

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 50482/2014 (51) Int. Cl.: **B05B 1/32** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 10.07.2014 **B05B 1/30** (2006.01)
(45) Veröffentlicht am: 15.08.2018 **B05B 1/06** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
EP 0520571 A1
US 2005045750 A1

(73) Patentinhaber:
Technische Universität Graz
8010 Graz (AT)

(72) Erfinder:
Brenn Günter Dr.Ing.habil.
8042 Graz (AT)
Salman Patrick Dipl.Ing.
4030 Linz (AT)

(74) Vertreter:
Kliment & Henhapel Patentanwälte OG
1010 Wien (AT)

(54) **Vorrichtung und Verfahren zur Zerstäubung einer Flüssigkeit**

(57) Vorrichtung zur Zerstäubung einer Flüssigkeit. Um insbesondere auf ein zusätzliches Fluid zur Zerteilung eines Stroms der Flüssigkeit in Tröpfchen verzichten zu können, ist es erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Vorrichtung einen Strömungskanal (3) umfasst, welcher in einem Betriebszustand der Vorrichtung ausschließlich von der Flüssigkeit durchströmbar ist, wobei der Strömungskanal (3) einen Austrittsabschnitt (13) aufweist, welcher Austrittsabschnitt (13) zumindest abschnittsweise von einer ersten Fläche (6) und einer zweiten Fläche (7) begrenzt wird, wobei die Vorrichtung weiters einen Austrittsquerschnitt (4) mit einer Breite (l) zum Austreten der Flüssigkeit aus dem Austrittsabschnitt (13) aufweist, wobei weiters die erste Fläche (6) und/oder die zweite Fläche (7) gekrümmt sind/ist, um eine zentrifugale Instabilität der Strömung der Flüssigkeit mit Wirbeln im Austrittsabschnitt (13) zu erzeugen und anwachsen zu lassen, und wobei die Krümmung der ersten Fläche (6) und/oder der zweiten Fläche (7) und die Breite (l) des Austrittsquerschnitts (4) derart aufeinander abgestimmt sind, um ein Austreten der Flüssigkeit durch den Austrittsquerschnitt (4) in Form von entlang von Wirbelachsen (2) der Wirbel verlaufenden Flüssigkeitsstrahlen (11) zu ermöglichen.

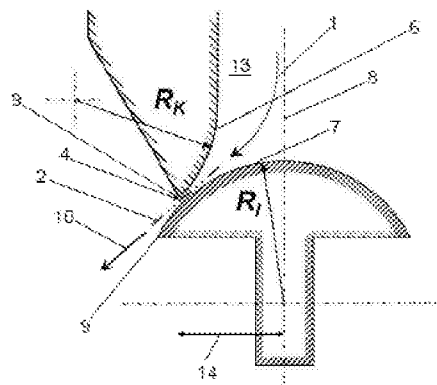


Fig. 3

Beschreibung

VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR ZERSTÄUBUNG EINER FLÜSSIGKEIT

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Zerstäubung einer Flüssigkeit, die Vorrichtung umfassend einen Strömungskanal, welcher in einem Betriebszustand der Vorrichtung ausschließlich von der Flüssigkeit durchströmbar ist, wobei der Strömungskanal einen Austrittsabschnitt aufweist, welcher Austrittsabschnitt zumindest abschnittsweise von einer ersten Fläche und einer zweiten Fläche begrenzt wird, wobei die Vorrichtung weiters einen Austrittsquerschnitt zum Austreten der Flüssigkeit aus dem Austrittsabschnitt aufweist, wobei eine Randlinie des Austrittsquerschnitts zumindest abschnittsweise in der ersten Fläche und/oder in der zweiten Fläche verläuft und wobei der Austrittsquerschnitt eine Breite aufweist, welche einem geringsten Abstand der ersten Fläche zur zweiten Fläche entspricht, wobei dieser Abstand in einer Schnittebene gemessen ist, in welcher Schnittebene eine Längsachse des Austrittsabschnitts verläuft, wobei weiters die erste Fläche und/oder die zweite Fläche gekrümmt sind/ist, um eine zentrifugale Instabilität der Strömung der Flüssigkeit mit Wirbeln im Austrittsabschnitt zu erzeugen und anwachsen zu lassen, und wobei die Krümmung der ersten Fläche und/oder der zweiten Fläche und die Breite des Austrittsquerschnitts derart aufeinander abgestimmt sind, um ein Austreten der Flüssigkeit durch den Austrittsquerschnitt in Form von entlang von Wirbelachsen der Wirbel verlaufenden Flüssigkeitsstrahlen zu ermöglichen.

[0002] Weiters betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Zerstäubung einer Flüssigkeit, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

[0003] - Erzeugen einer Strömung der Flüssigkeit durch einen Strömungskanal, wobei lediglich die Flüssigkeit durch den Strömungskanal strömt und wobei die Flüssigkeit aus einem Austrittsabschnitt des Strömungskanals durch einen Austrittsquerschnitt austritt;

[0004] - Bildung von Flüssigkeitsstrahlen am Austrittsquerschnitt durch Erzeugen und Anwachsenlassen einer zentrifugalen Instabilität der Strömung der Flüssigkeit im Austrittsabschnitt mit Wirbeln, wobei die Flüssigkeitsstrahlen im Austrittsquerschnitt entlang von Wirbelachsen der Wirbel verlaufen und wobei die Flüssigkeitsstrahlen derart dimensioniert werden, dass die Flüssigkeitsstrahlen in weiterer Folge aufgrund der Plateau-Rayleigh-Instabilität zu Tröpfchen zerfallen, wobei für die Erzeugung der zentrifugalen Instabilität die strömende Flüssigkeit im Austrittsabschnitt entlang zumindest einer gekrümmten Fläche geführt wird, welche gekrümmte Fläche den Austrittsabschnitt begrenzt und in welcher eine Randlinie des Austrittsquerschnitts zumindest abschnittsweise verläuft.

[0005] Schließlich betrifft die vorliegende Erfindung die Verwendung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung.

STAND DER TECHNIK

[0006] Flüssigkeiten werden in vielen technischen Anwendungen in zerstäubter Form, d.h. in Form von Flüssigkeitströpfchen (auch als „Spray“ bezeichnet), eingesetzt. Dabei ist es bei vielen Anwendungen wünschenswert, dass die Flüssigkeitströpfchen möglichst gleich groß („monodispers“) sind.

[0007] Zur Umwandlung eines zusammenhängenden Flüssigkeitsstroms in einzelne Tröpfchen sind aus dem Stand der Technik Verfahren bzw. Vorrichtungen bekannt, die als aufwendig bezeichnet werden müssen, da ein zusätzliches Fluid zur Zerteilung des Flüssigkeitsstroms in einzelne Tröpfchen verwendet wird. So sind beispielsweise aus der US 5679135 A oder der US 5129583 A Düsen zur Zerstäubung einer Flüssigkeit bekannt, bei welchen neben der Flüssigkeit ein Gas in die Düse eingeleitet wird, um eine Zerstäubung der Flüssigkeit beim Austritt aus der Düse zu bewirken.

[0008] Schließlich sind bekannte Verfahren bzw. Düsen nur bedingt in der Lage, hohe Anforderungen betreffend Monodispersität der Tröpfchen zu erfüllen.

[0009] Aus der EP 0520571 A1 ist eine Düse zum Zerstäuben von Flüssigkeit bekannt, wobei die Flüssigkeit unter Druck durch einen im Wesentlichen ringförmigen Spalt strömt. Der Spalt wird dabei z.B. zwischen einer Kugel und einer kreisförmigen Öffnung, innerhalb der die Kugel angeordnet ist, ausgebildet. Die Flüssigkeit tritt durch den Spalt als Lamelle aus, welche sich in der Folge ausdehnt und dabei dünner wird, sodass sich im Randbereich der Lamelle kleine Tröpfchen bilden. Das Auftreten von einzelnen Flüssigkeitsstrahlen ist nicht vorgesehen, sondern es wird im Gegenteil die Ausbildung eines einzelnen Flüssigkeitsstrahls als nachteilig beschrieben.

[0010] Aus der US 2005/0045750 A1 ist eine Düse zur Erzeugung monodisperser Tröpfchen bekannt, wobei Flüssigkeit unter Druck durch einen ringförmigen Spalt geleitet wird, der zwischen einer Kugelkalotte und einem sich konisch erweiternden Rohr angeordnet ist. Durch Variation des Abstands der Kugelkalotte zur Rohrwand kann die Spaltgröße variiert werden, um wiederum die Tröpfchengröße einzustellen. Die Flüssigkeit bildet beim Passieren des Spalts Strahlen aus, wobei jeder dieser Strahlen letztendlich in feine Tröpfchen aufricht.

[0011] Eine Optimierung der Monodispersität durch ein bestimmtes Verhältnis von einer Breite des Spalts zu einem Krümmungsradius der Kugelkalotte und/oder des Rohrs wird nicht offenbart.

AUFGABE DER ERFINDUNG

[0012] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Vorrichtung sowie ein Verfahren zur Zerstäubung von Flüssigkeiten zur Verfügung zu stellen, die einen geringen konstruktiven Aufwand erfordern und dennoch eine hohe Monodispersität der Tröpfchen garantieren. Insbesondere soll auf ein zusätzliches Fluid zur Zerteilung eines Stroms der Flüssigkeit in Tröpfchen verzichtet werden können.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0013] Grundsätzlich ist es bekannt, dass ein feiner Flüssigkeitsstrahl aufgrund auftretender Kapillarkräfte in Tröpfchen zerfallen kann, was auch als Plateau-Rayleigh-Instabilität bezeichnet wird. Dabei entstehen aufgrund von Unregelmäßigkeiten in der Strahlströmung, die aus der Flüssigkeitszufuhr stammen oder aus der Umgebungsluft übertragen werden können, „Störungen“ bzw. Verformungen des Strahls. Diese Störungen können anwachsen und zu einem Abschnüren des Flüssigkeitsstrahls und damit zur Bildung von Tröpfchen führen.

[0014] Ein Aspekt der Erfindung ist es, für die Erzeugung von Flüssigkeitströpfchen aus einem Flüssigkeitsstrom diese Plateau-Rayleigh-Instabilität auszunutzen. Dies bedingt die Erzeugung von Flüssigkeitsstrahlen, die in weiterer Folge aufgrund der Plateau-Rayleigh-Instabilität in einzelne Tröpfchen zerfallen können. Je genauer die Flüssigkeitsstrahlen dabei dimensioniert werden können, desto genauer lässt sich die Tröpfchengröße sowie deren Dispersität einstellen. Kern der Erfindung ist es nun, zur Erzeugung der Flüssigkeitsstrahlen den Flüssigkeitsstrom nicht etwa durch Lochblenden oder Bohrungen zu führen oder gar mittels eines Mechanismus mit bewegten Teilen aufzuteilen, da dies das Risiko von rascher Verstopfung bzw. Defektanfälligkeit mit sich bringen würde. Stattdessen ist erfindungsgemäß die Ausnutzung des - an sich bekannten - Phänomens der zentrifugalen Instabilität von Flüssigkeitsströmungen vorgesehen.

[0015] Die zentrifugale Instabilität von Flüssigkeitsströmungen ist grundsätzlich für drei verschiedene Strömungsformen bekannt: die Taylor-Strömung zwischen zwei coaxialen Kreiszyklindern, die um ihre Achse rotieren; die Görtler-Strömung, welche durch Zentrifugalkräfte in Grenzschichten längs gekrümmter Wände beeinflusst wird; und die Dean-Strömung, die unter Druckeinfluss zwischen zwei gekrümmten, still stehenden Wänden verläuft. In all diesen Fällen erzeugt die zentrifugale Instabilität Wirbel mit Wirbelachsen bzw. Drehachsen längs der gekrümmten Wände.

[0016] Im Falle von Flüssigkeitsströmungen strukturieren diese Wirbel das Strömungsfeld in einer Weise, dass bei der Dean-Strömung am Austritt aus einem Strömungskanal einzelne Wirbelfäden in von einander getrennte Flüssigkeitsstrahlen umgewandelt werden können. Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit, über einem Austrittsquerschnitt statt einer geschlossenen Lamelle einzelne Strahlen der Flüssigkeit zu erzeugen. Es sei betont, dass dies ohne das Vorhandensein von Bohrungen in einem festen Bauteil geschieht - und damit ohne die Verstopfungsfahr, die mit der Durchströmung von Bohrungen durch Flüssigkeiten verbunden ist.

[0017] Die theoretische Grundlage für die zentrifugale Instabilität in der Dean-Strömung findet sich in W.R. Dean, Proc. R. Soc. Lond. A 121, 402 (1928). Etwas später wurde in W.H. Reid, Proc. R. Soc. Lond. A 244, 186 (1958) der mathematische Formalismus weiterentwickelt, der es ermöglicht, die zentrifugale Instabilität in der Dean-Strömung sowie die resultierenden Wirbelstrukturen zu berechnen. Die genannten Arbeiten beziehen sich explizit nur auf eine Zylinder-Geometrie, jedoch kann beispielsweise eine Anpassung für eine sphärische Geometrie leicht vorgenommen werden.

[0018] In aufwendigen Versuchsreihen wurde herausgefunden, dass es für die Erzeugung sowie Dimensionierung, d.h. Einstellung der Anzahl und Dicke bzw. des Durchmessers, der Flüssigkeitsstrahlen erforderlich ist, die Krümmung der Flächen, entlang derer die Flüssigkeitsströmung im Strömungskanal geführt wird, sowie eine Breite des Austrittsquerschnitts aufeinander abzustimmen. Dabei wurde insbesondere herausgefunden, dass grundsätzlich auch schon dann Flüssigkeitsstrahlen erzeugt werden können, wenn die Flüssigkeitsströmung lediglich entlang einer gekrümmten Fläche geführt wird. Allerdings wird ein schnelleres Anwachsen der zentrifugalen Instabilität - und damit eine bessere Wirbelbildung - beobachtet, wenn die Flüssigkeit zwischen zwei gekrümmten Flächen strömt.

[0019] Durch das Abstimmen der Krümmung der gekrümmten Fläche(n) und der Breite des Austrittsquerschnitts wird sichergestellt, dass die zentrifugale Instabilität nicht nur entsteht, sondern auch soweit anwächst, dass die Flüssigkeit durch den Austrittsquerschnitt in Form von Flüssigkeitsstrahlen durchtritt, wobei die Flüssigkeitsstrahlen entlang von Wirbelachsen der durch die zentrifugale Instabilität verursachten Wirbel verlaufen. Nachdem die Flüssigkeitsstrahlen den Austrittsquerschnitt passiert haben, verlaufen sie selbstverständlich prinzipiell dem Einfluss der Schwerkraft folgend.

[0020] Es zeigt sich, dass die so erzeugten Flüssigkeitsstrahlen sehr regelmäßig ausgebildet und zueinander sehr ähnlich sind. Zudem ist bei der Tröpfchenbildung durch die Plateau-Rayleigh-Instabilität das Spektrum der anwachsenden Störungen, die letztlich zur Ausbildung der Tröpfchen führen, sehr begrenzt. Typischerweise ist der Tröpfchendurchmesser innerhalb des Zweifachen des Durchmessers des Flüssigkeitsstrahls aus dem die Tröpfchen mittels Plateau-Rayleigh-Instabilität hervorgehen. Insgesamt ergibt sich somit eine äußerst homogene bzw. enge (monodisperse) Verteilung der erfindungsgemäß erzeugten Tröpfchen.

[0021] Im Vergleich dazu ist das Spektrum anwachsender Störungen z.B. bei Kelvin-Helmholtzscher Instabilität, d.h. insbesondere bei der Zerstäubung von Flüssigkeitsstrahlen durch Einwirkung einer begleitenden Gasströmung, wesentlich - typischerweise um zwei Größenordnungen - breiter. Entsprechend weit ist die Größenverteilung der so erhaltenen Tröpfchen.

[0022] Daher ist es bei einer Vorrichtung zur Zerstäubung einer Flüssigkeit vorgesehen, dass die Vorrichtung einen Strömungskanal umfasst, welcher in einem Betriebszustand der Vorrichtung ausschließlich von der Flüssigkeit durchströmbar ist, wobei der Strömungskanal einen Austrittsabschnitt aufweist, welcher Austrittsabschnitt zumindest abschnittsweise von einer ersten Fläche und einer zweiten Fläche begrenzt wird, wobei die Vorrichtung weiters einen Austrittsquerschnitt zum Austreten der Flüssigkeit aus dem Austrittsabschnitt aufweist, wobei eine Randlinie des Austrittsquerschnitts zumindest abschnittsweise in der ersten Fläche und/oder in der zweiten Fläche verläuft und wobei der Austrittsquerschnitt eine Breite aufweist, welche einem geringsten Abstand der ersten Fläche zur zweiten Fläche entspricht, wobei dieser Abstand in einer Schnittebene gemessen ist, in welcher Schnittebene eine Längsachse des

Austrittsabschnitts verläuft, wobei weiters die erste Fläche und/oder die zweite Fläche gekrümmt sind/ist, um eine zentrifugale Instabilität der Strömung der Flüssigkeit mit Wirbeln im Austrittsabschnitt zu erzeugen und anwachsen zu lassen, und wobei die Krümmung der ersten Fläche und/oder der zweiten Fläche und die Breite des Austrittsquerschnitts derart aufeinander abgestimmt sind, um ein Austreten der Flüssigkeit durch den Austrittsquerschnitt in Form von entlang von Wirbelachsen der Wirbel verlaufenden Flüssigkeitsstrahlen zu ermöglichen.

[0023] Um besonders gute Ergebnisse im Hinblick auf die Monodispersität der erzeugten Tröpfchen zu erzielen, ist es bei der Vorrichtung erfindungsgemäß vorgesehen, dass die erste Fläche mindestens einen Krümmungsradius aufweist und/oder dass die zweite Fläche mindestens einen Krümmungsradius aufweist und dass das Verhältnis der Breite des Austrittsquerschnitts zum mindestens einen Krümmungsradius 0,0047 bis 0,1 beträgt.

[0024] Analog ist es bei einem Verfahren zur Zerstäubung einer Flüssigkeit vorgesehen, dass das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

[0025] - Erzeugen einer Strömung der Flüssigkeit durch einen Strömungskanal, wobei lediglich die Flüssigkeit durch den Strömungskanal strömt und wobei die Flüssigkeit aus einem Austrittsabschnitt des Strömungskanals durch einen Austrittsquerschnitt austritt;

[0026] - Bildung von Flüssigkeitsstrahlen am Austrittsquerschnitt durch Erzeugen und Anwachsenlassen einer zentrifugalen Instabilität der Strömung der Flüssigkeit im Austrittsabschnitt mit Wirbeln, wobei die Flüssigkeitsstrahlen im Austrittsquerschnitt entlang von Wirbelachsen der Wirbel verlaufen und wobei die Flüssigkeitsstrahlen derart dimensioniert werden, dass die Flüssigkeitsstrahlen in weiterer Folge aufgrund der Plateau-Rayleigh-Instabilität zu Tröpfchen zerfallen.

[0027] Die Strömung wird dabei mittels Druckbeaufschlagung erzeugt, z.B. durch eine Druckdifferenz von 3,2 bar gegen Atmosphärendruck. Der Austrittsquerschnitt steht normal auf die Hauptströmungsrichtung und damit auch normal auf die Wirbelachsen.

[0028] Dieses Verfahren funktioniert grundsätzlich nicht nur mit zentrifugalen Instabilitäten einer Dean-Strömung, sondern auch einer Taylor-Strömung oder einer Görtler-Strömung. Die konstruktiv am einfachsten zu realisierende Strömung ist jedoch die Dean-Strömung. Daher ist es bei dem Verfahren vorgesehen, dass für die Erzeugung der zentrifugalen Instabilität die strömende Flüssigkeit im Austrittsabschnitt entlang zumindest einer gekrümmten Fläche geführt wird, welche gekrümmte Fläche den Austrittsabschnitt begrenzt und in welcher eine Randlinie des Austrittsquerschnitts zumindest abschnittsweise verläuft.

[0029] Wie bereits gesagt, können die Anzahl und die Dicke der Flüssigkeitsstrahlen eingestellt werden, indem die Krümmung der Flächen, entlang derer die Flüssigkeitsströmung im Strömungskanal bzw. Austrittsabschnitt geführt wird, sowie die Breite des Austrittsquerschnitts aufeinander abgestimmt werden. Daher ist es bei dem Verfahren erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Dimensionierung der Flüssigkeitsstrahlen durch Abstimmen der Krümmung der mindestens einen Fläche und einer Breite des Austrittsquerschnitts erfolgt, sodass das Verhältnis der Breite des Austrittsquerschnitts zum mindestens einen Krümmungsradius 0,0047 bis 0,1 beträgt.

[0030] Optimal lässt sich dies mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung erreichen, weshalb es bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen ist, dass eine erfindungsgemäße Vorrichtung verwendet wird.

[0031] Um eine für die Erzeugung und für das Anwachsen der zentrifugalen Instabilität geeignete Krümmung der ersten und/oder zweiten Fläche zu garantieren, ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, dass die erste Fläche mindestens einen Krümmungsradius aufweist und/oder dass die zweite Fläche mindestens einen Krümmungsradius aufweist, wobei der mindestens eine Krümmungsradius 1 mm bis 50 mm, vorzugsweise 4 mm bis 15 mm groß ist. Dabei sind die Randpunkte der hier und im Folgenden angegebenen Intervalle stets als zum jeweiligen Intervall dazu gehörend zu lesen,

sofern nicht explizit anderes angegeben ist.

[0032] Obiges bedeutet, dass die Krümmung der ersten und/oder zweiten Fläche auch variieren kann, d.h. die Krümmung kann konstant sein oder variabel. Der angegebene mindestens eine Krümmungsradius bezieht sich klarerweise nur auf jene Teile der ersten bzw. zweiten Fläche, die nicht eben sind.

[0033] Ebenso ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, dass die Breite des Austrittsquerschnitts 0,02 mm bis 2 mm, vorzugsweise 0,07 mm bis 0,4 mm groß ist, um die Ausbildung von Flüssigkeitsstrahlen zu begünstigen.

[0034] Überraschenderweise zeigt es sich, dass bei sich einstellenden Flüssigkeitsstrahlen durch Änderung der Breite des Austrittsquerschnitts direkt die Größe der Tröpfchen, in die die Flüssigkeitsstrahlen in der Folge zerfallen, variiert werden kann. Daher ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen, dass die Breite des Austrittsquerschnitts variiert wird, um einen mittleren Durchmesser der Tröpfchen zu variieren. Entsprechend ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, dass die Breite des Austrittsquerschnitts verstellbar ist.

[0035] Die Krümmung der ersten bzw. zweiten Fläche kann so ausgestaltet sein, dass sich die jeweilige Fläche zum Austrittsquerschnitt hin („konvexe Krümmung“) oder vom Austrittsquerschnitt weg („konkave Krümmung“) wölbt. Dabei sind grundsätzlich sämtliche Kombinationen von Krümmungen für die erste und zweite Fläche, insbesondere im Bereich des Austrittsquerschnitts, möglich: konvex-eben; konkav-eben; eben-konvex; eben-konkav; konvex-konkav; konkav-konvex; konvex-konvex; konkav-konkav. Daher ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, dass die erste Fläche und/oder die zweite Fläche gegen den Austrittsquerschnitt konvex gekrümmt sind/ist.

[0036] Ebenso ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, dass die zweite Fläche und/oder die erste Fläche gegen den Austrittsquerschnitt konkav gekrümmt sind/ist.

[0037] Um eine besonders einfache Realisierung der gekrümmten Flächen zu erreichen, ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, dass die erste Fläche und/oder die zweite Fläche zumindest abschnittsweise die Form eines Abschnitts eines Zylindermantels aufweist.

[0038] Insbesondere - aber nicht nur - im Fall, dass sowohl die erste als auch die zweite Fläche im Wesentlichen als Abschnitte von Zylindermänteln geformt sind, kann der Austrittsquerschnitt im Wesentlichen eine rechteckige Form aufweisen. Daher ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, dass der Austrittsquerschnitt rechteckig ist.

[0039] Ebenso ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, dass die zweite Fläche und/oder die erste Fläche zumindest abschnittsweise die Form eines Abschnitts einer Kugelfläche aufweist. Auf diese Weise lässt sich leicht eine Drehsymmetrie des Strömungskanals bzw. des Austrittsabschnitts erzeugen, was sich wiederum günstig auf die Herstellung auswirkt. Insbesondere – aber nicht nur - im Falle eines drehsymmetrischen Austrittsabschnitts kann der Austrittsabschnitt im Wesentlichen ringförmig sein.

[0040] Es ist auch denkbar, dass aus Konstruktionsgründen ein oder mehrere Stege vorgesehen sind, sodass sich mehrere Austrittsquerschnitte ergeben. Insbesondere können sich mehrere Austrittsquerschnitte ergeben, die jeweils rechteckig sind oder die Form von Ringsegmenten haben.

[0041] Entsprechend ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, dass der Austrittsquerschnitt ringförmig oder ringsegmentförmig ist.

[0042] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist es außerdem vorgesehen, dass die Vorrichtung mindestens eine Abrisskante aufweist. Die mindestens eine Abrisskante bewirkt eine Lokalisierung der Abströmung der Flüssigkeit nach Ver-

lassen der Vorrichtung. Das bedeutet, dass keine Flüssigkeit unkontrolliert nach dem Austrittsquerschnitt von der Vorrichtung herunter tropft. Stattdessen finden sich annähernd 100% der die Vorrichtung durch den Austrittsquerschnitt verlassenden Flüssigkeit in den mittels zentrifugaler Instabilität erzeugten Flüssigkeitsstrahlen.

[0043] Um Flüssigkeitsverlust durch Heruntertropfen praktisch vollständig auszuschließen, ist es bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, dass zwei Abrisskanten vorgesehen sind, die bezogen auf den Austrittsquerschnitt einander gegenüberliegend angeordnet sind. Vorzugsweise schließt dabei die eine Abrisskante an die erste Fläche an und die andere Abrisskante an die zweite Fläche.

[0044] Grundsätzlich eignet sich die erfindungsgemäße Vorrichtung bzw. das erfindungsgemäße Verfahren nicht nur zur Zerstäubung von Wasser, sondern für unterschiedlichste Flüssigkeiten. Die Erzeugung von Flüssigkeitsstrahlen mittels der zentrifugalen Instabilität kann bei Flüssigkeiten mit unterschiedlicher Viskosität insbesondere dadurch erreicht werden, indem gewisse Reynolds-Zahlen bei der Durchströmung des Strömungskanals bzw. des Austrittsabschnitts sichergestellt werden, wobei die Breite des Austrittsquerschnitts das für die Reynolds-Zahl relevante Längenmaß bildet. Selbstverständlich gilt dies nicht nur für chemisch unterschiedliche Flüssigkeiten, sondern auch für eine Flüssigkeit bei unterschiedlichen Temperaturen und damit unterschiedlichen kinematischen Viskositäten. Typische Werte für die kinematische Viskosität liegen z.B. im Bereich zwischen 10^{-6} m²/s und $1,38 \cdot 10^{-5}$ m²/s.

[0045] Daher ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen, dass eine volumenstromäquivalente mittlere Geschwindigkeit v der Flüssigkeit, eine Breite l des Austrittsquerschnitts sowie die kinematische Viskosität ν der Flüssigkeit so aufeinander abgestimmt bzw. gewählt werden, dass für die Reynolds-Zahl

$$Re = v \cdot l / \nu$$

gilt: $10 \leq Re \leq 10000$, vorzugsweise $50 \leq Re \leq 2500$, besonders bevorzugt $70 \leq Re \leq 2400$.

[0046] Das erfindungsgemäße Verfahren und/oder die erfindungsgemäße Vorrichtung können aufgrund der ausgezeichneten Monodispersität der erzeugten Tröpfchen vielfältig verwendet werden. Mögliche Anwendungen reichen von der Verwendung zur Befeuchtung, Reinigung oder Dekontamination von Produkten über die Verwendung zur Behandlung von Strukturoberflächen bei lithographischen Produktionsverfahren bis zur Verwendung bei Sprühtrocknungsverfahren. Daher ist erfindungsgemäß die Verwendung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Sprühtrocknung vorgesehen, wobei mittels der Vorrichtung Tröpfchen einer Suspension oder homogenen Lösung erzeugt werden, welche Tröpfchen wiederum vorzugsweise mit Heißluft getrocknet werden, um ein Pulver eines in der Suspension suspendierten oder in der Lösung gelösten Stoffes herzustellen.

[0047] Beispielsweise lässt sich auf diese Weise mittels Sprühtrocknung Milchpulver (Trockenmilch) oder löslicher Kaffee (Pulverkaffee) herstellen. Entsprechend ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, dass es sich bei dem Stoff um ein Lebensmittel handelt.

[0048] Selbstverständlich können mittels Sprühtrocknung aber auch Pulver anderer Stoffe, bei denen es sich nicht um Lebensmittel handelt, hergestellt werden. Entsprechend ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, dass es sich bei dem Stoff um eine Chemikalie handelt. Beispiele für eine solche Chemikalie wären: Polymere, Düngemittel, keramische Ausgangsstoffe, Waschmittel oder Kautschuk.

KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0049] Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Die Zeichnungen sind beispielhaft und sollen den Erfindungsgedanken zwar darlegen, ihn aber keinesfalls einengen oder gar abschließend wiedergeben.

[0050] Dabei zeigt:

- [0051] Fig. 1 eine Schnittansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Zerstäubung einer Flüssigkeit
- [0052] Fig. 2 eine Schnittansicht gemäß der Schnittlinie B-B in Fig. 1, wobei die Pfeile in Fig. 1 die Blickrichtung andeuten
- [0053] Fig. 3 eine vergrößerte schematische Darstellung eines Austrittsabschnitts eines Strömungskanals der Vorrichtung aus Fig. 1, wobei eine erste und eine zweite Fläche, die den Austrittsabschnitt begrenzen, gegen einen Austrittsquerschnitt konvex gekrümmt sind
- [0054] Fig. 4 eine Darstellung wie in Fig. 3, wobei die zweite Fläche auch einen Abschnitt einer Mantelfläche eines Zylinders ausbilden kann
- [0055] Fig. 5 eine Darstellung wie in Fig. 3, wobei die zweite Fläche gegen den Austrittsquerschnitt konkav gekrümmt ist
- [0056] Fig. 6 eine Darstellung wie in Fig. 3, wobei die zweite Fläche eben ist
- [0057] Fig. 7 eine Darstellung wie in Fig. 4, wobei die erste Fläche eben ist
- [0058] Fig. 8 eine vergrößerte Ansicht des Details A aus Fig. 6
- [0059] Fig. 9 eine Darstellung wie in Fig. 2, jedoch mit einem rechteckigen Austrittsquerschnitt

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0060] In der Schnittansicht der Fig. 1 ist eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Zerstäubung einer Flüssigkeit in einem Betriebszustand der Vorrichtung dargestellt. Die Vorrichtung weist einen Strömungskanal 3 auf, in welchen die Flüssigkeit (in der Zeichnung) von oben eingeleitet wird und im Betriebszustand druckbeaufschlagt nach (in der Zeichnung) unten entlang einer Längsachse 8 als Flüssigkeitsströmung 1 (vgl. auch z.B. Fig. 3) strömt.

[0061] Der Strömungskanal 3 weist einen Austrittsabschnitt 13 auf, der durch eine erste Fläche 6 und eine zweite Fläche 7 begrenzt wird. Zwischen den Flächen 6 und 7 ist ein Austrittsquerschnitt 4 angeordnet, durch den die Flüssigkeit austritt. D.h. die Flüssigkeit wird vor ihrem Austritt aus dem Strömungskanal 3 bzw. dem Austrittsabschnitt 13 entlang der Flächen 6 und 7 geführt. Im Ausführungsbeispiel der Fig. 1 ist der Austrittsquerschnitt 4 ein im Wesentlichen ringförmiger Spalt mit einer Breite l . Die Breite l entspricht einem geringsten Abstand zwischen der ersten Fläche 6 und der zweiten Fläche 7, gemessen in einer Schnittebene, in welcher die Längsachse 8 verläuft, d.h. im vorliegenden Ausführungsbeispiel stellt die Schnittebene die Zeichenebene der Fig. 1 dar.

[0062] Sowohl die erste Fläche 6 als auch die zweite Fläche 7 sind im Ausführungsbeispiel der Fig. 1 gekrümmt, und zwar gegen den Austrittsquerschnitt 4 konvex gekrümmt, d.h. die Flächen 6 und 7 wölben sich zum Austrittsquerschnitt 4 hin. Die gekrümmten Flächen 6, 7 bewirken, dass sich eine zentrifugale Instabilität in der Flüssigkeitsströmung 1 im Austrittsabschnitt 13 ausbildet, wobei hierdurch Wirbel erzeugt werden, deren Drehachsen/Wirbelachsen 2 parallel zu den gekrümmten Flächen 6, 7 verlaufen. Dabei sind die Krümmungen der Flächen 6, 7 und die Breite l (vgl. Fig. 8) des Austrittsquerschnitts 4 so ausgelegt bzw. aufeinander abgestimmt, dass sich die zentrifugale Instabilität nicht nur ausbildet, sondern auch anwachsen kann.

[0063] Dies wiederum hat eine Strukturierung der Flüssigkeitsströmung 1 durch die Wirbel bzw. Wirbelfäden zur Folge - und zwar so, dass die Flüssigkeit durch den Austrittsquerschnitt 4 nicht als Lamelle, sondern in einzelnen Flüssigkeitsstrahlen 11 austritt. Dabei ergibt sich jeder Flüssigkeitsstrahl 11 aus einem Wirbelfaden oder durch Verschmelzen mehrerer Wirbelfäden. D.h. es werden zur Herstellung der Flüssigkeitsstrahlen 11 weder extra Bohrungen noch ein weiteres Fluid benötigt - lediglich die Flüssigkeit strömt durch den Strömungskanal 3 bzw. den Austrittsabschnitt 13 und tritt durch den Austrittsquerschnitt 4 aus.

[0064] Durch die Abstimmung der Krümmung der Flächen 6, 7 und der Breite l aufeinander wird nicht nur sichergestellt, dass sich beim Austritt/Durchtritt aus/durch dem/den Austrittsquerschnitt 4 Flüssigkeitsstrahlen 11 bilden, sondern die Flüssigkeitsstrahlen 11 können gezielt dimensioniert werden. D.h. es lassen sich Anzahl und Dicke bzw. Durchmesser der Flüssigkeitsstrahlen 11 einstellen, wobei die Flüssigkeitsstrahlen 11 zueinander äußerst ähnlich und regelmäßig ausgebildet sind.

[0065] Die Flüssigkeitsstrahlen 11 können nun gezielt so dimensioniert werden, dass sie in weiterer Folge aufgrund der Plateau-Rayleigh-Instabilität zu Tröpfchen 12 zerfallen. Dabei entstehen aufgrund von Unregelmäßigkeiten in der Strömung der Flüssigkeitsstrahlen 11, die aus der Flüssigkeitszufuhr stammen oder aus der Umgebungsluft übertragen werden können, Störungen bzw. Verformungen der Flüssigkeitsstrahlen 11, die anwachsen und zu einem Abschnüren der Flüssigkeitsstrahlen 11 und damit zur Bildung der Tröpfchen 12 führen. Aufgrund der äußerst regelmäßigen Ausbildung der Flüssigkeitsstrahlen 11 ist das Spektrum der anwachsenden Störungen sehr begrenzt, sodass sich eine sehr homogene, im Wesentlichen monodisperse Größenverteilung der Tröpfchen 12 ergibt.

[0066] Fig. 2 illustriert die Bildung dieser Tröpfchen 12 in einer Schnittansicht gemäß der Schnittlinie B-B in Fig. 1, wobei die Pfeile die Blickrichtung andeuten. Gut erkennbar ist die regelmäßige, sternförmige Anordnung der aufgrund der zentrifugalen Instabilität ausgebildeten Flüssigkeitsstrahlen 11.

[0067] Darüberhinaus ist in Fig. 2 eine Abrisskante 9 besser als in Fig. 1 erkennbar. Diese Abrisskante 9 schließt an die zweite Fläche 7 an und bewirkt eine Lokalisierung der Abströmung der Flüssigkeit nach Verlassen der Vorrichtung. Das bedeutet, dass keine Flüssigkeit unkontrolliert nach dem Austrittsquerschnitt 4 von der Vorrichtung herunter tropft.

[0068] Fig. 3 zeigt eine vergrößerte schematische Darstellung eines Austrittsabschnitts 13, wie er in der Vorrichtung der Fig. 1 vorkommt. Wie bereits festgehalten sind sowohl die erste Fläche 6 als auch die zweite Fläche 7 konvex gegen den Austrittsquerschnitt 4 gekrümmt. Dabei weist die erste Fläche 6 einen Krümmungsradius R_K auf und die zweite Fläche 7, die die Oberfläche einer Kugelkalotte bildet, einen Krümmungsradius R_I . Sowohl die erste Fläche 6 als auch die zweite Fläche 7 sind im gezeigten Ausführungsbeispiel drehsymmetrisch rund um die Längsachse 8. Eine Wirbelachse 2 eines Wirbels, der durch die sich ergebende zentrifugale Instabilität gebildet wird, ist durch eine Strich-Punkt-Punkt-Linie dargestellt. Die Wirbelachse 2 verläuft dabei parallel zu einer Hauptströmungsrichtung 10, die mittels eines Pfeils für die Flüssigkeitsströmung 1 am Ort des Austrittsquerschnitts 4 dargestellt ist.

[0069] Typische Abmessungen der ersten Fläche 6 und zweiten Fläche 7 sind so, dass sich ein Austrittsradius 14, der einen größten radialen Abstand des Austrittsquerschnitts 4 von der Längsachse 8 darstellt, von 1 mm bis 20 mm, vorzugsweise 3 mm bis 15 mm, besonders bevorzugt 5 mm bis 6 mm, insbesondere ca. 5,5 mm ergibt. Krümmungsradien R_K und R_I betragen am Austrittsquerschnitt 4 typischerweise 1 mm bis 50 mm, vorzugsweise 4 mm bis 15 mm. Die Breite l des Austrittsquerschnitts 4 beträgt typischerweise 0,02 mm bis 2 mm, vorzugsweise 0,07 mm bis 0,4 mm. Druckdifferenzen zur Einstellung der Flüssigkeitsströmung 1 durch den Strömungskanal 3 bzw. den Austrittsabschnitt 13 betragen gegen Atmosphärendruck typischerweise 1 bar bis 5 bar, vorzugsweise 2,5 bar bis 3,5 bar, insbesondere 3,2 bar. Grundsätzlich ist die erfindungsgemäße Vorrichtung / das erfindungsgemäße Verfahren auch für weit höhere Drücke geeignet, z.B. bis zu 100 bar gegen Atmosphärendruck.

[0070] Beispielsweise ergibt sich für Wasser bei 20°C als zu zerstäubende Flüssigkeit in einem Austrittsabschnitt 13 gemäß Fig. 3 bei einer Druckdifferenz von 3,2 bar gegen Atmosphärendruck, einer Breite l des Austrittsquerschnitts 4 von 0,1 mm, einem Austrittsradius 14 von 11,75 mm, Krümmungsradien R_K , R_I von jeweils 12,5 mm ein Massenstrom von 170 kg/h. D.h. trotz einer relativ geringen Druckdifferenz können relativ hohe Flüssigkeitsmassenströme der prozesstechnisch interessanten Größenordnung von 100 kg/h erzeugt werden. Die durch die zentrifugale Instabilität erzeugten Flüssigkeitsstrahlen 11 weisen am Austrittsquerschnitt 4 einen Durchmesser bzw. eine Dicke auf, die der Breite l des Austrittsquerschnitts 4 entspricht. Durch

Verschmelzen beim Strömen auf der zweiten Fläche 7, vorzugsweise bis zur Abrisskante 9, vereinigen sich typischerweise zwei bis vier Flüssigkeitsstrahlen 11.

[0071] Hierdurch vergrößert sich der Durchmesser bzw. die Dicke der Flüssigkeitsstrahlen auf das 1,4-Fache bis 3-Fache des Werts am Austrittsquerschnitt 4. Die schließlich erhaltenen Tröpfchen 12 weisen einen mittleren Durchmesser auf, der dem Doppelten der mittleren Dicke der Flüssigkeitsstrahlen 11 am Ende der zweiten Fläche 7 bzw. an der Abrisskante 9 entspricht. Generell schwankt der Durchmesser der Tröpfchen 12 in den mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung erzeugten Sprays um $\pm 20\%$ bis $\pm 40\%$ um den jeweiligen mittleren Durchmesser. Dabei wird ein für die Prozessindustrie höchst interessanter Durchsatz gewährleistet, der z.B. die Verwendung zur Befeuchtung, Reinigung oder Dekontamination von Produkten, die Verwendung zur Behandlung von Strukturoberflächen bei lithographischen Produktionsverfahren oder die Verwendung bei Sprühtrocknungsverfahren ermöglicht. Insbesondere bei lithographischen Produktionsverfahren kann eine erfindungsgemäße Vorrichtung / ein erfindungsgemäßes Verfahren z.B. zur Reinigung der Oberflächen oder zur Behandlung der Oberflächen mit ätzenden Flüssigkeiten verwendet werden bzw. zur Aufbringung von Ätzmitteln, Spülflüssigkeiten oder Photoresist.

[0072] Schließlich sind in Fig. 3 zwei Abrisskanten 9 explizit eingezeichnet, die bezogen auf den Austrittsquerschnitt 4 einander gegenüberliegend angeordnet sind und an die erste Fläche 6 bzw. die zweite Fläche 7 anschließen. Indem zwei Abrisskanten 9 vorgesehen sind, wird ein Flüssigkeitsverlust durch Heruntertropfen praktisch vollständig ausgeschlossen.

[0073] Selbstverständlich ist die Geometrie der erfindungsgemäßen Vorrichtung nicht nur auf jene der Fig. 3 beschränkt. Fig. 4 zeigt ebenfalls eine Ausführungsvariante mit konvexen Flächen 6, 7, wobei die zweite Fläche 7 insbesondere ein Abschnitt einer Kugeloberfläche sein kann. In letzterem Fall können die Flächen 6, 7 drehsymmetrisch um die Längsachse 8 ausgebildet sein. Es ist jedoch auch möglich, dass die zweite Fläche 7 - und vorzugsweise auch die erste Fläche 6 - jeweils einen Abschnitt einer Mantelfläche eines Zylinders ausbilden, wobei die Drehachse des jeweiligen Zylinders normal auf die Zeichenebene der Fig. 4 steht. In diesem Fall liegt keine Drehsymmetrie um die Längsachse 8 vor, und der Austrittsquerschnitt 4 ist vorzugsweise rechteckig. Die möglichen Wertebereiche für die Krümmungsradien R_K , R_I und die Breite l entsprechen dabei den oben im Zusammenhang mit Fig. 3 angegebenen.

[0074] Es versteht sich, dass auch im Fall eines rechteckigen Austrittsquerschnitts 4 die Tröpfchenbildung wie oben anhand von Fig. 1 beschrieben funktioniert. Der Vollständigkeit halber wird in Fig. 9 die Bildung der Tröpfchen 12 in einer Schnittansicht analog zu Fig. 2 illustriert, wobei Zylindergeometrie der Flächen 6, 7 vorliegt. Im gezeigten Fall tritt die Flüssigkeit durch zwei rechteckige Austrittsquerschnitte 4 aus, die bezogen auf die Längsachse 8 einander gegenüber liegen (nicht dargestellt). Beim Austritt der Flüssigkeit ergeben sich aufgrund der zentrifugalen Instabilität statt zwei Flüssigkeitslamellen Flüssigkeitsstrahlen 11 in einer regelmäßigen Anordnung. Abrisskanten 9 verhindern dabei Flüssigkeitsverlust durch Heruntertropfen.

[0075] Darüberhinaus sind auch Konfigurationen möglich, bei welchen eine der beiden Flächen 6, 7 oder beide Flächen 6, 7 konkav statt konvex sein können. Fig. 5 zeigt eine Variante, bei welcher die erste Fläche 6 gegen den Austrittsquerschnitt 4 konvex gekrümmt ist mit Krümmungsradius R_K . Die zweite Fläche 7 ist in diesem Fall gegen den Austrittsquerschnitt 4 konkav gekrümmt mit einem Krümmungsradius R_A . Es besteht die Möglichkeit einer drehsymmetrischen Anordnung um die Längsachse 8, sodass sich ein im Wesentlichen ringförmiger Austrittsquerschnitt 4 ergibt. Alternativ ist es aber auch möglich, dass die Flächen 6, 7 in Fig. 5 jeweils Abschnitte der Mantelfläche eines Zylinders ausbilden, dessen Drehachse normal auf die Zeichenebene steht, sodass sich ein im Wesentlichen rechteckiger Austrittsquerschnitt 4 ergibt. Die möglichen Wertebereiche für die Krümmungsradien R_K , R_A entsprechen dabei den oben im Zusammenhang mit Fig. 3 angegebenen für die Krümmungsradien R_K , R_I . Die möglichen Wertebereiche für die Breite l entsprechen dabei den oben im Zusammenhang mit Fig. 3 angegebenen.

[0076] Weiterhin sind auch in Fig. 5 zwei Abrisskanten 9 explizit eingezeichnet, die bezogen auf

den Austrittsquerschnitt 4 einander gegenüberliegend angeordnet sind und an die erste Fläche 6 bzw. die zweite Fläche 7 anschließen. Wiederum wird mittels der zwei Abrisskanten 9 ein Flüssigkeitsverlust durch Heruntertropfen praktisch vollständig ausgeschlossen.

[0077] Schließlich haben aufwendige Versuche gezeigt, dass eine zentrifugale Instabilität, die zur Aufteilung der Flüssigkeit in Flüssigkeitsstrahlen 11 und in der Folge zu Tröpfchen 12 führt, auch dann erzeugt werden kann, wenn nur eine der beiden Flächen 6, 7 im Austrittsabschnitt 13 gekrümmt ist. Fig. 6 illustriert eine Ausführungsform, bei welcher nur die erste Fläche 6 gekrümmt ist und die zweite Fläche 7 eben ist. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist die erste Fläche 6 dabei konvex gegen den Austrittsquerschnitt 4 gekrümmt.

[0078] Fig. 7 hingegen zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei welchem nur die zweite Fläche 7 gekrümmt ist und die erste Fläche 6 eben ist. Die zweite Fläche 7 ist dabei gegen den Austrittsquerschnitt 4 konvex gekrümmt.

[0079] Die Ausführungsvarianten gemäß Fig. 6 und Fig. 7 können drehsymmetrisch um die Längsachse 8 ausgebildet sein mit einem im Wesentlichen ringförmigen Austrittsquerschnitt 4.

[0080] Alternativ können die Ausführungsvarianten gemäß Fig. 6 und Fig. 7 auch nicht drehsymmetrisch um die Längsachse 8 ausgebildet sein, wobei jeweils die gekrümmte Fläche 6 bzw. 7 als Abschnitt eines Mantels eines Zylinders ausgebildet ist, dessen Drehachse normal auf die Zeichenebene der Fig. 6 bzw. Fig. 7 steht. Die möglichen Wertebereiche für die Krümmungsradien R_K , R_I und die Breite l entsprechen dabei den oben im Zusammenhang mit Fig. 3 angegebenen. Im Unterschied zu Ausführungsformen, bei denen beide Flächen 6, 7 gekrümmt sind, wächst die zentrifugale Instabilität jedoch weniger schnell an, sodass die Tröpfchenbildung etwas weniger gut, d.h. weniger monodispers erfolgt. Andererseits können Ausführungsformen mit nur einer gekrümmten Fläche 6 oder 7, wie sie in Fig. 6 und Fig. 7 beispielhaft gezeigt sind, Vorteile hinsichtlich einer besonders einfachen und damit kostengünstigen Herstellung bieten.

[0081] Fig. 8 zeigt in vergrößerter Darstellung das Detail A aus Fig. 6, um den Austrittsquerschnitt 4 deutlich zu illustrieren. Der Austrittsquerschnitt 4 ist dabei als punktierte Linie angedeutet und wird zumindest abschnittsweise von Randlinien 5 berandet, welche Randlinien 5 normal auf die Schnittebene bzw. Zeichenebene der Fig. 8 stehen. Im Falle einer drehsymmetrischen Ausbildung mit der Längsachse 8 als Drehachse ist der Austrittsquerschnitt 4 im Wesentlichen ringförmig und ausschließlich von den Randlinien 5 begrenzt. Die Randlinien 5 verlaufen in der ersten Fläche 6 und der zweiten Fläche 7. Die Hauptströmungsrichtung 10 der Flüssigkeit bzw. der Flüssigkeitsstrahlen 11 beim Durchtritt durch den Austrittsquerschnitt 4 steht normal auf den Austrittsquerschnitt 4. Dies gilt völlig analog auch bei sämtlichen anderen Ausführungsbeispielen, weshalb aus Gründen der Knappheit auf weitere entsprechende vergrößerte Ansichten verzichtet wird.

[0082] Neben den Werten für die Krümmungsradien R_K , R_I , R_A und die Breite l selbst kann auch das Verhältnis der Breite l zu mindestens einem der Krümmungsradien R_K , R_I , R_A herangezogen werden, um ein Funktionieren der erfindungsgemäßen Zerstäubung sicherzustellen. Konkret werden gute Ergebnisse mit Tröpfchen mit einer sehr monodispersen Größenverteilung erzielt, wenn das Verhältnis der Breite l des Austrittsquerschnitts 4 zu mindestens einem der Krümmungsradien R_K , R_I , R_A 0,0047 bis 0,1 beträgt.

[0083] Grundsätzlich eignet sich die erfindungsgemäße Vorrichtung bzw. das erfindungsgemäße Verfahren nicht nur zur Zerstäubung von Wasser, sondern für unterschiedlichste Flüssigkeiten. Die Erzeugung von Flüssigkeitsstrahlen 11 mittels der zentrifugalen Instabilität kann bei Flüssigkeiten mit unterschiedlicher Viskosität insbesondere dadurch erreicht werden, indem gewisse Reynolds-Zahlen Re bei der Durchströmung des Strömungskanal 3 bzw. des Austrittsabschnitts 13 sichergestellt werden, wobei die Breite l des Austrittsquerschnitts 4 das für die Reynolds-Zahl Re relevante Längenmaß bildet. Selbstverständlich gilt dies nicht nur für chemisch unterschiedliche Flüssigkeiten, sondern auch für eine Flüssigkeit bei unterschiedlichen Temperaturen und damit unterschiedlichen kinematischen Viskositäten ν bzw. für eine Flüssigkeit bei unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten v . Typische Werte für die kine-

matische Viskosität liegen z.B. im Bereich zwischen 10^{-6} m²/s und $1,38 \cdot 10^{-5}$ m²/s. Mit

$$Re = v \cdot l / \nu$$

ergeben sich bei Breiten l zwischen 0,07 mm und 0,32 mm typische Werte für Re zwischen 70 und 2400, wobei als Strömungsgeschwindigkeit v die volumenstromäquivalente mittlere Geschwindigkeit der Flüssigkeit herangezogen werden kann. Typische Strömungsgeschwindigkeiten v liegen zwischen rund 0,219 m/s und 35 m/s.

[0084] Beispielsweise ergeben sich im Falle von Wasser bei 20°C, applizierten Drücken gegen Atmosphärendruck von 0,1 bar bis 4,5 bar, einer Zerstäuber-Geometrie, die jener aus Fig. 3 entspricht ($R_K = 15$ mm; $R_I = 9$ mm), und Austrittradien 14 von 11 mm bis 12 mm Strömungsgeschwindigkeiten v zwischen 3,8 m/s und 5,4 m/s.

[0085] Schließlich zeigt es sich, dass sich durch Variation der Breite l der Tröpfchendurchmesser variieren lässt. Konkret können z.B. für Wasser bei 20°C bei einer Geometrie gemäß Fig. 3 ($R_K = 15$ mm; $R_I = 9$ mm), applizierten Drücken gegen Atmosphärendruck von 3,9 bar bis 4,1 bar, und Austrittradien 14 von 11 mm bis 12,3 mm, mittlere Tröpfchengrößen von 0,27 mm bis 0,37 mm erzielt werden, indem die Breite l zwischen 0,073 mm und 0,083 mm variiert wird.

[0086] Daher ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, dass die Breite l verstellbar ist. Beispielsweise kann bei einer Vorrichtung gemäß Fig. 1 bzw. mit einer Geometrie gemäß Fig. 3 die Breite l verstellt werden, indem die zweite Fläche 7 gegenüber der ersten Fläche 6 entlang der Längsachse 8 verschoben wird. D.h. die zweite Fläche 7 ist entsprechend verschiebbar ausgeführt.

BEZUGSZEICHENLISTE

- | | |
|-------|--|
| 1 | Flüssigkeitsströmung |
| 2 | Wirbelachse |
| 3 | Strömungskanal |
| 4 | Austrittsquerschnitt |
| 5 | Randlinie des Austrittsquerschnitts |
| 6 | Erste einen Austrittsabschnitt des Strömungskanals begrenzende Fläche, in welcher die Randlinie des Austrittsquerschnitts zumindest abschnittsweise verläuft |
| 7 | Zweite den Austrittsabschnitt begrenzende Fläche, in welcher die Randlinie des Austrittsquerschnitts zumindest abschnittsweise verläuft |
| 8 | Längsachse |
| 9 | Abrisskante |
| 10 | Hauptströmungsrichtung |
| 11 | Flüssigkeitsstrahl |
| 12 | Flüssigkeitströpfchen |
| 13 | Austrittsabschnitt des Strömungskanals |
| 14 | Austrittsradius |
| I | Breite des Austrittsquerschnitts |
| R_K | Krümmungsradius der ersten Fläche |
| R_I | Krümmungsradius der zweiten Fläche bei gegen den Austrittsquerschnitt konvexer Krümmung |
| R_A | Krümmungsradius der zweiten Fläche bei gegen den Austrittsquerschnitt konkaver Krümmung |

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Zerstäubung einer Flüssigkeit, die Vorrichtung umfassend einen Strömungskanal (3), welcher in einem Betriebszustand der Vorrichtung ausschließlich von der Flüssigkeit durchströmbar ist, wobei der Strömungskanal (3) einen Austrittsabschnitt (13) aufweist, welcher Austrittsabschnitt (13) zumindest abschnittsweise von einer ersten Fläche (6) und einer zweiten Fläche (7) begrenzt wird, wobei die Vorrichtung weiters einen Austrittsquerschnitt (4) zum Austreten der Flüssigkeit aus dem Austrittsabschnitt (13) aufweist, wobei eine Randlinie (5) des Austrittsquerschnitts (4) zumindest abschnittsweise in der ersten Fläche (6) und/oder in der zweiten Fläche (7) verläuft und wobei der Austrittsquerschnitt (4) eine Breite (1) aufweist, welche einem geringsten Abstand der ersten Fläche (6) zur zweiten Fläche (7) entspricht, wobei dieser Abstand in einer Schnittebene gemessen ist, in welcher Schnittebene eine Längsachse (8) des Austrittsabschnitts (13) verläuft, wobei weiters die erste Fläche (6) und/oder die zweite Fläche (7) gekrümmt sind/ist, um eine zentrifugale Instabilität der Strömung der Flüssigkeit mit Wirbeln im Austrittsabschnitt (13) zu erzeugen und anwachsen zu lassen, und wobei die Krümmung der ersten Fläche (6) und/oder der zweiten Fläche (7) und die Breite (1) des Austrittsquerschnitts (4) derart aufeinander abgestimmt sind, um ein Austreten der Flüssigkeit durch den Austrittsquerschnitt (4) in Form von entlang von Wirbelachsen (2) der Wirbel verlaufenden Flüssigkeitsstrahlen (11) zu ermöglichen, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Fläche (6) mindestens einen Krümmungsradius (R_K) aufweist und/oder dass die zweite Fläche (7) mindestens einen Krümmungsradius (R_i , R_A) aufweist und dass das Verhältnis der Breite (1) des Austrittsquerschnitts (4) zum mindestens einen Krümmungsradius (R_K , R_i , R_A) 0,0047 bis 0,1 beträgt.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Fläche (6) mindestens einen Krümmungsradius (R_K) aufweist und/oder dass die zweite Fläche (7) mindestens einen Krümmungsradius (R_i , R_A) aufweist, wobei der mindestens eine Krümmungsradius (R_K , R_i , R_A) 1 mm bis 50 mm, vorzugsweise 4 mm bis 15 mm groß ist.
3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Breite (1) des Austrittsquerschnitts (4) 0,02 mm bis 2 mm, vorzugsweise 0,07 mm bis 0,4 mm groß ist.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Fläche (6) und/oder die zweite Fläche (7) gegen den Austrittsquerschnitt (4) konvex gekrümmt sind/ist.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Fläche (7) und/oder die erste Fläche (6) gegen den Austrittsquerschnitt (4) konkav gekrümmt sind/ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5 **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Fläche (6) und/oder die zweite Fläche (7) zumindest abschnittsweise die Form eines Abschnitts eines Zylindermantels aufweist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Fläche (7) und/oder die erste Fläche (6) zumindest abschnittsweise die Form eines Abschnitts einer Kugeloberfläche aufweist.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Austrittsquerschnitt (4) rechteckig ist.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Austrittsquerschnitt (4) ringförmig oder ringsegmentförmig ist.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Breite (1) des Austrittsquerschnitts (4) verstellbar ist.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung mindestens eine Abrisskante (9) aufweist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwei Abrisskanten (9) vorgesehen sind, die bezogen auf den Austrittsquerschnitt (4) einander gegenüberliegend angeordnet sind.
13. Verfahren zur Zerstäubung einer Flüssigkeit, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:
 - Erzeugen einer Strömung (1) der Flüssigkeit durch einen Strömungskanal (3), wobei lediglich die Flüssigkeit durch den Strömungskanal (3) strömt und wobei die Flüssigkeit aus einem Austrittsabschnitt (13) des Strömungskanals (3) durch einen Austrittsquerschnitt (4) austritt;
 - Bildung von Flüssigkeitsstrahlen (11) am Austrittsquerschnitt (4) durch Erzeugen und Anwachsenlassen einer zentrifugalen Instabilität der Strömung der Flüssigkeit im Austrittsabschnitt (13) mit Wirbeln, wobei die Flüssigkeitsstrahlen (11) im Austrittsquerschnitt (4) entlang von Wirbelachsen (12) der Wirbel verlaufen und wobei die Flüssigkeitsstrahlen (11) derart dimensioniert werden, dass die Flüssigkeitsstrahlen (11) in weiterer Folge aufgrund der Plateau-Rayleigh-Instabilität zu Tröpfchen (12) zerfallen, wobei für die Erzeugung der zentrifugalen Instabilität die strömende Flüssigkeit im Austrittsabschnitt (13) entlang zumindest einer gekrümmten Fläche (6, 7) geführt wird, welche gekrümmte Fläche (6, 7) den Austrittsabschnitt (13) begrenzt und in welcher eine Randlinie (5) des Austrittsquerschnitts (4) zumindest abschnittsweise verläuft, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dimensionierung der Flüssigkeitsstrahlen (11) durch Abstimmen der Krümmung der mindestens einer Fläche (6, 7) und einer Breite (1) des Austrittsquerschnitts (4) erfolgt, sodass das Verhältnis der Breite (1) des Austrittsquerschnitts (4) zum mindestens einen Krümmungsradius (R_K, R_I, R_A) 0,0047 bis 0,1 beträgt.
14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12 verwendet wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine volumenstromäquivalente mittlere Geschwindigkeit v der Flüssigkeit, eine Breite 1 des Austrittsquerschnitts (4) sowie die kinematische Viskosität ν der Flüssigkeit so aufeinander abgestimmt bzw. gewählt werden, dass für die Reynolds-Zahl
$$Re = v \cdot 1 / \nu$$
gilt: $10 \leq Re \leq 10000$, vorzugsweise $50 \leq Re \leq 2500$, besonders bevorzugt $70 \leq Re \leq 2400$.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Breite (1) des Austrittsquerschnitts (4) variiert wird, um einen mittleren Durchmesser der Tröpfchen (12) zu variieren.
17. Verwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12 zur Sprühtrocknung, wobei mittels der Vorrichtung Tröpfchen (12) einer Suspension oder homogenen Lösung erzeugt werden, welche Tröpfchen (12) wiederum vorzugsweise mit Heißluft getrocknet werden, um ein Pulver eines in der Suspension suspendierten oder in der Lösung gelösten Stoffes herzustellen.
18. Verwendung nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass es sich bei dem Stoff um ein Lebensmittel handelt.
19. Verwendung nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass es sich bei dem Stoff um eine Chemikalie handelt.

Hierzu 5 Blatt Zeichnungen

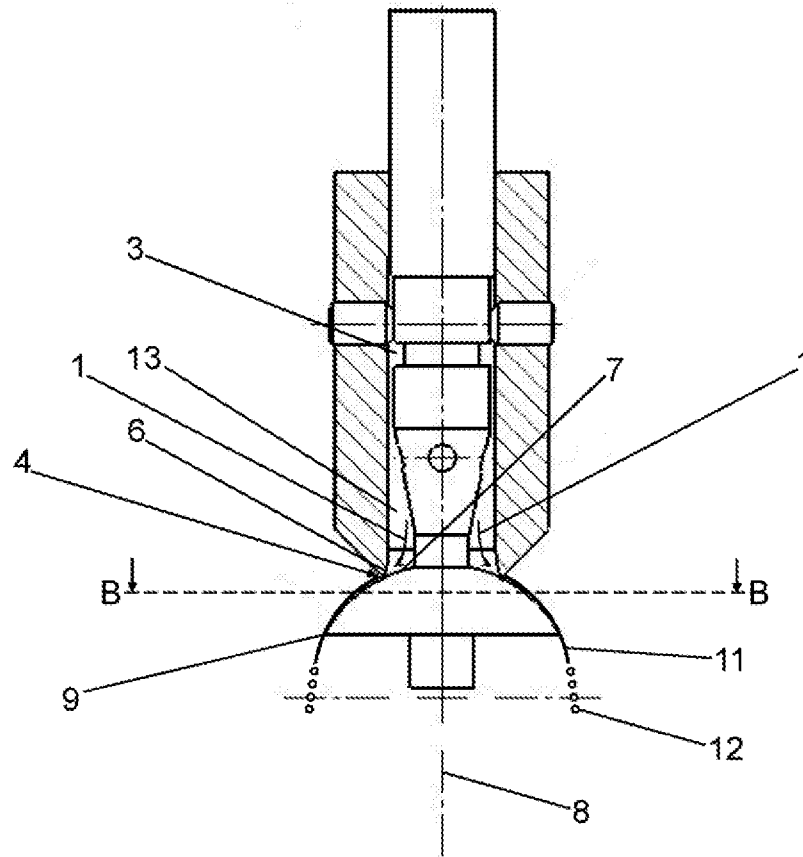


Fig. 1

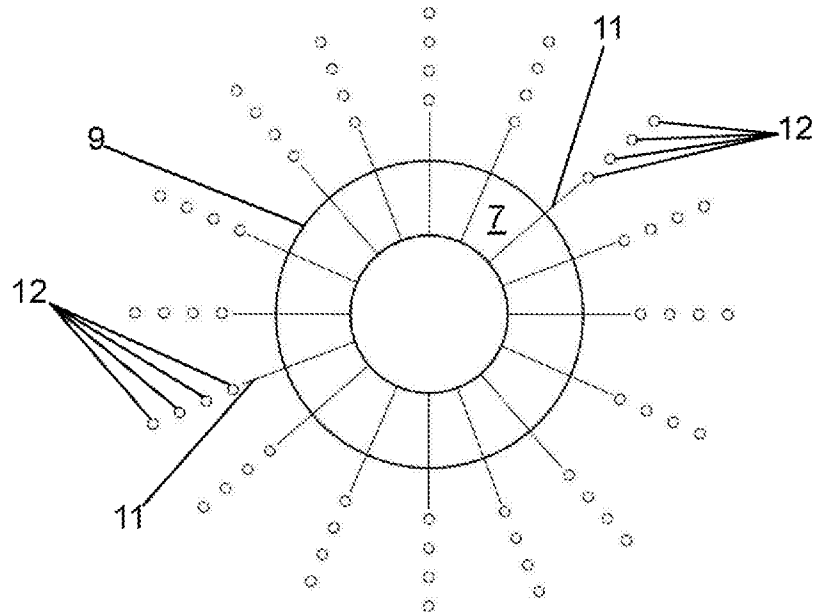


Fig. 2

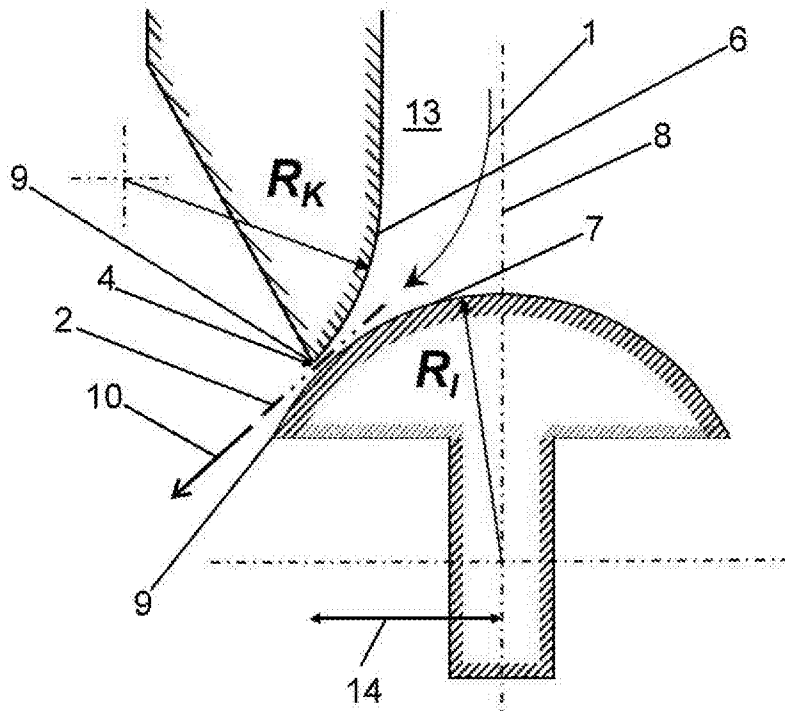


Fig. 3

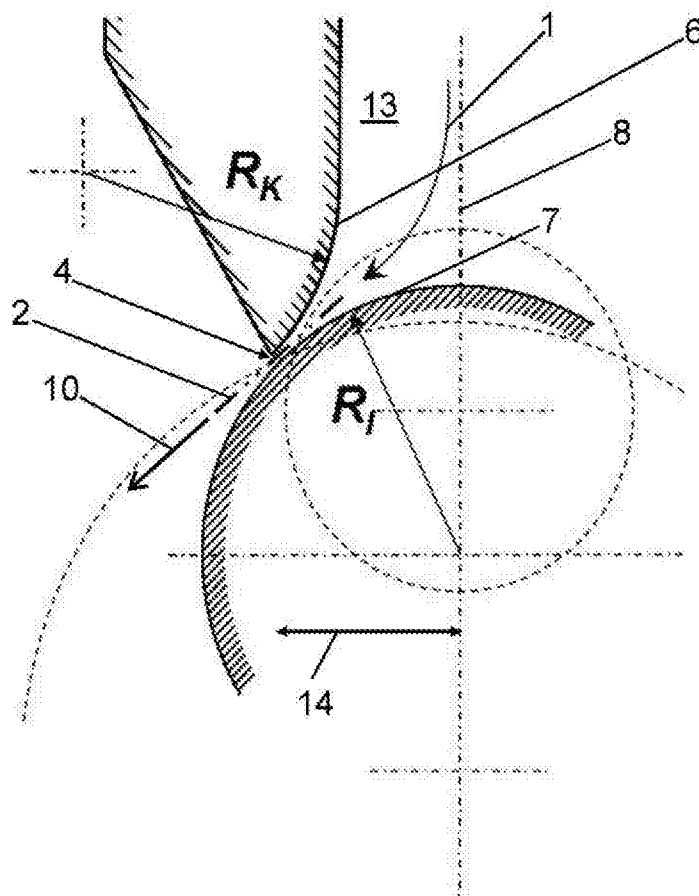


Fig. 4

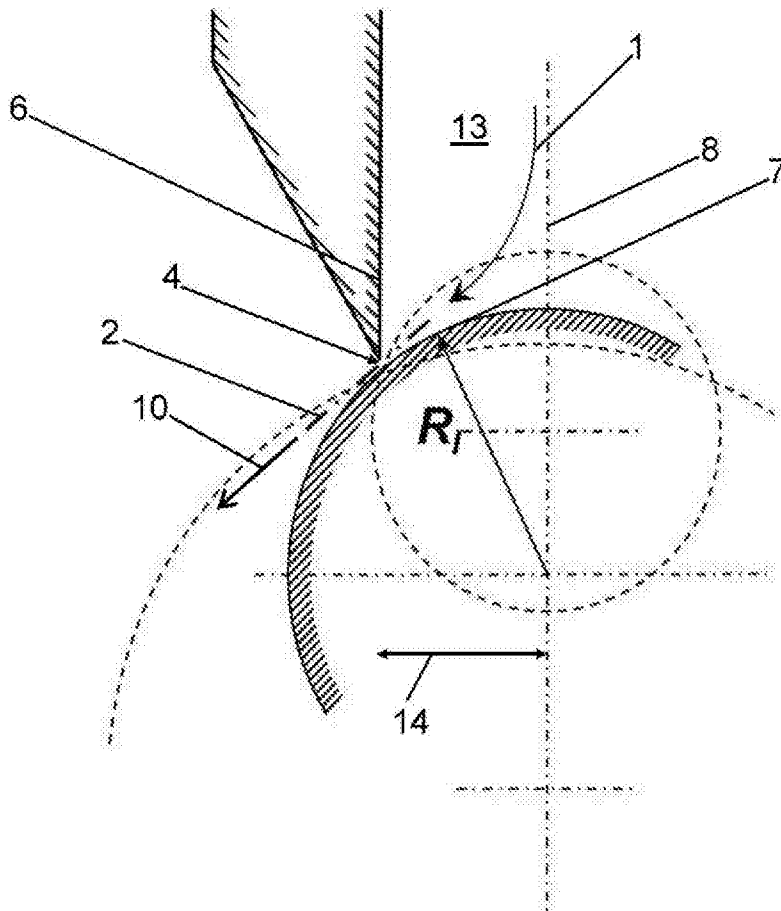


Fig. 7

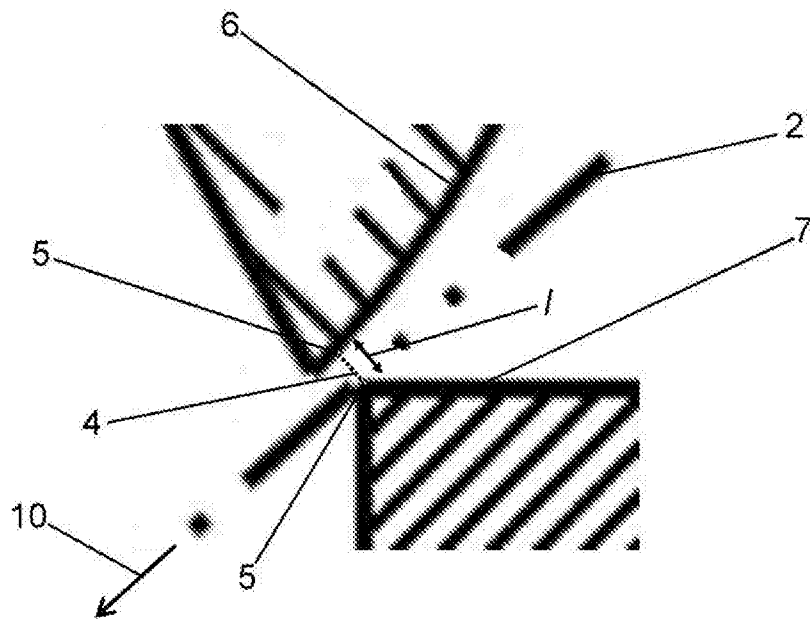


Fig. 8

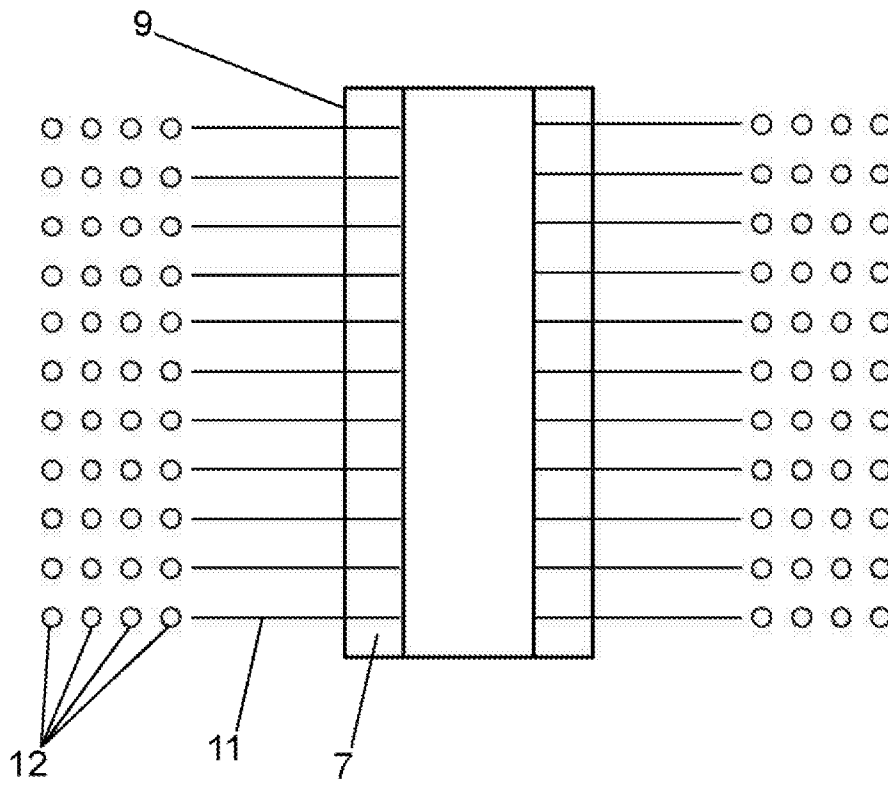


Fig. 9