

Dosiersystem mit justierbarem Aktor

- 5 Die Erfindung betrifft ein Dosiersystem für einen Dosierstoff, welches Dosiersystem ein Gehäuse mit einer Düse und einem Zuführkanal für Dosierstoff, ein im Gehäuse angeordnetes Ausstoßelement zum Ausstoßen von Dosierstoff aus der Düse, mindestens einen mit dem Ausstoßelement und/oder der Düse gekoppelten ersten Aktor, vorzugsweise einen Piezoaktor, und mindestens einen mit dem ersten Aktor gekoppelten zweiten Aktor, 10 vorzugsweise ein Dehnstoffelement, umfasst. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Betrieb eines solchen Dosiersystems.

Dosiersysteme der eingangs genannten Art werden typischerweise dazu eingesetzt, um ein zu dosierendes Medium gezielt, d. h. zum richtigen Zeitpunkt, am richtigen Ort und in einer 15 genau dosierten Menge, auf eine Zieloberfläche aufzubringen. Dies kann beispielsweise durch eine tröpfchenweise Abgabe eines Dosierstoffs über eine Düse des Dosiersystems erfolgen. Im Rahmen der sogenannten „Mikrodosiertechnik“ ist es dabei oftmals erforderlich, dass sehr geringe Mengen des Dosierstoffs punktgenau und zwar berührungslos, also ohne einen direkten Kontakt zwischen dem Dosiersystem und der 20 Zieloberfläche, auf der Zieloberfläche platziert werden. Ein typisches Beispiel dafür ist die Dosierung von Klebstoffpunkten, Lötpasten etc. bei der Bestückung von Leiterplatten oder anderen elektronischen Elementen, oder die Aufbringung von Konverter-Materialien für LEDs.

- 25 Ein solches kontaktloses Verfahren wird häufig als „Jet-Verfahren“ bezeichnet. Ein nach dem Jetverfahren arbeitendes Dosierventil wird üblicherweise als „Jetventil“ oder „jettendes Ventil“ bezeichnet. Entsprechend kann ein Dosiersystem, das zumindest ein derartiges Jetventil sowie ggf. noch weiteren Komponenten aufweist, als „jettendes Dosiersystem“ bezeichnet werden. Zur Abgabe des Mediums aus einem jettenden 30 Dosiersystem bzw. Jetventil kann in der Düse des Dosiersystems ein bewegliches Ausstoßelement angeordnet sein, z. B. ein Stößel. Zum Ausstoßen von Dosierstoff kann das Ausstoßelement im Inneren der Düse in einer Ausstoßrichtung mit relativ hoher Geschwindigkeit in Richtung einer Düsenöffnung nach vorne gestoßen werden, wodurch ein einzelner Tropfen des Mediums aus der Düse ausgestoßen wird. Dieser Vorgang wird 35 allgemein und im Folgenden als Ausstoßvorgang bezeichnet. Anschließend kann das Ausstoßelement in einer entgegengesetzten Rückzugsrichtung wieder zurückgezogen werden. Die Größe der Tröpfchen bzw. die Menge des Mediums pro Tröpfchen sind durch

den Aufbau und die Ansteuerung sowie durch die dadurch erzielte Wirkung der Düse möglichst genau vorherbestimmbar.

Charakteristischerweise – und bevorzugt auch im Rahmen der vorliegenden Erfindung –
5 wird bei einem jettenden Dosiersystem bzw. einem Jetventil der Dosierstoff durch eine (Ausstoß-)Bewegung des Ausstoßelements relativ zur Düse „aktiv“ aus der Düse ausgestoßen. Während des Ausstoßvorgangs kommt insbesondere eine Ausstoßspitze des Ausstoßelements in Kontakt mit dem abzugebenden Dosierstoff und „drückt“ bzw. „schiebt“ den Dosierstoff auf Grund der (Ausstoß-)Bewegung des Ausstoßelements
10 und/oder der Düse aus der Düse des Dosiersystems hinaus. Damit unterscheidet sich ein jettendes Dosiersystem von anderen Dispenser-Systemen, bei denen eine Bewegung eines Verschlusselements lediglich zu einer Öffnung der Düse führt, wobei ein unter Druck stehender Dosierstoff dann von selbst aus der Düse austritt. Dies ist z. B. bei Einspritzventilen von Verbrennungsmotoren der Fall.

15 Alternativ oder zusätzlich zu dem bewegbaren Ausstoßelement kann zur Dosierstoffabgabe die Düse des Dosiersystems, z. B. die Düse eines Jetventils, selber in einer Ausstoß- bzw. Rückzugsrichtung bewegt werden. Zur Abgabe des Dosierstoffs können die Düse und ein im Inneren der Düse angeordnetes Ausstoßelement in einer Relativbewegung aufeinander
20 zu bzw. voneinander weg bewegt werden, wobei die Relativbewegung entweder allein durch eine Bewegung der Düse oder zumindest teilweise auch durch eine entsprechende Bewegung des Ausstoßelements erfolgen kann.

Um im Betrieb des Dosiersystems, z. B. bei einem jettenden Dosiersystem, eine möglichst
25 hohe Dosiergenauigkeit zu erreichen, ist eine konstante Relativbewegung zwischen dem Ausstoßelement und der Düse erforderlich. Die Menge an Dosierstoff, die bei einem jeweiligen Ausstoßvorgang aus der Düse abgegeben wird, hängt insbesondere von einem (hydraulisch) wirksamen Hub des Ausstoßelements und/oder der Düse ab, also z. B. von einer Wegstrecke, die das Ausstoßelement bei einer jeweiligen Ausstoßbewegung in
30 Relation zur Düse zurücklegt.

Je kleiner der (hydraulisch) wirksame Hub eines Dosiersystems ist, desto wichtiger ist eine möglichst präzise Anordnung des Ausstoßelements und der Düse zueinander im Dosiersystem. Vor allem bei piezoelektrisch betriebenen Dosiersystemen ist der wirksame
35 Hub des Ausstoßelements und/oder der Düse vergleichsweise gering, z. B. gegenüber Dosiersystemen mit Pneumatikaktoren. Daher ist besonders bei Dosiersystemen mit

Piezoaktoren eine der wichtigsten Aufgaben das genaue Einrichten des Gesamtsystems, also das Einstellen der Position zwischen dem Ausstoßelement und der Düse.

5 Zwar können piezoelektrisch betriebene Dosiersysteme vor einer Auslieferung an einen Kunden erstmalig eingerichtet bzw. justiert werden. Beispielsweise können der Piezoaktor und das Ausstoßelement sowie ggf. weitere Komponenten werksseitig so im Dosiersystems angeordnet und justiert werden, dass mittels einer Auslenkung des Piezoaktors eine bestimmte Relativbewegung des Ausstoßelements gegenüber der Düse erfolgt, um eine gewünschte Menge an Dosierstoff bei der Ausstoßbewegung auszustoßen.

10 Es hat sich allerdings gezeigt, dass diese einmalige Justierung des Dosiersystems häufig nicht ausreicht, um auch im Dauerbetrieb des Dosiersystems eine konstant hohe Dosiergenauigkeit zu erreichen. Je nach Betriebssituation des Dosiersystems können sich daher unter Umständen erhebliche Abweichungen zwischen einer gewünschten Soll-
15 Menge und einer tatsächlichen Ist-Menge an ausgestoßenem Dosierstoff ergeben.

Das kann zum einen daran liegen, dass die Frequenz der Dosierstoffabgabe, also die Aktor-Frequenz, je nach Dosieranforderung im Betrieb stark schwanken kann. Die unterschiedlichen Belastungssituationen des Aktors können insbesondere bei Piezoaktoren
20 zu unterschiedlichen Verlustleistungen führen, wobei die jeweilige Temperatur des Piezoaktors schwanken kann. Das kann in weiterer Folge zu einer thermischen Längendehnung des Piezoaktors sowie ggf. weiterer Komponenten des Dosiersystems führen. Auf Grund einer Kopplung zwischen Piezoaktor und Ausstoßelement kann die thermische Längsdehnung des Piezoaktors auch den (hydraulisch) wirksamen Hub des
25 Ausstoßelements unerwünscht verändern und so die Dosiergenauigkeit beeinflussen.

Zum anderen können die beweglichen Komponenten des Dosiersystems im Betrieb einer Abnutzung bzw. einem Verschleiß unterliegen. Beispielsweise kann sich eine Ausstoßspitze des Ausstoßelements durch einen häufigen Kontakt mit der Düse zumindest
30 bereichsweise so abnutzen, dass ein gewünschter (hydraulisch) wirksamer Hub des Ausstoßelements nicht mehr zuverlässig erreicht wird. Auch dadurch kann sich die jeweils abgegebene Dosierstoffmenge ändern.

Weiterhin kann es von Zeit zu Zeit erforderlich sein, dass verschlissene Komponenten des
35 Dosiersystems ausgetauscht werden müssen, z. B. ein abgenutztes Ausstoßelement. Um auch nach dem Austausch eine hohe Dosiergenauigkeit zu erreichen, ist eine erneute

Justierung des Dosiersystems erforderlich. Dieser relativ komplexe Prozess kann durch einen Nutzer des Dosiersystems häufig nicht mit der nötigen Präzision durchgeführt werden, so dass es zu unerwünschten Änderungen des benötigten Dosierprozesses kommen kann.

5

Allerdings ist - wie eingangs erwähnt - besonders in der Mikrodosiertechnik eine hochgenaue Dosierstoffabgabe gewünscht. Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die zuvor beschriebenen nachteiligen Effekte zu reduzieren.

- 10 Diese Aufgabe wird durch ein Dosiersystem gemäß Patentanspruch 1 und durch ein Verfahren zur Steuerung eines solchen Dosiersystems gemäß Patentanspruch 7 gelöst.

Ein erfindungsgemäßes Dosiersystem für einen flüssigen bis zähflüssigen Dosierstoff umfasst ein Gehäuse, wobei das Gehäuse eine Düse mit einer Düsenöffnung und einen
15 Zuführkanal zum Zuführen von Dosierstoff in die Düse aufweist. Im Gehäuse des Dosiersystems sind ein Ausstoßelement zum Ausstoßen des Dosierstoffs aus der Düse und zumindest ein mit dem Ausstoßelement und/oder der Düse gekoppelter erster Aktor angeordnet. Vorzugsweise kann der erste Aktor ein Piezoaktor sein, insbesondere ein steuerbarer Piezostack, auch wenn grundsätzlich auch andere Aktorarten denkbar sind.
20 Besonders bevorzugt kann der erste Aktor ein hermetisch dicht in ein Aktorgehäuse eingekapselter Piezostack sein. Im Folgenden wird die Erfindung der besseren Verständlichkeit wegen, ohne eine Beschränkung darauf, anhand eines piezoelektrisch betriebenen Dosiersystems erläutert, d. h., dass der erste Aktor ein Piezoaktor ist.

- 25 Die Abgabe des Dosierstoffs aus dem erfindungsgemäßen Dosiersystem kann nach einem der eingangs erläuterten Prinzipien erfolgen. Entsprechend kann – wie das meist der Fall ist – in der Düse des Dosiersystems (insbesondere im Bereich der Düse z. B. kurz vor einer Austrittsöffnung) ein mit relativ hoher Geschwindigkeit bewegbares Ausstoßelement zum Ausstoßen des Dosierstoffs aus der Düse angeordnet sein. Alternativ oder zusätzlich kann
30 wie erwähnt die Austrittsöffnung, also z. B. die Düse, des Dosiersystems bewegbar ausgebildet sein. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass die Dosierstoffabgabe mittels eines bewegbaren Ausstoßelements erfolgt wie dies bevorzugt ist, z. B. mit einem Stößel. Allerdings soll die Erfindung nicht darauf beschränkt sein.

Besonders bevorzugt kann das erfindungsgemäße Dosiersystem nach dem „Jet-Verfahren“ arbeiten. Insbesondere kann das Dosiersystem daher zumindest ein Jetventil umfassen. Diesbezüglich wird auf die eingangs gegebene Definition verwiesen.

5 Der erste Aktor des Dosiersystems ist zumindest zeitweise funktional mit dem Ausstoßelement bzw. der Düse gekoppelt. Die Kopplung erfolgt derart, dass die vom ersten Aktor ausgeübten Kräfte und Bewegungen so an das Ausstoßelement (bzw. die Düse) weitergeleitet werden, dass hieraus eine gewünschte, vorzugsweise vertikale, Bewegung des Ausstoßelements und/oder der Düse zur Abgabe des Dosierstoffs aus der Düse
10 resultiert. Der erste Aktor kann direkt, d. h. ohne weitere bewegungsvermittelnde Komponenten auf das Ausstoßelement wirken. Es ist allerdings bevorzugt, dass das Dosiersystem einen Bewegungsmechanismus umfasst, um eine Auslenkung des ersten Aktors über eine gewisse Distanz hin (also indirekt) an das Ausstoßelement zu übertragen. Dies wird später noch erläutert.

15

Erfindungsgemäß befindet sich im Gehäuse des Dosiersystems zumindest ein weiterer zweiter Aktor, der mit dem ersten Aktor, insbesondere mit dem Piezoaktor, gekoppelt ist. Der zweite Aktor ist dazu ausgebildet, um eine Position des ersten Aktors, beispielsweise des in ein Aktorgehäuse eingekapselten Piezostacks, relativ zum Gehäuse, insbesondere
20 in Bezug auf das Ausstoßelement und/oder die Düse, einzustellen. Der erste Aktor und der zweite Aktor sind hierzu separat ansteuerbar. Der zweite Aktor kann daher auch als Positionierungs-Aktor zur Positionierung des ersten, mit dem Ausstoßelement und/oder der Düse gekoppelten Aktors, bezeichnet werden. Die Kopplung kann derart erfolgen, dass der Positionierungs-Aktor dem ersten Aktor nur anliegt und/oder aufliegt. Das bedeutet, der
25 Positionierungs-Aktor steht mit dem ersten Aktor zwar in Wirkkontakt, wobei eine feste Verbindung zwischen den beiden Komponenten aber nicht unbedingt erforderlich ist. Der Positionierungs-Aktor kann im Prinzip ein beliebiger Aktortyp sein, z. B. ein steuerbarer Piezoaktor, beispielsweise auch wieder ein in ein eigenes Aktorgehäuse eingekapselter Piezostack, ein Formgedächtnis-Aktor, ein magnetistriktiver Aktor oder ähnliches.
30 Bevorzugt handelt es sich bei dem zweiten Aktor um einen anderen Aktortyp als bei dem ersten Aktor, da der zweite Aktor ja grundsätzlich nicht mit so hohen Ausdehnungsgeschwindigkeiten wie der erste Aktor arbeiten muss.

Bevorzugt kann der Positionierungs-Aktor zumindest ein Dehnstoffelement umfassen.
35 Besonders bevorzugt kann der zweite Aktor mittels eines Dehnstoffelements realisiert sein. Entsprechend kann das Dehnstoffelement ausgebildet sein, um eine Position des

mindestens einen ersten Aktors relativ zum Gehäuse, insbesondere in Bezug auf das Ausstoßelement und/oder die Düse, einzustellen. Der Vorteil eines solchen Dehnstoffelements liegt in einem besseren Verhältnis zwischen gesamter Bauhöhe (und auch Bauvolumen) und nutzbarem Maximalhub bei vergleichbaren Einsatzkräften.

5 Nachfolgend wird die Erfindung, ohne eine Beschränkung darauf, anhand eines mittels eines Dehnstoffelements realisierten zweiten Aktors beschrieben. D. h., sofern nicht anders erwähnt, wird im Rahmen der Anmeldung der erste Aktor (zur Bewegung des Stößels und/oder der Düse) nur kurz als „Aktor“ bzw. „Piezoaktor“ bezeichnet, wobei der zweite (Positionierungs-)Aktor ohne Beschränkung der Allgemeinheit als

10 „Dehnstoffelement“ bezeichnet wird.

Unter einem Dehnstoffelement bzw. Dehnstoffarbeitselement wird entsprechend der allgemeinen Definition ein einen Dehnstoff aufweisendes, z. B. mit einem Dehnstoff gefülltes, aktiv ausdehnbares Element verstanden, welches auch als „thermischer

15 Expansionsaktor“ bezeichnet werden kann. Das Dehnstoffelement kann neben dem Dehnstoff noch weitere Komponenten umfassen, z. B. ein den Dehnstoff einfassendes Gehäuse und einen Arbeitskolben, wie später erläutert wird. Wie allgemein üblich, ist der Dehnstoff vorzugsweise so ausgebildet, dass eine Temperaturänderung des Dehnstoffs zu einer Volumenänderung des Dehnstoffs führt. Durch eine entsprechende Ausgestaltung

20 des Dehnstoffelements kann über die Volumenänderung des Dehnstoffs eine bestimmte bzw. gerichtete Bewegung (ein Hub) erzeugt werden. Dabei kann das Ausmaß der erzeugten Bewegung (wie üblich) in etwa proportional zur Volumenänderung des Dehnstoffs sein.

25 Um mittels des Dehnstoffelements einen bestimmten Hub zu erzeugen, kann das Dehnstoffelement über eine Steuereinheit des Dosiersystems gesteuert und/oder geregelt werden. Zur Steuerung und/oder Regelung des Dehnstoffelements wird im Rahmen der Erfindung insbesondere eine Temperatur des Dehnstoffelements gesteuert und/oder geregelt. Weitere Details zum Dehnstoffelement sowie zur Steuereinheit werden zu einem

30 späteren Zeitpunkt gegeben.

Das Dehnstoffelement ist erfindungsgemäß dazu ausgebildet und so im Dosiersystem angeordnet, dass eine bestimmte Position des (ersten) Aktors relativ zum Gehäuse des Dosiersystems eingestellt werden kann. Das bedeutet, dass mittels des Dehnstoffelements

35 eine gewünschte räumliche Anordnung des Aktors, insbesondere des Piezoaktors, innerhalb des Gehäuses erreicht werden kann. Insbesondere kann die Position des Aktors

im Gehäuse mittels des Dehnstoffelements im Betrieb aktiv verändert werden, z. B. während einer jeweiligen Ausstoßbewegung und/oder einer jeweiligen Rückzugsbewegung des Ausstoßelements. Mit anderen Worten, der Aktor kann durch das Dehnstoffelement, zumindest in geringem Umfang, im Gehäuse bewegt werden.

5

Bevorzugt ist das Dehnstoffelement dementsprechend so im Dosiersystem angeordnet, dass der mittels des Dehnstoffelements erzeugte Hub überwiegend vollständig auf den Aktor, insbesondere den Piezoaktor, übertragen und zur Positionierung des Aktors genutzt werden kann.

10

Das Dehnstoffelement ist insbesondere dazu ausgebildet und so im Dosiersystem angeordnet, um die Position des (ersten) Aktors, insbesondere des Piezoaktors, in Bezug auf das Ausstoßelement und/oder die Düse des Dosiersystems einzustellen. Besonders bevorzugt kann mittels des Dehnstoffelements eine Lage eines Druckstücks des Aktors, welches die vom Aktor erzeugten Kräfte (direkt oder indirekt) auf das Ausstoßelement und/oder der Düse überträgt, in Bezug auf das Ausstoßelement und/oder die Düse eingestellt und/oder verändert werden. Beispielsweise kann - je nach konkretem Aufbau des Dosiersystems - mittels des Dehnstoffelements ein bestimmter Abstand zwischen dem Druckstück des Aktors und einer Düsenöffnung der Düse eingestellt werden. In gleicher Weise kann auch ein Abstand zwischen dem Druckstück des Aktors und dem Ausstoßelement eingestellt werden.

Vorteilhafterweise kann mittels des Dehnstoffelements eine bestimmte Soll-Anordnung zwischen dem (ersten) Aktor und dem Ausstoßelement bzw. der Düse eingestellt werden, so dass durch eine jeweilige Auslenkung des Aktors eine möglichst exakt bestimmte Dosierstoffmenge aus der Düse ausgestoßen wird. Das erfindungsgemäße Dosiersystem umfasst also mit dem Dehnstoffelement ein zusätzliches Stellglied zur „punktgenauen“ Positionierung des Aktors im Gehäuse, so dass z. B. die hohe Dynamik des Piezoaktors nahezu vollständig für die eigentliche Dosierfunktion des Dosiersystems genutzt werden kann.

Ein besonderer Vorteil ist, dass eine solche Soll-Anordnung bzw. Soll-Position des Aktors auch im Betrieb des Dosiersystems überwiegend konstant gehalten werden kann. Das Dehnstoffelement kann nämlich einerseits dazu genutzt werden, um thermische Ausgleichsfunktionen zu erfüllen, was auch als „thermische Kompensation“ bezeichnet wird. Beispielsweise können im Betrieb auftretende thermische Längenänderungen des

Aktors, insbesondere des Piezoaktors, durch ein gegenläufiges Betreiben des Dehnstoffelements kompensiert werden, so dass eine Position des Aktors gegenüber dem Ausstoßelement und/oder der Düse im Betrieb konstant gehalten werden kann.

- 5 Andererseits kann das Dehnstoffelement auch mechanische Ausgleichsfunktionen erfüllen, z. B. um einen betriebsbedingten Verschleiß von Komponenten des Dosiersystems zu kompensieren. Beispielsweise kann der Aktor, insbesondere der Piezoaktor, mittels des Dehnstoffelements im Betrieb routinemäßig so im Gehäuse (um-)positioniert werden, dass die Soll-Anordnung trotz Verschleiß- bzw. Abnutzungserscheinungen von insbesondere beweglichen Komponenten (wie des Ausstoßelements) im Betrieb weitestgehend konstant
10 bleibt.

- Weiterhin vorteilhaft kann das Dehnstoffelement auch dazu genutzt werden, um das Gesamtsystem nach einer zeitweisen Unterbrechung des Dosierbetriebs (wieder) korrekt einzustellen. Dadurch ist es z. B. möglich, dass im Bedarfsfall gezielt nur eine verschlissene
15 Komponente des Dosiersystems getauscht werden muss, z. B. ein Stößel, anstatt einer eingepassten Baugruppe. Eine Wiederherstellung der Soll-Anordnung kann dann mittels des Dehnstoffelements erfolgen. Daher können bei dem erfindungsgemäßen Dosiersystem die verschleißbedingten Kosten gegenüber bekannten Dosiersystemen reduziert werden.

20

Auf Grund der zuvor erläuterten vorteilhaften Effekte kann die Dosiergenauigkeit bei dem erfindungsgemäßen Dosiersystem gegenüber bekannten Dosiersystemen erheblich verbessert werden.

- 25 Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Steuerung eines Dosiersystems für einen flüssigen bis zähflüssigen Dosierstoff umfasst das Dosiersystem ein Gehäuse, wobei das Gehäuse eine Düse und einen Zuführkanal für Dosierstoff aufweist. Das Dosiersystem umfasst weiterhin ein im Gehäuse angeordnetes Ausstoßelement zum Ausstoßen von Dosierstoff aus der Düse, zumindest einen mit dem Ausstoßelement und/oder der Düse gekoppelten ersten Aktor, vorzugsweise einen Piezoaktor, und zumindest einen mit dem
30 ersten Aktor gekoppelten zweiten Aktor, vorzugsweise ein Dehnstoffelement. Der zweite Aktor wird mittels einer Steuereinheit so gesteuert und/oder geregelt, dass eine Position des zumindest einen ersten Aktors relativ zum Gehäuse, insbesondere in Bezug auf das Ausstoßelement und/oder die Düse, eingestellt wird.

35

Zur Positionierung des (ersten) Aktors im Gehäuse kann eine Ausdehnlänge bzw. Expansion des Dehnstoffelements in zumindest eine Richtung gesteuert und/oder geregelt werden. Besonders bevorzugt kann die Ausdehnlänge des Dehnstoffelements über die Temperatur des Dehnstoffelements gesteuert und/oder geregelt werden. Dies wird später
5 noch im Detail erläutert.

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
10 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.

15 Der zweite Aktor, insbesondere das Dehnstoffelement, ist vorzugsweise so ausgebildet und im Gehäuse angeordnet, um über die Position des (ersten) Aktors, insbesondere des Piezoaktors, eine Position des Ausstoßelements in Bezug auf die Düse des Dosiersystems einzustellen. Insbesondere kann mittels des Dehnstoffelements über die Lage des (ersten) Aktors ein Abstand zwischen einer Ausstoßspitze des Ausstoßelements und einer
20 Düsenöffnung der Düse eingestellt werden.

In einem entsprechenden Verfahren zur Steuerung des Dosiersystems kann der zweite Aktor, insbesondere das Dehnstoffelement, daher so gesteuert und/oder geregelt werden, dass eine Position des Ausstoßelements in Bezug auf die Düse des Dosiersystems
25 eingestellt wird. Bevorzugt kann das Dehnstoffelement so gesteuert und/oder geregelt werden, dass über die Position des (ersten) Aktors, insbesondere des Piezoaktors, ein bestimmter Abstand zwischen der Ausstoßspitze des Ausstoßelements und der Düsenöffnung der Düse eingestellt wird.

30 In einem bevorzugten Verfahren zur Steuerung des Dosiersystems kann die Steuerung und/oder Regelung des zweiten Aktors, insbesondere des Dehnstoffelements, so erfolgen, dass eine Temperatur des zweiten Aktors, vorzugsweise des Dehnstoffelements, insbesondere eine Temperatur des Dehnstoffs, gesteuert und/oder geregelt wird. Bevorzugt kann dazu zumindest eine dem Dehnstoffelement zugeordnete Heizeinrichtung
35 und/oder zumindest eine dem Dehnstoffelement zugeordnete Kühleinrichtung gesteuert und/oder geregelt werden, wie später erläutert wird. Besonders bevorzugt kann eine

Temperatur des Dehnstoffelements so eingestellt werden, dass ein bestimmter Hub des Dehnstoffelements erzeugt wird, um den Aktor, insbesondere den Piezoaktor, und/oder das Ausstoßelement in einer bestimmten Position im Gehäuse anzuordnen.

5 Das Ausstoßelement kann, wie gesagt, vorzugsweise mittels eines Bewegungsmechanismus mit dem (ersten) Aktor, insbesondere mit dem Piezoaktor, gekoppelt sein. Das Ausstoßelement wird synonym auch als Stößel bezeichnet. Nachfolgend wird die Erfindung, ohne eine Beschränkung darauf, anhand eines Dosiersystems mit einem Bewegungsmechanismus beschrieben. Der
10 Bewegungsmechanismus kann ein Kopplungselement umfassen, um die Bewegungen des Aktors an das Ausstoßelement zu übertragen. Die Kopplung zwischen dem Aktor, bzw. dem Piezoaktor, insbesondere dessen Druckstück, und dem Bewegungsmechanismus und/oder zwischen dem Bewegungsmechanismus und dem Ausstoßelement ist vorzugsweise keine feste Kopplung, d. h. die jeweiligen Komponenten sind zur Kopplung vorzugsweise nicht
15 miteinander verschraubt, verschweißt, verklebt etc.

Besonders bevorzugt kann das Kopplungselement ein Übersetzungselement aufweisen, z. B. ein Hebelsystem mit einem verkipptbar gelagerten Hebel oder dergleichen, um eine Auslenkung des Aktors um einen bestimmten Faktor zu erhöhen. Insbesondere kann das
20 Übersetzungselement ausgebildet sein, um ein bestimmtes Übersetzungs-Verhältnis zwischen einer Auslenkung bzw. einem Hub des Aktors und einer daraus resultierenden Bewegung bzw. einem Hub des Stößels zu erzeugen. Das bedeutet einerseits, dass mittels des Übersetzungselements eine Auslenkung des (ersten) Aktors in einen bestimmten, gewünschten Hub des Stößels übersetzt werden kann.

25 Andererseits kann das Übersetzungselement vorteilhaft auch dazu genutzt werden, um eine Positionsänderung des (ersten) Aktors, vorzugsweise verursacht durch das Dehnstoffelement, in verstärktem Ausmaß an das Ausstoßelement zu übertragen. Das bedeutet, dass mittels einer vergleichsweise geringen Positionsänderung des Aktors durch
30 das Dehnstoffelement eine relativ große Positionsänderung des Ausstoßelements bewirkt werden kann.

Der zweite Aktor, insbesondere das Dehnstoffelement, ist vorzugsweise so ausgebildet und im Gehäuse angeordnet, um das Ausstoßelement während eines definierten
35 Betriebszustands des Dosiersystems in eine in geeigneter Weise definierte „Adjust-Position“ des Ausstoßelements zu bewegen. Der Betriebszustand entspricht vorzugsweise

einer im Betrieb vorgesehenen größtmöglichen Auslenkung des (ersten) Aktors, insbesondere des Piezoaktors. Bevorzugt kann zur Einstellung der „Adjust-Position“ eine Positionsänderung des (ersten) Aktors mittels des Bewegungsmechanismus auf das Ausstoßelement übertragen werden.

5

Die „Adjust-Position“ ist hier bevorzugt dadurch gekennzeichnet bzw. definiert, dass das Ausstoßelement, insbesondere die Ausstoßspitze des Stößels, mit einer bestimmten Kraft in die Düse gedrückt wird. Die vom Stößel in der Adjust-Position auf die Düse ausgeübte Kraft wird als Eindrückkraft oder Dichtkraft bezeichnet. Der Stößel kann in der Adjust-
10 Position so in einen Dichtsitz der Düse gedrückt werden, dass ein Dichtbereich der Düse durch den Stößel vorzugsweise vollständig ausgefüllt ist. Unter dem Dichtbereich wird ein Bereich im Dichtsitz der Düse verstanden, der im Inneren der Düse (Düsenkammer) unmittelbar an die Düsenöffnung angrenzt. Im Dichtbereich können der Stößel und die Düse dichtend zusammenwirken, insbesondere indem der Stößel gegen den Dichtsitz gepresst
15 wird.

Bevorzugt wird in der Adjust-Position durch den Stößel eine bestimmte Dichtkraft gegenüber der Düse aufgebaut. Die Dichtkraft des Ausstoßelements kann beispielsweise wenigstens 1 mN, vorzugsweise wenigstens 1 N, bevorzugt wenigstens 10 N betragen.

20

In einem bevorzugten Verfahren zur Steuerung des Dosiersystems kann der zweite Aktor, insbesondere das Dehnstoffelement, daher so gesteuert und/oder geregelt werden, dass das Ausstoßelement während des definierten Betriebszustands des Dosiersystems in die Adjust-Position des Ausstoßelements gebracht wird. Bevorzugt kann das Dehnstoffelement
25 so gesteuert und/oder geregelt werden, dass die Ausstoßspitze des Ausstoßelements bei einer im Betrieb maximal vorgesehenen Auslenkung des Piezoaktors mit einer bestimmten Dichtkraft gegen die Düse gedrückt wird.

Vorteilhafterweise kann über die Adjust-Position des Ausstoßelements ein „(hydraulisch)
30 wirksamer Hub“ des Stößels präzise eingestellt und gehalten werden, wobei die Dosiergenauigkeit des Dosiersystems weiter verbessert werden kann. Dies wird nachfolgend erläutert.

In einem bevorzugten Verfahren zur Steuerung des Dosiersystems kann die Auslenkung
35 des (ersten) Aktors (Aktorauslenkung), insbesondere die an den Piezoaktor angelegte elektrische Steuerspannung, während eines jeweiligen Ausstoßvorgangs einerseits dazu

genutzt werden, um den Stößel ausgehend von einer Ausstoß-Anfangsposition bis zum Erreichen eines „Vollkontakts“ in Richtung der Düse zu bewegen. Der Vollkontakt ist darüber definiert, dass die Ausstoßspitze des Stößels, vorzugsweise vollständig umlaufend, in Wirkkontakt mit der Düse tritt. Insbesondere kann der Stößel bei Vollkontakt dem

5 Dichtsitz der Düse so anliegen, dass die Düsenöffnung verschlossen ist.

Die Hubbewegung (die zurückgelegte Strecke), die der Stößel bei einem jeweiligen Ausstoßvorgang bis zum Vollkontakt in Relation zur Düse ausführt, wird als „(hydraulisch) wirksamer Hub“ des Stößels bezeichnet. Der (hydraulisch) wirksame Hub ist also ein Anteil

10 einer im Betrieb maximal vorgesehenen Aktorauslenkung bzw. ein Anteil einer im Betrieb maximal an den Piezoaktor angelegten elektrischen Steuerspannung, der für das Ausstoßen von Dosierstoff nutzbar ist und daher einen Einfluss auf die Dosierstoffabgabe hat.

15 Andererseits kann die Aktorauslenkung zumindest teilweise auch dazu genutzt werden, um den Stößel über den Vollkontakt hinaus weiter in Richtung der Düse zu drücken. Dieser definierte Anteil der gesamten Aktorauslenkung bzw. der Anteil der maximal vorgesehenen elektrischen Steuerspannung des Piezoaktors, durch den der Stößel ausgehend vom Vollkontakt um ein bestimmtes Mindestmaß weiter in Richtung der Düse gedrückt wird, wird

20 als Dichtstellungs-Aktorauslenkung bezeichnet, wie später noch erläutert wird. Vorzugsweise kann mittels der Dichtstellungs-Aktorauslenkung eine bestimmte Dichtkraft des Stößels aufgebaut werden.

Bei einem „idealen“ sehr steifen Dosiersystem kann eine Position des Stößels nach dem

25 Vollkontakt bei einer fortschreitenden Aktorauslenkung bzw. bei einer weiteren Erhöhung der an den Piezoaktor angelegten elektrischen Steuerspannung (Piezoaktor-Steuerspannung) überwiegend konstant bleiben. D. h., der Stößel wird mittels der Dichtstellungs-Aktorauslenkung mit einer zunehmenden Kraft gegen die Düse gedrückt, wobei eine bestimmte Dichtkraft des Stößels aufgebaut werden kann.

30 Je nach Ausgestaltung des Dosiersystems, z. B. abhängig von der Beschaffenheit der verwendeten Materialien, kann die Dichtstellungs-Aktorauslenkung aber auch zu einer geringfügigen elastischen Verformung von Komponenten des Dosiersystems führen. Beispielsweise können der Düseneinsatz, der Stößel, Verbindungselemente der

35 Fluidikeinheit wie z. B. der Hebel, oder eine Kombination dieser oder weiterer Komponenten elastisch verformt werden. Entsprechend kann sich bei einem „idealen“ nicht vollständig

steifen Dosiersystem eine Position des Stößels nach dem Vollkontakt aufgrund der fortschreitenden Aktorauslenkung bzw. durch die Erhöhung der Piezoaktor-Steuerspannung noch geringfügig verändern, insbesondere im Nano- oder Mikrometerbereich. Allerdings kann auch bei einem derartigen nicht-steifen Dosiersystem

5 vorzugsweise ein Großteil der Dichtstellungs-Aktorauslenkung auf den Stößel übertragen und zur Einstellung einer Dichtkraft des Stößels genutzt werden.

Ungeachtet der konkreten Ausgestaltung des Dosiersystems kann also eine im Betrieb maximal vorgesehene Auslenkung des Aktors, insbesondere eine im Betrieb maximal an

10 die Piezoaktor angelegte Steuerspannung, anteilig zwischen einem (hydraulisch) wirksamen Hub des Stößels einerseits und dem Aufbau einer Dichtkraft des Stößels andererseits „verteilt“ werden, insbesondere mittels einer entsprechenden Ansteuerung des Dehnstoffelements.

Vorteilhafterweise kann die Adjust-Position des Stößels durch ein Zusammenspiel von Dehnstoffelement und (erstem) Aktor so eingestellt werden, dass der Stößel in der Adjust-Position eine bestimmte Dichtkraft auf die Düse ausübt. Dabei gilt: je größer die Dichtkraft des Stößels in der Adjust-Position ist, desto größer ist auch der Anteil der dafür benötigten Dichtstellungs-Aktorauslenkung an der im Betrieb maximal vorgesehenen Aktorauslenkung

15 bzw. an der maximal vorgesehenen Piezoaktor-Steuerspannung. Entsprechend wird sich der Anteil der Aktorauslenkung bzw. der Piezoaktor-Steuerspannung, der für den (hydraulisch) wirksamen Hub des Stößels nutzbar ist, verringern. Daher kann über die Einstellung der Adjust-Position des Stößels, insbesondere über die Einstellung der Dichtkraft, der (hydraulisch) wirksame Hub des Stößels präzise eingestellt werden.

20

25 Vorteilhafterweise kann dadurch eine weiterhin verbesserte Dosiergenauigkeit erreicht werden.

Um das Ausstoßelement in die Adjust-Position bewegen zu können, umfasst das Dosiersystem, wie erwähnt, vorzugsweise zumindest eine dem zweiten Aktor, insbesondere dem Dehnstoffelement, zugeordnete Heizeinrichtung und/oder zumindest

30 eine dem zweiten Aktor, insbesondere dem Dehnstoffelement, zugeordnete Kühleinrichtung. Besonders bevorzugt umfasst das Dosiersystem weiterhin eine Steuereinheit zum Steuern und/oder Regeln der Heizeinrichtung und/oder der Kühleinrichtung.

Die Heizeinrichtung kann vorzugsweise elektrische Energie zum Beheizen des Dehnstoffs bzw. des Dehnstoffelements nutzen. Beispielsweise könnte zumindest ein Widerstandsheizelement in Form einer Heizfolie auf einer äußeren Oberfläche (Außenseite) des Dehnstoffelements angeordnet sein, z. B. auf einem Gehäuse des Dehnstoffelements. Alternativ oder zusätzlich könnte zumindest ein Widerstandsheizelement im Dehnstoff selber angeordnet sein. Vorzugsweise ist die Heizeinrichtung dazu ausgebildet, den gesamten Dehnstoff des Dehnstoffelements gleichmäßig auf eine bestimmte Soll-Temperatur zu erwärmen.

Die Kühleinrichtung kann vorzugsweise zumindest ein gasförmiges und/oder flüssiges Fluid zum Kühlen des Dehnstoffelements bzw. des Dehnstoffs umfassen. Bevorzugt kann die Außenseite des Dehnstoffelements zumindest bereichsweise mit einem Kühlmedium beaufschlagt werden, z. B. indem ein Gehäuse des Dehnstoffelements direkt mit Kühlmedium angeströmt bzw. angeblasen wird. Die Kühleinrichtung kann dazu im Dosiersystem einen das Dehnstoffelement umgebenden und mit Kühlmedium flutbaren Hohlraum (Kühlbereich) umfassen. Weiterhin kann die Kühleinrichtung strömungslenkende Elemente umfassen, um gezielt einzelne Teilbereiche des Dehnstoffelements mit Kühlfluid zu beaufschlagen. Allerdings kann auch im Wesentlichen die gesamte Außenseite des Dehnstoffelements aktiv gekühlt werden. Die Kühleinrichtung kann weiterhin Zu- und Abführeinrichtungen umfassen, um das Kühlmedium in das Dosiersystem, insbesondere in den Kühlbereich, einzubringen bzw. wieder daraus zu entfernen.

Vorzugsweise ist das Kühlmedium ausgebildet, um das Dehnstoffelement möglichst schnell auf einen bestimmten Temperaturwert abkühlen zu können. Dieser Temperaturwert kann auch oberhalb einer Raumtemperatur und/oder oberhalb einer „parasitären“ Erwärmung des Dehnstoffelements durch den piezoelektrischen Aktuator liegen. Ein solcher Temperaturwert ist aber vorzugsweise unterhalb von 45 °C, bevorzugt unterhalb von 30 °C, besonders bevorzugt unterhalb von 18 °C angesiedelt.

Zumindest in den Fällen, in denen der Temperaturwert oberhalb der Raumtemperatur liegt, kann als Kühlmedium auch Luft, insbesondere komprimierte Luft verwendet werden. Ungekühlte komprimierte Raumluft hat den Vorteil, dass sie vergleichsweise kostengünstig und mit einem ausreichend großen Volumenstrom bereitgestellt werden kann.

Alternativ kann als Kühlmedium auch abgekühlte Luft verwendet werden, insbesondere gekühlte komprimierte Luft. Beispielsweise kann das Kühlmedium mittels einer der

Kühleinrichtung zugeordneten Kältequelle, z. B. eine Kältemaschine und/oder ein Wirbelrohr, auf eine bestimmte Soll-Temperatur „aktiv“ abgekühlt werden. Das Kühlmedium könnte dann dazu ausgebildet sein, um das Dehnstoffelement auf eine Temperatur unterhalb einer Umgebungstemperatur des Dosiersystems abzukühlen.

5

Die Kühlleistung der dem Dehnstoffelement zugeordneten Kühleinrichtung ist vorzugsweise separat steuerbar und/oder regelbar. Eine separate Ansteuerbarkeit ist besonders dann sinnvoll, wenn die Kühleinrichtung des Dosiersystems auch zur Temperierung von anderen Komponenten des Dosiersystems vorgesehen ist. Beispielsweise könnte die

10 Kühleinrichtung auch zur Temperierung des Aktors, insbesondere des Piezoaktors, ausgebildet sein, um diesen im Betrieb auf eine Arbeitstemperatur abzukühlen. In diesem Fall kann die dem Dehnstoffelement zugeordnete Kühleinrichtung als separate Teil-Kühleinrichtung einer gemeinsam genutzten Gesamt-Kühleinrichtung des Dosiersystems ausgebildet sein. Entsprechend kann eine weitere Teil-Kühleinrichtung dem Aktor

15 zugeordnet sein. Vorzugsweise kann die Gesamt-Kühleinrichtung dann zwei separat steuerbare Proportionalventile umfassen, um das Dehnstoffelement bzw. den Aktor individuell mit Kühlfluid zu versorgen.

Bevorzugt sind die dem Dehnstoffelement zugeordnete Kühleinrichtung und die

20 Heizeinrichtung separat ansteuerbar ausgebildet. Dadurch kann weitestgehend eine thermische Entkopplung des Dehnstoffelements von anderen Komponenten des Dosiersystems erreicht werden. Besonders bevorzugt können die Kühleinrichtung und die Heizeinrichtung auch gleichzeitig betrieben werden. Dadurch kann eine bestimmte Soll-Temperatur des Dehnstoffelements besonders zeiteffizient eingestellt werden, wobei ein

25 Überschießen der Temperatur verhindert werden kann. Zusätzlich kann ein geringfügiges, kontrolliertes „gegeneinander Arbeiten“ von Heizeinrichtung und Kühleinrichtung zu einer erhöhten „Steifigkeit“ bzw. Konstanz der Temperatur des Dehnstoffelements beitragen, z. B. gegenüber äußeren Störeinflüssen.

30 Zur Steuerung und/oder Regelung der Heizeinrichtung und/oder der Kühleinrichtung umfasst das Dosiersystem vorzugsweise zumindest eine Steuer- bzw. Regeleinheit. Das Dosiersystem kann einerseits mit einer externen Steuer- bzw. Regeleinheit gekoppelt sein, z. B. einer zentralen Steuereinheit zur separaten Ansteuerung einer Mehrzahl von Dosiersystemen. Eine solche zentrale Steuer- bzw. Regeleinheit könnte weitestgehend

35 softwaremäßig realisiert sein, vorzugsweise in Form einer Rechneinheit mit geeigneter

Software. Die Rechneinheit kann beispielsweise einen oder mehrere zusammenarbeitende Mikroprozessoren oder dergleichen aufweisen.

- Allerdings kann dem Dosiersystem auch eine separate „dosiersystemeigene“ Steuereinheit zugeordnet sein. Diese kann z. B. mittels einer Platine im Inneren des Gehäuses realisiert sein. Die „dosiersystemeigene“ Steuereinheit kann einerseits dazu ausgebildet sein, um den gesamten Dosierprozess eigenständig zu steuern. Dann könnte auf eine zentrale Steuer- bzw. Regeleinheit verzichtet werden.
- Andererseits kann die „dosiersystemeigene“ Steuereinheit auch dazu ausgebildet sein, um nur einzelne Prozesse des Dosiervorgangs zu steuern. Vorzugsweise kann die „dosiersystemeigene“ Steuereinheit dann als Teil-Steuereinheit einer zentralen Steuereinheit ausgebildet und signaltechnisch mit dieser gekoppelt sein. Beispielsweise kann die „dosiersystemeigene“ Steuereinheit zur Steuerung und/oder Regelung des zweiten Aktors, insbesondere des Dehnstoffelements, vorgesehen sein, also insbesondere zur Durchführung von Justageprozessen und für thermische und/oder mechanische Ausgleichsfunktionen. Demgegenüber kann die zentrale Steuereinheit die übrigen Prozesse des Dosiervorgangs steuern, z. B. die elektrische Beschaltung des Piezoaktors. Nachfolgend wird, ohne eine Beschränkung darauf, eine „dosiersystemeigene“ Steuereinheit gemäß der zweiten Variante beschrieben. Die Steuereinheit kann auch mehrere Teil-Steuereinheiten umfassen, die dann gemeinsam die Steuereinheit ausbilden können.

- Der Begriff der Steuerung wird im Rahmen der Anmeldung als Synonym für eine Steuerung und/oder Regelung verwendet. Das bedeutet, auch wenn von einer Steuerung gesprochen wird, kann die Steuerung zumindest einen Regelungsprozess umfassen. Bei einer Regelung wird im Allgemeinen eine Regelgröße (als Istwert) fortlaufend erfasst und mit einer Führungsgröße (als Sollwert) verglichen. Üblicherweise erfolgt die Regelung auf eine solche Art und Weise, dass eine Angleichung der Regelgröße an die Führungsgröße erfolgt. Das bedeutet, dass sich die Regelgröße (Istwert) im Wirkungsweg des Regelkreises fortlaufend selbst beeinflusst.

- In einem bevorzugten Verfahren zur Steuerung des Dosiersystems kann bei der Steuerung und/oder Regelung des zweiten Aktors, vorzugsweise zur Steuerung und/oder Regelung des Dehnstoffelements, bevorzugt zur Einstellung der Temperatur des Dehnstoffelements, eine Anzahl von Betriebsparametern des Dosiersystems Berücksichtigung finden.

Insbesondere zum Einstellen, d. h. zum Ermitteln und/oder Erreichen, der Adjust-Position kann zumindest einer der folgenden Betriebsparameter berücksichtigt werden:

Ein erster Betriebsparameter kann eine Temperatur des zweiten Aktors, insbesondere eine
5 Temperatur des Dehnstoffelements sein, besonders bevorzugt eine Temperatur des Dehnstoffs bzw. eines Expansionskörpers des Dehnstoffelements. Der Expansionskörper und das Dehnstoffelement werden später noch näher erläutert. Auch eine Temperatur des (ersten) Aktors und/oder eine Temperatur des Gehäuses in einem oder mehreren unterschiedlichen Gehäusebereichen können als Betriebsparameter berücksichtigt werden.

10

Zur Ermittlung der Temperatur sowie weiterer Betriebsparameter kann das Dosiersystem eine mit der Steuereinheit gekoppelte Sensoranordnung mit einer Anzahl von Sensoren umfassen. Die Messwerte der jeweiligen Sensoren können der Steuereinheit als (Mess-)Signale zugeführt werden.

15

Vorzugsweise umfasst die Sensoranordnung zumindest einen dem zweiten Aktor, insbesondere dem Dehnstoffelement, zugeordneten Temperatursensor, vorzugsweise zur Temperaturbestimmung des Dehnstoffs. Bevorzugt kann das Dosiersystem zusätzlich zumindest (jeweils) einen dem (ersten) Aktor zugeordneten Temperatursensor und/oder
20 einen dem Gehäuse zugeordneten Temperatursensor umfassen.

Ein weiterer Betriebsparameter, der in die Steuerung des Dehnstoffelements mit einbezogen werden kann, ist eine Position des Ausstoßelements im Dosiersystem. Bevorzugt kann die Position des Ausstoßelements über eine Position eines mit dem
25 Ausstoßelement gekoppelten Hebels (als Teil des Bewegungsmechanismus) bestimmt werden.

Zur Erfassung dieses Betriebsparameters umfasst die Sensoranordnung vorzugsweise wenigstens einen Positionssensor zur Bestimmung einer Position des Ausstoßelements.
30 Ein solcher Positionssensor kann z. B. mittels eines Hall-Sensors realisiert sein. Vorzugsweise kann mittels der (Mess-)Signale des Hall-Sensors auch eine Bewegung des Stößels berechnet werden. Alternativ oder zusätzlich kann die Sensoranordnung zumindest einen Bewegungssensor zur Bestimmung einer Bewegung des Ausstoßelements umfassen. Ein Bewegungssensor kann z. B. mittels eines Beschleunigungssensors
35 realisiert sein. Vorzugsweise kann mittels des Bewegungs- und/oder Positionssensors eine

Bewegung bzw. Position des Stößels in Bezug auf die Position des Sensors ermittelt werden.

Vorzugsweise kann wenigstens ein thermisch kompensierter Hall-Sensor so in einem Bereich des Gehäuses angeordnet sein, dass der Sensor mit einem Magneten im Bereich des Stößels und/oder im Bereich des Hebels zusammenwirken kann, um eine Hubbewegung des Stößels (z. B. eine vertikale Wegmessung) bei einem jeweiligen Ausstoßvorgang und/oder bei einer jeweiligen Rückzugsbewegung zu erfassen. Bevorzugt kann der Hall-Sensor auf einer gedachten vertikalen Achse mit dem Stößel (entsprechend dessen Längserstreckung) angeordnet sein. Vorzugsweise können mittels des Hall-Sensors Messdaten über den (hydraulisch) wirksamen Hub des Stößels gewonnen werden.

Ein weiterer Betriebsparameter kann eine Aktorstellung des Aktors sein, z. B. eine jeweilige Auslenkung des Aktors. Vorzugsweise kann eine an den Piezoaktor angelegte elektrische Steuerspannung der Betriebsparameter sein.

Ein weiterer Betriebsparameter kann eine Menge und/oder ein Gewicht von Dosierstoff sein, welcher Dosierstoff bei einem jeweiligen Ausstoßvorgang aus der Düse des Dosiersystems abzugeben ist bzw. abgegeben werden soll. Ein solcher die Menge und/oder das Gewicht von abgegebenem Dosierstoff repräsentierender Messwert kann z. B. in einem Wägeprozess bestimmt werden. Alternativ oder zusätzlich kann auch ein „dosiervolumenabhängiges“ Signal des abgegebenen Dosierstoffs ermittelt werden, z. B. über eine optische Auswerteeinheit der Sensoranordnung. Vorzugsweise kann auch ein Signal, z. B. ein Messwert, eines Strömungssensors für Dosierstoff als Betriebsparameter genutzt werden. Der Messwert kann z. B. mittels eines Volumenstrommessers im Bereich der Düsenöffnung ermittelt werden.

Ebenfalls kann eine im geschlossenen Zustand des Dosiersystems anliegende Dichtkraft des Ausstoßelements einen weiteren Betriebsparameter darstellen. Die entsprechenden Messwerte können mittels eines Kraftsensors im Stößel oder in der Düse oder alternativ mittels eines Kraftsensors zur Bestimmung einer Auflagekraft des ersten oder des zweiten Aktors gewonnen werden.

Als weiterer Betriebsparameter können Kalibrierdaten des Dosiersystems herangezogen werden, wobei die Kalibrierdaten vorzugsweise im Dosiersystem hinterlegt sind und von der jeweiligen Steuereinheit ausgelesen werden können.

Die Kalibrierdaten können insbesondere den Hall-Sensor und dessen Signale normieren und eine Übertragungsfunktion einer elektrischen Steuerspannung des Piezoaktors im Verhältnis zu einer jeweiligen Stößelposition in einem Arbeitspunkt normieren, d. h. in
5 einem adjustierten Zustand des Hebelsystems.

Weiterhin können Kalibrierdaten unterschiedliche Heizzonen des Dosiersystems betreffen. Beispielsweise kann eine erste Heizzone einer Dosierstoff-Kartusche zugeordnet sein, eine zweite Heizzone der Fluidikeinheit zugeordnet sein, z. B. einem Zuführkanal, und eine dritte
10 Heizzone der Düse zugeordnet sein, um den Dosierstoff in der jeweiligen Heizzone, vorzugsweise unterschiedlich, zu temperieren.

Darüber hinaus können Kalibrierdaten einen Volumenstrom eines jeweiligen Proportionalventils in Relation zu einer Ansteuerspannung des Proportionalventils bei
15 gegebenem Druck betreffen.

Vorteilhafterweise kann die Steuerung des Dehnstoffelements so erfolgen, dass zumindest die wesentlichen, vorzugsweise alle, Betriebsparameter des Dosiersystems, die einen Einfluss auf die Stößelposition und/oder den (hydraulisch) wirksamen Hub des Stößels
20 haben können, berücksichtigt werden. Dadurch kann das Dehnstoffelement gezielt so gesteuert werden, dass die Adjust-Position des Ausstoßelements im Betrieb besonders zuverlässig eingestellt werden kann. Durch das Einberechnen einer Mehrzahl von Betriebsparametern in die Steuerung kann eine weniger störanfällige bzw. robustere Ansteuerung erreicht werden, wobei die Dosiergenauigkeit weiter verbessern werden kann.

25 Um die Adjust-Position des Stößels möglichst exakt ermitteln und/oder erreichen zu können, kann vorzugsweise ein Justageprozess (Adjust-Prozess) mit einem mehrschrittigen Regelalgorithmus durchlaufen werden. Bevorzugt können die einzelnen Schritte des Regelalgorithmus von der Steuereinheit zumindest teilautomatisch,
30 vorzugsweise vollautomatisch, abgearbeitet werden.

In einem ersten Schritt kann eine im Betrieb des Dosiersystems maximal vorgesehene Auslenkung des (ersten) Aktors eingestellt werden. Es kann also eine „Schließstellung“ des Dosierventils eingestellt werden, wobei die Ausstoßspitze des Stößels in Richtung der Düse
35 bewegt wird. Bevorzugt ist während des gesamten Justageprozesses eine regelmäßige

Dosierstoffabgabe aus der Düse nicht möglich, z. B. indem ein Trigger zum Auslösen des Dosiervorgangs vorübergehend blockiert wird.

In einem zweiten Schritt kann eine „Justierungs-Starttemperatur“ des zweiten Aktors, insbesondere des Dehnstoffelements, besonders bevorzugt des Dehnstoffs, eingestellt werden. Dadurch kann sichergestellt werden, dass die Ausstoßspitze des Stößels zu diesem Zeitpunkt trotz des bereits expandierten Aktors (noch) keinen Kontakt zur Düse hat. Vorzugsweise kann das Dehnstoffelement dazu gekühlt werden. Die Justierungs-Starttemperatur kann beispielsweise einer Umgebungstemperatur des Dosiersystems entsprechen. Vorzugsweise kann die Justierungs-Starttemperatur unterhalb einer zu erwartenden (noch später definierten) „Adjust-Temperatur“ liegen.

In einem weiteren Schritt kann der zweite Aktor, insbesondere das Dehnstoffelement, besonders bevorzugt der Dehnstoff, ausgehend von der Justierungs-Starttemperatur so lange erwärmt werden, bis ein Vollkontakt zwischen der Ausstoßspitze des Stößels und der Düse erfolgt. Das bedeutet, das Dehnstoffelement wird über die Temperatur so weit ausgedehnt, dass der Stößel in Richtung der Düse geschoben wird und diese schließlich kontaktiert. Der Vollkontakt ist, wie gesagt, dann erreicht, wenn die Ausstoßspitze des Stößels im Wesentlichen vollumfänglich dem Dichtsitz der Düse anliegt, wobei die Düsenöffnung ringförmig abgedichtet wird.

Um diesen Punkt des Vollkontakts zu bestimmen, kann vorzugsweise während der Erwärmung des Dehnstoffelements ein (Justierungs-)Verhältnis zwischen der jeweiligen Temperatur des Dehnstoffelements und der jeweils damit korrespondierenden Position des Ausstoßelements ermittelt werden. Vorzugsweise kann diese Positionsänderung des Stößels in Relation zur Temperaturänderung mittels der Steuereinheit bestimmt werden. Dazu kann die Steuereinheit z. B. auf den Temperatursensor des Dehnstoffelements und den Positionssensor des Hebels, der mit dem Stößel gekoppelt ist, zugreifen und entsprechende „Temperatur-Position“-Wertepaare bilden bzw. speichern. Bevorzugt können entsprechende „Temperatur-Position“-Wertepaare während des gesamten Justageprozesses gebildet werden. Wie zuvor erläutert, kann die Position des Stößels vorzugsweise in Bezug zum Hall-Sensor bestimmt werden, z. B. kann ein Abstand zum Hall-Sensor ermittelt werden.

Bis zum Erreichen des Vollkontakts stellt sich vorzugsweise ein überwiegend lineares (erstes) (Justierungs-)Verhältnis zwischen der Temperatur des Dehnstoffelements und der

jeweiligen Stößelposition ein („ideales“ Dosiersystem). Das (Justierungs-)Verhältnis entspricht z. B. einer Steigung eines auf den o. g. Wertepaaren basierenden Funktionsgraphen. Nachdem der „Vollkontakt-Punkt“ erreicht ist, wird die Stößelspitze bei andauernder Erwärmung des Dehnstoffelements weiter gegen den Dichtsitz der Düse gedrückt.

Bei einem „idealen“ sehr steifen Dosiersystem führt eine weitere Expansion des Dehnstoffelements im Wesentlichen nur zum Aufbau bzw. zu einer Vergrößerung der Dichtkraft des Stößels gegenüber der Düse. Entsprechend wird sich die Position des Stößels gar nicht mehr bzw. nicht mehr messbar ändern, wobei die Temperatur des Dehnstoffs weiter ansteigt. Es stellt sich daher ein neues (zweites) überwiegend lineares (Justierungs-)Verhältnis ein, welches sich vorzugsweise vom ersten (Justierungs-)Verhältnis unterscheidet. Vorzugsweise kann das zweite (Justierungs-)Verhältnis einer Steigung entsprechen, welche sich von der Steigung des ersten (Justierungs-)Verhältnisses unterscheidet. In dem hier zunächst betrachteten „idealen“ sehr steifen Dosiersystem wäre die Steigung des zweiten (Justierungs-)Verhältnisses näherungsweise null. Die Stößelposition, an der sich der Übergang vom ersten zum zweiten (Justierungs-)Verhältnis vollzieht, entspricht einer Vollkontakt-Position des Stößels.

Bei einem „idealen“ nicht-steifen Dosiersystem kann die weitere Expansion des Dehnstoffelements nach dem Vollkontakt zu einer elastischen Verformung von Komponenten des Dosiersystems führen. Entsprechend kann sich die Position des Stößels nach dem Vollkontakt noch geringfügig ändern. Allerdings ist die Positionsänderung des Stößels in Relation zum Temperaturanstieg des Dehnstoffelements vorzugsweise nur noch sehr gering, insbesondere geringer als vor dem Vollkontakt. Daher stellt sich auch bei einem „idealen“ nicht-steifen Dosiersystem ein neues (zweites) überwiegend lineares (Justierungs-)Verhältnis ein. In einem solchen „idealen“ nicht-steifen Dosiersystem kann eine dem zweiten (Justierungs-)Verhältnis zugeordnete Steigung deutlich geringer bzw. flacher sein, als eine dem ersten (Justierungs-)Verhältnis zugeordnete Steigung. Anders als bei einem „idealen“ sehr steifen Dosiersystem wäre die zweite Steigung hier selbstverständlich nicht näherungsweise null. Die Stößelposition, an der sich der Übergang vom ersten zum zweiten (Justierungs-)Verhältnis vollzieht, entspricht der Vollkontakt-Position des Stößels.

- Bei einem „nicht-idealen“ bzw. „realen“ Dosiersystem kann es vorkommen, dass die Ausstoßspitze des Stößels zunächst einseitig bzw. nur bereichsweise an einen kegelförmigen Dichtsitz im Inneren der Düse anstößt. Das kann z. B. dann der Fall sein, wenn der Stößel nicht exakt mittig in der Düse bzw. nicht in einer Flucht mit der
- 5 Düsenöffnung angeordnet ist. Ein solcher Kontakt, bei dem nur ein Bereich bzw. nur ein Teil der Stößelspitze in Kontakt mit der Düse tritt, wird als „Erstkontakt“ oder „Teilkontakt“ bezeichnet. Entsprechend kann bei einem „realen“ Dosiersystem die Erwärmung des Dehnstoffelements ausgehend von der Justierungs-Starttemperatur zunächst zu einem Teilkontakt führen, welcher von einem Vollkontakt zu unterscheiden ist.
- 10 Bis zum Teilkontakt kann sich ein überwiegend lineares (erstes) (Justierungs-)Verhältnis zwischen der Temperatur des Dehnstoffelements und der jeweiligen Stößelposition einstellen.
- 15 Im Rahmen des Justageprozesses kann das Dehnstoffelement so lange weiter erwärmt werden, bis der Stößel schließlich auf Grund der fortschreitenden Expansion des Dehnstoffelements in die Düse „rutscht“, wobei der oben beschriebene Vollkontakt zwischen Stößel und Düse erreicht ist. Dieser Vorgang des „Hineinrutschens“ des Stößels in die Düse wird auch als „Shift-Prozess“ bezeichnet. Bevorzugt können weiterhin
- 20 „Temperatur-Position“-Wertepaare gebildet werden, wobei der jeweiligen Temperatur des Dehnstoffelements die jeweils damit korrespondierende Stößelposition zugeordnet wird.
- Da der Stößel nach dem Erstkontakt gegen einen gewissen Widerstand der Düse in die Vollkontakt-Position gedrückt wird, kann sich die Position des Stößels in Relation zum
- 25 Temperaturanstieg des Dehnstoffelements langsamer ändern als vor dem Erstkontakt. Es stellt sich daher ein neues (zweites) überwiegend lineares (Justierungs-)Verhältnis ein, welches sich vorzugsweise vom ersten (Justierungs-)Verhältnis unterscheidet. Die Stößelposition, an der sich der Übergang vom ersten zum zweiten (Justierungs-)Verhältnis vollzieht, entspricht einer Erstkontakt-Position des Stößels. In einem optionalen Schritt kann
- 30 die Erstkontakt-Position des Ausstoßelements ermittelt und ggf. gespeichert werden. Dieser Wert kann zusammen mit der Vollkontaktposition eine Aussage über die mechanische Güte des Systems liefern und daher im Rahmen einer Systemauswertung hilfreich sein. Weiterhin kann auch eine „Erstkontakt-Temperatur“ des Dehnstoffelements, also die Temperatur, die das Dehnstoffelement zum Zeitpunkt des Erstkontakts hat,
- 35 ermittelt und ggf. gespeichert werden.

Der Vollkontakt ist bei einem „realen“ Dosiersystem, analog zu einem „idealen“ Dosiersystem, darüber definiert, dass sich (erneut) eine Änderung des (Justierungs-)Verhältnisses einstellt. Bevorzugt kann das Dehnstoffelement nach dem Erstkontakt weiter erwärmt werden, bis sich ein neues (drittes) (Justierungs-)Verhältnis
5 einstellt. Die Stößelposition, an der sich die Änderung vom zweiten zum dritten (Justierungs-)Verhältnisses vollzieht, entspricht bei einem „realen“ Dosiersystem der Vollkontakt-Position des Stößels.

Je nach konkreter Ausgestaltung des „realen“ Dosiersystems kann die Position des Stößels
10 nach Erreichen des Vollkontakts bei andauernder Erwärmung des Dehnstoffelements im Wesentlichen konstant bleiben (sehr steifes System) oder sich noch sehr geringfügig ändern (nicht-steifes System), wie dies zuvor für die jeweiligen „idealen“ Systeme entsprechend erläutert wurde.

15 In einem nächsten Schritt kann dann die Vollkontakt-Position des Ausstoßelements ermittelt und ggf. gespeichert werden. Weiterhin kann auch eine „Vollkontakt-Temperatur“ des Dehnstoffelements, also die Temperatur, die das Dehnstoffelement zum Zeitpunkt des Vollkontakts hat, ermittelt und ggf. gespeichert werden.

20 In einem weiteren Schritt des Justageprozesses kann dann eine Adjust-Position des Ausstoßelements ermittelt und ggf. gespeichert werden, vorzugsweise auf Grundlage der zuvor ermittelten „Temperatur-Stößelposition“-Wertepaare. Weiterhin kann auch eine „Adjust-Temperatur“ des Dehnstoffelements, also die Temperatur die das Dehnstoffelement beim gewünschten Adjustpunkt hat, ermittelt und ggf. gespeichert
25 werden. Die Adjust-Position ist, wie gesagt, ein empirisch ermittelter Wert, bei dem beispielsweise eine gerade genügend hohe Dichtkraft zwischen dem Stößel und der Düse aufgebaut ist, um eine sichere Abdichtung des Systems im Betrieb zu garantieren.

Die Ermittlung der Adjust-Position und/oder der Adjust-Temperatur kann vorzugsweise
30 zumindest in Abhängigkeit der Vollkontakt-Position des Ausstoßelements und/oder in Abhängigkeit der Vollkontakt-Temperatur des Dehnstoffelements erfolgen.

Bevorzugt kann die Adjust-Position des Ausstoßelements zumindest in Abhängigkeit einer Vollkontakt-Position des Stößels und einer Steigung eines (Justierungs-)Verhältnisses
35 ermittelt werden, wobei sich das (Justierungs-)Verhältnis aus einer Positionsänderung des Stößels in Relation zu einer Temperaturänderung des Dehnstoffelements ergibt,

insbesondere bis zum Erreichen eines Erstkontakts oder bis zum Erreichen eines Vollkontakts.

Besonders bevorzugt kann die Adjust-Position des Ausstoßelements mittels der
5 nachfolgenden Gleichung berechnet werden:

$$s(AP) = s(VP) + m \cdot T(DS, FS, m) \quad (1)$$

10 Dabei sind:

$s(AP)$ = Position des Ausstoßelements in der Adjust-Position. Hierfür wird eine korrespondierende Adjust-Temperatur des Dehnstoffelements ermittelt, vorzugsweise auf Grundlage der zuvor erfassten „Temperatur-Position“-Wertepaare.

15

$s(VP)$ = Position des Ausstoßelements bei Vollkontakt und daraus ermittelt eine korrespondierende Vollkontakt-Temperatur der Dehnstoffeinheit.

$m = (\Delta s / \Delta T)$ = Steigung eines Funktionsgraphen, der auf „Stößelposition-
20 Temperatur“-Wertepaaren bis zum Erreichen eines Erstkontakts („reales“ System) oder bis zum Erreichen eines Vollkontakts („ideales System“) basiert (abhängig davon, welcher Kontakt zuerst erreicht wird).

T = benötigte Temperaturdifferenz des Dehnstoffelements, ausgehend vom
25 Vollkontakt, um eine gewünschte Dichtkraft des Stößels zu erreichen. Vorzugsweise kann ein Temperaturdifferenzwert T in Abhängigkeit einer Gesamtfedersteifigkeit FS eines Aktorsystems, in Abhängigkeit einer gewünschten Dichtkraft DS , welche z. B. in einer Firmware des Dosiersystems hinterlegt sein kann, und abhängig von der jeweils ermittelten Steigung m berechnet werden. Unter der Gesamtfedersteifigkeit FS wird eine Art mittlere
30 Federsteifigkeit eines Dosiersystems verstanden, wobei die Federsteifigkeit z. B. an mehreren Exemplaren des Dosiersystems gemessen werden und ggf. über mehrere Exemplare gemittelt werden kann.

Zusätzlich kann die Adjust-Position abhängig von einem applikationsspezifischen
35 Parameter sein, welcher in den Bestimmungsprozess mit einbezogen wird. So kann es beispielsweise vorteilhaft sein, bei einem besonders hohen Versorgungsdruck des zu

dosierenden Mediums die so auf den Stößel wirkenden Kräfte durch eine initial höhere Dichtkraft zu kompensieren und somit den Versorgungsdruck als applikationsspezifischen Parameter mit einzubeziehen.

- 5 Bei einem sehr steifen Dosiersystem sollte sich nach dem Vollkontakt die jeweilige Position des Stößels im Wesentlichen nicht mehr ändern. Daher ist $s(AP)$ im Wesentlichen gleich $s(VP)$, wobei der Unterschied durch den Term $m \cdot T$ nicht zu einer weiteren Positionsänderung, sondern nur zu einem benötigten Dichtkraftaufbau durch den Stößel führt.

10

Bevorzugt kann daher die Position des Stößels in der Adjust-Position im Wesentlichen gleich der Position des Stößels in der Vollkontakt-Position und/oder im Wesentlichen gleich der Position des Stößels in einer Ausstoß-Endposition sein, welche später noch genauer erläutert wird.

15

Bei einem nicht vollständig steifen Dosiersystem kann die spezifische Gesamtfedersteifigkeit FS bei der Bestimmung von $s(AP)$ durch den Term $m \cdot T$ berücksichtigt werden, so dass eine elastische Verformung kompensiert und in der Adjust-Position eine gewünschte Dichtkraft aufgebaut werden kann. Bevorzugt kann auch bei
20 einem nicht-steifen Dosiersystem die Position des Stößels in der Adjust-Position im Wesentlichen gleich der Position des Stößels in der Ausstoß-Endposition sein. Vorzugsweise kann die Position des Stößels in der Adjust-Position näherungsweise der Position des Stößels in der Vollkontakt-Position entsprechen.

- 25 Zusammengefasst kann die Adjust-Position des Stößels zur Einstellung einer gewünschten Dichtkraft vorzugsweise zumindest unter Berücksichtigung einer (zuvor ermittelten) Vollkontakt-Position des Stößels, einer (ersten) Steigung (über die Temperatur) des noch frei beweglichen Stößels sowie einer im System hinterlegten Gesamtfedersteifigkeit des Dosiersystems ermittelt werden. Alternativ könnte mittels eines (später noch erläuterten)
30 Kraftsensors auch direkt eine gewünschte Dichtkraft (Adjustkraft) und damit auch eine Adjust-Temperatur eingeregelt werden.

- Bevorzugt kann die Adjust-Position $s(AP)$ des Ausstoßelements über das Dehnstoffelement eingestellt werden. Besonders bevorzugt kann im Dehnstoffelement eine Adjust-
35 Temperatur eingestellt werden, um das Ausstoßelement in die Adjust-Position zu bringen. Daher kann in einem letzten optionalen Schritt des Justageprozesses das Ausstoßelement

vorzugsweise durch entsprechendes Temperieren des Dehnstoffelements auf die für den Adjustpunkt ermittelte Temperatur in die Adjust-Position gebracht werden. Dazu kann das Dehnstoffelement vorzugsweise über die Vollkontakt-Temperatur hinaus weiter erwärmt werden, bis die Adjust-Position des Ausstoßelements erreicht ist.

5

Das Erreichen bzw. Einstellen der jeweiligen Adjust-Position richtet sich nach der konkreten Ausgestaltung des Dosiersystems, wie nachfolgend erläutert wird.

Bei einem „idealen“ sehr steifen Dosiersystem kann der Vollkontakt bereits der Adjust-
10 Position des Stößels entsprechen. Wie zuvor erläutert, führt eine Erwärmung des Dehnstoffelements über die Vollkontakt-Temperatur hinaus überwiegend dazu, dass eine Dichtkraft des Stößels aufgebaut wird. Die Position des Stößels bleibt dabei jedoch im Wesentlichen konstant. Daher kann vorzugsweise die Vollkontakt-Position des Stößels der Adjust-Position des Stößels entsprechen.

15

Bei einem „idealen“ nicht-steifen, d. h. zumindest teilelastischen Dosiersystem kann sich, wie gesagt, die Position des Stößels auf Grund einer elastischen Verformung von Komponenten des Dosiersystems nach dem Vollkontakt noch geringfügig ändern. Daher kann sich ab dem Vollkontakt ein (zweites) überwiegend lineares (Justierungs-)Verhältnis
20 einstellen, welches vorzugsweise eine nur noch sehr geringe Steigung hat. Die Adjust-Position ist dann erreicht, wenn die gewünschte Dichtkraft erreicht ist.

Für ein „reales“ Dosiersystem gilt, dass hier ein Wechsel von einem zweiten zu einem dritten (Justierungs-)Verhältnis erst die Vollkontakt-Position des Stößels definiert.
25 Entsprechend kann bei einem sehr steifen „realen“ Dosiersystem die Stößelposition, an der sich der Übergang vom zweiten zum dritten (Justierungs-)Verhältnis vollzieht, der Adjust-Position des Stößels entsprechen. Vorzugsweise kann eine dem dritten (Justierungs-)Verhältnis zugeordnete Steigung dann näherungsweise null sein.

30 Demgegenüber kann bei einem nicht-steifen „realen“ Dosiersystem der Stößel gemäß einem dritten (Justierungs-)Verhältnis bzw. gemäß einer zugeordneten dritten Steigung noch geringfügig bis in die Adjust-Position bewegt werden, wobei nach dem Erreichen der Adjust-Position keine Positionsänderung mehr erfolgt, da ja das Dehnstoffelement nicht weiter expandiert wird.

35

Wie schon erläutert, kann der Stößel bei einem nicht-steifen Dosiersystem zwar nach dem Vollkontakt noch geringfügig bewegt werden, wobei auch hier nach dem Vollkontakt ein Großteil der weiteren Expansion des Dehnstoffelements zur Einstellung einer Dichtkraft des Stößels genutzt werden kann.

5

Alternativ oder zusätzlich kann in dem Justageprozess auch vorgesehen sein, dass der zweite Aktor, insbesondere das Dehnstoffelement, über die Vollkontakt-Temperatur hinaus bis zum Erreichen einer im Betrieb maximalen „Systemauslenkung“ erwärmt wird. Die maximale „Systemauslenkung“ entspricht einer im Betrieb maximal vorgesehenen Auslenkung des (ersten) Aktors und einer im Betrieb maximal vorgesehenen Expansion des Dehnstoffelements.

10

Entsprechend kann dann in dem Adjustprozess eine „System-Endkontakt“-Position des Ausstoßelements ermittelt und ggf. gespeichert werden, also die Position, die das Ausstoßelement bei einer im Betrieb maximalen Systemauslenkung hat. Weiterhin kann eine „System-Endkontakt“-Temperatur des Dehnstoffelements bestimmt und ggf. gespeichert werden, also die Temperatur, die das Dehnstoffelement bei der im Betrieb maximal vorgesehenen Systemauslenkung hat. Vorzugsweise können auch die „System-Endkontakt“-Position bzw. die „System-Endkontakt“-Temperatur auf Grundlage von „Temperatur-Stößelposition“-Wertepaaren bestimmt werden.

15

20

Die so bestimmte „System-Endkontakt“-Position des Ausstoßelements und/oder die „System-Endkontakt“-Temperatur des Dehnstoffelements können alternativ oder zusätzlich zur Vollkontakt-Position bzw. zur Vollkontakt-Temperatur bei der Ermittlung der Adjust-Position und/oder der Adjust-Temperatur berücksichtigt werden.

25

Um das Ausstoßelement von der „System-Endkontakt“-Position in die bestimmte Adjust-Position zu bringen, kann das Dehnstoffelement gegebenenfalls auch bevorzugt mittels Kühlen auf die der Adjust-Position zugeordnete Adjust-Temperatur gebracht werden.

30

Weiterhin stellt die so definierte „System-Endkontakt“-Position aber auch ein Maß für einen im Betrieb maximalen Regelbereich dar. In der „System-Endkontakt“-Position kann eine im Betrieb größtmögliche Dichtkraft erreicht werden. Vorteilhafterweise kann über eine Differenz zwischen einer bestimmten Adjust-Position und der „System-Endkontakt“-Position eine Auskunft über eine Regelreserve und damit ggf. auch über den vorhandenen Verschleiß des Dosiersystems gewonnen werden.

35

Der zuvor beschriebene Justageprozess kann einerseits vor einer erstmaligen Inbetriebnahme des Dosiersystems durchgeführt werden, z. B. um eine initiale Adjust-Position zu bestimmen. Allerdings kann der Justageprozess auch nach einer
5 vorübergehenden Unterbrechung des Dosierbetriebs (erneut) durchgeführt werden, z. B. nach dem Austausch eines Stößels. Auch eine routinemäßige Justage des Dosiersystems ist denkbar.

Vorteilhafterweise kann mittels des Dehnstoffelements im Justageprozess eine besonders
10 präzise und zugleich unkomplizierte Einstellung der Adjust-Position des Stößels vorgenommen werden. Dieser Vorgang wird auch als „thermischer Adjust“ durch das Dehnstoffelement bezeichnet. Da die Adjust-Position für jedes Dosiersystem separat bestimmt werden kann, können etwaige Fertigungstoleranzen jedes einzelnen Dosiersystems durch die Steuereinheit selbst ausgeglichen werden. Dadurch kann bei
15 Dosieranwendungen mit einer Vielzahl von Dosiersystemen ein im Wesentlichen identischer (hydraulisch) wirksamer Hub eingestellt werden, d. h. die Dosiersysteme können besonders vergleichbar dosieren.

Weiterhin vorteilhaft ist der Justageprozess vergleichsweise unkompliziert durchführbar.
20 Das Dosiersystem kann z. B. bevorzugt so ausgestaltet sein, dass der Justageprozess mittels einer Eingabe an die Steuereinheit durch einen Nutzer gestartet wird, wobei die gesamte Justage dann automatisch abläuft. Damit können einerseits die Betriebskosten des Dosiersystems reduziert werden, da die Justage nun auch durch den Nutzer selber, insbesondere auch durch ungeschultes Personal, erfolgen kann. Gleichzeitig ist aber auch
25 eine hohe Zuverlässigkeit des Justageprozesses gegeben, da menschliches Zutun – und entsprechende Fehlerquellen – weitestgehend vermieden werden können. Somit kann die Dosiergenauigkeit eines jeweiligen Dosiersystems und vor allem auch die Vergleichbarkeit der Dosierung von mehreren Dosiersystemen weiter verbessert werden.

30 Um die zuvor erläuterten Vorteile des Justageprozesses bei der Dosierung gewinnbringend nutzen zu können, wird der zweite Aktor, insbesondere das Dehnstoffelement, vorzugsweise so gesteuert und/oder geregelt, dass gerade eine Ausstoß-Endposition des Ausstoßelements im Betrieb des Dosiersystems, insbesondere bei jedem Ausstoßvorgang, einer in einem vorher durchgeführten Justageprozess ermittelten Adjust-Position entspricht.
35 Bevorzugt kann die Steuerung und/oder Regelung des Dehnstoffelements in Abhängigkeit einer tatsächlichen Ausstoß-Endposition des Stößels bei einem jeweiligen Ausstoßvorgang

und unter Berücksichtigung einer Änderung der Piezoaktor-Steuerspannung während desselben Ausstoßvorgangs bestimmt werden. Unter der „Ausstoß-Endposition“ wird die Position des Stößels verstanden, die der Stößel am Ende eines jeweiligen Ausstoßvorgangs tatsächlich hat, also bei einer im Betrieb maximal vorgesehenen Auslenkung des (ersten) Aktors. Vorzugsweise kann die Position des Stößels in der Ausstoß-Endposition im Wesentlichen gleich der Position des Stößels in der Adjust-Position sein.

Bevorzugt kann ein Regelprozess so erfolgen, dass die Ausstoß-Endposition im Betrieb auf einen konstanten Wert hin geregelt wird, insbesondere auf die Adjust-Position. Dazu kann das Dehnstoffelement so geregelt werden, dass im Dehnstoffelement eine Adjust-Temperatur, die wie erwähnt der zuvor ermittelten Adjust-Position zugeordnet ist, im Betrieb erreicht und/oder konstant gehalten wird. Vorzugsweise kann ein mit der Steuereinheit gekoppelter PID-Regler oder Fuzzy-Regler die Heizeinrichtung und/oder die Kühleinrichtung des Dehnstoffelements so ansteuern, um die Adjust-Temperatur einzustellen.

Vorteilhafterweise kann über den Regelprozess auch erreicht werden, dass im Betrieb ein gewünschter (hydraulisch) wirksamer Hub des Stößels zuverlässig erreicht und auch über einen längeren Zeitraum konstant beibehalten werden kann.

Allerdings kann die Einstellung bzw. Konstanthaltung der Adjust-Temperatur im Dehnstoffelement auch dann sinnvoll sein, wenn vorübergehend keine Dosierstoffabgabe erfolgt, z. B. wenn sich das Dosiersystem zeitweise in einem Bereitschaftsmodus (Hold-Modus) befindet. Vorzugsweise kann auch bei Stillstand des Dosiersystems mittels des PID-Reglers die Adjust-Temperatur im Dehnstoffelement konstant gehalten werden. Dadurch kann auch bei einer kurzfristigen Wiederaufnahme des Dosiervorgangs umgehend eine hohe Dosiergenauigkeit gewährleistet werden.

Um einen besonders stabilen Betrieb des Dosiersystems zu gewährleisten, kann das Dosiersystem zumindest einen Kraftsensor umfassen, welcher vorzugsweise mit der Steuereinheit signaltechnisch gekoppelt ist. Bevorzugt können Messwerte des Kraftsensors bei der Regelung des Dehnstoffelements berücksichtigt werden.

Der Kraftsensor ist vorzugsweise ausgebildet, um eine vom zweiten Aktor, insbesondere vom Dehnstoffelement, auf den (ersten) (Piezo-)Aktor ausgeübte Kraft zu ermitteln.

Insbesondere kann der Kraftsensor auch dazu ausgebildet sein, um beispielsweise mit Hilfe einer Auswerteinheit (welche auch Teil der Steuereinheit sein kann), auf Basis der Messwerte des Kraftsensors eine Dichtkraft des Stößels gegenüber der Düse zu ermitteln. Bevorzugt kann der Kraftsensor in einer „Kraftlinie“ mit dem Dehnstoffelement und dem
5 Piezoaktor angeordnet sein. Beispielsweise kann der Kraftsensor in einem Auflagepunkt bzw. Kontaktpunkt des Dehnstoffelements gegenüber dem Piezoaktor angeordnet sein.

Vorteilhafterweise kann über den Kraftsensor direkt auf eine konstante Kraft hin geregelt werden. Insbesondere kann über den Kraftsensor eine Dichtkraft des Stößels konstant
10 eingeregelt werden. Da sich die Federsteifigkeit des Gesamtsystems im Betrieb nicht ändern sollte ist dann eine lückenlose Regelung in allen Betriebsarten möglich, z. B. auch im Hold-Modus.

Um die Dosiergenauigkeit insbesondere unter schwankenden Betriebs- bzw.
15 Umweltbedingungen noch weiter zu verbessern, kann in einem bevorzugten Steuerverfahren des Dosiersystems ein mehrschrittiger Regelalgorithmus durchlaufen werden, um die Ausstoß-Endposition des Stößels besonders genau auf die gewünschte, zuvor beispielsweise wie oben beschrieben ermittelte, Adjust-Position oder indirekt auf eine bestimmte Dichtkraft hin zu regeln. Vorzugsweise können die einzelnen Schritte des
20 Regelalgorithmus von der Steuereinheit abgearbeitet werden, insbesondere vollautomatisch. Bevorzugt kann dieser Korrektur-Algorithmus im laufenden (regelmäßigen) Dosierbetrieb durchlaufen werden.

Der Regelalgorithmus kann grundsätzlich während einer jeweiligen „schließenden“ Flanke
25 und/oder während einer jeweiligen „öffnenden“ Flanke durchlaufen werden, also während eines Ausstoßvorgangs von Dosierstoff bzw. während einer Rückzugsbewegung des Stößels. Je nach Dosieranforderung können die „öffnenden“ Flanken mit etwas langsameren Geschwindigkeiten als die „schließenden“ Flanken gefahren werden, so dass bei einer jeweiligen „öffnenden“ Flanke mehr Wertepaare bei einer gegebenen Abtastrate
30 erfasst werden können, wobei die Auswertung noch präziser erfolgen kann. Daher kann die Verwendung der „öffnenden“ Flanke sogar bevorzugt sein. Zur besseren Verdeutlichung des Regelprozesses werden, sofern nicht anders erwähnt, dennoch die einzelnen Schritte nachfolgend, ohne eine Beschränkung darauf, anhand einer „schließenden“ Flanke beschrieben.

In einem ersten Schritt kann eine Ausstoß-Anfangsposition des Ausstoßelements eingestellt werden. Die Ausstoß-Anfangsposition ist dadurch gekennzeichnet, dass der (erste) Aktor nicht ausgelenkt ist, d. h. der (erste) Aktor befindet sich in einer Ruheposition. Entsprechend ist die Ausstoßspitze des Stößels so weit von der Düse beabstandet, wie dies im Betrieb möglich ist. Der Regelalgorithmus startet also vorzugsweise sobald eine Rückzugsbewegung des Stößels vollständig abgeschlossen ist bzw. unmittelbar bevor eine neue Ausstoßbewegung startet. Die Ausstoß-Anfangsposition kann z. B. über den Hall-Sensor und/oder die elektrische Steuerspannung des (ersten) Aktors, insbesondere des Piezoaktors, bestimmt werden.

10

In einem zweiten Schritt kann während eines einzigen Ausstoßvorgangs eine Auslenkung des (ersten) Aktors und/oder eine Änderung der elektrischen Steuerspannung des (ersten) Aktors in Abhängigkeit der Zeit erfasst werden. Vorzugsweise kann darüber eine Auslenkungsgeschwindigkeit des (ersten) Aktors ermittelt werden, und zwar ausgehend von der Ruheposition des Aktors bis zur (im Betrieb vorgesehenen) maximalen Auslenkung des Aktors. Bevorzugt kann die Änderung der an den (ersten) Aktor, insbesondere an den Piezoaktor, angelegten elektrischen Steuerspannung über die Zeit erfasst werden (Änderungsgeschwindigkeit der Steuerspannung).

Bevorzugt kann während desselben Ausstoßvorgangs auch die Stößelposition in Abhängigkeit der Zeit erfasst werden. Vorzugsweise kann darüber eine Stößelgeschwindigkeit ermittelt werden, und zwar ausgehend von der Ausstoß-Anfangsposition bis zum Erreichen der Ausstoß-Endposition des Stößels. Die Stößelposition kann, wie erwähnt, über den Hall-Sensor erfasst werden.

25

Vorzugsweise werden die Änderungsgeschwindigkeit der Steuerspannung des Piezoaktors und die damit korrespondierende Stößelgeschwindigkeit jeweils wiederholt zu im Wesentlichen denselben Zeitpunkten ermittelt. Bevorzugt können daher mittels der Steuereinheit regelmäßig Wertepaare („Steuerspannung-Stößelposition“-Wertepaare) über die Zeit des Ausstoßvorgangs erfasst werden, wobei die Wertepaare die jeweilige Aktor-Steuerspannung (erster Aktor) und die jeweils damit korrespondierende (zugeordnete) Stößelposition umfassen.

In einem weiteren Schritt des Regelalgorithmus kann dann ein Istwert einer Dichtstellungs-Aktorauslenkung repräsentierenden Werts ermittelt werden. Die Dichtstellungs-Aktorauslenkung kann, wie gesagt, ein Anteil der im Betrieb maximal

35

- vorgesehenen Auslenkung des ersten Aktors sein. Bevorzugt kann die Dichtstellungs-Aktorauslenkung ein Anteil einer im Betrieb maximal an den Piezoaktor (als ersten Aktor) angelegten elektrischen Steuerspannung sein. Die Dichtstellungs-Aktorauslenkung ist darüber definiert, dass das Ausstoßelement um ein bestimmtes Mindestmaß über den
- 5 Vollkontakt zwischen dem Ausstoßelement und der Düse hinaus in den Dichtsitz der Düse gedrückt wird. Die Dichtstellungs-Aktorauslenkung ist also speziell jener Anteil der Aktorauslenkung, der den Stößel in den Dichtbereich einbringt und damit eine gewünschte Dichtkraft aufbaut.
- 10 Ein Wert, der die Dichtstellungs-Aktorauslenkung repräsentiert, kann bevorzugt eine Komponente (eine Teilspannung) der an den Piezoaktor (als ersten Aktor) im Betrieb maximal angelegten elektrischen Steuerspannung sein, um eine bestimmte Dichtkraft des Stößels einzustellen. Bei einem Pneumatikaktor könnte z. B. ein allmählicher Druckaufbau in Relation zu der jeweils korrespondierenden Stößelposition erfasst werden. Die
- 15 Dichtstellungs-Aktorauslenkung könnte dann einer bestimmten Druckerhöhung entsprechen, die ausgehend vom Vollkontakt zum Aufbau der Dichtkraft noch erforderlich ist.

Das bedeutet, dass über die Bestimmung der Dichtstellungs-Aktorauslenkung, insbesondere über deren Ausmaß, ermittelt werden kann, ob der Stößel in eine gewünschte Adjust-Position bewegt wird, oder ob die Ausstoßbewegung an einer anderen Ausstoß-Endposition endet, z. B. an einem "früheren" oder „späteren“ Punkt.

Die Ermittlung des Werts, der die Dichtstellungs-Aktorauslenkung repräsentiert, kann vorzugsweise auf Grundlage der zuvor bestimmten „Steuerspannung-Stößelposition“-Wertepaare erfolgen. Vorzugsweise kann die Änderungsgeschwindigkeit der Steuerspannung des Piezoaktors (als erstem Aktor) mit der entsprechenden Stößelgeschwindigkeit verglichen werden, insbesondere über den gesamten Ausstoßvorgang hinweg. Bevorzugt kann ein Verhältnis zwischen der

25 Änderungsgeschwindigkeit der Steuerspannung und der Stößelgeschwindigkeit ermittelt werden.

Die Änderungsgeschwindigkeit der elektrischen Steuerspannung des Piezoaktors kann während des gesamten Ausstoßvorgangs im Wesentlichen konstant sein. Es sind aber

35 ebenso komplexere Ansteuerspannungsfunktionen möglich, d. h. die Steuerspannung kann während des Ausstoßvorgangs variieren. Im Falle einer konstanten

Änderungsgeschwindigkeit der elektrischen Steuerspannung des Piezoaktors kann die Auslenkungsgeschwindigkeit des Piezoaktors während unterschiedlicher Phasen des Ausstoßvorgangs variieren. Auf Grund der Kopplung zwischen dem (Piezo-)Aktor und dem Ausstoßelement, z. B. mittels eines Hebels, bilden die beiden Komponenten eine
5 „Bewegungseinheit“. Entsprechend kann auch die Stößelgeschwindigkeit während eines jeweiligen Ausstoßvorgangs unterschiedlich sein, wie nachfolgend erläutert wird.

Zu Beginn eines jeweiligen Ausstoßvorgangs kann der Stößel durch die Auslenkung des (Piezo-)Aktors anfangs mit einer ersten überwiegend konstanten Geschwindigkeit in
10 Richtung der Düse bewegt werden. Es kann sich daher ein erstes (Geschwindigkeits-)Verhältnis zwischen der Änderungsgeschwindigkeit der Piezoaktor-Steuerspannung und der Stößelgeschwindigkeit einstellen.

Bei einem „idealen“ sehr steifen Dosiersystem kann sich nach dem Vollkontakt die
15 Stößelgeschwindigkeit erheblich verlangsamen, insbesondere gegen null gehen, wobei der Stößel weiter in die Düse gedrückt wird. Das bedeutet für einen Piezoaktor, dass die elektrische Steuerspannung zwar im Wesentlichen konstant zunimmt, wobei der Stößel nicht mehr messbar bewegt wird. Auf Grund der Kopplung von Piezoaktor und Stößel ändert sich auch eine Längsausdehnung des Piezoaktors fast nicht mehr. Das bedeutet,
20 die Erhöhung der elektrischen Steuerspannung führt zu einer überwiegend konstanten Druckzunahme bzw. zu einem (mechanischen) Spannungsaufbau im Piezoaktor, worüber dann die Dichtkraft des Stößels aufgebaut werden kann.

Es kann sich daher nach dem Vollkontakt ein zweites (Geschwindigkeits-)Verhältnis
25 zwischen der Änderungsgeschwindigkeit der Steuerspannung und der Stößelgeschwindigkeit einstellen, das sich vorzugsweise vom ersten Verhältnis unterscheidet. In dem Moment bzw. an der Stößelposition, an der sich der Wechsel vom ersten zum zweiten (Geschwindigkeits-)Verhältnis vollzieht, ist die Vollkontakt-Position des Stößels erreicht. Wie bereits erläutert, kann bei einem „idealen“ sehr steifen Dosiersystem
30 vorzugsweise die Vollkontakt-Position des Stößels im Wesentlichen gleich der Ausstoß-Endposition des Stößels sein, wobei eine im Betrieb maximal vorgesehene Steuerspannung an den Piezoaktor angelegt ist.

Bei einem „idealen“ nicht-steifen Dosiersystem kann sich die Stößelgeschwindigkeit nach
35 dem Vollkontakt ebenfalls deutlich verlangsamen, wobei sich auch hier ein zweites (Geschwindigkeits-)Verhältnis einstellt. Die Stößelposition, an der sich der Wechsel vom

ersten zum zweiten (Geschwindigkeits-)Verhältnis vollzieht, entspricht der Vollkontakt-Position des Stößels. Das zweite (Geschwindigkeits-)Verhältnis entspricht hierbei einer geringfügigen Positionsänderung des Stößels aufgrund einer elastischen Verformung von Komponenten des Dosiersystems. Der Stößel kann so lange geringfügig weiter bewegt
5 werden, bis eine im Betrieb maximal vorgesehene Steuerspannung am Piezoaktor angelegt ist, wobei die Ausstoß-Endposition des Stößels erreicht ist. Das bedeutet, dass im Fall eines nicht-steifen Systems, anders als bei einem steifen System, nach dem Vollkontakt ein geringer Teil der elektrischen Spannungsänderung des Piezoaktors noch in eine Wegänderung des Stößels überführt werden kann, wobei der Großteil in die Kraftänderung
10 fließt.

Bei einem „realen“ Dosiersystem kann sich bis zu einem Erstkontakt ein erstes (Geschwindigkeits-)Verhältnis einstellen, wobei sich die Stößelgeschwindigkeit nach dem Erstkontakt aufgrund des „Shift-Prozesses“ verlangsamen kann. Die Stößelposition, an der
15 sich ein Wechsel vom ersten zum einem zweiten (Geschwindigkeits-)Verhältnis vollzieht, entspricht dann der Erstkontakt-Position des Stößels. Sobald der Stößel aufgrund der Aktorauslenkung in die Vollkontakt-Position „gerutscht“ ist, kann sich die Stößelgeschwindigkeit deutlich verlangsamen, wobei sich ein drittes (Geschwindigkeits-)Verhältnis einstellt. Die Stößelposition, an der sich ein Wechsel vom
20 zweiten zum dritten (Geschwindigkeits-)Verhältnis vollzieht, entspricht dann der Vollkontakt-Position des Stößels.

Je nach Ausgestaltung des Dosiersystems kann die Vollkontakt-Position der Ausstoß-Endposition entsprechen (steifes System). Andernfalls kann der Stößel gemäß dem dritten
25 (Geschwindigkeits-)Verhältnis noch bis in die oben definierte Ausstoß-Endposition bewegt werden.

Idealerweise kann die Ausstoß-Endposition der beabsichtigten Adjust-Position entsprechen. Die Adjust-Position kann, wie gesagt, vorzugsweise unter Berücksichtigung
30 der gewünschten Dichtkraft und der Federsteifigkeit des Dosiersystems eingestellt werden. Im Betrieb des Dosiersystems kann es aber auch vorkommen, dass eine tatsächliche Ausstoß-Endposition des Stößels von einer zuvor bestimmten Adjust-Position abweicht. Dies kann z. B. durch eine thermisch bedingte Längenänderung des Piezoaktors und/oder eine Abnutzung von beweglichen Komponenten und/oder eine Änderung einer Temperatur
35 eines Gehäuses des Dosiersystems und/oder eine Änderung einer Umgebungstemperatur des Dosiersystems verursacht sein. Entsprechend kann auch die tatsächliche

Dichtstellungs-Aktorauslenkung (als Istwert) von einem „Sollwert“ der Dichtstellungs-Aktorauslenkung (zum Erreichen der Adjust-Position) abweichen.

Zur Ermittlung des Istwerts, der die Dichtstellungs-Aktorauslenkung repräsentiert, kann der tatsächliche Anteil der Aktorauslenkung (des ersten Aktors) bestimmt werden, der den Stößel ausgehend von der Vollkontakt-Position bis zur Ausstoß-Endposition in die Düse drückt. Der Istwert des die Dichtstellungs-Aktorauslenkung repräsentierenden Werts kann sich aus einer Differenz zwischen der im Betrieb maximalen Aktorauslenkung und der Aktorauslenkung bis zum Erreichen des Vollkontakts ergeben. Bevorzugt kann der Istwert der aktuellen Dichtstellungs-Aktorauslenkung einer Spannungsdifferenz zwischen einer im Betrieb maximal an den Piezoaktor (als ersten Aktor) angelegten elektrischen Steuerspannung und der elektrischen Steuerspannung sein, die nötig ist, um den Stößel bis in die Vollkontakt-Position zu bringen.

Um die Ausstoß-Endposition im Betrieb auf eine bestimmte Adjust-Position hin zu regeln, kann in einem weiteren Schritt des Regelalgorithmus eine Differenz zwischen dem Istwert des die Dichtstellungs-Aktorauslenkung repräsentierenden Werts und einem Sollwert eines die Dichtstellungs-Aktorauslenkung repräsentierenden Werts ermittelt werden. Besonders bevorzugt kann das Dehnstoffelement in Abhängigkeit der ermittelten Differenz so geregelt werden, dass der Sollwert des die Dichtstellungs-Aktorauslenkung repräsentierenden Werts im Betrieb erreicht wird.

Dieser Sollwert des die Dichtstellungs-Aktorauslenkung repräsentierenden Werts ist vorzugsweise einer bestimmten Adjust-Position zugeordnet. Das bedeutet, dass der Stößel durch eine Regelung auf diesen Sollwert („Soll-Dichtstellungs-Aktorauslenkung“) in die gewünschte Adjust-Position bewegt werden kann. Der Sollwert kann vorzugsweise eine Spannungsdifferenz zwischen der Steuerspannung zum Erreichen der Vollkontakt-Position und der maximal im Betrieb an den (ersten) Aktor angelegten elektrischen Steuerspannung sein. Der Sollwert der Dichtstellungs-Aktorauslenkung kann werksseitig vorgegeben sein und ist vorzugsweise in der Steuereinheit hinterlegt, z. B. in einem EEPROM. Alternativ oder zusätzlich kann der Sollwert der Dichtstellungs-Aktorauslenkung auch in einem separaten Speicher, vorzugsweise einem EEPROM, des Dosiersystems abrufbereit hinterlegt sein. Der Sollwert kann z. B. ein prozentualer Wert einer im Betrieb maximal möglichen Hubbewegung des (ersten) Aktors bzw. einer Längenänderung eines kalibrierten (ersten) Aktors sein. Weiterhin könnte der Sollwert auch mittels eines Kraftwerts realisiert sein.

Bevorzugt kann die Einstellung des Sollwerts des die Dichtstellungs-Aktorauslenkung repräsentierenden Werts über die Temperatur des Dehnstoffelements erfolgen. Besonders bevorzugt kann die Temperatur des Dehnstoffelements auf eine bestimmte

5 Spannungs Differenz der Piezoaktor-Steuerspannung (als Sollwert) konstant eingeregelt werden.

Vorzugsweise kann der zweite Aktor, insbesondere das Dehnstoffelement, so gesteuert werden, dass bei einer negativen Abweichung des Istwerts vom Sollwert des die

10 Dichtstellungs-Aktorauslenkung repräsentierenden Werts eine Temperatur des zweiten Aktors, insbesondere des Dehnstoffelements, erhöht wird, um den Sollwert der Dichtstellungs-Aktorauslenkung einzustellen. Entsprechend kann bei einer positiven Abweichung des Istwerts vom Sollwert des die Dichtstellungs-Aktorauslenkung repräsentierenden Werts die Temperatur des zweiten Aktors, insbesondere des

15 Dehnstoffelements, reduziert werden, um den Sollwert der Dichtstellungs-Aktorauslenkung einzustellen.

Die jeweils aktuell benötigte Temperatur des Dehnstoffelements kann vorzugsweise mittels der zuvor eingeführten Gleichung (1) bestimmt werden.

20

Wie bereits erläutert wurde, kann der Regelprozess auch während einer jeweiligen „öffnenden“ Flanke durchlaufen werden. Entsprechend kann dann zum Regeln der Ausstoß-Endposition in einem ersten Schritt eine Ausstoß-Endposition des Ausstoßelements eingestellt werden. In einem nächsten Schritt kann eine Position des

25 Ausstoßelements in Abhängigkeit einer Auslenkung des ersten Aktors während einer Rückzugsbewegung des Ausstoßelements ermittelt werden. Besonders bevorzugt kann die Position des Ausstoßelements in Abhängigkeit einer an den ersten Aktor bzw. an den Piezoaktor angelegten elektrischen Steuerspannung bestimmt werden. Vorzugsweise können dazu wieder „Steuerspannung-Stößelposition“-Wertepaare erfasst werden, wie

30 zuvor beschrieben wurde.

In einem weiteren Schritt kann dann ein Istwert eines die Dichtstellungs-Aktorauslenkung repräsentierenden Werts ermittelt werden. Der Istwert und der Sollwert eines die Dichtstellungs-Aktorauslenkung (des ersten Aktors) repräsentierenden Werts sind

35 entsprechend so definiert, wie zuvor bei der „schließenden“ Flanke erläutert wurde.

In einem nachfolgenden Schritt kann der zweiten Aktor, bevorzugt das Dehnstoffelement, so gesteuert und/oder geregelt werden, insbesondere in Abhängigkeit einer Differenz zwischen dem Istwert des die Dichtstellungs-Aktorauslenkung repräsentierenden Werts und einem Sollwert des die Dichtstellungs-Aktorauslenkung repräsentierenden Werts, dass
5 ein Sollwert des die Dichtstellungs-Aktorauslenkung repräsentierenden Werts eingestellt wird. Die Steuerung und/oder Regelung des zweiten Aktors erfolgt vorzugsweise so, wie dies zuvor entsprechend für eine „schließende“ Flanke beschrieben wurde.

Vorzugsweise kann der beschriebene Regelprozess (die Regelung auf die Soll-
10 Dichtstellungs-Aktorauslenkung) im Betrieb des Dosiersystems in regelmäßigen Abständen durchlaufen werden, z. B. während jedes Ausstoßvorgangs des Stößels. Es ist allerdings bevorzugt, die je Ausstoßvorgang erfassten Ist-Werte der Dichtstellungs-Aktorauslenkung zunächst zu „Filtern“, z. B. um etwaige Messungenauigkeiten auszugleichen. Vorzugsweise kann ein Mittelwert und/oder ein Medianwert aus einer Anzahl von einzelnen Messwerten,
15 z. B. 10 Einzelmessungen, gebildet werden, wobei dieser Median bzw. Mittelwert dann dem Regelprozess als jeweils aktuelle Führungsgröße (Sollwert der Dichtstellungs-Aktorauslenkung) wieder zugeführt werden kann.

Vorzugsweise kann bei einem ersten Ausstoßvorgang eine Differenz zwischen dem Istwert
20 und dem Sollwert des die Dichtstellungs-Aktorauslenkung repräsentierenden Werts ermittelt werden, wobei in Abhängigkeit der Differenz eine „neue“ Adjust-Temperatur bestimmt wird, um die Adjust-Position unter den aktuellen Betriebsbedingungen einzustellen.

Bevorzugt kann die während des (ersten) Ausstoßvorgangs ermittelte „neue“ Adjust-
25 Temperatur zur Regelung des Dehnstoffelements während eines nachfolgenden (zweiten) Ausstoßvorgangs berücksichtigt werden. Das bedeutet, die Adjust-Temperatur kann im Betrieb kontinuierlich neu bestimmt werden.

Besonders bevorzugt kann die Adjust-Temperatur in Abhängigkeit einer Anzahl von
30 unmittelbar zuvor bestimmten Istwerten der Dichtstellungs-Aktorauslenkung, insbesondere nach einer „Filterung“ der Einzelwerte, kontinuierlich neu bestimmt werden.

Vorteilhafterweise kann über die Ermittlung der jeweils aktuellen Dichtstellungs-
35 Aktorauslenkung eine besonders dynamische Regelung des Dehnstoffelements erfolgen. Insbesondere kann das Dehnstoffelement so geregelt werden, dass das Ausstoßelement

bei jeder Ausstoßbewegung in die Adjust-Position gebracht wird. Vorteilhaft können dadurch verschiedene Störgrößen, wie z. B. thermische Ausdehnungseffekte des Piezoaktors, Verschleiß des Stößels und/oder der Düse etc., kompensiert werden. Insbesondere kann das Dehnstoffelement einerseits so geregelt werden, dass
5 Undichtigkeiten bei der Dosierstoffabgabe vermieden werden können. Andererseits kann über die kontinuierliche Nachregelung der Soll-Dichtstellungs-Aktorauslenkung bzw. der Adjust-Temperatur die Dosiergenauigkeit auch im Dauerbetrieb, insbesondere bei variierenden Dosieranforderungen und/oder unter stark schwankenden Umgebungsbedingungen, weiter verbessert werden.

10

Um die Adjust-Position des Stößels besonders effizient einstellen zu können, umfasst der zweiter Aktor, insbesondere das Dehnstoffelement, wie erwähnt, einen Expansionskörper sowie vorzugsweise einen damit gekoppelten verschiebbar gelagerten Überträger, z. B. einen bewegbaren Kolben.

15

Der Expansionskörper, der den Dehnstoff des Dehnstoffelements ausbildet, kann vorzugsweise ein Feststoff sein. Insbesondere kann der Expansionskörper bei den im Betrieb des Dosiersystems üblicherweise auftretenden Adjust-Temperaturen als Festkörper vorliegen. Beispielsweise kann der Expansionskörper bei Temperaturen bis zu 250°C,
20 vorzugsweise bis zu 260°C, bevorzugt bis zu 350°C als Feststoff vorliegen. Vorzugsweise hat der Expansionskörper einen thermisch bedingten hohen Ausdehnungskoeffizienten, insbesondere einen höheren Ausdehnungskoeffizienten als ein Metall oder eine Keramik eines Gehäuses des Dehnstoffelements. Beispielsweise kann der Ausdehnungskoeffizient des Expansionskörpers zumindest $23 \cdot 10^{-6}/K$, vorzugsweise zumindest $45 \cdot 10^{-6}/K$, bevorzugt
25 zumindest $100 \cdot 10^{-6}/K$, betragen. Ein geeignetes Material des Expansionskörpers kann ein Polymer sein, z. B. PEEK, PFA oder Polytetrafluorethylen.

Der Expansionskörper kann vorzugsweise in einem Gehäuse bzw. einer Kammer des Dehnstoffelements angeordnet sein, z. B. in einem Edelstahlgehäuse. Vorzugsweise kann
30 das Gehäuse nach der Art einer hermetisch verschließbaren Kammer ausgebildet sein. Das bietet den Vorteil, dass der Dehnstoff in flüssiger Form in die Kammer eingebracht werden kann und dort, insbesondere blasenfrei, zu einem Festkörper aushärten kann.

Der zweite Aktor, insbesondere das Dehnstoffelement, kann vorzugsweise in einer axialen
35 Richtung, z. B. entsprechend einer Längserstreckung des Piezoaktors, mit dem (ersten) Aktor gekoppelt sein, um den (ersten) Aktor im Gehäuse zu positionieren. Bevorzugt kann

das Dehnstoffelement im Gehäuse des Dosiersystems mit dem Piezoaktor mechanisch in Reihe geschaltet sein. Vorzugsweise kann sich das Dehnstoffelement mit zumindest einer Seite, vorzugsweise einer vom (ersten) Aktor weg weisenden Seite, am Gehäuse des Dosiersystems abstützen.

5 Vorzugsweise ist das Dehnstoffelement so ausgebildet und so im Gehäuse angeordnet, dass nur eine in Richtung des Aktors weisende Druckseite des Dehnstoffelements verschiebbar ausgebildet ist. Bevorzugt kann die Druckseite in Richtung einer Längsachse des Aktors, insbesondere des Piezoaktors, verschoben werden. Dadurch kann erreicht
10 werden, dass sich bei einer Volumenänderung des Expansionskörpers die Abmessungen des Dehnstoffelements im Wesentlichen nur in Richtung der Längsachse des Aktors ändern, wobei die lateralen Abmessungen des Dehnstoffelements überwiegend konstant bleiben ("erzwungene Expansionsrichtung"). Die Volumenänderung des Dehnstoffs kann also in eine gerichtete Hubbewegung überführt werden, um den Aktor, insbesondere den
15 Piezoaktor, vorzugsweise entsprechend seiner Längserstreckung zu verschieben.

Zur Positionierung des Aktors kann das Dehnstoffelement, insbesondere dessen Druckseite, mittels eines Überträgers mit dem Aktor gekoppelt sein. Vorzugsweise kann eine Hubbewegung des Dehnstoffelements mittels des Überträgers überwiegend
20 vollständig auf den Aktor übertragen werden, um diesen im Gehäuse zu bewegen. Die Kopplung zwischen Dehnstoffelement (Überträger) und (erstem) Aktor muss, wie eingangs gesagt, keine feste Verbindung sein. Vorzugsweise kann die Kopplung derart erfolgen, dass eine Wirkeinheit aus Dehnstoffelement und Aktor im Betrieb unter konstanter Vorspannung gehalten wird, insbesondere auch in einem nicht-ausgelenkten Zustand des (ersten) Aktors.
25 Beispielsweise könnte eine vom Aktor weg weisende Seite des Dehnstoffelements mittels einer verstellbaren Kugelkalotte gegenüber dem Gehäuse des Dosiersystems verstellbar gelagert sein.

Die Erfindung wird im Folgenden unter Hinweis auf die beigefügten Figuren anhand von
30 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 schematisch:

Figur 1 eine im Schnitt dargestellte Ansicht eines Dosiersystems gemäß einer
35 Ausführungsform der Erfindung,

Figuren 2 und 3 Teile des Dosiersystems aus Figur 1 in einer vergrößerten Ansicht,

Figuren 4 bis 6 Teile des Dosiersystems aus Figur 1 in einer nochmals vergrößerten und stark vereinfachten Ansicht,

5

Figuren 7a bis 7c Flussdiagramme von Abschnitten eines Verfahrens zur Steuerung des Dosiersystems gemäß einer Ausführungsform der Erfindung,

Figuren 8 bis 12 Darstellungen von Funktionsgraphen zur Verdeutlichung von Unterabschnitten des Verfahrens gemäß der Figuren 7a bis 7c zur Steuerung des Dosiersystems.

10

Anhand Figur 1 wird nun ein konkretes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Dosiersystems 1 beschrieben. Das Dosiersystem 1 wird hier in der üblichen bestimmungsgemäßen Lage dargestellt, z. B. im Betrieb des Dosiersystems 1. Dabei befindet sich eine Düse 60 im unteren Bereich des Dosiersystems 1, sodass die Tropfen des Mediums in einer Ausstoßrichtung R durch die Düse 60 nach unten ausgestoßen werden. Soweit im Folgenden die Begriffe unten und oben verwendet werden, beziehen sich diese Angaben daher immer auf eine solche, meist übliche Position des Dosiersystems 1. Dies schließt aber nicht aus, dass das Dosiersystem 1 in speziellen Anwendungen auch in einer anderen Position eingesetzt werden kann und die Tropfen z. B. seitlich ausgestoßen werden. Je nach Medium, Druck und genauer Konstruktion sowie Ansteuerung des gesamten Ausstoßsystems ist dies grundsätzlich auch möglich. Da der grundsätzliche Aufbau von Dosiersystemen bekannt ist, werden der besseren Übersichtlichkeit wegen hier überwiegend solche Komponenten gezeigt, die zumindest mittelbar die Erfindung betreffen.

15

20

25

Das Dosiersystem 1 umfasst als wesentliche Komponenten eine Aktoreinheit 10 sowie eine damit gekoppelte Fluidikeinheit 50. Das hier gezeigte Dosiersystem 1 umfasst weiterhin eine Dosierstoff-Kartusche 66, welche an die Fluidikeinheit 50 gekoppelt ist.

30

In dem hier gezeigten Ausführungsbeispiel sind die Aktoreinheit 10 und die Fluidikeinheit 50 nach der Art von miteinander verkoppelbaren Steckkupplungsteilen zur Ausbildung einer Schnellkupplung realisiert. Vorteilhafterweise können die Aktoreinheit 10 und die Fluidikeinheit 50 damit werkzeuglos miteinander verkuppelt werden, um so das Dosiersystem 1 auszubilden. Die Schnellkupplung umfasst eine Kupplungsmechanik 70 mit

35

einer Kupplungsfeder 71, die eine Kugel 72 konstant unter Vorspannung hält. Die Kupplungsfeder 71 und die Kugel 72 sind hier von einem (ersten) Gehäuseblock 11a umfasst und bilden einen ersten Steckkupplungsteil aus. Der erste Steckkupplungsteil umfasst weiterhin eine Heizeinrichtung 75 zur Beheizung des Dosierstoffs in der Düse 60.

5

Die Kupplungsmechanik 70 weist eine Anzahl von Kugelkalotten 74 auf (hier nur eine gezeigt), in welche die Kugel 72 zur Kopplung einrasten kann. Die Kugelkalotten 74 sind in einem zweiten Steckkupplungsteil 73 der Fluidikeinheit 50 angeordnet, wobei die Fluidikeinheit 50 von einem (zweiten) Gehäuseblock 11b umfasst ist. Zur Kopplung können
10 der erste Steckkupplungsteil und der zweite Steckkupplungsteil entlang einer (virtuellen bzw. gedachten) Steckachse ineinander gesteckt und dabei in sich miteinander verkoppelt werden. Beispielsweise kann die Fluidikeinheit 50 entgegen einer Richtung R in die Aktoreinheit 10 gesteckt werden und in einer passenden Drehstellung mit der Aktoreinheit 10 verkuppelt werden.

15

Die Kugelkalotten 74 sind so im zweiten Steckkupplungsteil 73 der Fluidikeinheit 50 angeordnet, dass verschiedene Rastposition möglich sind, d. h. es sind unterschiedliche Drehstellungen der Fluidikeinheit 50 um die Steckachse möglich. Durch die federnd vorgespannte Kugel 72 rastet der Steckkupplungsteil 73 in einer der mehreren möglichen
20 Rastpositionen ein, um so das Dosiersystem 1 auszubilden. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass die jeweiligen Baugruppen 10, 50 auch fest miteinander verbunden sein können, z. B. mittels einer Fixierschraube, um so das Gehäuse 11 mit den zwei Gehäuseblöcken 11a, 11b auszubilden.

25 In dem hier gezeigten Ausführungsbeispiel umfasst die Aktoreinheit 10 zwei innenliegende Kammern, nämlich zum einen eine Aktorkammer 12 mit einem darin befindlichen Piezoaktor 20 und zum anderen eine Aktionskammer 13, in welche ein bewegliches Ausstoßelement 51, hier ein Stößel 51, der Fluidikeinheit 50 hineinragt. Über einen Bewegungsmechanismus 14 mit einem Hebel 16, welcher von der Aktorkammer 12 in die
30 Aktionskammer 13 hineinragt, wird mittels des Piezoaktors 20 der Stößel 51 so betätigt, dass von der Fluidikeinheit 50 das zu dosierende Medium in der gewünschten Menge zum gewünschten Zeitpunkt ausgestoßen wird.

Zur Ansteuerung des Piezoaktors 20 ist dieser elektrisch bzw. signaltechnisch mit einer
35 externen Steuereinheit verbunden (nicht gezeigt). Der Piezoaktor 20 umfasst hier ein Aktor-Gehäuse 22 und einen darin hermetisch gegenüber der Umwelt eingekapselten Piezostack

21. Der Piezoaktor 20 kann sich in Längsrichtung der Aktorkammer 12 entsprechend einer Beschaltung mittels der Steuereinheit ausdehnen (expandieren) und wieder zusammenziehen. Da die grundsätzliche Funktion und Ansteuerung von Piezoaktoren bekannt ist, wird hierauf nicht weiter eingegangen.

5

Am hier oberen (von der Düse 60 weg weisenden Ende) des Piezoaktors 20 steht der Piezoaktor 20 (als erster Aktor 20) indirekt in Wirkkontakt mit einem Dehnstoffelement 30 (als zweitem Aktor 30). Das Dehnstoffelement 30 umfasst hier ein Gehäuse 31, welches einen zylinderförmigen Expansionskörper 32 von fünf Seiten einfasst (im Querschnitt von
10 drei Seiten). Das Gehäuse 31 ist so ausgebildet, dass eine thermische Expansions-Bewegung des Expansionskörpers 32 überwiegend in Richtung des Piezoaktors 20 gelenkt wird.

An der Seite, an der der Expansionskörper 32 nicht von der Kammer 31 begrenzt ist, grenzt
15 der Dehnstoffkörper 32 an einen Überträger 35 an. Der Überträger 35 ist bewegbar im Gehäuse 31 des Dehnstoffelements 30 gelagert und kann in Richtung einer Längserstreckung des Piezoaktors 20 verschoben werden. An einer hier unteren Seite des Überträger-Kolbens 35 grenzt dieser an den Piezoaktor 20 an bzw. liegt einer Außenseite des Aktor-Gehäuses 22 direkt auf. Das bedeutet, der Expansionskörper 32, der Überträger
20 35 und der Piezoaktor 20 stehen so in Wirkkontakt miteinander, dass ein Hub des Expansionskörpers 32 überwiegend vollständig zur Positionierung des Piezoaktors 20 genutzt werden kann. Der Piezoaktor 20 kann mittels des Dehnstoffelements 30 also nach „oben“ bzw. nach „unten“ bewegt werden, was im Wesentlichen einer Ausstoßrichtung R des Dosierstoffs aus der Düse entspricht.

25

Ein Nennhub einer solchen Anordnung, also ein Ausmaß einer möglichen Verschiebung des Piezoaktors 20, hängt insbesondere vom verwendeten Durchmesser des Dehnstoffelements 30 und dem darin eingeschlossenen Dehnstoffvolumen, sowie vom verwendbaren Temperaturbereich und den jeweiligen Ausdehnungskoeffizienten des
30 umgebenden Gehäuses 31, welches z. B. aus Metall oder Keramik ausgebildet sein kann, und des Dehnstoffelementes 30 ab. Für thermische Kompensationsmaßnahmen ist dabei eine Auslegung für einen Nennhub im Bereich eines Piezoaktor-Nennhubes oder kleiner sinnvoll, was wenigen Mikrometern bis hin zu einigen hundertstel Millimetern entsprechen kann. Für die hier beschriebene Kombination aus thermischem Adjust und thermischer
35 Kompensation ist ein Nennhub des Dehnstoffelements 30 von wenigstens 10 µm,

bevorzugt von wenigstens 50 µm und besonders bevorzugt von wenigstens 100 µm vorgesehen.

Zur Steuerung der Ausdehnlänge des Expansionskörpers 32 umfasst das
5 Dehnstoffelement 30 eine Heizeinrichtung 33. Dies wird besonders in Figur 2 deutlich. Die Heizeinrichtung 33 ist hier eine Heizfolie 33, die auf einer Außenseite des Gehäuses 31 des Dehnstoffelements 30 aufliegt. An der Außenseite des Gehäuses 31 ist weiterhin ein Temperatursensor 83 zur Bestimmung einer Temperatur des Dehnstoffelements 30 angeordnet. Zur Ansteuerung ist das Dehnstoffelement 30, insbesondere die
10 Heizeinrichtung 33, mittels Anschlusskabeln 81 mit einer „dosiersystemeigenen“ Steuereinheit 80 (Figur 1) verbunden.

Die „dosiersystemeigene“ Steuereinheit 80 ist hier (Figur 1) als Teil-Steuereinheit einer zentralen externen Steuereinheit (nicht gezeigt) realisiert und ist mittels Anschlusskabeln
15 81 signaltechnisch mit dieser gekoppelt. Die Teil-Steuereinheit 80 kann z. B. mittels einer Platine 80 im Gehäuse 11 des Dosiersystems 1 realisiert sein. Die „dosiersystemeigene“ Steuereinheit 80 ist dazu ausgebildet, um das Dehnstoffelement 30 im Betrieb zu steuern, also insbesondere die Heizeinrichtung 33 und eine Kühleinrichtung 40 mit entsprechenden Steuersignalen zu beaufschlagen, um eine gewünschte Expansion
20 des Expansionskörpers 32 einzustellen.

Das Dosiersystem 1 aus Figur 1 umfasst weiterhin eine Kühleinrichtung 40, wobei die Kühleinrichtung 40 ausgebildet ist, um das Dehnstoffelement 30 und den Piezoaktor 20 separat zu kühlen. Zwar umfasst die Kühleinrichtung 40 hier einige Komponenten, die
25 gemeinsam zur Kühlung des Dehnstoffelements 30 und des Piezoaktors 20 genutzt werden. Dazu zählt u. a. eine Koppelstelle 41, z. B. ein Anschluss für eine externe Kühlmedium-Zuführung, ein sich daran anschließender Zuströmkanal 42 für Kühlmedium und eine Kühlmediumabführung 46.

Allerdings umfasst die Kühleinrichtung 40 zwei separate Proportionalventile 43, 44, die von
30 der Steuereinheit 80 separat ansteuerbar sind. Das dem Dehnstoffelement 30 zugeordnete Proportionalventil 43 ist mittels einer separaten Bohrung 42' mit einem Kühlbereich 34 verbunden. Der Kühlbereich 34 umgibt das Dehnstoffelement 30 hier ringförmig und ist ausschließlich zur Kühlung des Dehnstoffelements 30 vorgesehen. Der Kühlbereich 34
35 kann über das Proportionalventil 43 und die Bohrung 42' mit Kühlmedium, z. B.

komprimierter und/oder gekühlter Luft, geflutet werden, um das Dehnstoffelement 30 bedarfsgerecht zu kühlen.

Mittels des zweiten Proportionalventils 44 kann die Kühlung des Piezoaktors 20 separat
5 gesteuert werden, wobei der Aktorkammer 12 über einen Zuströmkanal 42'' Kühlmedium
zugeführt werden kann. Die Kühlung des Dehnstoffelements 30 und des Piezoaktors 20 ist
hier also weitestgehend thermisch entkoppelt. Das Kühlmedium kann über einen jeweils
separaten Ausströmkanal (hier nicht gezeigt) aus dem Kühlbereich 34 bzw. aus der
Aktorkammer 12 abgeführt werden und dann über einen gemeinsam genutzten
10 Ausströmkanal 45 und eine Koppelstelle 46 für eine Kühlmediumabführung wieder aus dem
Dosiersystem 1 ausströmen.

Um den Piezoaktor 20 im Betrieb mittels des Dehnstoffelements 30 in gewünschter Weise
positionieren zu können, wird eine Wirkeinheit aus Dehnstoffelement 30 und Piezoaktor 20
15 zur Kopplung unter konstanter Vorspannung gehalten. Dazu umfasst das Dehnstoffelement
30 ein Zentrierelement 36, welches dem Dehnstoffelement 30 hier oben aufgelagert ist
(Figur 1). Das Zentrierelement 36 ist gegenüber dem Gehäuse 11 des Dosiersystems 1
abgestützt und ist dazu ausgebildet, um einen bestimmten Druck auf das Dehnstoffelement
30 und damit auch auf den Piezoaktor 20 auszuüben. Der Piezoaktor 20 ist an seinem
20 unteren Ende über ein Druckstück 23 einem Hebel 16 des Bewegungsmechanismus 14
aufgelagert.

Der Hebel 16 des Bewegungsmechanismus 14, der zur Übertragung der Aktorbewegung
auf das Ausstoßelement 51 dient, liegt einem Hebellager 18 am unteren Ende der
25 Aktorkammer 12 auf und ist über dieses Hebellager 18 um eine Kippachse K verkippbar.
Ein Hebelarm des Hebels 16 ragt durch einen Durchbruch 15 in die Aktionskammer 13
hinein. Der Durchbruch 15 verbindet also die Aktionskammer 13 mit der Aktorkammer 12.

In der Aktionskammer 13 weist der Hebelarm eine in Richtung zum Stößel 51 weisende
30 Kontaktfläche 17 auf, welche auf eine Kontaktfläche 54 eines Stößelkopfs 53 drückt (Figur
3). In Figur 1 wird deutlich, dass der Kontakt zwischen Piezoaktor 20 und Hebel 16 in einem
Bereich zwischen dem Hebellager 18 und der zum Stößel 51 weisenden Kontaktfläche 17
des Hebels 16 erfolgt, wobei diese Kontaktstelle dem Hebellager 18 näher liegt als der
Kontaktfläche 17, um ein gewünschtes Übersetzungsverhältnis zu erreichen, bei dem eine
35 kleine Bewegung des Aktors 20 eine größere Bewegung des Ausstoßelements 51 bewirkt.
In dem in Figur 3 gezeigten Ausführungsbeispiel ist vorgesehen, dass die Kontaktfläche 17

des Hebels 16 permanent in Kontakt mit der Kontaktfläche 54 des Stößelkopfs 53 ist, indem eine Stößelfeder 55 den Stößelkopf 53 von unten gegen den Hebel 16 drückt. Die Stößelfeder 55 ist hier nach unten auf einem Stößelzentrierstück 56 abgestützt.

- 5 Der Hebel 16 liegt dem Stößel 51 zwar auf. Allerdings besteht keine feste Verbindung zwischen den beiden Komponenten 16, 51. Grundsätzlich wäre es aber auch möglich, dass in einer Ausgangs- bzw. Ruhelage der Stößelfeder 55 ein Abstand zwischen Stößel 51 und Hebel 16 vorhanden ist. Um eine nahezu konstante Vorspannung des Antriebssystems (Hebel-Piezoaktor-Bewegungssystem) zu ermöglichen, wird der Hebel 16 an dem Ende, an
10 dem er mit dem Stößel 51 in Kontakt kommt, durch eine Aktorfeder 19 nach oben gedrückt (Figur 3).

- Zur Positions- und/oder Bewegungsmessung des Stößels 51 ist hier an einer vom Stößel 51 weg weisenden Oberseite des Hebels 16 ein Magnet 85 angeordnet, der mit einem Hall-
15 Sensor 84 im Gehäuse des Dosiersystems zusammenwirkt (Figur 3). Der Hall-Sensor 84 und der Magnet 85 sind hier auf einer gedachten vertikalen Achse entsprechend der Längserstreckung des Stößels 51 angeordnet. Mittels dieser Anordnung 84, 85 kann eine überwiegend vertikale Hubbewegung des Hebels 16 erfasst werden, wobei darüber auch eine Position bzw. Bewegung des Stößels 51 bestimmt werden kann.

20

- In Figur 1 wird deutlich, dass die Stößelfeder 55 einem Stößellager 57 aufgelagert ist, an welches sich nach unten eine Stößeldichtung 58 anschließt. Die Stößelfeder 55 drückt den Stößelkopf 53 vom Stößellager 57 in axialer Richtung nach oben weg. Somit wird auch eine Stößelspitze 52 von einem Dichtsitz 63 der Düse 60 weggedrückt. D. h. ohne äußeren
25 Druck von oben auf die Kontaktfläche 54 des Stößelkopfs 53 befindet sich in der Ruhelage der Stößelfeder 55 die Stößelspitze 52 in einem Abstand vom Dichtsitz 63 der Düse 60. Somit ist im Ruhezustand (nicht expandierten Zustand) des Piezoaktors 20 auch eine Düsenöffnung 61 unverschlossen.

- 30 Die Zuführung des Dosierstoffs zur Düse 60 erfolgt über eine Düsenkammer 62 zu der ein Zuführkanal 64 führt. Der Zuführkanal 64 mündet an seinem anderen Ende in die Dosierstoff-Kartusche 66, wobei die Kartusche 66 über eine Koppelstelle 65 direkt am Gehäuse 11 befestigt ist, hier am zweiten Gehäuseteil 11b. Die Dosierstoff-Kartusche 66 ist mittels einer Kartuschen-Halterung 67 am Dosiersystem 1 lösbar fixiert und weist am
35 hier oberen Ende eine Druckluft-Zuführung 68 auf, z. B. um einen bestimmten Druck des Dosierstoffs in der Dosierstoff-Kartusche 66 einzustellen.

Die Fluidikeinheit 50 weist weiterhin ein Anschlusskabel 69 auf, um eine Heizeinrichtung (nicht gezeigt) der Fluidikeinheit 50 anzusteuern. Darüber kann der Dosierstoff in der Fluidikeinheit 50 separat temperiert werden, z. B. anders als in der Düse 60. Vorzugsweise
5 kann das Dosiersystem 1 mehrere unterschiedlich temperierbare Heizzonen für den Dosierstoff umfassen, wobei eine erste Heizzone der Düse 60, eine zweite Heizzone der Fluidikeinheit 50 und eine dritte Heizzone der Kartusche 66 zugeordnet sein kann.

In den Figuren 4 bis 6 sind schematisch die wesentlichen Schritte eines Justageprozesses
10 zum Einstellen einer Adjust-Position des Stößels gezeigt. Die gezeigten Teile des Dosiersystems entsprechen dem aus Figur 1, sind jedoch stark vereinfacht und vergrößert dargestellt. Bei dem hier dargestellten Dosiersystem handelt es sich um ein „reales“ System, wobei die Abstände zwischen den einzelnen Komponenten des Dosiersystems und deren Bewegungen während der Justage zur Verdeutlichung stark
15 vergrößert gezeigt sind.

In Figur 4 ist ein Beginn des Justageprozesses gezeigt. Zunächst wird der Piezoaktor 20 (als erster Aktor 20) so angesteuert, dass eine im Betrieb des Dosiersystems maximal vorgesehene elektrische Steuerspannung am Piezoaktor 20 anliegt, d. h. der Piezoaktor 20
20 ist vollständig expandiert. Wie bereits erläutert, liegt der Piezoaktor 20 dem Hebel 16 auf, welcher wiederum an seinem anderen Ende mit dem Stößel 51 in Kontakt steht. In einem nächsten Schritt wird eine Justierungs-Starttemperatur im Dehnstoffelement 30 (als zweitem Aktor 30) eingestellt. Dazu kann das Dehnstoffelement 30 auf eine bestimmte Temperatur gekühlt werden, so dass sich das Dehnstoffelement 30 zumindest geringfügig
25 kontrahiert, sollte es in einem erwärmten Zustand sein. Der Piezoaktor 20 ist hingegen nach wie vor expandiert. Da der Piezoaktor 20 und der Stößel 51 eine Bewegungseinheit bilden, kann der Stößel 51 in Folge der Kontraktion des Dehnstoffelements 30 entsprechend einer Aufwärtsrichtung RS' geringfügig von der Düse 60 weg bewegt werden, wobei dieser Vorgang hier zur Verdeutlichung, wie gesagt, stark vergrößert dargestellt ist. Entsprechend
30 stellt sich zwischen der Stößelspitze 52 und dem Dichtsitz 63 ein Abstand a ein.

In einem nachfolgenden Schritt (Figur 5) wird das Dehnstoffelement 30 ausgehend von der Justierungs-Starttemperatur erwärmt. Die thermisch bedingte Expansion des Dehnstoffelements 30 wird über den Piezoaktor 20 und den Hebel 16 auf den Stößel 51
35 übertragen, wobei der Stößel 51 in einer Abwärtsrichtung RS in Richtung der Düse 60 bewegt wird.

In Figur 5 ist konkret der Moment eines Erstkontakts gezeigt, wobei hier nur ein linker Bereich der Stößelspitze 52 den Dichtsitz 63 der Düse 60 erstmalig kontaktiert. Die Düsenöffnung 61 ist noch nicht durch den Stößel 51 verschlossen. Daher entspricht die hier
5 gezeigt Stößelposition einer Erstkontakt-Position des Stößels 51 und nicht einem Vollkontakt. Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass in Figuren 4 bis 6 ein „reales“ Dosiersystem gezeigt ist. Im Unterschied dazu kann bei einem „idealen“ Dosiersystems der Erstkontakt (Figur 5) entfallen, wobei der Stößel 51 direkt in die Vollkontakt-Position bewegt wird (Figur 6). D. h., der Erstkontakt entspricht dann bereits
10 dem Vollkontakt.

In Figur 6 ist der Stößel 51 schließlich in einer Vollkontakt-Position angeordnet. Dazu wird das Dehnstoffelement 30 nach dem Erstkontakt noch so lange weiter erwärmt bis der Stößel 51 im Wesentlichen entsprechend der Abwärtsrichtung RS in die Düse 60 „rutscht“,
15 wobei der Vollkontakt erreicht ist. Ausgehend vom Erstkontakt (Figur 5) „rutscht“ die Stößelspitze 52 entlang eines hier linken Teils des kegelförmigen Dichtsitzes 63 bis die Stößelspitze 52 schließlich die Düsenöffnung 61 ringförmig abdichtet (Vollkontakt). Der Piezoaktor 20 ist nach wie vor expandiert. Die hier gezeigte Vollkontakt-Position des Stößels 51 kann - je nach Ausgestaltung des Dosiersystems - der Adjust-Position des
20 Stößels 51 entsprechen, wobei in der Adjust-Position zusätzlich noch eine bestimmte Dichtkraft durch den Stößel auf den Dichtsitz 63 ausgeübt wird.

Weitere Einzelheiten des Justageprozesses ergeben sich auch aus den Figuren 7a-c bis 9.

25 In Figur 7a ist ein erster Abschnitt eines Steuerverfahrens zur Steuerung eines Dosiersystems gemäß einer Ausführungsform der Erfindung gezeigt. Der hier gezeigte Verfahrensabschnitt 7 kann dazu genutzt werden, um in einem Justageprozess bzw. Adjust-Prozess die Adjust-Position des Stößels einzustellen. Vorzugsweise kann der Justageprozess nach einer erstmaligen Initiierung vollautomatisch ablaufen, z. B. indem die
30 einzelnen Verfahrensschritte durch die „dosiersystemeigene“ Steuereinheit abgearbeitet werden. Der Adjust-Prozess wird nachfolgend (Figuren 7 bis 9) anhand eines „idealen“ nicht-steifen Dosiersystems beschrieben. Das bedeutet, ein Vollkontakt zwischen Stößel und Düse wird ohne vorherigen Erstkontakt erreicht.

35 In einem ersten Schritt 7-I. des Verfahrensabschnitts 7 wird der Justageprozess gestartet, z. B. mittels einer Eingabe an die „dosiersystemeigene“ Steuereinheit oder an eine zentrale

Steuereinheit. In Schritt 7-II. wird zunächst eine im Betrieb maximale Auslenkung des Piezoaktors eingestellt bzw. eine im Betrieb maximal vorgesehene elektrische Steuerspannung an den Piezoaktor angelegt. Gleichzeitig wird ein Trigger zur Dosierstoffabgabe für die Dauer des Adjust-Prozesses blockiert. In Schritt 7-III. wird im
5 Dehnstoffelement eine Justierungs-Starttemperatur eingestellt, z. B. mittels Kühlung. In Schritt 7-IV. wird das Dehnstoffelement dann ausgehend von der Justierungs-Starttemperatur kontinuierlich erwärmt.

Während der Aufheizung des Dehnstoffelements erfolgt eine Messung der Stößelposition
10 in Relation zur Temperatur des Dehnstoffelements (Schritt 7-V.). Es werden stetig „Temperatur-Stößelposition“-Wertepaare gebildet und gespeichert (Schritt 7-VI.). In regelmäßigen Abständen wird auf Grundlage der Wertepaare geprüft, ob bereits ein Vollkontakt zwischen Stößel und Düse detektiert wurde (Schritt 7-VII.). Sofern noch kein Vollkontakt detektiert wurde, werden gemäß dem iterativen Schritt 7-i. weiterhin Wertepaare
15 erfasst. Der iterative Schritt 7-i. wird so oft durchlaufen, bis ein Vollkontakt detektiert wird.

Die Ermittlung des Vollkontakts erfolgt in dem Verfahrensunterabschnitt 7-D. Hierzu ist schematisch in Figur 8 ein Funktionsgraph der Änderung der Stößelposition S (in μm) in Relation zum Anstieg der Temperatur T (in $^{\circ}\text{C}$) des Dehnstoffelements gezeigt. Die
20 Stößelposition S kann z. B. über einen Abstand zwischen Stößelkopf und Hall-Sensor ermittelt werden. Es ist erkennbar, dass sich ausgehend von der Justierungs-Starttemperatur (hier im Ursprung des Koordinatenkreuzes) zunächst ein überwiegend lineares (Justierungs-)Verhältnis zwischen Stößelposition S und Temperatur T des Dehnstoffelements einstellt. Das Verhältnis ist hier als Gerade mit einer Steigung m_1
25 dargestellt, wobei sich die Gerade aus den zuvor erfassten „Temperatur-Stößelposition“-Wertepaaren ergibt.

Sobald ein Vollkontakt zwischen Stößel und Düse erfolgt ist, und der Stößel in die Düse gepresst wird, ändert sich die Stößelposition S trotz kontinuierlichem Temperaturanstieg T
30 langsamer als vor dem Vollkontakt. Daher stellt sich ein neues Verhältnis zwischen Stößelposition S und Temperatur T ein, das hier als Gerade mit einer flacheren Steigung m_2 dargestellt ist. Die Stößelposition S_1 , bei der die Steigung der Gerade von m_1 nach m_2 wechselt, entspricht der Vollkontakt-Position S_1 des Stößels. Die flache Steigung m_2 ergibt sich aus einer geringfügigen Stößelbewegung durch eine elastische Verformung von
35 Komponenten des Dosiersystems, wobei die Steigung m_2 ein Maß für die Federsteifigkeit

des Systems sein kann. Der Vollkontakt-Position S_1 ist hier eine Vollkontakt-Temperatur T_1 zugeordnet.

Die Dauer bis zum Erreichen des Vollkontakts kann z. B. in etwa 1 Minute betragen. Es ist
5 auch denkbar das Dehnstoffelement dynamisch zu beheizen, um so den Vollkontakt
schneller zu erreichen. Beispielsweise kann das Dehnstoffelement in verschiedenen
Phasen unterschiedlich stark beheizt werden, wobei dann eine mittlere Steigung m_1 erfasst
werden kann. Diese Kalibrierung könnte auch herstellerseitig erfolgen und im Dosiersystem
hinterlegt sein.

10

Sobald der Vollkontakt in Schritt 7-VII. detektiert wird, wird die Vollkontakt-Position S_1 des
Stößels in Schritt 7-VIII. gespeichert (Figur 7a).

In Schritt 7-IX. kann dann die Steigung m_1 (Figur 8) bis zum Erreichen des Vollkontakts
15 bestimmt werden, vorzugsweise in Abhängigkeit der zuvor ermittelten „Temperatur-
Position“-Wertepaare. In Schritt 7-X. kann dann die Federsteifigkeit des Dosiersystems
ermittelt werden, z. B. indem die werksseitig im Dosiersystem hinterlegten Kalibrierdaten
ausgelesen werden. In Schritt 7-XI. kann schließlich die Adjust-Position des Stößels
berechnet werden, insbesondere unter Berücksichtigung der Vollkontakt-Position (S_1), der
20 Steigung m_1 (beides Figur 8) und der Federsteifigkeit des Gesamtsystems. Die Berechnung
der Adjust-Position ist z. B. mit der bereits zuvor eingeführten Gleichung (1) möglich.
Weiterhin kann in Schritt 7-XI. eine Adjust-Temperatur, die der Adjust-Position zugeordnet
ist, ermittelt werden.

25 Die Ermittlung der Adjust-Position im Verfahrensunterabschnitt 7-E ist in Figur 9
schematisch anhand eines Funktionsgraphen der Änderung der Stößelposition S (in μm) in
Relation zum Anstieg der Temperatur T (in $^{\circ}\text{C}$) des Dehnstoffelements gezeigt. Die Adjust-
Position (S_2) des Stößels weicht hier geringfügig von der Vollkontakt-Position (S_1) des
Stößels ab. Der Grund ist, dass die Adjust-Position (S_2) hier für ein nicht-steifes
30 Dosiersystems gezeigt ist, wobei nach dem Vollkontakt (S_1) noch eine geringfügige
Stößelbewegung entsprechend der Steigung m_2 erfolgt. Um trotz der geringfügigen
Stößelbewegung in der Adjust-Position (S_2) eine bestimmte Dichtkraft aufzubauen, kann
die Federsteifigkeit des Dosiersystems bei der Berechnung der Adjust-Position (S_2)
entsprechend berücksichtigt werden. Der Adjust-Position (S_2) ist eine Adjust-Temperatur
35 (T_2) des Dehnstoffelements zugeordnet. Die Adjust-Position (S_2) entspricht hier gleichzeitig
auch einer Ausstoß-Endposition (S_3) des Stößels.

Anders als hier gezeigt, kann die Adjust-Position S_2 des Stößels bei einem sehr steifen „idealen“ Dosiersystem im Wesentlichen der Vollkontakt-Position S_1 entsprechen, d. h. die Vollkontakt-Position (S_1), die Adjust-Position (S_2) und die Ausstoß-Endposition (S_3) fallen dann im Wesentlichen zusammen.

In Schritt 7-XII. werden die Adjust-Position und die zugeordnete Adjust-Temperatur gespeichert (Figur 7a). Es wird dann an die Steuereinheit gemeldet, dass der Justageprozess beendet ist (Schritt 7-XIII.). Damit kann die Blockade des Triggers der Dosierstoffabgabe aufgehoben werden. In Schritt 7-XIV. erfolgt schließlich eine Abfrage des Betriebsmodus des Dosiersystems, d. h. es wird entschieden, ob das Dosiersystem in einen Bereitschaftsmodus wechseln soll (Sprungmarke A.) oder in den Dosierungsprozess wechseln soll (Sprungmarke B.).

In Figur 7b ist ein weiterer Abschnitt des Steuerverfahrens zur Steuerung des Dosiersystems gemäß einer Ausführungsform der Erfindung gezeigt. Der hier gezeigte Verfahrensabschnitt 8 schließt sich direkt an die Sprungmarke A. aus Figur 7a an. Der Verfahrensabschnitt 8 wird also durchgeführt, sofern die Abfrage des Betriebsmodus in Schritt 7-XIV. (Figur 7a) einen Wechsel des Dosiersystems in den Hold-Modus ergeben hat.

Im ersten Schritt 8-I. (Figur 7b) wird die in einem zuvor durchgeführten Justageprozess bestimmte Adjust-Temperatur abgerufen. Die Adjust-Temperatur wird an einen PID-Regler oder Fuzzy-Regler des Dosiersystems übermittelt (Schritt 8-II.). Mittels des PID-Reglers kann das Dehnstoffelement gekühlt werden (Schritt 8-III.) oder beheizt werden (Schritt 8-IV.), um die Adjust-Temperatur im Dehnstoffelement einzustellen (Schritt 8-V.). In Schritt 8-VI. wird über das Dehnstoffelement die gewünschte Aktorposition bzw. Stößelposition im Dosiersystem eingestellt. Der Verfahrensabschnitt 8 endet an der Sprungmarke C. Daran schließt sich in Figur 7a erneut die Abfrage des Betriebsmodus an (Schritt 7-XIV.).

In Figur 7c ist ein weiterer Abschnitt des Steuerverfahrens zur Steuerung des Dosiersystems gezeigt. Der hier gezeigte Verfahrensabschnitt 9 schließt sich direkt an die Sprungmarke B. aus Figur 7a an. Der Verfahrensabschnitt 9 wird also durchgeführt, sofern die Abfrage des Betriebsmodus in Schritt 7-XIV. (Figur 7a) einen Wechsel des Dosiersystems in den „aktiven“ Dosiermodus ergeben hat.

In einem ersten Schritt 9-I. (Figur 7c) wird die aktuell an den Piezoaktor angelegte elektrische Steuerspannung ermittelt. In Schritt 9-II. wird ermittelt, ob die aktuelle Steuerspannung einer Ruhespannung des Piezoaktors entspricht, wobei sich der Piezoaktor in einer Ruhestellung befindet, also nicht expandiert ist. Sofern die aktuelle Steuerspannung nicht der Ruhespannung entspricht, d. h. der Piezoaktor ist zumindest teilweise expandiert, wird entsprechend des iterativen Prozessschritts 9-iii. erneut die aktuelle Betriebsspannung des Piezoaktors gemessen. Der iterative Prozessschritt 9-iii. wird so oft durchlaufen, bis die aktuelle Steuerspannung der Ruhespannung des Piezoaktors entspricht (Schritt 9-II.), d. h. so lange bis sich der Stößel in der Ausstoß-Anfangsposition befindet.

In Schritt 9-III. wird ausgehend von der Ausstoß-Anfangsposition während eines einzigen Ausstoßvorgangs die zeitliche Änderung der elektrischen Aktorspannung und die mit der jeweiligen Aktorspannung korrespondierende Stößelposition gemessen. Vorzugsweise werden dazu „Steuerspannung-Stößelposition“-Wertepaare über die Zeit gebildet. In Schritt 9-IV. wird die aktuell an den Piezoaktor angelegte elektrische Steuerspannung ermittelt. Sofern die Steuerspannung noch nicht einer im Betrieb maximal vorgesehenen Steuerspannung (Expansionsspannung) entspricht, werden gemäß dem iterativen Schritt 9-iv. weiterhin Wertepaare gebildet. Der iterative Schritt 9-iv. wird so lange durchlaufen, bis die aktuelle Steuerspannung der Expansionsspannung des Piezoaktors entspricht (Schritt 9-IV.), d. h. der Stößel befindet sich in der Ausstoß-Endposition. In Schritt 9-V. erfolgt die Ermittlung der Dichtstellungs-Aktorauslenkung, z. B. auf Grundlage der gebildeten „Steuerspannung-Stößelposition“-Wertepaare. Weitere Details dazu bzw. zum Verfahrensunterabschnitt 9-G werden nachfolgend anhand der Figuren 10 bis 12 erläutert.

Alternativ oder zusätzlich ist es auch möglich, den zuvor beschriebenen Prozess, insbesondere die Erfassung von „Steuerspannung-Stößelposition“-Wertepaaren über die Zeit, bei einer öffnenden Flanke durchzuführen. Dies kann den Vorteil haben, dass die öffnende Flanke langsamer abläuft als die schließende Flanke, wobei eine noch höhere Messgenauigkeit erreicht werden kann. Bei dieser Variante kann der iterative Teilschritt 9-iii. so lange durchlaufen werden, bis eine im Betrieb maximal vorgesehenen Steuerspannung (Expansionsspannung) am Piezoaktor anliegt, wobei der Piezoaktor seine im Betrieb größtmögliche Auslenkung erreicht (Schritt 9-II.). In Schritt 9-III. wird dann ausgehend von der Ausstoß-Endposition des Stößels während einer einzigen Rückzugsbewegung des Stößels die zeitliche Änderung der elektrischen Aktorspannung und die mit der jeweiligen Aktorspannung korrespondierende Stößelposition gemessen.

Vorzugsweise werden dazu „Steuerspannung-Stößelposition“-Wertepaare über die Zeit gebildet. In Schritt 9-IV. wird die aktuell an den Piezoaktor angelegte elektrische Steuerspannung ermittelt. Sofern die Steuerspannung noch nicht der Ruhespannung des Piezoaktors entspricht, werden gemäß dem iterativen Schritt 9-iv. weiterhin Wertepaare
5 gebildet. Der iterative Schritt 9-iv. wird so lange durchlaufen, bis die aktuelle Steuerspannung der Ruhespannung des Piezoaktors entspricht (Schritt 9-IV.), d. h. der Stößel befindet sich in der Ausstoß-Anfangsposition. In Schritt 9-V. erfolgt die Ermittlung der Dichtstellungs-Aktorauslenkung, z. B. auf Grundlage der gebildeten „Steuerspannung-Stößelposition“-Wertepaare.

10

Nachfolgend wird der Verfahrensunterabschnitt 9-G separat für die unterschiedlichen Typen von Dosiersystemen beschrieben. In Figur 10 ist der Verfahrensunterabschnitt 9-G für ein „ideales“ sehr steifes Dosiersystems gezeigt. Im hier oberen Teil ist schematisch ein Funktionsgraph des zeitlichen Verlaufs der an den Piezoaktor angelegten elektrischen
15 Steuerspannung U (in V) über die Zeit t (in willkürlichen Einheiten) gezeigt. Im hier unteren Teil von Figur 10 ist für denselben Zeitraum die mit der Steuerspannung (U) korrespondierende Stößelposition S (in μm) gezeigt.

Zu Beginn der Aufzeichnung ist eine Spannung U_1 an den Piezoaktor angelegt, was der
20 Expansionsspannung des Piezoaktors entspricht, d. h. der Piezoaktor ist zunächst expandiert. Entsprechend ist der Stößel im selben Zeitraum in der Ausstoß-Endposition S_3 angeordnet, welche hier gleichzeitig der Vollkontakt-Position S_1 und der Adjust-Position S_2 entspricht. In Folge einer Reduzierung der Steuerspannung U entfernt sich zum Zeitpunkt t_0 der Stößel von der Düse und gibt damit die Düsenöffnung frei. Im Zeitpunkt t_1
25 entspricht die Steuerspannung U_2 der Ruhespannung des Piezoaktors, d. h. der Piezoaktor ist nicht mehr expandiert. Entsprechend befindet sich der Stößel vorübergehend in der Ausstoß-Anfangsposition S_5 . Der Regelalgorithmus zum Einregeln der Ausstoß-Endposition S_3 auf die Adjust-Position S_2 kann, wie gesagt, während einer jeweiligen öffnenden und/oder schließenden Flanke erfolgen. Nachfolgend wird der Regelprozess
30 während einer schließenden Flanke beschrieben, also beginnend im Zeitpunkt t_2 .

Im Zeitpunkt t_2 , d. h. zu Beginn des Ausstoßvorgangs, wird eine elektrische Steuerspannung U an den Piezoaktor angelegt. Die Steuerspannung U wird kontinuierlich erhöht, wobei sich ein überwiegend lineares Verhältnis zwischen Steuerspannung U und
35 Zeit t ausbildet (oberer Teil von Figur 10; Zeitpunkt t_2 bis t_4). Mit dem Anlegen der Steuerspannung U im Zeitpunkt t_2 wird der Stößel durch den sich expandierenden

Piezoaktor wieder in Richtung der Düse ausgelenkt. Es stellt sich im Zeitraum t_2 bis t_3 zunächst eine erste überwiegend konstante Stößelgeschwindigkeit ein (entspricht $m1'$). Entsprechend bildet sich ein erstes (Geschwindigkeits-)Verhältnis zwischen der Änderung der Steuerspannung U des Piezoaktors und der daraus resultierenden Stößelgeschwindigkeit aus.

Im Zeitpunkt t_3 verlangsamt sich die Stößelgeschwindigkeit schlagartig, wobei sich eine neue Stößelgeschwindigkeit (entspricht $m4'$) einstellt. In diesem Fall geht die Stößelgeschwindigkeit nach t_3 gegen null. Im Zeitpunkt t_3 liegt eine elektrische Spannung U_3 am Piezoaktor an. Da die Steuerspannung des Piezoaktors jedoch auch nach dem Zeitpunkt t_3 bzw. über U_3 hinaus weiter kontinuierlich zunimmt, stellt sich ein neues (Geschwindigkeits-)Verhältnis zwischen der Änderung der Steuerspannung und der Stößelgeschwindigkeit ein. Der Zeitpunkt t_3 bzw. die Stößelposition S_1' , S_2' , S_3 an der sich der Wechsel des (Geschwindigkeits-)Verhältnisses vollzieht, entspricht hier der Vollkontakt-Position S_1' des Stößels. Da es sich hierbei um ein „ideales“ und sehr steifes Dosiersystem handelt, entspricht die Vollkontakt-Position S_1' bereits der Ausstoß-Endposition S_3 und auch der Adjust-Position S_2' des Stößels.

Die elektrische Steuerspannung U des Piezoaktors wird über U_3 hinaus weiter erhöht, bis im Zeitpunkt t_4 schließlich wieder die Expansionsspannung U_1 am Piezoaktor anliegt.

Auf Grundlage der so bestimmten Vollkontakt-Position S_1 und der dieser Position S_1 zugeordneten elektrischen Steuerspannung U_3 des Piezoaktors kann dann ein Istwert eines die Dichtstellungs-Aktorauslenkung repräsentierenden Werts bestimmt werden. In diesem Fall entspricht der Wert, der die Dichtstellungs-Aktorauslenkung repräsentiert, einer Spannungsdifferenz ΔU_1 zwischen der im Betrieb maximal an den Piezoaktor angelegten elektrischen Steuerspannung U_1 und der Steuerspannung U_3 die nötig ist, um den Stößel bis in die Vollkontakt-Position S_1 zu bringen. Die so bestimmte Dichtstellungs-Aktorauslenkung ΔU_1 , also hier die Spannungsdifferenz ΔU_1 der an den Piezoaktor angelegten Steuerspannung, bewirkt, dass ab dem Zeitpunkt t_3 eine Dichtkraft des Stößels gegenüber der Düse aufgebaut wird. D. h., die Spannungsdifferenz ΔU_1 wird hier im Wesentlichen vollständig in eine Dichtkraft des Stößels umgesetzt. Demgegenüber wird der restliche Anteil der an den Piezoaktor angelegten Steuerspannung, also die Differenz zwischen U_3 und U_2 , in eine Bewegung des Stößels umgesetzt, wobei hier ein (hydraulisch) wirksamer Hub H_1 bewirkt wird.

In Figur 11 ist der Verfahrensunterabschnitt 9-G für ein „ideales“ nicht steifes Dosiersystem gezeigt. Analog zu Figur 10 ist im hier oberen Teil wieder schematisch ein Funktionsgraph des zeitlichen Verlaufs der an den Piezoaktor angelegten elektrischen Steuerspannung U (in V) über die Zeit t (in willkürlichen Einheiten) gezeigt, wobei im unteren Teil für denselben
5 Zeitraum die mit der Steuerspannung (U) korrespondierende Stößelposition S (in μm) gezeigt ist.

Bei Figur 11 wird die Ermittlung der Dichtstellungs-Aktorauslenkung anhand einer öffnenden Flanke beschrieben. Zu Beginn der Aufzeichnung liegt wieder eine
10 Expansionsspannung U_1 am Piezoaktor an. Im Zeitpunkt t_0 wird die elektrische Steuerspannung reduziert, wobei ein im Piezoaktor durch die Expansion aufgebauter Druck langsam zu sinken beginnt. Das bedeutet, in diesem Zeitraum (t_0 bis t_1) wird zunächst überwiegend nur die Dichtkraft abgebaut, die der Stößel gegenüber der Düse ausübt. Die elektrische Steuerspannung U wird in diesem Zeitraum (t_0 bis t_1) von U_1 auf U_3 reduziert,
15 wobei die Differenz aus U_1 und U_3 hier der Dichtstellung-Aktorauslenkung ΔU_2 entspricht.

Im Zeitraum t_0 bis t_1 erfolgt neben dem Abbau der Dichtkraft auch eine geringfügige Stößelbewegung, wobei der Stößel ausgehend von der Ausstoß-Endposition S_3 bzw. der Adjust-Position S_2 langsam in die Vollkontakt-Position S_1 bewegt wird. Diese geringfügige
20 Stößelbewegung entsprechend der Steigung m_2' ist durch eine elastische (reversible) Verformung von Komponenten des Dosiersystems verursacht. Der kontinuierlich nachlassende Aktordruck führt dazu, dass sich die während eines vorherigen Ausstoßvorgangs komprimierten Komponenten, z. B. der Fluidikeinheit, „entspannen“ bzw. „zurückformen“ und wieder entsprechend einer nicht-komprimierten (Soll-)Anordnung
25 ausrichten können. Entsprechend kann der Stößel in diesem Zeitraum von der Ausstoß-Endposition S_3 in die Vollkontakt-Position S_1 zurückkehren, wobei die Steuerspannung U von U_1 und U_3 reduziert wird.

Die Differenz ΔU_2 dieser beiden Spannungswerte U_1 , U_3 (Dichtstellung-Aktorauslenkung)
30 kann also auch bei einem derartigen nicht-steifen Dosiersystem größtenteils zum Aufbau von Dichtkraft genutzt werden, wobei ein geringer Anteil der Dichtstellung-Aktorauslenkung in eine elastische Verformung von Komponenten des Dosiersystems umgesetzt wird (anders als bei dem vollständig steifen Dosiersystem aus Figur 10).

35 Um dennoch eine bestimmte Dichtkraft zu erreichen, kann die Federsteifigkeit des Gesamtsystems bei der Berechnung der Adjust-Position S_2 entsprechend berücksichtigt

bzw. kompensiert werden (z. B. nach Gleichung 1). Dazu kann beispielsweise die Dichtstellungs-Aktorauslenkung ΔU_2 entsprechend vergrößert werden, wobei wiederum der (hydraulisch) wirksame Hub H_2 verringert werden kann.

5 Im Zeitraum t_1 bis t_2 ändert sich die Stößelposition dann schneller als zuvor entsprechend einer Steigung $m1'$. Auf Grund der nachlassenden Aktorspannung U und durch ein Federsystem des Dosiersystems wird der Piezoaktor in seiner Längsausdehnung kontrahiert, wobei der Stößel von der Vollkontakt-Position S_1 wieder in die Ausstoß-Anfangsposition S_5 bewegt wird. Im Zeitpunkt t_3 wird die Steuerspannung U des
10 Piezoaktors wieder erhöht, wobei der Stößel wieder in Richtung Düse ausgelenkt wird und im Zeitpunkt t_4 zunächst die Vollkontakt-Position S_1 und unter Aufbau einer bestimmten Dichtkraft und einer geringfügigen Bewegung des Stößels schließlich im Zeitpunkt t_5 die Ausstoß-Endposition S_3 erreicht ist, welche im eingeregelter Zustand des Dosiersystems der Adjust-Position S_2 des Stößels entspricht.

15

In Figur 12 wird der Verfahrensunterabschnitt 9-G zur Verdeutlichung nun für ein „reales“ nicht-steifes Dosiersystem anhand einer schließenden Flanke gezeigt, wobei der grundsätzliche Aufbau von Figur 12 dem der Figuren 10 und 11 entspricht (zeitlicher Verlauf der elektrischen Steuerspannung U oben; mit der Steuerspannung U korrespondierende
20 Stößelposition S unten). Ausgehend von der Ausstoß-Anfangsposition S_5 des Stößels führt eine kontinuierliche Erhöhung der an den Piezoaktor angelegten elektrischen Steuerspannung U dazu, dass der Stößel mit einer ersten Geschwindigkeit (entspricht $m1'$) in Richtung der Düse bewegt wird (Zeitraum t_4 bis t_5). Im Zeitpunkt t_5 verlangsamt sich die Stößelgeschwindigkeit (entsprechend $m3'$), wobei die Steuerspannung weiter kontinuierlich
25 erhöht wird. Entsprechend stellt sich bei t_5 ein neues (Geschwindigkeits-)Verhältnis zwischen der Änderung der Steuerspannung U des Piezoaktors und der daraus resultierenden Stößelgeschwindigkeit ein. Der Grund für die Verlangsamung des Stößels im Zeitpunkt t_5 ist ein Erstkontakt zwischen Stößel und Düse, wobei S_4 der Erstkontakt-Position entspricht.

30

Der Stößel wird über S_4 hinaus gegen einen gewissen Widerstand der Düse weiter in Richtung der Düse ausgelenkt, bis der Stößel im Zeitpunkt t_6 vollständig in die Düse „gerutscht“ ist und damit der Vollkontakt erreicht ist (S_1). Die Steigung $m3'$ repräsentiert also das „Hineinrutschen“ des Stößels in diese Düse, insbesondere in die Vollkontakt-
35 Position S_1 . Um den Stößel von der Ausstoß-Anfangsposition S_5 bis in die Vollkontakt-

Position S_1 zu bewegen ist eine elektrische Steuerspannung ΔU_4 erforderlich, welche sich aus einer Differenz zwischen U_3 und U_2 (Ruhespannung) des Piezoaktors ergibt.

Die Steuerspannungsdifferenz ΔU_4 ist ein Teil der im Betrieb maximal an den Piezoaktor angelegten Steuerspannung U_1 , wobei ΔU_4 überwiegend vollständig in den (hydraulisch) wirksamen Hub H_3 des Stößels umgesetzt wird (und daher im Wesentlichen nicht zum Aufbau von Dichtkraft führt). Der (hydraulisch) wirksame Hub H_3 entspricht auch hier der Stößelbewegung von der Ausstoß-Anfangsposition S_5 bis zur Vollkontakt-Position S_1 .

Bei Vollkontakt (Zeitpunkt t_6) wechselt das (Geschwindigkeits-)Verhältnis erneut und der Stößel wird nur noch sehr geringfügig (entsprechend m_2') bis in eine Ausstoß-Endposition S_3 bewegt (Zeitpunkt t_7). Die Steigung m_2' wird, wie anhand Figur 11 erläutert, durch eine geringfügige elastische Verformung von Komponenten des Dosiersystems verursacht. Im Übrigen wird im Zeitraum t_6 bis t_7 über die Dichtstellungs-Aktorauslenkung ΔU_3 überwiegend eine Dichtkraft des Stößels aufgebaut.

Auf Grundlage der jeweils ermittelten tatsächlichen Dichtstellungs-Aktorauslenkung (Istwert ΔU_1 , ΔU_2 , ΔU_3 , nachfolgend nur ΔU) kann dann in einem Schritt 9-VI. (Figur 7c) über einen Abgleich mit einem Sollwert des die Dichtstellungs-Aktorauslenkung repräsentierenden Werts ermittelt werden, ob die aktuelle Dichtstellungs-Aktorauslenkung (hier die Spannungsdifferenz ΔU der Steuerspannung) geringer ist als der Sollwert. Wenn die Abfrage ergibt, dass der Sollwert unterschritten wird, dann wird gemäß Schritt 9-VII. eine Temperatur des Dehnstoffelements erhöht, so dass der Sollwert der Dichtstellungs-Aktorauslenkung (hier eine bestimmte Soll-Spannungsdifferenz) erreicht wird.

Sofern der Sollwert nicht unterschritten wird (Schritt 9-VI.), wird in Schritt 9-VIII. geprüft, ob die aktuelle Dichtstellungs-Aktorauslenkung (hier die Spannungsdifferenz ΔU der Steuerspannung) den Sollwert übersteigt. Gegebenenfalls wird dann in Schritt 9-IX. die Temperatur des Dehnstoffelements reduziert, um den Sollwert der Dichtstellungs-Aktorauslenkung einzustellen. Sofern gar keine Abweichung des Istwerts (ΔU) der Dichtstellungs-Aktorauslenkung vom Sollwert erkannt wird, wird ohne eine Regelung des Dehnstoffelements direkt zur Sprungmarke C. gewechselt. An die Sprungmarke C. schließt sich erneut die Abfrage des Betriebsmodus an (Figur 7a; Schritt 7-XIV.).

Es wird abschließend noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei den vorhergehend detailliert beschriebenen Dosiersystemen bzw. Steuerverfahren für Dosiersysteme

- lediglich um Ausführungsbeispiele handelt, welche vom Fachmann in verschiedenster Weise modifiziert werden können, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen. So müssen z. B. bei dem erläuterten Steuerverfahren nicht immer zwingend alle Verfahrensschritte durchlaufen werden bzw. die Verfahrensschritte könnten auch in einer
- 5 anderen Reihenfolge abgearbeitet werden. Weiterhin kann der Regelalgorithmus auch während der jeweils anderen, im Rahmen der Anmeldung nicht beschriebenen „öffnenden“ bzw. „schließenden“ Flanke durchlaufen werden. Weiterhin schließt die Verwendung der unbestimmten Artikel „ein“ bzw. „eine“ nicht aus, dass die betreffenden Merkmale auch mehrfach vorhanden sein können.

Bezugszeichenliste

- 5 1 Dosiersystem
- 10 Aktoreinheit
- 11 Gehäuse
- 11a, 11b Gehäuseblock / Komponenten des Gehäuses
- 12 Aktorkammer
- 10 13 Aktionskammer
- 14 Bewegungsmechanismus
- 15 Durchbruch
- 16 Hebel
- 17 Kontaktfläche Hebel
- 15 18 Hebellager
- 19 Aktorfeder
- 20 erster Aktor / Piezoaktor
- 21 Piezostack
- 22 Piezoaktor-Gehäuse
- 20 23 Drückstück
- 30 zweiter Aktor / Dehnstoffelement
- 31 Gehäuse (Dehnstoffelement)
- 32 Expansionskörper
- 33 Heizeinrichtung (Dehnstoffelement)
- 25 34 Kühlbereich/Kühlkammer (Dehnstoffelement)
- 35 Kolben
- 36 Zentrierelement
- 40 Kühleinrichtung
- 41 Koppelstelle Kühlmediumzuführung
- 30 42, 42', 42'' Zuströmkanal (Kühlmedium)
- 43 Proportionalventil (Dehnstoffelement)
- 44 Proportionalventil (Piezoaktor)
- 45 Ausströmkanal (Kühlmedium)
- 46 Koppelstelle Kühlmediumabführung
- 35 50 Fluidikeinheit
- 51 Ausstoßelement / Stößel

- 52 Stößelspitze
- 53 Stößelkopf
- 54 Kontaktfläche Stößel
- 55 Stößelfeder
- 5 56 Stößelzentrierstück
- 57 Stößellager
- 58 Stößeldichtung
- 60 Düse
- 61 Austrittsöffnung
- 10 62 Düsenkammer
- 63 Dichtsitz
- 64 Zuführkanal
- 65 Reservoir-Schnittstelle
- 66 Medium-Kartusche
- 15 67 Kartuschen-Halterung
- 68 Druckluft-Zuführung Kartusche
- 69 Anschlusskabel
- 70 Kupplungsmechanik
- 71 Kupplungsfeder
- 20 72 Kugel
- 73 Steckkupplungsteil
- 74 Kugelkalotte
- 75 Heizeinrichtung (Düse)
- 80 Steuereinheit (Dosiersystem)
- 25 81 Steuereinheit-Anschlusskabel
- 82 Temperatursensor (Medium)
- 83 Temperatursensor (Dehnstoffelement)
- 84 Hall-Sensor
- 85 Magnet
- 30
- 7 Erster Verfahrensabschnitt
- 7-I. bis 7-XIV. Verfahrensschritte (Erster Verfahrensabschnitt)
- 7-i. Iterativer Verfahrensschritt (Erster Verfahrensabschnitt)
- 7-D, 7-E Verfahrensunterabschnitte (Erster Verfahrensabschnitt)
- 35 8 Zweiter Verfahrensabschnitt
- 8-I. bis 8-VI. Verfahrensschritte (Zweiter Verfahrensabschnitt)

9 Dritter Verfahrensabschnitt

9-I. bis 9-IX. Verfahrensschritte (Dritter Verfahrensabschnitt)

9-iii., 9-iv. Iterative Verfahrensschritte (Dritter Verfahrensabschnitt)

9-G Verfahrensunterabschnitt (Dritter Verfahrensabschnitt)

5

a Abstand (Stößelspitze : Düse)

m1, m2 Verhältnis (Stößelposition : Temperatur)

m1', m2', m3', m4' Verhältnis (Stößelposition : Zeit)

K Kippachse

10 H₁, H₂, H₃ (Hydraulisch) wirksamer Hub

R Ausstoßrichtung

RS, RS' Bewegungsrichtung Stößel

S₁, S_{1'}, S₂, S_{2'}, S₃, S₄, S₅ Stößelpositiont₀ - t₄ Zeitpunkte15 t_{0'} - t_{5'} Zeitpunktet_{0''} - t_{7''} ZeitpunkteT₁, T₂ Temperatur (Dehnstoffelement)U₁, U₂, U₃ Spannung (Piezoaktor)ΔU, ΔU₁, ΔU₂, ΔU₃, ΔU₄ Spannungsdifferenz / Istwert