

(19)



(11)

EP 2 719 459 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
16.04.2014 Patentblatt 2014/16

(51) Int Cl.:
B01L 3/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13004877.0**

(22) Anmeldetag: **10.10.2013**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(71) Anmelder: **Fütterer, Claus**
04317 Leipzig (DE)

(72) Erfinder: **Fütterer, Claus**
04317 Leipzig (DE)

(74) Vertreter: **DTS München**
St.-Anna-Strasse 15
80538 München (DE)

(30) Priorität: **10.10.2012 DE 102012019819**

(54) **Verfahren und eine Vorrichtung zur Steuerung des Drucks in einem Mikro- oder Mesofluidik-Kanal**

(57) Verfahren zur Steuerung des Drucks in einem Mikro- oder Mesofluidik-Kanal (2) mittels eines ersten (10) und mindestens eines zweiten Ventils (20), wobei das erste Ventil (10) einen ersten einstellbaren Ventilöffnungsgrad und das mindestens zweite Ventil (20) einen mindestens zweiten einstellbaren Ventilöffnungsgrad aufweist, umfassend die Schritte:

- Ansteuern des ersten Ventils (10) zum Einstellen des ersten Ventilöffnungsgrades,
- Ansteuern des mindestens zweiten Ventils (20) zum

Einstellen des mindestens zweiten Ventilöffnungsgrades,

dadurch gekennzeichnet, dass das Ansteuern eines der Ventile (10, 20) automatisch und in Abhängigkeit von dem Ansteuern eines anderen der Ventile (10, 20) erfolgt.

Vorrichtung, welche eingerichtet ist, ein solches Verfahren durchzuführen.

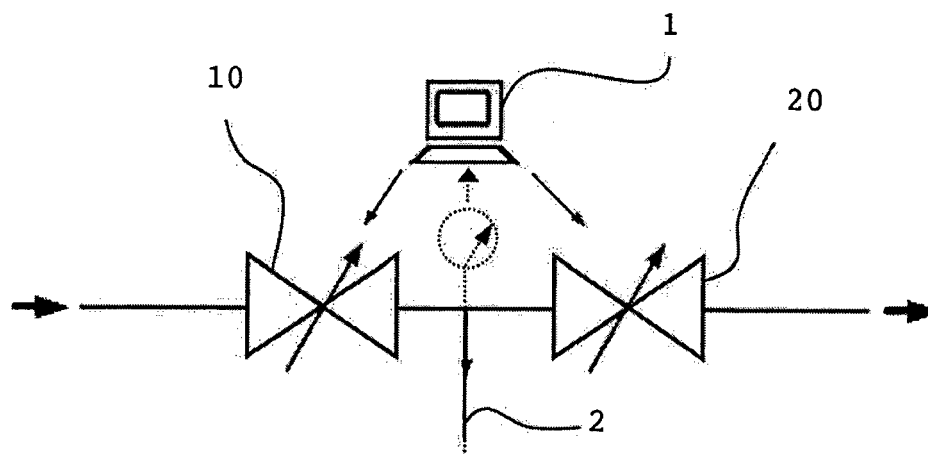


Fig. 1

EP 2 719 459 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Steuerung des Drucks in einem Mikro- oder Mesofluidik-Kanal.

[0002] Im Stand der Technik existiert ein Mikrofluidikalsystem gemäß der WO 2004/103566. Der Druck wird durch ein Druckteilersystem erzeugt, in dem zwei Ventile in Serie geschaltet sind.

[0003] Nachteilig am Stand der Technik ist, dass dort ein hoher Gasverbrauch vorliegt und ein schlechtes Antwortverhalten der Druckänderung auf eine Änderung einer Ventilöffnung.

[0004] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die Nachteile des Stands der Technik zu verbessern. Insbesondere sollen bestmögliche Regelungseigenschaften erreicht werden.

[0005] Die Aufgabe wird durch die unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen definiert.

[0006] Insbesondere wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur Steuerung des Drucks in einem Mikro- oder Mesofluidik-Kanal (2) mittels eines ersten (10) und mindestens eines zweiten Ventils (20), wobei bevorzugt das erste Ventil (10) einen ersten einstellbaren Ventilöffnungsgrad und bevorzugt das mindestens zweite Ventil (20) einen mindestens zweiten einstellbaren Ventilöffnungsgrad aufweist, umfassend die Schritte:

- Ansteuern des ersten Ventils (10) bevorzugt zum Einstellen des ersten Ventilöffnungsgrades,
- Ansteuern des mindestens zweiten Ventils (20) bevorzugt zum Einstellen des mindestens zweiten Ventilöffnungsgrades, dadurch gekennzeichnet, dass das Ansteuern eines der Ventile (10, 20) automatisch und in Abhängigkeit von dem Ansteuern eines anderen der Ventile (10, 20) erfolgt.

[0007] Die Aufgabe wird weiterhin insbesondere gelöst durch eine Vorrichtung (1) zur Steuerung des Drucks in einem Mikro- oder Mesofluidik-Kanal (2) mittels eines ersten (10) und mindestens eines zweiten Ventils (20), wobei bevorzugt das erste Ventil (10) einen ersten einstellbaren Ventilöffnungsgrad und bevorzugt das mindestens zweite Ventil (20) einen mindestens zweiten einstellbaren Ventilöffnungsgrad aufweist, wobei die Vorrichtung (1) eingerichtet ist zum:

- Ansteuern des ersten Ventils (10) bevorzugt zum Einstellen des ersten Ventilöffnungsgrades,
- Ansteuern des mindestens zweiten Ventils (20) bevorzugt zum Einstellen des mindestens zweiten Ventilöffnungsgrades, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung (1) weiterhin eingerichtet ist das Ansteuern eines der Ventile (10, 20) automatisch und in Abhängigkeit von dem Ansteuern eines anderen

der Ventile (10, 20) durchzuführen.

[0008] Durch diese Lösungen ist aufgrund der gegenseitigen Abhängigkeit des Ansteuerns der Ventile eine Berücksichtigung und direkte Beeinflussung der Druckänderungsdynamik sowie des Durchflusses auf optimale Werte möglich.

[0009] Ein Mikro- oder Mesofluidik-Kanal ist bevorzugt ein kleiner Behälter (Mikro: Durchmesser/Breite des Behälters ist kleiner als 1 mm; Meso: Durchmesser/Breite beträgt wenige Millimeter, ca. 1 bis 10 mm), in welchem der Druck reproduzierbar steuerbar ist und so eine reproduzierbare Bewegung und Positionierung von Objekten in dem Kanal, z. B. von Zellen oder Moleküle, möglich ist. Im Folgenden wird immer auch ein Mesofluidik-Kanal bzw. Mesokanal als erwähnt verstanden, auch wenn nur ein Mikrofluidik-Kanal bzw. Mikrokanal erwähnt ist. Bevorzugt bewegt sich das Fluid im Mikrokanal als, bevorzugt ausschließlich, laminare Strömung.

[0010] Das erste Ventil und das zweite Ventil sind bevorzugt Proportionalventile, die bevorzugt elektrisch oder durch Druck(-luft) und bevorzugt per Recheneinheit steuerbar sind. An das erste Ventil ist bevorzugt eine Druckquelle (z. B. Druckluft) anschließbar oder angeschlossen, an das zweite Ventil bevorzugt eine Drucksenke (z. B. Atmosphärendruck oder ein Vakuum bzw. eine Vakuumpumpe), bevorzugt ist zumindest der am ersten Ventil anliegende Druck höher als der am zweiten Ventil anliegende Druck. Das erste Ventil und das zweite Ventil sind bevorzugt mittels einer Leitung in Serie geschaltet und bilden einen Druckteiler bzw. ein Druckteilersystem, ähnlich einem elektrischen Spannungsteiler mit zwei Widerständen, wobei der Mikrokanal zwischen den Ventilen über eine fluidbezogene (pneumatische und/oder hydraulische) Verbindung anliegt. Bevorzugt sind mehr als zwei Ventile vorhanden und diese sind bevorzugt ebenfalls in Reihe geschaltet und bilden einen Druckteiler mit verschiedenen Angriffspunkten für Mikrokanäle. Besonders bevorzugt sind mehrere Druckteiler aus zwei oder mehr Ventilen parallel geschaltet, so dass mittels einer Druckquelle und -senke mindestens zwei Mikrokanäle an das System aus Druckteilern anschließbar sind. Bevorzugt arbeitet der aus den Ventilen gebildete Druckteiler mit Fluid, besonders bevorzugt Gas, besonders bevorzugt mit einer Flüssigkeit. Im Folgenden wird in diesbezüglich nicht einschränkender Weise von einem Betreiben mit einem Gas ausgegangen.

[0011] Der einstellbare Ventilöffnungsgrad ist bevorzugt eine Größe (größer oder gleich 0) für den einstellbaren Öffnungszustand des jeweiligen Ventils. Der Ventilöffnungsgrad ist bevorzugt ein prozentualer Wert im Bereich von 0% (Ventil geschlossen) und 100% (Ventil komplett geöffnet), besonders bevorzugt der Wert des Flächeninhalts der Ventilöffnung oder ein zu diesem Flächeninhalt in funktionaler Abhängigkeit stehender Wert, bei runden Ventilbauformen besonders bevorzugt der Radius r oder bevorzugt r^4 (Hagen-Poiseuillesches Gesetz: Volumenstrom $\propto r^4$) der Ventilöffnung. Der Ventil-

öffnungsgrad ist bevorzugt (streng) monoton abhängig vom Strömungsleitwert G des Ventils, wobei $G = 1/R$ und R der Strömungswiderstand des Ventils ist, welchen das Ventil dem durch das Ventil fließenden Fluid entgegen-
 setzt. Bevorzugt bleibt der Strömungsleitwert G gleich
 oder wird größer, je größer der Ventilöffnungsgrad ist.
 Bevorzugt ist der Ventilöffnungsgrad bevorzugt in grober
 Näherung der Kehrwert des Strömungswiderstands. Be-
 vorzugt ist der einem Ventilöffnungsgrad η entspre-
 chende Strömungswiderstand R des Ventils durch eine
 Kennlinie $f(\eta)=R$ gegeben, z. B. durch den Hersteller
 bekannt. Bevorzugt wird die Abhängigkeit zwischen Ven-
 tilöffnungsgrad und Strömungswiderstand durch Berück-
 sichtigung der Kennlinie des Ventils (Steuerspannung
 oder Ventilöffnungsradius oder Ventilöffnungsfläche vs.
 Strömungswiderstand) linearisiert.

[0012] Ein Ansteuern eines Ventils zum Einstellen eines Ventilöffnungsgrades erfolgt bevorzugt durch das Anlegen eines elektrischen oder pneumatischen Steuer-
 signals an den Steuereingang des Ventils. Bevorzugt
 liegt zwischen dem Steuersignal S und dem Ventilöff-
 nungsgrad η über eine Kennlinie $g(S)=\eta$ eine (bevor-
 zugt bekannte oder messbare) Abhängigkeit vor, beson-
 ders bevorzugt zwischen S und dem Strömungswider-
 stand R über die Kennlinien $f(g(S))=R$. Bevorzugt ist die-
 se Abhängigkeit proportional, besonders bevorzugt line-
 ar proportional, bevorzugt aufgrund durchgeführter
 Kennlinienlinearisierung.

[0013] Bevorzugt sind erfindungsgemäß ein Ansteuern des Ventils mittels eines Steuersignals und ein Ein-
 stellen eines Ventilöffnungsgrads und ein Einstellen eines
 Strömungswiderstands bzw. Strömungsleitwerts im
 Rahmen der Erfindung als gleichwertig anzusehen, da
 diese Werte lediglich über Kennlinien zusammenhän-
 gen, welche bekannt oder messbar oder als Näherung
 schätzbar sind und somit berücksichtigbar sind.

[0014] Das Ansteuern eines Ventils automatisch und in Abhängigkeit von dem Ansteuern eines anderen Ven-
 tilis bedeutet bevorzugt, dass eine durch Ansteuern ver-
 ursachte Veränderung des Ventilöffnungsgrads des ei-
 nen Ventils automatisch ein weiteres Ansteuern bewirkt,
 welches eine Veränderung des Ventilöffnungsgrads des
 anderen Ventils verursacht. Ein Ventil dient dabei bevor-
 zugt als Master-Ventil, ein anderes Ventil als Slave-Ven-
 til, welches automatisch an den Ventilöffnungsgrad des
 Master-Ventils anpasst wird. Dieser Automatismus führt
 nicht zwingend für jede Änderung des Ventilöffnungs-
 grad des Master-Ventils zu einer Änderung des Ventil-
 öffnungsgrads des Slave-Ventils. So führt der Automa-
 tismus z. B. in einem weiter unten beschriebenen erfin-
 dungsgemäßen Verfahren nur dann zu einer Verände-
 rung des Slave-Ventils, wenn das Master-Ventil einen
 Ventilöffnungsgrad größer als ein minimaler Ventilöff-
 nungsgrad aufweist, mit der Folge, dass für das Slave-
 Ventil der minimale Ventilöffnungsgrad eingestellt wird,
 so dass die Bedingung erfüllt ist, dass stets zumindest
 für ein Ventil der minimale Ventilöffnungsgrad eingestellt
 ist. In einem anderen erfindungsgemäßen Verfahren

führt bevorzugt jede Änderung des Ventilöffnungsgrads
 des Master-Ventils zu einer Änderung des Ventilöff-
 nungsgrads des Slave-Ventils. Der Automatismus ist be-
 sonders bevorzugt wechselseitig, so dass das Ventil wel-
 ches z. B. durch einen Benutzer und/oder ein Re-
 gel-/Steuerprogramm gezielt angesteuert wird, zumin-
 dest für diese eine aktuelle Ansteuerung zum Master-
 Ventil wird und das andere Ventil wird zum Slave-Ventil.
 Auf diese Weise ist sowohl das erste Ventil je nach Si-
 tuation Master-Ventil oder Slave-Ventil und das mindes-
 tens zweite Ventil ebenso.

[0015] Die Abhängigkeit ist bevorzugt explizit als For-
 mel beschreibbar $S1 = F(S2)$ und/oder $S2 = F(S1)$, wobei
 F eine beliebige Funktion, $S1$ die Größe des Steuersig-
 nals zum Ansteuern des ersten und $S2$ die Größe des
 Steuersignals zum Ansteuern des zweiten Ventils ist. Be-
 sonders bevorzugt ist die Abhängigkeit als Fuzzy-Logik
 gegeben, z. B. indem ein bestimmter Regelsatz definiert
 wird (Schließen des einen Ventils und/oder Öffnen des
 anderen Ventils, wenn der Druck zu hoch, Öffnen des
 einen Ventils und/oder Schließen des anderen Ventils,
 wenn der Druck zu niedrig ist). Auf diese Weise liegt zwar
 eine unabhängige Definition der Steuer-Regeln für jedes
 Ventil vor, jedoch ergibt sich durch diese Regeln eine
 implizite Abhängigkeit der Ventilzustände voneinander.
 Bevorzugt ist die Abhängigkeit lediglich implizit gegeben.

[0016] Bevorzugt wird durch das Ansteuern der Ventile
 der Druck im Mikrokanal, besonders bevorzugt eine oder
 mehrere Messgrößen wie z. B. der Durchfluss durch den
 Mikrokanal (bzw. Strömungsrate), die Intensität eines
 Fluoreszenzsignals, die Größe oder Position einer Gas-
 blase im Mikrokanal und/oder von Nanopartikeln
 und/oder die Durchbiegung von elastischen Systemen
 wie Membrane oder Polymere, sowie Gele, Zellen
 und/oder zelluläre Gewebe mittels Rückkopplung der
 entsprechenden Größe geregelt. Bevorzugt ist die Ab-
 hängigkeit der Ansteuerung der Ventile (zusätzlich) mit-
 tels des Regelkreises realisiert.

[0017] In einem weiteren erfindungsgemäßen **Verfah-**
ren sowie in einer Ausführungsform der erfindungsge-
 mäßen **Vorrichtung** beinhaltet die Abhängigkeit des An-
 steuerns des einen der Ventile (10, 20) von dem Ansteu-
 ern eines anderen der Ventile (10, 20) ein Gegenkoppeln
 des Ansteuerns des einen der Ventile (10, 20) und des
 Ansteuerns des anderen der Ventile (10, 20).

[0018] Auf diese Weise wird das zu steuernde System
 linearisiert. Bevorzugt wird der Druck mittels PID- oder
 PD-Regelung (oder PI- oder P-Regelung) geregelt. Be-
 vorzugt wird der Solldruck in kleinen Schritten nachge-
 regelt.

[0019] In einem weiteren erfindungsgemäßen **Verfah-**
ren sowie in einer Ausführungsform der erfindungsge-
 mäßen **Vorrichtung** beinhaltet das Gegenkoppeln als
 Bedingung ein Konstanthalten der Summe eines ersten
 Strömungswiderstands des ersten Ventils (10) und eines
 zweiten Strömungswiderstands des zweiten Ventils (10).

[0020] Bevorzugt wird die Summe der Strömungswi-
 derstände der Ventile $R = R1+R2$ konstant gehalten. In

diesem erfindungsgemäßen Verfahren werden die Ventile so gekoppelt angesteuert, dass der Durchfluss Q durch den Druckteiler konstant bleibt. Somit gilt $Q_1 = Q_2 = Q = \text{const.}$ (wobei Q_1 der Durchfluss durch das erste Ventil und Q_2 der Durchfluss durch das zweite Ventil ist) und mit $\Delta p_1 = R_1 \cdot Q$, $\Delta p_2 = R_2 \cdot Q$ ist $\Delta p_1 + \Delta p_2 = (p_1 - p) + (p - p_2) = p_1 - p_2 = (R_1 + R_2) \cdot Q$ (wobei p_1 der Druck der am ersten Ventil anliegenden Druckquelle gegen Atmosphärendruck ist und $p_2 \geq p_1$ analog der Druck der am zweiten Ventil anliegenden Drucksenke; Δp_1 ist die am ersten Ventil und Δp_2 die am zweiten Ventil abfallende Druckdifferenz).

[0021] Hieraus folgt $(p_1 - p)/R_1 = (p - p_2)/R_2 = (p_1 - p_2)/(R_1 + R_2) = \text{const.}$ (wobei R_1 und R_2 die Strömungswiderstände des ersten und zweiten Ventils darstellen oder auch denkbar die Kehrwerte des Ventilöffnungsgrades, bevorzugt als Näherung) und $p_1 - p = \text{const} \cdot R_1$ und somit $p = p_1 - \text{const} \cdot R_1$; sowie $(p - p_2) = R_2 \cdot (p_1 - p_2)/(R_1 + R_2)$ und $p = p_2 + R_2 \cdot \text{const.}$

[0022] Durch Einhalten der Bedingung $R_1 + R_2 = \text{const.}$ erfolgt eine Änderung des Drucks in linearer Abhängigkeit durch eine Änderung von R_1 ($\Delta p = -\Delta R_1 \cdot \text{const.}$) oder R_2 ($\Delta p = \Delta R_2 \cdot \text{const.}$). Dies ermöglicht eine lineare Optimalregelung des Drucks (z. B. PD oder PID mit gleichbleibend optimalen Parametern über den gesamten Druckbereich. Im Stand der Technik ist dieser Zusammenhang nichtlinear ($p(R_1) = p_1 \cdot R_2/(R_1 + R_2)$) und somit $\Delta p = (-p_1 \cdot R_2/(R_1 + R_2)^2) \cdot \Delta R_1$, weshalb dort eine optimale Regelung nichtlinear sein müsste und somit wenn überhaupt nur sehr aufwändig zu realisieren ist.

[0023] Bevorzugt wird durch das Festlegen des Durchflusses Q als Arbeitspunkt die Dynamik des Druckanstiegs und -abfalls eingestellt. Hierfür wird bevorzugt ein geringer Durchfluss über die Summe $R_1 + R_2$ eingestellt, wenn ein geringer Gasverbrauch erforderlich ist und die Dynamik des Druckanstiegs und -abfalls nicht im Vordergrund der Anwendung steht. Wenn ein höherer Gasverbrauch hinnehmbar und eine schnelle Druckanstiegs- und -abfalldynamik erforderlich ist, wird ein höherer Durchfluss Q eingestellt. Eine schnelle Reaktionsdynamik erfordert einen gewissen Gasverbrauch, der jedoch nicht mehr wie im Stand der Technik vom Arbeitsbereich abhängt. Durch die dynamische Verkleinerung des Gasdurchflusses durch das zweite Ventil bei sehr großen Solldruckwerten bleibt der Gasverbrauch klein. Bei kleinen Solldruckwerten hingegen sorgt ein fast geschlossenes erstes Ventil für einen minimalen Gasverbrauch.

[0024] Bevorzugt wird ein Konstanthalten der Summe $R_1 + R_2$ durch ein Gegenkoppeln des Einstellens des ersten und zweiten Ventilöffnungsgrades erreicht. Bevorzugt wird hierfür die Summe der Kehrwerte des ersten und des mindestens zweiten Ventilöffnungsgrades η_1 bzw. η_2 konstant gehalten. Dies entspricht einer groben Näherung, nämlich Ventilöffnungsgrad $\eta \approx G = 1/R$, führt jedoch zu einer einfach zu realisierenden Kopplung. Besonders bevorzugt wird $R_1 + R_2$ durch Kopplung der Ventilöffnungsgrade und Berücksichtigung der Ventilkennlinien $R = f(\eta)$ (Ventilöffnungsgrad $\rightarrow$ Strömungs-

widerstand) konstant gehalten, so dass $f_1(\eta_1) + f_2(\eta_2) = \text{const.}$ und somit $\eta_1 = f_1^{-1}(\text{const.} - f_2(\eta_2))$ oder $\eta_2 = f_2^{-1}(\text{const.} - f_1(\eta_1))$, besonders bevorzugt unter zusätzlicher Berücksichtigung der Ventilkennlinien $\eta = g(S)$ (Steuersignal $\rightarrow$ Ventilöffnungsgrad).

[0025] In einem weiteren erfindungsgemäßen **Verfahren** ist für das erste Ventil (10) ein erster minimaler Ventilöffnungsgrad definiert oder wird definiert und für das mindestens zweite Ventil (20) ist ein mindestens zweiter minimaler Ventilöffnungsgrad definiert oder wird definiert und die Abhängigkeit des Ansteuerns des einen der Ventile (10, 20) von dem Ansteuern eines anderen der Ventile (10, 20) beinhaltet die Bedingung, dass stets für mindestens eines der Ventile (10, 20) der jeweilige minimale Ventilöffnungsgrad durch das Ansteuern der Ventile (10, 20) eingestellt ist. In einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen **Vorrichtung** sind derartige minimale Ventilöffnungsgrade definiert oder definierbar und die Abhängigkeit des Ansteuerns des einen der Ventile (10, 20) von dem Ansteuern eines anderen der Ventile (10, 20) beinhaltet diese Bedingung ebenfalls.

[0026] Auf diese Weise wird immer ein Ventil im Zustand seines minimalen Ventilöffnungsgrades gehalten, wodurch der Gasverbrauch erheblich reduziert wird, insbesondere dann, wenn der minimale Ventilöffnungsgrad einer komplett dichten Verschlussstellung des Ventils entspricht. Diese Bedingung wird bevorzugt mittels einer Analog- oder Logikschaltung oder einem Rechenprogramm mittels boolescher Arithmetik aufgestellt.

[0027] Zum Beispiel wird das erste Ventil nur dann geöffnet, wenn das zweite Ventil geschlossen ist und das zweite Ventil wird nur dann geöffnet, wenn das erste Ventil geschlossen ist.

[0028] Der minimale Ventilöffnungsgrad wird bevorzugt automatisch mittels eines Programmes oder bestimmten Einstellmitteln (z. B. Drehknöpfe) eingestellt. Bevorzugt ist der minimale Ventilöffnungsgrad verschieden von der komplett dichten Verschlussstellung des Ventils. Dies ist insbesondere vorteilhaft, wenn der Mikrokanal leckbehaftet ist, da durch die so verschobene Nullöffnung des jeweiligen Ventils zu endlichen Werten hin der Verlust durch dieses Leck kompensiert wird, oder wenn die Funktion des Ventils bei sehr kleiner Öffnung nicht gewährleistet ist. Bevorzugt wird das verlustgegangene Gas wieder ersetzt, indem das erste Ventil nach dem Druckpuls nicht ganz schließt, sondern nur soweit, dass der Verlust kompensiert wird. Bevorzugt wird der minimale Ventilöffnungsgrad hierzu als Stellgröße einer Druckregelung verwendet, welche den Druckverlust durch eventuelle Lecks kompensiert und/oder einen minimalen Gasdurchfluss durch ein Ventil sicherstellt (z. B. eine PID-, P-, CW-PID-Regelung, CW: continuous wave, d.h. kontinuierliche Steuersignale, oder PWM-PID, PWM: pulse width modulation, d.h. zusätzlich oder alternativ ist die Stellgröße der Regelung die Pulsdauer von Steuerpulsen). Anstatt eines PID-Glieds ist auch (dies gilt für die gesamte Anmeldung) ein P-, PI-, oder PD-

Glied denkbar.

[0029] Auch ist ein minimaler Ventilöffnungsgrad, der eine Restöffnung des Ventils darstellt, vorteilhaft, falls das System einen Gasrückfluss (z. B. Vakuumsenke oder Auffangbehälter) besitzt und somit einen geschlossenen Kreislauf bildet. So wird das Gas ständig zur Senke zurückgeführt, was z. B. bei giftigen oder radioaktiven Gasen vorteilhaft ist. Somit können nicht nur Gasverluste im System kompensiert werden, sondern es kann auch eine präzise und permanente Perfusion erreicht werden.

[0030] In einem weiteren erfindungsgemäßen Verfahren wird durch das Ansteuern des ersten Ventils (10) und das Ansteuern des mindestens zweiten Ventils (20) ein bevorzugt unterbrechungsfreier Verlauf des Drucks in dem Mikro- oder Mesofluidik-Kanal (2) mit positiven und negativen Druckwerten eingestellt. In einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen **Vorrichtung** ist diese eingerichtet, ein solches Ansteuern des ersten Ventils (10) und ein solches Ansteuern des mindestens zweiten Ventils (20) durchzuführen.

[0031] Positive und negative Druckwerte beziehen sich bevorzugt auf den Atmosphärendruck, welcher dem Druckwert 0 entspricht.

[0032] Durch Anwendung von Druck und Unterdruck können Flüssigkeiten und sich darin befindliche Objekte im Mikro- oder Mesofluidik-Kanal noch flexibler, wesentlich schneller und präziser positioniert werden als ausschließlich mit Druck.

[0033] In einem weiteren erfindungsgemäßen **Verfahren** erfolgt das Ansteuern mindestens eines der Ventile (10, 20) in Form mindestens eines Pulses zur Erzeugung von mindestens einem Druckpuls im Mikro- oder Mesofluidik-Kanal (2). In einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen **Vorrichtung** ist diese eingerichtet, ein solches Ansteuern durchzuführen.

[0034] Der Puls weist bevorzugt eine beliebige Pulsform auf, besonders bevorzugt ist er ein Rechteck- oder Trapezpuls. Er weist bevorzugt eine Pulsdauer und eine Pulshöhe und/oder einen Pulskurvenintegralwert auf. Der Pulskurvenintegralwert ist bevorzugt ein Wert des Flächenintegrals der Fläche unterhalb der Pulskurve, bevorzugt mit den Integrationsgrenzen t_0 (Pulsbeginn) und t_1 (Pulsende). Bevorzugt wird das mittels eines Pulses bewegte Gasvolumen und bevorzugt der dadurch aufgebaute Druck durch das Integral über die Pulskurve bestimmt.

[0035] Bevorzugt stellt die Pulshöhe bzw. Pulsamplitude für das mit dem Puls angesteuerte Ventil einen Wert dar, der (ohne Berücksichtigung von Systemträgheiten) proportional zu dem durch das Ansteuern eingestellten Ventilöffnungsgrad, bevorzugt dem Produkt Ventilöffnungsgrad·Öffnungszeit ist. Bevorzugt gibt die Vorrichtung für das Ansteuern elektrische Steuersignale an das Ventil, welche den pulsförmigen Verlauf aufweisen. Bevorzugt stellt sich mit dem Ansteuern eines Ventils in Form eines Pulses (Steuerpuls) ein Druckpuls bzw. eine Druckänderung im Mikrokanal ein, der bzw. die proportional zum Pulskurvenintegral ist.

[0036] Bevorzugt werden beide Ventile mit mindestens einem Puls, besonders bevorzugt mit einer Folge von Pulsen angesteuert. Bevorzugt werden für die Ansteuerung der beiden Ventile der Gasverbrauch und die Dynamik der Druckanstiege und/oder -abfälle optimiert. Bevorzugt werden die Ventile exklusiv angesteuert. Die Anwendung eines Rechteck-Druckpulses mit maximaler Öffnung ist das schnellst mögliche Verfahren, den Istdruck an den Solldruck anzupassen. Da dabei das jeweils andere Ventil bevorzugt geschlossen ist oder sich im Zustand des minimalen Ventilöffnungsgrads befindet, ist der Gasdurchfluss minimal. Falls das Kanalvolumen im System, im Experiment und in den Zuleitungen minimal ist, wird so eine maximal schnelle Response bei minimalem Gasverbrauch ermöglicht. Pulse hoher Amplitude und kleiner Öffnungsdauer werden verwendet um eine schnelle Regelungsdynamik bzw. Reaktionsgeschwindigkeit zu erzielen. Pulse kleiner Amplitude und großer Öffnungsdauer werden verwendet um ein geringes Regelungsrauschen zu erzielen und/oder eine langsame Regelungsdynamik zu erzielen.

[0037] In einem weiteren erfindungsgemäßen **Verfahren** wird die Anzahl der mit einem der erzeugten Druckpulse verschobenen Gasteilchen im Mikro- oder Mesofluidik-Kanal (2) bestimmt und/oder das durch einen der erzeugten Druckpulse verschobene Volumen im Mikro- oder Mesofluidik-Kanal wird bestimmt und/oder das innere Volumen des Mikro- oder Mesofluidik-Kanals (2) wird bestimmt. In einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen **Vorrichtung** ist diese eingerichtet, diese Parameter zu bestimmen.

[0038] Auf diese Weise ist mit Kenntnis eines oder mehrerer dieser Systemparameter eine prädiktive Berechnung einer Ansteuerung durchführbar. So wird z. B. die Form (Höhe, Dauer) eines Steuerpulses für eine benötigte Druckwirkung vorher berechnet. Somit wird ein exaktes Regeln möglich. Z. B. erlauben ultrakurze und kleine Pulse kleinste Korrekturen der Position etwa von Nanopartikeln, Molekülen oder Zellen in Mikrokanälen. Bevorzugt wird die Pulsdauer und Amplitude eines Steuerpulses und/oder Druckpulses anhand eines Modells des Ventils und bevorzugt des Systems berechnet. Bevorzugt werden kleine verbleibende Abweichungen zwischen Soll- und Istwert, die nach dem Durchführen eines solchen berechneten Steuerpulses und/oder Druckpulses noch resultieren, durch PID-Regelung oder erneut durch einen prädiktiv berechneten Steuerpuls und/oder Druckpuls korrigiert. Bevorzugt wird der erste und/oder zweite minimale Ventilöffnungsgrad mittels prädiktiver Regelung geregelt.

[0039] Bevorzugt wird aus einem Rechteck- oder Trapez-Druckpuls, welcher als Antwort auf ein Ansteuern eines Ventils in Form eines Rechteck- oder Trapezpulses auftritt, unter Kenntnis der eingestellten Ventilöffnung (die maximale Öffnung eignet sich, denn sie ist z. B. vom Hersteller angegeben) der Volumenstrom für eine gegebene Druckdifferenz berechnet. Die Berechnung des Volumenstroms ΔQ [m^3/s] erfolgt bevorzugt gemäß $\Delta Q =$

$\Delta P/R$, wobei ΔP eine gegebene Druckdifferenz und R der von der Ventilöffnung abhängige Strömungswiderstand ist.

[0040] Bevorzugt wird die Temperatur T des Gases im Druckteilersystem mittelbar oder unmittelbar gemessen. Bevorzugt wird die durch einen Steuerpuls erfolgte

[0041] Druckzunahme Δp im Druckteilersystem gemessen. Bevorzugt wird mit der Temperatur des Gases, der Druckzunahme im Druckteilersystem und Kenntnis des inneren Volumens V die Zahl der eingeströmten/verschobenen Gasteilchen $\Delta N = \Delta p \cdot V / (k \cdot T)$ berechnet, wobei k die Boltzmann-Konstante ist. Bevorzugt wird die Änderung des Gasvolumens ΔV im Mikrokanal aufgrund der eingeströmten Gasteilchen ΔN gemäß folgender Abhängigkeit berechnet: $\Delta N = (\Delta V \cdot \rho \cdot N_A) / M$, wobei ρ die Dichte des Gases [kg/m^3], N_A die Avogadrozahl [$1/\text{mol}$] und M die molare Masse des Gases [kg/mol] ist. Dies erlaubt die Realisierung von stöchiometrischen chemischen Reaktionen zwischen Gasen oder Gasen und Flüssigkeiten oder zwischen Flüssigkeiten oder Flüssigkeiten/Gasen und Festkörpern in Mikrokanälen.

[0042] Bevorzugt werden beide Ventile geschlossen und durch eine herbeigeführte Änderung der Temperatur im Mikrokanal wird durch Messung der dabei resultierenden Druckzunahme Δp das innere Volumen bestimmt: $V = N \cdot k \cdot \Delta T / \Delta p$.

[0043] Alternativ oder zusätzlich wird das innere Volumen V bestimmt, indem das an der Drucksenke, bevorzugt an der Atmosphäre anliegende zweite Ventil bevorzugt komplett oder bis zu einem bestimmten Grad für ein gegebenes Zeitintervall geöffnet wird (während das andere Ventil geschlossen ist) und währenddessen der Exponent der Druckabfallkurve gemessen wird (die Ventilöffnung muss dabei bekannt sein, z. B. durch den Hersteller). Der Überschuss an Gasteilchen verdrängt dann im Mikrokanalsystem das Volumen $V = N \cdot k \cdot T / \Delta p$ nach Öffnung des an der Drucksenke angeschlossenen Ventils. Das innere Volumen V wird mittels Messung der Relaxationszeit $\tau = R \cdot C$ gemäß der Formel $V = \tau \cdot N_A \cdot \rho \cdot k \cdot T / (R_2 \cdot M)$ berechnet.

[0044] Durch die Kenntnis des Druckes und des Systemvolumens wird bevorzugt das Expansionsvolumen bei Öffnung des Ausgangsventils bestimmt. Die relative Volumenänderung $\Delta V/V$ auf Grund einer Druckänderung Δp lautet $\Delta V/V = M / (N_A \cdot \rho \cdot k \cdot T) \cdot \Delta p$; hierbei ist M die mittlere molare Masse des Fluids (bevorzugt Luft = 28,9 g/mol), N_A die Avogadrokonstante, ρ die Dichte des Fluids, k die Boltzmannkonstante und T die Temperatur.

[0045] Bevorzugt wird mittels mindestens einem Kalibrierungspuls und der Messung der Druckantwort, insbesondere der Abklingkonstante τ , die pneumatische Kapazität C ($\tau = C \cdot R_2$) bestimmt, falls der Widerstand R_2 des Ausgangsventils bekannt ist (siehe Datenblatt des Herstellers). Es ist auch denkbar, τ über die Relaxationszeit für eine vorgegebene Druckänderung Δp zu bestimmen $\tau = \Delta t / \ln(\Delta p/p_{\text{sys}})$. Ferner gelten für Rechteckpulse folgende Zusammenhänge $\Delta V = Q \cdot \Delta t = C \cdot \Delta p$, wobei Q der Volumenstrom und ΔV das ein- oder

ausströmende Gasvolumen und Δt die Pulslänge ist. Die ideale Gasgleichung stellt unabhängig einen Zusammenhang zwischen Druckänderung und Gasteilchenzahl her: $\Delta p = \Delta N \cdot k \cdot T / V$ welches mit Hilfe der Dichte ρ und der molaren Masse M einen zweiten Zusammenhang zwischen Druckdifferenz und Volumendifferenz liefert: $\Delta V = V \cdot M / (N_A \cdot \rho \cdot k \cdot T) \cdot \Delta p$. Die pneumatische Kapazität C wird somit bevorzugt mittels $C = V \cdot M / (N_A \cdot \rho \cdot k \cdot T)$ bestimmt. Dieser Wert wird bevorzugt während der Systemkalibration bevorzugt für jede Anordnung neu bestimmt. Denn das innere Volumen V ändert sich je nach Volumen des angeschlossenen Mikrokanalsystems inklusive der Zuleitungsschläuche.

[0046] Auch hier erlaubt dieses Verfahren auf einfachste Weise eine bestmögliche Optimierung der Regelungsparameter.

[0047] Die Ansteuerung der Ventile in Form mindestens eines Pulses erlaubt somit zusammen mit Kenntnis der Temperatur eine vollständige Charakterisierung aller Systemparameter des Mikrokanalsystems: inneres Volumen, Zahl der zusätzlichen Gasteilchen nach einem Druckpuls und dem entsprechenden Verdrängungsvolumen. Bevorzugt werden die Systemparameter $R_1 \cdot V$ und $R_2 \cdot V$ bestimmt.

[0048] In einem weiteren erfindungsgemäßen **Verfahren** weist der mindestens eine Puls eine lange Pulsdauer und/oder eine hohe Pulshöhe und/oder einen großen Pulscurvenintegralwert zur groben Positionierung von Objekten und/oder Fluiden im Mikro- oder Mesofluidik-Kanal (2) auf und der mindestens eine Puls weist eine kürzere Pulsdauer und/oder eine niedrigere Pulshöhe und/oder einen kleinen Pulscurvenintegralwert zur feinen Positionierung auf. In einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen **Vorrichtung** ist diese eingerichtet, derartige Pulsdauern und Pulshöhen und/oder Pulscurvenintegralwerte für den mindestens einen Puls einzustellen.

[0049] Auf diese Weise wird ausgenutzt, dass Proportionalventile Gaspulse sowohl durch ein kurzes Öffnen mit großer Amplitude bzw. Pulshöhe oder durch ein längeres Öffnen mit kleiner Amplitude erzeugen können. Diese Ansteuerung wird bevorzugt manuell oder automatisch ausgelöst, z. B. bei gleichzeitiger mikroskopischer Beobachtung durch einen Experimentator und/oder mit einer Kamera, bevorzugt mit Bildverarbeitung und/oder anderen Messsystemen. Große Druckstöße mit hoher Pulshöhe und/oder langer Pulsdauer und/oder einem großen Pulscurvenintegralwert werden für eine rasche Positionierung der Objekte im Mikrokanal ausgelöst, während kleinste Bewegungen, z. B. nach grober Positionierung, durch Gaspakete kleinerer Amplitude und/oder kurzer Pulsdauer und/oder kleinem Pulscurvenintegralwert durchgeführt werden.

[0050] In einem weiteren erfindungsgemäßen **Verfahren** wird eine Messgröße in dem Mikro- oder Mesofluidik-Kanal (2), insbesondere der Druck, durch wiederholtes Ansteuern der Ventile (10, 20) in Form des mindestens einen Pulses auf einen Sollwert geregelt. In einer Aus-

führungsform der erfindungsgemäßen **Vorrichtung** ist diese eingerichtet, entsprechend auf einen Sollwert zu regeln.

[0051] Eine Messgröße ist z. B. der Druck in dem Mikrokanal, der Durchfluss durch den Mikrokanal (bzw. Strömungsrate), die Intensität eines Fluoreszenzsignals, die Größe oder Position einer Gasblase im Mikrokanal und/oder von Nanopartikeln und/oder die Durchbiegung von elastischen Systemen wie Membrane oder Polymere, sowie Gele, Zellen und/oder zelluläre Gewebe.

[0052] Bevorzugt wird durch die Wahl der Amplitude bzw. Pulshöhe und/oder Pulsdauer das Regelungsrauschen eingestellt, wobei kurze hohe Pulse zu einem größeren Rauschen des geregelten Drucks als lange niedrige Pulse führen. Dafür erlauben Pulse hoher Amplitude eine maximal mögliche Anpassung des Drucks, sowie bevorzugt eine schnellere Anpassung. Dies ist teilweise analog zur Quantenmechanik: Eine bestimmte Energiemenge kann durch wenige hochenergetische oder viele niederenergetische Photonen übermittelt werden. Das Rauschen der Energie der Photonen wird durch die Heisenbergsche Unschärfebeziehung $\Delta E \cdot \Delta t > h/(4 \cdot \pi)$ (wobei h das Plancksche Wirkungsquantum ist) beschränkt. Die Energiefluktuation ΔE ist dann groß, wenn die Länge (=Dauer·Lichtgeschwindigkeit) der Wellenpakete klein ist, damit die Quantenbedingung erfüllt ist. Wenn man kleines Rauschen erreichen möchte ist es vorteilhaft, viele niederenergetische Photonen zu verwenden. Dies illustriert eindrücklich, dass auch eine Modulation der Pulsamplitude mit Proportionalventilen wichtig ist, um den Druck zu steuern.

[0053] Bevorzugt wird die Regelung mit der Nebenbedingung durchgeführt, dass sich stets mindestens ein Ventil im Zustand des minimalen Ventilöffnungsgrads befindet. Besonders bevorzugt sind die Ventile daher jeweils nur alternativ geöffnet, sofern der minimale Ventilöffnungsgrad der Verschlussstellung entspricht.

[0054] Bevorzugt wird die Regelung des Drucks über wiederholtes Ansteuern der Ventile in Form des mindestens einen Pulses bei gleichzeitigem Messen des Ist-Drucks durchgeführt. Bevorzugt werden die Ventile alternierend mit Pulsen angesteuert. Bevorzugt werden die Pulsdauer und/oder die Pulshöhe und/oder der Wert des Integrals über die Pulskurve in Abhängigkeit der Abweichung zwischen Ist- und Soll Druck geregelt. Dabei ist bevorzugt die minimale Pulsdauer eines Pulses größer oder gleich der Reaktionszeit des angesteuerten Ventils (z. B. größer oder gleich $1 \mu s$, bevorzugt größer oder gleich $250 \mu s$ besonders bevorzugt größer oder gleich $500 \mu s$), bevorzugt zumindest dann, wenn die Regelung für diesen Puls eine Pulshöhe oder ein Pulsintegral von mehr als 0 berechnet. Dadurch, dass die minimale Pulsdauer bevorzugt größer ist als die Reaktionszeit des angesteuerten Ventils, wird sichergestellt, dass das Ventil dem Pulsverlauf folgend geöffnet und geschlossen wird und dass das Ventil nicht wie bei klassischer PWM einem Mittelwert des Pulsverlaufs folgend geöffnet und geschlossen wird, wobei jener Mittelwert sich aufgrund der

Ventilträgheit einstellen würde. Somit werden maximal steile Druckpulsflanken erzeugt. Bevorzugt wird eine Amplitude vorab gewählt und die Regelung erfolgt über die Pulsdauer. Es ist auch denkbar, dass die Pulsdauer vorab gewählt wird und die Pulshöhe wird als Stellgröße für die Regelung des Drucks verwendet. Die zur Druckregelung benötigte Pulshöhe als Stellgröße wird bspw. mittels einer CW-PID Regelung (kontinuierliche PID-Regelung) eingestellt.

[0055] Bevorzugt wird bei CW-PID eine Minimierung der Pulshöhe durchgeführt, was bevorzugt zu einer maximalen Pulsverbreiterung führt. Die Pulse gehen schließlich bevorzugt in kontinuierliche analoge Öffnungswerte der beiden Ventile über, welche durch PID reguliert werden.

[0056] Ein beispielhaftes Regelungsverfahren besteht darin, bei einem Druck $p_{ist} < p_{soll}$ (p_{ist} : gemessener Druck im Mikrokanal, p_{soll} : Soll Druck im Mikrokanal) das an der Druckquelle angeschlossene Ventil bevorzugt maximal zu öffnen, bevorzugt bis p_{ist} mindestens 60%, bevorzugt mindestens 85%, besonders bevorzugt mindestens 95% oder sogar 100% des Soll Drucks erreicht. Bei $p_{ist} > p_{soll}$ wird entsprechend das an der Drucksenke angeschlossene Ventil, bevorzugt maximal, geöffnet, bevorzugt bis p_{ist} gleich oder weniger als 140%, bevorzugt gleich oder weniger als 115%, besonders bevorzugt gleich oder weniger als 105% des Soll Drucks erreicht. Somit wird bei einer Abweichung vom Soll Druck das jeweils entsprechende Ventil zur Korrektur des Ist-Drucks angesteuert, wobei auch implizit die Bedingung realisiert ist, dass sich mindestens eines der beiden Ventile im Zustand des minimalen Ventilöffnungsgrads befindet. Bevorzugt wird dann der jeweilige Ventilöffnungsgrad verringert und der erreichte Druck wird bevorzugt durch kleinere korrigierende Druckpulse (bzw. entsprechende Ansteuerung in Form von Pulsen) dem Soll Druck weiter angenähert und/oder konstant gehalten. Bevorzugt wird das an der Druckquelle angeschlossene Ventil komplett geschlossen gehalten solange keine Druckzunahme erforderlich ist. Bevorzugt wird das an der Drucksenke angeschlossene Ventil komplett geschlossen gehalten, solange keine Druckverminderung erforderlich ist. Dies ist insbesondere bei nicht leckbehafteten Systemen zur Gaseinsparung vorteilhaft. Besonders bevorzugt bleibt das an der Druckquelle angeschlossene Ventil daraufhin leicht geöffnet, um den Soll Druck zu halten, was bei leckbehafteten Systemen vorteilhaft ist, um den Gasverlust durch Lecks zu kompensieren ohne ständig nachregeln zu müssen. Bevorzugt wird das Verfahren der Pulsregelung durch eine Verlängerung der Pulsdauern zu langen, konstanten Pulsen (die zwischendurch nicht mehr signifikant lange und weit ein Ventil schließen) in das anfangs beschriebene erfindungsgemäße Verfahren mit einer Gegenkopplung oder in ein Verfahren des Stands der Technik ohne Gegenkopplung, z. B. mit einem ersten Ventil, dessen Ventilöffnungsgrad geregelt wird und einem zweiten Ventil, das konstant um einen gewissen Grad geöffnet ist, überführt.

[0057] Durch das Verringern des Ventilöffnungsgrads nach Annähern an den Sollwert und bevorzugt durch die korrigierenden Druckpulse kleinerer Amplitude wird das Regelungsrauschen vermindert. Die Anpassung der Amplitude der Pulse wird bevorzugt durch einen PID-Algorithmus gesteuert. Bevorzugt wird der Istwert dem Sollwert rekursiv angenähert.

[0058] Bevorzugt wird eine Mischung aus einer Regelung mittels der Pulsdauer als Stellgröße und einer Regelung mittels der Pulshöhe als Stellgröße durchgeführt (z. B. über eine Kaskadenregelung). Für die Kompensation großer Differenzen zwischen Ist- und Solldruck wird eine Ansteuerung mittels Pulsen mit fester Pulshöhe durchgeführt, wobei über die Pulsdauer als Stellgröße geregelt wird. Dies nutzt die bessere Dynamik von Pulsen mit hoher Pulsamplitude. Für die Feinregelung bei kleinen Differenzen zwischen Ist- und Solldruck wird bevorzugt eine Pulshöhenmodulation durchgeführt. Somit werden die Pulse im Verhältnis breiter und niedriger und das Regelungsrauschen vermindert sich.

[0059] Bevorzugt ist die Regeldynamik frei wählbar, besonders bevorzugt wird sie automatisch angepasst. Sofern eine Solldruckänderung gewünscht ist, wird eine Regelung mit großer, bevorzugt maximaler Amplitude vorgenommen, wohingegen bei Konstanthalten eines Solldrucks eine kleine Amplitude verwendet wird. Besonders bevorzugt wird ein automatisierter gleitender Übergang durchgeführt, indem nach einer Solldruckänderung zunächst der maximale Ventilöffnungsgrad für einen Puls gewählt wird, und anschließend die Pulsamplitude verringert wird durch ein Verringern des Ventilöffnungsgrads für die nachfolgenden Pulse, z. B. ein exponentielles Verringern gemäß der Formel: $A(t) = A_{\min} + (A_{\max} - A_{\min}) \cdot \exp(-t/\theta)$, wobei A der Ventilöffnungsgrad, $A_{\min}$ der minimale und $A_{\max}$ der maximale Ventilöffnungsgrad, und θ die Transitionszeitkonstante ist.

[0060] In einem weiteren erfindungsgemäßen **Verfahren** wird mittels einer Regelung geregelt und eine Reaktionsgeschwindigkeit und/oder ein Regelungsrauschen der Regelung wird frei gewählt und/oder durch einen Algorithmus an Anforderungsbedingungen angepasst. In einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen **Vorrichtung** ist diese eingerichtet, mittels einer Regelung zu regeln und ein Regelungsrauschen der Regelung ist frei wählbar und/oder durch einen Algorithmus an Anforderungsbedingungen anpassbar.

[0061] Das Regelungsrauschen ist bevorzugt durch die Reaktionsgeschwindigkeit bedingt. Bevorzugt ist das Regelungsrauschen umso höher, je höher die Reaktionsgeschwindigkeit ist.

[0062] In einem weiteren erfindungsgemäßen **Verfahren** werden die Pulsdauer und die Pulshöhe und/oder der Pulsflächenintegralwert in Abhängigkeit einer zu erzielenden Änderung des Drucks im Mikro- oder Mesofluidik-Kanal (2) bestimmt. In einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen **Vorrichtung** ist diese eingerichtet, die Pulsdauer und die Pulshöhe und/oder den Pulskur-

venintegralwert derartig zu bestimmen.

[0063] Die zu erzielende Änderung des Drucks ist bevorzugt die Differenz zwischen gemessenem Istdruck und dem Solldruck. Bevorzugt wird eine prädiktive Berechnung der Ventilöffnung (oder Pulshöhe) und Öffnungszeit durchgeführt, wodurch die PID-Regelung der Pulsamplituden oder -weiten bevorzugt nicht mehr erforderlich ist.

[0064] Die Vorausberechnung wird bevorzugt durch folgende Vorschriften für den Druckverlauf durchgeführt, wobei bevorzugt der Anfangsdruck gleich dem Atmosphärendruck ist:

Anstieg (Ventil 1 offen, Ventil 2 geschlossen): $p(t)/p_1 = 1 - \exp(-t/(R_1 \cdot C))$

Der Systemdruck beträgt dann nach einer Öffnungszeit Δt : $p_{\text{sys}}/p_1 = 1 - \exp(-\Delta t/(R_1 \cdot C))$

Abfall (Ventil 2 offen, Ventil 1 geschlossen) für eine Zeit (z. B. für die Zeit bis der Druck sich halbiert hat $p(\Delta t_{0,5}) = 0,5 \cdot p_{\text{sys}}$): $p(t) = p_{\text{sys}} \cdot \exp(-t/(R_2 \cdot C))$.

[0065] Bevorzugt wird beim Drucksinken durch Öffnen des zweiten Ventils ein bestimmter Druck abgewartet, z. B. bis sich der halbe Druck eingestellt hat: $p(\Delta t_{0,5})/p_{\text{sys}} = 0,5$. Hieraus wird die Relaxationszeit $R_2 \cdot C = \Delta t_{0,5}/\ln(2)$ erhalten. Diese Messung wird bevorzugt wiederholt durchgeführt und die Zeiten werden gemittelt, um die Genauigkeit zu erhöhen.

[0066] $R \cdot C$ ist die Kombination von Strömungswiderstand im System $R = p/Q$ sowie C , welches vom inneren Volumen V und der Temperatur T abhängt: $\Delta p = C \cdot \Delta V$. Der Volumenstrom ist $Q = dV/dt$.

[0067] Die Vorausberechnung der Pulshöhe und Pulsdauer für eine benötigte Druckänderung erfordert Kenntnis der Parameter $R_1 \cdot C$ und $R_2 \cdot C$. Die Bestimmung erfolgt folgendermaßen. Mit Kenntnis des Eingangsdruckes, der Widerstände der voll geöffneten Ventile und des Systemvolumens und des momentanen Systemdruckes p_{sys} wird die Öffnungszeit und Amplitude wie folgt bestimmt:

Für eine Druckerhöhung (Öffnung des Eingangsventils) gilt zunächst folgende Formel: $p(t) = p_1 - (p_1 - p_{\text{sys}}) \cdot \exp(-t/(R_1 \cdot C))$

Für eine Drucksenkung (Öffnung des Ausgangsventils) gilt zunächst folgende Formel: $p(t) = p_2 - (p_2 - p_{\text{sys}}) \cdot \exp(-t/(R_2 \cdot C))$

Dabei ist $p_1 \geq p_2$. Die Zeiten und Amplituden ergeben sich dann aus folgenden Zusammenhängen (*):
für den Anstieg: $\ln((p_1 - p_{\text{sys}})/(p_1 - p_{\text{soll}})) = \Delta t/(R_1 \cdot C)$ ($= x_1$),
für den Abfall: $\ln((p_{\text{sys}} - p_2)/(p_{\text{soll}} - p_2)) = \Delta t/(R_2 \cdot C)$ ($= x_2$).

[0068] Diese Zusammenhänge sagen Werte einer für eine bestimmte Druckänderung benötigte Zeit/Amplitu-

den-Kombination voraus. Durch die Vorabwahl der Amplitude oder Vorabwahl der Pulsdauer wird zunächst die Regelungsdynamik und das Rauschen eingestellt. Mit einer hohen Amplitude oder einer kurzen Pulsdauer wird eine schnellere Dynamik mit höherem Regelungsrauschen eingestellt, während mit einer niedrigen Amplitude oder einer langen Pulsdauer eine langsamere Dynamik mit niedrigerem Regelungsrauschen eingestellt wird. Der dann noch fehlende Parameter des Pulses (Pulsdauer oder Amplitude) wird über die oben genannten Zusammenhänge berechnet.

[0069] Um den Widerstandswert R1 oder R2 in eine Amplitude umzurechnen, wird bevorzugt die Kennlinie $R1=f1(\eta_1)$ bzw. $R2=f2(\eta_2)$ (x-Achse: Amplitude bzw. Wert des Ventilöffnungsgrads, y-Achse: Strömungswiderstand) und/oder die Kennlinie $R1=f1(g1(S1))$ bzw. $R2=f2(g2(S2))$ (x-Achse: Amplitude bzw. Wert des Steuersignals, y-Achse: Strömungswiderstand) des Herstellers verwendet, z. B. wird diese in die Steuereinheit programmiert.

[0070] Im Folgenden wird eine explizite Berechnung für die Erhöhung des Drucks durch einen Druckpuls mittels Ansteuerung des ersten Ventils an der Druckquelle beschrieben. Die Berechnung für die Erniedrigung des Drucks durch einen Druckpuls mittels Ansteuerung des zweiten Ventils an der Drucksenke erfolgt analog.

[0071] Z. B. wird für die Berechnung eines Rechteckpulses folgende Formel für die für eine Druckänderung Δp benötigte Pulsdauer Δt_1 bei vorab gewählter Amplitude des Steuersignals (Spannung, Strom) S1 verwendet, wobei mit x_{i1} (analog x_{i2} , siehe (*)) direkt der gewünschte Enddruck p_{soll} bestimmt wird und man unter der Vorgabe des Enddruckes p_{soll} noch die Freiheit besitzt, die Amplitude oder die Öffnungszeit zu wählen:

$$\Delta t_1(\eta_1, \Delta p) = x_{i1} \cdot R_1(\eta_1) \cdot C$$

[0072] Für andere zeitabhängige Pulsformen $R_1(\eta_1(t))$ wird bevorzugt das entsprechende Integral über die Öffnungsperiode Δt_1

$$x_{i1} \cdot C = \int R_1(\eta_1(t)) dt,$$

gelöst und daraus Δt_1 bestimmt. Für komplexere Signalformen wird dies bevorzugt numerisch gelöst.

[0073] Für die Berechnung des für eine Druckänderung Δp benötigten Öffnungsgrads η_1 bei vorab gewählter Pulsdauer Δt wird z. B. folgende Formel verwendet:

$$\eta_1 = f_1^{-1}(\Delta t_1 / (x_{i1} \cdot C))$$

oder in linearer Näherung $= \Delta t_1 / (x_{i1} \cdot C)$ gültig für nahezu lineare Kennlinien der Ventile. Aus dem Öffnungsgrad wird bevorzugt mit Hilfe der Kennlinie $g_1(S_1) = \eta_1$ (z. B. aus dem Datenblatt) direkt der Steuerstrom/die Steuerungsspannung S1 bestimmt.

[0074] Dadurch wird das schnelle und stabile Erreichen des Sollwertes wesentlich verbessert. Durch Lecks oder Bewegungen im Experiment und den Zuleitungen kann sich der Druck ändern. Daher werden prädiktive Pulse bevorzugt wiederholt angewendet.

[0075] Die prädiktive Paketmethode erlaubt das präzise und schnellst mögliche Verschieben der Objekte und Fluide im Mikrokanal bei kleinstem Rauschen. Bevorzugt wird für eine exakte Berechnung die Temperatur auf 2,0°C bevorzugt 1,0°C, besonders bevorzugt 0,1°C stabil gehalten.

[0076] Bevorzugt werden die Ventile mit einem Peltier-element und einem Regler stabilisiert, bevorzugt um die Reproduzierbarkeit der Öffnungspulse und der dadurch erzeugten Druckpulse zu erhöhen. Bevorzugt werden die Ventile auf $27^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$ stabilisiert.

[0077] Bevorzugt wird zur Ansteuerung ein Echtzeitsystem verwendet, welches Signale mit Hundertstel-, besonders bevorzugt Milli-, ganz besonders bevorzugt Mikro- und am meisten bevorzugt Nanosekunden-Präzision erzeugen kann.

[0078] In einem weiteren erfindungsgemäßen **Verfahren** wird ein Eingangsdruck des Mikro- oder Mesofluidik-Kanals (2), welcher an dem ersten Ventil (10) anliegt, bestimmt mittels der Schritte

- Ansteuern des ersten Ventils (10) in Form des Pulses mit einer ersten Pulsdauer und einer ersten Pulshöhe und/oder mit einem ersten Pulskurvenintegralwert und Ansteuern des zweiten Ventils (20) in Form des Pulses mit einer zweiten Pulsdauer und einer zweiten Pulshöhe und/oder mit einem zweiten Pulskurvenintegralwert
- Messen des Drucks in dem Mikro- oder Mesofluidik-Kanal (2)
- Bestimmen des Eingangsdrucks in Abhängigkeit von dem gemessenen Druck in dem Mikro- oder Mesofluidik-Kanal (2) und der zweiten Pulsdauer. In einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen **Vorrichtung** ist diese eingerichtet einen solchen Eingangsdruck mittels dieser Schritte zu bestimmen.

[0079] Das Ansteuern des ersten und zweiten Ventils erfolgt bevorzugt nacheinander. Die Pulsdauern der Pulse, mit denen das erste und zweite Ventil angesteuert werden, sowie bevorzugt auch die Pulshöhe und/oder der erste und zweite Pulskurvenintegralwert, sind bevorzugt gleich. Bevorzugt wird das erste Ventil für eine kurze Zeit geöffnet, sodass der Sensor einen Wert messen kann. Dann wird der Druck über die Öffnung des zweiten Ventils mit der gleichen Öffnungszeit bevorzugt an die Atmosphäre oder an dem Niederdruckeingang entspannt. Die Entspannung erfolgt exponentiell, und die

Abfallgeschwindigkeit, bzw. der Restdruck nach vorgegebener Öffnungszeit erlaubt die Berechnung des Eingangsdruckes. Dieses Verfahren wird besonders bevorzugt ebenfalls für negative Drücke durchgeführt.

[0080] Das Bestimmen des Eingangsdruckes erfolgt bevorzugt mittels folgender Formel: $p_{in} = p_i^2 / (p_i - p_e)$

[0081] Hierbei ist p_{in} der zu bestimmende Eingangsdruck p_1 (Druckquelle) oder analog der Ausgangsdruck p_2 (Drucksenke), p_i ist der Druck im System nach Öffnen des ersten Ventils, p_e ist der Druck im System nach dem Öffnen des zweiten Ventils. Das zweite Ventil entspannt den Druck zur Atmosphäre oder zu einer Druckquelle/senke mit bekanntem Druck.

[0082] Beispiel: Das erste Ventil und das zweite Ventil werden nacheinander für 75 ms geöffnet. Nach dem Öffnen des ersten Ventils ist der Anfangsdruck $p_i = 338$ mBar und nach dem Öffnen des zweiten Ventils beträgt der Enddruck $p_e = 292$ mBar, die Differenz beträgt 46 mBar und somit $p_{in} = (338 \text{ mBar})^2 / (46 \text{ mBar}) = 2484$ mBar.

[0083] Der Eingangsdruck beträgt also etwa 2,5 Bar. Dieser Druck wird z. B. von kleinen Standard-Druckflaschen (z. B. 600ml) für Reinigungszwecke erreicht. Bevorzugt wird analog der Druck am Ausgang (sofern verschieden vom Atmosphärendruck) bestimmt.

[0084] In einem weiteren erfindungsgemäßen **Verfahren** wird von dem Ansteuern mindestens eines der Ventile (10, 20) in Form mindestens eines Pulses zu einer ungepulsten bzw. kontinuierlichen Betriebsart übergegangen oder es wird von der ungepulsten Betriebsart zu dem Ansteuern mindestens eines der Ventile (10, 20) in Form mindestens eines Pulses übergegangen. Bevorzugt ist die **Vorrichtung** eingerichtet, einen solchen Übergang durchzuführen.

[0085] Bevorzugt erfolgt ein Übergang gleitend. Bevorzugt wird hierfür der minimale Ventilöffnungsgrad so weit angehoben bis kein oder nur ein kleiner Unterschied zwischen dem Ventilöffnungsgrad, welcher der durch Regelung resultierenden Amplitude entspricht, und dem minimalen Ventilöffnungsgrad besteht. Alternativ oder zusätzlich wird die für die Regelung der Pulsdauer einstellbare maximale Amplitude (somit der maximale Ventilöffnungsgrad) soweit gesenkt, dass die Pulsweiten maximal werden und die Pulse miteinander verschmelzen. Hierbei wird ein kontinuierlicher Übergang zu den anfangs beschriebenen kontinuierlichen Verfahren (z. B. das Verfahren mit Gegenkopplung der Ventile) vollzogen. Bevorzugt wird während der Durchführung eines Übergangs von der einen in die andere Betriebsart die eventuell für den gepulsten Betrieb aufstellte Bedingung, dass nur jeweils ein Ventil geöffnet sein darf bzw. sich mindestens ein Ventil im Zustand der minimalen Ventilöffnungsgrads befinden muss, nicht berücksichtigt.

[0086] Zum Beispiel wird zunächst eine Ansteuerung durch Pulse durchgeführt, um den Ist-Wert des Drucks dem Sollwert grob anzunähern, und anschließend wird zu einer ungepulsten Betriebsart übergegangen. Wenn der Ist-Wert sich vom Sollwert wieder weiter entfernt, z.

B. durch eine Sollwertänderung, wird wieder zu der gepulsten Betriebsart übergegangen. Daneben oder zusätzlich wird z. B. von einer gepulsten zu einer ungepulsten Betriebsart übergegangen, wenn sich ein Leck im System einstellt, so dass das System nicht mehr dicht ist. Sobald das Leck nicht mehr vorhanden ist, wird auf die gepulste Betriebsart übergegangen.

[0087] In einem weiteren erfindungsgemäßen **Verfahren** wird ein Eingangsdruck in den Mikro- und/oder Mesofluidik-Kanal (2) höher eingestellt als der gewünschte Druckbereich im Mikro- und/oder Mesofluidikkanal (2) und/oder ein Ausgangsdruck aus dem Mikro- und/oder Mesofluidik-Kanal (2) wird niedriger eingestellt als der gewünschte Druckbereich im Mikro- und/oder Mesofluidikkanal (2). Bevorzugt sind bei einer erfindungsgemäßen **Vorrichtung** ein derartiger Eingangsdruck und/oder Ausgangsdruck einstellbar.

[0088] Der Eingangsdruck ist z. B. der am ersten Ventil anliegende Druck, der Ausgangsdruck z. B. der am zweiten Ventil anliegende Druck.

[0089] Auf diese Weise wird die durch innere Volumina bedingte Reaktionsträgheit des Systems minimiert. Die Dynamik wird besonders bevorzugt wesentlich verbessert, indem der Eingangsdruck über dem maximalen Solldruck und der Ausgangsdruck unter dem minimalen Solldruck liegt. Hierdurch werden bevorzugt die Teile der exponentiellen Abklingfunktion genutzt, welche eine hohe Steigung aufweisen.

[0090] Die Erfindung soll nun anhand von Zeichnungen beispielhaft weiter veranschaulicht werden. Hierbei zeigen:

- Figur 1 eine Übersicht über eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 2 Graphen für den zeitlichen Verlauf des Steuersignals S und des Drucks P im Mikrokanal eines Ansteuerns eines Ventils in Form eines Rechteckpulses,
- Figur 3 den zeitlichen Verlauf des Drucks P im Mikrokanal einer Regelung gemäß Stand der Technik, bei dem nur eines der beiden Ventile geregelt wird und kein Unterdruck an einem der Ventile angeschlossen ist,
- Figur 4 den zeitlichen Verlauf des Drucks P einer erfindungsgemäßen Regelung beider Ventile wobei an einem der Ventile ein Über- und an dem anderen der Ventile ein Unterdruck angeschlossen ist,
- Figur 5 einen zeitlichen erfindungsgemäßen Verlauf der Steuersignale S1 für das erste und S2 für das zweite Ventil und den resultierenden Druckverlauf P im Mikrokanal
- Figur 6 einen Verlauf des Rauschverhaltens eines erfindungsgemäßen Verfahrens mit Regelung von Druckpulsen bei eingestellter schneller Dynamik der Regelung durch Steuerpulse,

- Figur 7 einen Verlauf des Rauschverhaltens eines erfindungsgemäßen Verfahrens mit Regelung von Druckpulsen nach einer weiteren kurzen Zeitspanne,
- Figur 8 die Abhängigkeit der durch die erfindungsgemäßen Steuerpulse erzeugten Druckpulse von Temperaturschwankungen,
- Figur 9 den Effekt einer erfindungsgemäßen Stabilisierung der Temperatur zur Steuerung/Regelung des Drucks im Mikrokanal,
- Figur 10 den Übergang von einem Pulsbetrieb in einen kontinuierlichen Betrieb nach einer ersten Variante,
- Figur 11 den Übergang von einem Pulsbetrieb in einen kontinuierlichen Betrieb nach einer zweiten Variante.

[0091] Figur 1 zeigt eine Übersicht über eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Auf der linken Seite ist mit einem Pfeil der Eingang des Systems angedeutet, an welchem eine Druckquelle angeschlossen ist. Diese steht mit dem ersten Ventil 10 direkt in Verbindung. Zwischen Ventil 10 und dem Ventil 20 ist ein Bereich, mit welchem ein Mikrokanal 2 in pneumatischer oder hydraulischer Verbindung steht. Auf der rechten Seite ist mit einem Pfeil der Ausgang des Systems angedeutet, der mit einer Drucksenke verbunden ist. Der Gasfluss durchläuft das System von links nach rechts. Die Vorrichtung 1, hier nicht einschränkend als Computer angedeutet, ist eingerichtet, Steuersignale an die Ventile 10, 20 zu senden. Optional ist ein Drucksensor eingezeichnet, welcher eingerichtet ist, den Druck zwischen den Ventilen 10, 20 zu messen und diesen an die Vorrichtung weiterzuleiten.

[0092] Im Betrieb der Erfindung wird der Druck im Mikrokanal 2 mittels Ansteuerung der Ventile 10, 20 verändert (z. B. für ein Positionieren von Zellen zur mikroskopischen Beobachtung). Die Ventile verändern ihre jeweiligen Ventilöffnungsgrade und es stellt sich aufgrund des Verhältnisses der Ventilöffnungsgrade ein bestimmter Druck im Mikrokanal 2 ein. Für das Ansteuern sendet die Vorrichtung 1 Steuersignale an beide Ventile 10, 20, wobei die Steuersignale für das eine Ventil 10 abhängig sind von den Steuersignalen des anderen Ventils 20 (und/oder umgekehrt).

[0093] Auf diese Weise vereinfacht sich die Ansteuerung, obwohl beide Ventile angesteuert werden und somit eine flexiblere Ansteuerung z. B. verschiedener Systemarbeitspunkte möglich ist, da eines der Ventile automatisch mitgesteuert wird.

[0094] Figur 2 zeigt Graphen des zeitlichen Verlaufs des Steuersignals S und des Drucks P im Mikrokanal für ein Ansteuern des Ventils 10 (Eingangsventil) in Form eines Rechteckpulses. Das Ventil 20 (Ausgangsventil) ist feststehend und leicht geöffnet, was ein zu langsames Abklingverhalten bedingt. Hier ist ein Druckpuls mit einer sehr geringen Pulshöhe und langer Pulsdauer gezeigt. Bei kurzem Steuerstompuls an das Ventil mit hoher Am-

plitude wird der Druckpuls steiler und kürzer bis eine Grenzdynamik erreicht wird, die durch den Widerstand der Ventile, die angelegten Drücke und das Systemvolumen bestimmt wird.

[0095] Figur 3 zeigt den zeitlichen Verlauf des Drucks P im Mikrokanal einer Regelung gemäß des Stands der Technik, bei dem nur eines der beiden Ventile geregelt wird und kein Unterdruck an einem der Ventile angeschlossen ist. Gezeigt ist eine typische Druckdynamik eines Wechsels von -200 auf +200 mbar und wieder zu -200 mbar für ein Einventilsystem mit PID Regelung. Zusätzlich zur fehlenden Ansteuerung des zweiten Ventils verschlechtert der fehlende Unterdruck die Dynamik signifikant, da der Solldruck 0 mbar auch bei vollständig geöffnetem zweiten Ventil 20 nur durch eine exponentielle Kurve angenähert wird. Deutlich sichtbar sind außerdem Überschwinger in Antwort eines Pulses.

[0096] Figur 4 zeigt den zeitlichen Verlauf des Drucks P einer erfindungsgemäßen Regelung beider Ventile 10, 20 wobei an einem der Ventile 10, 20 ein Über- und an dem anderen der Ventile 10, 20 ein Unterdruck angeschlossen ist. Sowohl die Druckabfallflanke als auch die Druckanstiegsflanke sind im Gegensatz zur vorigen Figur signifikant steil und gleichmäßig.

[0097] Zunächst wird das zweite Ventil 20, welches an der Drucksenke angeschlossen ist, vollständig geöffnet, so dass der Druckabfall maximal schnell erfolgt, offen gehalten und sodann wieder geschlossen. Diese Ansteuerung entspricht einem Rechteckpuls. Danach wird das erste Ventil 10, welches an der Druckquelle angeschlossen ist, vollständig geöffnet, offen gehalten und wieder geschlossen, was dem Ansteuern in Form eines weiteren Rechteckpulses entspricht. Die Pulshöhe und/oder die Pulsdauer werden während des Steuerns zusätzlich als Stellgröße für die Regelung des Drucks in einem PID-Regelkreis variiert, so dass die Überschwinger nach Erreichen des Sollwerts signifikant gedämpft werden. Auf diese Weise sind beide Flanken der Druckänderung maximal steil generierbar. Das Anschließen eines Unterdrucks an das zweite Ventil 20 verstärkt diese Steilheit zusätzlich. Damit ist ein lineares und abruptes Absinken erreichbar. Weiterhin erfolgt zu dem Zeitpunkt, an dem beide Ventile komplett geschlossen sind, kein Gasdurchfluss und somit insgesamt ein Gasdurchfluss nur für kurze Zeit, wodurch der Gasverbrauch auf das Nötigste verringert wird.

[0098] Figur 5 zeigt einen erfindungsgemäßen zeitlichen Verlauf der Steuersignale S1 für das erste und S2 für das zweite Ventil und den resultierenden Druckverlauf P im Mikrokanal. Der Druck soll von einem Niveau auf ein höheres Niveau ansteigen, danach auf ein mittleres Niveau abgesenkt werden.

[0099] Hierzu wird zunächst das erste Ventil 10 an der Druckquelle mittels eines Pulses angesteuert, infolgedessen der erste Sollwert erreicht wird. Hier erfolgt die Parametrierung des benötigten Steuerpulses S1 über eine prädiktive Berechnung anhand der benötigten Druckänderung. Anschließend wird das Ventil 20 zur At-

mosphäre bzw. zum Niederdruckeingang hin geöffnet mittels eines weiteren prädiktiv berechneten Steuerpulses S2. Dabei wird die Abhängigkeit zwischen den Steuerpulsen der Ventile beachtet, dass stets mindestens ein Ventil einen minimalen Ventilöffnungsgrad aufweist.

[0100] Auf diese Weise ist eine schnelle Anpassung an den Solldruck bei minimalen Gasverbrauch und optimaler Dynamik realisierbar.

[0101] **Figur 6** zeigt einen Verlauf des Rauschverhaltens eines erfindungsgemäßen Verfahrens mit Regelung von Druckpulsen bei eingestellter, schneller Dynamik der Regelung durch Steuerpulse. Bei schneller Dynamik, etwa nach raschen Änderungen des Solldrucks, ist das durch die Regelung verursachte Rauschen im Drucksignal noch relativ groß: hier über 20dB über dem systemeigenen Rauschen durch z. B. Elektronik, thermische Bewegung, Halbleiter.

[0102] Durch Einstellen der Pulshöhe und Pulsdauer der Steuerpulse beider Ventile wird das Regelungsrauschen beeinflusst. Um das Rauschen zu verringern werden die Pulshöhen minimiert und die Pulsdauern maximiert. Eine schnelle Dynamik mit höherem Rauschen wird durch größere Pulshöhen und kleineren Pulsdauern eingestellt.

[0103] **Figur 7** zeigt einen Verlauf des Rauschverhaltens eines erfindungsgemäßen Verfahrens mit Regelung von Druckpulsen nach einer weiteren kurzen Zeitspanne.

[0104] In diesem Beispiel werden die Pulsamplituden nach Annäherung an den Sollwert verringert und somit verringert sich auch das Regelrauschen. Es liegt typischerweise etwa 15dB über dem Systemrauschen.

[0105] **Figur 8** zeigt die Abhängigkeit der durch die erfindungsgemäßen Steuerpulse erzeugten Druckpulse von Temperaturschwankungen. Die untere Kurve zeigt die für diese Veranschaulichung durchgeführte Modulation der Temperatur um $\pm 5^\circ$ Kelvin. Die Steuerspannung für das Ventil wird immer gleichartig pulsiert. Der resultierende Druckverlauf zeigt eine deutliche Abhängigkeit zum Temperaturverlauf und ist somit fehlerbehaftet.

[0106] **Figur 9** zeigt den Effekt einer erfindungsgemäßen Stabilisierung der Temperatur zur Steuerung/Regelung des Drucks im Mikrokanal. Die Temperaturkurve ist stabilisiert. Deutlich sichtbar ist die Konstanz der Druckänderungen ohne temperaturbedingte Schwankung. Die Temperatur wird durch handelsübliche Temperaturregler und Peltierelemente, welche auf die Ventile gesetzt werden, stabilisiert.

[0107] **Figur 10** zeigt den Übergang von einem Pulsbetrieb in einen kontinuierlichen Betrieb nach einer ersten Variante. Das Grundniveau wird im leckbehafteten Fall auf das Niveau der Regelpulse S angehoben, sodass kein Unterschied mehr besteht. Somit fallen die Pulse weg und es findet nur noch eine kontinuierliche Regelung statt. Das Ansteuern des einen Ventils ist dabei abhängig vom Ansteuern des anderen Ventils.

[0108] **Figur 11** zeigt den Übergang von einem Pulsbetrieb in einen kontinuierlichen Betrieb nach einer zweiten Variante. Die Pulshöhe wird soweit gesenkt und somit

die Pulsbreite soweit erweitert, dass die Regelpulse S miteinander verschmelzen. Somit wird ein kontinuierliches Signal erhalten.

[0109] Mit dieser Erfindung wird eine Vorrichtung und ein Verfahren vorgestellt, welche eine zum Stand der Technik erhebliche Verbesserung der Ansteuerung und Manipulation des Drucks in einem Mikrokanal darstellt. Es werden nicht nur beide Ventile automatisch angesteuert. Die Ansteuerung beider Ventile erfolgt zudem in einer einfachen, bevorzugt sogar wechselseitigen Abhängigkeit zwischen den angesteuerten Ventilen. Auf diese Weise sind optimierbare Parameter definierbar, z. B. Gasverbrauch, Dynamik der Änderungen, Flankensteilheit, Leckverlustkompensation, Gegenkopplung, Regelungsrauschen etc. und eine lineare und wirkungsvolle Regelung des Drucks ist möglich. Außerdem sind Systemparameter (inneres Volumen, Verdrängungsvolumen eines Gaspulses, die mit einem Puls verschobenen Gasteilen und/oder der Eingangsdruck) messbar womit weiterhin eine prädiktive Regelung durchführbar ist, indem für eine Druckänderung benötigte Druckpulse anhand eines oder mehrerer dieser Parameter berechnet werden.

25 Bezugszeichen

[0110]

- | | |
|----|--|
| 1 | Vorrichtung zur Regelung des Drucks in einem |
| 30 | Mikro- oder Mesofluidik-Kanal, |
| 2 | Mikro- oder Mesofluidik-Kanal, |
| 10 | erstes Ventil, |
| 20 | zweites Ventil. |

35 Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung des Drucks in einem Mikro- oder Mesofluidik-Kanal (2) mittels eines ersten (10) und mindestens eines zweiten Ventils (20), wobei das erste Ventil (10) einen ersten einstellbaren Ventilöffnungsgrad und das mindestens zweite Ventil (20) einen mindestens zweiten einstellbaren Ventilöffnungsgrad aufweist, umfassend die Schritte:

- Ansteuern des ersten Ventils (10) zum Einstellen des ersten Ventilöffnungsgrades,
- Ansteuern des mindestens zweiten Ventils (20) zum Einstellen des mindestens zweiten Ventilöffnungsgrades,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Ansteuern eines der Ventile (10, 20) automatisch und in Abhängigkeit von dem Ansteuern eines anderen der Ventile (10, 20) erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Abhängigkeit des Ansteuerns des einen der Ventile (10, 20) von dem Ansteuern des anderen

der Ventile (10, 20) ein Gegenkoppeln des Ansteuerns des einen der Ventile (10, 20) und des Ansteuerns des anderen der Ventile (10, 20) beinhaltet.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Gegenkoppeln als Bedingung ein Konstanthalten der Summe eines ersten Strömungswiderstands des ersten Ventils (10) und eines zweiten Strömungswiderstands des zweiten Ventils (10) beinhaltet.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei für das erste Ventil (10) ein erster minimaler Ventilöffnungsgrad definiert ist oder definiert wird und für das mindestens zweite Ventil (20) ein mindestens zweiter minimaler Ventilöffnungsgrad definiert ist oder definiert wird und die Abhängigkeit des Ansteuerns des einen der Ventile (10, 20) von dem Ansteuern des anderen der Ventile (10, 20) die Bedingung beinhaltet, dass stets für mindestens eines der Ventile (10, 20) der jeweilige minimale Ventilöffnungsgrad durch das Ansteuern der Ventile (10, 20) eingestellt ist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei durch das Ansteuern des ersten Ventils (10) und das Ansteuern des mindestens zweiten Ventils (20) ein bevorzugt unterbrechungsfreier Verlauf des Drucks in dem Mikro- oder Mesofluidik-Kanal (2) mit positiven und negativen Druckwerten eingestellt wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Ansteuern mindestens eines der Ventile (10, 20) in Form mindestens eines Pulses zur Erzeugung von mindestens einem Druckpuls im Mikro- oder Mesofluidik-Kanal (2) erfolgt.
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die Anzahl der mit einem der erzeugten Druckpulse verschobenen Gasteilchen im Mikro- oder Mesofluidik-Kanal (2) bestimmt wird und/oder das durch einen der erzeugten Druckpulse verschobene Volumen im Mikro- oder Mesofluidik-Kanal bestimmt wird und/oder das innere Volumen des Mikro- oder Mesofluidik-Kanals (2) bestimmt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 6 bis 7, wobei der mindestens eine Puls eine lange Pulsdauer und/oder eine hohe Pulshöhe und/oder einen großen Pulscurvenintegralwert zur groben Positionierung von Objekten und/oder Fluiden im Mikro- oder Mesofluidik-Kanal (2) aufweist und der mindestens eine Puls eine kürzere Pulsdauer und/oder eine niedrigere Pulshöhe und/oder einen kleinen Pulscur-

venintegralwert zur feinen Positionierung aufweist.

9. Verfahren nach Anspruch 6 bis 8, wobei eine Messgröße in dem Mikro- oder Mesofluidik-Kanal (2), insbesondere der Druck, durch wiederholtes Ansteuern der Ventile (10, 20) in Form des mindestens einen Pulses auf einen Sollwert geregelt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei mittels einer Regelung geregelt wird und eine Reaktionsgeschwindigkeit und/oder ein Regelungsrauschen der Regelung frei gewählt und/oder durch einen Algorithmus an Anwendungserfordernisse angepasst wird.
11. Verfahren nach Anspruch 6 bis 10, wobei eine Pulsdauer und eine Pulshöhe und/oder ein Pulscurvenintegralwert des mindestens einen Pulses in Abhängigkeit einer zu erzielenden Änderung des Drucks im Mikro- oder Mesofluidik-Kanal (2) bestimmt werden.
12. Verfahren nach Anspruch 6 bis 11, wobei ein Eingangsdruck des Mikro- oder Mesofluidik-Kanals (2), welcher an dem ersten Ventil (10) anliegt, bestimmt wird mittels der Schritte:
 - Ansteuern des ersten Ventils (10) in Form des Pulses mit einer ersten Pulsdauer und einer ersten Pulshöhe und/oder mit einem ersten Pulscurvenintegralwert und Ansteuern des zweiten Ventils (20) in Form des Pulses mit einer zweiten Pulsdauer und einer zweiten Pulshöhe und/oder mit einem zweiten Pulscurvenintegralwert
 - Messen des Drucks in dem Mikro- oder Mesofluidik-Kanal (2)
 - Bestimmen des Eingangsdrucks in Abhängigkeit von dem gemessenen Druck in dem Mikro- oder Mesofluidik-Kanal (2) und der zweiten Pulsdauer.
13. Verfahren nach Anspruch 6 bis 12, wobei von dem Ansteuern mindestens eines der Ventile (10, 20) in Form mindestens eines Pulses zu einer ungepulsten Betriebsart übergegangen wird oder von der ungepulsten Betriebsart zu dem Ansteuern mindestens eines der Ventile (10, 20) in Form mindestens eines Pulses übergegangen wird.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Eingangsdruck in den Mikro- und/oder Mesofluidik-Kanal (2) höher eingestellt wird als der gewünschte Druckbereich im Mikro- und/oder Mesofluidikkanal (2) und/oder ein Ausgangsdruck aus dem Mikro- und/oder Mesofluidik-Kanal (2) niedriger eingestellt wird als der gewünschte Druckbereich im Mikro- und/oder Mesofluidikkanal

(2).

15. Vorrichtung (1) zur Steuerung des Drucks in einem Mikro- oder Mesofluidik-Kanal (2) mittels eines ersten (10) und mindestens eines zweiten Ventils (20), wobei das erste Ventil (10) einen ersten einstellbaren Ventilöffnungsgrad und das mindestens zweite Ventil (20) einen mindestens zweiten einstellbaren Ventilöffnungsgrad aufweist, wobei die Vorrichtung (1) eingerichtet ist zum:

- Ansteuern des ersten Ventils (10) zum Einstellen des ersten Ventilöffnungsgrades,
- Ansteuern des mindestens zweiten Ventils (20) zum Einstellen des mindestens zweiten Ventilöffnungsgrades,

dadurch gekennzeichnet, dass
die Vorrichtung (1) weiterhin eingerichtet ist, das Ansteuern eines der Ventile (10, 20) automatisch und in Abhängigkeit von dem Ansteuern eines anderen der Ventile (10, 20) durchzuführen.

25

30

35

40

45

50

55

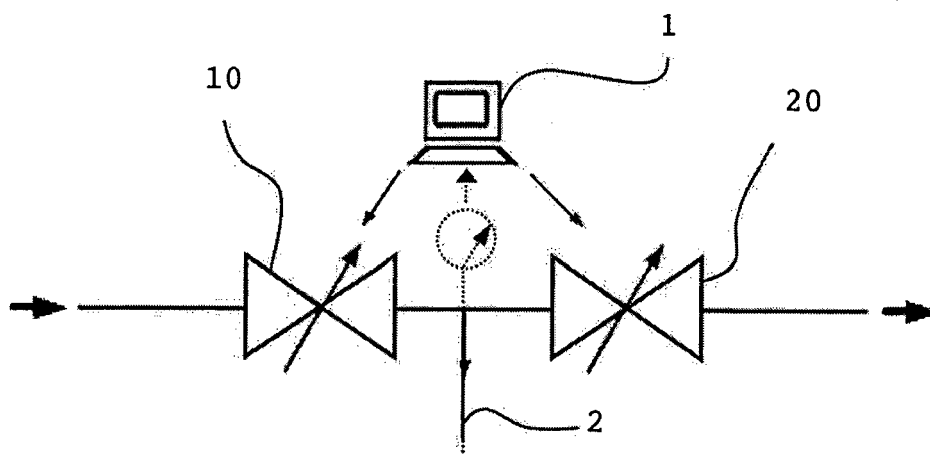


Fig. 1

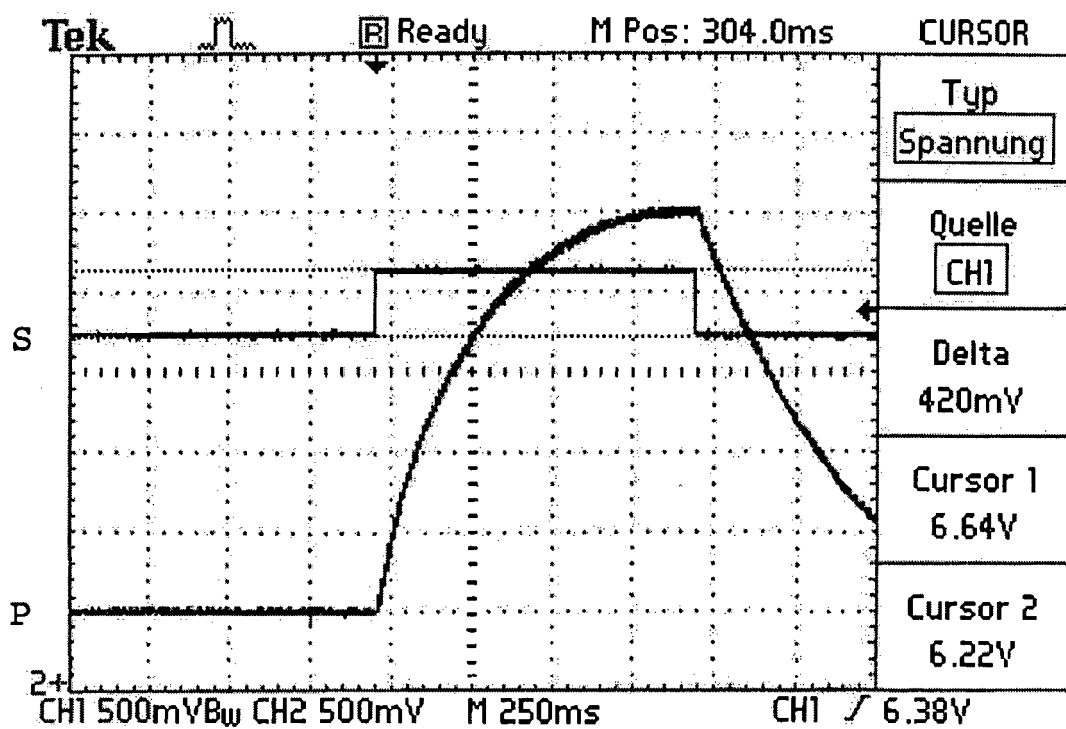


Fig. 2

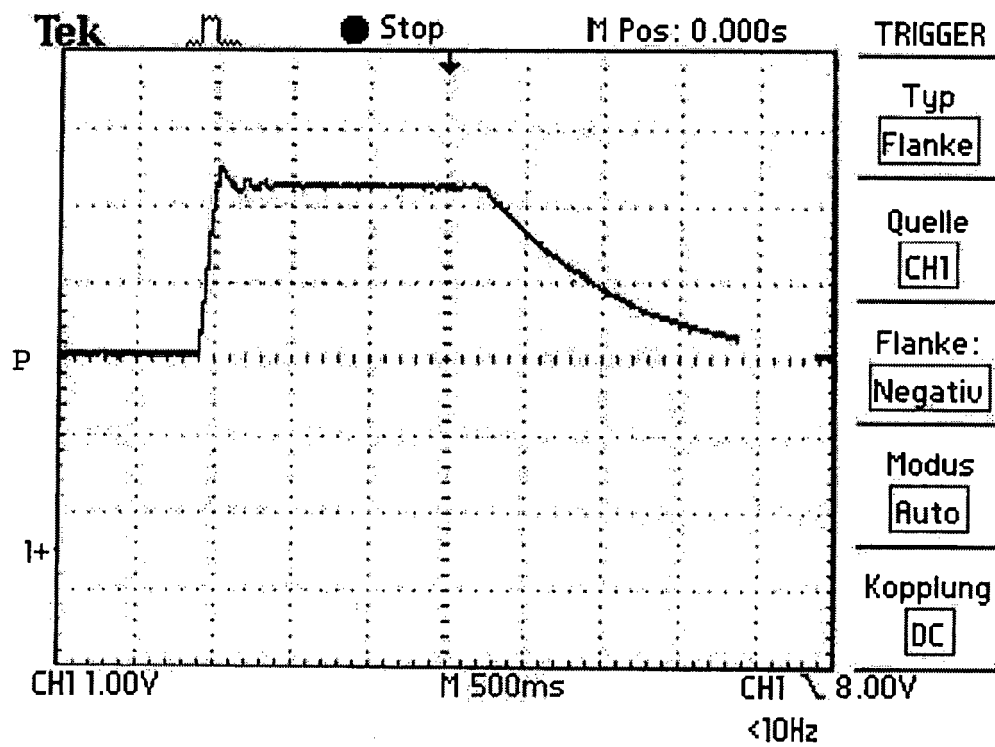


Fig. 3

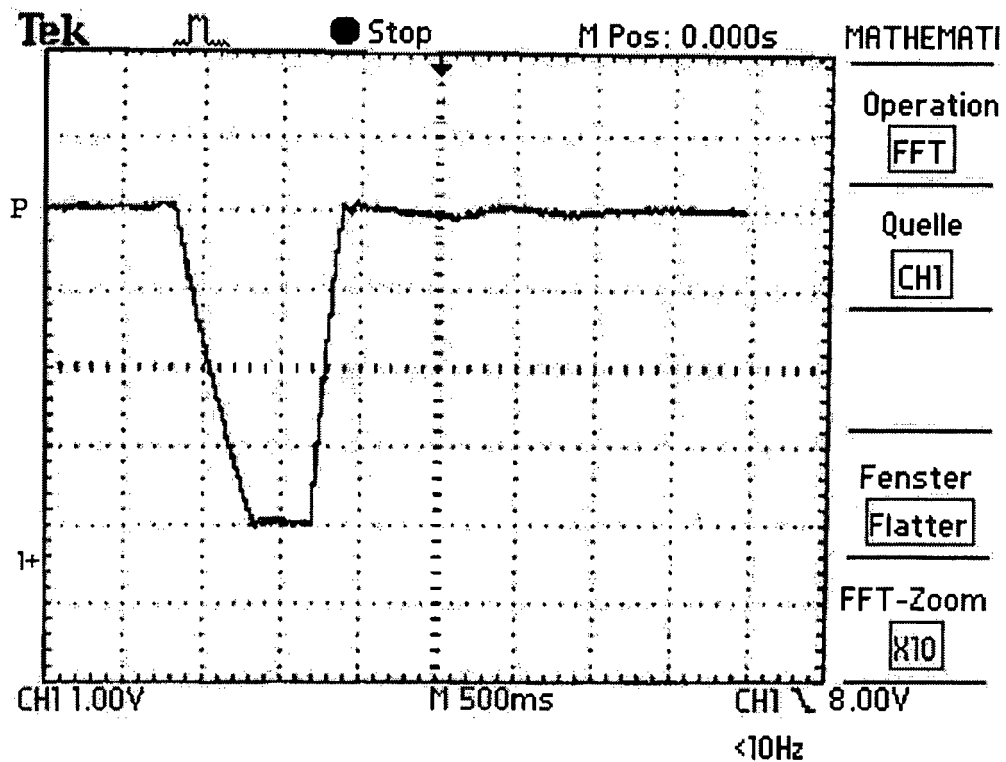


Fig. 4

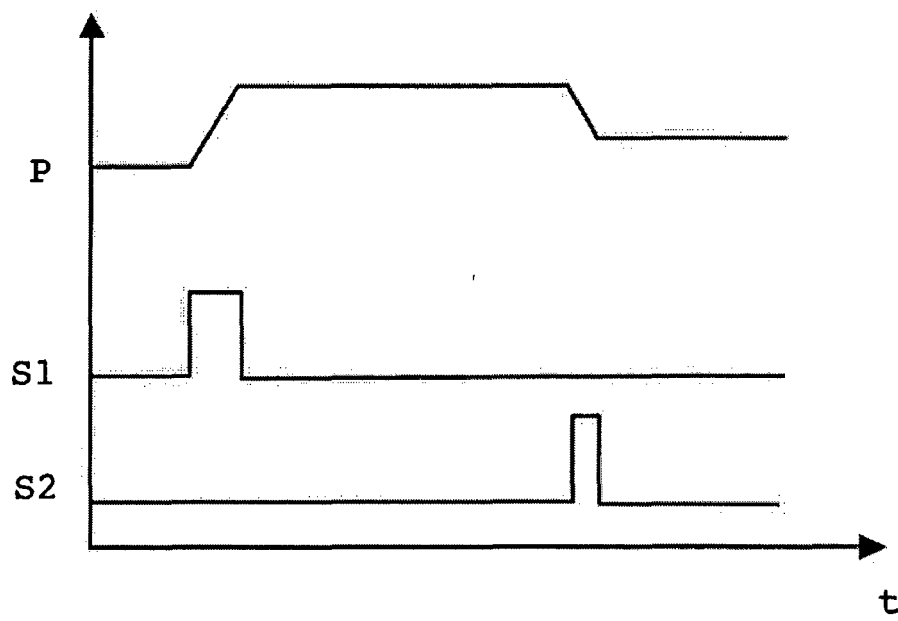


Fig. 5

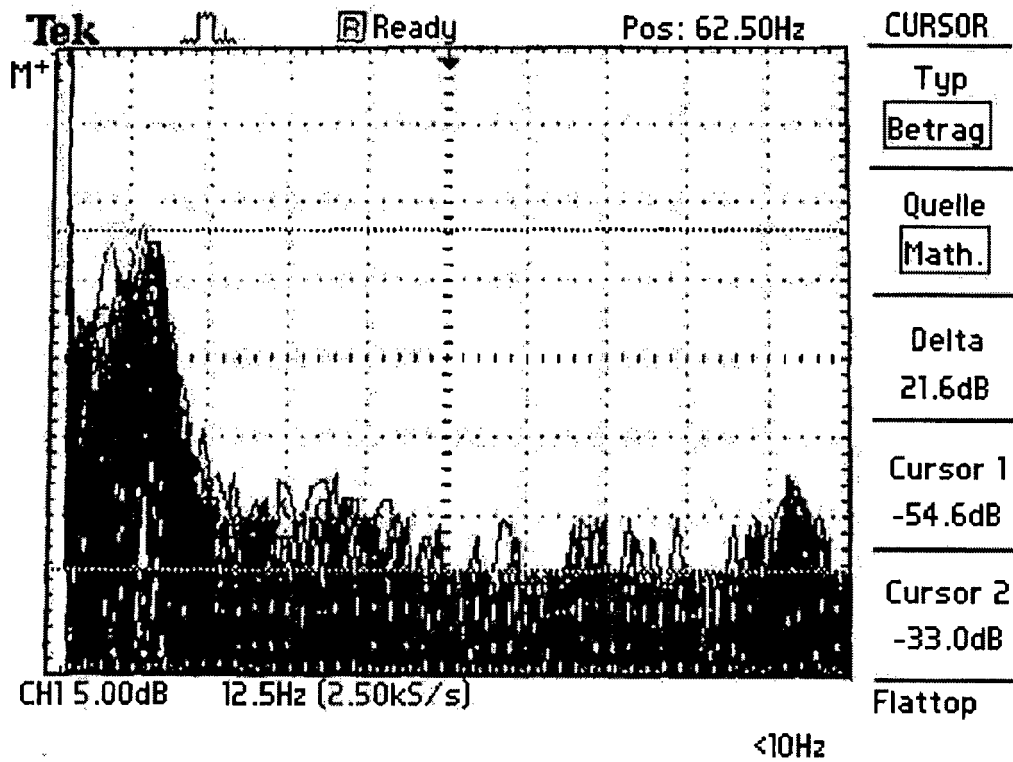


Fig. 6

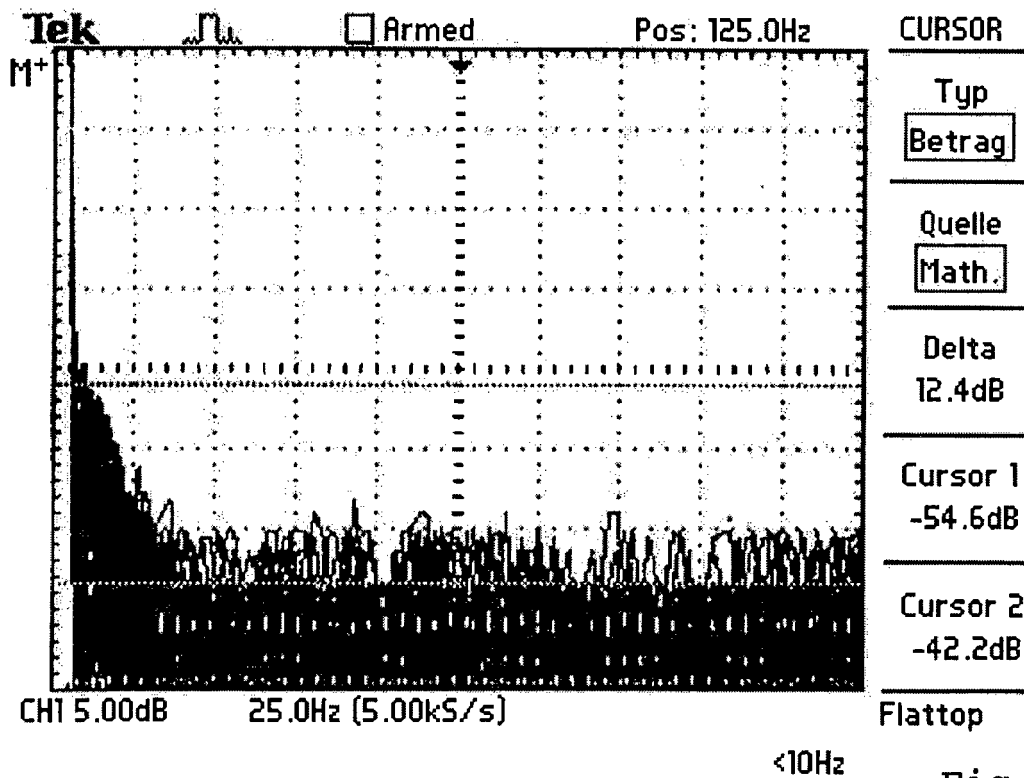


Fig. 7

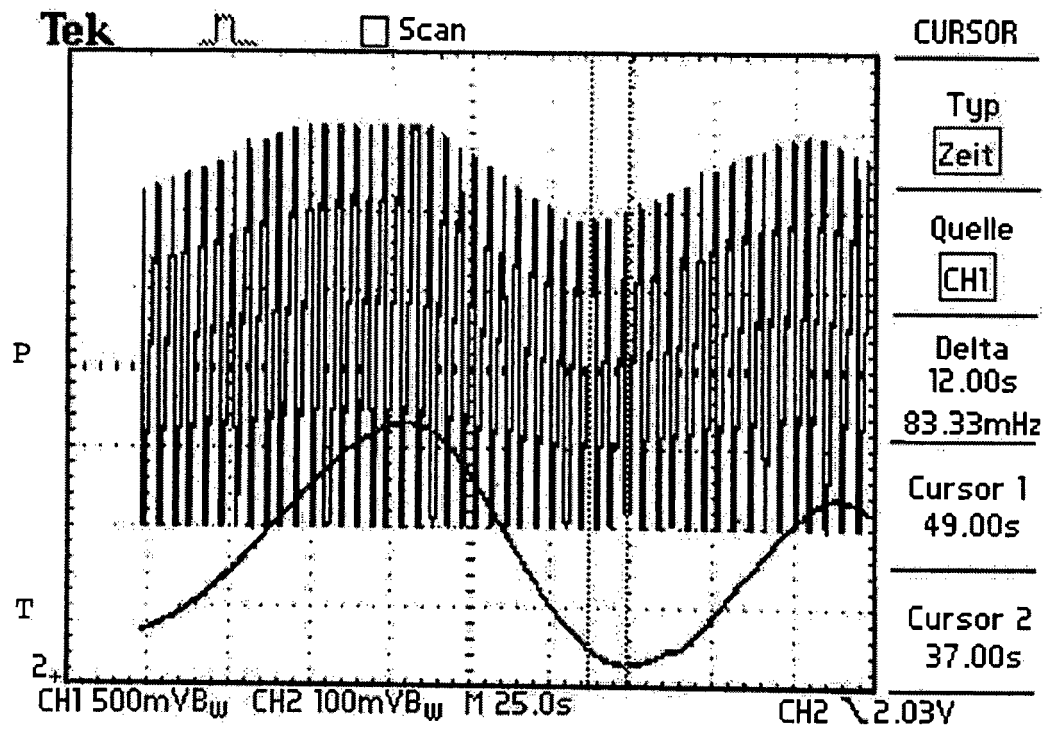


Fig. 8

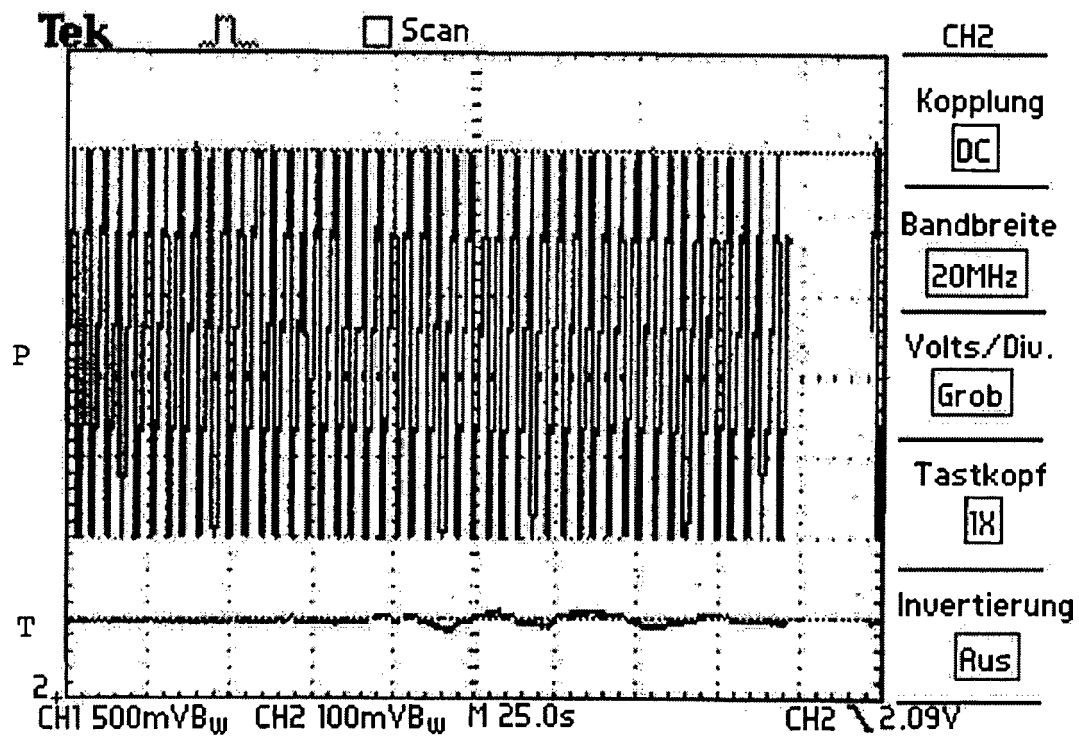


Fig. 9

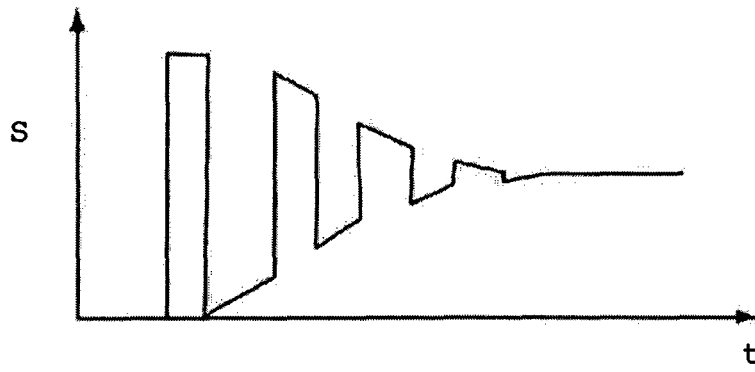


Fig. 10

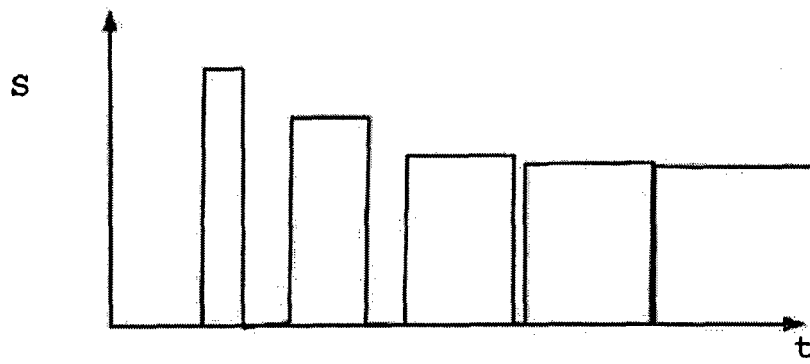


Fig. 11



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 13 00 4877

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	FR 2 855 076 A1 (INST CURIE [FR]; CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]) 26. November 2004 (2004-11-26) * Seite 18, Zeile 1 - Zeile 4 *	1-15	INV. B01L3/00
A	US 2009/320930 A1 (ZENG SHULIN [US] ET AL) 31. Dezember 2009 (2009-12-31) * das ganze Dokument *	1-15	
A	WO 2010/106428 A2 (SILICON BIOSYSTEMS SPA [IT]; MEDORO GIANNI [IT]; PEROZZIELLO GERARDO []) 23. September 2010 (2010-09-23) * das ganze Dokument *	1-15	
A	US 2008/289710 A1 (UNGER MARC A [US] ET AL) 27. November 2008 (2008-11-27) * das ganze Dokument *	1-15	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B01L
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 17. Dezember 2013	Prüfer Skowronski, Maik
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 13 00 4877

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

17-12-2013

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
FR 2855076 A1	26-11-2004	CA 2526205 A1	02-12-2004
		CN 1816393 A	09-08-2006
		EP 1628769 A1	01-03-2006
		FR 2855076 A1	26-11-2004
		JP 4639189 B2	23-02-2011
		JP 2007511744 A	10-05-2007
		US 2006275179 A1	07-12-2006
		WO 2004103566 A1	02-12-2004
US 2009320930 A1	31-12-2009	EP 2297470 A1	23-03-2011
		JP 2011527011 A	20-10-2011
		US 2009320930 A1	31-12-2009
		US 2012145253 A1	14-06-2012
		WO 2010002797 A1	07-01-2010
WO 2010106428 A2	23-09-2010	EP 2408560 A2	25-01-2012
		WO 2010106428 A2	23-09-2010
US 2008289710 A1	27-11-2008	KEINE	

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2004103566 A [0002]