

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Strahlverfahren zur Reinigung von Oberflächen, bei dem ein Trägergas unter Druck durch eine Strahlleitung einer Strahldüse zugeführt wird und flüssiges CO₂ über eine Zuleitung zugeführt, durch Entspannung in Trockenschnee umgewandelt und in die Strahlleitung eingespeist wird, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.

Stand der Technik

[0002] Ein Strahlverfahren dieser Art wird in US 5 616 067 A beschrieben. Das CO₂ wird in flüssiger Form in eine Ringkammer eingeleitet, die die von Druckluft durchströmte Strahlleitung umgibt, und wird von dort über einen Kranz konvergierender Kapillaren in die Strahlleitung zugeführt, so daß die Entspannung erst bei Eintritt in die Strahlleitung stattfindet. Der auf diese Weise entstehende Trockenschnee wird von der Druckluft mitgeführt und beschleunigt und über die Strahldüse auf das zu reinigende Werkstück abgegeben. Dieses Verfahren dient insbesondere zum schonenden Reinigen von druckempfindlichen Oberflächen, beispielsweise von elektronischen Schaltungsplatinen.

[0003] Aus US 5 679 062 ist ein Strahlverfahren bekannt, bei dem gasförmiges oder flüssiges CO₂ oder ein Gas-Flüssigkeits-Gemisch am Auslaß einer Düse entspannt und in eine erweiterte Wirbelkammer eingeleitet wird, in der ein Teil des gasförmigen und/oder flüssigen CO₂ in Trockenschnee umgewandelt wird. Der Auslaß der Wirbelkammer ist unmittelbar an eine Strahldüse angeschlossen. Als Trägergas dient hier nur das zugeführte oder durch Verdampfung entstehende gasförmige CO₂.

[0004] In US 5 725 154 A wird ein Strahlverfahren beschrieben, bei dem Trockenschnee durch Entspannung von flüssigem CO₂ mit Hilfe eines Entspannungsventils erzeugt wird. Der Trockenschnee wird über einen dünnen Schlauch, der koaxial von einem Schlauch zur Zufuhr des Trägergases umgeben ist, einer Strahlpistole zugeführt, die dann ein Gemisch aus Trägergas und Trockenschnee abgibt.

[0005] Aus WO 00/74 897 A1 ist eine Strahlvorrichtung bekannt, bei der flüssiges CO₂ über eine Kapillare zugeführt wird, die in einer sich konisch erweiternden Düse mündet, deren Durchmesser zum Auslaß hin auf etwa das 3-fache des Durchmessers der Kapillare zunimmt. Diese Düse ist von einer ringförmigen Laval-Düse umgeben, in der das unter Druck zugeführte Trägergas auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt wird. Die Mündungen der CO₂-Düse und der Laval-Düse liegen auf gleicher Höhe, so daß zwei konzentrische Strahlen abgegeben werden, nämlich ein innerer Strahl, der vorwiegend aus Trockenschnee besteht, und ein Mantelstrahl, durch den der Trockenschnee außerhalb der Düse beschleunigt werden soll.

[0006] Auch in Anwendungsfällen, bei denen größere Oberflächen, beispielsweise die Innenflächen von Rohren oder Kesseln in Industrieanlagen, von festsetzenden Verkrustungen befreit werden sollen, ist je nach Beschaffenheit der Verkrustungen vielfach der Einsatz von Trockeneis oder Trockenschnee als Strahlmittel wünschenswert, weil die niedrige Temperatur des Trockeneises oder Trockenschnees zu einer Versprödung des abzulösenden Materials führt. Wenn Trockenschnee-Partikel mit genügend hoher kinetischer Energie in die abzulösende Schicht eindringen, entsteht ein zusätzlicher Reinigungseffekt dadurch, daß die Trockenschnee-Partikel beim Eindringen in die abzulösende Schicht schlagartig verdampfen und so Teile der abzulösenden Schicht absprengen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß kein zusätzlicher Aufwand für die Entsorgung des gebrauchten Strahlmittels erforderlich ist, weil der Trockenschnee zu gasförmigem CO₂ verdampft.

[0007] Die Eingangs beschriebenen Strahlverfahren sind jedoch für diese Anwendungsfälle nicht geeignet, weil die erreichbaren Volumenleistungen und Strahlgeschwindigkeiten nicht ausreichen und/oder weil der Trockenschnee nicht in ausreichender Menge entsteht oder nicht die richtigen Konsistenz hat, so daß die kinetische Energie der Trockenschnee-Partikel zu gering ist.

[0008] Für die Reinigung von größeren, stark verunreinigten Oberflächen werden deshalb bisher Strahlanlagen eingesetzt, bei denen Trockeneis oder Trockenschnee in fester Form in geeigneten Kühlbehältern bereitgestellt und in eine Druckluftströmung eidosiert wird. Die Druckluft und der als Strahlmittel dienende Trockenschnee werden dann gemeinsam über einen Druckschlauch abgeben, der die Strahlanlage mit der Strahldüse verbindet. Strahlvorrichtungen und -verfahren dieser Art erfordern jedoch einen hohen Installationsaufwand und entsprechend hohe Anlagelkosten sowie einen hohen Aufwand für die Bevonung des Trockenschnees.

[0009] Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, ein Strahlverfahren und eine Strahlvorrichtung zu schaffen, mit denen bei geringem Aufwand hohe Strahlleistungen und eine hohe Reinigungswirkung erzielbar sind.

[0010] Diese Aufgabe wird mit den in den unabhängigen Patentansprüchen angegebenen Merkmalen gelöst.

[0011] Erfindungsgemäß wird bei einem Verfahren der Eingangs genannten Art das CO₂ aus der Zuleitung über einen erweiterten Entspannungsraum in die Strahlleitung eingeleitet. Für das Volumen V des Entspannungsraumes und die Innenquerschnittsfläche A der Zuleitung gilt die Beziehung: $V^{1/3}/A^{1/2} > 10$.

[0012] Überraschend hat sich gezeigt, daß durch geeignete Dimensionierung des Entspannungsraumes die Entstehung großer Mengen an Trockenschnee mit hoher Reinigungswirksamkeit erreicht werden kann. Dabei lassen sich insbesondere auch hohe Volumenleistungen von 1 bis 10 m³/min oder

mehr erzielen, so daß auch größere oder stark verunreinigte Oberflächen effizient gereinigt werden können. Da der als Strahlmittel dienende Trockenschnee erst unmittelbar bei Anwendung des Strahlverfahrens aus flüssigem CO₂ erzeugt wird, lassen sich die bisher erforderlichen hohen Kosten für die Strahlanlagen und die für die Bereitstellung des Trockenschnees einsparen.

[0013] Für die effiziente Erzeugung des Trockenschnees ist es wesentlich, daß der Entspannungsraum ein hinreichend großes Volumen aufweist. In Versuchen konnte durch Vergrößerung des Entspannungsraumes unter sonst gleichen Bedingungen eine Vervielfachung der Reinigungswirkung erreicht werden. Dieses überraschende Phänomen ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß es in dem größeren Entspannungsraum zwischen der Mündung der Zuleitung und der Einspeisungsstelle in die Strahlleitung zu einer vorübergehenden Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit und damit zu einer Zunahme der Partikeldichte kommt, so daß die zunächst bei der Entspannung fein zerstäubten Trockenschnee-Partikel zu größeren Partikeln agglomerieren oder kondensieren, bevor sie von der Strömung des Trägergases mitgerissen werden. Auf diese Weise entstehen Trockenschnee-Partikel mit größerer Masse, die dann aufgrund ihrer höheren kinetischen Energie eine hohe Reinigungswirkung entfalten.

[0014] Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0015] Die Länge des Entspannungsraumes liegt bevorzugt zwischen etwa 100 und 300 mm. Bei einer kleineren Länge des Entspannungsraumes nimmt die Menge und die Größe der entstehenden Trockenschnee-Partikel ab, während bei zu großer Länge die Verdampfungsverluste zunehmen.

[0016] Der Querschnitt des Entspannungsraumes beträgt vorzugsweise das 40- bis 150-fache des Innenquerschnitts der Zuleitung. Bei einem typischen Innendurchmesser der Zuleitung von 3 mm entspricht dies bei einem zylindrischen Entspannungsraum einem Innendurchmesser von etwa 20 bis 35 mm. Es ist vorteilhaft, wenn der Querschnitt des Entspannungsraumes in Strömungsrichtung stetig oder stufenweise zunimmt. An der Einmündungsstelle in die Strahlleitung hat der Entspannungsraum vorzugsweise den gleichen Innendurchmesser wie die Strahlleitung.

[0017] Weiterhin hat es sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn der Entspannungsraum unter einem Winkel von etwa 45° in Strömungsrichtung in die geradlinig durchgehende Strömungsleitung mündet. Bei dieser Konfiguration wird durch die Strömung des Trägergases eine gewisse Sogwirkung erzielt, und der Trockenschnee wird schonend in die in der Strahlleitung herrschende Strömungsrichtung umgelenkt. Da die Strömung des Trägergases in der Strahlleitung eine Komponente quer zur Längsrichtung des Entspannungsraumes hat, ist zu erwarten,

daß sich zumindest im stromabwärtsigen Bereich des Entspannungsraumes ein Wirbel bildet, der die Verweilzeit des Trockenschnees im Entspannungsraum verlängert und damit die Agglomeration bzw. das Wachstum der Partikel begünstigt.

[0018] In einer zweckmäßigen Ausführungsform liegt die Einmündungsstelle des Entspannungsraumes in der Strahlleitung in geringem Abstand stromaufwärts der Strahldüse.

[0019] Die Strahldüse weist vorzugsweise eine Engstelle auf, so daß das Trägergas und das Strahlmittel auf hohe Geschwindigkeit beschleunigt werden. Besonders bevorzugt ist die Ausbildung der Strahldüse als Laval-Düse, in der eine Beschleunigung annähernd Schallgeschwindigkeit oder Überschallgeschwindigkeit erreicht wird.

[0020] Bei der Dimensionierung der Laval-Düse ist zu berücksichtigen, daß durch die Zufuhr von Trockeneis unmittelbar stromaufwärts der Düse die Temperatur des Mediums verringert und seine Dichte vergrößert wird, wodurch sich der Arbeitspunkt der Laval-Düse verschiebt. Um eine optimale Reinigungswirkung zu erzielen, sollte bei dem erfindungsgemäßen Verfahren der Querschnitt der Engstelle der Laval-Düse größer gewählt werden als in dem Fall, daß das Medium mit gleichem Druck und Durchsatz ausschließlich über die Strahlleitung zugeführt wird.

[0021] Wenn der Durchsatz des Trägergases zu groß ist, so daß sich vor der Strahldüse ein hoher Staudruck aufbaut, nimmt die Menge und die Reinigungswirksamkeit des erzeugten Trockenschnees deutlich ab. Deshalb ist es zweckmäßig, in der Strahlleitung stromaufwärts der Einmündungsstelle des Entspannungsraumes ein Drosselventil vorzusehen, mit dem sich der Durchsatz des Trägergases optimal einstellen läßt.

[0022] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens wird in die Trägergasströmung und/oder in den Entspannungsraum eine geringe Menge an Wasser eingesprüht, um den Reinigungseffekt weiter zu steigern.

Ausführungsbeispiel

[0023] Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel anhand der Zeichnung näher erläutert.

[0024] Die einzige Zeichnungsfigur zeigt einen Schnitt durch eine Strahlvorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0025] Eine Strahlleitung **10** wird durch ein gerades zylindrisches Rohr gebildet, das einen Innendurchmesser DL von 39 mm hat. Ein Einlaß **12** der Strahlleitung ist mit einem nicht gezeigten Kompressor verbunden, über den Druckluft mit einem Druck von beispielsweise 1,1 MPa zugeführt wird. An die Mündung der Strahlleitung **10** ist eine als Laval-Düse ausgebildete Strahldüse **14** angekuppelt. Diese Strahldüse hat einen konvergierenden Abschnitt **16**, dessen Innendurchmesser von 32 mm am stromaufwärtigen Ende auf 12,5 mm an einer Engstelle **18** abnimmt,

und einen divergenten Abschnitt **20**, dessen Innendurchmesser von der Engstelle **18** aus auf 19 mm am stromabwärtigen Ende zunimmt. Die Gesamtlänge LL der Strahldüse beträgt 224 mm. Die Länge LC des konvergierenden Abschnitts **16** beträgt 83 mm.

[0026] Eine Verbindungsmuffe **22** zwischen der Strahlleitung **10** und der Laval-Düse **14** hat einen Innendurchmesser von etwa 32 mm, entsprechend dem Einlaßdurchmesser der Strahldüse.

[0027] Unmittelbar stromaufwärts der Verbindungsmuffe **22** weist das die Strahlleitung **10** bildende Rohr einen Abzweig **24** auf, der unter einem Winkel von 45° in Strömungsrichtung in die Strahlleitung **10** mündet. Der Abstand D zwischen dem Abzweig **24** und der Einlaßöffnung der Strahldüse **14** beträgt etwa 66 mm. Stromaufwärts des Abzweigs **24** ist in der Strahlleitung **10** ein Drosselventil **26**, beispielsweise ein Kugelhahn, angeordnet.

[0028] In den Abzweig **24** ist ein rohrförmiges Übergangsstück **28** eingeschraubt, dessen freies Ende über ein Reduzierstück **30** mit einer flexiblen Zuleitung **32** für flüssiges CO₂ verbunden ist.

[0029] Die Zuleitung **32** ist an eine nicht gezeigte Druckflasche angeschlossen, die einen Vorrat an CO₂ unter einem solchen Druck hält, daß das CO₂ bei Umgebungstemperatur flüssig bleibt. Dieser Druck beträgt beispielsweise bei einer Umgebungstemperatur von 20° C etwa 5, 5 MPa. Die Zuleitung **32** hat einen Innendurchmesser von 3 mm. Das flüssige CO₂ strömt aufgrund des Druckgefälles, ohne das irgendwelche Fördereinrichtungen erforderlich sind, über die Zuleitung **32** aus. Der Durchsatz wird dabei durch den geringen Querschnitt der Zuleitung **32** begrenzt.

[0030] Das Übergangsstück **28** bildet einen Entspannungsraum **34**, der zwei zylindrische Abschnitte **36**, **38** mit unterschiedlichen Durchmessern aufweist. Der stromaufwärtige Abschnitt **36**, der sich unmittelbar an die Zuleitung **32** anschließt, hat einen Innendurchmesser DC1 von 20 mm und eine Länge L1 von 85 mm. Über einen kurzen konischen Abschnitt schließt sich der stromabwärtige Abschnitt **38** mit einem Innendurchmesser DC2 von 32 mm und einer Länge L2 von 105 mm an. Die Gesamtlänge LE des Entspannungsraumes **34** beträgt somit 190 mm. Der Abzweig **24** hat einen Innendurchmesser DC3 von 39 mm, übereinstimmend mit dem Innendurchmesser DL der Strahlleitung **10**.

[0031] An der Stelle, an der die Zuleitung **32** im Reduzierstück **30** in den Entspannungsraum **34** mündet, kann sich das flüssige CO₂ schlagartig entspannen. Dabei wird ein Teil des CO₂ verdampft. Durch die Verdampfung und durch die Druckentlastung kommt es zu einer Abkühlung, so daß ein anderer Teil des flüssigen CO₂, der beim Eintritt in den Entspannungsraum fein zerstäubt wird, zu feinen Trockenschnee-Partikeln kondensiert. Da die Querschnittsfläche des stromaufwärtigen Abschnitts **36** des Entspannungsraumes **34** etwa das 44-fache der Querschnittsfläche der Zuleitung **32** beträgt, durch-

strömt das Gemisch aus gasförmigem CO₂ und Trockenschnee den stromaufwärtigen Abschnitt **36** des Entspannungsraumes mit mäßiger Geschwindigkeit. Bei Eintritt in den stromabwärtigen Abschnitt **38** wird die Geschwindigkeit weiter reduziert. Auf ihrem Weg durch den verhältnismäßig langen Entspannungsraum **34** können sich die feinen Trockeneis-Partikel zu größeren Partikeln zusammenballen (Agglomeration). Da bei Eintritt in den stromabwärtigen Abschnitt **38** die Strömungsgeschwindigkeit abnimmt und entsprechend der dynamische Druck zunimmt, können die Partikel zum Teil auch durch Rekondensation von gasförmigem CO₂ wachsen. Bei Eintritt in dem nochmals erweiterten Abzweig **24** haben sich daher relativ große Trockenschnee-Partikel gebildet, die nun durch die Sogwirkung der durch die Strahlleitung **10** strömenden Druckluft abgesaugt und zur Strahldüse **14** mitgenommen werden. In der Strahldüse **14** werden die Druckluft und der Trockenschnee auf hohe Geschwindigkeit, eventuell Überschallgeschwindigkeit beschleunigt, so daß ein Strahl mit hoher Reinigungswirkung aus der Strahldüse austritt. Wenn dieser Strahl auf eine zu reinigende Oberfläche gerichtet wird, wirkt der Trockenschnee als Strahlmittel, mit dem die Oberfläche effizient gereinigt werden kann.

[0032] In Versuchen hat sich gezeigt, daß die Reinigungswirkung des in dieser Weise erzeugten Strahls kritisch von der Dimensionierung des Entspannungsraumes **34** und vom Durchsatz der Druckluft durch die Strahlleitung **10** abhängt. Wenn beispielsweise der Entspannungsraum verkleinert wird, indem der stromabwärtige Abschnitt **38** fortgelassen wird, so daß der stromaufwärtige Abschnitt **36** unmittelbar in die Strahlleitung **10** mündet, ergibt sich eine deutlich verringerte Reinigungswirkung. Bei noch weiterer Verkleinerung des Entspannungsraumes ist praktisch keine Wirkung des Trockenschnees mehr feststellbar. Ebenso nimmt die Reinigungswirkung drastisch ab, wenn der Durchsatz der Druckluft durch die Strahlleitung **10** zu groß ist. Deshalb wird mit Hilfe des Drosselventils **26** der Durchsatz so dosiert, daß eine optimale Erzeugung von Trockenschnee und eine optimale Reinigungswirkung erzielt werden.

[0033] Das beschriebene Ausführungsbeispiel läßt sich in vielfältiger Weise abwandeln.

[0034] Beispielsweise ist es möglich, anstelle einer geraden Strahlleitung **10** eine abgewinkelte Strahlleitung zu verwenden, so daß der Entspannungsraum und der stromaufwärtige Abschnitt der Strahlleitung symmetrisch in den stromabwärtigen Abschnitt der Strahlleitung münden. Denkbar ist auch eine Anordnung, bei der die Strahlleitung **10** zu einem Ringraum erweitert ist, die den Entspannungsraum koaxial aufnimmt.

[0035] In einer anderen Ausführungsform kann zwischen der Stelle, an der der Entspannungsraum in die Strahlleitung mündet, und der Strahldüse **14** noch ein längerer Schlauchabschnitt vorgesehen sein.

[0036] Um größere Mengen an Trockenschnee zu erzeugen, ist es möglich, mehrere Zuleitungen **32**

über jeweilige Entspannungsräume in die Strahlleitung **10** münden zu lassen. Die Einmündungen der Entspannungsräume in die Strahlleitung können dabei auf dem Umfang der Strahlleitung verteilt und/oder in Axialrichtung versetzt sein. Weiterhin ist es möglich, mehrere Zuleitungen **32** in einen gemeinsamen Entspannungsraum münden zu lassen.

[0037] Über die Strahlleitung **10** kann anstelle von Druckluft auch ein anderes Trägergas zugeführt werden. Diesem Trägergas oder der Druckluft kann auch ein anderes Strahlmittel zugesetzt sein. Ebenso ist es denkbar, zusätzliche feste oder flüssige Strahlmittel über seitliche Zuführungen in die Strahlleitung stromaufwärts oder stromabwärts des Abzweigs **24** oder gegebenenfalls auch in den Entspannungsraum **34** münden zu lassen.

Patentansprüche

1. Strahlverfahren zur Reinigung von Oberflächen, bei dem ein Trägergas unter Druck durch eine Strahlleitung (**10**) zu einer Strahldüse (**14**) zugeführt wird und flüssiges CO₂ über eine Zuleitung (**32**) zugeführt, durch Entspannung in Trockenschnee umgewandelt und in die Strahlleitung (**10**) eingespeist wird, dadurch gekennzeichnet, daß das CO₂ aus der Zuleitung (**32**) über einen im Querschnitt erweiterten Entspannungsraum (**34**) in die Strahlleitung (**10**) eingeleitet wird und für das Volumen V des Entspannungsraumes und die Innenquerschnittsfläche A der Zuleitung (**32**) die Beziehung $V^{1/3}/A^{1/2} > 10$ erfüllt ist.
2. Strahlverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge LE des Entspannungsraumes (**34**) mindestens 80 mm beträgt.
3. Strahlverfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Innengequerschnittsfläche des Entspannungsraumes (**34**) mindestens das 30-fache der Innenquerschnittsfläche A der Zuleitung (**32**) beträgt.
4. Strahlverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Durchsatz des Trägergases durch die Strahlleitung (**10**) mindestens 1 m³/min beträgt.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Strömung des Trägergases stromaufwärts der Einmündungsstelle des Entspannungsraumes (**34**) in die Strahlleitung (**10**) mit Hilfe eines Drosselventils (**26**) gedrosselt wird, um die Erzeugung von Trockenschnee zu optimieren.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Trägergas mit einem Druck von mindestens 0,1 MPa, vorzugsweise etwa 1,0 MPa zum Drosselventil (**26**) zugeführt wird.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das CO₂ bei Umgebungstemperatur unter einem zur Aufrechterhaltung des flüssigen Aggregatzustands erforderlichen Druck über die Zuleitung (**32**) zugeführt wird.
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Gemisch aus Trägergas und Trockenschnee in der Strahldüse (**14**) auf mindestens annähernd Schallgeschwindigkeit beschleunigt wird.
9. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorstehenden Ansprüche, mit einer Strahlleitung (**10**) zur Zufuhr eines Trägergases und einer Zuleitung (**32**) für flüssiges CO₂, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuleitung (**32**) mit der Strahlleitung (**10**) über einen Entspannungsraum (**34**) verbunden ist und für das Volumen V des Entspannungsraumes und die Innenquerschnittsfläche A der Zuleitung (**32**) die Beziehung $V^{1/3}/A^{1/2} > 10$ erfüllt ist.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Querschnittsfläche des Entspannungsraumes (**34**) das 40- bis 150-fache der Querschnittsfläche A der Zuleitung (**32**) beträgt.
11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Querschnitt des Entspannungsraumes (**34**) von der Zuleitung (**32**) zur Strahlleitung (**10**) zunimmt.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge des Entspannungsraumes (**34**) 100 bis 250 mm beträgt.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Innenquerschnitt eines stromabwärtigen Abschnitts (**38**) des Entspannungsraumes (**34**) annähernd mit dem Innenquerschnitt der Strahlleitung (**10**) übereinstimmt.
14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der stromabwärtige Abschnitt (**38**) eine Länge von mindestens 100 mm hat.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Entspannungsraum (**34**) von einer Seite her in einen geraden Abschnitt der Strahlleitung (**10**) mündet.
16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Entspannungsraum (**34**) unter einem Winkel von etwa 45° in Strömungsrichtung in die Strahlleitung (**10**) mündet.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß an das stromabwärtige Ende der Strahlleitung (**10**) eine Laval-Düse als Strahldüse (**14**) angeschlossen ist.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Innendurchmesser der Strahldüse (**14**) an ihrer Einlaßöffnung etwa mit dem Innendurchmesser der Strahlleitung (**10**) übereinstimmt und daß der Innendurchmesser einer Engstelle (**18**) der Strahldüse etwa 35 bis 45 % des Durchmessers der Einlaßöffnung beträgt.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß in der Strahlleitung-(10) stromaufwärts der Einmündungsstelle des Entspannungsraumes (**34**) ein Drosselventil (**26**) angeordnet ist.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

