

5

Vorrichtung und Verfahren zum Mischen von Fluiden und zum Erzeugen eines
Fluidgemisches

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Mischen von Fluiden und zum Erzeugen eines
10 Fluidgemisches sowie ein entsprechendes Verfahren. Die Erzeugung von Fluidgemischen
spielt beispielsweise in der Chemie, Mikrobiologie, Biochemie, Pharmazie, Medizintechnik
und der Lebensmitteltechnik eine wichtige Rolle. Dabei spielt insbesondere eine Rolle,
dass das erzeugte Fluidgemisch definierte Eigenschaften aufweist. Wenn bei einem
Mischvorgang beispielsweise Partikel (im Nanometerbereich) entstehen, so wird häufig
15 eine spezifische Partikelgröße verbunden mit einer definierten Größenverteilung
angestrebt. Auch die erfindungsgemäße Vorrichtung sowie das erfindungsgemäße
Verfahren sind zur Erzeugung von (Nano)Partikeln geeignet.

Aus dem Stand der Technik sind zur Erzeugung von Fluidgemischen beziehungsweise
20 (Nano)partikeln mikrofluidische Systeme bekannt, die im Nanolitermaßstab arbeiten und
präzise Kontrolle von Temperatur, Verweilzeit und Konzentrationen gelöster Stoffe
erfordern. Diese Systeme weisen Strömungskanäle auf, die bezogen auf ihren Querschnitt
eine große Länge haben, so dass der strömungstechnische Widerstand verhältnismäßig
hoch ist. Diese Systeme sind einerseits teuer und andererseits anfällig für Verstopfungen.
25 Auch kann eine Anwendung dieser Systeme in der Massenproduktion schwierig bis
unmöglich sein.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren
zum Mischen von Fluiden und zum Erzeugen eines Fluidgemisches zu schaffen, die
30 weniger störanfällig und auch für die Massenproduktion von Fluidgemischen
beziehungsweise Partikeln mit definierten Eigenschaften geeignet sind. Insbesondere
besteht die Aufgabe auch darin, mit derselben Mischungstechnologie Fluide sowohl im
Labormaßstab (d.h. wenige Nanoliter pro Minute) als auch in der Massenproduktion (d.h.
mehrere Liter pro Minute) zu vermischen und ein Fluidgemisch zu erzeugen.

35

Die erzeugten Fluidgemische können beispielsweise Lösungen zur parenteralen
Ernährung, oder Medikamente zu oralen oder topischen Anwendung sein.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

5

Danach umfasst die Vorrichtung zum Mischen von Fluiden und zum Erzeugen eines Fluidgemisches zunächst eine Mischungskammer mit einer ersten Einlassöffnung, über die ein erstes Fluid in die Mischungskammer einleitbar ist, einer zweiten Einlassöffnung, über die ein zweites Fluid in die Mischungskammer einleitbar ist, und einer Auslassöffnung, über die das Fluidgemisch umfassend das erste Fluid und das zweite Fluid ableitbar ist. Ferner umfasst die Vorrichtung eine erste Zufuhrvorrichtung, die fluidisch mit der Mischungskammer über die erste Einlassöffnung verbunden und ausgebildet ist, das erste Fluid entlang einer ersten Fluidstromrichtung in die Mischungskammer zu leiten, und eine zweite Zufuhrvorrichtung, die fluidisch mit der Mischungskammer über die zweite Einlassöffnung verbunden und ausgebildet ist, das zweite Fluid entlang einer zweiten Fluidstromrichtung in die Mischungskammer zu leiten.

Dabei umfasst die erste Zufuhrvorrichtung ein fluidisches Bauteil, das eine Auslassöffnung aufweist, die mit der ersten Einlassöffnung der Mischungskammer fluidisch verbunden ist. Insbesondere kann die Auslassöffnung des fluidischen Bauteils der ersten Einlassöffnung der Mischungskammer entsprechen.

Das fluidische Bauteil zeichnet sich durch mindestens ein Mittel zur gezielten Richtungsänderung des ersten Fluids, das das fluidische Bauteil durchströmt, aus. Zur gezielten Richtungsänderung können alternierende Wirbel, z.B. erzeugt durch kollidierende Fluidströme innerhalb des fluidischen Bauteils oder durch einen Störkörper innerhalb des fluidischen Bauteils, verwendet werden. Bei dieser Art der Mittel zur Erzeugung der gezielten Richtungsänderung muss ausreichend Platz für die Erzeugung und den anschließenden Abbau der Wirbelstrukturen vorgesehen werden. Insbesondere ist dieses mindestens eine Mittel zur Ausbildung einer räumlichen Oszillation des ersten Fluids an der Auslassöffnung vorgesehen und ausgebildet.

Das erste Fluid wird somit nicht als (quasi)stationärer Strom in die Mischungskammer geleitet, sondern als oszillierender Fluidstrom. Neben einer longitudinalen Strömungskomponente weist das erste Fluid auch eine laterale Strömungskomponente auf, die sich zeitlich verändert. Dadurch können in der Mischungskammer Turbulenzen erzeugt werden, so dass in der Mischungskammer eine hohe Mischungsqualität erreicht

- werden kann. Die Vorrichtung zeichnet sich also dadurch aus, dass das erste Fluid schwingend bzw. dynamisch aus der ersten Zufuhrvorrichtung in die Mischungskammer eintritt. Dadurch erhält das erste Fluid eine sich ständig ändernde Strömungsgeschwindigkeitskomponente quer zu seiner Hauptströmungsrichtung. Das in
- 5 die Mischungskammer eintretende, oszillierende erste Fluid kann dabei eine Reynolds-Zahl von mehr als 600, ungefähr 1000 oder sogar von mehr als 1000 aufweisen. Die Schwingungsfrequenz des oszillierenden ersten Fluids kann mindestens 100 Hz betragen, typischerweise über 2000 Hz.
- 10 Vorteilhaft bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist, dass der Strömungswiderstand verhältnismäßig gering ist. Daher kann die erfindungsgemäße Vorrichtung für Mischprozesse von minimalen Mengen zum Beispiel im Mikroliterbereich als auch für Mischprozesse in der Massenproduktion (zum Beispiel mit mehreren Litern pro Minute) verwendet werden.
- 15 Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass das fluidische Bauteil eine Strömungskammer umfasst, die neben der bereits erwähnten Auslassöffnung auch eine Einlassöffnung aufweist und von dem ersten Fluid durchströmbar ist, das durch die Einlassöffnung in die Strömungskammer eintritt und durch die Auslassöffnung aus der
- 20 Strömungskammer austritt. Gemäß einer Ausführungsform können die Einlassöffnung und die Auslassöffnung des fluidischen Bauteils unterschiedlich große Breiten aufweisen. Insbesondere weist die Strömungskammer einen Hauptstromkanal, der die Einlassöffnung der Strömungskammer (beziehungsweise des fluidischen Bauteils) und die Auslassöffnung der Strömungskammer (beziehungsweise des fluidischen Bauteils) miteinander verbindet,
- 25 und mindestens einen Nebenstromkanal als Mittel zur gezielten Richtungsänderung des ersten Fluids auf. Auf bewegliche Komponenten zur Erzeugung der Oszillation kann in der erfindungsgemäßen Vorrichtung verzichtet werden, so dass hierdurch bedingte Kosten und Aufwendungen nicht anfallen. Zudem ist durch den Verzicht auf bewegliche Komponenten die Vibrations- und Geräuschentwicklung relativ gering.
- 30 Als Mittel zur gezielten Richtungsänderung des ersten Fluids kann die Strömungskammer den bereits erwähnten mindestens einen Nebenstromkanal aufweisen. Der Nebenstromkanal ist von einem Teil des ersten Fluids, dem Nebenstrom, durchströmbar. Der Teil des ersten Fluids, der nicht in den Nebenstromkanal eintritt sondern aus dem
- 35 fluidischen Bauteil austritt, wird als Hauptstrom bezeichnet. Der mindestens eine Nebenstromkanal kann einen Eingang, der sich in der Nähe der Auslassöffnung des fluidischen Bauteils befindet, und einen Ausgang aufweisen, der sich in der Nähe der

Einlassöffnung des fluidischen Bauteils befindet. Der mindestens eine Nebenstromkanal kann entlang der ersten Fluidstromrichtung (von der Einlassöffnung zur Auslassöffnung) betrachtet neben (nicht hinter oder vor) dem Hauptstromkanal angeordnet sein. Insbesondere können zwei Nebenstromkanäle vorgesehen sein, die sich (entlang der ersten Fluidstromrichtung betrachtet) seitlich neben dem Hauptstromkanal erstrecken, wobei der Hauptstromkanal zwischen den beiden Nebenstromkanälen angeordnet ist. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform sind die Nebenstromkanäle und der Hauptstromkanal in einer Reihe quer zur ersten Fluidstromrichtung angeordnet und erstrecken sich jeweils entlang der ersten Fluidstromrichtung.

10

Vorzugsweise wird der mindestens eine Nebenstromkanal durch einen Block von dem Hauptstromkanal getrennt. Dieser Block kann unterschiedliche Formen aufweisen. So kann sich der Querschnitt des Blocks entlang der ersten Fluidstromrichtung (von der Einlassöffnung zur Auslassöffnung) betrachtet verjüngen. Zudem kann der Block abgerundete Kanten aufweisen. Scharfe Kanten können an dem Block insbesondere in der Nähe der Einlassöffnung und/oder der Auslassöffnung vorgesehen sein.

Gemäß einer Ausführungsform kann der mindestens eine Nebenstromkanal eine größere oder kleinere Tiefe als der Hauptstromkanal aufweisen. (Die Tiefe ist dabei die Ausdehnung quer zur Oszillationsebene des ersten Fluids.) Hierdurch kann Einfluss auf die Oszillationsfrequenz des aus dem fluidischen Bauteil austretenden ersten Fluids genommen werden. Durch eine Reduktion der Bauteiltiefe im Bereich des mindestens einen Nebenstromkanals (im Vergleich zum Hauptstromkanal) sinkt die Oszillationsfrequenz, wenn die übrigen Parameter im Wesentlichen unverändert bleiben. Entsprechend steigt die Oszillationsfrequenz, wenn die Bauteiltiefe im Bereich des mindestens einen Nebenstromkanals (im Vergleich zum Hauptstromkanal) erhöht wird und die übrigen Parameter im Wesentlichen unverändert bleiben.

Eine weitere Möglichkeit, die Oszillationsfrequenz des aus dem fluidischen Bauteil austretenden ersten Fluids zu beeinflussen, kann durch mindestens einen Separator geschaffen werden, der vorzugsweise am Eingang des mindestens einen Nebenstromkanals vorgesehen ist. Der Separator unterstützt die Abspaltung des Nebenstroms von dem Strom des ersten Fluids. Dabei ist unter einem Separator ein (quer zu der in dem Nebenstromkanal vorherrschenden Strömungsrichtung) am Eingang des mindestens einen Nebenstromkanals in die Strömungskammer hineinragendes Element zu verstehen. Der Separator kann als eine Verformung (insbesondere eine Einbuchtung) der Nebenstromkanalwand oder als ein anderweitig ausgebildeter Vorsprung vorgesehen

sein. So kann der Separator (kreis)kegelförmig oder pyramidal ausgebildet sein. Die Verwendung eines solchen Separators ermöglicht neben der Beeinflussung der Oszillationsfrequenz, auch den sogenannten Oszillationswinkel zu variieren. Der Oszillationswinkel ist der Winkel, den der oszillierende Fluidstrahl (zwischen seinen beiden maximalen Auslenkungen) überstreicht. Sind mehrere Nebenstromkanäle vorgesehen, so kann für jeden der Nebenstromkanäle oder nur für einen Teil der Nebenstromkanäle ein Separator vorgesehen sein.

Die Querschnittsfläche der einzelnen Ein- und Auslassöffnungen der Vorrichtung kann eine beliebige Form, wie beispielsweise quadratisch, rechteckig, polygonal, rund, oval usw. haben.

Gemäß einer Ausführungsform sind die erste Zufuhrvorrichtung und die erste Einlassöffnung der Mischungskammer einerseits und die zweite Zufuhrvorrichtung und die zweite Einlassöffnung der Mischungskammer andererseits derart zueinander angeordnet, dass die erste Fluidstromrichtung und die zweite Fluidstromrichtung einen Winkel von 0° bis 90° einschließen. Vorzugsweise liegt dieser Winkel in einem Bereich von 35° bis 55° . Insbesondere bevorzugt ist ein Winkel von im Wesentlichen 45° . Hierdurch kann die Mischungsqualität und die Mischungsweglänge beziehungsweise die Mischungsdauer positiv beeinflusst werden. Aus fertigungstechnischen Gründen kann der Winkel auch im Wesentlichen 90° betragen.

Sofern das Mittel zur gezielten Richtungsänderung des ersten Fluids ausgebildet ist, eine Oszillation des ersten Fluids in einer Oszillationsebene herbeizuführen, können die zweite Zufuhrvorrichtung und die zweite Einlassöffnung der Mischungskammer derart angeordnet sein, dass die zweite Fluidstromrichtung und die Oszillationsebene des ersten Fluids in einer Ebene quer zur ersten Fluidstromrichtung einen Winkel einschließen, der 30° bis 150° beträgt. Vorzugsweise beträgt dieser Winkel im Wesentlichen 90° .

Die Mischungskammer kann eine Längsachse aufweisen, die so definiert ist, dass sie sich entlang der ersten Fluidstromrichtung erstreckt. Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass sich die Querschnittsfläche der Mischungskammer quer zur Längsachse entlang der Längsachse ändert. So kann die Querschnittsfläche über den Verlauf der Längsachse der Mischungskammer größer und/oder kleiner werden. Die Größenentwicklung der Querschnittsfläche kann dabei insbesondere so gestaltet sein, dass die Ausbildung sogenannter Totwassergebiete in der Mischungskammer vermieden werden kann. Beispielsweise kann die Querschnittsfläche ausgehend von der ersten

Einlassöffnung der Mischungskammer in einem stromaufwärtigen Endabschnitt der Mischungskammer mit zunehmendem Abstand von der ersten Einlassöffnung zunehmen und/oder in einem stromabwärtigen Endabschnitt der Mischungskammer mit zunehmendem Abstand von der ersten Einlassöffnung abnehmen. Der stromaufwärtige

5 Endabschnitt kann so einen (sich stromabwärts erweiternden) Einlasskanal der Mischungskammer bilden, und der stromabwärtige Endabschnitt einen (sich stromabwärts verjüngenden) Auslasskanal. Dabei kann sich der Auslasskanal unmittelbar an den Einlasskanal anschließen. Alternativ kann zwischen dem Einlasskanal und dem Auslasskanal ein Zwischenabschnitt der Mischungskammer vorgesehen sein, in dem die

10 Querschnittsfläche der Mischungskammer im Wesentlichen konstant ist.

Sofern das Mittel zur gezielten Richtungsänderung des ersten Fluids ausgebildet ist, eine Oszillation des ersten Fluids in einer Oszillationsebene herbeizuführen, kann die Ausdehnung der Mischungskammer in der Oszillationsebene und quer zur Längsachse

15 ausgehend von der ersten Einlassöffnung der Mischungskammer in dem Einlasskanal mit zunehmendem Abstand von der ersten Einlassöffnung zunehmen beziehungsweise kann die Ausdehnung der Mischungskammer in der Oszillationsebene und quer zur Längsachse in dem Auslasskanal mit zunehmendem Abstand von der ersten Einlassöffnung abnehmen. In dem Einlasskanal schließen die Begrenzungswände der Mischungskammer (in der

20 Oszillationsebene betrachtet) somit einen Winkel ein, der sich vorzugsweise an dem Oszillationswinkel des oszillierenden ersten Fluids orientiert. Dieser Winkel kann bis zu 10° geringer oder bis zu 10° größer als der Oszillationswinkel sein oder einen Wert zwischen diesen beiden Werten annehmen. Besonders bevorzugt ist, wenn dieser Winkel bis zu 5° geringer oder bis zu 5° größer als der Oszillationswinkel ist oder einen Wert zwischen

25 diesen beiden Werten annimmt. Somit kann vermieden werden, dass die Oszillation des ersten Fluids in der Mischungskammer nachteilig beeinflusst wird. Der Oszillationswinkel des ersten Fluids kann mindestens 5° , vorzugsweise mindestens 25° , insbesondere bevorzugt mindestens 40° betragen. Für viele Anwendungsfälle ist ein Oszillationswinkel zwischen 25° und 50° , insbesondere zwischen 30° und 45° geeignet. Ein typischer

30 Maximalwert für den Oszillationswinkel ist 75° . Auch in dem Auslasskanal schließen die Begrenzungswände der Mischungskammer (in der Oszillationsebene betrachtet) einen Winkel ein, der vorzugsweise kleiner ist als der Winkel zwischen den Begrenzungswänden der Mischungskammer im Einlasskanal. Besonders bevorzugt ist der Winkel des Auslasskanals bis zu 15° kleiner als der Winkel des Einlasskanals ist. Zusätzlich kann auch

35 die Ausdehnung der Mischungskammer quer zur Oszillationsebene in dem Einlasskanal mit zunehmendem Abstand von der ersten Einlassöffnung zunehmen beziehungsweise

kann die Ausdehnung der Mischungskammer quer zur Oszillationsebene in dem Auslasskanal mit zunehmendem Abstand von der ersten Einlassöffnung abnehmen.

Die (relative) Größe von Einlasskanal und Auslasskanal der Mischungskammer können in
5 Abhängigkeit der Anwendung gestaltet werden.

Gemäß einer Ausführungsform ist die zweite Einlassöffnung der Mischungskammer gegenüber der ersten Einlassöffnung der Mischungskammer entlang der Längsachse der Mischungskammer versetzt. Vorzugsweise ist die zweite Einlassöffnung dabei innerhalb
10 des Einlasskanals (also in einer Begrenzungswand des Einlasskanals) ausgebildet. Entlang der Längsachse betrachtet kann der Abstand zwischen der ersten und der zweiten Einlassöffnung mindestens der halben Breite der ersten Einlassöffnung der Mischungskammer entsprechen, wobei die Breite parallel zur Oszillationsebene des ersten Fluids und quer zur Längsachse der Mischungskammer definiert ist.

15 Die erste Einlassöffnung und die Auslassöffnung der Mischungskammer können auf einander gegenüberliegenden Seiten der Mischungskammer ausgebildet sein. So kann die erste Einlassöffnung das stromaufwärtige Ende der Mischungskammer bilden, und die Auslassöffnung das stromabwärtige Ende. Insbesondere können die erste Einlassöffnung
20 und die Auslassöffnung auf der Längsachse liegen.

Ferner ist denkbar, dass die Mischungskammer ein Volumen aufweist, das größer ist als das Volumen des fluidischen Bauteils beziehungsweise der Strömungskammer des fluidischen Bauteils. Dabei können insbesondere sowohl die Breite (Ausdehnung quer zur
25 Längsachse der Mischungskammer und in der Oszillationsebene des ersten Fluids) als auch die Länge (Ausdehnung entlang der Längsachse) der Mischungskammer größer sein als die Breite (Ausdehnung quer zur ersten Fluidstromrichtung und in der Oszillationsebene des ersten Fluids) beziehungsweise Länge (Ausdehnung entlang der ersten Fluidstromrichtung) der Strömungskammer des fluidischen Bauteils. Durch dieses
30 Volumenverhältnis kann vermieden werden, dass in der Mischungskammer ein unerwünscht hoher Druck aufgebaut wird. Alternativ kann das Volumen der Mischungskammer kleiner sein als das Volumen der Strömungskammer des fluidischen Bauteils. Hierbei können die Breite und/oder die Länge der Mischungskammer kleiner sein als die Breite beziehungsweise Länge der Strömungskammer des fluidischen Bauteils.

35 Hinsichtlich der zweiten Zufuhrvorrichtung kann vorgesehen sein, dass diese vorgesehen und ausgebildet ist, das zweite Fluid als (quasi)stationären Strom in die Mischungskammer

zu leiten. So kann die zweite Zufuhrvorrichtung beispielsweise als Rohr ausgebildet sein, dessen Längsachse (beziehungsweise dessen stromabwärtiger länglicher Endabschnitt) die zweite Fluidstromrichtung des Fluids vorgibt. Mittels einer Pumpvorrichtung kann das zweite Fluid durch das Rohr und die zweite Einlassöffnung in die Mischungskammer geleitet werden.

Alternativ kann die zweite Zufuhrvorrichtung (wie bereits die erste Zufuhrvorrichtung) ebenfalls ein fluidisches Bauteil umfassen. Dieses fluidische Bauteil kann nach demselben Prinzip arbeiten wie das fluidische Bauteil der ersten Zufuhrvorrichtung. So kann es mindestens ein Mittel zur gezielten Richtungsänderung des zweiten Fluids, das das fluidische Bauteil durchströmt, insbesondere zur Ausbildung einer räumlichen Oszillation dieses Fluids an der Auslassöffnung aufweisen. Auch die übrigen Merkmale des fluidischen Bauteils der ersten Zufuhrvorrichtung sind auf das fluidische Bauteil der zweiten Zufuhrvorrichtung übertragbar. In der Mischungskammer treffen somit ein erstes oszillierendes Fluid und ein zweites oszillierendes Fluid aufeinander. Das fluidische Bauteil der zweiten Zufuhrvorrichtung kann einen kleineren Oszillationswinkel als das fluidische Bauteil der ersten Zufuhrvorrichtung aufweisen. Auch können beide Oszillationswinkel gleich groß sein.

Der ersten und der zweiten Zufuhrvorrichtung kann das erste beziehungsweise zweite Fluid jeweils mit Hilfe einer Pumpvorrichtung zugeführt werden. Vorzugsweise liefern die Pumpvorrichtungen konstante Volumenströme. Beispielsweise können die Pumpvorrichtungen als Spritzenpumpen oder als Umlagepumpen ausgebildet sein. Alternativ zu Spritzenpumpen können HPLC Pumpen oder Membranpumpen eingesetzt werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Vorrichtung neben der bereits erwähnten (ersten) Mischungskammer eine zweite Mischungskammer auf. Die zweite Mischungskammer umfasst (wie bereits die erste Mischungskammer) eine erste Einlassöffnung, eine zweite Einlassöffnung und eine Auslassöffnung. Die zweite Mischungskammer ist fluidisch mit der ersten Mischungskammer verbunden. Insbesondere schließt sich die zweite Mischungskammer stromabwärts an die Auslassöffnung der ersten Mischungskammer an. Dabei kann die erste Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer der Auslassöffnung der stromaufwärtigen ersten Mischungskammer entsprechen. Demnach sind die erste und die zweite Mischungskammer unmittelbar miteinander verbunden, und nicht unter Verwendung eines zusätzlichen (beispielsweise schlauchförmigen) Überleitungsstücks. Die zweite

Mischungskammer kann dazu dienen, ein weiteres (drittes) Fluid in das in der ersten Mischungskammer erzeugten Fluidgemisch einzubringen. Wird die erfindungsgemäße Vorrichtung verwendet, um während des Mischvorgangs Partikel zu erzeugen, so können diese Partikel mit Hilfe der zweiten Mischungskammer schichtweise aufgebaut werden, wobei das dritte Fluid beispielsweise die äußerste Schicht der Partikel bildet. Die Merkmale der ersten (stromaufwärtigen) Mischungskammer in Bezug auf die relative Anordnung von erster und zweiter Einlassöffnung und auf die Form (Einlasskanal, Auslasskanal) sind auch auf die zweite Mischungskammer übertragbar. Das Volumen (sowie Breite und Länge) der zweiten Mischungskammer kann größer sein als bei der ersten Mischungskammer.

Eine weitere Ausführungsform sieht vor, dass sich an die Auslassöffnung der ersten Mischungskammer beziehungsweise der zweiten Mischungskammer stromabwärts ein Interaktionskanal anschließt, der mindestens eine Krümmung aufweist. Durch die mindestens eine Krümmung kann die Ausbildung sogenannter Totwassergebiete unterbunden werden. Der Interaktionskanal kann röhrenförmig gestaltet sein. Der Interaktionskanal kann der Fortsetzung des Mischvorgangs stromabwärts der Auslassöffnung der Mischungskammer dienen; und wenn bei dem Mischvorgang Partikel erzeugt werden, können diese (durch die Länge des Interaktionskanals kontrolliert) im Interaktionskanal wachsen.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglicht, die zu mischenden Fluide relativ kompakt in einem Winkel aufeinander treffen zu lassen. Dabei bewegt sich zumindest das erste Fluid örtlich in einer Ebene hin und her, so dass das erste Fluid auch als oszillierend beschrieben werden kann. Das zweite Fluid kollidiert in einem Winkel mit dem bewegten (oszillierenden) Fluid. Um die Mischung besser zu kontrollieren und das erzeugte Fluidgemisch zu sammeln, ist es vorteilhaft, dass der Mischvorgang in einem relativ kleinen Volumen durchgeführt wird.

Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Mischen von Fluiden und zum Erzeugen eines Fluidgemisches. Das Verfahren wird unter Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ausgeführt. Zur Durchführung des Verfahrens werden zunächst eine erfindungsgemäße Vorrichtung, ein erstes Fluid und ein zweites Fluid bereitgestellt. Das erste Fluid wird mit einem ersten Volumenstrom über die erste Zufuhrvorrichtung in die Mischungskammer eingeleitet. Gleichzeitig wird das zweite Fluid mit einem zweiten Volumenstrom über die zweite Zufuhrvorrichtung in die Mischungskammer eingeleitet. In der Mischungskammer wird dem ersten und zweiten Fluid Gelegenheit gegeben, sich zu vermischen und dabei gegebenenfalls Partikel zu bilden. Die Verweilzeit der Fluide in der

Mischungskammer kann dabei je nach Anwendungsfall unterschiedlich ausfallen. Anschließend wird das Fluidgemisch umfassend das erste Fluid und das zweite Fluid aus der Mischungskammer über deren Auslassöffnung abgeleitet.

- 5 Sofern bei dem Mischvorgang Partikel erzeugt werden, so kann deren Größe sowie die Größenverteilung durch Wahl der chemischen Substanzen des ersten und zweiten Fluids, durch die Schwingungsfrequenz des ersten oszillierenden Fluids und durch die Geometrie der für den Mischvorgang verwendeten Vorrichtung beeinflusst werden.
- 10 Sofern sich stromabwärts ein Interaktionskanal an die Auslassöffnung der Mischungskammer anschließt, kann der Mischvorgang in dem Interaktionskanal fortgesetzt werden. Wenn bei dem Mischvorgang Partikel erzeugt wurden, können diese im Interaktionskanal weiter wachsen.
- 15 Gemäß einer Ausführungsform ist der erste Volumenstrom größer als der zweite Volumenstrom. Je nach Anwendung können der erste und der zweite Volumenstrom jedoch gleich groß sein. Denkbar ist, dass der erste Volumenstrom und der zweite Volumenstrom über die Dauer des Mischvorgangs jeweils konstant sind. Vorzugsweise werden das erste Fluid und das zweite Fluid während des Mischvorgangs jeweils kontinuierlich in die
- 20 Mischungskammer eingeleitet.

- Der Volumenstrom des ersten und zweiten Fluids wird durch Pumpvorrichtungen gesteuert, die das erste und zweite Fluid über die erste beziehungsweise Zufuhrvorrichtung in die Mischungskammer pumpen. Der Druck der eingeleiteten Fluide kann je nach Anwendung
- 25 im Bereich einiger Millibar (mbar) bis hin zu mehreren hundert bar (gegenüber dem Umgebungsdruck) liegen. Für Anwendungen in der Massenproduktion kann der Eingangsdruck über 2 bar liegen. Bevorzugt ist ein Druckbereich zwischen 2 bar und 350 bar, insbesondere bevorzugt zwischen 10 bar und 220 bar.

- 30 Die verwendeten Fluide können entweder nur eine chemische Substanz umfassen oder eine Mischung aus zwei oder mehr chemischen Substanzen. Die Mischung kann auch ein Lösemittel enthalten. Das Verfahren kann unter Verwendung eines ersten Fluids und eines zweiten Fluids durchgeführt werden, die unterschiedlich sind. Die beiden unterschiedlichen Fluide können sich hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung und/oder der
- 35 Konzentration einzelner Bestandteile unterscheiden. Im Falle von Suspensionen können sich die beiden Fluide auch hinsichtlich der Partikelgröße unterscheiden. Denkbar ist jedoch auch, dass das erste Fluid und das zweite Fluid identisch sind, sich also hinsichtlich

der genannten Eigenschaften nicht voneinander unterscheiden. Durch die in der Mischungskammer herrschenden Turbulenzen kann im Fall von identischen Suspensionen (als erstes und zweites Fluid) beispielsweise die Größe der Partikel in der Suspension variiert werden. Dabei kann auch Einfluss auf die Größenverteilung der Partikel oder auf
5 die sogenannte Verkapselungsrate genommen werden.

Gemäß einer Ausführungsform wird das Verfahren mit einer Flüssigkeit oder einer Suspension als erstes Fluid durchgeführt. Unter Suspension ist dabei ein Gemisch aus einer Flüssigkeit und darin verteilten Partikeln zu verstehen. Auch das zweite Fluid ist
10 entweder eine Flüssigkeit oder eine Suspension. Denkbar ist jedoch auch, dass mindestens eines der Fluide gasförmig ist.

Das erste Fluid kann beispielsweise ein Lösemittel und eine pharmazeutische oder therapeutische Komponente umfassen. Das zweite Fluid kann eine Flüssigkeit sein, die
15 geeignet ist, die pharmazeutische beziehungsweise therapeutische Komponente des ersten Fluids während des Mischvorgangs zu umschließen und in dem so erhaltenen Fluidgemisch als Träger oder Vehikel für die pharmazeutische beziehungsweise therapeutische Komponente zu fungieren. So ist denkbar, dass das erste Fluid eine Suspension ist, die eine Nukleinsäure umfasst, und dass das zweite Fluid eine
20 Lipidmischung umfasst. Die Nukleinsäure kann DNA, RNA oder mRNA sein.

Die für das Verfahren eingesetzten Fluide können typischerweise wässrige Lösungen sein. Zudem können lipo- und hydrophile Hilfsstoffe (Emulgatoren, Tenside) sowie Lipide zum Einsatz kommen, wie beispielsweise Triglyceride, Mono- und Diglyceride, Partialglyceride
25 oder auch teilsynthetische bzw. synthetische Wachse. Ferner ist die Vorrichtung auch für den Einsatz von Polyethylenglycol (PEG) als erstes bzw. zweites Fluid geeignet.

Für manche Mischungsprozesse kann der Einsatz von wasserlöslichen und / oder nicht wasserlöslichen organischen Lösungsmittel (z.B. Ethanol) notwendig sein. Diese
30 Lösungsmittel können als erstes bzw. zweites Fluid verwendet werden oder im ersten bzw. zweiten Fluid enthalten sein. In einem Verfahrensschritt zur Reinigung des erzeugten Fluidgemischs können diese Lösungsmittel größtenteils wieder entfernt werden.

Die hier vorgestellte Vorrichtung zum Mischen von Fluiden und das Verfahren, das sich der
35 Vorrichtung bedient, können für selbstorganisierende Strukturbildungsprozesse, mehrstufige Partikelbildungsprozesse, Kristallisationsprozesse, mehrstufige biochemische Strukturbildungsprozesse und für die Bildung und Beladung mehrschaliger Partikel, sowie

für Ausfällungsprozesse und zur Erzeugung von Dispersionen (insbesondere Suspensionen und Emulsionen) eingesetzt werden. Ferner eignen sich die Vorrichtung und das Verfahren, um flüssigkristalline Nanopartikel, wie beispielsweise Kubosomen oder Hexosomen, zu erzeugen. Die erzeugten Substanzen können beispielsweise in der Pharmazie, der Verfahrenstechnik, der Kosmetik oder der Lebensmittelproduktion Anwendung finden.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann mit Hilfe spanender oder abtragender Fertigungsverfahren, replikativer Verfahren, beispielsweise mittels Spritzguss, oder additiver Verfahren (3D Druck) gefertigt werden. Zur Fertigung sind ebenso Verfahren mit bestimmter Schneide (z.B. Fräsen) oder abtragende Verfahren (z.B. Funkenerodieren) geeignet.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann aus diversen Materialien gefertigt werden. Als Werkstoffe kommen Kunststoffe (PEEK, PVDF, COC), Metalle bzw. Legierungen (Edelstahl, Aluminium), Glas oder Keramik in Betracht.

Die Vorrichtung kann mit Hilfe eines Dichtsystems fluiddicht und druckfest ausgebildet sein. Das Dichtsistema kann eine direktdichtende Deckelstruktur, eine dichtende Zwischenstruktur oder eine konturfolgende, strukturierte Dichtung umfassen. Die Dichtflächen der direktdichtenden Deckelstruktur und der dichtenden Zwischenstruktur können vorteilhaft aus Materialien gefertigt sein, die eine Oberflächenrauheit $R_a \leq 200 \text{ nm}$ und eine Ebenheit $E \leq 5 \text{ }\mu\text{m}$ aufweisen. Besonders vorteilhaft ist eine Oberflächenrauheit $R_a \leq 50 \text{ nm}$ und eine Ebenheit $E \leq 1 \text{ }\mu\text{m}$. Um Dichtflächen mit der angegebenen Rauheit bzw. Ebenheit zu schaffen, können die Oberflächeneigenschaften direkt erzeugt oder durch Nachbearbeitung (Schleifen, Polieren oder Ultrapräzisionsbearbeitung) eingestellt werden.

Fluidführende Bestandteile der Vorrichtung können eine definierte Oberflächenfeingestalt aufweisen, die das Strömungsverhalten der durch die Bestandteile strömenden Fluide günstig beeinflusst. So können die Materialien der fluidführenden Bestandteile eine Oberflächenrauheit $R_a \leq 0,5 \text{ }\mu\text{m}$, besonders bevorzugt $R_a \leq 0,38 \text{ }\mu\text{m}$, aufweisen, um die Anlagerung von Komponenten der Fluide an den fluidführenden Bestandteilen zu vermeiden. In einer Ausführungsform sind die Oberflächen der fluidführenden Bestandteile hydrophil mit einem Kontaktwinkel $\beta \leq 90^\circ$. Als Kontaktwinkel wird der Winkel bezeichnet, den ein Flüssigkeitstropfen auf der Oberfläche eines Feststoffs zu dieser Oberfläche bildet. Die Oberflächeneigenschaften der fluidführenden Bestandteile können durch Auswahl des

Werkstoffs (Edelstahl, PEEK oder COC) sowie mittels Oberflächenfunktionalisierung (Plasmabehandlung, chemische Funktionalisierung oder Mikrostrukturierung) eingestellt werden.

- 5 Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen näher erläutert werden.

Es zeigen:

- 10 Fig. 1 einen Querschnitt durch eine Vorrichtung zum Mischen von Fluiden und zum Erzeugen eines Fluidgemisches gemäß einer Ausführungsform;
- Fig. 2-4 eine Schnittdarstellung der Vorrichtung aus Figur 1 entlang der Linien A'-A'', B'-B'' beziehungsweise C'-C'';
- 15 Fig. 5 einen Querschnitt durch eine Vorrichtung zum Mischen von Fluiden und zum Erzeugen eines Fluidgemisches gemäß einer weiteren Ausführungsform;
- Fig. 6 einen Querschnitt durch eine Vorrichtung zum Mischen von Fluiden und zum Erzeugen eines Fluidgemisches gemäß einer weiteren Ausführungsform;
- 20 Fig. 7 einen Querschnitt durch eine Vorrichtung zum Mischen von Fluiden und zum Erzeugen eines Fluidgemisches gemäß einer weiteren Ausführungsform;
- 25 Fig. 8 eine schematische Darstellung eines Interaktionskanals gemäß einer Ausführungsform als Teil einer Vorrichtung zum Mischen von Fluiden und zum Erzeugen eines Fluidgemisches;
- Fig. 9 Auslenkung des oszillierenden ersten Fluids in Abhängigkeit von der Zeit bei Eintritt in die Mischungskammer der Vorrichtung zum Mischen von Fluiden und zum Erzeugen eines Fluidgemisches;
- 30 Fig. 10 schematische Darstellung eines Verfahrens zum Mischen von Fluiden und zum Erzeugen eines Fluidgemisches;

35

Fig. 11a)-c) Messwerte des mit dem Verfahren aus Figur 10 unter Verwendung der Vorrichtung aus Figur 5 gewonnenen Fluidgemischs bei verschiedenen Volumenströmen:

- 5 Fig. 12 einen Querschnitt durch eine Vorrichtung zum Mischen von Fluiden und zum Erzeugen eines Fluidgemisches gemäß einer weiteren Ausführungsform;
- Fig. 13 eine Schnittdarstellung der Vorrichtung aus Figur 12 entlang der Linie D'-D''; und
- 10 Fig. 14 schematische Darstellung eines Verfahrens zum Mischen von Fluiden und zum Erzeugen eines Fluidgemisches.

15 In Figur 1 ist schematisch eine Vorrichtung 1 zum Mischen von Fluiden und zum Erzeugen eines Fluidgemisches gemäß einer Ausführungsform der Erfindung dargestellt. Die Figuren 2 bis 4 zeigen jeweils eine Schnittdarstellung dieser Vorrichtung 1 entlang der Linien A'-A'', B'-B'' beziehungsweise C'-C''.

20 Die Vorrichtung 1 umfasst eine Mischungskammer 20, eine erste Zufuhrvorrichtung 40, eine zweite Zufuhrvorrichtung 50 und einen Interaktionskanal 30.

Die Mischungskammer 20 bildet dabei das zentrale Element der Vorrichtung 1. Die Mischungskammer 20 weist eine erste Einlassöffnung 201, eine zweite Einlassöffnung 2011 und eine Auslassöffnung 202 auf. Über die erste Einlassöffnung 201 ist ein erstes Fluid 7 in die Mischungskammer 20 einleitbar, und über die zweite Einlassöffnung 2011 ein zweites Fluid 8. In der Mischungskammer 20 bilden das erste und das zweite Fluid 7, 8 ein Fluidgemisch 9, das über die Auslassöffnung 202 der Mischungskammer 20 ableitbar ist.

30 Die erste Zufuhrvorrichtung 40 ist über die erste Einlassöffnung 201 (fluidisch) mit der Mischungskammer 20 verbunden und dient dem Einleiten des ersten Fluids 7 in die Mischungskammer 20. Die zweite Zufuhrvorrichtung 50 ist über die zweite Einlassöffnung 2011 (fluidisch) mit der Mischungskammer 20 verbunden und dient dem Einleiten des zweiten Fluids 8 in die Mischungskammer 20. An die Auslassöffnung 202 schließt sich stromabwärts der Interaktionskanal 30 an. Eine beispielhafte Ausführungsform des Interaktionskanals 30 ist in Figur 8 dargestellt und wird weiter unten erläutert.

Die erste Zufuhrvorrichtung 40 umfasst ein fluidisches Bauteil 10 mit zwei Nebenstromkanälen (Feedbackkanälen) 104a, 104b als Mittel zur Erzeugung eines räumlich und/oder zeitlich beweglichen ersten Fluids 7 und insbesondere zur Ausbildung einer räumlichen Oszillation des ersten Fluids 7.

5

Die Energie zur Erzeugung des räumlichen und/oder zeitlich beweglichen Fluidstrahles resultiert aus dem Eingangsdruck P_{10IN} des ersten Fluids 7 (auch als erste Phase A bezeichnet). Die Verwendung des fluidischen Bauteils 10 hat den Vorteil, dass keine zusätzliche Energiequelle eingesetzt werden muss und somit die Komplexität und die Fehleranfälligkeit der Vorrichtung verringert werden kann. Außerdem kann so sichergestellt werden, dass keine zusätzliche externe Energie in das Fluid 7, das das fluidische Bauteil 10 durchströmt, eingetragen wird. Der Eintrag zusätzlicher Energie sollte vermieden werden. Andernfalls können durch Eintrag zusätzlicher Energie empfindliche Bestandteile der Fluide (zum Beispiel langkettige Moleküle) zerstört werden.

15

Das in Figur 1 dargestellte fluidische Bauteil 10 mit den Nebenstromkanälen 104a, 104b ist nur exemplarisch. Grundsätzlich können auch andere fluidische Bauteile verwendet werden, wie zum Beispiel sogenannte feedback-freie Bauteile.

20

Das fluidische Bauteil 10 umfasst eine Strömungskammer 100, die von einem ersten Fluid(strom) 7 durchströmbar ist. Das fluidische Bauteil 10 hat die Funktion, eine Oszillation des ersten Fluids 7 herbeizuführen, so dass das erste Fluid 7 beim Eintreten in die Mischungskammer durch die erste Einlassöffnung 201 der Mischungskammer 20 zeitlich und/oder örtlich oszilliert.

25

Die Strömungskammer 100 umfasst eine Einlassöffnung 101 mit einer Einlassbreite b_{101} , über die der erste Fluidstrom 7 in die Strömungskammer 100 eintritt, und eine Auslassöffnung 102 mit einer Auslassbreite b_{102} , über die der erste Fluidstrom 7 aus der Strömungskammer 100 austritt. Die Einlassöffnung 101 und die Auslassöffnung 102 sind jeweils dort definiert, wo die Querschnittsfläche (quer zur Fluidstromrichtung) des fluidischen Bauteils 10, die der Fluidstrom passiert, wenn er in die Strömungskammer 100 eintritt beziehungsweise aus der Strömungskammer 100 wieder austritt, jeweils am kleinsten ist. Die Breiten b_{101} und b_{102} der Ein- beziehungsweise Auslassöffnung 101, 102 entsprechen der Ausdehnung der Ein- beziehungsweise Auslassöffnung 101, 102 quer zur Fluidstromrichtung und innerhalb der (später erläuterten) Oszillationsebene des ersten Fluids 7.

35

Die Auslassöffnung 102 der Strömungskammer 100 des fluidischen Bauteils 10 entspricht hier der ersten Einlassöffnung 201 der Mischungskammer 20.

Die Einlassbreite b_{101} kann die Dimension von 0,5 μm bis 5.000 μm annehmen. Die Größe
5 der engsten Querschnittsflächen innerhalb des fluidischen Bauteils 10 (Querschnitt A_{102}
der Auslassöffnung 102 oder kleinste Querschnittsfläche A_{11} im Hauptstromkanal 103
zwischen den inneren Blöcken 11a, 11b) in der Vorrichtung 1 kann in Abhängigkeit vom
gewünschten Volumenstrom gewählt werden. Je höher der Volumenstrom bei
gleichbleibenden Eingangsdruck P_{10IN} ist, desto größer müssen die Dimension z. B. der
10 Einlassbreite b_{101} und / oder der Einlasshöhe h_{101} sein. Typische Abmaße sind 100 μm bis
3.500 μm , vorzugsweise 200 μm bis 1.500 μm .

Die Einlassöffnung 101 und die Auslassöffnung 102 sind auf zwei sich strömungstechnisch
gegenüberliegenden Seiten des fluidischen Bauteils 10 angeordnet. Die
15 Strömungskammer 100, genauer ein Hauptstromkanal 103 der Strömungskammer 100,
verbindet die Einlassöffnung 101 und die Auslassöffnung 102 obstruktionsfrei miteinander.
In einer nicht dargestellten Ausführungsvariante können die Einlassöffnung 101 und die
Auslassöffnung mittels einer nicht obstruktionsfreien Strömungskammer 100 verbunden
sein.

20 Der erste Fluidstrom 7 bewegt sich in der Strömungskammer 10 im Wesentlichen entlang
einer Längsachse A des fluidischen Bauteils 1 (die die Einlassöffnung 101 und die
Auslassöffnung 102 miteinander verbindet) von der Einlassöffnung 101 zu der
Auslassöffnung 102. Die Längsachse A bildet eine Symmetrieachse des fluidischen
25 Bauteils 1. Die Längsachse A liegt in zwei senkrecht zueinander stehenden
Symmetrieebenen S1 und S2, gegenüber denen das fluidische Bauteil 1
spiegelsymmetrisch ist. Alternativ kann das fluidische Bauteil 1 nicht (spiegel)symmetrisch
aufgebaut sein.

30 Zur gezielten Richtungsänderung des Fluidstroms umfasst die Strömungskammer 100
neben dem Hauptstromkanal 103 zwei Nebenstromkanäle 104a, 104b. Der
Hauptstromkanal 103 und die zwei Nebenstromkanäle 104a, 104b erstrecken sich im
Wesentlichen entlang der Längsachse A des fluidischen Bauteils 10, wobei der
Hauptstromkanal 103 (quer zur Längsachse A betrachtet) zwischen den zwei
35 Nebenstromkanälen 104a, 104b angeordnet ist. Unmittelbar hinter der Einlassöffnung 101
teilt sich die Strömungskammer 10 in den Hauptstromkanal 103 und die zwei
Nebenstromkanäle 104a, 104b, die dann unmittelbar vor der Auslassöffnung 102 wieder

- zusammengeführt werden. In der hier dargestellten Ausführungsform sind die zwei Nebenstromkanäle 104a, 104b symmetrisch bezüglich der Symmetrieebene S2 angeordnet (Figur 3). Gemäß einer nicht dargestellten Alternative sind die Nebenstromkanäle nicht symmetrisch angeordnet. Diese Nebenströmungskanäle können
- 5 auch außerhalb der dargestellten Strömungsebene positioniert werden. Diese Kanäle können beispielsweise mittels Schläuchen, die sich auch außerhalb der Symmetrieebene S1 befinden, realisiert werden oder durch Kanäle die in einem Winkel zur Strömungsebene (Symmetrieebene S1) stehen, verlaufen.
- 10 Der Hauptstromkanal 103 verbindet im Wesentlichen geradlinig die Einlassöffnung 101 und die Auslassöffnung 102 miteinander, so dass der Fluidstrom 7 im Wesentlichen entlang der Längsachse A des fluidischen Bauteils 10 strömt. Der Hauptstromkanal 103 kann typischerweise ein Volumen von $0,08 \text{ mm}^3$ bis 260 mm^3 aufnehmen. Besonders bevorzugt ist ein Volumen des Hauptstromkanals 103 von $0,3 \text{ mm}^3$ bis 120 mm^3 . In der dargestellten
- 15 Ausführungsform beträgt das Volumen des Hauptstromkanals 103 ca. $0,67 \text{ mm}^3$. Das fluidische Bauteil 10 hat ein fluidfassendes Volumen zwischen $0,5 \text{ mm}^3$ und $1,2 \text{ mm}^3$, wobei die kleinste Querschnittsfläche A_{102} an der Auslassöffnung 102 ca. $0,09 \text{ mm}^2$ beträgt. In der dargestellten Ausführungsform beträgt die Querschnittsfläche A_{101} an der Einlassöffnung 101 ca. $0,12 \text{ mm}^2$.
- 20 Die Nebenstromkanäle 104a, 104b erstrecken sich ausgehend von der Einlassöffnung 101 in einem ersten Abschnitt jeweils zunächst in einem Winkel von im Wesentlichen 90° zu der Längsachse A in entgegengesetzte Richtungen. Anschließend biegen die Nebenstromkanäle 104a, 104b ab, so dass sie sich jeweils im Wesentlichen parallel zu der
- 25 Längsachse A (in Richtung auf die Auslassöffnung 102) erstrecken (zweiter Abschnitt). Um die Nebenstromkanäle 104a, 104b und den Hauptstromkanal 103 wieder zusammenzuführen, ändern die Nebenstromkanäle 104a, 104b am Ende des zweiten Abschnitts nochmals ihre Richtung, so dass sie jeweils im Wesentlichen in Richtung auf die Längsachse A gerichtet sind (dritter Abschnitt). In der Ausführungsform der Figur 1
- 30 ändert sich die Richtung der Nebenstromkanäle 104a, 104b beim Übergang vom zweiten in den dritten Abschnitt um einen Winkel von ca. 120° . Jedoch können für die Richtungsänderung zwischen diesen beiden Abschnitten der Nebenstromkanäle 104a, 104b auch andere als der hier genannte Winkel gewählt werden oder gar einem vollständig anderen Verlauf folgen.
- 35 Die Nebenstromkanäle 104a, 104b sind ein Mittel zur Beeinflussung der Richtung des ersten Fluidstromes 7, der die Strömungskammer 100 durchströmt. Die Nebenstromkanäle

104a, 104b weisen hierfür jeweils einen Eingang 104a1, 104b1, der durch das der Auslassöffnung 102 zugewandte Ende der Nebenstromkanäle 104a, 104b gebildet wird, und jeweils einen Ausgang 104a3, 104b3, der durch das der Einlassöffnung 101 zugewandte Ende der Nebenstromkanäle 104a, 104b gebildet wird, auf. Durch die
5 Eingänge 104a1, 104b1 fließt ein kleiner Teil des ersten Fluidstroms 7, die Nebenströme, in die Nebenstromkanäle 104a, 104b. Der restliche Teil des ersten Fluidstroms 7 (der sogenannte Hauptstrom) tritt über die Auslassöffnung 102 aus dem fluidischen Bauteil 10 aus. Die Nebenströme treten an den Ausgängen 104a3, 104b3 aus den Nebenstromkanälen 104a, 104b aus, wo sie einen seitlichen (quer zur Längsachse A)
10 Impuls auf den durch die Einlassöffnung 101 eintretenden ersten Fluidstrom 7 ausüben können. Dabei wird die Richtung des ersten Fluidstromes 7 derart beeinflusst, dass der an der Auslassöffnung 102 austretende Hauptstrom räumlich oszilliert, und zwar in einer Ebene, in der der Hauptstromkanal 103 und die Nebenstromkanäle 104a, 104b angeordnet sind. Die Ebene, in der der Hauptstrom oszilliert, wird auch Oszillationsebene bezeichnet
15 und entspricht im Wesentlichen der Symmetrieebene S1 beziehungsweise ist parallel zu der Symmetrieebene S1.

Die Nebenstromkanäle 104a, 104b weisen in der hier dargestellten Ausführungsform jeweils eine Querschnittsfläche auf, die über die gesamte Länge (vom Eingang 104a1,
20 104b1 bis zum Ausgang 104a2, 104b2) der Nebenstromkanäle 104a, 104b nahezu konstant ist. Demgegenüber nimmt die Größe der Querschnittsfläche des Hauptstromkanals 103 in Strömungsrichtung des Hauptstromes (also in Richtung von der Einlassöffnung 101 zu der Auslassöffnung 102) im Wesentlichen stetig zu. Dabei ist die Form des Hauptstromkanals 103 hier beispielhaft spiegelsymmetrisch zu den
25 Symmetrieebenen S1 und S2.

Die Querschnittsfläche des Hauptstromkanals 103 kann aber grundsätzlich auch stromabwärts abnehmen.

30 Der Hauptstromkanal 103 ist von jedem Nebenstromkanal 104a, 104b durch einen Block 11a, 11b getrennt. Die zwei Blöcke 11a, 11b sind in der Ausführungsform symmetrisch bezüglich der Spiegelebene S2 angeordnet. Prinzipiell können sie jedoch auch unterschiedlich ausgebildet und nicht symmetrisch ausgerichtet sein. Bei nicht symmetrischer Ausrichtung ist auch die Form des Hauptstromkanals 103 nicht
35 symmetrisch zu der Spiegelebene S2. Eine symmetrische Ausführungsform der zwei Blöcke 11a, 11b wird bevorzugt.

Die Form der Böcke 11a, 11b, die in Figur 1 dargestellt ist, ist nur beispielhaft und kann variiert werden. Die Blöcke 11a, 11b aus Figur 1 weisen abgerundete Kanten auf. Es sind auch scharfe Kanten möglich. Die Ausführungsvariante mit abgerundete Kanten wird bevorzugt.

5

Der Einlassöffnung 101 der Strömungskammer 100 ist stromaufwärts ein trichterförmiger Ansatz 106 vorgeschaltet, der sich in Richtung auf die Einlassöffnung 101 (stromabwärts) verjüngt. Grundsätzlich ist auch ein Ansatz 106 möglich, der im wesentlichen konstanten Querschnitt aufweist oder abschnittsweise eine erweiterte Querschnittsfläche. Dieser trichterförmige Ansatz kann auch als Einlasskanal bezeichnet werden. Auch die Strömungskammer 100 verjüngt sich und zwar im Bereich der Auslassöffnung 102 stromabwärts der inneren Blöcke 11a, 11b. Die Verjüngung wird von einem Auslasskanal 107 gebildet und beginnt am Nebenstromkanaleinlass 104a1, 104b1. Dabei verjüngen sich der Ansatz 106 und der Auslasskanal 107 derart, dass nur deren Breite, das heißt deren Ausdehnung in der Symmetrieebene S1 senkrecht zu der Längsachse A, jeweils stromabwärts abnimmt. Die Verjüngung wirkt sich in dieser Ausführungsform nicht auf die Tiefe (das heißt die Ausdehnung in der Symmetrieebene S2 senkrecht zu der Längsachse A) des Ansatzes 106 und des Auslasskanals 107 aus (Figur 2). Alternativ können sich der Ansatz 106 und der Auslasskanal 107 auch jeweils in der Breite und in der Tiefe verjüngen. Ferner kann sich nur der Ansatz 106 in der Tiefe oder in der Breite verjüngen, während sich der Auslasskanal 107 sowohl in der Breite als auch in der Tiefe verjüngt, und umgekehrt. Die Form des Ansatzes 106 und des Auslasskanals 107 sind in Figur 1 nur beispielhaft gezeigt. Hier nimmt deren Breite stromabwärts jeweils linear ab, wobei die Begrenzungswände des Ansatzes 106 und des Auslasskanals 107 (jeweils in der Oszillationsebene betrachtet) einen Winkel ε beziehungsweise φ einschließen. Andere Formen der Verjüngung sind möglich. Die Länge l_{106} des Einlasskanals oder in diesem Beispiel des trichterförmigen Ansatzes 106 entspricht in dieser Ausführungsform mindestens dem 1,5-fachen der Einlassbreite b_{101} , also gilt $l_{106} \geq 1,5 \times b_{101}$. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist die Länge l_{106} des trichterförmigen Ansatzes 106 größer als das 3-fache der Breite b_{101} . Bei einem gegebenen und festen Wert der Breite b_{101} gilt: je kleiner der Winkel ε ist, desto länger sollte der Einlasskanal 106 sein.

Die Einlassöffnung 101 und die Auslassöffnung 102 weisen jeweils eine idealisierte rechteckige Querschnittsfläche auf. Diese weisen jeweils die gleiche Tiefe (Ausdehnung in der Symmetrieebene S2 senkrecht zur Längsachse A, Figur 2) auf, unterscheiden sich jedoch in ihrer Breite b_{101} , b_{102} (Ausdehnung in der Symmetrieebene S1 senkrecht zur Längsachse A, Figur 2). Grundsätzlich können die Ecken der Querschnittsflächen

abgerundet sein, und die gegenüberliegenden Flächen, die die Ein- beziehungsweise Auslassöffnung 101, 102 begrenzen, müssen nicht parallel verlaufen. Im Extremfall können die Einlassöffnung 101 und die Auslassöffnung 102 auch kreisförmige oder ellipsoidartige Querschnittsflächen aufweisen.

5

Die Auslassöffnung 102 der Strömungskammer 100 des fluidischen Bauteils 10 entspricht hier der ersten Einlassöffnung 201 der Mischungskammer 20. Vorteilhaft ist es, wenn generell (also für alle Ausführungsformen) die Querschnittsfläche A_{102} der Auslassöffnung 102 die kleinste oder gleich der kleinsten Querschnittsfläche von den Querschnittsflächen A_{101} , A_{11} und A_{102} ist, also folgendes gilt: $A_{102} \leq \min(A_{101}, A_{11})$, insbesondere wenn die Querschnittsfläche A_{102} der Auslassöffnung 102 die kleinste Querschnittsfläche der Strömungskammer 100 des fluidischen Bauteils 10 ist. Die Querschnittsfläche A_{102} der Auslassöffnung 102 und die Querschnittsfläche A_{201} der ersten Einlassöffnung 201 sind gleich groß, ebenso wie die Breite b_{102} und die Breite b_{201} sowie die Höhe h_{102} und die Höhe h_{201} gleich sind. An der Auslassöffnung 102 beziehungsweise der ersten Einlassöffnung 201 treffen der sich verjüngende Auslasskanal 107 des fluidischen Bauteils 10 und der später erläuterte, sich verbreiternde Einlasskanal 206 der Mischungskammer 20 aufeinander, so dass in diesem Übergangsbereich eine Kante ausgebildet ist. Dieser Übergangsbereich kann abgerundet sein. Die Rundung kann einen Radius 109 aufweisen, der kleiner ist als die minimale Breite von b_{101} (Breite der Einlassöffnung 101) und b_{11} (zugehörige Breite der kleinsten Querschnittsfläche A_{11} im Hauptstromkanal 103 zwischen den inneren Blöcken 11a, 11b). Ein Extremwert, wodurch ein scharfkantiger Auslass 102 entsteht, ist ein Radius von Null. Aufgrund der höheren mechanischen Stabilität ist ein Radius 109 zu bevorzugen.

25

Stromabwärts der ersten Einlassöffnung 201 der Mischungskammer 20 schließt sich ein Einlasskanal 206 an. Der Einlasskanal 206 weist eine stromabwärts sich vergrößernde Querschnittsfläche (quer zur ersten Fluidstromrichtung beziehungsweise zur Längsachse L der Mischungskammer 20) auf. Dabei nimmt insbesondere die Breite (Ausdehnung in der Oszillationsebene und quer zur Längsachse L) des Einlasskanals 206 stromabwärts zu. Die Breite nimmt hier linear zu. Jedoch kann die Zunahme der Breite auch einem Polynom folgen. Die den Einlasskanal 206 begrenzenden Wände schließen in der Oszillationsebene betrachtet einen Winkel δ ein. Dieser Winkel δ kann unterschiedliche Maße aufweisen. Vorteilhaft ist ein Winkel δ , der in Abhängigkeit von dem Oszillationswinkel α gewählt wird. Dabei ist eine Abweichung vom Oszillationswinkel α von $+10^\circ$ und -10° möglich, also $\alpha - 10^\circ < \delta < \alpha + 10^\circ$. Ein besonders bevorzugter Wert für den Winkel δ ist $\alpha - 5^\circ < \delta < \alpha + 5^\circ$. Der Oszillationswinkel α entspricht hier dem natürlichen

Oszillationswinkel, der sich in Abwesenheit des Einlasskanals 206 und der Mischungskammer 20 einstellen würde.

Im Einlasskanal 206 vergrößert sich die Querschnittsfläche A_{200} (quer zur Längsachse L) der Mischungskammer 20 stetig. Die Querschnittsfläche an der Einlassöffnung 201 beträgt hier beispielsweise $0,09 \text{ mm}^2$ und vergrößert sich entlang der Längsachse L bis zum Mittelpunkt der zweiten Einlassöffnung 2011 auf mehr als das Doppelte. Die Querschnittsfläche hat im Mittelpunkt der zweiten Einlassöffnung 2011 den Wert $0,26 \text{ mm}^2$. Die Querschnittsfläche A_{2011} der zweiten Einlassöffnung 2011 ist in dieser Ausführungsvariante kleiner als die der ersten Einlassöffnung 201 und nimmt den Wert $0,07 \text{ mm}^2$ an.

In der Ausführungsform der Figur 1 ist die Breite b_{20} der Mischungskammer 20 kleiner als die Breite b_{10} des fluidischen Bauteils 10. Ferner ist die Länge l_{20} der Mischungskammer 20 kleiner als die Länge l_{10} des fluidischen Bauteils 10. Die Breite ist jeweils die Ausdehnung in der Oszillationsebene des ersten Fluids 7 und quer zur Längsachse A, L des fluidischen Bauteils 10 beziehungsweise der Mischungskammer 20. Die Länge ist jeweils die Ausdehnung in der Oszillationsebene des ersten Fluids 7 und entlang der Längsachse A, L des fluidischen Bauteils 10 beziehungsweise der Mischungskammer 20.

In dieser dargestellten Ausführungsform wird die Breite b_{20} der Mischungskammer 20 durch zwei annähernden parallele Flächen, die in einem Zwischenabschnitt der Mischungskammer 20 als Begrenzungswände fungieren, definiert. Der Zwischenabschnitt ist entlang der ersten Fluidstromrichtung F_1 zwischen dem Einlasskanal 206 und einem Auslasskanal 207 der Mischungskammer 20 ausgebildet. Grundsätzlich können die Begrenzungswände auch anders (als eben und parallel) gestaltet sein, wie beispielsweise in Figur 6 angedeutet ist.

Am stromabwärtigen Ende des Zwischenabschnitts schließt sich der Auslasskanal 207 an. Dessen Querschnittsfläche (quer zur ersten Fluidstromrichtung beziehungsweise zur Längsachse L der Mischungskammer 20) nimmt stromabwärts entlang der Längsachse L ab. Dabei nimmt insbesondere die Breite (Ausdehnung in der Oszillationsebene und quer zur Längsachse L) des Auslasskanals 207 stromabwärts ab. Die Breite nimmt hier linear ab. Jedoch kann die Abnahme der Breite auch einem Polynom folgen. Die den Auslasskanal 207 begrenzenden Wände schließen in der Oszillationsebene betrachtet einen Winkel ω ein. Vorteilhaft ist es, wenn der Winkel ω kleiner als der Winkel δ ist. Besonders vorteilhaft ist es, wenn der Winkel ω bis zu 15° kleiner als der Winkel δ ist. Das

stromabwärtige Ende des Auslasskanals 207 wird durch die Auslassöffnung 202 gebildet. Das Fluidgemisch 9 aus dem ersten und dem zweiten Fluid 7, 8 verlässt die Mischungskammer 20 durch diese Auslassöffnung 202.

- 5 Die Auslassöffnung 202 hat eine Querschnittsfläche A_{202} , die hier beispielhaft rechteckig ist und daher eine Breite b_{202} und eine Höhe h_{202} aufweist. Grundsätzlich ist auch eine nicht rechteckförmige Querschnittsfläche der Auslassöffnung 202 möglich. Die Querschnittsfläche A_{202} ist größer als die kleinste Querschnittsfläche A_{1min} aus dem Mittel zur Erzeugung eines räumlich beweglichen Fluidstrahl 10 (A_{101} , A_{11} oder A_{102} , also
- 10 $A_{1min} = \min(A_{101}, A_{11}, A_{102})$). Die Querschnittsfläche A_{202} ist gleich groß oder größer als die Summe aus der Hälfte der Querschnittsfläche A_{2011} der zweiten Einlassöffnung 2011 und der gesamten Querschnittsfläche A_{1min} , oder anders ausgedrückt: $A_{202} \geq A_{1min} + 0,5 \times A_{2011}$. Besonders bevorzugt wird $A_{202} \geq A_{1min} + A_{2011}$.
- 15 In einer nicht dargestellten Ausführungsform können auch mehrere Auslassöffnungen 202 vorgesehen sein, die in unterschiedliche Interaktionskanäle 30 münden. Auch kann ein Teil der mehreren Auslassöffnungen 202 in entsprechend vorgesehene Interaktionskanäle münden und ein anderer Teil kann ohne Interaktionskanäle ausgebildet sein. Für die Summe der Querschnittsflächen A_{202} der mehreren Auslassöffnungen 202 gelten die
- 20 gleichen Ausführungen wie oben beschrieben.

Figur 2 zeigt eine Schnittdarstellung der Vorrichtung 1 aus Figur 1 entlang der Linie A'-A". Demnach haben in dieser Ausführungsform das fluidische Bauteil 10, die Mischungskammer 20 und zumindest das stromaufwärtige Ende des Interaktionskanals 30

25 eine konstante Höhe h . Die Höhe (auch Tiefe genannt) ist die Ausdehnung quer zur Oszillationsebene des ersten Fluids 7. In einer nicht dargestellten Ausführungsform kann die Höhe h nicht konstant sein. Insbesondere im Bereich der Einlasskanäle 106 und 206 sowie der Auslasskanäle 107 und 207 kann die Höhe h von der Höhe in der restlichen Vorrichtung abweichen.

30 Die zweite Zufuhrvorrichtung 50, die zum Einleiten des zweiten Fluids 8 in die Mischungskammer 20 vorgesehen ist, umfasst ein Rohr 204, das sich entlang einer Längsachse erstreckt und für das zweite Fluid 8 die Fluidstromrichtung F_2 vorgibt. Das Rohr 204 ist über die zweite Einlassöffnung 2011 der Mischungskammer 20 mit der

35 Mischungskammer 20 verbunden. Das Rohr 204 steht (in der Symmetrieebene S_2 beziehungsweise einer Ebene, die senkrecht zu der Oszillationsebene und entlang der Längsachse L verläuft, betrachtet) in einem Winkel β zur Oszillationsebene des fluidischen

Bauteils 10 beziehungsweise der Symmetrieebenen S1. In dieser Ausführungsform ist der Winkel $\beta = 90^\circ$. Grundsätzlich kann der Winkel einen anderen Wert annehmen. Dadurch wird die Mischungsqualität und/oder die Mischungsweglänge beziehungsweise die Mischungszeit beeinflusst. Zur Verringerung des Druckverlusts wird ein Wert von $45^\circ \pm 10^\circ$ für den Winkel β bevorzugt. Wenn bei dem Mischungsvorgang Partikel erzeugt werden, so ist zur Verringerung der Partikelgröße ein Winkel größer als 90° vorteilhaft.

Figur 3 zeigt eine Schnittdarstellung der Vorrichtung 1 aus Figur 1 entlang der Linie B'-B". In dieser Schnittdarstellung ist Querschnittsfläche des Hauptstromkanals 103 und der Nebenstromkanäle 104a, 104b des fluidischen Bauteils 10 zu erkennen. In dieser Ausführungsform sind die Höhen h_{103} , h_{104a} , h_{104b} der Kanäle 103, 104a, 104b gleich groß. Jedoch können sie prinzipiell auch voneinander abweichen können. In Figur 3 sind die Querschnittsflächen der Haupt- und Nebenstromkanäle 103, 104a, 104b vereinfacht scharfkantig dargestellt. Jedoch können die Ecken mit Radien versehen, also abgerundet, sein.

Die Figur 4 zeigt eine Schnittdarstellung der Vorrichtung 1 aus Figur 1 entlang der Linie C'-C". In dieser Schnittdarstellung ist ein Querschnitt durch den Einlasskanal 206 der Mischungskammer 20 zu erkennen. Wieder werden vereinfacht die Ecken nicht mit Radien dargestellt, obwohl diese vorhanden sein können. Der Abstand der seitlichen Begrenzungswände des Einlasskanals 206 (parallel zur Oszillationsebene und quer zur Längsachse L) ist über die gesamte Höhe h_{206} konstant. Dieser Abstand kann sich jedoch auch entlang der Höhe h_{206} ändern.

In Figur 4 ist auch erkennbar, dass die zweite Einlassöffnung 2011 der Mischungskammer 20 in deren Einlasskanal 206 ausgebildet ist. In einer Ebene quer zur Längsachse L betrachtet schließt das Rohr (Zufuhrkanal 204) einen Winkel η mit der Oszillationsebene ein. In der dargestellten Ausführungsform beträgt der Winkel $\eta = 90^\circ$. Grundsätzlich kann der Winkel einen anderen Wert annehmen, z.B. zwischen 30° und 150° liegen. Es wird ein Winkel η von 90° bevorzugt, insbesondere bei einer Ausführungsvariante mit einer zweiten Einlassöffnung 2011. Jedoch kann auch vorgesehen sein, dass die Mischungskammer mehrere zweite Einlassöffnungen aufweist, über die die Mischungskammer mit einer entsprechenden Anzahl von zweiten Zufuhrvorrichtungen (als Rohr ausgeführt) verbunden ist. Bei dieser Ausführungsform (nicht dargestellt) kann es vorteilhaft sein, wenn der jeweilige Winkel η einen anderen Wert als 90° annimmt. Eine vorteilhafte Variante mit mehreren zweiten Einlassöffnungen und entsprechenden zweiten Zufuhrvorrichtungen Einlasskanälen 204 ist, wenn diese alternierend an der Deckfläche (in Figur 4 oben

dargestellt) und der der Deckfläche gegenüberliegenden Grundfläche (in Figur 4 unten dargestellt) der Mischungskammer 20 ausgebildet sind.

5 In Figur 5 ist eine Vorrichtung 1 gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung dargestellt. Diese Ausführungsform unterscheidet sich von der Ausführungsform der Figuren 1 bis 4 insbesondere in der Gestaltung des fluidischen Bauteils 10 sowie im Größenverhältnis der Volumen der Strömungskammer 100 des fluidischen Bauteils 10 und der Mischungskammer 20.

10 Das Volumen der Mischungskammer 20 ist größer als das Volumen der Strömungskammer 100 des fluidischen Bauteils 10. Konkret sind in dieser Ausführungsform sowohl die Breite b_{20} der Mischungskammer 20 als auch die Länge l_{20} der Mischungskammer 20 größer als die Breite b_{10} des fluidischen Bauteils 10 beziehungsweise als die Länge l_{10} des fluidischen Bauteils 10. Somit gelten die Verhältnisse $b_{20} > b_{10}$ und $l_{20} > l_{10}$. Gemäß einer bevorzugten
15 Ausführungsform ist das fluidfüllende Volumen V_{10} der Strömungskammer 100 des fluidischen Bauteils 10 erheblich kleiner als das Volumen V_{20} der Mischungskammer 20: $V_{20} > V_{10}$. Vorzugsweise gilt: $V_{20} > 2 \times V_{10}$.

In dieser Ausführungsform ist eine zweite Einlassöffnung 2011 für den zweiten Fluidstrom
20 8 (beziehungsweise eine Phase B) vorgesehen. Jedoch können grundsätzlich weitere zweite Einlassöffnungen in der Mischungskammer vorgesehen sein, die vorgesehen sind, ebenfalls die Phase B oder andere Phasen in die Mischungskammer 20 einzuleiten.

Die zweite Einlassöffnung 2011 für den zweiten Fluidstrom 8 (beziehungsweise Phase B)
25 befindet sich auch in dieser Ausführungsform innerhalb des Einlasskanals 206 der Mischungskammer 20. Grundsätzlich kann die (mindestens eine) zweite Einlassöffnung 2011 frei innerhalb der Mischungskammer 20 positioniert werden. Bevorzugt ist die Positionierung der (mindestens einen) zweiten Einlassöffnung 2011 im Einlasskanal 206 oder im Auslasskanal 207 der Mischungskammer 20. Besonders bevorzugt ist die
30 Positionierung von mindestens einer zweiten Einlassöffnung 2011 im Einlasskanal 206.

Der Abstand zwischen mindestens einer zweiten Einlassöffnung 2011 und der ersten Einlassöffnung 201 entlang der Längsachse L wird in Figur 5 durch die Länge l_{2011} dargestellt. Vorteilhaft ist, wenn die Länge l_{2011} mindestens der halben Breite b_{201} der ersten
35 Einlassöffnung 201 entspricht, also $l_{2011} \geq 0,5 \times b_{201}$ gilt. Besonders vorteilhaft ist, wenn die Länge l_{2011} mindestens der Summe aus der halben Breite b_{102} der ersten Einlassöffnung 201 und der halben Breite b_{2011} der zweiten Einlassöffnung 2011 entspricht:

$l_{2011} \geq 0,5 \times (b_{201} + b_{2011})$. Vorteilhaft ist auch, wenn die Länge l_{2011} nicht größer als das Fünffache der Breite b_{201} der ersten Einlassöffnung 201 ist; insgesamt also folgendes gilt: $5 \times b_{201} \geq l_{2011} \geq 0,5 \times (b_{102} + b_{2011})$ gilt.

- 5 In der Ausführungsform der Figur 5 ist die zweite Einlassöffnung 2011 kreisförmig und besitzt die Breite b_{2011} , die dem Durchmesser des Kreises entspricht. Grundsätzlich ist auch eine von der Kreisform abweichende Form für die zweite Einlassöffnung 2011 möglich. Die Fläche A_{2011} der zweiten Einlassöffnung 2011 ist in dieser Ausführungsform etwas kleiner als die Fläche A_{102} der Auslassöffnung 102 des fluidischen Bauteils 10. (Die Auslassöffnung 102 des fluidischen Bauteils 10 entspricht hier der ersten Einlassöffnung 201 der Mischungskammer 20, so dass die Fläche A_{2011} der zweiten Einlassöffnung 2011 auch etwas kleiner als die Fläche A_{201} der ersten Einlassöffnung 201 ist.) Die Fläche A_{102} wird durch die Auslassbreite b_{102} und der Auslasstiefe t_{102} definiert. In der Ausführungsform aus Figur 5 nimmt die Querschnittsfläche A_{20} (quer zur Längsachse L) der Mischungskammer 20 im Einlasskanal 206 stetig zu. Die Querschnittsfläche A_{20} wird durch die Breite b_{20} und der Höhe h_{20} (Ausdehnung quer zur Oszillationsebene des ersten Fluids) definiert. Im Bereich des Einlasskanals 206 kann die Querschnittsfläche A_{20} der Mischungskammer 20 als Querschnittsfläche A_{206} bezeichnet werden, und die zugehörige Breite und Höhe als Breite b_{206} und Höhe h_{206} . Vorteilhaft ist, wenn die Querschnittsfläche A_{20} im Abstand von ungefähr $l_{2011} - (b_{2011}/2)$ von der ersten Einlassöffnung 201 (entlang der Längsachse L) eine sprunghafte Größenänderung aufweist. Besonders vorteilhaft ist hierbei, wenn die sprunghafte Größenänderung durch die Vergrößerung der Höhe h_{20} realisiert wird.

- Bei dem in Figur 5 dargestellten fluidischen Bauteil 10 sind die Breiten b_{101} , b_{11} und b_{102} annähernd gleich groß. Beispielsweise können sie ca. 0,3 mm betragen. Der Radius 109 an der Auslassöffnung 102 kann dann ca. 0,025 mm betragen.

- In Figur 6 ist eine weitere Ausführungsform der Erfindung dargestellt. Diese Ausführungsform unterscheidet sich von jenen der Figuren 1 bis 5 insbesondere darin, dass die Mischungskammer mehrteilig ausgebildet ist. Das heißt, dass die Mischungskammer mehrere (hier beispielhaft zwei) Unterkammern 20, 20' umfasst, die entlang der Längsachse L nacheinander angeordnet sind. Demnach gibt es in Bezug auf das fluidische Bauteil 10 und die erste Fluidstromrichtung eine stromaufwärtige Unterkammer 20, die sich unmittelbar an die Auslassöffnung 102 des fluidischen Bauteils 10 anschließt, und eine stromabwärtige Unterkammer 20', die sich unmittelbar an die Auslassöffnung 202 der stromaufwärtigen Unterkammer 20 anschließt. Die erste Einlassöffnung der stromabwärtigen Unterkammer 20' entspricht der Auslassöffnung der

stromaufwärtigen Unterkammer 20. Dabei weist jede Unterkammer 20, 20' einen sich entlang der Längsachse L stromabwärts vergrößernden Einlasskanal 206, 206' und einen sich entlang der Längsachse L stromabwärts verjüngenden Auslasskanal 207, 207' auf. Im Einlasskanal der stromabwärtigen Unterkammer ist auch eine zweite Einlassöffnung 2012 ausgebildet. Die zwei Unterkammern können auch als eine Mischungskammer 20 mit einer zentralen Verengung angesehen werden. Diese Mischungskammer 20 ist dann so aufgebaut, dass sich vor und nach der zweiten Einlassöffnung 2011 die Querschnittsfläche A_{20} der Mischungskammer 20 stromabwärts bis zu einem bestimmten Punkt vergrößert, im weiteren Verlauf konstant bleibt und dann wieder bis zu einem (lokalen) Minimum verkleinert. Stromabwärts des (lokalen) Minimums vergrößert sich die Querschnittsfläche A_{20} wieder. In diesem Bereich befindet sich die weitere Einlassöffnung 2012. Im weiteren Verlauf weist die Mischungskammer 20 die im Zusammenhang mit den Ausführungsformen aus den Figuren 1 und 5 beschriebenen Merkmale auf. Abschnitte mit entlang der Längsachse L konstanter Querschnittsfläche A_{20} sind optional.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn der erste Teil der Mischungskammer (beziehungsweise die stromaufwärtige Unterkammer 20) mit der zweiten Einlassöffnung 2011 so ausgebildet ist, dass sich alternierende Wirbel ausbilden können, um so die Bewegung des ersten Fluids 7 und des bewegten gemischten Fluidstrahls 9 zu verstärken. Daher ist der erste Teil der Mischungskammer (beziehungsweise die stromaufwärtige Unterkammer 20) so geformt, dass jeweils die beiden begrenzenden Wände, die in der Oszillationsebene betrachtet einander gegenüberliegen und an denen der zeitlich bewegte Strahl des ersten Fluids 7 abwechselnd vorbei strömt, eine taschenartige Struktur für die Ausbildung eines alternierenden Wirbels bilden.

In Figur 7 ist eine weitere Ausführungsform der Vorrichtung 1 dargestellt. Diese Ausführungsform unterscheidet sich von den Ausführungsformen aus den Figuren 1, 5 und 6 insbesondere in der Form der Mischungskammer 20 sowie in der Anzahl der zweiten Einlassöffnungen 2011. Neben der einen zweiten Einlassöffnung 2011a für das zweite Fluid 8 (Phase B) ist eine weitere zweite Einlassöffnung 2011b in der Mischungskammer 20 vorgesehen. Diese weitere zweite Einlassöffnung 2011b kann grundsätzlich auch das zweite Fluid 8 in die Mischungskammer 20 leiten. Alternativ kann die weitere zweite Einlassöffnung 2011b dazu dienen, eine weitere Phase C bzw. ein drittes Fluid in die Mischungskammer 20 zu leiten. In Figur 7 ist die Anzahl der zweiten Einlassöffnungen 2011 zwei. Jedoch können auch mehr als zwei zweite Einlassöffnungen vorgesehen sein.

Die beiden zweiten Einlassöffnungen 2011a, 2011b sind in einer gemeinsamen Begrenzungswand des Einlasskanals 206 ausgebildet. Grundsätzlich können die beiden oder mindestens zwei zweiten Einlassöffnungen 2011 auch auf einander gegenüberliegenden Seite der Mischungskammer 20 ausgebildet sein. Das bedeutet, dass

5 mindestens eine zweite Einlassöffnung 2011 (wie in Figur 4 dargestellt) auf der Oberseite der Vorrichtung 1 ausgebildet ist und mindestens eine weitere zweite Einlassöffnung 2011 auf der der Oberseite gegenüberliegenden Unterseite der Vorrichtung 1 ausgebildet ist.

In Figur 7 befinden sich die beiden zweiten Einlassöffnungen 2011 nebeneinander und

10 weisen dabei denselben Abstand l_{2011} (entlang der Längsachse L) zu der ersten Einlassöffnung 201 auf. Alternativ können die zweiten Einlassöffnungen 2011 unterschiedliche Abstände l_{2011} aufweisen.

Vorteilhaft ist, wenn ein Abstand b_{2013} (quer zur Längsachse L) zwischen den zweiten

15 Einlassöffnungen 2011 klein gewählt wird. Es ist vorteilhaft, wenn der Abstand b_{2013} zwischen den beiden zweiten Einlassöffnungen 2011a und 2011b kleiner als die Breite b_{201} der ersten Einlassöffnung 201 ist.

In den vorstehenden Ausführungsformen weisen die Vorrichtungen stromabwärts der

20 Auslassöffnung 202 der Mischungskammer 20 jeweils einen Interaktionskanal 30 auf. Jedoch ist dieser Interaktionskanal nur fakultativ. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann auch ohne einen solchen Interaktionskanal auskommen. In den vorstehenden Ausführungsformen weisen die Vorrichtungen eine konkrete Anzahl (meistens eine) von ersten/zweiten Einlassöffnungen, Auslassöffnungen und ersten/zweiten

25 Zufuhrvorrichtungen auf. Tatsächlich können es jeweils auch mehr als nur eine sein.

Vorteilhaft ist, wenn die Begrenzungsflächen der Vorrichtung 1, die in Kontakt mit dem ersten Fluid 7, dem zweiten Fluid 8 beziehungsweise dem Fluidgemisch 9 kommen, eine geringe Oberflächenrauigkeit besitzen. Bereits durch den dynamisch bewegten Fluidstahl

30 ist das Ablagerungsrisiko von Komponenten der Fluide in der Vorrichtung 1 sehr gering. Durch die geringe Oberflächenrauigkeit kann diese Wirkung verstärkt werden, was die Stabilität der Vorrichtung im Dauerbetrieb erhöht. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Oberfläche insbesondere in der Mischungskammer lipophil ist.

Es können unterschiedliche Typen von fluidischen Bauteilen eingesetzt werden. Diese können als Mittel zur gezielten Richtungsänderung Nebenstromkanäle oder andere Mittel aufweisen.

In der Beschreibung werden die Begriffe Höhe h und Tiefe t synonym für die Ausdehnung quer zur Oszillationsebene des ersten Fluids verwendet.

- 5 Die erfindungsgemäße Vorrichtung 1 ermöglicht, dass eine große Volumenstromspanne beispielsweise zwischen 20ml/min und 200 ml/min für das erste beziehungsweise zweite Fluid 7 oder 8 verwendet werden kann. Im dem Fall, dass in der Mischungskammer 20 Partikel erzeugt werden, wird durch den Volumenstrom die Partikelgröße nicht signifikant geändert. Dadurch ist die Vorrichtung 1 sehr robust bzgl. eventuell technisch begründeter
10 Schwankungen im Volumenstrom. Außerdem kann dieses System für den Labormaßstab sowie für die Massenproduktion eingesetzt werden.

- Figur 8 zeigt eine beispielhafte Ausgestaltung eines Interaktionskanals 30. Der Interaktionskanal 30 ist optionaler Bestandteil der Vorrichtung 1. Wenn vorhanden, ist der
15 Interaktionskanal 30 mit der Auslassöffnung 202 der Mischungskammer 20 verbunden. Der Interaktionskanal 30 ist rohrförmig und weist in Figur 8 eine Vielzahl von Krümmungen 31 auf. Die Anzahl der Krümmungen sowie deren Krümmungsradius ist in Figur 8 nur beispielhaft. Generell ist die Form des Interaktionskanals 30 so zu gestalten, dass keine Totwassergebiete entstehen, um eine unkontrollierte Agglomeration zu vermeiden. Beim
20 Durchströmen des Interaktionskanals 30 wird dem aus der Auslassöffnung 202 austretenden Fluidgemisch 9 eine weitere Gelegenheit zum Mischen gegeben. Sollten während des Mischvorgangs in der Mischungskammer 20 Partikel erzeugt worden sein, so kann der Interaktionskanal dem Wachstum der Partikel dienen. Die Verweilzeit des erzeugten Fluidgemischs 9 beziehungsweise der Partikel ist durch die Länge des
25 Interaktionskanals 30 steuerbar.

- In Figur 9 ist schematisch die Auslenkung des bewegten (oszillierenden) ersten Fluids 7 (an der Auslassöffnung 102 des fluidischen Bauteils 10) im zeitlichen Verlauf dargestellt. Es ist erkennbar, dass das erste Fluid periodisch zwischen zwei maximalen Auslenkungen
30 von hier beispielhaft in etwa $\pm 25^\circ$ oszilliert. Die gestrichelte Linie stellt dabei einen idealisierten sinusförmigen Verlauf des bewegten Fluidstrahls dar. Zur Erhöhung der Mischungsqualität in der Mischungskammer 20 ist eine zusätzliche Zwischenschwingung vorteilhaft. Eine solche Zwischenschwingung ist anhand der durchgezogenen Linie dargestellt und bei ungefähr $\pm 5^\circ$ vorgesehen. Ein solcher zeitlicher Verlauf (mit
35 Zwischenschwingung) kann beispielsweise mit den fluidischen Bauteilen 10 aus Figur 6 oder 7 erzeugt werden. Gemäß Figur 9 beträgt der Oszillationswinkel α ca. 50° . Grundsätzlich kann der Oszillationswinkel auch von diesem Wert abweichen. Der

Oszillationswinkel wird in Abhängigkeit der gewünschten Mischungsqualität, der zu mischenden Fluide und der zu mischenden Volumina gewählt.

Figur 10 zeigt schematisch den Ablauf eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Mischen von (hier beispielhaft zwei) Fluiden und zum Erzeugen eines Fluidgemischs, das diese beiden Fluide umfasst. Zur Durchführung des Verfahrens wird eine erfindungsgemäße Vorrichtung verwendet.

Die ersten Verfahrensschritte, die in Figur 10 mit P1.1, P2.1 und P3.1 bezeichnet werden, betreffen das erste Fluid 7 und werden parallel zu den Verfahrensschritten P1.2, P2.2 und P3.2, die das zweite Fluid 8 betreffen, durchgeführt. Während dieser Verfahrensschritte liegen das erste Fluid 7 und das zweite Fluid 8 in getrennter Form vor.

Zunächst wird in den Verfahrensschritten P1.1 und P1.2 der Volumenstrom des ersten beziehungsweise zweiten Fluids eingestellt. Hierdurch kann das Mischungsverhältnis (und für den Fall, dass bei dem Mischvorgang Partikel erzeugt werden, gegebenenfalls auch die Partikelgröße) eingestellt werden.

In den darauffolgenden Verfahrensschritten P2.1 und P2.2 werden mittels geeigneter Pumpvorrichtungen (je nach Menge beispielsweise Spritzen- oder Umlagepumpen) der Eingangsdruck P_{10IN} des ersten Fluids 7 und der Eingangsdruck P_{20IN} des zweiten Fluids 8 eingestellt und werden das erste und das zweite Fluid 7, 8 in die erste beziehungsweise zweite Zufuhrvorrichtung 40, 50 geleitet. Der Eingangsdruck P_{10IN} des ersten Fluids 7 ist dabei der Druck, mit dem das erste Fluid über die Einlassöffnung 101 in die Strömungskammer 100 des fluidischen Bauteils 10 (erste Zufuhrvorrichtung 40) eintritt. Der Eingangsdruck P_{20IN} des zweiten Fluids 8 ist dabei der Druck, mit dem das zweite Fluid in die zweite Zufuhrvorrichtung 50 eintritt.

Die angelegten Eingangsdrücke liegen im Bereich einiger Millibar bis hin zu mehreren hundert bar (gegenüber dem Umgebungsdruck). Für die Massenproduktion werden beispielsweise Eingangsdrücke von weit über 2 bar verwendet. Der Druck kann dreistellige Werte wie z.B. 600 bar einnehmen. Bevorzugt wird ein Druckbereich zwischen 2 bar und 350 bar. Besonders bevorzugt ist ein Druckbereich zwischen 10 bar und 220 bar.

Nachdem das erste und zweite Fluid 7, 8 in die jeweilige Zufuhrvorrichtung 40, 50 eingeleitet worden sind, werden mit Hilfe der Zufuhrvorrichtungen 40, 50 in den Verfahrensschritten P3.1 beziehungsweise P3.2 ihre Strömungseigenschaften angepasst.

So wird in P3.1 mit Hilfe des fluidischen Bauteils 10 eine Oszillation des ersten Fluids 7 erzeugt. Die Oszillationsfrequenz ist in der Regel höher als 100 Hz. Vorteilhaft ist eine Bewegungsfrequenz beziehungsweise Oszillationsfrequenz von mehreren tausend Herz, wie beispielsweise 2000 Hz. Somit wird an der Auslassöffnung 102 des fluidischen Bauteils 10 ein passiv oszillierendes erstes Fluid 7 bereitgestellt. Der Oszillationswinkel des ersten Fluids kann mindestens 5° , vorzugsweise mindestens 25° , insbesondere bevorzugt mindestens 40° betragen. Für viele Anwendungsfälle ist ein Oszillationswinkel zwischen 25° und 50° , insbesondere zwischen 30° und 45° geeignet. Ein typischer Maximalwert für den Oszillationswinkel ist 75° .

10

In dem parallelen Verfahrensschritt P3.2 wird in der zweiten Zufuhrvorrichtung 50 mit Hilfe der zugehörigen Pumpvorrichtung ein (quasi-) stationärer zweiter Fluidstrahl 8 erzeugt. Alternativ ist auch möglich, dass in dem Verfahrensschritt P3.2 mit Hilfe der zweiten Zufuhrvorrichtung 50 eine Oszillation des zweiten Fluids 8 erzeugt wird. (Hierfür ist die zweite Zufuhrvorrichtung 50 mit einem fluidischen Bauteil 10 ähnlich zu dem der ersten Zufuhrvorrichtung 40 zu versehen.)

Im Verfahrensschritt P4 werden der oszillierende erste Fluidstrahl 7, der von der ersten Zufuhrvorrichtung 40 bereitgestellt wird, und der (quasi)stationäre zweite Fluidstrahl 8, der von der zweiten Zufuhrvorrichtung 50 bereitgestellt wird, über die erste beziehungsweise zweite Einlassöffnung 201, 2011 in die Mischungskammer 20 geleitet und dort vereinigt. Die Kollision erfolgt unter den Winkeln β und η , die bereits weiter oben im Zusammenhang mit der Vorrichtung 1 näher erläutert wurden. Bei Anwendung des Verfahrens im industriellen Produktionsmaßstab beziehungsweise in der Massenproduktion werden das Fluid 7 und / oder Fluid 8 mit einem kontinuierlichen Volumenstrom in die Mischungskammer 20 geleitet.

Nach dem Verfahrensschritt P4 kann direkt der Verfahrensschritt P7 folgen, in dem das erzeugte Fluidgemisch 9 der Vorrichtung 1 entnommen wird. Der Verfahrensschritt P7 kann weiterhin eine thermische Behandlung (Kühlen) des erzeugten Fluidgemischs und/oder das Abtrennen einer Komponente (beispielsweise eines Lösemittels) aus dem Fluidgemisch umfassen.

Jedoch kann ein oder mehr Zwischenschritte P5 und/oder P6 zwischen P4 und P7 vorgesehen sein.

So kann in dem Verfahrensschritt P5 das Fluidgemisch 9, das am Ende des Mischvorgangs P4 aus der Mischungskammer 20 über deren Auslassöffnung 202 austritt, in einen sich

stromabwärts anschließenden Interaktionskanal 30 geleitet werden, in dem dem Fluidgemisch 9 eine weitere Gelegenheit zur Durchmischung gegeben wird. Sofern während des Mischvorgangs P4 Partikel entstanden sind, können diese Partikel im Interaktionskanal 30 wachsen. Der Interaktionskanal 30 wurde bereits weiter oben im
5 Zusammenhang mit der Vorrichtung 1 näher erläutert.

An den Verfahrensschritt P5 kann sich optional der Verfahrensschritt P6 anschließen. Alternativ kann auf den Verfahrensschritt P5 direkt der Verfahrensschritt P7 folgen. Der Verfahrensschritt P6 sieht vor, dass das erzeugte Fluidgemisch (mit oder ohne Partikel) mit
10 einem weiteren Medium (Fluid) versetzt wird, beispielsweise zwecks Verdünnung. Das Medium kann je nach Natur des erzeugten Fluidgemischs gewählt werden. Dies kann für die Weiterverarbeitung, beispielsweise wenn Nanopartikel erzeugt worden sind, förderlich sein.

15 Das beschriebene Verfahren kann in der Chemie zur Erzeugung von chemischen Gemischen angewandt werden. Auch in der Mikrobiologie, Biochemie, Pharmazie, Medizintechnik und der Lebensmitteltechnik ist das beschriebene Verfahren anwendbar. Zur Erzeugung von pharmazeutischen beziehungsweise therapeutischen Mikropartikeln kann das Verfahren mit einem Lösungsmittel versetzt mit pharmazeutischem
20 beziehungsweise therapeutischem Material und/oder mit einem Fluid versetzt mit einem oder mehreren partikelbehafteten pharmazeutischen beziehungsweise therapeutischen Materialien als erstes und/oder das zweite Fluid 8 durchgeführt werden.

So kann das Verfahren genutzt werden, um RNA in einer definierten Partikelgröße in eine
25 Lipidschicht zu hüllen. Dabei kann das erste Fluid 7 eine wässrige Lösung mit RNA (beispielsweise mRNA) sein und das zweite Fluid 8 ein Lipid oder eine Lipidmischung.

In Figur 11 sind Messwerte eines Fluidgemischs dargestellt, das unter Verwendung der Vorrichtung aus Figur 5 und des Verfahrens aus Figur 10 erzeugt worden ist. Das
30 Fluidgemisch enthält während des Mischvorgangs erzeugte Partikel. Konkret wurde hier als erstes Fluid ein Satz mRNA und als zweites Fluid ein Lipidgemisch verwendet. Während des Mischvorgangs wurden mRNA-Partikel gebildet, die von einer Lipidschicht umschlossen sind. Das Verfahren wurde mehrfach mit verschiedenen Volumenströmen (13,3 ml/min, 40 ml/min und 60 ml/min) durchgeführt. Dabei war der Volumenstrom des
35 ersten Fluids jeweils drei mal so groß wie der Volumenstrom des zweiten Fluids. Die in Figur 11 angegebenen Volumenströme entsprechen jeweils der Summe des ersten und zweiten Fluids. Der Volumenstrom ist beispielsweise von der Zusammensetzung des Lipidgemischs abhängig.

In Figur 11 sind in drei Graphiken a), b) und c) Messwerte zu den Kenngrößen Verkapselungseffizienz (Graphik a)), Partikelgröße (Graphik b)) und Polydispersitätsindex, kurz PDI (Graphik c)) jeweils für drei verschiedene Volumenströme dargestellt. Die Verkapselungseffizienz gibt den prozentualen Anteil der mRNA an, die in Partikelform vorliegt. Der Polydispersitätsindex gibt die Größenverteilung der mRNA-Partikel an. Dabei bedeutet ein Polydispersitätsindex von 0, dass alle Partikel die gleiche Größe haben. In allen Graphiken stellen die Werte auf der Abzisse lediglich verschiedene Probenahmen zu unterschiedlichen Zeitpunkten dar.

- 10 Graphik a) ist entnehmbar, dass die Verkapselungseffizienz unabhängig vom eingestellten Volumenstrom stets zwischen 95% und 100% liegt. (Diese Effizienz stellt sich auch bei Volumenströmen ein, die höher oder tiefer als die in Figur 11 angegebenen Werte sind.) Bei einer industriellen Herstellung von mRNA-Partikeln, die von einer Lipidschicht umhüllt sind, wird standardmäßig ein Wert oberhalb von 85% erwartet. Das erfindungsgemäße Verfahren kann diesen Standard problemlos erfüllen.

- Was die Partikelgröße betrifft (Graphik b)), so zeigt sich, dass bei einem geringen Volumenstrom von hier 13,3 ml/min eine Partikelgröße von ca. 90 nm erzielt wird und dass die Partikelgröße durch Erhöhen des Volumenstroms auf 40 ml/min auf ca. 70 nm sinkt. Eine weitere Erhöhung des Volumenstroms auf 60 ml/min führt hingegen zu keiner weiteren Reduzierung der Partikelgröße. Durch Wahl des passenden Volumenstroms können mit dem erfindungsgemäßen Verfahren von einer Lipidschicht umschlossene mRNA-Partikel erzeugt werden, deren Größe in dem standardmäßigen Größenbereich (gestrichelte Linie) liegt. Die Größe des Volumenstroms kann dabei durch die Zusammensetzung der Lipidmischung beeinflusst werden.

- Die Größenverteilung der erzeugten Partikel (Graphik c)) ist verhältnismäßig eng, wobei die Größe des Volumenstroms nur eine vernachlässigbar geringe Auswirkung auf die Größenverteilung der Partikel hat. Graphik c) zeigt, dass das erfindungsgemäße Verfahren auch hinsichtlich der Größenverteilung der von einer Lipidschicht umschlossenen mRNA-Partikel im Rahmen des Industriestandards liegt.

- In den Figuren 12 und 13 ist eine weitere Ausführungsform der Vorrichtung 1 dargestellt. Diese Vorrichtung 1 umfasst ebenso wie die Vorrichtung aus den Figuren 1 bis 4 eine erste Zufuhrvorrichtung 40 und eine zweite Zufuhrvorrichtung 50, die jeweils in eine Mischungskammer 20 münden, sowie einen Interaktionskanal 30, der sich an die Auslassöffnung 202 der Mischungskammer 20 anschließt.

- Die erste Zufuhrvorrichtung 40 umfasst hier ein fluidisches Bauteil 10 als Mittel zur gezielten dynamischen Richtungsänderung des ersten Fluids 7, so dass sich der Fluidstrom des ersten Fluids 7 innerhalb der Mischungskammer 20 bewegt und dabei eine
- 5 Bewegungskomponente entlang der ersten Fluidstromrichtung F_1 und eine Bewegungskomponente quer zur ersten Fluidstromrichtung F_1 aufweist. Die erste Fluidstromrichtung F_1 entspricht dabei einer Hauptstromrichtung F_{H20} innerhalb der Mischungskammer 20. Dabei kann die Bewegung des ersten Fluids 7 zeitlich veränderlich sein. Die Hauptstromrichtung F_{H20} innerhalb der Mischungskammer 20 ist von der ersten
- 10 Einlassöffnung 201 der Mischungskammer 20 zur Auslassöffnung 202 der Mischungskammer 20 gerichtet. Vorstellbar ist auch eine periodische, zeitlich veränderliche Bewegung des Fluidstroms des ersten Fluids 7 in der Mischungskammer 20, die als Oszillation, Schwingung, Rotation oder Pulsation des Fluidstroms interpretiert werden kann. Die Zufuhrvorrichtung 40 aus Figur 12 kann als fluidisches Bauteil 10 das
- 15 fluidische Bauteil 10 aus der Vorrichtung 1 gemäß Figur 1 umfassen. Das fluidische Bauteil 10 (und seine Komponenten) aus Figur 12 kann demnach die Abmessungen (Länge, Breite, Höhe, Tiefe, Durchmesser) aufweisen, die für das fluidische Bauteil 10 (und seine Komponenten) aus Figur 1 weiter oben beschrieben worden sind.
- 20 Die Ausführungsform aus Figur 12 unterscheidet sich von jener aus Figur 1 insbesondere in der Ausgestaltung stromaufwärts der Einlassöffnung 101 des fluidischen Bauteils 10 (Teil der ersten Zufuhrvorrichtung 40) und stromabwärts der Auslassöffnung 202 der Mischungskammer 20. Während in der Ausführungsform der Figur 1 stromaufwärts der Einlassöffnung 101 der trichterförmige Ansatz 106 vorgesehen ist, der sich ausschließlich
- 25 innerhalb der Oszillationsebene, in der sich das erste Fluid 7 im fluidischen Bauteil 10 bewegt, erstreckt, so dass das erste Fluid 7 vor Erreichen der Einlassöffnung 101 ausschließlich entlang der ersten Fluidstromrichtung F_1 innerhalb der Oszillationsebene strömt, ist in der Ausführungsform aus Figur 12 stromaufwärts des Ansatzes 106 ein Einlasskanal 1614 vorgesehen. Der Einlasskanal 1614 erstreckt sich im Wesentlichen
- 30 senkrecht zur Oszillationsebene und somit senkrecht zu dem Ansatz 106. Dabei schließt sich der Ansatz 106 unmittelbar an den Einlasskanal 1614 an. Der Übergang zwischen Einlasskanal 1614 (bzw. dessen stromabwärtigen Ende) und dem Ansatz 106 (bzw. dessen stromaufwärtigen Ende) ist in Figur 13 mit dem Bezugszeichen 161 gekennzeichnet. Der Ansatz 106 und der Einlasskanal 1614 können einstückig ausgebildet sein. Insbesondere
- 35 kann der Einlasskanal 1614 in einer Begrenzungswand ausgebildet sein, die sich parallel zu der Oszillationsebene erstreckt und den Ansatz 106 begrenzt, wobei der Einlasskanal 1614 die Begrenzungswand quer zur Oszillationsebene komplett durchdringt. Das erste

Fluid 7, das den Einlasskanal 1614 und den Ansatz 106 durchströmt, erfährt somit eine Umlenkung um im Wesentlichen 90°.

Entsprechend verhält es sich in der Ausführungsform der Figur 12 stromabwärts der Auslassöffnung 202 der Mischungskammer 20. An den Interaktionskanal 30 schließt sich stromabwärts unmittelbar ein Auslasskanal 3024 an. Der Übergang zwischen Interaktionskanal 30 (bzw. dessen stromabwärtigen Ende) und dem Auslasskanal 3024 (bzw. dessen stromaufwärtigen Ende) ist in Figur 13 mit dem Bezugszeichen 302 gekennzeichnet. Dabei erstreckt sich der Interaktionskanal 30 ausschließlich in der Oszillationsebene und der Auslasskanal 3024 im Wesentlichen senkrecht zu der Oszillationsebene. Der Interaktionskanal 30 und der Auslasskanal 3024 können einstückig ausgebildet sein. Insbesondere kann der Auslasskanal 3024 in einer Begrenzungswand ausgebildet sein, die sich parallel zu der Oszillationsebene erstreckt und den Interaktionskanal 30 begrenzt, wobei der Einlasskanal 1614 die Begrenzungswand quer zur Oszillationsebene komplett durchdringt. Das erzeugte Fluidgemisch 9, das den Interaktionskanal 30 und den Auslasskanal 3024 durchströmt, erfährt somit eine Umlenkung um im Wesentlichen 90°.

Der Einlasskanal 1614 und der Auslasskanal 3024 haben jeweils einen konstanten Durchmesser und sind beispielhaft zylindrisch. Der Einlasskanal 1614 hat dabei einen Durchmesser d_{161} von 0,45 mm und der Auslasskanal 3024 einen Durchmesser d_{302} von 0,5 mm. Alternativ können diese beiden Durchmesser auch gleich groß sein. In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist der Durchmesser d_{302} nicht kleiner als der größere Wert von b_{2011} (Breite der zweiten Einlassöffnung 2011) und d_{161} : $d_{302} \geq \max(b_{2011}, d_{161})$. Das geeignete Größenverhältnis von d_{161} und d_{302} ist abhängig von der Natur der zu mischenden Fluide, deren Interaktion (beispielsweise Kollision) oder chemischen Reaktionen miteinander sowie von dem Mengenverhältnis der zu mischenden Fluiden.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung ist am Übergang 161 zwischen dem Einlasskanal 1614 und dem Ansatz 106 und am Übergang 302 zwischen dem Interaktionskanal 30 und dem Auslasskanal 3024 keine Stufe ausgebildet. Dabei geht die Wandung des Einlasskanals 1614 (Interaktionskanals 30) direkt und stufenlos in die Wandung des Ansatzes 106 (Auslasskanals 3024) über. Jedoch kann an den genannten Übergängen 161, 302 auch eine Stufe ausgebildet sein. So ist in Figur 12 exemplarisch eine Stufe am Übergang 161 zwischen dem Einlasskanal 1614 und dem Ansatz 106 dargestellt, wobei der Durchmesser d_{161} des Einlasskanals 1614 kleiner ist als die Breite b_{106} (Ausdehnung in der Oszillationsebene und quer zur Längsachse L) des Ansatzes 106. Hingegen sind in

Figur 12 der Durchmesser d_{302} des Auslasskanals 3024 und die Breite b_{300} (Ausdehnung in der Oszillationsebene und quer zur Längsachse L) des Interaktionskanals 30 gleich groß.

- 5 Der Einlasskanal 1614 ist mit der Einlassöffnung 101 des fluidischen Bauteils 10 fluidisch über den Ansatz 106 verbunden. Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung entspricht die Länge l_{106} (Ausdehnung entlang der Längsachse L vom Mittelpunkt des Durchmessers d_{161} des Einlasskanals 1614 bis zur Einlassöffnung 101) des Ansatzes 106 mindestens der Summe aus dem Doppelten der Breite b_{101} und dem Doppelten des Durchmessers d_{161} :
- 10 $l_{106} \geq 2 \times b_{101} + 2 \times d_{161}$.

In der Ausführungsform der Figur 12 sind die Breite b_{101} der Einlassöffnung 101 und die Breite b_{11} der kleinsten Querschnittsfläche A_{11} im Hauptstromkanal 103 zwischen den inneren Blöcken 11a, 11b gleich groß und nehmen jeweils den Wert 0,38 mm an.

- 15 Die Auslassöffnung 202 der Mischungskammer 20 ist mit dem Auslasskanal 3024 fluidisch über den Interaktionskanal 30 verbunden. Der Interaktionskanal 30 hat zumindest abschnittsweise eine konstante Breite b_{300} (Ausdehnung in der Oszillationsebene und quer zur Fluidstromrichtung). In der Ausführungsform aus Figur 12 ist die Breite b_{300} über die
- 20 gesamte Länge des Interaktionskanals 30 konstant und beträgt ca. 0,5 mm. Die Länge l_{30} des Interaktionskanals 30 ist entlang der Längsachse L (bzw. Fluidstromrichtung) zwischen der Auslassöffnung 202 der Mischungskammer 20 und dem Mittelpunkt des Durchmessers d_{302} des Auslasskanals 3024 definiert und kann unterschiedliche Werte annehmen. Vorzugsweise ist die Länge l_{30} mindestens doppelt so groß wie der Durchmesser d_{302} :
- 25 $l_{30} \geq 2 \times d_{302}$. Bei der Verwendung der Vorrichtung zur Erzeugung von Lipidnanopartikeln ist $l_{30} \geq 5 \times d_{302}$ vorteilhaft. Ist der Interaktionskanal 30 nicht geradlinig, wie beispielsweise in der Ausführungsform aus Figur 8, so ist die Länge l_{30} entlang der Mittellinie des Interaktionskanals 30 definiert.

- 30 Die zweite Einlassöffnung 2011 der Mischungskammer 20 weist in der Ausführungsform aus Figur 12 einen kreisrunden Querschnitt auf. Die Breite b_{2011} (Ausdehnung in der Oszillationsebene und quer zur Längsachse L) beträgt hier beispielhaft 0,3 mm, so dass die zweite Einlassöffnung 2011 eine Querschnittsfläche von ca. 0,07 mm² aufweist. Entlang der Längsachse L beträgt der Abstand l_{2011} zwischen der ersten Einlassöffnung 201 der
- 35 Mischungskammer 20 und dem Mittelpunkt der zweiten Einlassöffnung 2011 der Mischungskammer 20 1,01 mm. Die Bauteiltiefe h_{206} (Ausdehnung quer zur Oszillationsebene) der Mischungskammer 20 im Bereich zwischen der ersten und der

zweiten Einlassöffnung 201, 2011 ist vorteilhaft nicht größer als das Dreifache der Breite b_{2011} : $h_{206} \leq 3 \times b_{2011}$. Besonders vorteilhaft ist $h_{206} \leq 2,75 \times b_{2011}$.

- Auf Höhe des Mittelpunkts der zweiten Einlassöffnung 2011 weist die Mischungskammer 20 eine Querschnittsfläche $A_{20,b2011m}$ (quer zur Längsachse L) von ca. 0,25 mm² auf. Weiter stromaufwärts (in Bezug auf die erste Fluidstromrichtung F_1) in der Mischungskammer 20 auf der Höhe unmittelbar vor der zweiten Einlassöffnung 2011 beträgt die Querschnittsfläche $A_{20,b2011a}$ (quer zur Längsachse L) der Mischungskammer 20 ca. 0,21 mm². Weiter stromabwärts (in Bezug auf die erste Fluidstromrichtung F_1) in der Mischungskammer 20 auf der Höhe unmittelbar nach der zweiten Einlassöffnung 2011 beträgt die Querschnittsfläche $A_{20,b2011e}$ (quer zur Längsachse L) der Mischungskammer 20 ca. 0,3 mm². Die Tiefe der Mischungskammer 20 ist in diesen drei Bereichen gleich groß. Die Querschnittsflächen $A_{20,b2011a}$ und $A_{20,b2011e}$ können auch gleich groß sein, oder $A_{20,b2011a}$ kann größer als $A_{20,b2011e}$ sein. $A_{20,b2011m}$ kann beliebige Werte zwischen den Werten $A_{20,b2011a}$ und $A_{20,b2011e}$ annehmen. Das konkrete Größenverhältnis kann von der gewünschten Anwendung abhängen. Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform ist die Querschnittsfläche $A_{20,b2011e}$ der Mischungskammer 20 mindestens so groß wie die Summe der Querschnittsflächen A_{201} , A_{2011} der ersten und zweiten Einlassöffnung 201, 2011 der Mischungskammer 20: $A_{20,b2011e} \geq A_{201} + A_{2011}$. Zusätzlich zu der Bedingung $A_{20,b2011e} \geq A_{201} + A_{2011}$ kann gelten $A_{20,b2011e} \leq 3,5 \times A_{201}$. Werden beide Bedingungen erfüllt und ist die Bauteiltiefe h_{206} (Ausdehnung quer zur Oszillationsebene) im Bereich des Einlasskanals 206 der Mischungskammer 20 konstant, so kann das Vermischen des ersten Fluids 7 mit dem zweiten Fluid 8 optimiert werden.
- In der Ausführungsform aus Figur 12 weist das fluidische Bauteil 10 ein Volumen V_{10} von ca. 0,67 mm³. Das Volumen V_{10} ist als der Raum definiert, den das erste Fluid 7 zwischen der Einlassöffnung 101 des fluidischen Bauteils 10 und der Auslassöffnung 102 des fluidischen Bauteils 10 durchströmen kann. Dabei weist der Hauptstromkanal 103 des fluidischen Bauteils 10 ein Volumen V_{103} von ca. 0,32 mm³ auf. Das Volumen V_{20} der Mischungskammer 20 beträgt ca. 1,68 mm³. Das Volumen V_{20} ist als der Raum definiert, den das erste Fluid 7, das zweite Fluid 8 bzw. das erzeugte Fluidgemisch 9 zwischen der ersten und der zweiten Einlassöffnung 201, 2011 der Mischungskammer 20 einerseits und der Auslassöffnung 202 der Mischungskammer 20 andererseits durchströmen kann. Die Einlassöffnungen 201, 2011 und die Auslassöffnung 202 sind jeweils dort definiert, wo die Querschnittsfläche (quer zur Fluidstromrichtung) der Mischungskammer 20, die der Fluidstrom passiert, wenn er in die Mischungskammer 20 eintritt beziehungsweise aus der Mischungskammer 20 wieder austritt, jeweils am kleinsten ist. Das Volumen V_{20} umfasst

- insbesondere nicht den Raum stromaufwärts der besagten kleinsten Querschnittsfläche, in dem nur eines der Fluide 7, 8 der Mischungskammer 20 zugeführt wird. Das Volumen V_{20} umfasst insbesondere auch nicht den Raum stromabwärts der besagten kleinsten Querschnittsfläche, in dem das Fluidgemisch 9 abgeleitet wird. Weiterhin beträgt das
- 5 Volumen V_{40} der kompletten ersten Zufuhrvorrichtung 40 ca. $1,017 \text{ mm}^3$. Dabei ist das Volumen V_{40} als der Raum definiert, den das erste Fluid 7 zwischen dem stromaufwärtigen Ende des Einlasskanals 1614 und der Auslassöffnung 102 des fluidischen Bauteils 10 durchströmen kann. Vorteilhaft für das Mischungsergebnis ist, wenn das Volumen V_{20} der Mischungskammer 20 größer als das Volumen V_{40} der Zufuhrvorrichtung 40 ist: $V_{20} > V_{40}$.
- 10 bzw. $V_{20} > V_{40} > V_{10} > V_{103}$. Die vorstehenden konkreten Volumenangaben beziehen sich auf eine Variante der Vorrichtung 1 aus Figur 12. Je nach gewünschter Anwendung kann die Vorrichtung 1 skaliert werden, wobei das Verhältnis der Volumina, die für die eine Variante angegeben sind, beibehalten wird.
- 15 Figur 13 zeigt eine Schnittdarstellung der Vorrichtung 1 aus Figur 12 entlang der Linie D'-D''. Ebenfalls dargestellt sind ein Abdeckelement 60 und eine optionale Dichtung 70, die sich jeweils in einer Ebene parallel zur Oszillationsebene erstrecken und auf der Seite der Vorrichtung 1 angeordnet sind, die von der zweiten Einlassöffnung 2011 abgewandt ist. Das Abdeckelement 60 ist hier nur im Schnitt dargestellt, erstreckt sich jedoch über die
- 20 gesamte Vorrichtung 1. Der Übersicht halber sind zwischen dem Abdeckelement 60, der Dichtung 70 und dem Körper 2 der Vorrichtung 1, in dem die fluidführenden Funktionselemente 40, 50, 20, 30 ausgebildet sind, Abstände dargestellt, die tatsächlich jedoch nicht vorhanden sind.
- 25 Das Abdeckelement 60 dichtet die fluidführenden Funktionselemente 40, 20, 30 gegenüber der Umgebung ab. In der dargestellten Ausführungsform sind der Einlasskanal 1614 stromaufwärts der Einlassöffnung 101 des fluidischen Bauteils 10, der in die zweite Einlassöffnung 2011 der Mischungskammer 20 mündende Zufuhrkanal 2014 sowie der Auslasskanal 3024 des Interaktionskanals 30 als Bohrungen senkrecht zur
- 30 Oszillationsebene in dem Körper 2 ausgebildet. Prinzipiell können diese Bohrungen jedoch alternativ oder zusätzlich im Abdeckelement 60 ausgebildet sein.

- In der Ausführungsform aus den Figuren 1 bis 4 sind der Körper 2 und das Abdeckelement 60 einstückig ausgebildet, wobei die fluidführenden Funktionselemente in einen
- 35 Materialblock eingearbeitet sind. Diese Ausgestaltung ist prinzipiell auch für die Ausführungsform der Figuren 12 und 13 möglich. Ebenso ist die Ausgestaltung (Körper 2,

Abdeckelement 60 und Dichtung 70 separat) auf die Ausführungsform der Figuren 1 bis 4 anwendbar.

Die Dichtung 70 kann aus einem elastischen Material gefertigt sein. Insbesondere bei
5 Anwendungen der Vorrichtung 1, bei denen an der ersten Zufuhrvorrichtung 40 (konkret am Einlasskanal 1614) ein Eingangsdruck P_{10IN} von über 5 bar angelegt wird, ist die Verwendung eines elastischen Materials vorteilhaft. Die in den Figuren 12 und 13 dargestellte Ausführungsform der Vorrichtung 1 kann beispielsweise mit einem
10 Eingangsdruck P_{10IN} am Einlasskanal 1614 von 0,5 bar bis 90 bar (erstes Fluid 7) sowie mit einem Eingangsdruck P_{20IN} am Zufuhrkanal 2014 von 0,5 bar bis 90 bar (zweites Fluid 8) betrieben werden. Typische Eingangsdrücke liegen im Bereich zwischen 0,75 bar und 65 bar. Wird die Vorrichtung 1 aus den Figuren 12 und 13 in einem Verfahren zur Erzeugung von Lipidnanopartikeln verwendet, so können in diesem Verfahren
15 Eingangsdrücke P_{10IN} , P_{20IN} zwischen 1 bar und 30 bar angesetzt werden. Typische Eingangsdrücke liegen im Bereich zwischen 2 bar und 6 bar.

Stromaufwärts (in Bezug auf die zweite Fluidstromrichtung F_2) der zweiten Einlassöffnung 2011 der Mischungskammer 20 ist unmittelbar ein Zufuhrkanal 2014 ausgebildet. Der Zufuhrkanal 2014 ist als zylindrische Bohrung ausgebildet und weist einen Durchmesser
20 d_{2014} auf, der der Breite b_{2011} der zweiten Einlassöffnung 2011 entspricht. Der Durchmesser d_{2014} kann jedoch auch von der Breite b_{2011} verschieden sein. In der Ausführungsform der Figuren 12 und 13 weist die zweite Einlassöffnung 2011 eine scharfe Kante auf. Grundsätzlich kann diese auch anders gestaltet sein, beispielsweise mit einer Fase oder einem Radius. Besonders vorteilhaft ist jedoch, die zweite Einlassöffnung 2011
25 scharfkantig und gratfrei auszuführen. Der Zufuhrkanal 2014 ist mit einem Rohrstück 204 oder einem Schlauch fluidisch verbindbar (Figur 13). Dabei ist der Durchmesser des Rohrstücks 204 oder des Schlauchs größer als der des Zufuhrkanals 2013. Dadurch entsteht im Übergangsbereich eine Stufe 2020, die in Figur 13 scharfkantig ausgebildet ist. Allerdings kann der Übergang zwischen Rohrstück 204 bzw. Schlauch und Zufuhrkanal
30 2014 auch fließend (stufenlos) gestaltet sein oder kann an der Stufe 2020 eine Fase ausgebildet sein. Wie bereits im Zusammenhang mit der Ausführungsform der Figuren 1 bis 4 erwähnt, schließt der Zufuhrkanal 2014 (bzw. das mit diesem verbundenen Rohrstück 204) mit der Oszillationsebene einen Winkel β und einen Winkel η ein. Der Winkel β wird dabei in einer Ebene gemessen, die parallel zur Längsachse L und senkrecht zur
35 Oszillationsebene verläuft. Der Winkel η hingegen wird in einer Ebene gemessen, die senkrecht zur Längsachse L und senkrecht zur Oszillationsebene verläuft. Die

Größenangaben für die Winkel β und η in der Ausführungsform der Figuren 1 bis 4 gelten auch für die Ausführungsform der Figuren 12 und 13.

Die zuvor genannten geometrischen Beziehungen für die Vorrichtung 1 enden mit dem Zufuhrkanal 1614 und dem Zufuhrkanal 2014 sowie mit dem Auslasskanal 3024 und schließen insbesondere Fluidversorgungseinrichtungen, die an den Zufuhrkanal 1614 und an den Zufuhrkanal 2014 anzuschließen sind, und Vorrichtungen zum Auffangen des durch den Auslasskanal 3024 abgegebenen Fluidgemischs nicht mit ein.

Der Zufuhrkanal 2014 weist eine Länge h_{2014} auf, die in Figur 13 gekennzeichnet ist. Die Länge h_{2014} beträgt mindestens dem 2,5-fachen der Breite b_{2011} : $h_{2014} \geq 2,5 \times b_{2011}$. Besonders bevorzugt ist $h_{2014} \geq 4,2 \times b_{2011}$ gilt.

In der Ausführungsform der Figuren 12 und 13 weisen das fluidische Bauteil 10 und die Mischungskammer 20 dieselbe Höhe (Ausdehnung quer zur Oszillationsebene) auf: $h_{10} = h_{20}$. Die Höhen h_{10} und h_{20} sind über die gesamte Ausdehnung des fluidischen Bauteils 10 bzw. der Mischungskammer 20 konstant und betragen 0,3 mm. Somit beträgt auch die Höhe h_{102} an der Auslassöffnung 102 des fluidischen Bauteils 10 0,3 mm. Daraus resultiert, dass die Maße b_{102} und h_{102} den gleichen Wert von 0,3 mm annehmen und damit A_{1min} bilden. Die Begriffe Höhe h und Tiefe h bezeichnen jeweils die Ausdehnung quer zur Oszillationsebene und werden daher in dieser Anmeldung synonym verwendet.

Mit den vorgenannten geometrischen Angaben kann das erzeugte Fluidgemisch 9 einen Gesamtvolumenstrom V_9 von 10 ml/min bis 90 ml/min aufweisen (messbar im Auslasskanal 3024). In dem Gesamtvolumenstrom V_9 kann das erste Fluid 7 einen Volumenanteil von 75% und das zweite Fluid 8 einen Volumenanteil von 25% aufweisen. Ein Gesamtvolumenstrom V_9 von 10 ml/min bis 90 ml/min stellt sich ein bei Eingangsdrücken P_{10IN} und P_{20IN} am Einlasskanal 161 bzw. am Zufuhrkanal 2013 von 2 bar bis 6 bar, und vice versa.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung 1 ermöglicht, den Volumenstrom des ersten Fluids 7, den Volumenstrom des zweiten Fluids 8, den Gesamtvolumenstrom V_9 des Fluidgemischs sowie die Eingangsdrücke P_{10IN} , P_{20IN} über einen großen Prozessbereich einzustellen, ohne dass sich die Qualität des erzeugten Fluidgemischs 9 bzw. der erzeugten Partikel signifikant ändert. Ferner ist die Vorrichtung 1 verhältnismäßig unempfindlich gegenüber Druckpulsationen des ersten und zweiten Fluids, so dass auch das Verfahren, das die Vorrichtung 1 zur Erzeugung eines Fluidgemisches verwendet, verhältnismäßig

unempfindlich gegenüber den genannten Druckpulsationen ist. Druckpulsationen werden beispielsweise durch Druckerhöhungseinrichtungen erzeugt, die beispielsweise in dem Verfahren aus Figur 10 (Figur 15) in den Verfahrensschritten P2.1 und P2.2 (V2.1 und V2.2 und optional V2.3 bis V2.5) eingesetzt werden.

5

Die Volumenströme des ersten und des zweiten Fluids können bei gleichbleibenden Eingangsdrücken P_{10IN} , P_{20IN} durch Änderung der Breite b_{102} und/oder der Höhe h_{102} der Auslassöffnung 102 des fluidischen Bauteils 10 geändert werden. In der Ausführungsform der Figuren 12 und 13 ist das Längenverhältnis E_{102} , das definiert ist mit $E_{102} = b_{102}/h_{102}$,
gleich 1. Jedoch kann E_{102} auch ungleich 1 sein.

10

Vorstehend sind verschiedene Ausführungsformen der Vorrichtung 1 beschrieben, wobei für einzelne Ausführungsformen konkrete geometrischen Abmessungen (Länge, Breite, Höhe, Tiefe, Durchmesser) angegeben sind. Diese beziehen sich auf eine konkrete Variante der jeweiligen Ausführungsform der Vorrichtung 1. Je nach gewünschter Anwendung kann die Vorrichtung 1 skaliert werden, wobei die wesentlichen Größenverhältnisse der geometrischen Abmessungen, die für die eine konkrete Variante angegeben sind, beibehalten wird. Je nach Mischungsaufgabe können einzelne geometrische Abmessungen entsprechend angepasst werden.

15

20

Figur 15 stellt schematisch den Ablauf eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Mischen von mindestens zwei Fluiden und zum Erzeugen eines Fluidgemischs 9, das die mindestens zwei Fluide umfasst, dar. Für das Verfahren aus Figur 15 (ebenso wie für das Verfahren aus Figur 10) kann die Vorrichtung 1 in der Ausführungsform der Figuren 12 und 13 verwendet werden. Jedoch kann auch die Vorrichtung 1 gemäß einer der anderen Ausführungsformen (Figuren 1 bis 8) verwendet werden. Die für das Verfahren verwendeten Eingangsstoffe können bei Raumtemperatur durchaus in gasförmiger oder fester Form vorliegen. Durch eine Temperierung und / oder Einstellung des Eingangsdruckes vor der und/oder in der Vorrichtung 1 können die Eingangsstoffe dann in die gewünschte Fluidform überführt werden, so dass sie für den Mischprozess in der Mischungskammer 20 und auch in dem fluidischen Bauteil 10 bevorzugt in flüssiger Form vorliegen.

25

30

Verfahrensschritte, die in Figur 15 in Kästchen mit gepunktetem Rand dargestellt sind, sind lediglich optional.

35

Die ersten Verfahrensschritte V1.1 und V1.2 und optional V1.3, V1.4 und V1.5 werden parallel durchgeführt. Dabei liegen das erste Fluid 7 und das zweite Fluid 8 (beziehungsweise Bestandteile dieser) sowie drei weitere Fluide (falls verwendet) in getrennter Form vor. In diesen Verfahrensschritten wird der Volumenstrom der verwendeten Fluide (sowie die Volumenstromverhältnisse) eingestellt. Hierdurch kann das Mischungsverhältnis (und für den Fall, dass bei dem Mischvorgang Partikel erzeugt werden, gegebenenfalls auch die Partikelgröße) eingestellt werden. Insbesondere kann durch Veränderung der Volumenstromverhältnisse der verwendeten Fluide die Größe der erzeugten Partikel angepasst werden, ohne die unter Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 erzielte Monodispersität der Partikelgrößenverteilung (das heißt Polydispersitätsindex nahe 0) signifikant zu verändern. Beispielsweise kann für die Erzeugung von mRNA-Nanopartikeln das Mischungsverhältnis 75 % Volumenanteil für das erste Fluid 7 im Schritt V1.1 und 25 % Volumenanteil für das zweite Fluid 8 im Schritt V1.2 eingestellt werden. Dabei umfasst das erste Fluid 7 eine wässrige mRNA-Lösung und das zweite Fluid 8 eine Lipidmischung. Zur Erzeugung der mRNA-Nanopartikel kann der Gesamtvolumenstrom V_9 10 ml/min betragen, wobei für das erste Fluid 7 ein konstanter Volumenstrom V_7 von 7,5 ml/min und für das zweite Fluid 8 ein konstanter Volumenstrom V_8 von 2,5 ml/min eingestellt wird. Unter den drei weiteren Fluiden kann beispielsweise ein organisches Lösungsmittel sein, dessen Volumenstrom im Verfahrensschritt V1.4 eingestellt wird. Es kann vorgesehen sein, dass das organische Lösungsmittel in einem späteren Verfahrensschritt wieder entfernt wird.

In den zweiten Verfahrensschritten V2.1 und V2.2 und optional V2.3, V2.4 und V2.5 werden mittels geeigneter Pumpvorrichtungen (je nach Menge beispielsweise Spritzen- oder Umlagepumpen) der Eingangsdruck P_{10IN} des ersten Fluids 7 (bzw. Bestandteile davon) und der Eingangsdruck P_{20IN} des zweiten Fluids 8 (bzw. Bestandteile davon) eingestellt. Der Eingangsdruck P_{10IN} des ersten Fluids 7 ist dabei der Druck, mit dem das erste Fluid über die Einlassöffnung 101 in die Strömungskammer 100 des fluidischen Bauteils 10 (erste Zufuhrvorrichtung 40) eintritt. Der Eingangsdruck P_{20IN} des zweiten Fluids 8 ist dabei der Druck, mit dem das zweite Fluid in die zweite Zufuhrvorrichtung 50 eintritt.

In den zweiten Verfahrensschritten V2.1 und V2.2 und optional V2.3, V2.4 und V2.5 können die eingesetzten Eingangsstoffe falls erforderlich temperiert werden. Auch kann der Eingangsdruck eingestellt werden, um den Eingangsstoffen die erforderlichen physikalischen Eigenschaften zu verleihen. So kann beispielsweise die Viskosität der Eingangsstoffe eingestellt werden. Temperatur und/oder Eingangsdruck können je nach Art

der Eingangsstoffe Einfluss auf das Mischungsverhältnis bzw. das Ergebnis des Mischprozesses haben.

Der dritte Verfahrensschritt V3 ist optional. In diesem Schritt kann durch Mischung der in
5 V1.2 und V1.3 sowie V2.2 und V2.3 behandelten Fluide, sofern diese nicht bereits das erste bzw. zweite Fluid darstellen, das erste Fluid 7 oder das zweite Fluid 8 erzeugt werden. Für den Verfahrensschritt V3 kann die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Einsatz kommen. Grundsätzlich können für den Verfahrensschritt V3 jedoch auch andere Vorrichtungen zum Mischen eingesetzt werden.

10

In den vierten Verfahrensschritten V4.1 und V4.2 und optional V4.3 und V4.4 werden das erste und das zweite Fluid 7, 8 und optional weitere Fluide in die erste beziehungsweise zweite Zufuhrvorrichtung 40, 50 geleitet. Mit Hilfe der Zufuhrvorrichtungen 40, 50 werden in den Verfahrensschritten V4.1 und V4.2 und optional V4.3 und V4.4 die
15 Strömungseigenschaften angepasst. So wird in V4.1 mit Hilfe des fluidischen Bauteils 10 eine Oszillation des ersten Fluids 7 erzeugt. Die Oszillationsfrequenz ist in der Regel höher als 100 Hz. Vorteilhaft ist eine Bewegungsfrequenz beziehungsweise Oszillationsfrequenz von mehreren tausend Herz, wie beispielsweise 2000 Hz. Somit wird an der Auslassöffnung 102 des fluidischen Bauteils 10 ein passiv oszillierendes erstes Fluid 7
20 bereitgestellt. Der Oszillationswinkel des ersten Fluids kann mindestens 5°, vorzugsweise mindestens 25°, insbesondere bevorzugt mindestens 40° betragen. Für viele Anwendungsfälle ist ein Oszillationswinkel zwischen 25° und 50°, insbesondere zwischen 30° und 45° geeignet. Ein typischer Maximalwert für den Oszillationswinkel ist 75°. Die Verwendung einer ersten Zufuhrvorrichtung 40 (insbesondere eines fluidischen Bauteils
25 10) gemäß den Figuren 1 bis 7 und 12 und 13 hat den Vorteil, dass unerwünschte Druckschwankungen, die in den zweiten Verfahrensschritten entstehen können, gedämpft werden können, so dass das Verfahren verhältnismäßig unempfindlich gegenüber solchen Druckschwankungen ist.

30 In dem parallelen Verfahrensschritt V4.2 wird in der zweiten Zufuhrvorrichtung 50 mit Hilfe der zugehörigen Pumpvorrichtung ein (quasi-) stationärer zweiter Fluidstrahl 8 erzeugt und beschleunigt. In Abhängigkeit von der konkreten Aufgabenstellung oder der gewünschten Mischungsqualität kann eine Reduktion der Geschwindigkeit des zweiten Fluids 8 vorteilhaft sein. Alternativ ist auch möglich, dass in dem Verfahrensschritt V4.2 mit Hilfe der
35 zweiten Zufuhrvorrichtung 50 eine Oszillation des zweiten Fluids 8 erzeugt wird. (Hierfür ist die zweite Zufuhrvorrichtung 50 mit einem fluidischen Bauteil 10 ähnlich zu dem der ersten Zufuhrvorrichtung 40 zu versehen.)

Der Verfahrensschritt V5 umfasst die Vereinigung und Interaktion des ersten und zweiten Fluids in der Mischungskammer 20 und entspricht dem Verfahrensschritt P4 aus Figur 10. In dem Verfahrensschritt V5 interagieren die Bestandteile des Fluidgemischs 9 miteinander, was beispielsweise zu Fällungsreaktionen oder Partikelwachstum (sofern während des Mischvorgangs V5 Partikel entstanden sind) führt. Optional kann mindestens ein weiteres Fluid z.B. aus V4.3 mit dem ersten und zweiten Fluid vereinigt werden, beispielsweise um eine chemische Reaktion einzuleiten. In diesem Fall kann das Verfahren unter Verwendung der Vorrichtung 1 aus Figur 7 durchgeführt werden. Nach diesem Verfahrensschritt V5 kann direkt der Verfahrensschritt V9 erfolgen, in dem das erzeugte Fluidgemisch 9 der Vorrichtung 1 entnommen wird.

Zwischen den Verfahrensschritten V5 und V9 kann ein oder mehr Zwischenschritte V6, V7 und/oder V8 vorgesehen sein.

In dem optionalen Verfahrensschritt V6 können die Bestandteile des Fluidgemischs 9 über V5 hinaus miteinander interagieren. Der Verfahrensschritt V6 erfolgt in dem (konkret für diesen Verfahrensschritt vorgesehenen) Interaktionskanal 30, der sich stromabwärts an die Mischungskammer 20 anschließt. In dem Interaktionskanal 30 kann die Mischung verbessert und/oder die Größe der erzeugten Partikel angepasst werden

An den Verfahrensschritt V5 oder V6 kann sich optional der Verfahrensschritt V7 anschließen. Dieser sieht vor, dass das erzeugte Fluidgemisch 9 (mit oder ohne Partikel) mit einem weiteren Medium (Fluid) z.B. aus V4.4 versetzt wird, beispielsweise zwecks Verdünnung. Das Medium kann je nach Natur des erzeugten Fluidgemischs gewählt werden. Dies kann für die Weiterverarbeitung, beispielsweise wenn Nanopartikel erzeugt worden sind, förderlich sein.

An den Verfahrensschritt V5, V6 oder V7 kann sich optional der Verfahrensschritt V8 anschließen, in dem das erzeugte Fluidgemisch nachbearbeitet wird. Die Nachbearbeitung kann beispielsweise das Zählen der Anzahl der erzeugten Partikel, das Messen der Größe der erzeugten Partikel oder die Überprüfung der Qualität der erzeugten Partikel im Fluidgemisch 9 sein. Denkbar sind auch eine Dialyse (Aufbereitung) und/oder ein Filterprozess.

Abschließender Verfahrensschritt ist V9, in dem das erzeugte Fluidgemisch 9 aus der Vorrichtung 1 entnommen wird.

* * * *

Patentansprüche

1. Vorrichtung (1) zum Mischen von Fluiden und zum Erzeugen eines Fluidgemisches
5 umfassend
- eine Mischungskammer (20) mit einer ersten Einlassöffnung (201), über die ein
erstes Fluid (7) in die Mischungskammer (20) einleitbar ist, einer zweiten
Einlassöffnung (2011), über die ein zweites Fluid (8) in die Mischungskammer (20)
einleitbar ist, und einer Auslassöffnung (202), über die das Fluidgemisch (9)
10 umfassend das erste Fluid (7) und das zweite Fluid (8) ableitbar ist,
 - eine erste Zufuhrvorrichtung (40), die fluidisch mit der Mischungskammer (20) über
die erste Einlassöffnung (201) verbunden und ausgebildet ist, das erste Fluid (7)
entlang einer ersten Fluidstromrichtung (F_1) in die Mischungskammer (20) zu
leiten, und
 - 15 - eine zweite Zufuhrvorrichtung (50), die fluidisch mit der Mischungskammer (20)
über die zweite Einlassöffnung (2011) verbunden und ausgebildet ist, das zweite
Fluid (8) entlang einer zweiten Fluidstromrichtung (F_2) in die Mischungskammer
(20) zu leiten,
- wobei die erste Zufuhrvorrichtung (40) ein fluidisches Bauteil (10) umfasst, welches
20 aufweist
- eine Auslassöffnung (102), die mit der ersten Einlassöffnung (201) der
Mischungskammer (20) fluidisch verbunden ist, und
 - mindestens ein Mittel (104a, 104b) zur gezielten Richtungsänderung des ersten
Fluids (7), das das fluidische Bauteil (10) durchströmt, insbesondere zur
25 Ausbildung einer räumlichen Oszillation dieses Fluids (7) an der Auslassöffnung
(102).
2. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das fluidische
Bauteil (10) eine Strömungskammer (100) umfasst, die von dem ersten Fluid (7)
30 durchströmbar ist und die einen Hauptstromkanal (103), der eine Einlassöffnung (101)
des fluidischen Bauteils (10) und dessen Auslassöffnung (102) miteinander verbindet,
und mindestens einen Nebenstromkanal (104a, 104b) als Mittel zur gezielten
Richtungsänderung des ersten Fluids (7) aufweist.
3. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste
Zufuhrvorrichtung (40) und die erste Einlassöffnung (201) der Mischungskammer (20)
einerseits und die zweite Zufuhrvorrichtung (50) und die zweite Einlassöffnung (2011)

der Mischungskammer (20) andererseits derart zueinander angeordnet sind, dass die erste Fluidstromrichtung (F_1) und die zweite Fluidstromrichtung (F_2) einen Winkel (β) von 0° bis 90° , vorzugsweise von 35° bis 55° , insbesondere bevorzugt von 45° einschließen.

- 5
4. Vorrichtung (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Mittel (104a, 104b) zur gezielten Richtungsänderung des ersten Fluids (7) ausgebildet ist, eine Oszillation des ersten Fluids (7) in einer Oszillationsebene herbeizuführen, und dass die zweite Zufuhrvorrichtung (50) und die zweite
- 10 Einlassöffnung (2011) der Mischungskammer (20) derart angeordnet sind, dass die zweite Fluidstromrichtung (F_2) und die Oszillationsebene des ersten Fluids (7) in einer Ebene quer zur ersten Fluidstromrichtung (F_1) einen Winkel (η) einschließen, der 30° bis 150° , vorzugsweise 90° beträgt.
- 15 5. Vorrichtung (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Mischungskammer (20) eine Längsachse (L) aufweist, die sich entlang der ersten Fluidstromrichtung (F_1) erstreckt, und dass sich die Querschnittsfläche der Mischungskammer (20), die quer zur Längsachse (L) definiert ist, entlang der Längsachse (L) ändert.
- 20
6. Vorrichtung (1) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Querschnittsfläche ausgehend von der ersten Einlassöffnung (201) der Mischungskammer (20) in einem einen Einlasskanal (206) bildenden, stromaufwärtigen Endabschnitt der Mischungskammer (20) mit zunehmendem
- 25 Abstand von der ersten Einlassöffnung (201) zunimmt und/oder dass die Querschnittsfläche in einem einen Auslasskanal (207) bildenden, stromabwärtigen Endabschnitt der Mischungskammer (20) mit zunehmendem Abstand von der ersten Einlassöffnung (201) abnimmt.
- 30 7. Vorrichtung (1) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Mittel (104a, 104b) zur gezielten Richtungsänderung des ersten Fluids (7) ausgebildet ist, eine Oszillation des ersten Fluids (7) in einer Oszillationsebene herbeizuführen, und dass die Ausdehnung der Mischungskammer (20) in der Oszillationsebene und quer zur Längsachse (L) ausgehend von der ersten Einlassöffnung (201) der
- 35 Mischungskammer (20) in dem Einlasskanal (206) mit zunehmendem Abstand von der ersten Einlassöffnung (201) zunimmt beziehungsweise dass die Ausdehnung der Mischungskammer (20) in der Oszillationsebene und quer zur Längsachse (L) in dem

Auslasskanal (207) mit zunehmendem Abstand von der ersten Einlassöffnung (201) abnimmt.

- 5 8. Vorrichtung (1) nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Einlassöffnung (2011) der Mischungskammer (20) gegenüber der ersten Einlassöffnung (201) der Mischungskammer (20) entlang der Längsachse (L) der Mischungskammer (20) versetzt und innerhalb des Einlasskanals (206) ausgebildet ist.
- 10 9. Vorrichtung (1) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Abstand zwischen der ersten und der zweiten Einlassöffnung (201, 2011) entlang der Längsachse (L) mindestens der halben Breite (b_{201}) der ersten Einlassöffnung (201) der Mischungskammer (20) entspricht, wobei die Breite (b_{201}) parallel zur Oszillationsebene und quer zur Längsachse (L) definiert ist.
- 15 10. Vorrichtung (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Mischungskammer (20) ein Volumen aufweist, das größer ist als das Volumen des fluidischen Bauteils (10) beziehungsweise der Strömungskammer (100) des fluidischen Bauteils (10).
- 20 11. Vorrichtung (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Zufuhrvorrichtung (50) vorgesehen und ausgebildet ist, das zweite Fluid (8) als (quasi)stationären Strom in die Mischungskammer (20) zu leiten oder dass die zweite Zufuhrvorrichtung (50) ein fluidisches Bauteil (10) umfasst, welches aufweist
- 25 - eine Auslassöffnung (102), die mit der zweiten Einlassöffnung (2011) der Mischungskammer (20) fluidisch verbunden ist, und
- 30 - mindestens ein Mittel (104a, 104b) zur gezielten Richtungsänderung des zweiten Fluids (8), das das fluidische Bauteil (10) durchströmt, insbesondere zur Ausbildung einer räumlichen Oszillation dieses Fluids (8) an der Auslassöffnung (102).
- 35 12. Vorrichtung (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich an die Auslassöffnung (202) der Mischungskammer (20) stromabwärts eine zweite Mischungskammer (20') anschließt, wobei die zweite Mischungskammer (20') eine erste Einlassöffnung (201'), eine zweite Einlassöffnung (2011') und eine Auslassöffnung (202') umfasst, wobei die erste Einlassöffnung (201') der zweiten

Mischungskammer (20') der Auslassöffnung (202) der stromaufwärtigen Mischungskammer (20) entspricht.

13. Vorrichtung (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
5 dass sich an die Auslassöffnung (202, 202') der Mischungskammer (20) beziehungsweise der zweiten Mischungskammer (20') stromabwärts ein Interaktionskanal (30) anschließt, der mindestens eine Krümmung aufweist.
14. Verfahren zum Mischen von Fluiden und zum Erzeugen eines Fluidgemisches, das
10 folgende Schritte umfasst,
- Bereitstellen einer Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 13 und 20, eines ersten Fluids (7) und eines zweiten Fluids (8)
- Einleiten des ersten Fluids (7) mit einem ersten Volumenstrom über die erste Zufuhrvorrichtung (40) in die Mischungskammer (20) und gleichzeitiges Einleiten des
15 zweiten Fluids (8) mit einem zweiten Volumenstrom über die zweite Zufuhrvorrichtung (50) in die Mischungskammer (20)
- Ableiten des Fluidgemischs (9) umfassend das erste Fluid (7) und das zweite Fluid (8) aus der Mischungskammer (20) über deren Auslassöffnung (202).
- 20 15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Volumenstrom größer ist als der zweite Volumenstrom oder dass der erste Volumenstrom und der zweite Volumenstrom gleich groß sind.
16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Fluid
25 (7) und das zweite Fluid (8) jeweils eine Flüssigkeit oder eine Suspension, umfassend eine Flüssigkeit und darin verteilte Partikel, ist.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass das
30 Einleiten des ersten Fluids in die Mischungskammer und das Einleiten des zweiten Fluids in die Mischungskammer jeweils kontinuierlich erfolgt.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich
das erste Fluid (7) und das zweite Fluid (8) hinsichtlich chemischer Zusammensetzung und/oder Konzentration einzelner Bestandteile unterscheiden.

35

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Fluid (7) RNA, insbesondere mRNA, umfasst und dass das zweite Fluid (8) eine Lipidmischung umfasst.
- 5 20. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Zufuhrvorrichtung (40) ausgebildet ist, die gezielte Richtungsänderung des ersten Fluids (7) herbeizuführen, so dass sich das erste Fluid (7) innerhalb der Mischungskammer (20) zeitlich veränderlich bewegt, wobei das erste Fluid (7) eine
- 10 Bewegungskomponente entlang der ersten Fluidstromrichtung (F_1) und eine Bewegungskomponente quer zur ersten Fluidstromrichtung (F_1) aufweist, wobei sich das erste Fluid (7) innerhalb der Mischungskammer (20) insbesondere periodisch zeitlich veränderlich bewegt.