Vorrichtung und Verfahren zum Erzeugen eines Fluidgemischs

Die Erfindung betrifft generell eine Vorrichtung zum Erzeugen eines Fluidgemischs sowie ein entsprechendes Verfahren. Ein Fluidgemisch kann eine Mischung von zwei Fluiden (Flüssigkeiten) sein, aber im Sinne der vorliegenden Anmeldung insbesondere auch eine Dispersion. Eine Dispersion ist ein heterogenes Stoffgemisch von mindestens zwei Stoffen, die sich nicht oder wenig ineinander lösen. Dabei ist eine disperse Phase in einem Dispersionsmedium verteilt. Vorliegend dienen die Vorrichtung und das Verfahren insbesondere der Herstellung einer Suspension, in der eine Flüssigkeit als Dispersionsmedium dient und ein Feststoff als disperse Phase, oder einer Emulsion, bei der sowohl die disperse Phase als auch das Dispersionsmedium flüssig sind.

Die Erfindung befasst sich damit, mindestens drei separate Fluide miteinander zu kombinieren bzw. zu vermischen. Je nach Art der eingesetzten Fluide können bei dem Prozess Partikel entstehen, die beispielsweise in einer Flüssigkeit verteilt sind, so dass insgesamt eine Suspension erzeugt wird. Die Partikel können als Feststoff aufgefasst werden, der die disperse Phase bildet. In vielen Anwendungsfällen sind Partikel von kleinem Durchmesser wünschenswert. Partikel im Größenbereich von Nanometern werden auch als Nanopartikel bezeichnet. Diese Nanopartikel können bei chemischen, biochemischen oder pharmazeutischen Prozessen relevant sein. Die Erfindung betrifft insbesondere eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Erzeugen derartiger Nanopartikel oder von Partikeln im Mikrometerbereich.

Ein Beispiel für Suspensionen von pharmazeutischer Bedeutung sind liposomal formulierte Arzneimittel. Dabei stellen die Partikel- bzw. Vesikelgröße und der Polydispersitätsindex physikalische Schlüsselparameter dar, die den therapeutischen Index liposomal formulierter Arzneimittel beeinflussen. Es ist bekannt, dass kleinere Liposomen eine langsamere Blut-Clearance aufweisen und somit die Bioverfügbarkeit von Medikamenten erhöhen. Daher besteht ein Bedarf, Partikel in der pharmazeutisch erforderlichen Größe mit hoher Qualität, sprich mit geringem Polydispersitätsindex, erzeugen zu können.

Für die Erzeugung von Nanopartikeln sind Vorrichtungen bekannt, die als Mikrofluidik oder mikrofluidische Mischer bezeichnet werden. Mikrofluidische Mischer haben in der Regel sehr kleine Mikrokanäle, die kleine Reynolds-Zahlen erzeugen und damit in der Regel eine laminare Strömung ohne nennenswerte Turbulenzen, was für das Mischen von Fluiden ungünstig ist. Dabei sind die Strömungskanäle im Verhältnis zur Querschnittsabmessung recht lang. Diese Kanäle sind teuer in der Herstellung und können im Betrieb leicht verstopfen. Auch kann eine Anwendung dieser Kanäle in der Massenproduktion schwierig bis unmöglich sein.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Erzeugen eines Fluidgemischs (mit Nanopartikeln mit spezifischer Partikelgröße und definierter Größenverteilung) zu schaffen, die möglichst wenig störanfällig sind. Insbesondere besteht die Aufgabe auch darin, eine Vorrichtung und ein Verfahren zu schaffen, die sowohl im Labormaßstab (d.h. wenige Nanoliter pro Minute) als auch in der Massenproduktion (d.h. mehrere Liter pro Minute) einsetzbar sind.

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

Danach umfasst die Vorrichtung zum Erzeugen eines Fluidgemischs zunächst eine erste Mischungskammer mit einer ersten Einlassöffnung, über die ein erstes Fluid entlang einer ersten Fluidstromrichtung in die erste Mischungskammer einleitbar ist, einer zweiten Einlassöffnung, über die ein zweites Fluid entlang einer zweiten Fluidstromrichtung in die erste Mischungskammer einleitbar ist, und einer Auslassöffnung, über die ein intermediäres Fluidgemisch umfassend das erste Fluid und das zweite Fluid entlang einer Fluidgemischstromrichtung ableitbar ist. (Unmittelbar) stromaufwärts der Auslassöffnung ist ein Auslasskanal ausgebildet, dessen Querschnittsfläche, die quer zur Fluidgemischstromrichtung definiert ist, entlang der Fluidgemischstromrichtung in Richtung der Auslassöffnung abnimmt. Der Auslasskanal bildet einen stromabwärtigen Endabschnitt der ersten Mischungskammer. Durch den Auslasskanal kann die Ausbildung sogenannter Totwassergebiete in der ersten Mischungskammer vermieden werden.

Ferner umfasst die Vorrichtung eine zweite Mischungskammer mit einer ersten Einlassöffnung, über die das intermediäre Fluidgemisch entlang der Fluidgemischstromrichtung in die zweite Mischungskammer einleitbar ist, einer zweiten Einlassöffnung, über die ein drittes Fluid entlang einer dritten Fluidstromrichtung in die

zweite Mischungskammer (stationär) einleitbar ist, und einer Auslassöffnung, über die das Fluidgemisch umfassend das erste Fluid, das zweite Fluid und das dritte Fluid ableitbar ist. Die zweite Mischungskammer ist folglich stromabwärts der ersten Mischungskammer angeordnet, wobei die erste Mischungskammer und die zweite Mischungskammer derart fluidisch verbunden sind, dass das intermediäre Fluidgemisch, das aus der Auslassöffnung der ersten Mischungskammer austritt, in die zweite Mischungskammer über deren erste Einlassöffnung eintritt.

Zum Einleiten der Fluide in die Mischungskammern können Zufuhrvorrichtungen vorgesehen sein. Konkret umfasst die Vorrichtung eine erste Zufuhrvorrichtung, die fluidisch mit der ersten Mischungskammer über die erste Einlassöffnung verbunden und ausgebildet ist, das erste Fluid entlang der ersten Fluidstromrichtung (zeitlich und räumlich veränderlich) in die erste Mischungskammer zu leiten.

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

Das fluidische Bauteil umfasst mindestens ein Mittel zur gezielten Richtungsänderung des ersten Fluids, das das fluidische Bauteil durchströmt. 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. In einer Ausführungsform kann das Mittel zur gezielten Richtungsänderung des ersten Fluids ausgebildet sein, eine Oszillation des ersten Fluids in einer Oszillationsebene herbeizuführen.

Das erste Fluid wird somit nicht als (quasi)stationärer Strom in die erste Mischungskammer geleitet, sondern als oszillierender Fluidstrom, der sich periodisch zeitlich veränderlich bewegt. Neben einer longitudinalen Strömungskomponente entlang der ersten Fluidstromrichtung weist das erste Fluid auch eine laterale Strömungskomponente (quer zur ersten Fluidstromrichtung) auf, die sich zeitlich verändert. Dadurch können in der ersten Mischungskammer Turbulenzen erzeugt werden, so dass in der ersten Mischungskammer

eine hohe Mischungsqualität erreicht werden kann. Demnach tritt das erste Fluid schwingend bzw. dynamisch aus der ersten Zufuhrvorrichtung in die erste Mischungskammer ein. Dadurch erhält das erste Fluid eine sich ständig ändernde Strömungsgeschwindigkeitskomponente quer zu seiner Hauptströmungsrichtung (laterale Strömungskomponente bzw. erste Fluidstromrichtung).

Ferner umfasst die Vorrichtung einen ersten Interaktionskanal, der zwischen der ersten Mischungskammer und der zweiten Mischungskammer angeordnet ist. Der erste Interaktionskanal verbindet die Auslassöffnung der ersten Mischungskammer und die erste Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer miteinander und weist eine Querschnittsfläche quer zur Fluidgemischstromrichtung auf, die zumindest über einen Abschnitt unmittelbar stromabwärts der Auslassöffnung der ersten Mischungskammer konstant ist. Demnach stellt die Auslassöffnung der ersten Mischungskammer bzw. die Einlassöffnung des ersten Interaktionskanals das stromabwärtige Ende des Auslasskanals dar. Da die Querschnittsfläche des Auslasskanals entlang der Fluidgemischstromrichtung in Richtung der Auslassöffnung abnimmt, ist die Querschnittsfläche des Auslasskanals an der Auslassöffnung der ersten Mischungskammer bzw. an der Einlassöffnung des ersten Interaktionskanals am kleinsten. Diese Position zeichnet sich ferner dadurch aus, dass sie das stromaufwärtige Ende eines Abschnitts (des ersten Interaktionskanals) mit konstanter Querschnittsfläche bildet.

Beispielsweise kann der erste Interaktionskanal in dem besagten Abschnitt röhrenförmig gestaltet sein. Der erste Interaktionskanal kann eine Länge aufweisen, die mindestens drei mal so groß ist wie dessen Breite auf Höhe der Auslassöffnung der ersten Mischungskammer. Die Länge ist dabei die Ausdehnung des ersten Interaktionskanals entlang der Fluidgemischstromrichtung von der Auslassöffnung der ersten Mischungskammer bis zur ersten Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer. Die Breite ist dabei die Ausdehnung des ersten Interaktionskanals in der Oszillationsebene quer zur Fluidgemischstromrichtung.

Der erste Interaktionskanal kann der Fortsetzung des Mischvorgangs stromabwärts der Auslassöffnung der ersten Mischungskammer dienen; und wenn bei dem Mischvorgang Partikel erzeugt werden, können diese (durch die Länge des ersten Interaktionskanals kontrolliert) im ersten Interaktionskanal wachsen. Der Abschnitt des ersten Interaktionskanals mit konstanter Querschnittsfläche hat die Wirkung, dass das intermediäre Fluidgemisch zunächst möglichst ungestört bleibt, um eine definierte

Reaktionszeit für das intermediäre Fluidgemisch ohne Ablöseeffekte der Strömung bei gleichzeitiger Vergleichmäßigung der Strömung zu realisieren.

Gemäß einer Ausführungsform erstreckt sich der erste Interaktionskanal zumindest abschnittsweise entlang einer Längsachse, die insbesondere parallel zu der Fluidgemischstromrichtung ist. Auch (alternativ oder zusätzlich) kann der erste Interaktionskanal einen mäanderförmigen Abschnitt aufweisen. Die durch die Mäanderform bedingte(n) Krümmung(en) können bewirken, dass die Ausbildung sogenannter Totwassergebiete unterbunden wird.

Zusätzlich kann der erste Interaktionskanal einen Abschnitt aufweisen, in dem die Querschnittsfläche quer zur Fluidgemischstromrichtung stromabwärts zunimmt.

Der Übergang zwischen dem ersten Interaktionskanal und der zweiten Mischungskammer (also die Position der Auslassöffnung des ersten Interaktionskanals bzw. der ersten Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer) kann durch eine sprunghafte Vergrößerung der Querschnittsfläche (quer zur Fluidgemischstromrichtung) charakterisiert sein. Dabei kann die zweite Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer im Bereich der sprunghaften Vergrößerung der Querschnittsfläche angeordnet sein.

Ferner umfasst die Vorrichtung eine zweite Zufuhrvorrichtung, die fluidisch mit der ersten Mischungskammer über die zweite Einlassöffnung verbunden und ausgebildet ist, das zweite Fluid entlang der zweiten Fluidstromrichtung in die erste Mischungskammer zu leiten, und eine dritte Zufuhrvorrichtung, die fluidisch mit der zweiten Mischungskammer über die zweite Einlassöffnung verbunden und ausgebildet ist, das dritte Fluid entlang der dritten Fluidstromrichtung in die zweite Mischungskammer zu leiten.

Die dritte Fluidstromrichtung, also die Fluidstromrichtung, mit der das dritte Fluid in die zweite Mischungskammer eintritt, und die Fluidgemischstromrichtung, also die Richtung, mit der das intermediäre Fluidgemisch aus erstem und zweitem Fluid in die zweite Mischungskammer eintritt, können einen Winkel kleiner als oder gleich 90° einschließen. Hierdurch wird die Scherrate der Fluide in der zweiten Mischungskammer begrenzt. In dem intermediären Fluidgemisch vorhandene Partikel erfahren damit möglichst geringe mechanische Belastungen beim Zusammentreffen mit dem dritten Fluid. Demnach kann eine Schädigung der Partikel oder eine Agglomeration / Aggregation der Partikel durch Verschmelzen oder Verkleben der Partikel vermieden werden. Dies wirkt sich positiv auf den Polydispersitätsindex der Partikel aus. Um diesen Effekt zu verstärken ist es vorteilhaft,

den Betrag der Geschwindigkeiten des dritten Fluids und des intermediären Fluidgemischs sehr ähnlich zu wählen. Dies kann durch Wahl geeigneter Prozessparameter realisiert werden. Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung und dem weiter unten dargestellten Verfahren können die eingangs erwähnten Partikel in der pharmazeutisch erforderlichen Größe mit hoher Qualität erzeugt werden, sprich mit geringem Polydispersitätsindex.

Vorzugsweise ist der Winkel zwischen der Fluidgemischstromrichtung und der dritten Fluidstromrichtung kleiner als 45°, und liegt insbesondere zwischen 5° und 40°. Je geringer dieser Winkel ist, umso geringer ist die Scherrate der Fluide.

Gemäß einer Ausführungsform ist die dritte Zufuhrvorrichtung vorgesehen und ausgebildet, das dritte Fluid als (quasi)stationären Strom in die zweite Mischungskammer zu leiten. Hierdurch wird ebenfalls die Scherrate der Fluide in der zweiten Mischungskammer begrenzt. Auch die zweite Zufuhrvorrichtung kann vorgesehen und ausgebildet sein, das zweite Fluid als (quasi)stationären Strom in die erste Mischungskammer zu leiten.

Die dritte Zufuhrvorrichtung weist einen Zufuhrkanal auf, der sich entlang der dritten Fluidstromrichtung erstreckt und in die zweite Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer mündet. Dabei weist der Zufuhrkanal insbesondere eine geradlinige Form auf. Größtenteils gibt der Zufuhrkanal bzw. dessen Form dem dritten Fluid die Fluidstromrichtung beim Eintritt in die zweite Mischungskammer vor.

Das Mittel zur gezielten Richtungsänderung des ersten Fluids ist ausgebildet, eine Oszillation des ersten Fluids in einer Oszillationsebene herbeizuführen. Der Zufuhrkanal erstreckt sich in einer Ebene, die parallel zu der Oszillationsebene ist bzw. der Oszillationsebene entspricht. Hierdurch bewegen sich das intermediäre Fluidgemisch und das dritte Fluid in einer gemeinsamen Ebene.

Wie bereits erwähnt, umfasst das fluidische Bauteil mindestens ein Mittel zur gezielten Richtungsänderung des ersten Fluids, das das fluidische Bauteil durchströmt. Diese Ausgestaltung der ersten Zufuhrvorrichtung führt die gezielte Richtungsänderung des ersten Fluids herbei, so dass sich das erste Fluid innerhalb der ersten Mischungskammer zeitlich veränderlich bewegt, wobei das erste Fluid eine Bewegungskomponente entlang der ersten Fluidstromrichtung und eine Bewegungskomponente quer zur ersten Fluidstromrichtung aufweist.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass das fluidische Bauteil eine Strömungskammer umfasst, die neben der bereits erwähnten Auslassöffnung auch eine Einlassöffnung aufweist und die von dem ersten Fluid durchströmbar ist, das durch die Einlassöffnung in die Strömungskammer eintritt und durch die Auslassöffnung aus der 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, und mindestens einen Nebenstromkanal als Mittel zur gezielten Richtungsänderung des ersten Fluids auf. Auf bewegliche Komponenten zur Erzeugung der Oszillation kann in dem fluidischen Bauteil 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.

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 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.

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 Ein- und Auslassöffnung des fluidischen Bauteils (aber auch der ersten Mischungskammer und der zweiten Mischungskammer) 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 ersten Mischungskammer einerseits und die zweite Zufuhrvorrichtung

und die zweite Einlassöffnung der ersten Mischungskammer andererseits derart zueinander angeordnet, dass die erste Fluidstromrichtung und die zweite Fluidstromrichtung in einer Ebene parallel zur ersten Fluidstromrichtung einen Winkel von 45° bis 90° einschließen. 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 ersten 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°.

Hinsichtlich der zweiten Zufuhrvorrichtung kann vorgesehen sein, dass diese vorgesehen und ausgebildet ist, das zweite Fluid als (quasi)stationären Strom in die erste Mischungskammer zu leiten. So kann die zweite Zufuhrvorrichtung beispielsweise als Rohr ausgebildet sein, dessen Längsachse (beziehungsweise dessen stromabwärtiger länglicher Endabschnitt) die zweite Fluidstromrichtung des zweiten Fluids vorgibt. Mittels einer Pumpvorrichtung kann das zweite Fluid durch das Rohr und die zweite Einlassöffnung in die erste 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 ersten Mischungskammer treffen somit ein erstes oszillierendes Fluid und eine 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.

Die erste Mischungskammer kann eine Längsachse aufweisen, die so definiert ist, dass sie sich entlang der ersten Fluidstromrichtung bzw. der Fluidgemischstromrichtung erstreckt. Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Querschnittsfläche der ersten Mischungskammer quer zur Längsachse entlang der Längsachse in mindestens einem Abschnitt zunimmt. Beispielsweise kann die Querschnittsfläche ausgehend von der ersten Einlassöffnung der ersten Mischungskammer in einem stromaufwärtigen Endabschnitt der ersten Mischungskammer mit zunehmendem Abstand von der ersten Einlassöffnung zunehmen Der stromaufwärtige Endabschnitt kann so einen (sich stromabwärts erweiternden) Einlasskanal der ersten Mischungskammer bilden. Dabei kann sich der Auslasskanal unmittelbar an den Einlasskanal anschließen. Alternativ kann zwischen dem Einlasskanal und dem Auslasskanal ein Zwischenabschnitt der ersten Mischungskammer vorgesehen sein, in dem die Querschnittsfläche der ersten 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 ersten Mischungskammer in der Oszillationsebene und quer zur Längsachse ausgehend von der ersten Einlassöffnung der ersten Mischungskammer in dem Einlasskanal mit zunehmendem Abstand von der ersten Einlassöffnung zunehmen beziehungsweise kann die Ausdehnung der ersten Mischungskammer in der Oszillationsebene und quer zur Längsachse in dem Auslasskanal mit zunehmendem Abstand von der ersten Einlassöffnung abnehmen. Insbesondere kann diese Ausdehnung der ersten Mischungskammer auch (unmittelbar) stromabwärts der zweiten Einlassöffnung der ersten Mischungskammer in dem Einlasskanal zunehmen. In dem Einlasskanal schließen die Begrenzungswände der ersten Mischungskammer (in der 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 diesen beiden Werten annimmt. Somit kann vermieden werden, dass die Oszillation des ersten Fluids in der ersten 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 Maximalwert für den Oszillationswinkel ist 75°. Auch in dem Auslasskanal schließen die Begrenzungswände der ersten Mischungskammer (in der Oszillationsebene betrachtet)

einen Winkel ein, der vorzugsweise kleiner ist als der Winkel zwischen den Begrenzungswänden der ersten Mischungskammer im Einlasskanal. Besonders bevorzugt ist der Winkel des Auslasskanals bis zu 15° kleiner als der Winkel des Einlasskanals. Zusätzlich kann auch die Ausdehnung der ersten Mischungskammer quer zur Oszillationsebene in dem Einlasskanal mit zunehmendem Abstand von der ersten Einlassöffnung zunehmen beziehungsweise kann die Ausdehnung der ersten Mischungskammer quer zur Oszillationsebene in dem Auslasskanal mit zunehmendem Abstand von der ersten Einlassöffnung abnehmen.

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

Gemäß einer Ausführungsform ist die zweite Einlassöffnung der ersten Mischungskammer gegenüber der ersten Einlassöffnung der ersten Mischungskammer entlang der Längsachse der ersten Mischungskammer stromabwärts versetzt. Vorzugsweise ist die zweite Einlassöffnung dabei innerhalb 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 ersten Mischungskammer entsprechen, wobei die Breite parallel zur Oszillationsebene des ersten Fluids und quer zur Längsachse der ersten Mischungskammer definiert ist.

Die erste Einlassöffnung und die Auslassöffnung der ersten Mischungskammer können auf einander gegenüberliegenden Seiten der ersten Mischungskammer ausgebildet sein. So kann die erste Einlassöffnung das stromaufwärtige Ende der ersten Mischungskammer bilden, und die Auslassöffnung das stromabwärtige Ende. Insbesondere können die erste Einlassöffnung und die Auslassöffnung auf der Längsachse liegen. Die erste Einlassöffnung und die Auslassöffnung können dort definiert sein, wo die Querschnittsfläche der ersten Mischungskammer quer zu ihrer Längsachse, die das eintretende erste Fluid bzw. das austretende intermediäre Fluidgemisch passiert, jeweils am kleinsten ist.

Ferner ist denkbar, dass die erste 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 Längsachse der ersten Mischungskammer und in der Oszillationsebene des ersten Fluids) als auch die Länge (Ausdehnung entlang der Längsachse) der ersten 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 Volumenverhältnis kann vermieden werden, dass in der ersten Mischungskammer ein unerwünscht hoher Druck aufgebaut wird. Alternativ kann das Volumen der ersten Mischungskammer kleiner sein als das Volumen der Strömungskammer des fluidischen Bauteils. Hierbei können die Breite und/oder die Länge der ersten Mischungskammer kleiner sein als die Breite beziehungsweise Länge der Strömungskammer des fluidischen Bauteils.

Analog zu dem ersten Interaktionskanal kann sich an die Auslassöffnung der zweiten Mischungskammer stromabwärts ein zweiter Interaktionskanal anschließen.

Die zweite Mischungskammer und/oder der zweite Interaktionskanal erstrecken sich jeweils entlang einer Achse, die der Stromrichtung des erzeugten Fluidgemischs entspricht. Diese Achse schließt jeweils einen Winkel mit der dritten Fluidstromrichtung und der Fluidgemischstromrichtung (des intermediären Fluidgemischs) ein. Gemäß einer Ausführungsform sind (in der Oszillationsebene) der Winkel zwischen der Achse und der dritten Fluidstromrichtung und der Winkel zwischen der Achse und der Fluidgemischstromrichtung unterschiedlich groß. Insbesondere kann der Winkel zwischen der Achse und der dritten Fluidstromrichtung größer sein als der Winkel zwischen der Achse und der Fluidgemischstromrichtung. Beide Winkel sind vorzugsweise kleiner als 180°. Beispielsweise kann der Winkel zwischen der Achse und der dritten Fluidstromrichtung 170° bis 179° betragen. Beispielsweise kann der Winkel zwischen der Achse und der Fluidgemischstromrichtung 160° bis 169° betragen. Der Winkel zwischen der Achse und der dritten Fluidstromrichtung, der Winkel zwischen der Achse und der Fluidgemischstromrichtung und ein weiterer Winkel zwischen der Fluidgemischstromrichtung und der dritten Fluidstromrichtung betragen in der Summe 360°.

Bei der Verwendung der Vorrichtung, beispielsweise in einem weiter unten beschriebenen Verfahren zum Erzeugen eines Fluidgemischs, können die Volumenströme des ersten, zweiten und dritten Fluids derart gewählt werden, dass der resultierende Geschwindigkeitsvektor des intermediären Fluidgemischs an der ersten Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer und der resultierende Geschwindigkeitsvektor des dritten Fluids an der zweiten Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer in der Summe dergestalt sind, dass der resultierende Geschwindigkeitsvektor des Fluidgemischs parallel

zu der Achse der zweiten Mischungskammer bzw. des zweiten Interaktionskanals ist. So kann der Winkel zwischen dem Geschwindigkeitsvektor des Fluidgemischs und der dritten Fluidstromrichtung (dem Geschwindigkeitsvektor des dritten Fluids) 170° bis 179° betragen. Ferner kann der Winkel zwischen dem Geschwindigkeitsvektor des Fluidgemischs und der Fluidgemischstromrichtung (dem Geschwindigkeitsvektor des intermediären Fluidgemischs) 160° bis 169° betragen.

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

Die hier vorgestellte Vorrichtung zum Erzeugen eines Fluidgemischs wurde bisher mit einer ersten Mischungskammer und einer zweiten Mischungskammer beschrieben. Es ist jedoch denkbar, dass die Vorrichtung mindestens eine weitere Mischungskammer mit entsprechender Zufuhrvorrichtung umfasst. Dabei kann die mindestens eine weitere Mischungskammer dem beschriebenen Prinzip folgend angeordnet sein, so dass die erste Einlassöffnung der n-ten Mischungskammer mit der Auslassöffnung der (n-1)-ten Mischungskammer fluidisch verbunden ist. Daraus ergibt sich eine kaskadenartige Anordnung der n Mischungskammern.

Die eingangs erläuterte Aufgabe wird ebenfalls durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 9 gelöst.

Danach umfasst die Vorrichtung zum Erzeugen eines Fluidgemischs zunächst eine erste Mischungskammer mit einer ersten Einlassöffnung, über die ein erstes Fluid entlang einer ersten Fluidstromrichtung in die erste Mischungskammer einleitbar ist, einer zweiten Einlassöffnung, über die ein zweites Fluid entlang einer zweiten Fluidstromrichtung in die erste Mischungskammer einleitbar ist, und einer Auslassöffnung, über die ein intermediäres Fluidgemisch umfassend das erste Fluid und das zweite Fluid entlang einer Fluidgemischstromrichtung ableitbar ist. Die Vorrichtung umfasst ferner eine zweite Mischungskammer mit einer ersten Einlassöffnung, über die das intermediäre Fluidgemisch entlang der Fluidgemischstromrichtung in die zweite Mischungskammer einleitbar ist, einer zweiten Einlassöffnung, über die ein drittes Fluid entlang einer dritten Fluidstromrichtung in die zweite Mischungskammer einleitbar ist, und einer Auslassöffnung, über die das Fluidgemisch umfassend das erste Fluid, das zweite Fluid

und das dritte Fluid ableitbar ist. Die zweite Mischungskammer ist folglich stromabwärts der ersten Mischungskammer angeordnet, wobei die erste Mischungskammer und die zweite Mischungskammer derart fluidisch verbunden sind, dass das intermediäre Fluidgemisch, das aus der Auslassöffnung der ersten Mischungskammer austritt, (unmittelbar) in die zweite Mischungskammer über deren erste Einlassöffnung eintritt.

Zum Einleiten der Fluide in die Mischungskammern können Zufuhrvorrichtungen vorgesehen sein. Konkret umfasst auch diese Vorrichtung eine erste Zufuhrvorrichtung, die fluidisch mit der ersten Mischungskammer über die erste Einlassöffnung verbunden und ausgebildet ist, das erste Fluid entlang der ersten Fluidstromrichtung in die erste Mischungskammer zu leiten.

Ferner können eine zweite Zufuhrvorrichtung, die fluidisch mit der ersten Mischungskammer über die zweite Einlassöffnung verbunden und ausgebildet ist, das zweite Fluid entlang der zweiten Fluidstromrichtung in die erste Mischungskammer zu leiten, und eine dritte Zufuhrvorrichtung, die fluidisch mit der zweiten Mischungskammer über die zweite Einlassöffnung verbunden und ausgebildet ist, das dritte Fluid entlang der dritten Fluidstromrichtung in die zweite Mischungskammer zu leiten, vorgesehen sein.

Die erste Zufuhrvorrichtung umfasst ein fluidisches Bauteil. Das fluidische Bauteil umfasst eine Auslassöffnung, die mit der ersten Einlassöffnung der ersten Mischungskammer fluidisch verbunden ist, und mindestens ein Mittel zur gezielten Richtungsänderung des ersten Fluids, das das fluidische Bauteil durchströmt, insbesondere zur Ausbildung einer räumlichen Oszillation des ersten Fluids an der Auslassöffnung.

Die Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass die erste Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer eine Querschnittsfläche quer zur Fluidgemischtromrichtung aufweist, die kleiner ist als die Querschnittsfläche der zweiten Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer. Die Querschnittsfläche der zweiten Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer ist quer zur dritten Fluidstromrichtung definiert. Alternativ oder zusätzlich zeichnet sich die Vorrichtung dadurch aus, dass die Summe der Querschnittsfläche der ersten Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer und der Querschnittsfläche der zweiten Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer ähnlich groß (wenn die dritte Fluidstromrichtung und die Fluidgemischstromrichtung in einer Ebene liegen) oder (wenn die dritte Fluidstromrichtung und die Fluidgemischstromrichtung nicht in einer Ebene liegen) größer ist als die Querschnittsfläche der Auslassöffnung der zweiten Mischungskammer. Demzufolge ist die mittlere Geschwindigkeit des intermediären

Fluidgemischs an der ersten Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer größer als die mittlere Geschwindigkeit des dritten Fluids an der zweiten Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer. Daraus resultiert der fluidmechanische Effekt, dass der Impuls des intermediären Fluidgemischs beim Eintritt in die zweite Mischungskammer größer ist als der Impuls des dritten Fluidstroms beim Eintritt in die zweite Mischungskammer. Dieser Impulsunterschied ermöglicht, dass die Fluidgemischstromrichtung an der ersten Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer und die dritte Fluidstromrichtung an der zweiten Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer einen relativ großen Winkel, von beispielsweis 90°, einschließen können, ohne dass es zu einer nennenswerten Scherung des intermediären Fluidgemisches in der zweiten Mischungskammer kommt. Durch die Möglichkeit, für den genannten Winkel 90° zu wählen, können die zweite Mischungskammer im Bereich der zweiten Einlassöffnung sowie die dritte Zufuhrvorrichtung konstruktiv einfach gestaltet werden.

Mögliche Ausgestaltungen und Ausführungsformen des fluidischen Bauteils sind bereits weiter oben beschrieben. So kann auch hier wieder das Mittel zur gezielten Richtungsänderung des ersten Fluids ausgebildet sein, eine Oszillation des ersten Fluids in einer Oszillationsebene herbeizuführen.

Gemäß einer Ausführungsform hat die zweite Mischungskammer eine Ausdehnung parallel zu der Oszillationsebene und quer zur Fluidgemischstromrichtung, die konstant ist. Diese Ausdehnung kann als Breite der zweiten Mischungskammer bezeichnet werden. Dabei kann die Breite der zweiten Mischungskammer kann über ihre gesamte Länge (Ausdehnung entlang der Fluidgemischstromrichtung) betrachtet konstant sein.

Denkbar ist auch, dass die zweite Mischungskammer eine Ausdehnung parallel zu der Oszillationsebene und quer zur Fluidgemischstromrichtung hat, die gleich groß ist wie die Ausdehnung parallel zu der Oszillationsebene und quer zur Fluidgemischstromrichtung der Auslassöffnung der ersten Mischungskammer und/oder der ersten Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer. Ferner können die erste Einlassöffnung und die Auslassöffnung der zweiten Mischungskammer die gleiche Breite aufweisen, die beispielsweise der Breite der zweiten Mischungskammer entspricht. Auch hierdurch kann die konstruktive Ausgestaltung der zweiten Mischungskammer vereinfacht werden.

Gemäß einer Ausführungsform hat die zweite Mischungskammer eine Ausdehnung quer zu der Oszillationsebene, die größer ist als die Ausdehnung der ersten Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer quer zu der Oszillationsebene. Die Ausdehnung quer zur

Oszillationsebene kann als Tiefe bezeichnet werden. Demnach kann die Tiefe der zweiten Mischungskammer größer als die Tiefe der ersten Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer sein. Die Tiefe der zweiten Mischungskammer kann über ihre gesamte Länge (Ausdehnung entlang der Fluidgemischstromrichtung) betrachtet konstant sein. Insbesondere kann die Querschnittsfläche (quer zur Fluidgemischstromrichtung) der ersten Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer geringer sein als die Querschnittsfläche (quer zur Fluidgemischstromrichtung) der zweiten Mischungskammer. Die Querschnittsänderung kann insbesondere sprunghaft sein und beispielsweise durch eine die Tiefe sprunghaft ändernde Stufenform realisiert sein. Eine derartige Stufenform kann zwar zur Bildung von Rezirkulationsgebieten (auch Totwassergebiete genannt) in der zweiten Mischungskammer unmittelbar stromabwärts der ersten Einlassöffnung führen und damit die Funktion der zweiten Mischungskammer beeinträchtigen. Jedoch kann die zweite Einlassöffnung unmittelbar stromabwärts der ersten Einlassöffnung, also in einem Bereich potentieller Rezirkulationsgebiete, angeordnet sein, so dass das dritte Fluid die potentiellen Rezirkulationsgebiete durchströmt. Hierdurch kann zwar die Aufenthaltszeit des dritten Fluids in der zweiten Mischungskammer unbestimmt sein, nicht aber die des intermediären Fluidgemisches, so dass letztlich die Funktion der zweiten Mischungskammer nicht beeinträchtigt wird.

Gemäß einer Ausführungsform ist zwischen der ersten Mischungskammer und der zweiten Mischungskammer ein erster Interaktionskanal angeordnet, der die Auslassöffnung der ersten Mischungskammer und die erste Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer miteinander verbindet. Der erste Interaktionskanal weist eine Querschnittsfläche quer zur Fluidgemischstromrichtung auf, die zumindest abschnittsweise konstant ist. Insbesondere kann die Querschnittsfläche des ersten Interaktionskanals kleiner sein als die Querschnittsfläche der zweiten Mischungskammer. Dabei kann die Tiefe (Ausdehnung quer zu der Oszillationsebene) des ersten Interaktionskanals geringer sein als die Tiefe der zweiten Mischungskammer, während deren Breiten (Ausdehnung parallel zu der Oszillationsebene und quer zur Fluidgemischstromrichtung) gleich groß sein können. Insbesondere kann die Tiefe der zweiten Mischungskammer (konstant und) doppelt so groß sein wie die Tiefe des ersten Interaktionskanals (in einem Abschnitt unmittelbar stromaufwärts der zweiten Mischungskammer). Das Verhältnis der Tiefen (erster Interaktionskanal / zweite Mischungskammer) zueinander kann sich dabei nach dem Verhältnis des Volumenstroms des intermediären Fluidgemisches zu der Summe der Volumenströme innerhalb der zweiten Mischungskammer richten. Vorzugsweise entspricht das Verhältnis der Tiefen (erster Interaktionskanal / zweite Mischungskammer) dem

Verhältnis der Volumenströme (intermediäres Fluidgemisch / (intermediäres Fluidgemisch + drittes Fluid)).

Gemäß einer Ausführungsform ist die Tiefe (Ausdehnung quer zu der Oszillationsebene) des ersten Interaktionskanals geringer als die Breite (Ausdehnung parallel zu der Oszillationsebene und quer zur Fluidgemischstromrichtung) des ersten Interaktionskanals. Das Verhältnis von Breite zu Tiefe kann dabei in einem Bereich zwischen 1,5 und 100 liegen, vorzugsweise zwischen 2 und 10.

Der erste Interaktionskanal kann eine Länge aufweisen, die mindestens drei mal so groß ist wie dessen Breite auf Höhe der Auslassöffnung der ersten Mischungskammer. Die Länge ist dabei die Ausdehnung des ersten Interaktionskanals entlang der Fluidgemischstromrichtung von der Auslassöffnung der ersten Mischungskammer bis zur ersten Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer. Die Breite ist dabei die Ausdehnung des ersten Interaktionskanals in der Oszillationsebene quer zur Fluidgemischstromrichtung

Der Übergang zwischen dem ersten Interaktionskanal und der zweiten Mischungskammer (also die Position der Auslassöffnung des ersten Interaktionskanals bzw. der ersten Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer) kann durch eine sprunghafte Änderung der Querschnittsfläche (quer zur Fluidgemischstromrichtung) gekennzeichnet sein. Beispielsweise kann sich an dem Übergang sprunghaft die Tiefe und/oder Breite ändern.

Der Übergang zwischen der ersten Mischungskammer und dem ersten Interaktionskanal (also die Position der Auslassöffnung der ersten Mischungskammer bzw. der Einlassöffnung des ersten Interaktionskanals) kann dadurch definiert sein, dass unmittelbar stromaufwärts ein Abschnitt (Auslasskanal der ersten Mischungskammer) angeordnet ist, dessen Querschnittsfläche entlang der Fluidgemischstromrichtung in Richtung der Auslassöffnung abnimmt, wobei die Querschnittsfläche an der Auslassöffnung der ersten Mischungskammer bzw. an der Einlassöffnung des ersten Interaktionskanals am kleinsten ist.

Um die Konstruktion möglichst einfach zu gestalten, kann sich der erste Interaktionskanal entlang einer Längsachse erstrecken, die insbesondere parallel zu der ersten Fluidstromrichtung bzw. der Fluidgemischstromrichtung ist. Jedoch ist auch denkbar, dass der erste Interaktionskanal einen mäanderförmigen Abschnitt umfasst.

Denkbar ist ferner, dass sich an die Auslassöffnung der zweiten Mischungskammer ein zweiter Interaktionskanal anschließt.

Ausgestaltungen der ersten Zufuhrvorrichtung, der zweiten Zufuhrvorrichtung und der ersten Mischungskammer sind bereits weiter oben im Zusammenhang mit anderen Ausführungsformen beschrieben und auch auf die Ausführungsformen, in denen die erste Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer eine kleinere Querschnittsfläche als die zweite Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer aufweist, übertragbar.

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 Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Erzeugen eines Fluidgemischs. Das Verfahren wird unter Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ausgeführt. Zur Durchführung des Verfahrens werden zunächst eine erfindungsgemäße Vorrichtung gemäß einer der hier beschriebenen Ausführungsformen, ein erstes Fluid, ein zweites Fluid und ein drittes Fluid bereitgestellt. Das erste Fluid wird mit einem ersten Volumenstrom über die erste Zufuhrvorrichtung in die erste Mischungskammer eingeleitet. Gleichzeitig werden das zweite Fluid mit einem zweiten Volumenstrom über die zweite Zufuhrvorrichtung in die erste Mischungskammer und das dritte Fluid mit einem dritten Volumenstrom über die dritte Zufuhrvorrichtung in die zweite Mischungskammer eingeleitet.

In der ersten Mischungskammer wird dem ersten und zweiten Fluid Gelegenheit gegeben, sich zu vermischen und dabei ein intermediäres Fluidgemisch (mit Partikeln) zu bilden. Die Bildung von (Nano)Partikeln kann dabei durch eine Änderung der Löslichkeit von in dem zweiten Fluid gelösten Stoffen durch eine Kontaktierung/Verdünnung des zweiten Fluids mit dem ersten Fluid erreicht werden. Durch Nanopräzipitation werden Nanopartikel ausgefällt. Durch die Ausgestaltung der ersten Zufuhrvorrichtung, die eine räumliche Oszillation des ersten Fluids bewirkt, schwanken die Geschwindigkeiten bzw.

Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen erstem und zweitem Fluid in der ersten Mischungskammer stark, so dass eine sogenannte turbulente Mischung stattfindet. Die Verweilzeit der beiden Fluide in der ersten Mischungskammer kann dabei je nach Anwendungsfall unterschiedlich ausfallen.

In der zweiten Mischungskammer werden das in der ersten Mischungskammer erzeugte intermediäre Fluidgemisch und das dritte Fluid zusammengeführt. Durch die Ausgestaltung der zweiten Mischungskammer im Bereich ihrer ersten und zweiten Einlassöffnung sind die Scherraten in der zweiten Mischungskammer gering, so dass insbesondere keine turbulente Mischung (vielmehr eine quasilaminare Mischung) in der zweiten Mischungskammer stattfindet. Hierdurch kann die mechanische Beanspruchung der Partikel möglichst gering gehalten werden. Der Mischvorgang in der zweiten Mischungskammer dient dazu, Partikel des intermediären Fluidgemischs zu stabilisieren.

Die Größe sowie die Größenverteilung der Partikel kann durch die Volumenströme des ersten und des zweiten Fluids, die Schwingungsfrequenz des ersten oszillierenden Fluids und durch die Geometrie der ersten und der zweiten Mischungskammer beeinflusst werden. Insbesondere die Breite (Ausdehnung in der Oszillationsebene und quer zur ersten Fluidstromrichtung / Fluidgemischstromrichtung) spielt eine Rolle. Die Schwingungsfrequenz des oszillierenden ersten Fluids kann mindestens 100 Hz betragen, typischerweise über 2000 Hz.

Anschließend wird das Fluidgemisch umfassend das erste Fluid, das zweite Fluid und das dritte Fluid aus der zweiten Mischungskammer über deren Auslassöffnung abgeleitet.

Gemäß einer Ausführungsform werden die Volumenströme derart eingestellt, dass der erste Volumenstrom größer ist als der zweite Volumenstrom oder dass der erste Volumenstrom und der zweite Volumenstrom gleich groß sind. Was die zweite Mischungskammer betrifft, kann der dritte Volumenstrom derart eingestellt werden, dass der Volumenstrom, mit dem das intermediäre Fluidgemisch in die zweite Mischungskammer eintritt, größer ist als der dritte Volumenstrom oder gleich groß ist wie der dritte Volumenstrom. Je nach Anwendung kann der dritte Volumenstrom jedoch auch größer sein als der Volumenstrom, mit dem das intermediäre Fluidgemisch in die zweite Mischungskammer eintritt. Der Volumenstrom des intermediären Fluidgemischs ergibt sich aus den Volumenströmen des ersten und des zweiten Fluids. Denkbar ist, dass der erste Volumenstrom, der zweite Volumenstrom und der dritte Volumenstrom über die Dauer des Mischvorgangs jeweils konstant sind.

Der Volumenstrom des ersten, zweiten und dritten Fluids kann durch Pumpvorrichtungen gesteuert werden, die das erste, zweite und dritte Fluid über die erste, zweite bzw. dritte Zufuhrvorrichtung in die erste bzw. zweite Mischungskammer pumpen. Der Druck der eingeleiteten Fluide kann je nach Anwendung im Bereich einiger Millibar (mbar) bis hin zu mehreren hundert bar (gegenüber dem Umgebungsdruck) liegen. Für Anwendungen in der Massenproduktion von (Lipid)Nanopartikeln kann der Eingangsdruck zwischen 1 und 50 bar, vorzugsweise zwischen 1 und 25 bar, besonders bevorzugt zwischen 1 und 10 bar liegen. Für die Produktion von Emulsionen kann der Druck mehrere hundert bar betragen. Bevorzugt wird ein Druckbereich zwischen 2 und 500 bar. Besonders bevorzugt ist ein Druckbereich zwischen 10 und 250 bar.

Zur Anwendung des Verfahrens im industriellen Maßstab kann das Einleiten des ersten Fluids in die erste Mischungskammer, das Einleiten des zweiten Fluids in die erste Mischungskammer und das Einleiten des dritten Fluids in die zweite Mischungskammer jeweils kontinuierlich erfolgen.

Gemäß einer Ausführungsform wird das Verfahren mit einer Flüssigkeit oder einer Suspension als erstes Fluid durchgeführt. Auch das zweite Fluid ist entweder eine Flüssigkeit oder eine Suspension. Im Falle von Suspensionen können sich die beiden Fluide beispielsweise (ausschließlich) hinsichtlich der Partikelgröße unterscheiden. Durch die in der ersten 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 genommen werden.

Generell können das erste Fluid und das zweite Fluid hinsichtlich chemischer Zusammensetzung und/oder Konzentration einzelner Bestandteile unterschiedlich oder identisch sein. Beispielsweise kann das erste Fluid eine wässrige Pufferlösung umfassen und das zweite Fluid ein Polymer, einen pharmazeutischen Wirkstoff, ein Polymer-Wirkstoff-Konjugat oder ein Lipid, jeweils in einem Lösungsmittel. Bei der wässrigen Pufferlösung (erstes Fluid) kann es sich zum Beispiel um Acetat-, Citrat-, Phosphat- oder TRIS-Puffer handeln. Die Pufferlösung kann eine oder mehrere Nukleinsäuren (DNA, RNA oder mRNA) enthalten. Die Pufferlösung kann einen pH-Wert von 3 bis 7, vorzugsweise 3 bis 6 aufweisen. Die wässrige Lösung (erstes Fluid) kann weiter oberflächenaktive Substanzen wie beispielsweise Polaxamere, Polyvinylalkohole enthalten. Das

Lösungsmittel des zweiten Fluids kann wassermischbar sein (beispielsweise Ethanol, Acetonitril, Aceton) oder wasserunlöslich (beispielsweise Ethylacetat, Chloroform).

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

Das erste Fluid und das dritte Fluid können hinsichtlich chemischer Zusammensetzung und/oder Konzentration einzelner Bestandteile identisch oder unterschiedlich sein.

Je nach Anwendung kann das dritte Fluid eine bestimmte Funktion haben. So kann das dritte Fluid zur Einstellung des pH-Werts, einer Partikeldichte oder des Lösungsmittelgehalts im intermediären Fluidgemisch dienen und/oder eine oberflächenaktive Substanz umfassen.

Generell bestimmt die chemische Zusammensetzung der eingesetzten Fluide auch die Partikelgröße der Partikel in dem erzeugten Fluidgemisch. An der ersten Einlassöffnung der ersten Mischungskammer hat das oszillierende erste Fluid eine Reynolds-Zahl Re von mehr als 500, vorzugsweise von mehr als 1000, besonders bevorzugt von mehr als 2000. An der ersten Einlassöffnung der zweiten Mischungskammer hat das intermediäre Fluidgemisch eine Reynolds-Zahl Re von mehr als 50, vorzugsweise von mehr als 100, besonders bevorzugt von mehr als 200. Die Reynolds-Zahl Re bestimmt sich dabei gemäß $Re = (u_i \times h_i)/v$, wobei u_i die Strömungsgeschwindigkeit an der jeweiligen Einlassöffnung ist, h_i die Höhe bzw. Tiefe der jeweiligen Einlassöffnung und v die kinematische Viskosität des Fluid(gemisch)s.

Das Verfahren kann eingesetzt werden, um Lipidnanopartikel, Polymernanopartikel oder Liposome herzustellen.

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

Es zeigen:

Fig. 1 einen Querschnitt durch eine Vorrichtung zum Erzeugen eines Fluidgemischs gemäß einer Ausführungsform;

Fig. 2 einen Querschnitt durch einen Ausschnitt einer Vorrichtung zum Erzeugen eines Fluidgemischs gemäß einer weiteren Ausführungsform, wobei der Ausschnitt insbesondere eine erste Mischungskammer und eine erste Zufuhrvorrichtung zeigt;

Fig. 3-5 eine Schnittdarstellung der Vorrichtung aus Figur 2 entlang der Linien A‘-A“, B‘-B“ beziehungsweise C‘-C“;

Fig. 6 einen Querschnitt durch eine Vorrichtung zum Erzeugen eines Fluidgemischs gemäß einer weiteren Ausführungsform;

Fig. 7 Auslenkung des oszillierenden ersten Fluids in Abhängigkeit von der Zeit bei Eintritt in die erste Mischungskammer der Vorrichtung Erzeugen eines Fluidgemischs;

Fig. 8 einen Querschnitt durch eine Vorrichtung zum Erzeugen eines Fluidgemischs gemäß einer weiteren Ausführungsform;

Fig. 9 einen Querschnitt durch eine Vorrichtung zum Erzeugen eines Fluidgemischs gemäß einer weiteren Ausführungsform;

Fig. 10 einen Querschnitt durch eine Vorrichtung zum Erzeugen eines Fluidgemischs gemäß einer weiteren Ausführungsform;

Fig. 11 eine Schnittdarstellung der Vorrichtung aus Figur 10 entlang der Linien D‘-D“;

Fig. 12 eine schematische Darstellung einer zweiten Mischungskammer gemäß einer weiteren Ausführungsform; und

Fig. 13 eine schematische Darstellung eines Verfahrens zum Erzeugen eines Fluidgemischs.

Die in den Figuren gezeigten Vorrichtungen und ihre Komponenten sind nicht maßstabsgetreu dargestellt. Es sind auch andere Kombinationen der dargestellten Ausführungsvarianten möglich, als die in den folgenden Figuren dargestellt sind.

In Figur 1 ist schematisch eine Vorrichtung 1 zum Erzeugen eines Fluidgemischs gemäß einer Ausführungsform der Erfindung dargestellt.

Die Vorrichtung 1 umfasst eine erste Mischungskammer 20, einen ersten Interaktionskanal 30, eine zweite Mischungskammer 40, einen zweiten Interaktionskanal 50, eine erste Zufuhrvorrichtung 60, eine zweite Zufuhrvorrichtung 50 und eine dritte Zufuhrvorrichtung 80. Figur 2 zeigt die erste Mischungskammer 20 und die erste Zufuhrvorrichtung 60 einer Vorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform. Während sich die erste Mischungskammer 20 und die erste Zufuhrvorrichtung 60 der Vorrichtung aus Figur 2 von der Ausführungsform in Figur 1 in wenigen Einzelheiten unterscheiden, können die übrigen Komponenten (erster Interaktionskanal 30, zweite Mischungskammer 40, zweiter Interaktionskanal 50, zweite Zufuhrvorrichtung 50 und dritte Zufuhrvorrichtung 80) mit denen der Figur 1 identisch sein. Die Figuren 3 bis 5 zeigen jeweils eine Schnittdarstellung der Vorrichtung 1 aus Figur 2 entlang der Linien A‘-A“, B‘-B“ beziehungsweise C‘-C“. Im Folgenden werden die Ausführungsformen der Figuren 1 und 2 aufgrund der vielem Gemeinsamkeiten zusammen beschrieben. Auf Unterschiede wird an passender Stelle eingegangen.

Die erste Mischungskammer 20 weist eine erste Einlassöffnung 201, eine zweite Einlassöffnung 202 und eine Auslassöffnung 203 auf. Über die erste Einlassöffnung 201 ist ein erstes Fluid F_1 in die erste Mischungskammer 20 einleitbar, und über die zweite Einlassöffnung 202 ein zweites Fluid F_2. In der ersten Mischungskammer 20 bilden das erste und das zweite Fluid F_1, F_2 ein intermediäres Fluidgemisch F_{12}, das über die Auslassöffnung 203 der ersten Mischungskammer 20 ableitbar ist.

Die erste Zufuhrvorrichtung 60 ist über die erste Einlassöffnung 201 (fluidisch) mit der ersten Mischungskammer 20 verbunden und dient dem Einleiten des ersten Fluids F_1 in die erste Mischungskammer 20. Die zweite Zufuhrvorrichtung 70 ist über die zweite Einlassöffnung 202 (fluidisch) mit der ersten Mischungskammer 20 verbunden und dient dem Einleiten des zweiten Fluids F_2 in die erste Mischungskammer 20.

An die Auslassöffnung 203 schließt sich stromabwärts der erste Interaktionskanal 30 an. Dieser weist eine Einlassöffnung 301 und eine Auslassöffnung 302 auf. Die Einlassöffnung

301 des ersten Interaktionskanals 30 fällt mit der Auslassöffnung 203 der ersten Mischungskammer 20 zusammen, so dass das intermediäre Fluidgemisch F_{12} von der ersten Mischungskammer 20 in den ersten Interaktionskanal 30 strömen kann.

Die zweite Mischungskammer 40 weist eine erste Einlassöffnung 401, eine zweite Einlassöffnung 402 und eine Auslassöffnung 402 auf. Die erste Einlassöffnung 401 fällt mit der Auslassöffnung 302 des ersten Interaktionskanals 30 zusammen. Über die erste Einlassöffnung 401 ist das intermediäre Fluidgemisch F_{12} in die zweite Mischungskammer 40 einleitbar, und über die zweite Einlassöffnung 402 ein drittes Fluid F_3. In der zweiten Mischungskammer 40 bilden das intermediäre Fluidgemisch F_{12} und das dritte Fluid F_3 das Fluidgemisch F_{123}, die über die Auslassöffnung 403 der zweiten Mischungskammer 40 ableitbar ist.

An die Auslassöffnung 402 schließt sich stromabwärts der zweite Interaktionskanal 50 an. Dieser weist eine Einlassöffnung 501 und eine Auslassöffnung 502 auf. Die Einlassöffnung 501 des zweiten Interaktionskanals 50 fällt mit der Auslassöffnung 403 der zweiten Mischungskammer 40 zusammen. Über die Auslassöffnung 502 ist das erzeugte Fluidgemisch F_{123} der Vorrichtung 1 entnehmbar. Gemäß einer Ausführungsform weist die Vorrichtung 1 keinen zweiten Interaktionskanal auf, und das erzeugte Fluidgemisch F_{123} ist der Vorrichtung 1 über die Auslassöffnung 403 der zweiten Mischungskammer 40 entnehmbar

Die erste Zufuhrvorrichtung 60 umfasst ein fluidisches Bauteil 10 mit zwei Nebenstromkanälen (Feedbackkanälen) 104a, 104b als Mittel zur Erzeugung eines räumlich und/oder zeitlich beweglichen ersten Fluids F_1 und insbesondere zur Ausbildung einer räumlichen Oszillation des ersten Fluids F_1. 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.

Die Energie zur Erzeugung des räumlichen und/oder zeitlich beweglichen Fluidstrahles resultiert aus dem Eingangsdruck (an der Einlassöffnung der Strömungskammer 100) des ersten Fluids F_1 (auch als erste Phase A bezeichnet). Der Eingangsdruck kann Werte bis zu 1000 bar annehmen. Typischerweise liegt der Eingangsdruck unter 400 bar. Vorzugsweise liegt der Eingangsdruck zwischen 0,5 und 200 bar, besonders bevorzugt zwischen 1 und 25 bar. Für Anwendungen zur Erzeugung von Liquid Nanopartikeln liegen diese in der Regel unter 10 bar. Die Verwendung des fluidischen Bauteils 10 hat den Vorteil,

dass keine zusätzliche Energiequelle eingesetzt werden muss, wodurch die Komplexität und die Fehleranfälligkeit der Vorrichtung verringert werden. Außerdem kann so sichergestellt werden, dass keine zusätzliche externe Energie in die Fluide eingetragen wird. Der Eintrag zusätzlicher/externer Energie kann empfindliche Bestandteile der Fluide (zum Beispiel langkettige Moleküle) zerstören und sollte daher vermieden werden.

Das fluidische Bauteil 10 umfasst eine Strömungskammer 100, die von einem ersten Fluid(strom) F_1 durchströmbar ist. Das fluidische Bauteil 10 hat die Funktion, eine Oszillation des ersten Fluids F_1 herbeizuführen, so dass das erste Fluid F_1 beim Eintreten in die erste Mischungskammer 20 durch die erste Einlassöffnung 201 der Mischungskammer 20 zeitlich und/oder örtlich oszilliert. Die zeitliche Frequenz der Oszillation beträgt dabei typischerweise 1 Hz bis 10 kHz, bevorzugt 10 Hz bis 10 kHz und besonders bevorzugt 100 Hz bis 5 kHz.

Die Strömungskammer 100 umfasst eine Einlassöffnung 101 mit einer Einlassbreite b_{101}, über die der erste Fluidstrom F_1 in die Strömungskammer 100 eintritt, und eine Auslassöffnung 102 mit einer Auslassbreite b_{102}, über die der erste Fluidstrom F_1 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 F_1.

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

Die Einlassbreite b_{101} kann die Dimension von 0,15 µm bis 5.000 µm annehmen. Die Mindestabmessungen der jeweils engsten Querschnittsflächen innerhalb des fluidischen Bauteils 10 können in Abhängigkeit vom gewünschten Volumenstrom gewählt werden. Je höher der Volumenstrom bei gleichbleibenden Eingangsdruck (an der Einlassöffnung 101 der Strömungskammer 100) ist, desto größer müssen die Dimension z. B. der Einlassbreite b_{101} und / oder der Einlasshöhe h_{101} sein. Typische Abmessungen liegen zwischen 100 µm bis 1.500 µm. Typische Werte für die Breite b_{101} sind 100 µm, 150 µm, 300 µm, 600 µm und 1.200 µm.

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

Der erste Fluidstrom F_1 bewegt sich in der Strömungskammer 100 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 Bauteils 1. Die Längsachse A liegt in zwei senkrecht zueinander stehenden Symmetrieebenen S1 und S2, gegenüber denen das fluidische Bauteil 1 spiegelsymmetrisch ist.

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 Nebenstromkanälen 104a, 104b angeordnet ist. Unmittelbar hinter der Einlassöffnung 101 teilt sich die Strömungskammer 100 in den Hauptstromkanal 103 und die zwei Nebenstromkanäle 104a, 104b, die sich unmittelbar vor der Auslassöffnung 102 wieder vereinigen. In der hier dargestellten Ausführungsform sind die zwei Nebenstromkanäle 104a, 104b symmetrisch bezüglich der Symmetrieebene S2 angeordnet (Figur 4). Diese Nebenströmungskanäle können auch außerhalb der dargestellten Strömungsebene angeordnet. Diese Kanäle können beispielsweise durch Rohre, die sich auch außerhalb der Symmetrieebene S1 befinden, realisiert werden oder durch Kanäle, die in einem Winkel zur Strömungsebene (Symmetrieebene S1) stehen.

Der Hauptstromkanal 103 verbindet im Wesentlichen geradlinig die Einlassöffnung 101 und die Auslassöffnung 102 miteinander, so dass der Fluidstrom F_1 im Wesentlichen entlang der Längsachse A des fluidischen Bauteils 10 strömt.

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 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 den Ausführungsformen der Figuren 1 und 2 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.

Die Nebenstromkanäle 104a, 104b sind ein Mittel zur Beeinflussung der Richtung des ersten Fluidstromes F_1, 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 Eingänge 104a1, 104b1 fließt ein kleiner Teil des ersten Fluidstroms F_1, die Nebenströme, in die Nebenstromkanäle 104a, 104b. Der restliche Teil des ersten Fluidstroms F_1 (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) Impuls auf den durch die Einlassöffnung 101 eintretenden ersten Fluidstrom F_1 ausüben können. Dabei wird die Richtung des ersten Fluidstromes F_1 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 und entspricht im Wesentlichen der Symmetrieebene S1 beziehungsweise ist parallel zu der Symmetrieebene S1 (Figur 3).

Die Nebenstromkanäle 104a, 104b weisen in der hier dargestellten Ausführungsform jeweils eine Querschnittsfläche auf, die über die gesamte Länge (vom Eingang 104a1, 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 (Figuren 1 und 2). In beiden Ausführungsformen ist die Form des Hauptstromkanals 103 beispielhaft spiegelsymmetrisch zu den Symmetrieebenen S1 und S2.

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

Der Hauptstromkanal 103 ist von jedem Nebenstromkanal 104a, 104b durch einen Block 11a, 11b getrennt. Die zwei Blöcke 11a, 11b sind in den Ausführungsformen der Figuren 1 und 2 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 symmetrisch zu der Spiegelebene S2. Eine symmetrische Ausführungsform der zwei Blöcke 11a, 11b wird bevorzugt.

Die Formen der Blöcke 11a, 11b, die in den Figuren 1 und 2 dargestellt sind, sind nur beispielhaft und können variiert werden. Die Blöcke 11a, 11b weisen abgerundete Kanten auf. Es sind auch scharfe Kanten möglich. Die Ausführungsvariante mit abgerundeten Kanten wird bevorzugt. Die Blöcke 11a, 11b in den Figuren 1 und 2 unterscheiden sich in der Form ihrer dem Hauptstromkanal 103 zugewandten Seite. Während in Figur 1 diese Seite nahezu plan ist, weist sie in Figur 2 eine Wölbung auf.

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 einen im wesentlichen konstanten Querschnitt oder abschnittsweise eine erweiterte Querschnittsfläche aufweist. 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 3). 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 den Figuren 1 und 2 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 des trichterförmigen Ansatzes 106 entspricht beispielsweise 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 7,5-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 3) 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.

Die Auslassöffnung 102 der Strömungskammer 100 des fluidischen Bauteils 10 entspricht in den Figuren 1 und 2 der ersten Einlassöffnung 201 der ersten Mischungskammer 20. An der Auslassöffnung 102 beziehungsweise der ersten Einlassöffnung 201 (die in Form und Größe identisch sind) treffen der sich verjüngende Auslasskanal 107 des fluidischen Bauteils 10 und der später erläuterte, sich verbreiternde Einlasskanal 206 der ersten Mischungskammer 20 aufeinander, so dass in diesem Übergangsbereich eine Kante ausgebildet ist. Dieser Übergangsbereich kann vorzugsweise 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, Figur 2). Ein Extremwert, wodurch ein scharfkantiger Auslass 102 entsteht, ist ein Radius von Null. Aufgrund der höheren mechanischen Stabilität ist ein Radius 109 zu bevorzugen. Die Breiten b_{101}, b_{11} und b_{102} sind 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.

Stromabwärts der ersten Einlassöffnung 201 der ersten 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 ersten 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 +40° und -10° möglich, also $\alpha - 10° < \delta < \alpha + 40°$. Ein besonders bevorzugter Wert für den Winkel δ ist $\alpha - 5° < \delta < \alpha + 20°$. Der Oszillationswinkel α entspricht hier dem natürlichen Oszillationswinkel des oszillierenden ersten Fluids F_1, der sich in Abwesenheit des Einlasskanals 206 und der ersten Mischungskammer 20 einstellen würde. In den Ausführungsformen der Figuren 1 und 2 ist der Winkel δ unterschiedlich. Die erste Einlassöffnung 201 ist also dort im Einlasskanal 206 definiert, wo dieser die kleinste Querschnittsfläche (quer zur ersten Fluidstromrichtung R_1) bzw. die kleinste Breite (parallel zur Oszillationsebene und quer zur ersten Fluidstromrichtung R_1) aufweist.

Die Breite b_{20} der ersten Mischungskammer 20 ist durch zwei annähernd parallele und plane Flächen, die in einem Zwischenabschnitt der ersten Mischungskammer 20 als Begrenzungswände fungieren, definiert. Der Zwischenabschnitt ist entlang der ersten Fluidstromrichtung R_1 zwischen dem Einlasskanal 206 und einem Auslasskanal 207 der ersten Mischungskammer 20 ausgebildet. Grundsätzlich können die Begrenzungswände auch anders (als eben und parallel) gestaltet sein.

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. In den Ausführungsformen der Figuren 1 und 2 ist der Winkel ω unterschiedlich groß.

Das stromabwärtige Ende des Auslasskanals 207 wird durch die Auslassöffnung 203 gebildet. Die Auslassöffnung 203 ist also dort im Auslasskanal 207 definiert, wo dieser die kleinste Querschnittsfläche (quer zur Fluidgemischstromrichtung R_{12}) bzw. die kleinste Breite (parallel zur Oszillationsebene und quer zur Fluidgemischstromrichtung R_{12}) aufweist. Das intermediäre Fluidgemisch F_{12} aus dem ersten und dem zweiten Fluid F_1, F_2 verlässt die erste Mischungskammer 20 durch deren Auslassöffnung 203.

Geht die erste Mischungskammer 20 ohne Querschnittsänderung in den ersten Interaktionskanal 30 über, so ist die Länge l_{20} der ersten Mischungskammer 20 in Abhängigkeit von dem 20-fachen des Durchmessers D_{202} der zweiten Einlassöffnung 202 der ersten Mischungskammer 20 definiert. Es gilt also: $l_{20} \sim 20 \times D_{202}$.

Die Auslassöffnung 203 hat eine Querschnittsfläche A_{203}, die beispielsweise rechteckig ist und daher eine Breite b_{203} und eine Höhe h_{203} aufweist. Grundsätzlich ist auch eine nicht rechteckförmige Querschnittsfläche der Auslassöffnung 203 möglich. Die Querschnittsfläche A_{203} ist größer als die kleinste Querschnittsfläche des fluidischen Bauteils 10 (A_{101}, A_{11} oder A_{102}). Die Querschnittfläche A_{203} ist gleich groß oder größer als die Summe der Querschnittsfläche A_{202} der zweiten Einlassöffnung 202 der ersten Mischungskammer 20 und der kleinsten Querschnittsfläche des fluidischen Bauteils 10 (A_{101}, A_{11} oder A_{102}).

Der Auslasskanal 207 hat den strömungsmechanischen Effekt, dass die Wirbel, welche durch das fuldische Bauteil 10 erzeugt wurden, auf einen kleineren Querschnitt kontrahiert werden. Da die in einem Wirbel vorhandene Zirkulation gemäß den Helmholtzschen Wirbelsätzen erhalten bleiben muss, führt die Kontraktion der Wirbel zu einer Zunahme der Wirbelgeschwindigkeit und damit zu einer Zunahme der Quergeschwindigkeiten im Fluid. Die höheren Geschwindigkeiten führen zu einer schnelleren Durchmischung der Fluide und auch zu einem schnelleren Zerfall der Wirbel was wiederrum zu einer besseren Durchmischung auf den kleineren Skalen führt. Dieser Wirbelzerfall bestimmt im Wesentlichen die Länge l_{30} des ersten Interaktionskanals 30, der sich an die erste Strömungskammer 20 anschließt. Der Auslasskanal 207 der ersten Mischungskammer 20 trägt damit wesentlich zu einer schnellen Durchmischung der Fluide F_1, F_2 bei. Um diesen Effekt zu nutzen, muss das Verhältnis der maximalen Querschnittsfläche A_{20} der ersten Mischungskammer 20 (wobei $A_{20} = b_{20} \times h_{20}$, vgl. Figuren 2 und 3) zu der Querschnittsfläche A_{203} der Auslassöffnung 203 (wobei $A_{203} = b_{203} \times h_{203}$, vgl. Figuren 2 und 3) so gewählt sein, dass gilt $2 < A_{20} / A_{203} < 100$, vorzugsweise $2 < A_{20} / A_{203} < 50$ und besonders bevorzugt $3 < A_{20} / A_{203} < 20$.

In einer nicht dargestellten Ausführungsform können auch mehrere Auslassöffnungen 203 vorgesehen sein, die in parallel geschaltete Interaktionskanäle 30 münden und anschließend in parallel geschaltete zweite Mischungskammern. Dabei ist die Summe der Querschnittsflächen A_{203} der einzelnen Auslassöffnungen 203 größer als die kleinste Querschnittsfläche des fluidischen Bauteils 10 (A_{101}, A_{11} oder A_{102}).

Die zweite Einlassöffnung 202 ist im Einlasskanal 206 ausgebildet. Alternativ kann die zweite Einlassöffnung 202 im Auslasskanal 207 ausgebildet sein. Denkbar ist, dass mehr als eine zweite Einlassöffnung (zur Einleitung des zweiten Fluids F_2 oder anderer Fluide) vorgesehen ist. Vorzugsweise befindet sich dabei mindestens eine der zweiten Einlassöffnungen 202 im Einlasskanal 206.

In den Figuren 1 und 2 ist die zweite Einlassöffnung 20 kreisförmig, jedoch ist auch eine nicht kreisförmige Form der zweiten Einlassöffnung 202 möglich. Die Querschnittsfläche der zweiten Einlassöffnung 202 ist annähernd gleich groß wie die Querschnittsfläche der ersten Einlassöffnung 201.

Der Abstand der zweiten Einlassöffnung 202 von der ersten Einlassöffnung 201 entlang der ersten Fluidstromrichtung R_1 ist in Figur 2 mit l_{202} dargestellt. Es ist vorteilhaft, wenn die Länge l_{202} mindestens der Breite b_{201} der ersten Einlassöffnung 201 (bzw. Auslassöffnung 102) entspricht, das heißt $l_{202} \geq b_{201}$ gilt. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Länge l_{202} mindestens der Summe aus der Breite b_{201} und der Breite b_{202} der ersten und zweiten Einlassöffnung 201, 202 oder mindestens dem Zweifachen der Breite von b_{201} entspricht, das heißt $l_{202} \geq (b_{201} + b_{202})$ oder $l_{202} \geq 2 \times b_{201}$ gilt.

Figur 3 zeigt eine Schnittdarstellung der Vorrichtung 1 aus Figur 2 entlang der Linie A'-A" (senkrecht zur Schnittebene in Figur 2). Demnach haben in dieser Ausführungsform das fluidische Bauteil 10, die erste Mischungskammer 20 und zumindest das stromaufwärtige Ende des ersten Interaktionskanals 30 eine konstante Höhe h. Die Höhe (auch Tiefe genannt) ist die Ausdehnung quer zur Oszillationsebene des ersten Fluids F_1. 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.

Figur 3 zeigt, dass die zweite Zufuhrvorrichtung 70 in die zweite Einlassöffnung 202 der ersten Mischungskammer 20 mündet. Die zweite Zufuhrvorrichtung 70, die zum Einleiten

des zweiten Fluids F_2 in die erste Mischungskammer 20 vorgesehen ist, umfasst einen Zufuhrkanal 701, der sich entlang einer Längsachse erstreckt und für das zweite Fluid F_2 die Fluidstromrichtung R_2 vorgibt (Figur 3). Der Zufuhrkanal 701 ist über die zweite Einlassöffnung 202 der ersten Mischungskammer 20 mit der ersten Mischungskammer 20 verbunden. Der Zufuhrkanal 701 steht (in der Symmetrieebene S2 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 $\beta = 90°$. Grundsätzlich kann der Winkel einen anderen Wert annehmen. Mit dem Winkel β wird die Mischungsqualität und/oder die Mischungsweglänge beziehungsweise die Mischungszeit beeinflusst.

Figur 4 zeigt eine Schnittdarstellung der Vorrichtung 1 aus Figur 2 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 4 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 5 zeigt eine Schnittdarstellung der Vorrichtung 1 aus Figur 2 entlang der Linie C'-C''. In dieser Schnittdarstellung ist ein Querschnitt durch den Einlasskanal 206 der ersten 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 5 ist auch erkennbar, dass die zweite Einlassöffnung 202 der ersten Mischungskammer 20 in deren Einlasskanal 206 ausgebildet ist. In einer Ebene quer zur Längsachse L betrachtet schließt der Zufuhrkanal 701 einen Winkel η mit der Oszillationsebene ein. In der dargestellten Ausführungsform beträgt der Winkel $\eta = 90°$. Grundsätzlich kann der Winkel einen anderen Wert annehmen, z.B. zwischen 30° und 150° liegen. Es wird ein Winkel η von 90° bevorzugt.

Die Durchmischung des ersten und zweiten Fluids F_1, F_2 in der ersten Mischungskammer 20 ist dadurch geprägt, dass durch das fluidische Bauteil 10 starke Geschwindigkeitsschwankungen quer zur Hauptstromrichtung der ersten Fluidstromrichtung R_1 (also wesentlich in Y-Richtung (Figur 1)) erzeugt werden, welche durch chaotische Advektion zu einer schnellen Durchmischung der beiden Fluidströme führen.

Weiterhin entstehen durch das fluidische Bauteil 10 großskalige Wirbel, welche durch fluidmechanische Prozesse sukzessive zu kleineren Wirbeln zerfallen und final durch viskose Prozesse dissipiert werden. Diese Kaskade von Wirbeln führt neben der Dissipation der Wirbel zu einer Durchmischung der Fluide F_1, F_2 auf immer kleineren Skalen. Diese Durchmischung findet zum (größten) Teil in der ersten Mischungskammer 20 statt.

An die Auslassöffnung 203 der ersten Mischungskammer 20 schließt sich der erste Interaktionskanal 30 an. In dem ersten Interaktionskanal 30 wird die Durchmischung kontinuierlich fortgesetzt bis nach einer charakteristischen Mischzeit t_{mix} eine hinreichend homogene Mischung der beiden Fluide F_1, F_2 vorliegt. Diese Mischzeit t_{mix} kann im Bereich von 0,1 ms bis 1000 ms (0,1 ms bis 1 ms , 1 ms bis 1000 ms) liegen. Typischerweise liegt die Mischzeit t_{mix} zwischen 0,1 ms bis 500 ms (1 ms bis 500 ms) und insbesondere zwischen 0,1 ms und 100 ms (1 ms bis 100 ms). Die Durchmischung soll im ersten Interaktionskanal 30 abgeschlossen werden. Zu diesem Zweck können die Länge l_{20} der ersten Mischungskammer 20 und die Länge l_{30} des ersten Interaktionskanals 30 so groß gewählt werden, dass ein mit der mittleren Geschwindigkeit transportierter Partikel innerhalb der Mischzeit t_{mix} die erste Mischungskammer 20 und den ersten Interaktionskanal 30 vollständig passieren kann.

In Figur 1 weist der erste Interaktionskanal 30 ausgehend von seiner Einlassöffnung 301 zunächst einen Abschnitt mit konstanter Querschnittsfläche auf. Stromabwärts schließt sich ein Abschnitt an, in dem die Querschnittsfläche stromabwärts zunimmt. Dieser Abschnitt ist symmetrisch bezüglich der Fluidgemischstromrichtung R_{12}. Darauf folgt stromabwärts ein weiterer Abschnitt mit konstanter Querschnittsfläche, der wiederum von einem Abschnitt gefolgt ist, in dem die Querschnittsfläche stromabwärts zunimmt. Dieser Abschnitt ist asymmetrisch bezüglich der Fluidgemischstromrichtung R_{12}.

Der erste Interaktionskanal 30 kann sich ein- oder mehrmals aufweiten (Zunahme der Querschnittsfläche, insbesondere Zunahme der Breite quer zur Fluidgemischstromrichtung

R_{12} und parallel zur Oszillationsebene). Möglich ist auch, dass sich der erste Interaktionskanal 30 ein- oder mehrmals verjüngt (Abnahme der Querschnittsfläche, insbesondere Zunahme der Breite quer zur Fluidgemischstromrichtung R_{12} und parallel zur Oszillationsebene). Durch eine derartige Änderung der Querschnittsfläche A_{30} des ersten Interaktionskanals 30 entlang der Fluidgemischstromrichtung R_{12} und kann bei kleinen Reynoldszahlen (<10) eine Verbesserung der Durchmischung von pulsierenden Strömungen erreicht werden und bei wesentlich höheren Reynoldszahlen (<100) Pulsationen der Durchmischung, die durch das fluidische Bauteil 10 entstehen, reduziert werden. Die Querschnittsveränderungen bewegen sich in einem Rahmen, dass keine Ablösungen (sogenannte Totwassergebiete) auftreten, welche zu unbestimmten Aufenthaltszeiten des intermediären Fluidgemisches in dem ersten Interaktionskanal 30 führen können. Dies wird dadurch erreicht, dass ein Winkel λ_{30} kleiner als 10° ist. Dieser Winkel wird zwischen der Mittellinie des Interaktionskanals 30 und der begrenzenden Wand des Interaktionskanals 30 in einem sich (in Fluidgemischstromrichtung R_{12} betrachtet) aufweitenden Abschnitt definiert. Weitet sich der erste Interaktionskanal 30 (in Fluidgemischstromrichtung R_{12} betrachtet) mehrmals auf, so gibt es mehrere Winkel λ_{30}, in Figur 1 beispielsweise die stromaufwärtigen Winkel λ_{30ia} und λ_{30ib} und der stromabwärtige Winkel λ_{30ii}. Vorzugsweise ist der Winkel λ_{30} kleiner als 8°. Vorteilhaft liegt der Winkel λ_{30} zwischen 2° und 6°. In der dargestellten Ausführungsvariante wird in dem Interaktionskanal 30 eine stromaufwärtige symmetrische Aufweitung realisiert, in der die Winkel λ_{30ia} und λ_{30ib} gleich groß sind.

In Figur 1 ist der Interaktionskanal 30 geradlinig (sich entlang der Fluidgemischstromrichtung R_{12} erstreckend) ausgeführt. Grundsätzlich kann dieser auch nicht geradlinig sein und beispielsweise mindestens einen mäanderförmigen Abschnitt aufweisen, wie in Figur 6 exemplarisch dargestellt ist. Abhängig von den zu mischenden Fluiden F_1, F_2 kann durch solche Mäander die Aufenthaltszeit in dem Interaktionskanal 30 verlängert und damit eine Sekundärvermischung ermöglicht werden. Dies ist vorteilhaft für bestimmte intermediäre Fluidgemische F_{12} bestehend aus den Fluiden F_1, F_2, die eine gewisse Reifezeit erfordern und damit eine längere Mischzeit t_{mix} haben.

Um das Wachstum der Partikel nach der Mischzeit t_{mix} zu beenden und die Partikel weiter zu stabilisieren wird das intermediäre Fluidgemisch F_{12} (mit den Partikeln) in der zweiten Mischungskammer 40 mit dem dritten Fluid F_3 zusammengeführt. Dazu tritt das intermediäre Fluidgemisch F_{12} aus dem ersten Interaktionskanal 30 über die erste Einlassöffnung 401 in die zweite Mischungskammer 40 und das dritte Fluid F_3 über die zweite Einlassöffnung 402. Das dritte Fluid F_3 strömt aus einem Zufuhrkanal 801 der dritten

Zufuhrvorrichtung 80. Beim Vermischen des intermediären Fluidgemischs F_{12} und des dritten Fluids F_3 in der zweiten Mischungskammer 40 werden die Partikel möglichst geringem mechanischem Stress ausgesetzt, um eine Schädigung der Partikel, sowie ein Verschmelzen und Verkleben (Agglomeration und Aggregation) von Partikeln zu vermeiden. Zu diesem Zweck sind Betrag und Richtung der des intermediären Fluidgemischs F_{12} und des dritten Fluids F_3 sehr ähnlich.

Das anspruchsgemäße Verfahren zum Erzeugen eines Fluidgemischs kann erforderlich machen, dass das intermediäre Fluidgemisch F_{12} an der Auslassöffnung 302 des ersten Interaktionskanals 30 eine mittlere Geschwindigkeit u_{302} aufweist, das dritte Fluid F_3 an der zweiten Einlassöffnung 402 der zweiten Mischungskammer 40 eine mittlere Geschwindigkeit u_{402} und das Fluidgemisch F_{123} an der Auslassöffnung 403 der zweiten Mischungskammer 40 eine mittlere Geschwindigkeit u_{403}, wobei für das Verhältnis der Geschwindigkeiten gilt $0{,}8 < u_{402}/u_{302} < 1{,}2$ und $0{,}8 < u_{403}/u_{302} < 1{,}2$. Das gewünschte Geschwindigkeitsverhältnis kann durch die Größe der Querschnittsflächen der Auslassöffnungen 302, 403 und der zweiten Einlassöffnung 402 unter Berücksichtigung der Volumenströme des intermediären Fluidgemisches F_{12} und des dritten Fluids F_3 eingestellt werden. Ist der Volumenstrom des intermediären Fluidgemischs F_{12} doppelt so groß wie der Volumenstrom des dritten Fluids F_3, so ist die Querschnittsfläche der Auslassöffnung 302 doppelt so groß zu wählen wie die Querschnittsfläche der zweiten Einlassöffnung 402 ($A_{302}=2A_{402}$) und die Querschnittsfläche der Auslassöffnung 403 dreimal so groß wie die Querschnittsfläche der zweiten Einlassöffnung 402 ($A_{403}=3A_{402}$). Bei gleicher Höhe der Auslassöffnungen 302, 403 und der zweiten Einlassöffnung 402 überträgt sich das Verhältnis der Querschnittsflächen auf die entsprechenden Breiten.

Zusammengefasst entspricht die Querschnittsfläche der Auslassöffnung A_{403} der zweiten Mischungskammer 40 ungefähr der Summe der Querschnittsfläche der Auslassöffnung A_{302} (der ersten Einlassöffnung A_{401}) und der Querschnittsfläche der zweiten Einlassöffnung A_{402}. Dies ist insbesondere der Fall, wenn sich die Richtung R_3 des dritten Fluids F_3 und die Richtung R_{12} des intermediären Fluidgemischs F_{12} innerhalb der Oszillationsebene bzw. parallel zur Oszillationsebene befinden.

Der Übergang von dem ersten Interaktionskanal 30 zur zweiten Mischungskammer 40 (also die Position der Auslassöffnung 302 des ersten Interaktionskanals30 und der ersten Einlassöffnung 401 der zweiten Mischungskammer 40) ist durch eine sprunghafte Vergrößerung der Querschnittsfläche (quer zur Fluidgemischstromrichtung R_{12}) gekennzeichnet. Im Bereich dieser sprunghaften Querschnittsvergrößerung mündet ein

Zufuhrkanal 801 der dritten Zufuhrvorrichtung 80 in die zweite Mischungskammer 40. Der Zufuhrkanal 801 erstreckt sich (geradlinig) entlang der dritten Fluidstromrichtung R_3. Dabei schließen die dritte Fluidstromrichtung R_3 und die Fluidgemischstromrichtung R_{12} einen Winkel ζ ein, der kleiner oder gleich 90° ist, vorzugsweise kleiner als 45° ist, besonders bevorzugt zwischen 5° und 40° liegt.

Das erzeugte Fluidgemisch F_{123} strömt aus der Auslassöffnung 403 der zweiten Mischungskammer 40 in den zweiten Interaktionskanal 50 und verlässt die Vorrichtung 1 durch die Auslassöffnung 502 des zweiten Interaktionskanals 50.

Figur 6 zeigt eine Vorrichtung 1 gemäß einer weiteren Ausführungsform. Diese unterscheidet sich von den Ausführungsformen der Figuren 1 bis 5 insbesondere in der Form des ersten Interaktionskanals 30. So weist der erste Interaktionskanal 30 einen mäanderförmigen Abschnitt mit (hier beispielhaft) einer 180°-Umlenkung 303 und zwei 90°-Umlenkungen 304 auf. Der mäanderförmige Abschnitt verlängert den ersten Interaktionskanal 30, so dass die Verweilzeit des intermediären Fluidgemischs F_{12} in dem ersten Interaktionskanal 30 (gegenüber der Ausführungsform der Figur 1) verlängert wird.

Der Interaktionskanal 30 weist in dieser Ausführungsvariante in den Umlenkungen 303, 304 eine konstante Kanalbreite b_{300} auf.

An den mäanderförmigen Abschnitt schließt sich unmittelbar stromabwärts der letzten Umlenkung 304 ein geradlinig geformter Abschnitt 305 an. Der geradlinig geformte Abschnitt 305 weist eine Länge l_{305} auf, die mindestens drei mal so groß ist wie die Kanalbreite b_{300} ($l_{305} \geq 3 \times b_{300}$), vorzugsweise mindestens fünf mal so groß wie die Kanalbreite b_{300} ($l_{305} \geq 5 \times b_{300}$). Der geradlinig geformte Abschnitt 305 dient der Vergleichmäßigung des Geschwindigkeitsprofils des intermediären Fluidgemischs F_{12}.

Stromabwärts des geradlinig geformten Abschnitts 305 schließt sich ein asymmetrischer Abschnitt 307 an. Der asymmetrische Abschnitt 307 trägt dem asymmetrischen Strömungsgeschwindigkeitsprofil des intermediären Fluidgemischs F_{12} Rechnung. Durch den asymmetrischen Abschnitt 307 kann verhindert werden, dass sich Rezirkulationsgebiete bilden. Diese Aufweitung wird durch den Winkel λ_{30} erreicht.

Unmittelbar stromabwärts des asymmetrischen Abschnitts 307 ist ein weiterer geradlinig geformter Abschnitt 308 angeordnet. Die Länge l_{308} dieses Abschnitts richtet sich nach der gewünschten Mischzeit t_{mix} der zu mischenden Fluide F_1, F_2, um Partikel mit gewünschter

Größe und Form zu erzeugen. Zur Erzeugung von Lipidnanopartikeln werden Mischzeiten um die 10 ms benötigt.

In dieser Ausführungsvariante ist die Querschnittsfläche A_{201} der ersten Einlassöffnung 201 der ersten Mischungskammer 20 ca. 25 % größer als die Querschnittfläche A_{202} der zweiten Einlassöffnung 202 der ersten Mischungskammer 20.

Denkbar ist auch eine Ausführungsform, die sich von jener aus Figur 6 darin unterscheidet, dass der erste Interaktionskanal 30 nicht die Umlenkungen 303 und 304 umfasst, sondern lediglich den geradlinig geformten Abschnitt 305 (der sich unmittelbar an die erste Mischungskammer 20 anschließt), einen sich aufweitenden symmetrischen Abschnitt 307 und den geradlinig geformten Abschnitt 308.

Der zweite Interaktionskanal 50 erstreckt sich (generell) entlang einer Achse, die der Richtung des Fluidgemischs F_{123} entspricht. Die Richtung des Fluidgemischs F_{123} ergibt sich aus dem Geschwindigkeitsvektor $\overrightarrow{v_{123}}$ des Fluidgemischs F_{123}. Der Geschwindigkeitsvektor $\overrightarrow{v_{123}}$ des Fluidgemischs F_{123} entspricht der Summe aus dem Geschwindigkeitsvektor $\overrightarrow{v_{12}}$ des intermediären Fluidgemischs F_{12} an der ersten Einlassöffnung 401 und dem Geschwindigkeitsvektor $\overrightarrow{v_3}$ des dritten Fluids F_3 an der zweiten Einlassöffnung 402. Die Achse des zweiten Interaktionskanals 50 und die Fluidgemischstromrichtung R_{12} schließen einen Winkel ε ein, der in der Ausführungsform der Figur 6 kleiner als 180° ist. Die Achse des zweiten Interaktionskanals 50 und die dritte Fluidstromrichtung R_3 schließen einen Winkel κ ein, der in der Ausführungsform der Figur 6 kleiner als 180° ist. Die Winkel ε und κ sind hier unterschiedlich groß, insbesondere ist der Winkel κ größer als der Winkel ε. Beispielsweise beträgt der Winkel κ zwischen 170° und 179° (174°) und der Winkel ε zwischen 160° und 169° (166°). Der Winkel ζ zwischen der Fluidgemischstromrichtung R_{12} und der dritten Fluidstromrichtung R_3 und die Winkel ε und κ betragen in der Summe 360°.

In Figur 7 ist die Auslenkung des bewegten (oszillierenden) ersten Fluids F_1 (an der Auslassöffnung 102 des fluidischen Bauteils 10) im zeitlichen Verlauf schematisch dargestellt. Demnach oszilliert das erste Fluid F_1 periodisch zwischen zwei maximalen Auslenkungen von hier beispielhaft in etwa +25° und -25°. Die gestrichelte Linie stellt dabei einen idealisierten sinusförmigen Verlauf dar. Zur Erhöhung der Mischungsqualität in der ersten Mischungskammer 20 ist eine zusätzliche Zwischenschwingung vorteilhaft. Der mit durchgezogener Linie dargestellte Verlauf umfasst eine solche Zwischenschwingung. Beispielsweise ist die Zwischenschwingung bei ungefähr ±5° vorgesehen. Ein solcher

zeitlicher Verlauf, wie mit der durchgezogenen Linie dargestellt, kann beispielsweise mit den fluidischen Bauteilen 10 gemäß Figur 1 oder 2 erzeugt werden. Der Oszillationswinkel α kann in Abhängigkeit von der gewünschten Mischungsqualität, den zu mischenden Fluiden und deren Volumina gewählt werden. Der Oszillationswinkel α kann auf verschiedene Art und Weise bestimmt werden. Zum Beispiel aus dem Verhältnis der Geschwindigkeitskomponenten in der Mitte der Querschnittsfläche der Auslassöffnung 102 nach der Beziehung $\alpha = 2*\arctan(v/u)$, wobei u die Geschwindigkeitskomponente in Strömungsrichtung ist und v die Geschwindigkeitskomponente quer zur Strömungsrichtung, in der Oszillationsebene.

In der ersten Mischungskammer 20 weist das erste Fluid F_1 vorzugsweise einen Turbulenzgrad Tu_{20} größer als 0,05 auf, besonders bevorzugt liegt der Turbulenzgrad zwischen 0,1 und 0,5. Allgemein gibt der Turbulenzgrad die Variation der Geschwindigkeit im Verhältnis zur mittleren Geschwindigkeit an. Der Turbulenzgrad ist hier konkret definiert als der Quotient der maximalen zeitlichen Schwankung $\sigma_{u,max,20}$ der lokalen Geschwindigkeit von F_1 in der ersten Mischungskammer 20 und der mittleren Geschwindigkeit u_{201} des ersten Fluids F_1 an der ersten Einlassöffnung 201: $Tu_{20} = \sigma_{u,max,20} / u_{201}$. Zur Bestimmung der maximalen zeitlichen Schwankung wird mit Hilfe einer transienten numerischen Simulation der Strömung (CFD) des ersten Fluids F_1 die zeitliche Varianz σ_u der Geschwindigkeit bestimmt. Das räumliche Maximum von σ_u in der Mischungskammer 20 wird identifiziert.

In der zweiten Mischungskammer 40 ist der Turbulenzgrad Tu_{40} gemäß $Tu_{40} = \sigma_{u,max,40} / u_{401}$ definiert, wobei $\sigma_{u,max,40}$ die maximale Varianz der Geschwindigkeit von F_{12} in der Mischungskammer 40 ist und u_{401} die Geschwindigkeit des intermediären Fluidgemischs F_{12} an der ersten Einlassöffnung 401 der zweiten Mischungskammer 40. Vorzugsweise ist der Turbulenzgrad Tu_{40} kleiner als 0,1, besonders bevorzugt kleiner als 0,05, und insbesondere bevorzugt kleiner als 0,025.

In der ersten Mischungskammer 20 der hier vorgestellten Ausführungsformen kann insbesondere durch das jeweilige fluidische Bauteil 10 für die schnelle Mischung des ersten und des zweiten Fluids F_1, F_2 eine Kolmogorov Skala Lk (Längenskala der kleinsten Wirbel in der turbulenten Strömung) von kleiner als 20 µm erzielt werden, vorzugsweise von kleiner als 10 µm und insbesondere bevorzugt von kleiner als 5 µm. Die Kolmogorov Skala Lk kann aus den Ergebnissen einer turbulenten CFD (Reynolds Averaged Navier Stokes, kurz RANS) abgeschätzt werden. Dazu wird die turbulente Dissipationsrate, ε, welche als

Transportgröße eines sogenannten k- ε-Turbulenzmodells berechnet wird, mit der kinematischen Viskosität v des Fluidgemisches F_{12} wie folgt in Beziehung gesetzt:
$Lk = \sqrt[4]{\nu^3/\varepsilon}$.

Im Gegensatz zur Mischung in der ersten Mischungskammer 20 soll die Durchmischung in der zweiten Mischungskammer 40 mit einer möglichst geringen Scherung des intermediären Fluidgemisches F_{12} erfolgen. Zu diesem Zweck sind die relativen Unterschiede der Geschwindigkeiten u_{401} an der ersten Einlassöffnung 401 der zweiten Mischungskammer 40 (bzw. an der Auslassöffnung 302 des ersten Interaktionskanals 30) und u_{402} an der zweiten Einlassöffnung 402 der zweiten Mischungskammer 40 möglichst gering. Absolut gesehen soll auch die Turbulenz in der zweiten Mischungskammer 40 kleiner sein als in der ersten Mischungskammer 20. Zu diesem Zweck können die absoluten Geschwindigkeiten in der zweiten Mischungskammer 40 kleiner als in der ersten Mischungskammer 20 sein. Vorzugsweise gilt $u_{401} < u_{201}$, besonders bevorzugt $u_{401} < u_{201} / 2$, wobei u_{401} die Geschwindigkeit des intermediären Fluidgemischs F_{12} an der ersten Einlassöffnung 401 der zweiten Mischungskammer 40 ist und u_{201} die Geschwindigkeit des ersten Fluids F_1 an der ersten Einlassöffnung 201 der ersten Mischungskammer 20.

Figur 8 zeigt eine weitere Ausführungsform der Vorrichtung 1. Diese Ausführungsform unterscheidet sich von jenen der Figuren 1 bis 6 insbesondere in der Ausgestaltung der ersten Zufuhrvorrichtung 60 sowie in der Anzahl der dritten Zufuhrvorrichtungen 80a, 80b, 80c, 80d. So weist das fluidische Bauteil 10 der ersten Zufuhrvorrichtung 60 nur einen Nebenstromkanal 104 auf. Dieser Nebenstromkanal 104 ist ringförmig ausgebildet und stromaufwärts des Hauptstromkanals 103 angeordnet. In die zweite Mischungskammer 40 münden vier dritte Zufuhrkanäle 801a, 801b, 801c, 801d.

In Figur 8 weist der Nebenstromkanal 104 über seine gesamte Länge (zwischen den Punkten 104a1 und 104b1) eine im Wesentlichen konstante Querschnittsfläche auf. Im Bereich jedes Nebenstromkanaleingangs bzw. -ausgangs (an den Punkten 104a1 und 104b1) ist eine Vergrößerung der jeweiligen Querschnittsfläche vorgesehen. Grundsätzlich kann auch hier die Größe der Querschnittsfläche so groß sein wie über die gesamte Länge des Nebenstromkanals 104.

Am Übergang zwischen dem Nebenstromkanal 104 und dem Hauptstromkanal 103 weist das fluidische Bauteil 10 ein Breite b_{11} (Ausdehnung parallel zur Oszillationsebene und quer zur ersten Fluidstromrichtung R_1) auf. Vorzugsweise ist die Einlassbreite b_{101} kleiner

als die Breite b_{11}. Die Breite des Hauptstromkanals 103 nimmt ausgehend vom Übergangsbereich zum Nebenstromkanal 104 stromabwärts zunächst zu und dann ab. Im Vergleich zu den fluidischen Bauteilen 10 der Figuren 1 und 2 erzeugt dieses fluidische Bauteil 10 bei gleichem Eingangsdruck P_{10IN} eine höhere Oszillationsfrequenz. Eine höhere Oszillationsfrequenz verkürzt die Mischzeit des ersten Fluids F_1 und des zweiten Fluids F_2 in der ersten Mischungskammer 20 und dem sich anschließenden ersten Interaktionskanal 30.

In Figur 8 ist die Länge l_{20} (Ausdehnung entlang der ersten Fluidstromrichtung R_1) der ersten Mischungskammer 20 kleiner als die Länge l_{10} des fluidischen Bauteils 10. Es ist zu berücksichtigen, dass bei dieser einfacher herstellbaren Ausführungsvariante die Länge l_{10} die Länge l_{106} einschließt. In diesem Fall wird die Länge l_{10} von einem Punkt der äußeren begrenzenden Wand von Nebenstromkanal 104, der entlang der Achse X maximal von der Auslassöffnung 102 entfernet ist, bis zur Auslassöffnung 102 definiert. Der Hauptstromkanal 103 und der Nebenstromkanal 104 liegen in einer Ebene. Gemäß einer Alternative kann der Nebenstromkanal 104 in einer Ebene parallel zu der Ebene des Hauptstromkanals 103 liegen. In diesem Fall enthält die Länge l_{10} nicht die Länge l_{106}. In diesem Fall reicht die Länge l_{10} von der Einlassöffnung 101 bis zu Auslassöffnung 102. Denkbar ist auch, dass die Länge l_{20} größer ist als die Länge l_{10}.

Das dritte Fluid F_3 wird über eine Vielzahl von dritten Zufuhrkanälen 801a, 801b, 801c, 801d in die zweite Mischungskammer 40 geleitet. Beispielhaft sind es vier dritte Zufuhrkanäle 801a, 801b, 801c, 801d in Figur 8. Eine andere Anzahl ist denkbar. Die zwei weiter stromaufwärts angeordneten dritten Zufuhrkanäle 801a, 801c sind symmetrisch zueinander (bezogen auf die zweite Mischungskammer 40) angeordnet, während die zwei weiter stromabwärts angeordneten dritten Zufuhrkanäle 801b, 801d nicht symmetrisch zueinander (bzw. entlang der Fluidgemischstromrichtung R_{12} versetzt) angeordnet sind. Die Zufuhrkanäle 801a, 801b, 801c, 801d sind jeweils Teil einer dritten Zufuhrvorrichtung 80a, 80b, 80c, 80d. Die Zufuhrkanäle 801a, 801b, 801c, 801d können jedoch auch Teil einer gemeinsamen dritten Zufuhrvorrichtung sein und von einem gemeinsamen Zulauf gespeist werden, der sich in die einzelnen Zufuhrkanäle 801a, 801b, 801c, 801d verzweigt.

Die Vielzahl von dritten Zufuhrkanälen 801a, 801b, 801c, 801d bewirkt, dass der von dem dritten Fluid F_3 auf das intermediäre Fluidgemisch F_{12} ausgeübte Impuls vergleichsweise (bezogen auf die Ausführungsformen der Figuren 1 bis 6) gering ist, da der Impuls räumlich verteilt wird.

Die Querschnitte sind so ausgelegt, dass die mittleren Geschwindigkeiten an den Einlassöffnungen und Auslassöffnungen möglichst ähnlich sind. Beispielsweise verhält sich die mittlere Geschwindigkeit u_{302} des intermediären Fluidgemischs F_{12} an der Auslassöffnung 302 des ersten Interaktionskanals 30 zu den mittleren Geschwindigkeiten u_{402a} und u_{402c} des dritten Fluids F_3 an den zweiten Einlassöffnungen 402a und 402c der zweiten Mischungskammer 40: $0{,}8 < u_{402a}/u_{302} < 1{,}2$ und $0{,}8 < u_{402c}/u_{302} < 1{,}2$. Die Volumenströme durch die zweiten Einlassöffnungen 402a und 402c, sowie der Volumenstrom des intermediären Fluidgemisches F_{12} durch die erste Einlassöffnung 401 bedingen die Größe der Querschnittsflächen an den genannten Öffnungen. Sind die Volumenströme durch die zweiten Einlassöffnungen 402a und 402c gleich und jeweils halb so groß wie der Volumenstrom durch die erste Einlassöffnung 401, so sind entsprechend die Querschnittsflächen der zweiten Einlassöffnungen 402a und 402c gleich und jeweils halb so groß wie die Querschnittsfläche der ersten Einlassöffnung 401.

Figur 9 zeigt eine weitere Ausführungsform der Vorrichtung 1. Diese unterscheidet sich von jenen der Figuren 1 bis 6 und 8 insbesondere in der Ausgestaltung der ersten Zufuhrvorrichtung 60. So weist die erste Zufuhrvorrichtung 60 in Figur 9 zwei Einlassöffnungen 101a, 101b, jedoch keinen Nebenstromkanal auf. Stromaufwärts der Einlassöffnungen 101a, 101b ist ein Ansatz 106 vorgesehen, der sich in Fluidstromrichtung betrachtet in zwei Kanäle 106a und 106 b aufteilt. Die Kanäle 106a, 106b münden in die Einlassöffnungen 101a, 101b. Die Kanäle 106a, 106b dienen der Konditionierung des Fluidstroms des ersten Fluids F_1. Die Form der beiden Kanäle 106a, 106b ist in Figur 9 nur beispielhaft. Das stromabwärtige Ende der Kanäle 106a und 106b, das den Einlassöffnungen 101a, 101b zugewandt ist, wird durch einen geradlinigen Endabschnitt gebildet. Die Kanäle 106a, 106b sind spiegelsymmetrisch bezüglich einer Längsachse der Vorrichtung 1 angeordnet, ebenso die Einlassöffnungen 101a, 101b. Die Einlassöffnungen 101a, 101b bilden den Übergang zwischen den Kanälen 106a, 106b einerseits und dem Hauptstromkanal 103 andererseits. Die stromabwärtigen, geradlinigen Endabschnitte der Kanäle 106a und 160b schließen einen Winkel σ ein. Dieser Winkel σ nimmt Werte zwischen 95° und 175° ein. Der Scheitelpunkt des Winkels σ liegt dabei stromabwärts der Einlassöffnungen 101a, 101b. Der Winkel σ wird stromaufwärts des Scheitelpunkts gemessen. Je kleiner der Winkel σ ist, desto länger wird das fluidische Bauteil 10.

Die Ausführungsform aus Figur 9 unterscheidet sich von den übrigen Ausführungsformen zudem in der Ausgestaltung des ersten Interaktionskanals 30 und des Zufuhrkanals 801 der dritten Zufuhrvorrichtung 80. So weist der erste Interaktionskanal 30 einen Abschnitt 307 auf, dessen Querschnitt stromabwärts abnimmt. Der Abschnitt 307 befindet sich näher

an der Auslassöffnung 302 als an der Einlassöffnung 301. Ebenso weist der Zufuhrkanal 801 einen Abschnitt 807 auf, dessen Querschnitt stromabwärts abnimmt. Diese Querschnittsänderungen haben den Effekt, das relative Geschwindigkeitsschwankungen reduziert werden und die Geschwindigkeitsverteilung über den Querschnitt gleichmäßiger wird. Darüber hinaus können die Geschwindigkeiten des intermediären Fluidgemischs F_{12} und des dritten Fluids F_3 bei der Zusammenführung besser gesteuert werden und damit die Bedingungen bei der Mischung genauer definiert werden. Dies ermöglicht, die Scherung bei der Mischung der beiden Fluidströme genau zu definieren und damit zu begrenzen. Um die Geschwindigkeitsschwankungen der Fluide zu reduzieren und die Geschwindigkeitsverteilung anzugleichen, kann die Querschnittsfläche der Auslassöffnung 302 im Vergleich zu der maximalen Querschnittsfläche des ersten Interaktionskanals 30 um einen Faktor 2 bis 100, vorzugsweise um einen Faktor 2 bis 20, und insbesondere bevorzugt um einen Faktor 2 bis 10 reduziert sein. Ebenso kann die Querschnittsfläche der zweiten Einlassöffnung 402 im Vergleich zu der maximalen Querschnittsfläche des Zufuhrkanals 801 der dritten Zufuhrvorrichtung 80 um einen Faktor 2 bis 100, vorzugsweise um einen Faktor 2 bis 20, und insbesondere bevorzugt um einen Faktor 2 bis 10 reduziert sein.

Die Ausführungen zu den Winkeln ε und κ im Zusammenhang mit Figur 6 sind ebenfalls auf Figur 9 übertragbar.

Die in der Figur 10 dargestellte Ausführungsform der Vorrichtung 1 unterscheidet sich von der Ausführungsform der Figur 1 insbesondere in der Ausgestaltung des fluidischen Bauteils 10, des ersten Interaktionskanals 30 sowie in der relativen Anordnung von dritter Zufuhrvorrichtung 80 zur zweiten Mischungskammer 40. Die relative Anordnung ist dergestalt, dass das intermediäre Fluidgemisch F_{12} und das dritte Fluid F_3 in einem Winkel von im Wesentlichen 90° aufeinander treffen bzw. dass die Fluidgemischstromrichtung R_{12} und die dritte Fluidstromrichtung R_3 einen Winkel von im Wesentlichen 90° einschließen. In den Vorrichtungen 1 der übrigen Ausführungsformen wird dieser Winkel mit ζ bezeichnet und ist kleiner als 90°. Die Richtung R_3 des dritten Fluids F_3 erstreckt sich in Figur 10 nicht in der Oszillationsebene oder parallel zur Oszillationsebene.

Der erste Interaktionskanal 30 ist rohrförmig ausgebildet mit konstanter Querschnittsfläche und konstanter Breite entlang seiner Ausdehnung zwischen Einlassöffnung 301 und Auslassöffnung 302. Die zweite Mischungskammer 40 wird durch eine Verlängerung des ersten Interaktionskanals 30 gebildet, wobei sich die Breite nicht ändert. Die Tiefe der zweiten Mischungskammer 40 ist jedoch größer als die Tiefe des ersten Interaktionskanals

30. Konkret ist in der Ausführungsform der Figur 10 (siehe auch Figur 11) die Tiefe der zweiten Mischungskammer 40 doppelt so groß wie die Tiefe des ersten Interaktionskanals 30. Damit hat die erste Einlassöffnung 401 der zweiten Mischungskammer 40 eine kleinere Querschnittsfläche (Tiefe) als die Auslassöffnung 403 der zweiten Mischungskammer 40. Das Verhältnis der Tiefe der ersten Einlassöffnung 401 zu der Tiefe der Auslassöffnung 403 richtet sich nach dem Verhältnis der Volumenströme des intermediären Fluidgemischs F_{12} und des Fluidgemischs F_{123}. Vorzugsweise ist das Verhältnis der Tiefen t_{403}/t_{401} größer oder gleich dem Verhältnis des Volumenstroms von F_{123} zu dem Volumenstrom von F_{12}.

Die zweite Mischungskammer 40 weist eine Länge (Ausdehnung entlang der Fluidgemischstromrichtung R_{12}) und eine Breite (Ausdehnung quer zur Fluidgemischstromrichtung R_{12} und quer zur dritten Fluidstromrichtung R_3) auf, die jeweils dem Durchmesser der zweiten Einlassöffnung 402 der zweiten Mischungskammer 40 entsprechen. Die Breite der zweiten Mischungskammer 40 entspricht der Breite der ersten Einlassöffnung 401. Das Verhältnis der Breite der zweiten Mischungskammer 40 zu dem Durchmesser der zweiten Einlassöffnung 402 kann von 1:1 bis 2:1 reichen. Die zweite Einlassöffnung 402 hat hier beispielsweise eine runde Querschnittsfläche. Alternativ kann sie eckig oder oval sein.

Wie Figur 11 in der Zusammenschau mit Figur 10 zeigt, ist die Tiefe t_{302} der Auslassöffnung 302 des ersten Interaktionskanals 30 deutlich kleiner als die Tiefe t_{403} der Auslassöffnung 403 der zweiten Mischungskammer 40. Die Querschnittsfläche A_{302} wird durch die Breite b_{302} an der Auslassöffnung 302 und der Tiefe t_{302} gebildet. Die Querschnittsfläche A_{403} wird durch die Breite b_{403} an der Auslassöffnung 403 und der Tiefe t_{403} gebildet. Die Querschnittfläche A_{402} der zweiten Einlassöffnung 402 der zweiten Mischungskammer 40 wird in dieser Ausführungsvariante durch den Durchmesser d_{801} an der Auslassöffnung 402 gebildet.

In dieser Ausführungsvariante ist die Querschnittsfläche der zweiten Einlassöffnung 402 deutlich größer als die der ersten Einlassöffnung 401 (die der Auslassöffnung 302 entspricht), wodurch die mittlere Geschwindigkeit an der zweiten Einlassöffnung 402 deutlich kleiner als die mittlere Geschwindigkeit an der ersten Einlassöffnung 401 ist. Daraus folgt der fluidmechanische Effekt, dass der Impuls des intermediären Fluidgemischs F_{12} (das über die erste Einlassöffnung 401 in die zweite Mischungskammer 40 tritt) beim Eintritt in die zweite Mischungskammer 40 deutlich größer ist als der Impuls des dritten Fluids F_3 (das über die zweite Einlassöffnung 402 in die zweite Mischungskammer 40 tritt) beim Eintritt in die zweite Mischungskammer 40. Obwohl das

intermediäre Fluidgemisch F_{12} und das dritte Fluid F_3 im Wesentlichen in einem rechten Winkel aufeinander treffen, entsteht durch die unterschiedlichen Impulse nur eine minimale Scherung des intermediären Fluidgemisches F_{12}.

Zusammengefasst ist die Querschnittsfläche der Auslassöffnung A_{403} kleiner als die Summe der Querschnittsfläche A_{302} an der Auslassöffnung 302 und der Querschnittsfläche A_{402} an der zweiten Einlassöffnung 402. Dies ist der Fall, wenn sich die Richtung R_3 des dritten Fluids F_3 in einem Winkel zu der Richtung R_{12} des intermediären Fluidgemischs F_{12} befindet und nicht innerhalb der Oszillationsebene liegt. In der in den Figuren 10 und 11 dargestellten Ausführungsvariante ist die Richtung R_3 orthogonal zur Oszillationsebene.

Im Gegensatz zu der Ausführungsvariante, in der die Richtung R_3 innerhalb der Oszillationsebene liegt, soll in der Ausführungsform der Figuren 10 und 11 die Querschnittsfläche A_{403} größer als die Querschnittsfläche A_{401} sein ($A_{403} > A_{401}$). Bevorzugt wird die folgende Flächenbeziehung: $1{,}1\ A_{403} < A_{401} + A_{402} < 10\ A_{403}$. Besonders bevorzugt wird die folgende Flächenbeziehung: $1{,}9\ A_{403} < A_{401} + A_{402} < 7{,}9\ A_{403}$.

Ein weiteres Merkmal der in den Figuren 10 und 11 dargestellten Ausführungsform ist die sprunghafte Erweiterung der Querschnittsfläche (quer zur Fluidgemischstromrichtung R_{12}) an der ersten Einlassöffnung 401. Gemäß der in Schnitt D'-D" in Figur 11 dargestellten Ausführungsform ist die Erweiterung der Querschnittsfläche stufenförmig. Die Stufe ist in Richtung des Zufuhrkanals 801 ausgeprägt. Der Zustrom des dritten Fluides F_3 in die Mischungskammer 40 erfolgt in Fluidgemischstromrichtung R_{12} des intermediären Fluidgemisches F_{12} betrachtet stromabwärts der Stufe. Gemäß dem strömungsmechanischen Sachverstand wären derartige Stufen zu vermeiden, da sie zur Bildung von Rezirkulationsgebieten (Totwassergebieten) führen, welche zu unbestimmten Aufenthaltszeiten des Fluidgemisches F_{123} in der Mischungskammer 40 führen und damit dessen Funktion beeinträchtigen. In der in Figur 10 dargestellten Ausführungsform ist die Mischungskammer 40 bzw. das Verhältnis der Tiefe t_{403} an der Auslassöffnung 403 zu der Tiefe t_{302} an der Auslassöffnung 302 jedoch so gestaltet, dass das potentielle Rezirkulationsgebiet nur vom dritten Fluid F_3 durchströmt wird. Dadurch wird nur das dritte Fluid F_3 rezirkuliert, für welches die Aufenthaltszeit in der Mischungskammer 40 irrelevant ist. Das Verhältnis der Tiefe t_{403} an der Auslassöffnung 403 zu der Tiefe t_{302} an der Auslassöffnung 302 ist abhängig von dem Geschwindigkeitsverhältnis des Fluids F_{12} und des Fluids F_3. In der in Figur 10 und 11 dargestellten Ausführungsvariante entspricht die Tiefe $t_{403} = 1{,}8\ t_{302}$ mit konstanter Breite von $b_{302} = b_{403}$.

Die Ausführungsform aus den Figuren 10 und 11 vereint strömungsmechanische Aspekte für eine schonende Mischung des intermediären Fluidgemischs F_{12} und des dritten Fluids F_3 mit einer minimalistischen Konstruktion.

Figur 12 zeigt eine weitere Ausführungsform. Diese unterscheidet sich von jener der Figuren 10 und 11 insbesondere in der Ausgestaltung des ersten Interaktionskanals 30 und der zweiten Mischungskammer 40.

Die zweite Mischungskammer 40 ist rohrförmig mit einer Krümmung ausgebildet. Konkret ist die Krümmung hier L-förmig mit zwei Abschnitten, die in einem Winkel von 90° zueinander angeordnet sind und jeweils in ein offenes Ende münden. Das Ende des ersten Abschnitts der rohrförmigen Mischungskammer 40 bildet die zweite Einlassöffnung 402, über die das dritte Fluid F_3 in die Mischungskammer 40 eintritt. Das Ende des zweiten Abschnitts der rohrförmigen Mischungskammer 40 bildet die Auslassöffnung 403, über die das Fluidgemisch F_{123} aus der Mischungskammer 40 austritt.

Der erste Interaktionskanal 30 ist ebenfalls rohrförmig ausgebildet und weist einen geringeren Durchmesser als die zweite Mischungskammer 40 auf. Der rohrförmige Interaktionskanal 30 und der zweite Abschnitt der rohrförmigen Mischungskammer 40 sind konzentrisch angeordnet und erstrecken sich entlang einer Achse, auf der auch die Auslassöffnung 403 liegt. Der erste Interaktionskanal 30 ragt im Bereich der Krümmung in die Mischungskammer 40 hinein. Dazu ist eine Öffnung in der Wandung der Mischungskammer 40 vorgesehen, die in Form und Größe der Querschnittsfläche des Interaktionskanals 30 entspricht. Die Auslassöffnung 302 des ersten Interaktionskanals 30, die gleichzeitig die erste Einlassöffnung 401 der Mischungskammer 40 ist, befindet sich stromaufwärts der Auslassöffnung 403. Das intermediäre Fluidgemisch F_{12} tritt über die erste Einlassöffnung 401 in die Mischungskammer 40.

In der Mischungskammer 40 strömt das intermediäre Fluidgemisch F_{12} in einem runden Strahl mit der mittleren Geschwindigkeit u_{302} und das dritte Fluid F_3 über den konzentrischen Ringspalt mit der mittleren Geschwindigkeit u_{401} auf Höhe der ersten Einlassöffnung 401. Dabei gilt für das Verhältnis der Geschwindigkeiten $0{,}5 < u_{401}/u_{302} < 2$. Die Geschwindigkeiten werden dabei über die Durchmesser/Querschnittsflächen der Rohre (die den ersten Interaktionskanal 30 und die zweite Mischungskammer 40 bilden) so eingestellt, dass sich bei dem für den Prozess erforderlichen Volumenstrom die gewünschten Geschwindigkeitsverhältnisse ergeben. Sollen beispielsweise die Volumenströme des dritten Fluids F_3 und des intermediären Fluidgemischs F_{12} in einem

Verhältnis 3:1 gemischt werden und sind die Querschnittsflächen der Rohre, die den ersten Interaktionskanal 30 und die zweite Mischungskammer 40 bilden, kreisrund, so wird ein Verhältnis des Durchmessers des äußeren Rohrs zum inneren Rohr von 2:1 gewählt, damit sich ein Flächenverhältnis von 3:1 von Ringspalt zum inneren Rohr ergibt.

Figur 13 zeigt schematisch den Ablauf eines Verfahrens zum kontinuierlichen Mischen von mehreren (3 oder mehr) Fluiden zum Erzeugen eines Fluidgemischs gemäß einer Ausführungsform. Gestrichelt oder gepunktet dargestellte Schritte stellen lediglich optionale Verfahrensschritte dar.

Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass in sehr kurzem zeitlichem Abstand unter Verwendung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 unterschiedliche Mischungstechniken miteinander kombiniert werden. Hierdurch wird eine hohe Reproduzierbarkeit erreicht und das Risiko für Fehler minimiert, wodurch eine gleichbleibende Qualität des erzeugten Fluidgemischs gewährleistet wird und die Kosten reduziert werden können.

In der ersten Mischungskammer 20 erfolgt eine schnelle/turbulente Durchmischung (Turbulenzgrad größer 0,1) des ersten und zweiten Fluids F_1, F_2 zum Erzeugen des intermediären Fluidgemischs F_{12}, welches in der zweiten Mischungskammer 40 zusammen mit dem dritten Fluid F3 (und weiteren Fluiden) einer quasilaminaren Mischung (Turbulenzgrad kleiner 0,1) mit geringen Scherraten unterzogen wird.

Die ersten Verfahrensschritte, die in Figur 13 mit P1.1, P2.1 und P3.1 bezeichnet werden, betreffen das erste Fluid F_1 und werden parallel zu den Verfahrensschritten P1.2, P2.2 die das zweite Fluid F_2 betreffen, sowie zu den Verfahrensschritten P1.3 und P2.3, welche das dritte Fluid F_3 betreffen, stattfinden. Je nach Ausführung können diese parallel auch zu den optionalen Verfahrensschritten P1.4 und P2.4 stattfinden, welche weitere Fluide betreffen.

Während der genannten Verfahrensschritte liegen das erste Fluid F_1, das zweite Fluid F_2, das dritte Fluid F_3 (und die weiteren Fluide) in getrennter Form vor.

Zunächst wird in den Verfahrensschritten P1.1, P1.2 und P1.3 (und optional P1.4) der Volumenstrom (Flussrate) des ersten Fluids F_1, des zweiten Fluids F_2 und des dritten Fluids F_3 (und der weiteren Fluide) eingestellt. Je nach Mischungsverhältnis von Fluid F_1 und Fluid F_2 werden deren Volumenströme eingestellt. Für den Fall, dass bei dem Mischvorgang

Partikel erzeugt werden, kann durch das Verhältnis der Volumenströme auch die Partikelgröße beeinflusst und eingestellt werden.

Das Verhältnis zwischen der Flussrate des ersten Fluids F_1 und der Flussrate des zweiten Fluids F_2 ist größer oder gleich 1:1 (z. B. 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, 5:1, 6:1, 7:1, 8:1, 9:1 oder 10:1 sowie Werte dazwischen). In anderen Fällen ist das Verhältnis zwischen der Flussrate des zweiten Fluids F_2 und der Flussrate des ersten Fluids F_1 größer als 1:1 (z. B. 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, 5:1, 6:1, 7:1, 8:1, 9:1 oder 10:1 sowie Werte dazwischen).

In den darauffolgenden Verfahrensschritten P2.1, P2.2 und P2.3 (und optional. P2.4) werden mittels geeigneter Pumpvorrichtungen (je nach Menge beispielsweise Spritzenpumpen, Mehrkolbenpumpen, Membranpumpen, Zahnradpumpen, Umlagepumpe, Schlauchpumpen oder andere Verdrängerpumpen) der Eingangsdruck des ersten Fluids F_1 (an der Einlassöffnung 101 des fluidischen Bauteils 10), der Eingangsdruck des zweiten Fluids F_2 (an der zweiten Einlassöffnung 202 der ersten Mischungskammer 20), der Eingangsdruck des dritten Fluids F_3 (an der zweiten Einlassöffnung 402 der zweiten Mischungskammer 40) (und optional die Eingangsdrücke der weiteren Fluide) eingestellt. Das erste, das zweite und dritte Fluid F_1, F_2, F_3 (und optional weitere Fluide) werden in die erste, zweite beziehungsweise dritte Zufuhrvorrichtung 60, 70, 80 (und optional weitere Zufuhrvorrichtungen) geleitet.

Nachdem das erste Fluid F_1 in die erste Zufuhrvorrichtung 60 eingeleitet worden ist, werden mit Hilfe der Zufuhrvorrichtungen 60 in Verfahrensschritten P3.1 die Strömungseigenschaften des ersten Fluids F_1 angepasst. So wird in P3.1 mit Hilfe des fluidischen Bauteils 10 eine Oszillation des ersten Fluids F_1 erzeugt. Die Oszillationsfrequenz ist in der Regel höher als 100 Hz. Vorteilhaft ist eine Oszillationsfrequenz von mehreren tausend Herz, wie beispielsweise 2000 Hz. Da sich die Oszillationsfrequenz in Abhängigkeit von der Größe des fluidischen Bauteils 10 stark ändern kann, ist es üblich die Oszillationsfrequenz dimensionslos als Strouhalzahl (St) anzugeben. Dazu wird die Oszillationsfrequenz f durch die mittlere Geschwindigkeit u_{102} an der Auslassöffnung 102 des fluidischen Bauteils 10 geteilt und mit der Breite b_{102} der Auslassöffnung 102 des fluidischen Bauteils 10 multipliziert, $St = f * b_{102}/ u_{102}$. Die so definierte Strouhalzahl kann im Bereich $0{,}001 < St < 1$ liegen, vorzugsweise $0{,}005 < St < 0{,}5$ und besonders bevorzugt $0{,}01 < St < 0{,}05$. Somit wird an der Auslassöffnung 102 des fluidischen Bauteils 10 ein passiv oszillierendes erstes Fluid F_1 bereitgestellt. Der Oszillationswinkel α des ersten Fluids F_1 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°.

Im Verfahrensschritt P4 werden der oszillierende erste Fluidstrahl F_1, der von der ersten Zufuhrvorrichtung 60 bereitgestellt wird, und der (quasi)stationäre zweite Fluidstrahl F_2, der von der zweiten Zufuhrvorrichtung 70 bereitgestellt wird, über die erste beziehungsweise zweite Einlassöffnung 201, 202 in die erste Mischungskammer 20 geleitet und dort zu dem intermediären Fluidgemisch F_{12} 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 erste und das zweite Fluid F_1, F_2 mit einem kontinuierlichen Volumenstrom in die erste Mischungskammer 20 geleitet.

In Verfahrensschritt P5 wird das Fluidgemisch F_{12}, das am Ende des Mischvorgangs P4 aus der ersten Mischungskammer 20 über deren Auslassöffnung 203 austritt, in einen sich stromabwärts anschließenden ersten Interaktionskanal 30 der Länge l_{30} geleitet, in dem die Durchmischung weiter fortgesetzt wird, bis nach einer charakteristischen Mischzeit t_{mix} eine hinreichend homogene Mischung der beiden Fluide F_1, F_2 vorliegt. Sofern während des Mischvorgangs P4 Partikel (z. B. Lipid Nanopartikel, Polymernanopartikel, Liposome) oder Kristalle entstanden sind, haben diese in dem ersten Interaktionskanal 30 Zeit zu reifen.

Das aus dem ersten Interaktionskanal 30 austretende intermediäre Fluidgemisch F_{12} wird in Verfahrensschritt P6.1 in die zweite Mischungskammer 40 geleitet und mit dem dritten Fluid F_3 (und optional den weiteren Fluiden nacheinander) vereinigt. Hierbei können das dritte Fluid F_3 und die weiteren Fluide unterschiedlich oder identisch sein.

Um eine schonende Mischung zu erreichen, erfolgt das Zusammenführen des dritten Fluids F_3 und des intermediären Fluidgemisches F_{12} unter spezifischen fluidmechanischen Kriterien, welche im Folgenden an verschiedenen Ausführungsbeispielen gezeigt werden. Um die Scherraten in der zweiten Mischungskammer 40 möglichst gering zu halten, müssen die Geschwindigkeiten des dritten Fluids F_3 und des intermediären Fluidgemisches F_{12} in Bezug auf Betrag und Richtung möglichst ähnlich sein. Sofern während des Mischvorgangs P4 Partikel entstanden sind, kann der Prozessschritt P6.1 der Stabilisierung der Partikel dienen. Die schonende Mischung mit geringen Scherraten minimiert den mechanischen Stress der Partikel, wodurch eine bessere Partikelqualität erreicht werden kann.

In einer Ausführungsvariante wird eine erhöhte Stabilität der Partikel (z. B. Lipid Nanopartikel) erreicht, indem der Partikelstrom (intermediäres Fluidgemisch F_{12}) mit einer wässrigen Lösung, z. B. Pufferlösung, (drittes Fluid F_3) verdünnt wird. In manchen Verfahrensvarianten ist das verdünnende Fluid (drittes Fluid F_3) die gleiche Pufferlösung, die auch im ersten Fluid F_1 zum Einsatz kommt. In manchen Verfahrensvarianten unterscheidet sich das verdünnende Fluid (drittes Fluid F_3) von der Pufferlösung, die im ersten Fluid F_1 zum Einsatz kommt. Hierbei wird der Lösungsmittelanteil des intermediären Fluidgemischs F_{12} reduziert, was zu einer erhöhten Stabilität der Nanopartikel führt. Für manche Nanopartikel führt ein Lösungsmittelanteil von unter 50 % zu einer erhöhten Partikelstabilität. In einer anderen Ausführungsvariante führt ein Lösungsmittelanteil von unter 25 % zu einer erhöhten Stabilität der Nanopartikel. In einer anderen Ausführungsvariante führt ein Lösungsmittelanteil von unter 10 % zu einer erhöhten Stabilität der Nanopartikel

In einer Ausführungsvariante wird die Stabilität der Partikel (z. B. Lipid-Nanopartikel) erhöht, indem der pH-Wert des Partikelstroms (intermediäres Fluidgemisch F_{12}) aus Mischprozess P4 durch Verdünnung mit einem entsprechenden Medium (drittes Fluid F_3) erhöht, erniedrigt bzw. neutralisiert wird (z. B. durch saure oder basischen Puffer-Lösung).

In einer Ausführungsvariante wird die Stabilität der Partikel (z. B. Polymer Nanopartikel) erhöht, indem dem Partikelstrom (intermediäres Fluidgemisch F_{12}) aus Mischprozess P4 ein verdünnendes Medium (drittes Fluid F_3) zugesetzt wird, das eine oberflächenaktive Substanz enthält. Bei der Oberflächenaktiven Substanz kann es sich z. B. um Polaxamere oder Polyvinylalkohole handeln, ist aber nicht auf diese Substanzen beschränkt.

In einer Ausführungsvariante können die zuvor genannten Ausführungsvarianten kombiniert werden, wobei mehrere Fluide (z. B. zwei; aber nicht limitiert auf zwei) nacheinander dem Partikelstrom (intermediäres Fluidgemisch F_{12}) aus Mischprozess P4 zugeführt werden. So wird beispielsweise erst das dritte Fluid F_3 dem Partikelstrom zugeführt, bevor dem hieraus hervorgehenden Fluidgemisch F_{123} ein weiteres Fluid zugeführt wird.

Das Verhältnis zwischen der Flussrate des intermediären Fluidgemischs F_{12} und der Flussrate des dritten Fluids F_3 ist größer oder gleich 1:1 (z. B. 1:1, 2:1, 3:1, 4:1 oder 5:1 sowie Werte dazwischen). In anderen Fällen ist das Verhältnis zwischen der Flussrate des

dritten Fluids F_3 und der Flussrate des intermediären Fluidgemischs F_{12} größer als 1:1 (z. B. 2:1, 3:1, 4:1 oder 5:1 sowie Werte dazwischen).

In Verfahrensschritt P7.1 wird das Fluidgemisch F_{123}, das am Ende des Mischvorgangs P6.1 aus der zweiten Mischungskammer 40 über deren Auslassöffnung 403 austritt, in einen sich stromabwärts anschließenden zweiten Interaktionskanal 50 der Länge l_{50} geleitet, in dem die Durchmischung aus der zweiten Mischungskammer 40 weiter fortgesetzt wird.

Dieser zweite Mischprozess in der zweiten Mischungskammer 40 kann kaskadiert werden (optionale Verfahrensschritte P6.2 und P7.2), indem mehrere zweite Mischungskammern 40 (ggf. jeweils kombiniert mit einem zweiten Interaktionskanal 50) aneinandergereiht werden. In P6.2 und P7.2 werden analog zu P6.1 und P7.1 ein oder mehrere weitere Fluide mit dem aus dem vorhergehenden Mischvorgang generierten Fluidgemisch vereinigt. Die in den optionalen Schritten zugesetzten Fluide identisch mit dem dritten Fluid F_3 sein oder sich von diesem unterscheiden.

Nach dem Verfahrensschritt P7.1 (optional P7.2) folgt Verfahrensschritt P8, indem das erzeugte Fluidgemisch der Vorrichtung 1 entnommen wird. Dem Verfahrensschritt P8 kann eine thermische Behandlung (z. B. Kühlen) des erzeugten Fluidgemisches und/oder das Abtrennen einer Komponente (z. B. eines Lösemittels) von dem Fluidgemisch folgen.

Zur Durchführung des Verfahrens sind Prozessparameter festzulegen. Diese hängen von der Größe der Vorrichtung ab. Die Größe der Vorrichtung beeinflusst die Fluidgeschwindigkeit, welche Einschränkungen der Volumenströme bedingt. Als Referenz dient die Vorrichtung aus Figur 1, wobei die erste Einlassöffnung 201 der ersten Mischungskammer eine Breite b_{201} und eine Höhe h_{201} aufweist, wobei gilt $h_{201} = b_{201}$.

b_{201}	Volumenstrom V_1 des ersten Fluids F_1
0,1mm	1 ml/min < V_1 < 150 ml/min vorzugsweise 2 ml/min < V_1 < 75 ml/min besonders bevorzugt 4 ml/min < V_1 < 38 ml/min
0,15mm	1,5 ml/min < V_1 < 340 ml/min vorzugsweise 3 ml/min < V_1 < 170 ml/min besonders bevorzugt 6 ml/min < V_1 < 85 ml/min
0,3mm	6 ml/min < V_1 < 1360 ml/min vorzugsweise 12 ml/min < V_1 < 680 ml/min

	besonders bevorzugt 24 ml/min < V_1 < 340 ml/min
0,6mm	24 ml/min < V_1 < 5400 ml/min vorzugsweise 48 ml/min < V_1 < 2700 ml/min besonders bevorzugt 96 ml/min < V_1 < 1350 ml/min
1,2mm	95 ml/min < V_1 < 21600 ml/min vorzugsweise 190 ml/min < V_1 < 10800 ml/min besonders bevorzugt 380 ml/min < V_1 < 5400 ml/min
1,5mm	150 ml/min < V_1 < 34000 ml/min vorzugsweise 300 ml/min < V_1 < 17000 ml/min besonders bevorzugt 600 ml/min < V_1 < 8500 ml/min

Die Volumenströme der weiteren Fluidströme ergeben sich dann aus den jeweiligen Verhältnissen der Volumenströme für bestimmte Ausführungsformen des Prozesses.

In den Figuren sind verschiedene Ausführungsformen der Vorrichtung 1 dargestellt, die jeweils einer konkreten Kombination von fluidischem Bauteil 10, erster Mischungskammer 20, erstem Interaktionskanal 30, zweiter Mischungskammer 40 und zweitem Interaktionskanal 50 entsprechen. Über die konkret dargestellten Kombinationen hinaus sind die genannten Komponenten der einzelnen Ausführungsformen miteinander kombinierbar. Auch ist denkbar, dass auf den zweiten Interaktionskanal verzichtet wird.

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.

* * * *

Bezugszeichen

F_1 erstes Fluid
F_2 zweites Fluid
F_3 drittes Fluid
F_{12} intermediäres Fluidgemisch
F_{123} Fluidgemisch

R_1 erste Fluidstromrichtung
R_2 zweite Fluidstromrichtung
R_3 dritte Fluidstromrichtung
R_{12} Fluidgemischstromrichtung

1 Vorrichtung zum Erzeugen eines Fluidgemischs

10 fluidisches Bauteil
11a, 11b innere Blöcke
100 Strömungskammer
101 Einlassöffnung
102 Auslassöffnung
103 Hauptstromkanal
104a, 104b Nebenstromkanal
106 Ansatz
107 Auslasskanal

20 erste Mischungskammer
201 erste Einlassöffnung
202 zweite Einlassöffnung
203 Auslassöffnung
206 Einlasskanal
207 Auslasskanal

30 erster Interaktionskanal
301 Einlassöffnung
302 Auslassöffnung
303 Umlenkung
304 Umlenkung

305, 307, 308 Abschnitte des ersten Interaktionskanals

40 zweite Mischungskammer
401 erste Einlassöffnung
402 zweite Einlassöffnung
403 Auslassöffnung

50 zweiter Interaktionskanal
501 Einlassöffnung
502 Auslassöffnung

60 erste Zufuhrvorrichtung

70 zweite Zufuhrvorrichtung
701 Zufuhrkanal

80 dritte Zufuhrvorrichtung
801 Zufuhrkanal

Patentansprüche

1. Vorrichtung (1) zum Erzeugen eines Fluidgemischs umfassend
   - eine erste Mischungskammer (20) mit einer ersten Einlassöffnung (201), über die ein erstes Fluid (F_1) entlang einer ersten Fluidstromrichtung (R_1) in die erste Mischungskammer (20) einleitbar ist, einer zweiten Einlassöffnung (202), über die ein zweites Fluid (F_2) entlang einer zweiten Fluidstromrichtung (R_2) in die erste Mischungskammer (20) einleitbar ist, und einer Auslassöffnung (203), über die ein intermediäres Fluidgemisch (F_{12}) umfassend das erste Fluid (F_1) und das zweite Fluid (F_2) entlang einer Fluidgemischstromrichtung (R_{12}) ableitbar ist, wobei stromaufwärts der Auslassöffnung (203) ein Auslasskanal (207) ausgebildet ist, dessen Querschnittsfläche, die quer zur Fluidgemischstromrichtung (R_{12}) definiert ist, entlang der Fluidgemischstromrichtung (R_{12}) in Richtung der Auslassöffnung (203) abnimmt,
   - eine zweite Mischungskammer (40) mit einer ersten Einlassöffnung (401), über die das intermediäre Fluidgemisch (F_{12}) entlang der Fluidgemischstromrichtung (R_{12}) in die zweite Mischungskammer (40) einleitbar ist, einer zweiten Einlassöffnung (402), über die ein drittes Fluid (F_3) entlang einer dritten Fluidstromrichtung (R_3) in die zweite Mischungskammer (40) einleitbar ist, und einer Auslassöffnung (403), über die das Fluidgemisch (F_{123}) umfassend das erste Fluid (F_1), das zweite Fluid (F_2) und das dritte Fluid (F_3) ableitbar ist, und
   - eine erste Zufuhrvorrichtung (60), die fluidisch mit der ersten Mischungskammer (20) über die erste Einlassöffnung (201) verbunden und ausgebildet ist, das erste Fluid (F_1) entlang der ersten Fluidstromrichtung (R_1) in die erste Mischungskammer (20) zu leiten, wobei die erste Zufuhrvorrichtung (60) ein fluidisches Bauteil (10) umfasst, welches aufweist
     - eine Auslassöffnung (102), die mit der ersten Einlassöffnung (201) der ersten Mischungskammer (20) fluidisch verbunden ist, und
     - mindestens ein Mittel (104a, 104b) zur gezielten Richtungsänderung des ersten Fluids (F_1), das das fluidische Bauteil (10) durchströmt, zur Ausbildung einer räumlichen Oszillation des ersten Fluids (F_1) an der Auslassöffnung (102), wobei das Mittel (104a, 104b) zur gezielten Richtungsänderung des ersten Fluids (F_1) ausgebildet ist, eine Oszillation des ersten Fluids (F_1) in einer Oszillationsebene herbeizuführen,
   - eine zweite Zufuhrvorrichtung (70), die fluidisch mit der ersten Mischungskammer (20) über die zweite Einlassöffnung (202) verbunden und ausgebildet ist, das

zweite Fluid (F_2) entlang der zweiten Fluidstromrichtung (R_2) in die Mischungskammer (20) zu leiten, und

- eine dritte Zufuhrvorrichtung (80), die fluidisch mit der zweiten Mischungskammer (40) über die zweite Einlassöffnung (402) verbunden und ausgebildet ist, das dritte Fluid (F_3) entlang der dritten Fluidstromrichtung (R_3) in die zweite Mischungskammer (40) zu leiten, wobei die dritte Zufuhrvorrichtung (80) einen Zufuhrkanal (801) aufweist, der sich entlang der dritten Fluidstromrichtung (R_3) erstreckt und in die zweite Einlassöffnung (402) der zweiten Mischungskammer (40) mündet, wobei sich der Zufuhrkanal (801) in einer Ebene erstreckt, die parallel zu der Oszillationsebene ist,

wobei zwischen der ersten Mischungskammer (20) und der zweiten Mischungskammer (40) ein erster Interaktionskanal (30) angeordnet ist, der die Auslassöffnung (203) der ersten Mischungskammer (20) und die erste Einlassöffnung (401) der zweiten Mischungskammer (40) miteinander verbindet und der eine Querschnittsfläche quer zur Fluidgemischstromrichtung (R_{12}) aufweist, die zumindest über einen Abschnitt unmittelbar stromabwärts der Auslassöffnung (203) der ersten Mischungskammer (20) konstant ist.

2. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** dass der erste Interaktionskanal (30) einen Abschnitt aufweist, in dem die Querschnittsfläche quer zur Fluidgemischstromrichtung (R_{12}) stromabwärts zunimmt.

3. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet,** dass die dritte Zufuhrvorrichtung (80) vorgesehen und ausgebildet ist, das dritte Fluid (F_3) als (quasi)stationären Strom in die zweite Mischungskammer (40) zu leiten.

4. Vorrichtung (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass der Zufuhrkanal (801) geradlinig ist.

5. Vorrichtung (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass die erste Zufuhrvorrichtung (60) ausgebildet ist, die gezielte Richtungsänderung des ersten Fluids (F_1) herbeizuführen, so dass sich das erste Fluid (F_1) innerhalb der ersten Mischungskammer (20) zeitlich veränderlich bewegt, wobei das erste Fluid (F_1) eine Bewegungskomponente entlang der ersten Fluidstromrichtung (R_1) und eine Bewegungskomponente quer zur ersten Fluidstromrichtung (R_1) aufweist, wobei sich das erste Fluid (F_1) innerhalb der ersten Mischungskammer (20) insbesondere periodisch zeitlich veränderlich bewegt.

6. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass das fluidische Bauteil (10) eine Strömungskammer (100) umfasst, die von dem ersten Fluid (F_1) 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 (F_1) aufweist.

7. Vorrichtung (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass die erste Mischungskammer (20) eine Längsachse (L) aufweist, die sich entlang der ersten Fluidstromrichtung (R_1) erstreckt, und dass sich die Querschnittsfläche der Mischungskammer (20), die quer zur Längsachse (L) definiert ist, ausgehend von der ersten Einlassöffnung (201) der ersten Mischungskammer (20) in einem einen Einlasskanal (206) bildenden, stromaufwärtigen Endabschnitt der ersten Mischungskammer (20) mit zunehmendem Abstand von der ersten Einlassöffnung (201) zunimmt.

8. Vorrichtung (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass sich an die Auslassöffnung (403) der zweiten Mischungskammer (40) ein zweiter Interaktionskanal (50) anschließt.

9. Vorrichtung (1) zum Erzeugen eines Fluidgemischs umfassend
   - eine erste Mischungskammer (20) mit einer ersten Einlassöffnung (201), über die ein erstes Fluid (F_1) entlang einer ersten Fluidstromrichtung (R_1) in die erste Mischungskammer (20) einleitbar ist, einer zweiten Einlassöffnung (202), über die ein zweites Fluid (F_2) entlang einer zweiten Fluidstromrichtung (R_2) in die erste Mischungskammer (20) einleitbar ist, und einer Auslassöffnung (203), über die ein intermediäres Fluidgemisch (F_{12}) umfassend das erste Fluid (F_1) und das zweite Fluid (F_2) entlang einer Fluidgemischstromrichtung (R_{12}) ableitbar ist,
   - eine zweite Mischungskammer (40) mit einer ersten Einlassöffnung (401), über die das intermediäre Fluidgemisch (F_{12}) entlang der Fluidgemischstromrichtung (R_{12}) in die zweite Mischungskammer (40) einleitbar ist, einer zweiten Einlassöffnung (402), über die ein drittes Fluid (F_3) entlang einer dritten Fluidstromrichtung (R_3) in die zweite Mischungskammer (40) einleitbar ist, und einer Auslassöffnung (403), über die das Fluidgemisch (F_{123}) umfassend das erste Fluid (F_1), das zweite Fluid (F_2) und das dritte Fluid (F_3) ableitbar ist,

- eine erste Zufuhrvorrichtung (60), die fluidisch mit der ersten Mischungskammer (20) über die erste Einlassöffnung (201) verbunden und ausgebildet ist, das erste Fluid (F_1) entlang der ersten Fluidstromrichtung (R_1) in die erste Mischungskammer (20) zu leiten, wobei die erste Zufuhrvorrichtung (60) ein fluidisches Bauteil (10) umfasst, welches aufweist
    - eine Auslassöffnung (102), die mit der ersten Einlassöffnung (201) der ersten Mischungskammer (20) fluidisch verbunden ist, und
    - mindestens ein Mittel (104a, 104b) zur gezielten Richtungsänderung des ersten Fluids (F_1), das das fluidische Bauteil (10) durchströmt, insbesondere zur Ausbildung einer räumlichen Oszillation des ersten Fluids (F_1) an der Auslassöffnung (102),

wobei die erste Einlassöffnung (401) der zweiten Mischungskammer (40) eine Querschnittsfläche quer zur Fluidgemischtromrichtung (R_{12}) aufweist, die kleiner ist als die Querschnittsfläche der zweiten Einlassöffnung (402) der zweiten Mischungskammer (40), wobei die Querschnittsfläche der zweiten Einlassöffnung (402) der zweiten Mischungskammer (40) quer zur dritten Fluidstromrichtung (R_3) definiert ist und/oder

wobei die Summe der Querschnittsfläche der ersten Einlassöffnung (401) der zweiten Mischungskammer (40) und der Querschnittsfläche der zweiten Einlassöffnung (402) der zweiten Mischungskammer (40) ähnlich groß oder größer ist als die Querschnittsfläche der Auslassöffnung (403) der zweiten Mischungskammer (40).

10. Vorrichtung (1) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet,** dass das Mittel (104a, 104b) zur gezielten Richtungsänderung des ersten Fluids (F_1) ausgebildet ist, eine Oszillation des ersten Fluids (F_1) in einer Oszillationsebene herbeizuführen.

11. Vorrichtung (1) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet,** dass die zweite Mischungskammer (40) eine Ausdehnung parallel zu der Oszillationsebene und quer zur Fluidgemischstromrichtung (R_{12}) hat, die konstant ist.

12. Vorrichtung (1) nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet,** dass die zweite Mischungskammer (40) eine Ausdehnung parallel zu der Oszillationsebene und quer zur Fluidgemischstromrichtung (R_{12}) hat, die gleich groß ist wie die Ausdehnung parallel zu der Oszillationsebene und quer zur Fluidgemischstromrichtung (R_{12}) der Auslassöffnung (203) der ersten Mischungskammer (20) und/oder der ersten Einlassöffnung (401) der zweiten Mischungskammer (40).

13. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet,** dass die zweite Mischungskammer (40) eine Ausdehnung quer zu der Oszillationsebene hat, die größer ist als die Ausdehnung der ersten Einlassöffnung (401) der zweiten Mischungskammer (40) quer zu der Oszillationsebene.

14. Vorrichtung (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Vorrichtung (1) ferner umfasst:
    - eine zweite Zufuhrvorrichtung (70), die fluidisch mit der ersten Mischungskammer (20) über die zweite Einlassöffnung (202) verbunden und ausgebildet ist, das zweite Fluid (F_2) entlang der zweiten Fluidstromrichtung (R_2) in die Mischungskammer (20) zu leiten, und
    - eine dritte Zufuhrvorrichtung (80), die fluidisch mit der zweiten Mischungskammer (40) über die zweite Einlassöffnung (402) verbunden und ausgebildet ist, das dritte Fluid (F_3) entlang der dritten Fluidstromrichtung (R_3) in die zweite Mischungskammer (40) zu leiten.

15. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 9 bis 14, **dadurch gekennzeichnet,** dass die erste Zufuhrvorrichtung (60) ausgebildet ist, die gezielte Richtungsänderung des ersten Fluids (F_1) herbeizuführen, so dass sich das erste Fluid (F_1) innerhalb der ersten Mischungskammer (20) zeitlich veränderlich bewegt, wobei das erste Fluid (F_1) eine Bewegungskomponente entlang der ersten Fluidstromrichtung (R_1) und eine Bewegungskomponente quer zur ersten Fluidstromrichtung (R_1) aufweist, wobei sich das erste Fluid (F_1) innerhalb der ersten Mischungskammer (20) insbesondere periodisch zeitlich veränderlich bewegt.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 15, **dadurch gekennzeichnet,** dass das fluidische Bauteil (10) eine Strömungskammer (100) umfasst, die von dem ersten Fluid (F_1) 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 (F_1) aufweist.

17. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 9 bis 16, **dadurch gekennzeichnet,** dass die erste Mischungskammer (20) eine Längsachse (L) aufweist, die sich entlang der ersten Fluidstromrichtung (R_1) erstreckt, und dass sich die Querschnittsfläche der ersten Mischungskammer (20), die quer zur Längsachse (L) definiert ist, ausgehend von der ersten Einlassöffnung (201) der ersten Mischungskammer (20) in einem einen

Einlasskanal (206) bildenden, stromaufwärtigen Endabschnitt der ersten Mischungskammer (20) mit zunehmendem Abstand von der ersten Einlassöffnung (201) zunimmt und/oder dass die Querschnittsfläche in einem einen Auslasskanal (207) bildenden, stromabwärtigen Endabschnitt der ersten Mischungskammer (20) mit zunehmendem Abstand von der ersten Einlassöffnung (201) abnimmt.

18. Vorrichtung (1) nach Anspruch 10 und nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Ausdehnung der ersten Mischungskammer (20) in der Oszillationsebene und quer zur Längsachse (L) ausgehend von der ersten Einlassöffnung (201) der ersten Mischungskammer (20), insbesondere stromabwärts der zweiten Einlassöffnung (202) der ersten Mischungskammer (20), in dem Einlasskanal (206) mit zunehmendem Abstand von der ersten Einlassöffnung (201) zunimmt beziehungsweise dass die Ausdehnung der ersten Mischungskammer (20) in der Oszillationsebene und quer zur Längsachse (L) in dem Auslasskanal (207) mit zunehmendem Abstand von der ersten Einlassöffnung (201) abnimmt.

19. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 9 bis 18, **dadurch gekennzeichnet,** dass zwischen der ersten Mischungskammer (20) und der zweiten Mischungskammer (40) ein erster Interaktionskanal (30) angeordnet ist, der die Auslassöffnung (203) der ersten Mischungskammer (20) und die erste Einlassöffnung (401) der zweiten Mischungskammer (40) miteinander verbindet und der insbesondere eine Querschnittsfläche quer zur Fluidgemischstromrichtung (R_{12}) aufweist, die zumindest abschnittsweise konstant ist.

20. Vorrichtung (1) nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet,** dass der erste Interaktionskanal (30) eine kleinere Querschnittsfläche quer zur Fluidgemischstromrichtung (R_{12}) aufweist als die zweite Mischungskammer (40).

21. Vorrichtung (1) nach Anspruch 10 und nach einem der Ansprüche 19 und 20, **dadurch gekennzeichnet,** dass der erste Interaktionskanal (30) eine Ausdehnung quer zur Oszillationsebene aufweist, die kleiner ist als die entsprechende Ausdehnung der zweiten Mischungskammer (40), wobei insbesondere die Ausdehnung des ersten Interaktionskanals (30) parallel zu der Oszillationsebene und quer zur Fluidgemischstromrichtung (R_{12}) und die entsprechende Ausdehnung der zweiten Mischungskammer (40) gleich groß sind.

22. Vorrichtung (1) nach Anspruch 10 und nach einem der Ansprüche 19 bis 21, **dadurch gekennzeichnet,** dass der erste Interaktionskanal (30) eine Ausdehnung quer zur Oszillationsebene aufweist, die kleiner ist als die Ausdehnung parallel zur Oszillationsebene und quer zur Fluidgemischstromrichtung (R_{12}).

23. Verfahren zum Erzeugen eines Fluidgemischs, das folgende Schritte umfasst,
- Bereitstellen einer Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 22, eines ersten Fluids (F_1), eines zweiten Fluids (F_2) und eines dritten Fluids (F_3),
- gleichzeitiges Einleiten des ersten Fluids (F_1) mit einem ersten Volumenstrom über die erste Zufuhrvorrichtung (60) in die erste Mischungskammer (20), des zweiten Fluids (F_2) mit einem zweiten Volumenstrom über die zweite Zufuhrvorrichtung (70) in die erste Mischungskammer (20) und des dritten Fluids (F_3) mit einem dritten Volumenstrom über die dritte Zufuhrvorrichtung (80) in die zweite Mischungskammer (40), und
- Ableiten des Fluidgemischs (F_{123}) umfassend das erste Fluid (F_1), das zweite Fluid (F_2) und das dritte Fluid (F_3) aus der zweiten Mischungskammer (40) über deren Auslassöffnung (403).

24. Verfahren nach Anspruch 23, **dadurch gekennzeichnet,** dass der erste Volumenstrom größer ist als der zweite Volumenstrom oder dass der erste Volumenstrom und der zweite Volumenstrom gleich groß sind.

25. Verfahren nach Anspruch 23 oder 24, **dadurch gekennzeichnet,** dass das intermediäre Fluidgemisch (F_{12}) mit einem Volumenstrom in die zweite Mischungskammer (40) eintritt, der größer ist als der dritte Volumenstrom oder gleich groß ist wie der dritte Volumenstrom.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 25, **dadurch gekennzeichnet,** dass das Einleiten des ersten Fluids (F_1) in die erste Mischungskammer (20), das Einleiten des zweiten Fluids (F_2) in die erste Mischungskammer (20) und das Einleiten des dritten Fluids (F_3) in die zweite Mischungskammer (40) jeweils kontinuierlich erfolgen.

27. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 26, **dadurch gekennzeichnet,** dass das erste Fluid (F_1) und das dritte Fluid (F_3) identisch oder unterschiedlich sind.

28. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 27, **dadurch gekennzeichnet,** dass das dritte Fluid (F_3) zur Einstellung eines pH-Werts, einer Partikeldichte oder eines

Lösungsmittelgehalts im intermediären Fluidgemisch (F_{12}) dient und/oder eine oberflächenaktive Substanz umfasst.

29. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 28, **dadurch gekennzeichnet,** dass sich das erste Fluid (F_1) und das zweite Fluid (F_2) hinsichtlich chemischer Zusammensetzung und/oder Konzentration einzelner Bestandteile unterscheiden.

30. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 29, **dadurch gekennzeichnet,** dass das erste Fluid (F_1) eine wässrige Pufferlösung, insbesondere in Kombination mit einer oder mehreren Nukleinsäuren, umfasst und dass das zweite Fluid (F_2) ein Polymer, einen pharmazeutischen Wirkstoff oder ein Polymer-Wirkstoff-Konjugat oder ein Lipid, jeweils in einem Lösungsmittel, umfasst.