der Einfüllöffnung des Gehäuses in Folge einer Druckbeaufschlagung zur Ausrichtung der Hilfsstoff-Plättchen verhindert werden kann. Es wäre jedoch auch bei dieser Ausführungsform, wie erwähnt, möglich, dass die Bereitstellung der Vergussmasse und/oder das Einbringen der Vergussmasse in das Gehäuse unter einer Schutzgasatmosphäre (ohne Vakuum) erfolgt, was die Befüllung des Gehäuses technisch einfacher machen kann.

Bevorzugt kann die fertig hergestellte Vergussmasse bei einer Ausführungsform des Verfahrens in einem Verguss-Vorratsbehälter bereitgestellt werden. Insbesondere kann die Vergussmasse in dem Verguss-Vorratsbehälter so gelagert sein, dass sie durch eine Schutzgasatmosphäre gegenüber einer Umgebungsatmosphäre abgeschirmt ist. Zum Einbringen der Vergussmasse in das Gehäuse kann der Verguss-Vorratsbehälter oder Vergussmasse-Vorratsbehälter dicht mit einer Einfüllöffnung des Gehäuses gekoppelt

werden. Insbesondere kann der Verguss-Vorratsbehälter, z.B. über eine Injektionsnadel, abdichtend mit der Einfüllöffnung gekoppelt sein. Dadurch kann vorteilhafterweise erreicht werden, dass Gas, z.B. Argon, aus dem Gehäuse beim Befüllen durch die Injektionsnadel und die Vergussmasse im Verguss-Vorratsbehälter perlt und dadurch die Viskosität der Vergussmasse im Vorratsbehälter, ggf. auch im Gehäuse, reduziert, wobei gleichzeitig die einzelnen Komponenten der Vergussmasse im Vorratsbehälter, ggf. auch im Gehäuse, durchmischt werden. Weiter vorteilhaft kann dadurch erreicht werden, dass nach einer vollständigen Befüllung des Gehäuses mit Vergussmasse die überschüssige Vergussmasse nicht aus der Einfüll- bzw. Befüllöffnung austritt und z.B. einen Zentrifugenbecher verunreinigt. Bevorzugt ist ein Gehäuseinnenraum des Gehäuses zum Einbringen der Vergussmasse im Wesentlichen vollständig mit einem trockenen Gas gefüllt, insbesondere mit einer Schutzgasatmosphäre.

Bevorzugt kann eine Anordnung aus dem Verguss-Vorratsbehälter und dem dicht damit gekoppelten Gehäuse zum Einbringen der Vergussmasse in das Gehäuse zentrifugiert werden. Insbesondere kann die Zentrifugation so erfolgen, dass eine Rotationsachse im Wesentlichen orthogonal zu einer Längserstreckung des Gehäuses und/oder des Piezoaktors im Gehäuse verläuft. Insbesondere kann eine Einbringrichtung der Vergussmasse in das Gehäuse im Wesentlichen orthogonal zur Rotationsachse und/oder im Wesentlichen parallel zu einer Längserstreckung des Gehäuses sein.

Vorzugsweise kann das Gehäuse und/oder der damit gekoppelte Verguss-Vorratsbehälter zur Zentrifugation schwenkbar gelagert sein. Insbesondere können das Gehäuse und der damit gekoppelte Verguss-Vorratsbehälter schwenkbar so gelagert sein, dass eine Längserstreckung des Gehäuses und/oder des Piezoaktors in Folge der Zentrifugation allmählich, insbesondere bei Erreichen einer Sollbeschleunigung, im Wesentlichen quer zur Rotationsachse verläuft.

Die Zentrifugation kann z.B. mittels einer Becherzentrifuge durchgeführt werden. Vorzugsweise erfolgt die Zentrifugation für zumindest 30 Sekunden und/oder höchstens 60 Sekunden. Die Zentrifugation erfolgt vorzugsweise mit einer Beschleunigung von zumindest 8000 g und/oder höchstens 10000 g. Um die Konzentration an Hilfsstoff in der Vergussmasse im Gehäuse weiter zu erhöhen, kann z.B. die Zentrifugationsdauer erhöht werden und/oder die Beschleunigung erhöht werden.

Das Aushärten der Vergussmasse im Gehäuse kann, vorzugsweise unter einer Schutzgasatmosphäre, bei Raumtemperatur erfolgen. Alternativ kann das Austrocknen bei Temperaturen von bis zu 90 °C beschleunigt werden. Anschließend kann die Öffnung durch Einpressen einer Kugel hermetisch verschlossen werden.

5

Vorteilhafterweise kann bei dem Verfahren erreicht werden, dass ein vorbehandeltes, z.B. evakuiertes und erhitztes, ggf. mittels Plasma gereinigtes, Gehäuse mit einem, ggf. mittels Plasma gereinigtem, Piezoaktor darin mitsamt dem im Gehäuse befindlichen Volumen eines trockenen Gases ohne besondere Sicherheitsvorkehrungen in eine Zentrifuge über-

10 führt werden kann, wobei das Gehäuse z.B. erst in der Zentrifuge mit dem Verguss-Vorratsbehälter gekoppelt werden kann, insbesondere unter Umgebungsatmosphäre bzw. ohne Sonderbedingungen. Vorteilhafterweise kann ein Eintritt von Luftfeuchtigkeit (über die unverschlossene Einfüllöffnung) in das Gehäuse, das mit einem Gas hoher Dichte gefüllt ist, verhindert werden.

15

Weiter vorteilhaft wird das trockene Gas im Gehäuse in Folge der Zentrifugation durch die eintretende Vergussmasse aus dem Gehäuse herausgedrückt. Das bedeutet, dass das Gasvolumen unmittelbar gegen ein entsprechendes Volumen an Vergussmasse ausgetauscht werden kann, so dass keine Luftfeuchtigkeit in das Innere des Gehäuses gelangen kann. Damit kann mit vergleichsweise einfachen technischen Mitteln ein hermetisch dicht verschließbares Gehäuse mit einem darin angeordneten Piezoaktor bereitgestellt werden, wobei durch das Herstellungsverfahren gewährleistet ist, dass das Innere des hermetisch verschlossenen Gehäuses im Wesentlichen keine Feuchtigkeit enthält. Folglich ist auch der Piezoaktor zuverlässig vor H₂O-Molekülen geschützt. Weiter vorteilhaft

20 kann die Bereitstellung einer Vergussmasse, z.B. durch Mischen von getrocknetem Bornitrid und ungetrocknetem Basissilikon und Vernetzer, und/oder das Überführen einer fließfähigen Vergussmasse in einen Verguss-Vorratsbehälter auch außerhalb einer Schutzgasatmosphäre erfolgen, z.B. bei Raumluft.

25

30 In einem optionalen Schritt des Verfahrens können zur Ausrichtung des Hilfsstoffs in der Vergussmasse, z.B. gerichtete, Schwingungen in der noch nicht ausgehärteten Vergussmasse, bevorzugt im Hilfsstoff, erzeugt werden. Vorzugsweise können gerichtete Schwingungen mit einer bestimmten Frequenz und/oder Amplitude erzeugt werden, z.B. durch kontrolliertes Rütteln der Vergussmasse im Gehäuse.

35

Alternativ oder zusätzlich kann die noch nicht ausgehärtete Vergussmasse im Gehäuse, insbesondere der Hilfsstoff darin, zur Ausrichtung des Hilfsstoffs für eine bestimmte Zeit in einem äußeren elektrischen Feld und/oder in einem äußeren magnetischen Feld angeordnet werden.

5

Alternativ oder zusätzlich kann die noch nicht ausgehärtete Vergussmasse im Gehäuse, insbesondere der Hilfsstoff darin, zur Ausrichtung des Hilfsstoffs einer Temperaturbehandlung mit zumindest zwei unterschiedlichen Temperaturen unterzogen werden.

- 10 Alternativ oder zusätzlich kann das Verfahren so durchgeführt werden, dass zur Ausrichtung des Hilfsstoffs in der Vergussmasse eine Viskosität der noch nicht ausgehärteten Vergussmasse im Gehäuse mittels Scherung reduziert wird gegenüber einer unbehandelten Vergussmasse. Vorzugsweise kann eine bestimmte Viskosität der Vergussmasse, insbesondere mittels Schall oder Ultraschall, erreicht werden.

15

- Vorteilhafterweise können die zuvor beschriebenen optionalen Verfahrensschritte dazu beitragen, dass eine bestimmte Ausrichtung bzw. Anordnung des Hilfsstoffs in der Vergussmasse erreicht wird und/oder beschleunigt wird. Die Verfahrensschritte können einzeln oder in einer bestimmten Kombination, auch zu unterschiedlichen Zeitpunkten, in das Herstellungsverfahren integriert werden. Beispielsweise kann eine Viskositätsänderung der Vergussmasse vor einer Zentrifugation erfolgen, um den Zentrifugationseffekt zu verstärken, wobei eine Druckbehandlung der Vergussmasse z.B. nach einer Zentrifugation oder zwischen zwei Zentrifugationsschritten erfolgen kann. Es wäre grundsätzlich möglich, dass die Vergussmasse zur Durchführung eines dieser optionalen Verfahrensschritte (noch) nicht in dem Gehäuse angeordnet ist.

25

- In dem Verfahren kann optional vorgesehen sein, dass ein Hilfsstoff und zumindest eine Grundkomponente einer Vergussmasse, z.B. ein Silikongel, zeitlich versetzt, insbesondere sequentiell, in das Gehäuse eingebracht werden. Es ist auch möglich, dass zuerst Vergussmasse umfassend eine erste Fraktion eines Hilfsstoffs in das Gehäuse eingebracht wird, wobei anschließend eine zweite Fraktion eines (reinen) Hilfsstoffs in die Vergussmasse im Gehäuse eingebracht wird, z.B. schrittweise. Entsprechend kann eine (fertige) Vergussmasse, z.B. mit einem bestimmten Masseanteil eines Hilfsstoffs, im Gehäuse erzeugt werden.

35

Beispielsweise können in einem Verguss-Vorratsbehälter zunächst nur eine oder mehrere Grundkomponenten zur Ausbildung einer fließfähigen Vergussmasse bereitgestellt werden, z.B. ein Silikongel. Das Silikongel kann mittels Trägheitskraft in das Gehäuse eingebracht werden, z.B. durch Zentrifugieren. Vorzugsweise kann das Gehäuse im Wesentlichen vollständig mit dem Silikongel gefüllt werden, wobei auch eine Teilfüllung möglich ist. Vorzugsweise kann dann ein Hilfsstoff, bevorzugt pulverisiertes Bornitrid, in das (verbleibende) Silikongel im Vorratsbehälter eingebracht werden, wobei der Hilfsstoff mittels Trägheitskraft in das Silikongel im Gehäuse überführt wird zur Ausbildung einer Vergussmasse. Bevorzugt kann der Hilfsstoff sukzessive in den Vorratsbehälter und/oder das Gehäuse eingebracht werden.

Vorteilhafterweise kann über ein sequentielles Einbringen ein Volumenstrom des Hilfsstoffs in das Gehäuse gesteuert werden. Vorteilhafterweise kann darüber eine bestimmte räumliche Verteilung des Hilfsstoffs in der Vergussmasse erzeugt werden, insbesondere eine ortsabhängige Dichte. Es wäre z.B. auch möglich, in einer Vergussmasse zumindest zwei Bereiche mit einer unterschiedlichen Dichte des Hilfsstoffs zu erzeugen und/oder einen Dichtegradienten.

Weiterhin kann das Verfahren grundsätzlich so durchgeführt werden, dass zumindest zwei unterschiedliche Hilfsstoffe, z.B. mit unterschiedlichen physikalischen und/oder chemischen Eigenschaften, und/oder zumindest zwei unterschiedliche Arten von Vergussmassen, auch sequentiell, in ein Gehäuse eingebracht werden.

Die Erfindung betrifft weiterhin ein Aktormodul mit zumindest den Merkmalen eines erfindungsgemäßen Aktormoduls, wobei das Aktormodul erhältlich ist durch ein zuvor beschriebenes Herstellverfahren.

Die Erfindung wird im Folgenden unter Hinweis auf die beigefügten Figuren anhand von Ausführungsbeispielen noch einmal näher erläutert. Dabei sind in den verschiedenen Figuren gleiche Komponenten mit identischen Bezugsziffern versehen. Die Figuren sind in der Regel nicht maßstäblich. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Schnittzeichnung durch ein Dosiersystem gemäß der Erfindung,

Figur 2 eine schematische, perspektivische Ansicht eines Aktormoduls gemäß der Erfindung,

5 Figuren 3 und 4 schematische Schnittzeichnungen durch Aktormodule gemäß der Erfindung,

Figur 5 eine schematische und stark vergrößerte Ansicht eines Teils eines Aktormoduls gemäß der Erfindung und eine schematische Ansicht eines Hilfsstoff-Plättchens,

10 Figuren 6 und 7 schematische Schnittzeichnungen durch Aktormodule gemäß der Erfindung.

Die Herstellung von Aktormodulen gemäß der Erfindung wird nachfolgend beispielhaft anhand einer möglichen Ausführungsform eines Herstellungsverfahrens beschrieben. Der
15 besseren Verständlichkeit wegen wird das Verfahren anhand eines einzelnen Aktormoduls beschrieben, wobei im Verfahren eine Vielzahl von Aktormodulen parallel hergestellt werden kann.

In einem ersten Schritt wird ein hermetisch verschließbares Gehäuse bereitgestellt, wobei
20 das Gehäuse zumindest einen Gehäuseboden und einen fest damit verbundenen Gehäusemantel aufweist, vorzugsweise ein tiefgezogener Gehäusegrundkörper. Es wird ein (noch unverbundener) Gehäusedeckel bereitgestellt, der zumindest zwei elektrische Anschlüsse zur Beschaltung eines Piezoaktors aufweist, z.B. zwei hermetisch dicht und elektrisch isolierte Durchführungen. Am Gehäusedeckel wird ein Piezoaktor fest angeordnet,
25 wobei jeweils ein Anschlusspol des Piezoaktors von einem elektrischen Anschluss kontaktiert wird, z.B. durch Lötten. Der Gehäusedeckel hat zumindest eine noch unverschlossene Einfüllöffnung für eine Vergussmasse, z.B. ein kreisrundes Loch mit einem Durchmesser von etwa 1 mm.

30 In einem weiteren Schritt wird der Piezoaktor in das Gehäuse eingebracht, insbesondere in den Gehäusegrundkörper, wobei anschließend der Deckel und der Gehäusemantel zur Ausbildung des Gehäuses fest miteinander verbunden werden, vorzugsweise durch Lötten oder durch Schweißen, Bördeln, Pressen oder Ähnlichem.

35 In einem weiteren Schritt wird das Gehäuse mit dem Piezoaktor in eine Vakuumkammer überführt. Es wäre grundsätzlich möglich, auch das Einbringen des Piezoaktors in das

Gehäuse in einer Vakuumkammer durchzuführen. Anschließend wird eine definierte Menge an hexagonalem Bornitrid, die zum Einbringen in ein jeweiliges Gehäuse vorgesehen ist, in der Vakuumkammer bereitgestellt. Das hexagonale Bornitrid kann z.B. eine Mischung aus zwei Bornitrid-Pulvern mit einer jeweils unterschiedlichen mittleren Teilchengröße sein.

Anschließend wird das Gehäuse mit dem darin befindlichen Piezoaktor sowie das Bornitrid in einem Vakuum (10 mbar) auf eine Temperatur von 110 °C erhitzt. Das Erhitzen erfolgt mittels Infrarotstrahlung für eine Dauer von z.B. 5 Stunden. Optional kann das Gehäuse mit dem darin befindlichen Piezoaktor während der Vakuumtrocknung einer Plasmareinigung unterzogen werden.

Nach dem Evakuieren und Erhitzen wird das Vakuum aufgehoben, indem die Vakuumkammer mit einem ultratrockenen Inertgas gefüllt bzw. geflutet wird (Restfeuchte z.B. < 1 ppm). Das Inertgas bildet eine Schutzgasatmosphäre in der (geöffneten) Vakuumkammer aus, wobei das Gehäuse und das Bornitrid z.B. am Boden der Vakuumkammer angeordnet sind, so dass die Komponenten unter einem Spiegel aus trockenem Gas lagern.

Zur Bereitstellung der Vergussmasse wird das Bornitrid jeweils hälftig mit einem Basissilikon und einem Vernetzer gemischt, bevor die so erhaltenen Mischungen zur Herstellung der Vergussmasse zusammengeführt werden. Das Mischen kann unter Umgebungsatmosphäre erfolgen oder unter Schutzgasatmosphäre.

Die Vergussmasse wird in einen Vergussmasse-Vorratsbehälter überführt, optional unter Abschirmung gegenüber einer Umgebungsatmosphäre.

Zur Befüllung eines (einzigen) Gehäuses können z.B. mindestens 1,6 g hexagonales Bornitrid, mindestens 0,85 g (Basis-)Silikon und mindestens 1,3 g eines Härters bzw. Vernetzers gemischt werden. Das bereitgestellte Volumen an Vergussmasse hängt in erster Linie vom Volumen des Gehäuseinnenraums ab und ist vorzugsweise so bemessen, dass nach Beendigung einer Zentrifugation ein bestimmter Rest an Vergussmasse außerhalb des Gehäuses bzw. im Verguss-Vorratsbehälter verbleibt. Vorteilhafterweise kann dadurch auf einfache Weise festgestellt werden, dass ein größtmögliches Volumen an Silikongel und/oder Bornitrid mittels Zentrifugation in das Gehäuse gepresst wurde und das Gehäuse optimal gefüllt ist.

Weiter vorteilhaft kann - in gewissen Grenzen - auch ein anderes Verhältnis zwischen Bornitrid und Basissilikon bzw. Vernetzter gewählt werden, da sich durch das besondere Herstellverfahren mittels Zentrifugation, und vorzugsweise in Abhängigkeit der Zentrifugationsparameter, automatisch eine größtmögliche Konzentration von Bornitrid im Gehäuse

5 einstellt. In Kombination mit einem geringen Überschuss an Vergussmasse nach Beendigung der Zentrifugation kann auf einfache Weise sichergestellt werden, dass die Vergussmasse im Gehäuse eine höchstmögliche Dichte an Bornitrid hat.

In einem weiteren Schritt wird das Gehäuse aus der Schutzgasatmosphäre entnommen

10 und umgehend in eine Becherzentrifuge überführt, wobei vorzugsweise die unverschlossene Einfüllöffnung bei der Überführung und/oder in der Zentrifuge, zumindest vor Beginn der Zentrifugation, in eine Richtung weist, die der Lotrichtung entgegengesetzt ist. Vorteilhafterweise ist das Gehäuse im Wesentlichen vollständig mit dem trockenen Gas gefüllt, das eine höhere Dichte als Luft hat, so dass keine Umgebungsluft in das Gehäuse bei der

15 Überführung eintritt. Vor dem Einsetzen in die Zentrifuge bzw. in der Zentrifuge wird der Verguss-Vorratsbehälter dicht an die Einfüllöffnung des Gehäuses gekoppelt.

Anschließend wird die Anordnung aus Verguss-Vorratsbehälter und Gehäuse für mindestens 30 Sekunden mit einer (Soll-)Beschleunigung von 8000 g zentrifugiert, wobei die

20 Anordnung schwenkbar gelagert ist. Bei Erreichen einer Sollbeschleunigung verläuft eine Längserstreckung des Gehäuses und/oder eine Längserstreckung des Piezoaktors im Wesentlichen orthogonal zur Rotationsachse der Zentrifuge.

Über die Zentrifugation wird einerseits die Vergussmasse in das Gehäuse eingebracht,

25 wobei andererseits eine bevorzugte Ausrichtung der Bornitrid-Plättchen in Bezug auf die Längserstreckung des Piezoaktors erfolgt. Weiterhin vorteilhaft kann durch die Zentrifugation erreicht werden, dass überwiegend das Bornitrid in das Gehäuse eintritt, so dass ein Masseanteil von Bornitrid in der erhärteten Vergussmasse gegenüber einer Ausgangskonzentration in der fließfähigen Vergussmasse erhöht sein kann. Weiter vorteilhaft kann

30 durch die Zentrifugation erreicht werden, dass das im Gehäuse vorhandene trockene Gas unmittelbar durch dasselbe Volumen der eintretenden Vergussmasse ersetzt wird. Dadurch wird sichergestellt, dass bei der Herstellung des Aktormoduls keine Feuchtigkeit in das Gehäuse eintreten kann.

35 Das Volumen der fließfähigen Vergussmasse kann so bestimmt sein, dass der gesamte Gehäuseinnenraum zwischen dem Piezoaktor und der Gehäusewandung durch die erhär-

tete Vergussmasse ausgefüllt ist. Optional kann ein kleines Volumen des Gehäuseinnenraums frei von Vergussmasse bleiben, um einen Expansionsbereich auszubilden. Zur Ausbildung des Expansionsbereichs kann z.B. ein dünnes Stäbchen, insbesondere ein dünnes Teflon-Stäbchen, nach dem Befüllen mit Vergussmasse durch die Einfüllöffnung
5 bis auf den Grund des Gehäuses gedrückt werden. Nach dem Aushärten der Vergussmasse kann das Stäbchen leicht herausgezogen werden, wobei dies vorzugsweise unter Argonatmosphäre erfolgt und/oder wobei nach dem Herausziehen des Stäbchens z.B. über eine Kanüle Argon oder ein anderes Inertgas in den gebildeten Hohlraum eingefüllt wird, bevor die Einfüllöffnung über die Verschlusskugel hermetisch verschlossen wird.
10 Vorteilhafterweise kann darüber in der erhärteten Vergussmasse ein Hohlraum gebildet werden, der sich im Wesentlichen über die gesamte Länge des Gehäuses erstreckt, wobei bei einer Ausdehnung der Vergussmasse im Betrieb eine Druckzunahme von innen möglichst gleichmäßig auf eine gesamte Längserstreckung des Gehäuses verteilt wird.

15 Die Zusammensetzung der fließfähigen Vergussmasse und/oder die Zentrifugationsparameter sind vorzugsweise so gewählt, dass die Hilfsstoffpartikel gleichmäßig verteilt entlang der gesamten Längserstreckung des Piezoaktors in der erhärteten Vergussmasse angeordnet werden. Mit anderen Worten ist eine Konzentration an Hilfsstoffpartikeln in unterschiedlichen Bereichen der Vergussmasse vorzugsweise überwiegend gleich groß.

20

Das Aushärten der Vergussmasse im Gehäuse kann bei Raumtemperatur oder bei Temperaturen von bis zu 90 °C erfolgen. Anschließend wird das Gehäuse, gegebenenfalls unter Einschluss eines kleinen Volumens trockenen Gases, hermetisch versiegelt. Dazu kann eine Stahl- oder Keramikugel mit einem geringfügig größeren Durchmesser als die
25 Einfüllöffnung unter hoher Kraft (z.B. 600 N) in die Einfüllöffnung eingepresst werden.

Ein so hergestelltes Aktormodul kann zum Beispiel in einem Dosiersystem zur Dosierung von flüssigen bis zähflüssigen Dosierstoffen eingesetzt werden, z.B. in einem Jetventil, das rein schematisch und im Schnitt in Figur 1 gezeigt ist. Da der grundsätzliche Aufbau
30 von derartigen Jetventilen bekannt ist, werden nachfolgend nur die wesentlichen Elemente beschrieben.

Das Dosiersystem 50 umfasst als wesentliche Komponenten eine Aktor-Baugruppe 51 sowie eine lösbar damit gekoppelte Fluidik-Baugruppe 52, wobei die Kopplung hier beispielhaft über eine Schraube 62 erfolgt. Die Aktor-Baugruppe 51 umfasst im Wesentlichen
35

alle Komponenten, die für den Antrieb bzw. die Bewegung eines Ausstoßelements 53 bzw. eines Stößels 53 der Fluidik-Baugruppe 52 in einer Düse 54 sorgen.

Die Fluidik-Baugruppe 52 umfasst neben der Düse 54 und einem Zuführkanal 56 für Dosierstoff zur Düse 54 alle weiteren Teile, die direkt mit dem Dosierstoff in Kontakt stehen, sowie außerdem die Elemente, die erforderlich sind, um die betreffenden, mit dem Dosierstoff bzw. Dosiermedium in Kontakt stehenden Teile zusammen zu montieren bzw. in ihrer Position an der Fluidik-Baugruppe 52 zu halten.

In dem hier gezeigten Ausführungsbeispiel des Dosiersystems 50 umfasst die Aktor-Baugruppe 51 einen Gehäuseblock 57 mit zwei innenliegenden Kammern, nämlich zum einen eine Aktorkammer 58 mit einem darin befindlichen Aktormodul 1 mit zumindest einem in ein Gehäuse 3 hermetisch eingekapselten piezokeramischen Aktor 2 (Figur 3), und zum anderen eine Aktionskammer 59, in welche ein bewegliches Ausstoßelement 53, hier ein Stößel 53, der Fluidik-Baugruppe 52 hineinragt. Über einen Hebel 60, der von der Aktorkammer 58 über einen Durchbruch 61 in die Aktionskammer 59 hineinragt, wird mittels des Aktormoduls 1 der Stößel 53 so betätigt, dass von der Fluidik-Baugruppe 52 der zu dosierende Dosierstoff in der gewünschten Menge zum gewünschten Zeitpunkt über die Düse 54 in einer Ausstoßrichtung AR ausgestoßen wird. Der Stößel 53 verschließt eine Düsenöffnung 55 und dient somit auch als Verschlusselement 53. Da aber der größte Teil des Mediums erst durch den Stößel 53 aus der Düsenöffnung 54 ausgestoßen wird, wenn der Stößel 53 sich in der Ausstoßrichtung AR auf die Düsenöffnung 55 zu bewegt, wird er hier als Ausstoßelement 53 bezeichnet.

Zur Ansteuerung des Piezoaktors 2 (Figur 3) ist das Aktormodul 1 elektrisch bzw. signaltechnisch mit einer Steuereinrichtung 5 verbunden, die z.B. auch als Teil des Dosiersystems 50 ausgebildet sein kann. Die Verbindung zur Steuereinrichtung 5 erfolgt über Anschlusskabel 5', welche endseitig mit Aktormodul-Steueranschlüssen 28, z. B. geeigneten Steckern 28, verbunden sind.

Die Aktormodul-Steueranschlüsse 28 kontaktieren jeweils einen elektrischen Anschluss 21 im Gehäuse 3, hier zwei Kontaktstifte 21, die jeweils hermetisch dicht und elektrisch isoliert durch eine Gehäusewandung des Gehäuses 3 geführt sind. In Figur 1 umfasst das Aktormodul 1 insgesamt vier Kontaktstifte 21, 22, die in einem Gehäusedeckel 32 angeordnet sind. Die beiden hier äußeren Kontaktstifte 21 dienen der Ansteuerung des Piezoaktors bzw. der Kommunikation zwischen Piezoaktor und Steuereinrichtung 5.

Die beiden hier mittig gezeigten Kontaktstifte 22 werden dazu genutzt, um Messwerte von Temperatursensoren 27 (Figur 3) aus dem Gehäuse 3 an die Steuereinrichtung 5 zu übertragen. Dazu sind die Kontaktstifte 22 jeweils einerseits über Temperatursensor-Anschlüsse 28' mit der Steuereinrichtung 5 und andererseits im Gehäuse 3 mit den einzelnen Temperatursensoren 27 verbunden (hier nicht gezeigt). Beispielsweise könnten
5 über die Kontaktstifte 22 auch Messwerte von mehreren Temperatursensoren 27 ortsaufgelöst an die Steuereinrichtung 5 weitergeleitet werden.

Der im Gehäuse 3 angeordnete Piezoaktor 2 (Figur 3) - und darüber auch das Gehäuse 3
10 - kann sich in Längsrichtung der Aktorkammer 58 entsprechend einer Beschaltung mittels der Steuereinrichtung 5 ausdehnen (expandieren) und wieder zusammenziehen. Das Aktormodul 1 kann von oben in die Aktorkammer 58 eingelegt und darin höhenverstellbar gelagert sein, wobei eine genaue Justage des Aktormoduls 1 in Bezug auf einen Bewegungsmechanismus 63 ermöglicht wird. Im hier gezeigten Fall stützt sich der Gehäusedeckel 32 über ein Stützelement 58' innen an der Aktorkammer 58 ab, wobei das Stützelement 58' als hier oberes Widerlager dient und z.B. durch eine Schraubbewegung verstellt
15 werden kann (nicht gezeigt) für eine Justage des Aktormoduls 1. Entsprechend ist das Aktormodul 1 nach hier unten über ein unten spitzwinkelig zulaufendes Druckstück 64 auf dem Hebel 60 gelagert, welcher wiederum auf einem Hebellager 65 aufliegt. Über dieses
20 Hebellager 65 ist der Hebel 60 um eine Kippachse K verkipppbar, so dass ein Hebelarm des Hebels 60 durch den Durchbruch 61 in die Aktionskammer 59 hineinragt. Am Ende des Hebelarms weist dieser eine in Richtung zum Stößel 53 der mit der Aktor-Baugruppe 51 gekoppelten Fluidik-Baugruppe 52 weisende Kontaktfläche 66 auf, welche auf die Kontaktfläche 67 des Stößelkopfs 68 drückt.

25 Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel ist vorgesehen, dass die Kontaktfläche 66 des Hebels 60 permanent in Kontakt mit der Kontaktfläche 67 des Stößelkopfs 68 ist, indem eine Stößelfeder 69 den Stößelkopf 68 von unten gegen den Hebel 60 drückt. Grundsätzlich wäre es aber auch möglich, dass in einer Ausgangs- bzw. Ruhelage der Stößelfeder 69 ein Abstand zwischen Stößel 53 und Hebel 60 vorhanden ist. Um eine nahezu konstante Vorspannung des Antriebssystems zu ermöglichen, wird der Hebel 60, an dem Ende, an dem er mit dem Stößel 53 in Kontakt kommt, durch eine Aktorfeder 70 nach hier oben gedrückt.
30

35 Der Stößel 53 ist mittels der Stößelfeder 69 einem Stößellager 71 aufgelagert, an welches sich nach unten eine Stößeldichtung 72 anschließt. Die Stößelfeder 69 drückt den Stößel-

kopf 68 vom Stößellager 71 in axialer Richtung nach hier oben weg. Somit wird auch eine Stößelspitze 73 von einem Dichtsitz 74 der Düse 54 wegdrückt. D. h. ohne äußeren Druck von oben auf den Stößelkopf 68 ist im Ruhezustand (nicht expandierten Zustand) des Piezoaktors 2 (Figur 3) auch eine Düsenöffnung 55 unverschlossen.

5

Die Zuführung des Dosierstoffs zur Düse 54 erfolgt über eine Düsenkammer 75 sowie einen sich daran anschließenden Zuführkanal 56, der mit einem Dosierstoff-Reservoir 76 verbunden ist. Die Fluidik-Baugruppe 52 umfasst ein Rahmenteil mit einer Heizungseinrichtung 77, die mit Heizungsanschlusskabeln 78 mit der Steuereinrichtung 5 verbunden ist, und kann zusätzlich noch weitere Komponenten aufweisen.

10

Das Dosiersystem 50 umfasst hier eine beispielhaft und schematisch gezeigte steuerbare Kühleinrichtung 80. Über eine Kühlmediumzufuhr 81 kann ein Kühlmedium, z.B. Druckluft oder vorgekühlte Druckluft, in die Aktorkammer 58 eingebracht werden. Das unter Druck

15 stehende Kühlmedium durchströmt die Aktorkammer 58 und kann über eine Kühlmediumabfuhr 82 wieder aus dem Dosiersystem 50 austreten. Beim Durchtritt durch die Aktorkammer 58 strömt das Kühlmedium an einer äußeren Oberfläche des Gehäuses 3 entlang, wobei die im Betrieb des Piezoaktors entstehende Wärme, die über eine Vergussmasse mit einem Hilfsstoff im Gehäuse 3 (Figur 4) bis an die Gehäuseoberfläche geleitet

20 wird, über das Kühlmedium abgeführt werden kann. Durch das Zusammenwirken einer solchen Kühleinrichtung 80 mit einem Aktormodul 1 gemäß der Erfindung, kann im Betrieb des Dosiersystems 50 eine besonders effiziente Wärmeableitung vom Piezoaktor erfolgen, was sich vorteilhaft auf die Dosierpräzision und die Nutzungsdauer des Piezoaktors auswirken kann.

25

In Figur 2 ist schematisch und vergrößert eine mögliche Ausführungsform eines Aktormoduls 1 gezeigt, welches ein Gehäuse 3 und einen hermetisch eingekapselten Piezoaktor 2 (Figur 3) umfasst. Das Gehäuse 3 besteht hier aus einem metallischen Werkstoff und weist einen Gehäusedeckel 32, einen Gehäusemantel 34 und einen Gehäuseboden 31

30 auf, wobei die Elemente zur Ausbildung des Gehäuses 3 fest miteinander verbunden sind. Anders als hier gezeigt, könnten der Gehäusemantel 34 und der Gehäuseboden 31 auch einteilig in Form eines tiefgezogenen Gehäusegrundkörpers 31, 34 ausgebildet sein.

Der Gehäusemantel 34 ist nach der Art eines metallischen Faltenbalgs ausgebildet und weist eine Anzahl von regelmäßig angeordneten hier horizontalen Erhebungen und Ver-

35

tiefungen auf. Die Längserstreckung LE_{Gh} bzw. Längsrichtung des Gehäuses 3 entspricht der Längserstreckung LE_{Pa} bzw. Längsrichtung des Piezoaktors 2 im Gehäuse 3 (Figur 4).

Im Gehäusedeckel 32 sind in Figur 2 vier separate elektrische Anschlüsse 21, 22 angeordnet, hier als Kontaktstifte 21, 22. Die jeweiligen Kontaktstifte 21, 22 sind jeweils über
5 separate Durchführungen 33, 33' von außen hermetisch dicht und elektrisch isoliert durch den Gehäusedeckel 32 in das Innere des Gehäuses 3 geführt. Die Durchführungen 33, 33' sind hier mittels Glaslot realisiert und können entsprechend auch als Glasdurchführungen 33, 33' bezeichnet werden.

10

Im Gehäusedeckel 32 ist weiterhin eine Einfüllöffnung 37 bzw. Befüllöffnung 37 angeordnet, über welche eine fließfähige Vergussmasse zur Herstellung des Aktormoduls 1 in einen Gehäuseinnenraum im Gehäuse 3 eingebracht werden kann. Die Einfüllöffnung 37 ist hier mittels einer Presskugel 38 verschlossen, z.B. eine Metallkugel 38 mit einem ge-
15 ringfügig größeren Durchmesser als ein Innenquerschnitt der Einfüllöffnung 37, so dass ein Gehäuseinnenraum im Gehäuse 3 hermetisch dicht gegenüber einer Gehäuseumgebung abgeschlossen ist.

Ein Gehäuseinnenraum 30 eines Aktormoduls 1 ist z.B. in Figur 4 gezeigt und bezeichnet
20 einen Raum im Gehäuse 3, der zwischen dem Piezoaktor 2, insbesondere einer Piezoaktoroberfläche 20, und einer Innenseite 35 der Gehäusewandung 31, 32, 34 liegt. Der Gehäuseinnenraum 30 ist im Wesentlichen vollständig mit einer Vergussmasse 4 gefüllt, wobei ein kleiner Expansionsbereich 44, z.B. ein Volumen eines trockenen Gases, im Gehäuseinnenraum 30 angeordnet ist. Anders als in den Figuren 3 und 6 gezeigt, kann
25 der Expansionsbereich 44 vorzugsweise ein dünner, länglicher Hohlraum 44 sein, der z.B. in einer Richtung LE_{Pa} bzw. LE_{Gh} in der Vergussmasse 4 verläuft, wobei dann die Vergussmasse 4 vom Gehäuseboden 31 bis zum Gehäusedeckel 32 reicht (abgesehen von dem Hohlraum 44). Ein solcher Expansionsbereich 44 ist beispielhaft in Figur 4 gezeigt. Da die Aktormodule 1 aus den Figuren 3 und 4 - abgesehen vom Expansionsbereich 44 -
30 ähnlich aufgebaut sind und sich im Wesentlichen über die Ansicht und die Schnittebene unterscheiden, werden die Aktormodule 1 gemeinsam beschrieben. Beide Aktormodule 1 aus den Figuren 3 und 4 sind stark vergrößert und rein schematisch dargestellt.

Das Aktormodul 1 in Figur 3 umfasst ein Gehäuse 3 mit einem Gehäusedeckel 32 einem
35 Gehäusemantel 34 und einem Gehäuseboden 31. Grundsätzlich und anders als hier gezeigt könnte das Aktormodul 1 auch ein tiefgezogenes Gehäuse 3 haben, wobei der Ge-

häusemantel 34 und ein Gehäuseboden 31 dann einteilig ausgebildet wären. Der restliche Aufbau des Aktormoduls 1 bzw. des Gehäuses 3 könnte dann wie in den Figuren 3 und 4 sein.

5 Im Gehäusedeckel 32 sind vier elektrische Anschlüsse 21, 22 angeordnet, die jeweils mittels einer Glaslotdurchführung 33 (nur teilweise sichtbar) hermetisch dicht und elektrisch isoliert von außen in das Gehäuse 3 geführt sind. Die Kontaktstifte 21, 22 sind mit Aktormodul-Steueranschlüssen 28 bzw. Temperatursensor-Anschlüssen 28' verbunden, welche Anschlüsse 28, 28' mit einer Steuereinrichtung 5 gekoppelt sind.

10

Die hier äußeren beiden Kontaktstifte 21 kontaktieren im Gehäuseinnenraum 30 jeweils einen Anschlusspol des Piezoaktors 2. Dies wird besonders in Figur 4 sichtbar, wobei hier ein elektrischer Anschluss 21 eine Außenelektrode 23 als Anschlusspol des Piezoaktors 2 kontaktiert. Die Außenelektrode 23 verläuft entlang einer Längserstreckung LE_{Pa} des Piezoaktors 2 und verbindet darüber die Innenelektroden 24, die zu der entsprechenden Seite der Piezoaktoroberfläche 20 geführt sind. Die alternierende Anordnung der Innenelektroden 24 im Piezoaktor 2 ist in dem Schnitt in Figur 3 gezeigt. Über die Anordnung von zwei Außenelektroden 23 auf zwei gegenüberliegenden Seiten der Piezoaktoroberfläche 20 (in Figur 4 nur eine Außenelektrode 23 sichtbar) werden die Innenelektroden 24 parallelgeschaltet und zu zwei Gruppen zusammengefasst, wobei eine Beschaltung des Piezoaktors 2 über die beiden elektrischen Anschlüsse 21 (Figur 3) erfolgen kann.

Die Innenelektroden 24 sind zwischen dünnen Schichten eines piezoaktiven Materials 25 angeordnet, wobei in den stirnseitigen Bereichen 26 des Piezoaktors 2 bzw. im Aktorkopf 26 und im Aktorfuß 26 kein piezoaktives Material 25 angeordnet ist, so dass diese Bereiche als inaktive Bereiche 26 bezeichnet werden können (Figur 3).

Entlang der Längserstreckung LE_{Pa} des Piezoaktors 2 sind mehrere Temperatursensoren 27 auf der Piezoaktoroberfläche 20 angeordnet. Weiterhin sind in unterschiedlichen Bereichen einer Innenseite 35 des Gehäuses 3 Temperatursensoren 27 angeordnet. Die Temperatursensoren 27 sind jeweils über hier nicht gezeigte Anschlüsse mit den beiden inneren Anschlussstiften 22 (Figur 3) verbunden, wobei über die Temperatursensor-Anschlüsse 28' eine Weitergabe von Messwerten an die Steuereinrichtung 5 erfolgt. Diese Anschlussstifte sind in Figur 4 nicht gezeigt. Anders als in den Figuren 3 und 4 gezeigt, könnten Temperatursensoren 27 auch auf einer Außenseite 36 des Gehäuses 3 angeordnet sein.

35

Die Vergussmasse 4 im Gehäuseinnenraum 30 umfasst in Figur 3, wie auch in den Figuren 4 bis 7, als Hilfsstoff 40 hexagonales Bornitrid 40 (α -BN, hexagonal) in Pulverform. Der besseren Übersichtlichkeit wegen ist der Hilfsstoff 40 in den Figuren 3 und 4 schematisch jeweils nur in einem Teil vom Gehäuseinnenraum 30 angeordnet, der rechts vom Piezoaktor 2 liegt, wobei in der Realität die gesamte Vergussmasse 4 im Gehäuse 3 den Hilfsstoff 40 umfasst. Der Hilfsstoff 40 liegt in Form von Hilfsstoff-Plättchen 40 in der Vergussmasse 4 vor, wobei die einzelnen Hilfsstoff-Plättchen 40 im Wesentlichen unidirektional ausgerichtet sind, insbesondere in Bezug auf die Längserstreckung LE_{Pa} des Piezoaktors 2. Die Hilfsstoff-Plättchen 40 sind so in der Vergussmasse 4 angeordnet, dass sich eine näherungsweise gleichmäßige Verteilung von Hilfsstoff-Plättchen 40 entlang der Längserstreckung LE_{Pa} des Piezoaktors 2 ergibt (Figur 4).

Die besondere Ausrichtung der einzelnen Hilfsstoff-Plättchen 40 in der Vergussmasse 4 ist stark vergrößert und rein schematisch in dem Ausschnitt aus einem Aktormodul gemäß der Erfindung in Figur 5A gezeigt. Die einzelnen Hilfsstoff-Plättchen 40 sind im Wesentlichen gleichmäßig entlang der Längserstreckung LE_{Pa} des Piezoaktors 2 verteilt, wobei die jeweiligen Hilfsstoff-Plättchen 40 so in der Vergussmasse 4 ausgerichtet sind, dass eine Längserstreckung LE_{HS} der Hilfsstoff-Plättchen 40 im Wesentlichen orthogonal zur Längserstreckung LE_{Pa} des Piezoaktors 2 verläuft.

Wie in Figur 5B beispielhaft und rein schematisch gezeigt wird, ist die Längserstreckung LE_{HS} definiert als die längste Erstreckung eines Hilfsstoff-Plättchens 40 in eine Richtung (hier in der x-Ebene), wobei eine maximale Ausdehnung des Hilfsstoff-Plättchens 40 in der z-Ebene hier einer Breite B_{HS} entspricht. Durch die Ausdehnung des Hilfsstoff-Plättchens 40 in der x- und der z-Ebene werden zwei Grundflächen 41 ausgebildet, wobei eine dazu orthogonale Höhe H_{HS} des Hilfsstoff-Plättchens 40 vergleichsweise gering ist. In der Realität kann eine Außenkontur der Hilfsstoff-Plättchen unregelmäßig sein, wobei auch die beiden Grundflächen 41 anders als hier gezeigt nicht exakt planparallel sein müssen.

Derartige Hilfsstoff-Plättchen 40 sind in der Vergussmasse 4 im Wesentlichen unidirektional so angeordnet, dass in allen Bereichen des Gehäuseinnenraums 30, insbesondere in einem Bereich zwischen der Piezoaktoroberfläche 20 und der Innenseite 35 des Gehäuses 3, im Wesentlichen dieselbe Dichte an Hilfsstoff-Plättchen 40 in der Vergussmasse 4 vorliegt. In der rein schematischen Darstellung in Figur 5A ist gezeigt, dass ein Teil der Hilfsstoff-Plättchen 40 unmittelbar an die Piezoaktoroberfläche 20 angrenzt, z.B. in direk-

tem Kontakt damit steht. Das ist einerseits vorteilhaft, da hexagonales Bornitrid 40 (als Hilfsstoff 40) als Trockenschmierstoff eine gleitende Lagerung des Piezoaktors 2 im Betrieb ermöglicht. Weiterhin kann über den direkten Kontakt die entstehende Verlustwärme besonders effizient von der Piezoaktoroberfläche 20 abgeleitet werden. Die Wärmeabgabe von der Piezoaktoroberfläche 20 erfolgt im Betrieb typischerweise überwiegend in einer lateral

5 en Richtung, z.B. in einer Wärmeleitungsrichtung WL.

Die Hilfsstoff-Plättchen 40 sind unidirektional und im Wesentlichen orthogonal zur Piezoaktoroberfläche 20 so angeordnet, dass zumindest ein Großteil der Hilfsstoff-Plättchen 40 in der Vergussmasse 4 über Kontaktstellen 45 Kontakt zu jeweils wenigstens einem anderen Hilfsstoff-Plättchen 40 hat. Wie in Figur 5A gezeigt ist, kann über solche Kontaktstellen 45 eine zusammenhängende Brücke aus Hilfsstoff-Plättchen 40 ausgebildet werden und zwar möglichst unmittelbar von der Piezoaktoroberfläche 20 bis möglichst unmittelbar zur Innenseite 35 des Gehäuses 3. Vorteilhafterweise kann entlang einer solchen Brücke ein Wärmeleitpfad WLP für Verlustwärme ausgebildet sein. Die Verlaufsrichtung eines jeweiligen Wärmeleitpfades WLP entspricht im Wesentlichen der im Betrieb gegebenen Wärmeleitungsrichtung WL des Piezoaktors 2.

10
15

Durch die besondere Ausgestaltung und die Ausrichtung der Hilfsstoff-Plättchen 40 in der Vergussmasse 4 kann im Betrieb Verlustwärme vom Piezoaktor 2 gezielt und auf möglichst kurzem Weg zur Innenseite 35 des Gehäuses 3, insbesondere zum Gehäusemantel 34, abgeführt werden. Weiterhin kann durch die Form und die Ausrichtung der Hilfsstoff-Plättchen 40 die Anzahl von Kontaktstellen 45 möglichst gering sein, was die Wärmeleitfähigkeit entlang der Brücken aus Hilfsstoff-Plättchen 40 bzw. die Effizienz der Wärmeleitpfade WLP verbessert. Anders als in Figur 5A gezeigt, wird im Regelfall eine Vielzahl von solchen Wärmeleitpfaden WLP durch die Vergussmasse verlaufen, insbesondere im Wesentlichen gleichmäßig verteilt entlang der Längserstreckung LE_{Pa} des Piezoaktors 2.

20
25

In Figur 6 ist rein schematisch und stark vergrößert ein Aktormodul 1 in einem Herstellungsverfahren gemäß der Erfindung gezeigt. Das Aktormodul 1 umfasst ein Gehäuse 3 mit einem Gehäusedeckel 32, einem Gehäusemantel 34 und einem Gehäuseboden 31, wobei die Elemente 32, 34, 31 fest miteinander verbunden sind. Anders als hier gezeigt, können der Gehäusemantel 34 und der Gehäuseboden 31 auch mittels eines tiefgezogenen Gehäuses 3 ausgebildet sein.

30

Im Gehäusedeckel 32 ist eine noch unverschlossene Einfüllöffnung 37 für Vergussmasse 4 angeordnet, wobei die Vergussmasse 4 im hier gezeigten Verfahrensstadium schon im Gehäuseinnenraum 30 angeordnet ist. Ein Teil des Gehäuseinnenraums 30 enthält keine Vergussmasse 4 und bildet im erhärteten Zustand der Vergussmasse 4 einen Expansionsbereich 44 aus, wobei der Expansionsbereich 44, anders als hier gezeigt, vorzugsweise ein länglicher Hohlraum ist. Die weiteren Komponenten des Gehäuses 3, z.B. die elektrischen Anschlüsse, sind hier nicht gezeigt und könnten ähnlich wie in Figur 3 realisiert sein.

Das Gehäuse 3 befindet sich in einer Druckkammer 6, wobei innerhalb der Druckkammer 6 ein trockenes Gas oder ein Silikon-Öl unter hohem Druck p angeordnet ist, z.B. reines trockenes Argon mit einem Druck von etwa 300 bar. Anders als hier rein schematisch gezeigt ist, wirkt der Druck p in der gesamten Druckkammer 6 und nicht nur in der gezeigten Pfeilrichtung. Der hohe Druck p kann über die Einfüllöffnung 37 auf die Vergussmasse 4 im Gehäuseinnenraum 30 und insbesondere auf die in der Vergussmasse 4 befindlichen Hilfsstoff-Plättchen 40 wirken.

In Figur 6 sind die einzelnen Hilfsstoff-Plättchen 40 noch nicht unidirektional, sondern eher zufällig bzw. chaotisch in der Vergussmasse 4 angeordnet. Die Hilfsstoff-Plättchen 40 sind hier (und in Figur 7) der besseren Übersichtlichkeit wegen schematisch nur in einem Teil vom Gehäuseinnenraum 30 angeordnet, der rechts bzw. oberhalb vom Piezoaktor 2 liegt, wobei in der Realität die gesamte Vergussmasse 4 im Gehäuse 3 den Hilfsstoff 40 umfasst. Um die Hilfsstoff-Plättchen 40 im Wesentlichen vollständig unidirektional mit ihrer Längserstreckung quer zur Längserstreckung des Piezoaktors 2 auszurichten, z.B. wie in Figur 5A gezeigt, kann das unverschlossene Gehäuse 3 beispielsweise für eine Dauer von 10 Minuten mit dem unter Druck p stehenden Gas oder Silikon-Öl beaufschlagt werden. Anschließend kann die Befüllöffnung 37 über eine Presskugel 38 (Figur 2) hermetisch dicht verschlossen werden.

In Figur 7 ist rein schematisch und stark vergrößert ein Aktormodul 1 in einem Herstellungsverfahren gemäß der Erfindung gezeigt. Das Aktormodul 1 umfasst ein Gehäuse 3, welches in einem Zentrifugenbecher 7 einer nicht näher gezeigten Zentrifuge angeordnet ist, wobei der Zentrifugenbecher 7 schwenkbar gelagert ist entsprechend einer Schwenkrichtung SR.

Im Gehäuseinnenraum 30 ist bereits eine Vergussmasse 4 mit Hilfsstoff-Plättchen 40 angeordnet, wobei die einzelnen Hilfsstoff-Plättchen 40 bereits überwiegend unidirektional angeordnet sind. Der Gehäusedeckel 32 umfasst eine Einfüllöffnung 37, an die aktuell ein Verguss-Vorratsbehälter 43 gekoppelt ist. Der Verguss-Vorratsbehälter 43 tritt hier über
5 eine Injektionsnadel 42 in den Gehäuseinnenraum 30 ein. Die Injektionsnadel 42 ist abdichtend in der Einfüllöffnung 37 angeordnet.

Die weiteren Komponenten des Gehäusedeckels 32 sind hier nicht gezeigt und könnten z.B. ähnlich wie in Figur 3 realisiert sein.

10

In Figur 7 ist im Wesentlichen der gesamte Gehäuseinnenraum 30 bereits vollständig mit Vergussmasse 4 ausgefüllt. Vorzugsweise kann nach Beendigung der Zentrifugation noch Vergussmasse 4 im Verguss-Vorratsbehälter 43 verbleiben, was in Figur 7 schematisch gezeigt ist. Dadurch kann z.B. der Masseanteil an Hilfsstoff-Plättchen 40 in der Verguss-
15 masse 4 im Gehäuse 3 erhöht werden, da in Folge der Zentrifugation bevorzugt die Hilfsstoff-Plättchen 40 in das Gehäuse 3 eintreten, wobei die übrige Vergussmasse 4, insbesondere die Grundkomponenten der Vergussmasse wie z.B. ein Silikongel, dann überwiegend außerhalb des Gehäuses 3 verbleibt. Beispielsweise kann in einem durchsichtigen Verguss-Vorratsbehälter 43 überschüssige Vergussmasse 4 sichtbar geschichtet
20 angeordnet sein, insbesondere aufgetrennt nach ggf. noch vorhandenem Bornitrid 40 (als Hilfsstoff 40) und dem Silikongel, wobei das Bornitrid 40 überwiegend im Bereich der Injektionsadel 42 und im hier rechten Teil des Verguss-Vorratsbehälters 43 angeordnet ist.

Der in Figur 7 gezeigte Verfahrensausschnitt zeigt eine Zentrifugation mit einer Sollgeschwindigkeit. Der Zentrifugenbecher 7 ist im Bereich des Gehäusebodens 31 so weit aufgeschwenkt, dass eine Zentrifugalkraft F_{Zf} im Wesentlichen parallel zur Längserstreckung LE_{Gh} des Gehäuses 3 bzw. im Wesentlichen parallel zur Längserstreckung LE_{Pa} des Piezoaktors 2 wirkt. Die Zentrifugalkraft F_{Zf} wirkt im Wesentlichen orthogonal zur Längserstreckung LE_{HS} der Hilfsstoff-Plättchen 40. Insbesondere wirkt die Zentrifugalkraft
30 F_{Zf} im Wesentlichen orthogonal auf eine Grundfläche 41 der Hilfsstoff-Plättchen 40 (Figur 5B).

Die Längserstreckung LE_{HS} der Hilfsstoff-Plättchen 40 ist hier überwiegend parallel zur Rotationsachse R der Zentrifuge. Mit dem in Figur 7 beispielhaft und ausschnittsweise beschriebenen Verfahren kann die Vergussmasse 4 in das Gehäuse 3 eingebracht wer-
35

den, wobei in demselben Verfahren eine Ausrichtung der Hilfsstoff-Plättchen 40 in der Vergussmasse 4 erfolgt, wie z.B. in Figur 5A näher beschrieben ist.

Vorzugsweise kann nach Beendigung der Zentrifugation die Injektionsnadel 42 aus dem
5 Gehäuse 3 entfernt werden, wobei dann optional ein längliches Stäbchen in die Einfüllöffnung 37 bis zum Gehäuseboden 31 gesteckt werden kann, um darüber einen Expansionsbereich in der aushärtenden Vergussmasse 4 auszubilden.

Es wird abschließend noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei den vorherge-
10 hend detailliert beschriebenen Aktormodulen lediglich um Ausführungsbeispiele handelt, welche vom Fachmann in verschiedenster Weise modifiziert werden können, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen. So kann beispielsweise in den jeweiligen Ausführungsbeispielen ein durch Tiefziehen hergestelltes hermetisch verschließbares Gehäuse verwendet werden. Weiterhin schließt die Verwendung der unbestimmten Artikel „ein“
15 bzw. „eine“ nicht aus, dass die betreffenden Merkmale auch mehrfach vorhanden sein können.

Bezugszeichenliste

- 1 Aktormodul
- 2 Piezoaktor / Bauelement
- 5 3 Gehäuse
- 4 Vergussmasse
- 5 Steuereinrichtung
- 5' Anschlusskabel
- 6 Druckkammer
- 10 7 Zentrifugenbecher
- 20 Piezoaktoroberfläche
- 21 Kontaktstift (Piezoaktor)
- 22 Kontaktstift (Temperatursensor)
- 23 Außenelektrode
- 15 24 Innenelektrode
- 25 Piezoaktives Material
- 26 Inaktiver Bereich
- 27 Temperatursensor
- 28 Aktormodul-Steueranschlüsse
- 20 28' Temperatursensor-Anschlüsse
- 30 Gehäuseinnenraum
- 31 Gehäuseboden
- 32 Gehäusedeckel
- 33, 33' Durchführung / Glasdurchführung
- 25 34 Gehäusemantel
- 35 Innenseite
- 36 Außenseite
- 37 Einfüllöffnung / Befüllöffnung
- 38 Presskugel
- 30 40 Hilfsstoff / Hilfsstoff-Plättchen / Bornitrid
- 41 Grundfläche
- 42 Injektionsnadel
- 43 Verguss-Vorratsbehälter
- 44 Expansionsbereich
- 35 45 Kontaktstelle
- 50 Dosiersystem

- 51 Aktor-Baugruppe
- 52 Fluidik-Baugruppe
- 53 Ausstoßelement / Stößel
- 54 Düse
- 5 55 Düsenöffnung
- 56 Zuführkanal
- 57 Gehäuseblock
- 58 Aktorkammer
- 58' Stützelement
- 10 59 Aktionskammer
- 60 Hebel
- 61 Durchbruch
- 62 Schraube
- 63 Bewegungsmechanismus
- 15 64 Druckstück
- 65 Hebellager
- 66 Kontaktfläche (Hebel)
- 67 Kontaktfläche (Stößelkopf)
- 68 Stößelkopf
- 20 69 Stößelfeder
- 70 Aktorfeder
- 71 Stößellager
- 72 Stößeldichtung
- 73 Stößelspitze
- 25 74 Dichtsitz
- 75 Düsenkammer
- 76 Dosierstoff-Reservoir
- 77 Heizungseinrichtung
- 78 Heizungsanschlusskabel
- 30 80 Kühleinrichtung
- 81 Kühlmediumzufuhr
- 82 Kühlmediumabfuhr
- AR Ausstoßrichtung
- B_{HS} Breite Hilfsstoff-Plättchen
- 35 F_{Zf} Zentrifugalkraft
- H_{HS} Höhe Hilfsstoff-Plättchen

K Kippachse

LE_{Gh} Längserstreckung Gehäuse

LE_{HS} Längserstreckung Hilfsstoff-Plättchen

LE_{Pa} Längserstreckung Piezoaktor

5 p Druck

R Rotationsachse

SR Schwenkrichtung

WL Wärmeleitungsrichtung

WLP Wärmeleitpfad

10

Patentansprüche

1. Aktormodul (1) mit einem hermetisch verschlossenen Gehäuse (3) mit zumindest einem im Gehäuse (3) angeordneten Piezoaktor (2) und mit elektrischen Anschlüssen (21, 22) zumindest für den Piezoaktor (2), welche Anschlüsse (21, 22) durch eine Gehäusewandung (31, 32, 34) geführt sind, wobei ein Gehäuseinnenraum (30) zwischen dem Piezoaktor (2) und der Gehäusewandung (31, 32, 34) eine Vergussmasse (4) enthält, welche die Gehäusewandung (31, 32, 34) elektrisch vom Piezoaktor (2) isoliert, und wobei die Vergussmasse (4) ein Feststoff ist und zumindest einen partikulären, wärmeleitenden, dielektrischen Hilfsstoff (40) umfasst, wobei der Hilfsstoff (40) so in der Vergussmasse (4) angeordnet ist, dass über die Vergussmasse (4), insbesondere über den Hilfsstoff (40), eine Wärmeableitung vom Piezoaktor (2) zur Gehäusewandung (31, 32, 34) im Betrieb erfolgt.
2. Aktormodul nach Anspruch 1, wobei eine Wärmeleitfähigkeit des Hilfsstoffs (40) zumindest etwa $2,5 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, vorzugsweise zumindest etwa $30 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, bevorzugt zumindest etwa $50 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, weiter bevorzugt zumindest etwa $100 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, weiter bevorzugt zumindest etwa $200 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, besonders bevorzugt zumindest etwa $300 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, insbesondere zumindest etwa $400 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, beträgt.
3. Aktormodul nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 oder 2, wobei der Hilfsstoff (40) in der Vergussmasse (4) in Form von Plättchen (40) vorliegt und/oder wobei der Hilfsstoff (40) zumindest teilweise, insbesondere im Wesentlichen vollständig, so in der Vergussmasse (4) angeordnet ist, dass eine Längserstreckung (LE_{Hs}) eines jeweiligen Plättchens (40) des Hilfsstoffs (40) quer, vorzugsweise im Wesentlichen orthogonal, zu einer Längserstreckung (LE_{Pa}) des Piezoaktors (2) verläuft.
4. Aktormodul nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Hilfsstoff (40) Bornitrid (40) ist, insbesondere hexagonales Bornitrid (40), und/oder wobei eine Größe eines Plättchens (40) des Hilfsstoffs (40) zumindest etwa $10 \mu\text{m}$, vorzugsweise zumindest etwa $20 \mu\text{m}$, bevorzugt zumindest etwa $30 \mu\text{m}$ und/oder höchstens etwa $100 \mu\text{m}$, vorzugsweise höchstens etwa $80 \mu\text{m}$, bevorzugt höchstens etwa $60 \mu\text{m}$, ist, und/oder wobei der Hilfsstoff (40) eine Mischung von Partikeln, vorzugsweise Plättchen (40), mit unterschiedlichen mittleren Größen umfasst.

5. Aktormodul nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Vergussmasse (4) ein Silikongel enthält, das zumindest ein Basissilikon und zumindest ein Vernetzungsmittel umfasst.

5 6. Aktormodul nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei ein Anteil an Hilfsstoff (40), insbesondere hexagonales Bornitrid (40), in der Vergussmasse (4) im Gehäuse (3) zumindest etwa 50 Gew.-%, vorzugsweise zumindest etwa 60 Gew.-%, bevorzugt zumindest etwa 65 Gew.-%, insbesondere zumindest etwa 70 Gew.-%, beträgt.

10 7. Verfahren zur Herstellung eines Aktormoduls (1) mit einem hermetisch verschlossenen Gehäuse (3) und zumindest einem im Gehäuse (3) angeordneten Piezoaktor (2), insbesondere ein Aktormodul (1) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 6, mit zumindest den folgenden Schritten:

- Bereitstellen eines hermetisch verschließbaren Gehäuses (3) mit elektrischen Anschlüssen (21, 22) zumindest für einen Piezoaktor (2), wobei die Anschlüsse (21, 22) durch eine Gehäusewandung (31, 32, 34) geführt sind,
- Einbringen zumindest eines Piezoaktors (2) in einen Gehäuseinnenraum (30) des Gehäuses (3),
- optional Reinigen von zumindest einem Teil des Piezoaktors (2) und/oder von zumindest einem Teil einer Innenseite (35) der Gehäusewandung (31, 32, 34) mittels eines Plasmas,
- Bereitstellen einer Vergussmasse (4), welche, vorzugsweise im erhärteten Zustand, die Gehäusewandung (31, 32, 34) elektrisch von dem Piezoaktor (2) isoliert,
- Einbringen der, vorzugsweise fließfähigen, Vergussmasse (4) in den Gehäuseinnenraum (30) zwischen den Piezoaktor (2) und die Gehäusewandung (31, 32, 34), bevorzugt über eine Einfüllöffnung (37) im Gehäuse (3), wobei die Vergussmasse (4), insbesondere nach einem Aushärten im Gehäuse (3), ein Feststoff ist und zumindest einen partikulären, wärmeleitenden, dielektrischen Hilfsstoff (40) umfasst, wobei der Hilfsstoff (40) so in der Vergussmasse (4) angeordnet wird, dass über die Vergussmasse (4), insbesondere über den Hilfsstoff (40), eine Wärmeableitung vom Piezoaktor (2) zur Gehäusewandung (31, 32, 34) im Betrieb erfolgt, und
- hermetisches Verschließen des Gehäuses (3).

35 8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei eine fließfähige Vergussmasse (4) so bereitgestellt wird, dass die in das Gehäuse (3) einzubringende Vergussmasse (4) ein Silikongel aus zumindest einem Basissilikon und einem Vernetzungsmittel umfasst und/oder wobei zur

Bereitstellung einer fließfähigen Vergussmasse (4) ein erster hälftiger Anteil des Hilfsstoffs (40) mit zumindest einem Anteil eines Basissilikons gemischt wird und ein zweiter hälftiger Anteil des Hilfsstoffs (40) mit zumindest einem Anteil eines Vernetzungsmittels gemischt wird, wobei die so erhaltenen Mischungen zur Herstellung der in das Gehäuse
5 (3) einzubringenden Vergussmasse (4) miteinander gemischt werden.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, wobei eine fließfähige Vergussmasse (4) so hergestellt wird, dass ein jeweiliger Anteil an Basissilikon und/oder an Vernetzungsmittel in der Vergussmasse (4) vor einem Einbringen der Vergussmasse (4) in das Gehäuse (3) zu-
10 mindest etwa 10 Gew.-%, vorzugsweise zumindest etwa 20 Gew.-%, bevorzugt zumindest etwa 25 Gew.-%, insbesondere zumindest etwa 30 Gew.-%, beträgt, und/oder wobei eine fließfähige Vergussmasse (4) so hergestellt wird, dass ein Anteil an Hilfsstoff (40), insbesondere hexagonales Bornitrid (40), in der Vergussmasse (4) vor einem Einbringen der Vergussmasse (4) in das Gehäuse (3) zumindest etwa 10 Gew.-%, vorzugsweise zu-
15 mindest etwa 20 Gew.-%, bevorzugt zumindest etwa 25 Gew.-%, besonders bevorzugt zumindest etwa 30 Gew.-%, insbesondere zumindest etwa 35 Gew.-%, und/oder höchstens etwa 50 Gew.-%, vorzugsweise höchstens etwa 40 Gew.-%, beträgt.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche 7 bis 9, wobei der Hilfsstoff (40), insbesondere hexagonales Bornitrid (40), in Form von Plättchen (40) in der fließfähigen Vergussmasse (4) angeordnet wird und wobei die Vergussmasse (4) im Gehäuse (3) für eine bestimmte Zeit mit einem Druckmedium beaufschlagt wird, wobei vorzugsweise ein Druck (p) zumindest etwa 100 bar, bevorzugt zumindest etwa 200 bar, besonders bevorzugt zumindest etwa 300 bar oder mehr, beträgt.

25 11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche 7 bis 10, wobei der Hilfsstoff (40), insbesondere hexagonales Bornitrid (40), in Form von Plättchen (40) in der fließfähigen Vergussmasse (4) angeordnet wird und wobei die Vergussmasse (4) im Gehäuse (3) einer bestimmten Trägheitskraft (F_{Zf}), insbesondere einer Zentrifugalkraft (F_{Zf}), ausgesetzt wird.
30

12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche 7 bis 11, wobei der Hilfsstoff (40), insbesondere hexagonales Bornitrid (40), in Form von Plättchen (40) in der fließfähigen Vergussmasse (4) angeordnet wird und wobei die Vergussmasse (4) mittels einer auf das Gehäuse (3) und/oder auf die Vergussmasse (4) einwirkenden bestimmten Trägheitskraft (F_{Zf}), insbesondere einer Zentrifugalkraft (F_{Zf}), in das Gehäuse (3) eingebracht wird.
35

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, wobei die Trägheitskraft (F_{Zt}) im Wesentlichen in Richtung einer Längserstreckung (LE_{Gh}) des Gehäuses (3), vorzugsweise in Richtung einer Längserstreckung (LE_{Pa}) des Piezoaktors (2), auf die Vergussmasse (4), insbesondere auf den Hilfsstoff (40) in der Vergussmasse (4), einwirkt.

5

14. Dosiersystem (50) für einen Dosierstoff mit einer Düse (54) zur Abgabe von Dosierstoff, einem Zuführkanal (56) für Dosierstoff, einem Ausstoßelement (53) und einem mit dem Ausstoßelement (53) und/oder der Düse (54) gekoppelten Aktormodul (1) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6.

10

15. Hermetisch verschlossenes Gehäuse (3) mit zumindest einem im Gehäuse (3) angeordneten Bauelement (2), vorzugsweise ein Piezoaktor (2), und mit elektrischen Anschlüssen (21, 22) zumindest für das Bauelement (2), welche Anschlüsse (21, 22) durch eine Gehäusewandung (31, 32, 34) geführt sind, wobei das Gehäuse (3) einen einteilig ausgebildeten Gehäusegrundkörper (31, 34) und einen Gehäusedeckel (32) aufweist und wobei der Gehäusegrundkörper (31, 34) erhältlich ist durch Tiefziehen.

20

16. Verwendung eines Aktormoduls (1) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6 in einem Dosiersystem (50) mit zumindest einem Zuführkanal (56) für Dosierstoff, einer Düse (54) zur Abgabe von Dosierstoff und einem Ausstoßelement (53), wobei das Aktormodul (1) im Betrieb zur Dosierstoffabgabe mit dem Ausstoßelement (53) und/oder der Düse (54) zusammenwirkt.