



(10) **DE 10 2023 005 399 A1** 2024.09.26

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2023 005 399.6**

(22) Anmeldetag: **23.03.2023**

(43) Offenlegungstag: **26.09.2024**

(51) Int Cl.: **F23D 14/48** (2006.01)

F27B 7/20 (2006.01)

F26B 11/04 (2006.01)

(62) Teilung aus:
10 2023 202 665.1

(71) Anmelder:
Benninghoven Zweigniederlassung der Wirtgen Mineral Technologies GmbH, 54516 Wittlich, DE

(74) Vertreter:
**RAU, SCHNECK & HÜBNER Patentanwälte
Rechtsanwälte PartGmbH, 90402 Nürnberg, DE**

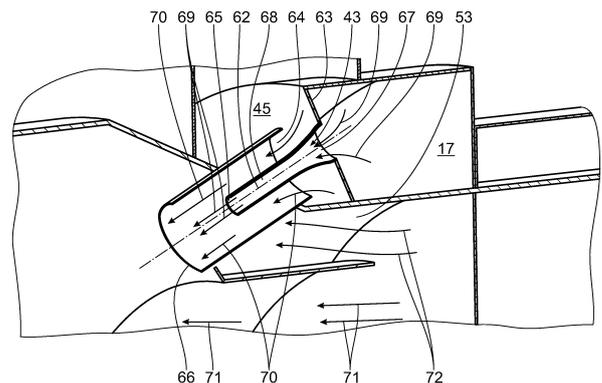
(72) Erfinder:
**Zimmer, Dietmar, 54472 Longkamp, DE; Johann,
Matthias Walter, 56864 Bad Bertrich, DE; Kloft,
Marius, 54516 Wittlich, DE; Jung, Johannes, 54470
Bernkastel-Kues, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Düsenanordnung für einen Brenner sowie Brenner mit einer derartigen Düsenanordnung**

(57) Zusammenfassung: Eine Düsenanordnung für einen Brenner (12) weist mindestens ein Düsenpaar (43, 46) auf mit einer Brenngasdüsenlängsachse (62) aufweisenden Brenngasdüse (43) zum Eindüsen von Brenngas, wobei die Brenngasdüse (43) an eine Brenngasverteilereinrichtung (17) angeschlossen ist, und mit einer Sekundärgasdüse (46) zum Eindüsen von Sekundärgas, wobei die Sekundärgasdüse (46) an eine Sekundärgasverteilereinrichtung (45) angeschlossen ist, wobei die Brenngasdüse (43) entlang der Brenngasdüsenlängsachse (62) zumindest teilweise innerhalb der Sekundärgasdüse (46) angeordnet ist und wobei die Sekundärgasdüse (46) in Umfangsrichtung um die Brenngasdüsenlängsachse (62) die eine Brenngasdüse (43) umgibt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Düsenanordnung für einen Brenner, insbesondere einen Gasbrenner, sowie einen Brenner mit einer derartigen Düsenanordnung.

[0002] In einer Anlage zur Herstellung von Asphalt werden verschiedene Materialien verarbeitet, insbesondere erwärmt, getrocknet und/oder miteinander vermischt. Für das Trocknen der Materialien bei der Asphaltherstellung erfolgt ein großer Teil des Energieeintrages, der für den nachfolgenden Mischprozess des Asphalts notwendig ist. Die Materialien werden beim Trocknen erhitzt. Das Temperaturniveau beträgt abhängig von der zu mischenden Asphaltart und insbesondere in Abhängigkeit eines Anteils an zuzugebendem Altasphaltgranulat, das auch als Recyclingmaterial bezeichnet wird, bis zu 450°C. Das Trocknen erfolgt in einem Drehrohrofen, der auch als Trockentrommel bezeichnet wird. Im Drehrohrofen wird Wärme zugeführt, die mittels einer separaten Heizeinheit erzeugt worden ist. Die Wärmeerzeugung basiert üblicherweise auf der Verbrennung fossiler Energieträger wie beispielsweise Erdgas, Flüssiggas, Heizöl und/oder Kohlenstaub. Die Verbrennung fossiler Energieträger ist klimatechnisch problematisch.

[0003] Andere, nicht-fossile Brennstoffe, insbesondere nicht-fossile Brenngase, wie beispielsweise Wasserstoff, haben eine hohe Reaktionsrate und führen zu hohen Flammtemperaturen und damit zu einer hohen thermischen Belastung des Brenners sowie zu erhöhten Stickoxidemissionen.

[0004] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Verwendung eines Brenngases mit hoher Reaktionsrate in einem Brenner bei effizienter Verbrennung zu ermöglichen, so dass insbesondere die Standzeit des Brenners nicht unerwünscht verkürzt ist und der Brenner insbesondere schonend betrieben werden kann.

[0005] Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß gelöst durch eine Düsenanordnung mit den im Anspruch 1 angegebenen Merkmalen und durch einen Brenner mit den im Anspruch 11 angegebenen Merkmalen.

[0006] Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass eine effiziente und vorteilhafte Verbrennung von Gasen möglich ist, wenn die Gase vorteilhaft in den Brenner eingedüst werden. Mittels einer erfindungsgemäßen Düsenanordnung, die mindestens ein Düsenpaar umfasst, können ein Brenngas und ein Sekundärgas vorteilhaft eingedüst werden. Jedes Düsenpaar weist eine Brenngasdüse auf, mit der Brenngas, insbesondere in eine Brennkammer des Brenners, eingedüst wird. Es ist auch denkbar, dass das Brenngas mit der Brenngasdüse unmittelbar in einen Arbeitsraum ein-

gedüst wird, der mit der Brennerflamme erwärmt werden soll. Der Arbeitsraum kann beispielsweise eine Trockentrommel in einer Asphaltmischanlage sein. Die Brenngasdüse weist eine Brenngasdüsenlängsachse auf. Die Brenngasdüse ist an eine Brenngasverteileinrichtung, insbesondere an eine Brenngasverteilkammer, angeschlossen. Die Brenngasverteileinrichtung kann alternativ als Rohrleitung, als Verteilerelement und/oder als Krümmer ausgeführt sein. Über die Brenngasverteileinrichtung wird das Brenngas an der Brenngasdüse zur Verfügung gestellt. Die Brenngasverteilkammer ist insbesondere bezüglich einer Mittellängsachse des Brenners ringförmig ausgeführt. Die Brenngasdüse ist insbesondere als Innendüse ausgeführt.

[0007] Als Brenngas dient ein Gas mit einer hohen Reaktionsrate, das effizient und gezielt zur Wärmeerzeugung verbrannt werden kann. Das Brenngas weist eine hohe Flammtemperatur in Luft auf. Für Wasserstoff beträgt die Flammtemperatur in Luft 2130°C. Bei einer Verbrennungstemperatur von 1400°C entstehen Stickoxid-Emissionen, wobei deren Menge mit zunehmender Temperatur etwa exponentiell ansteigt. Das Brenngas ist insbesondere Wasserstoff und/oder Acetylen.

[0008] Jedes Düsenpaar weist ferner eine Sekundärgasdüse auf. Die Sekundärgasdüse ist insbesondere als Außendüse ausgeführt und insbesondere um die Brenngasdüse herum angeordnet. Die Sekundärgasdüse dient zum Eindüsen von Sekundärgas in die Brennkammer des Brenners.

[0009] Durch die Verwendung des Sekundärgases kann die hohe Reaktionsrate des Brenngases gezielt reduziert werden, so dass die Flammtemperaturen und insbesondere lokale Temperaturspitzen, reduziert sind. Durch die Eindüsung des Sekundärgases kann die Verbrennungsreaktion im Brenner gezielt reduziert werden. Das bedeutet, dass die Verbrennungsreaktion durch die Zugabe des Sekundärgases verlangsamt wird. Insbesondere dient die Düsenanordnung dazu, durch eine gezielte Eindüsung die Flammtemperatur der Brennerflamme lokal zu beeinflussen.

[0010] In dem Brenner wird neben dem Brenngas und dem Sekundärgas insbesondere noch Luft verarbeitet. Denkbar ist es, ein weiteres Brenngas, ein sogenanntes Sekundärbrenngas, zuzuführen und mit zu verbrennen. Insbesondere wird ausschließlich Gas in dem Brenner verarbeitet. Der Brenner ist insbesondere ein Gasbrenner. Zusätzlich können Flüssigkeiten und/oder Feststoffe als Brennstoffe in dem erfindungsgemäßen Brenner verarbeitet werden.

[0011] Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass durch die gezielte Eindüsung des Sekundärgases der Brennstoffumsatz pro Volumen reduziert ist. Dadurch

werden Hochtemperaturzonen reduziert und insbesondere vermieden. Durch die Reduktion der Hochtemperaturzonen ist die Verbrennungsreaktion für den Brenner schonend. Die Lebensdauer des Brenners ist erhöht. Der erfindungsgemäße Brenner ist ökologisch und ökonomisch vorteilhaft. Insbesondere wurde erkannt, dass Hochtemperaturzonen maßgeblich für die Entstehung von Stickoxid (NO_x -) Emissionen ursächlich sind. Durch die Reduktion der Stickoxid-Emissionen ist der Betrieb des Brenners besonders umweltschonend. Insbesondere kann die Entstehung von Stickoxiden direkt bei der Verbrennung vermieden werden.

[0012] Die erfindungsgemäß erzeugte Wärme wird zumindest anteilig und insbesondere ausschließlich durch die Verbrennung von Wasserstoff als Brenngas erzeugt. Die Verbrennung von Wasserstoffgas ist kohlenstoffdioxidfrei. Bei der Verbrennung von Wasserstoffgas wird kein Kohlenstoffdioxid erzeugt. Die Verbrennung von Wasserstoffgas ist klimafreundlich. Schädliche Abgase und/oder Emissionen sind reduziert. Besonders vorteilhaft ist, wenn das Wasserstoffgas aus regenerativen Energien erzeugt worden ist, wenn es sich also um sogenannten grünen Wasserstoff handelt.

[0013] Der Brenner dient zum Zuführen von Wärme in einen Drehrohrofen in einer Anlage zur Herstellung von Asphalt. Dazu ist der Brenner mit dem Drehrohrofen gekoppelt. Eine vom Brenner erzeugte Brennerflamme kann direkt im Drehrohrofen brennen. In diesem Fall sind Brenner und Drehrohrofen physisch miteinander gekoppelt. Der Brenner ist in diesem Fall unmittelbar am Drehrohrofen angeordnet. Alternativ kann die Brennerflamme räumlich beabstandet von dem Drehrohrofen, insbesondere in einem Heißgaserzeuger, brennen. Die so erzeugte Wärme kann als Heißgas aus dem Heißgaserzeuger zu dem Drehrohrofen geleitet werden. Die mit dem Brenner erzeugte Wärme wird als Heißgas dem Drehrohrofen zugeführt. In diesem Fall ist der Brenner mittelbar mit dem Drehrohrofen, insbesondere über eine Heißgasleitung, gekoppelt.

[0014] Als Sekundärgas dient insbesondere Abgas und/oder Inertgas. Als Abgas dient insbesondere Abgas aus einer Anlage zur Asphaltherstellung, insbesondere Abgas aus dem Drehrohrofen, der mit dem Brenner mit Wärme versorgt werden soll. In diesem Fall wird Abgas aus dem Drehrohrofen mittels einer Abgasrückführung unmittelbar zu dem Brenner zurückgeführt. Diese unmittelbare Rückführung wird als Rezirkulation bezeichnet. Zusätzlich oder alternativ kann mindestens eine weitere Abgasquelle vorhanden sein, von der Abgase zu dem Brenner rückgeführt werden. Die mindestens eine weitere Abgasquelle ist insbesondere ein weiterer Drehrohrofen, eine Kübelbahn, ein Kamin und/oder eine Filtereinheit, insbesondere eine Filterentstaubung. Ins-

besondere können mehrere Abgasrückführleitungen vorhanden sein, die die verschiedenen Abgasquellen zu dem Brenner führen. Insbesondere ist ein Abgasrückführungssystem vorhanden, mit dem der Drehrohrofen und/oder die mindestens eine weitere Abgasquelle, insbesondere zumindest mittelbar an dem Brenner fluidtechnisch angeschlossen sind.

[0015] Besonders vorteilhaft ist es, wenn das rückgeführte Abgas vorher gereinigt worden ist, also im Wesentlichen keine Staubanteile aufweist. Insbesondere ist das rückgeführte Abgas Rauchgas, bei dem der Anteil an Staubpartikeln weniger als 20 mg/m^3 und insbesondere weniger als 10 mg/m^3 beträgt. Es wurde überraschend gefunden, dass gereinigtes Abgas und insbesondere Rauchgas für die Verlangsamung der Verbrennungsreaktion besonders vorteilhaft geeignet ist.

[0016] Alternativ kann das Abgas zumindest teilweise mit Staubpartikeln beladen sein, wobei die Staubbelastung insbesondere kleiner ist als 35 mg/m^3

[0017] Mit der Sekundärgasdüse kann insbesondere auch Inertgas eingedüst werden. Als Inertgas werden Gase verstanden, die einen höheren Inertgasanteil aufweisen als Umgebungsluft. Es wurde gefunden, dass durch die Verwendung von Inertgas die Verbrennungsreaktion in dem Brenner gezielt verlangsamt werden kann. Als Inertgase kommen beispielsweise Stickstoff, Wasserdampf oder Edelgase wie Helium, Neon, Argon, Krypton, Xenon und/oder Radon in Betracht.

[0018] Die Sekundärgasdüse ist an eine Sekundärgasverteilereinrichtung, insbesondere an eine Sekundärgasverteilkammer, angeschlossen. Die Sekundärgasverteilkammer ist insbesondere bezüglich der Mittellängsachse des Brenners ringförmig ausgeführt. Die Sekundärgasverteilereinrichtung ist insbesondere räumlich von der Brenngasverteilereinrichtung getrennt ausgeführt.

[0019] Bei dem Düsenpaar ist die Brenngasdüse entlang der Brenngasdüsenlängsachse zumindest teilweise innerhalb der Sekundärgasdüse angeordnet. Das bedeutet, dass das mittels der Brenngasdüse eingedüste Brenngas zunächst in die Sekundärgasdüse abgegeben und von dort zusammen mit dem Sekundärgas insbesondere in die Brennkammer eingedüst wird. Mit der Brenngasdüse wird das Brenngas also insbesondere mittelbar in die Brennkammer eingedüst. In der Sekundärgasdüse findet eine Vermischung von Brenngas mit Sekundärgas statt. Dadurch wird verhindert, dass das Brenngas mit Verbrennungsluft unmittelbar in Kontakt kommt. Dadurch wird insbesondere verhindert, dass sich die unerwünscht hohen Verbrennungstemperaturen einstellen. Die Vermischung ist insbeson-

dere deshalb vorteilhaft, weil die Brenngasdüse in der Sekundärgasdüse in Umfangsrichtung um die Brenngasdüsenlängsachse umgeben ist, insbesondere vollständig. Die Sekundärgasdüse bildet insbesondere eine Mischkammer zum Vermischen von Brenngas und Sekundärgas. Die Vermischung erfolgt unmittelbar und ist besonders effizient. Das damit erzeugte Gasgemisch ist für die Verbrennung besonders gut geeignet.

[0020] Besonders vorteilhaft ist es, dass eine unmittelbare mechanische Verbindung zwischen der Brenngasdüse und der Sekundärgasdüse nicht existiert. Die Brenngasdüse ist insbesondere unmittelbar an der Brenngasverteilkammer befestigt. Die Sekundärgasdüse ist insbesondere unmittelbar an der Sekundärgasverteilkammer befestigt. Die Brenngasdüse ist insbesondere berührungsfrei in der Sekundärgasdüse angeordnet und darin gehalten. Dadurch ist insbesondere die Gasströmung, insbesondere die Sekundärgasströmung durch die Sekundärgasdüse vorbei an der Brenngasdüse, ungestört möglich.

[0021] Eine Düsenanordnung gemäß Anspruch 2 ermöglicht eine zusätzlich verbesserte Vermischung der Gase. Dadurch, dass eine Brenngasabgabeöffnung der Brenngasdüse innerhalb der Sekundärgasdüse angeordnet ist, ist die Vermischung verbessert.

[0022] Eine Düsenanordnung gemäß Anspruch 3 ermöglicht eine gezielt einstellbare Vermischung der Gase. Dadurch, dass die Brenngasabgabeöffnung mit einem ausreichenden Öffnungsabstand innerhalb der Sekundärgasdüse angeordnet ist, ist ein ausreichend langer gemeinsamer Strömungsweg von Brenngas und Sekundärgas in der Sekundärgasdüse gewährleistet. Insbesondere beträgt der Öffnungsabstand bezogen auf eine Länge der Sekundärgasdüse mindestens 10%, insbesondere mindestens 20%, insbesondere mindestens 30%, insbesondere mindestens 40%, insbesondere mindestens 50%, insbesondere mindestens 60%, insbesondere mindestens 75% und insbesondere höchstens 90%.

[0023] Die Brenngasabgabeöffnung weist eine Querschnittsfläche auf, die kleiner ist als eine Querschnittsfläche der Sekundärgasdüse, insbesondere an der Axialposition der Brenngasabgabeöffnung. Insbesondere beträgt die Querschnittsfläche der Brenngasabgabeöffnung höchstens 70%, insbesondere höchstens 60%, insbesondere höchstens 50%, insbesondere höchstens 40%, insbesondere höchstens 30%, insbesondere höchstens 20% und insbesondere höchstens 10% der Querschnittsfläche der Sekundärgasdüse.

[0024] Aufgrund dieser unterschiedlichen Querschnittsflächen weist das Brenngas eine im Vergleich zum Sekundärgas erhöhte Strömungsgeschwindigkeit

auf, die insbesondere mindestens das Doppelte, insbesondere mindestens das Dreifache, insbesondere mindestens das Fünffache, insbesondere mindestens das Achtfache und insbesondere mindestens das Zehnfache der Strömungsgeschwindigkeit des Sekundärgases aufweist. Insbesondere beträgt die Strömungsgeschwindigkeit des Brenngases mindestens 500 m/s. Die Strömungsgeschwindigkeit des Sekundärgases beträgt insbesondere mindestens 50 m/s und insbesondere höchstens 100 m/s.

[0025] Eine Düsenanordnung gemäß Anspruch 4 ermöglicht besonders vorteilhafte Strömungsbedingungen, insbesondere durch die Brenngasdüse und/oder durch die Sekundärgasdüse an einer Außenseite der Brenngasdüse.

[0026] Dadurch, dass die Brenngasdüse einen Verjüngungsabschnitt aufweist, sind Verluste bei der Anströmung der Brenngasdüse verringert. Die Brenngasdüse weist in dem Verjüngungsabschnitt eine Querschnittsfläche auf, die sich entlang der Brenngasdüsenlängsachse reduziert. Die Querschnittsfläche reduziert sich insbesondere regressiv. Das bedeutet, dass die Außenkontur der Brenngasdüse konkav, also insbesondere gekrümmt, ausgeführt ist. Alternativ kann eine lineare Querschnittsflächenreduktion ausgeführt sein, so dass die Außenkontur der Brenngasdüse konisch ist. Die Querschnittsform des Verjüngungsabschnitts einer Ebene senkrecht zur Brenngasdüsenlängsachse ist insbesondere rund. Die Querschnittsform, also die Innenkontur der Brenngasdüse, kann aber auch unrund ausgeführt sein, beispielsweise kantenfrei, insbesondere oval oder polygonal, beispielsweise viereckig oder sechseckig.

[0027] Entlang der Brenngasdüsenlängsachse schließt sich dem Verjüngungsabschnitt ein Konstantabschnitt an. Der Konstantabschnitt weist entlang der Brenngasdüsenlängsachse eine konstante Querschnittsfläche auf. An einem stromabwärtigen Ende des Konstantabschnitts ist die Brenngasabgabeöffnung angeordnet. Insbesondere ist die Querschnittsfläche des Konstantabschnitts identisch mit der Querschnittsfläche am Ende des Verjüngungsabschnitts. Insbesondere ist der Übergang von Verjüngungsabschnitt auf Konstantabschnitt stufenlos und insbesondere kontinuierlich. Die Brenngasdüse ist insgesamt im Wesentlichen trichterförmig oder trompetenförmig ausgeführt.

[0028] Durch die Querschnittsveränderung der Brenngasdüse im Verjüngungsabschnitt und die Anordnung der Brenngasdüse mit dem Verjüngungsabschnitt innerhalb der Sekundärgasdüse ergibt sich eine vorteilhafte Geschwindigkeitsreduktion für die Eindüsung des Sekundärgases aufgrund der Querschnittsvergrößerung. Die Vermischung der Gase

ist infolge der Geschwindigkeitsdifferenz zusätzlich verbessert.

[0029] Es ist alternativ denkbar, dass die Brenngasdüse ohne Verjüngungsabschnitt ausgeführt ist. In diesem Fall kann die Brenngasdüse entlang der Brenngasdüsenlängsachse insbesondere einen konstanten Querschnitt aufweisen.

[0030] Eine Düsenanordnung gemäß Anspruch 5 ermöglicht eine besonders vorteilhafte Beeinflussung der Strömungsgeschwindigkeiten, insbesondere des Brenngases.

[0031] Eine entsprechende Brenngasdüse weist insbesondere eine vorteilhafte Querschnittsreduktion entlang der Brenngasdüsenlängsachse auf. Insbesondere beträgt eine minimale Querschnittsfläche des Verjüngungsabschnitts höchstens 30% bezogen auf eine maximale Querschnittsfläche des Verjüngungsabschnitts, insbesondere höchstens 25%, insbesondere höchstens 20%, insbesondere höchstens 10%, insbesondere höchstens 5% und insbesondere mindestens 1%.

[0032] Eine Düsenanordnung gemäß Anspruch 6 ermöglicht eine unkomplizierte Zuführung des Sekundärgases aus der Sekundärgasverteileinrichtung, insbesondere der Sekundärgasverteilkammer. Insbesondere kann das Sekundärgas unmittelbar stirnseitig in die Sekundärgasdüse einströmen. Die Düsenanordnung weist einen kompakten und robusten Aufbau auf. Die Düsenanordnung ist unkompliziert in den Brenner integrierbar. Die Gaszuführung über die Sekundärgasverteilkammer ist integral ausgeführt und unkompliziert umgesetzt.

[0033] Eine Düsenanordnung gemäß Anspruch 7 ist geometrisch unkompliziert ausgeführt und ermöglicht eine unaufwändige Herstellung. Insbesondere ist die Sekundärgasdüse selbst als Zylinderhülse ausgeführt. Insbesondere ist die Innenkontur der Sekundärgasdüse zylindrisch. Es ist denkbar, zur Befestigung der Sekundärgasdüse in dem Brenner an ihrer Außenwand unrund, insbesondere nicht-zylindrisch ausgeführt ist und/oder integral angeformte Befestigungselemente aufweist.

[0034] Eine konzentrische Anordnung der Sekundärgasdüse gemäß Anspruch 8 ermöglicht eine verbesserte Vermischung der Gase.

[0035] Eine Düsenanordnung gemäß Anspruch 9 ermöglicht eine besonders gleichmäßige und insbesondere homogene Eindüsung des Brenngasgemisches. In Umfangsrichtung um eine Anordnungsmittelnachse sind mehrere Düsenpaare angeordnet, insbesondere in Umfangsrichtung beabstandet zueinander angeordnet. Insbesondere sind die Düsenpaare gleichmäßig beabstandet in Umfangsrichtung

zueinander angeordnet. Die Düsenanordnung umfasst insbesondere mindestens drei, insbesondere mindestens vier, insbesondere mindestens sechs, insbesondere mindestens acht, insbesondere mindestens zwölf, insbesondere mindestens sechszehn und insbesondere höchstens fünfzig Düsenpaare. Die Anzahl der Düsenpaare in Abhängigkeit der Baugröße des Brenners und/oder in Abhängigkeit der Düsendurchmesser variieren. Besonders vorteilhaft ist es, wenn sämtliche Düsenpaare identisch ausgeführt sind. In Abhängigkeit der zu erzeugenden Brennerflamme ist es auch denkbar, mindestens zwei verschiedene Düsengeometrien für die Brenngasdüsen und/oder für die Sekundärgasdüsen zu verwenden. Geometrisch unterschiedlich ausgeführte Düsen, also geometrisch unterschiedlich ausgeführte Düsenpaare können entlang der Umfangsrichtung um die Anordnungsmittelnachse beispielsweise abwechselnd angeordnet sein. Es wurde gefunden, dass unterschiedliche Düsengeometrien entlang der Umfangsrichtung eine vorteilhaft homogene Gaseindüsung bewirken können.

[0036] Insbesondere sind die Düsenpaare einer gemeinsamen Axialposition bezüglich der Längsachse des Brenners angeordnet. Es ist zusätzlich oder alternativ denkbar, die Düsenpaare an verschiedenen Axialpositionen anzuordnen, um eine gestufte Brenngaszuführung in dem Brenner zu ermöglichen.

[0037] Eine geneigte Anordnung der Düsenpaare gemäß Anspruch 10 ermöglicht eine vorteilhafte Beeinflussung der Brennerflamengeometrie, insbesondere eine Fokussierung der Brennerflamme. Besonders vorteilhaft ist es, wenn sämtliche Brenngasdüsen mit demselben Neigungswinkel gegenüber der Anordnungsmittelnachse geneigt angeordnet sind. Insbesondere schneiden sich die Brenngasdüsenlängsachsen mehrerer Brenngasdüsen in einem Punkt, insbesondere sämtliche Brenngasdüsenlängsachsen in einem gemeinsamen Punkt, der insbesondere auf der Anordnungsmittelnachse liegt.

[0038] Es ist denkbar, dass die Neigungswinkel für verschiedene Düsenanordnungen unterschiedlich festgelegt werden können. Dadurch kann das Profil der zugeführten Gase gezielt beeinflusst werden. Insbesondere ist es möglich, die Flammtemperaturen gezielt zu verändern und insbesondere die Geometrie der Brennerflamme zu verändern.

[0039] Ein Brenner gemäß Anspruch 11 weist im Wesentlichen die Vorteile der erfindungsgemäßen Düsenanordnung auf, worauf hiermit verwiesen wird. Der Brenner weist einen Brennerkopf und eine Brennkammer auf, die in einem Brennergehäuse angeordnet sind. Mit einer Ansaugkammer wird in den Brenner Luft angesaugt. Die Verbrennungsluft wird mit den Gasen, die mittels der Düsenanordnung

eingedüst werden, im Brennerkopf vermischt und dort unter Bildung einer Brennerflamme verbrannt. Besonders vorteilhaft ist es, wenn stromaufwärts des Brennerkopfes ein Verwirbelungselement angeordnet ist, um die angesaugte Luft insbesondere in radialer Richtung bezüglich der Brennerlängsachse zu verwirbeln. Das Verwirbelungselement ist insbesondere statisch ausgeführt, also unbeweglich in dem Brenner angeordnet.

[0040] Ein Brenner gemäß Anspruch 12 ermöglicht eine vorteilhafte Kühlung des Brennerkopfes, in dem insbesondere angesaugte Luft als Sekundärluft einen Kühlkonus von außen umströmt. Zwischen dem Kühlkonus und dem Brennerkopf wird ein Ringspalt gebildet.

[0041] Ein Brenner gemäß Anspruch 13 ermöglicht eine vorteilhafte Zuführung der Gase zu dem Brennerkopf. Insbesondere ist gewährleistet, dass die Sekundärluft mit den zugeführten Gasen nicht vor dem Brennerkopf in Berührung kommt. Mittels der Düsenanordnung werden die Gase kontaktfrei durch den Ringspalt durchgeführt. Außerdem bewirken die Sekundärgasdüsen in dem Ringspalt ein Strömungshindernis für die Sekundärluft, die dadurch zusätzlich vorteilhaft verwirbelt wird.

[0042] Ein Brenner gemäß Anspruch 14 ermöglicht eine vorteilhafte Integration der Brenngasverteilkammer als Brenngasverteileinrichtung und/oder der Sekundärgasverteilkammer als Sekundärgasverteileinrichtung am Brennergehäuse. Die Anordnung der Verteilkammern an einer Außenseite des Brennergehäuses ist unkompliziert und insbesondere nachträglich möglich. Das Brennergehäuse kann durch die entsprechenden Verteilkammern unkompliziert ergänzt werden.

[0043] Eine Ausführung des Brenners gemäß Anspruch 15 ermöglicht eine vorteilhafte Gaszuführung in die Brennkammer. Insbesondere mündet die Sekundärgasdüse mit einer Sekundärgasabgabeöffnung unmittelbar in der Brennkammer.

[0044] Sowohl die in den Patentansprüchen angegebenen Merkmale als auch die in der nachfolgenden Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Düsenanordnung angegebenen Merkmale sind jeweils für die alleine oder in Kombination miteinander geeignet, den erfindungsgemäßen Gegenstand weiterzubilden. Die jeweiligen Merkmalskombinationen stellen hinsichtlich der Weiterbildungen des Erfindungsgegenstandes keine Einschränkung dar, sondern weisen im Wesentlichen lediglich beispielhaften Charakter auf.

[0045] Zusätzliche Merkmale, vorteilhafte Ausgestaltungen und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines

Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnung. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Skizze einer Anlage zur Herstellung von Asphalt mit einem Brenner,

Fig. 2 eine schematische Schnittansicht eines Drehrohrofens mit einem Brenner gemäß **Fig. 1**,

Fig. 3 eine Ansicht gemäß Schnittlinie III-III in **Fig. 2**,

Fig. 4 eine vergrößerte Detaildarstellung einer erfindungsgemäßen Düsenanordnung gemäß Detail IV in **Fig. 2**,

Fig. 5 eine vergrößerte, perspektivische Detailansicht der Düsenanordnung gemäß **Fig. 4**.

[0046] Eine in **Fig. 1** als Ganzes mit 1 dargestellte Anlage dient zur Herstellung von Asphalt. Die Anlage 1 umfasst eine erste Vorrichtung 2 und eine zweite Vorrichtung 3, die jeweils mit einer Emissionsleitung 4 an eine, insbesondere gemeinsame, Filterentstaubung 5 angeschlossen sind.

[0047] Die Anlage 1 kann auch nur eine Vorrichtung 2, 3 oder mehr als zwei Vorrichtungen 2, 3 aufweisen. Es ist denkbar, dass die eine oder die mehreren Vorrichtungen 2, 3 über eine gemeinsame Emissionsleitung 4 mit der Filterentstaubung 5 verbunden sind. Insbesondere ist die Filterentstaubung 5 eine zentrale Filterentstaubung der Anlage 1, wobei an die Filterentstaubung 5 mehrere und insbesondere alle Vorrichtungen 2, 3 der Anlage 1 angeschlossen sind. Es ist auch denkbar, dass jede Vorrichtung 2, 3 jeweils einer separaten Filterentstaubung 5 zugeordnet und damit verbunden ist.

[0048] An die Filterentstaubung 5 ist optional ein Kondensatabscheider 6 angeschlossen, der über ein Gebläse 7 mit einem Kamin 8 verbunden ist. Der Kondensatabscheider 6 kann, wie in **Fig. 1** dargestellt, hinter der Filterentstaubung 5 und zusätzlich oder alternativ auch vor der Filterentstaubung 5 angeordnet sein. Insbesondere ist zusätzlich zu dem Kondensatabscheider 6 eine nicht dargestellte Rekuperationseinheit vorhanden, die zur Rückgewinnung von Prozesswärme dient, die insbesondere in dem Kondensatabscheider 6 anfällt. Dazu kann die Rekuperationseinheit insbesondere in dem Kondensatabscheider 6 integriert angeordnet sein.

[0049] Es wurde gefunden, dass der Kondensatabscheider 6 in der Anlage 1 vorteilhaft eingesetzt werden kann, wenn die Abluft der Vorrichtungen 2, 3 vergleichsweise sauber ist, also eine reduzierte Emissionsbelastung aufweist und insbesondere weniger emissionsbelastet ist als die Abluft eines Brenners, der fossile Brennstoffe verbrennt.

[0050] Es ist alternativ möglich, dass die Anlage 1 ohne Filterentstaubung 5 ausgeführt ist. In diesem

Fall sind die Vorrichtungen 2, 3 direkt mit dem Kondensatabscheider 6 verbunden. Es ist auch denkbar, dass mehrere Kondensatabscheider 6, insbesondere jeweils ein Kondensatabscheider 6 je Vorrichtung 2, 3 vorhanden sind.

[0051] Die erste Vorrichtung 2 umfasst einen Drehrohrofen 9, in dem Material getrocknet wird. Der Drehrohrofen 9 weist einen Materialeinlauf 10 und einen Materialauslauf 11 auf. Gemäß dem gezeigten Ausführungsbeispiel sind der Materialeinlauf 10 und der Materialauslauf 11 jeweils stirnseitig, insbesondere gegenüberliegend, an dem Drehrohrofen 9 angeordnet.

[0052] Mit dem Drehrohrofen 9 ist ein Brenner 12 gekoppelt. Der Brenner 12 ist dazu ausgeführt, Wasserstoffgas als Brenngas zu verbrennen und eine Brennerflamme 13 zu erzeugen, die zumindest bereichsweise in dem Drehrohrofen 9 angeordnet ist. Der Brenner 12 ist ein Wasserstoff-Brenner. Das Brenngas bildet insbesondere einen Primärbrennstoff. Primärbrennstoff dient primär, also hauptsächlich als Brennstoff zur Wärmeerzeugung in dem Brenner 12. Insbesondere wird Wasserstoff allein für die Wärmeerzeugung in dem Brenner 12 verbrannt. An den Brenner 12 ist eine Brenngasleitung 14 angeschlossen, die insbesondere mit einem Brenngasreservoir 15 verbunden ist. Das Brenngasreservoir 15 ist insbesondere ein Speicherbehälter, insbesondere ein Speichertank, in dem das Brenngas, also Wasserstoff, insbesondere gasförmig, gespeichert bevorratet wird. Das Brenngasreservoir 15 kann auch durch einen Anschluss an ein Brenngasversorgungsnetz ausgeführt sein.

[0053] Der Anschluss einer Gasregelstrecke der Brenngasleitung 14 ist mittels eines Kompensators 16 an eine Brenngasverteilkammer 17 des Brenners 12 angeschlossen. Die Brenngasverteilkammer 17 bildet eine Brenngasverteileinrichtung. Es sind auch andere Ausführungen der Brenngasverteileinrichtung möglich, beispielsweise eine Rohrleitung, ein Verteilerelement oder ein Krümmer. Der Kompensator 16 ist ein flexibles Ausgleichselement. Der Kompensator 16 dient zum Ausgleich von Bewegungen der Brenngasleitung 14, insbesondere in Folge thermischer Längenänderungen, Vibrationen, Wanddurchführungen und/oder bei Setzungserscheinungen. Der Kompensator 16 ist an einer Flanschverbindung 18 zwischen der Brenngasverteilkammer 17 und der Brenngasleitung 14 angeordnet.

[0054] An den Brenner 12 ist eine Luftleitung 19 angeschlossen, um Luft, insbesondere Umgebungsluft, zuzuführen.

[0055] Eine Materialförderrichtung 20 durch den Drehrohrofen 9 ist von dem Materialeinlauf 10 zu

dem Materialauslauf 11 gerichtet und gemäß **Fig. 1** von rechts nach links orientiert. Eine Gasförderrichtung 21 durch den Drehrohrofen 9 ist von dem Brenner 12 zu der Emissionsleitung 4 gerichtet, also gemäß **Fig. 1** von links nach rechts. Die Materialförderrichtung 20 und die Gasförderrichtung 21 sind zueinander entgegengesetzt orientiert. Der Drehrohrofen 9 wird im Gegenstromverfahren betrieben. Der Drehrohrofen 9 kann auch im Gleichstromverfahren betrieben werden.

[0056] An dem Brenner 12 kann eine Sekundärbrennstoffleitung 22 angeschlossen sein, um Sekundärbrennstoff in den Brenner 12 zuzuführen. Als Sekundärbrennstoff dienen insbesondere fossile Energieträger bei beispielsweise Erdgas, Flüssiggas, Heizöl, Kohle insbesondere Kohlenstaub, synthetische Kraftstoffe (BtL) und/oder Holzstaub. Die Sekundärbrennstoffleitung 22 wird aus einem nicht dargestellten Sekundärbrennstoffreservoir gespeist. Das Sekundärbrennstoffreservoir kann - ähnlich dem Brenngasreservoir 15 - als Speicherbehälter und/oder als Versorgungsnetz ausgeführt sein.

[0057] Der Anschluss des Brenners 12 an die Sekundärbrennstoffleitung 22 und die dortige Gasregelstrecke erfolgt über eine Sekundärbrennstoffverteilkammer 23 mittels eines Kompensators 16. Der Kompensator 16 ist im Wesentlichen identisch zu dem Kompensator 16 an der Brenngasleitung 14 ausgeführt und an einer entsprechenden Stelle zwischen der Sekundärbrennstoffleitung 22 und der Sekundärbrennstoffverteilkammer 23 angeordnet.

[0058] Die erste Vorrichtung 2 weist ferner eine Abgasrückführleitung 24 auf, die an den Brenner 12 angeschlossen ist. Die Abgasrückführleitung 24 kann zusätzlich insbesondere einer nicht dargestellten Zweigleitung an den Drehrohrofen 9 unmittelbar angeschlossen sein. Die Abgasrückführleitung 24 dient zum Rückführen von Abgas in den Brenner 12. Die Abgasrückführleitung 24 dient insbesondere zur internen Rezirkulation von Abgasen aus dem Drehrohrofen 9. Die Abgasrückführleitung 24 ist unmittelbar an den Kamin 8 angeschlossen. Über die Abgasrückführleitung 24 wird, insbesondere gereinigtes, Abgas, insbesondere Rauchgas, zu dem Brenner 12 rückgeführt. Zusätzlich kann eine Abgasbypassleitung 25 vorhanden sein, mit der die Emissionsleitung 4 unmittelbar an die Abgasrückführleitung 24 angeschlossen ist. Mit der Abgasbypassleitung 25 kann staubbeladenes Abgas dem Brenner 12 zugeführt werden.

[0059] Die Anlage 1 kann weitere Abgasquellen 26 aufweisen, wie beispielsweise Filterelemente. Diese zusätzlichen Abgasquellen können unmittelbar mittels einer Abgasbypassleitung 25 an die Abgasrückführleitung 24 angeschlossen sein. Zusätzlich oder alternativ können die Abgasquellen 26 mittels einer

Emissionsleitung 4 an die Filterentstaubung 5 angeschlossen sein. Dadurch ist es möglich, gereinigtes Abgas aus der mindestens einen Abgasquelle 26 dem Brenner 12 zuzuführen.

[0060] In der Abgasrückführleitung 24 ist ein separater Ventilator 27 angeordnet, um die Zuführung des Abgases in den Brenner 12 zu verbessern. Entlang der Abgasrückführleitung 24 können eine oder mehrere Klappen 28 angeordnet sein, um den Abgasstrom gezielt zu steuern und insbesondere die zugegebenen Abgasmengen gezielt einzustellen. Zusätzlich oder alternativ kann eine Abgasmenstromregelung auch mit dem Ventilator 27 und insbesondere mittels eines daran angeschlossenen Frequenzumrichters erfolgen.

[0061] Die Abgasrückführleitung 24 ist gemäß dem gezeigten Ausführungsbeispiel verzweigt ausgeführt, wobei ein erster Zweig unmittelbar in den Drehrohrofen 9 mündet. Ein anderer Zweig der Abgasrückführleitung 24 mündet in den Brenner 12.

[0062] Der Drehrohrofen 9 ist um eine Drehachse 29 drehantreibbar ausgeführt. Die hierfür erforderlichen Antriebe, insbesondere Drehantriebe, sind an sich bekannt und aus Gründen der Übersichtlichkeit in den Figuren nicht dargestellt.

[0063] Der Drehrohrofen 9 weist eine Ausbrandzone 30 auf, die sich entlang der Drehachse 29 in dem Bereich der Brennerflamme 13 erstreckt. Der Drehrohrofen 9 weist ferner einen Wärmeübergangsbereich 31 auf, in dem eine Wärmeübertragung auf das Material durch Konvektion erfolgt.

[0064] Die zweite Vorrichtung 3 ist im Wesentlichen identisch zu der ersten Vorrichtung 2 aufgebaut, worauf hiermit verwiesen wird. Ein Unterschied besteht darin, dass die zweite Vorrichtung 3 zusätzlich zu dem Brenner 12 einen Heißgaserzeuger 32 umfasst. Der Heißgaserzeuger 32 ist mittels einer Heißgasleitung 33 an den Drehrohrofen 9 angeschlossen. Der Heißgaserzeuger 32 ist zwischen dem Brenner 12 und dem Drehrohrofen 9 angeordnet. Bei der zweiten Vorrichtung 3 ist der Brenner 12 von dem Drehrohrofen 9 getrennt ausgeführt. Insbesondere ist der Brenner 12 vollständig außerhalb des Drehrohrofens 9 angeordnet. Entsprechend ist die Brennerflamme 13 in dem Heißgaserzeuger 32 angeordnet. Die Brennerflamme 13 ist außerhalb des Drehrohrofens 9 der zweiten Vorrichtung 3 angeordnet.

[0065] Bei der zweiten Vorrichtung 3 können nicht näher dargestellte Umluftventilatoren und/oder Abluftventilatoren zur Luftführung, insbesondere innerhalb des Drehrohrofens 9 und/oder in dem Heißgaserzeuger 32 genutzt werden. Die Ventilatoren sind insbesondere außerhalb des Drehrohrofens

9 und/oder außerhalb des Heißgaserzeugers 32, insbesondere entlang von Verbindungsleitungen, angeordnet. Entsprechend ist die Ausbrandzone 30 in dem Drehrohrofen 9 der zweiten Vorrichtung 3 nicht erforderlich. Der Drehrohrofen 9 der zweiten Vorrichtung 3 umfasst im Wesentlichen ausschließlich einen Wärmeübergangsbereich 31.

[0066] Entsprechend ist eine Abgasrückführleitung 24 von dem Kamin 8 zu dem Brenner 12 der zweiten Vorrichtung 3 vorhanden. Gemäß dem gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Abgasrückführleitung 24 zu der zweiten Vorrichtung 3 separat von der Abgasrückführleitung 24 zu der ersten Vorrichtung 2 ausgeführt. Es ist auch möglich, eine gemeinsame Abgasrückführleitung 24 mit entsprechenden Abzweigungen auszuführen. Entsprechend können Abgasbypassleitungen 25 in die Abgasrückführleitung 24 zu der zweiten Vorrichtung 3 angeschlossen sein. Insbesondere kann der Drehrohrofen 9 der ersten Vorrichtung eine zusätzliche Abgasquelle für die jeweils andere Vorrichtung darstellen.

[0067] Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel weist jede Vorrichtung 2, 3 ein eigenes, separates Brenngasreservoir 15 auf. Es ist möglich, dass in der Anlage 1 ein gemeinsames, zentral angeordnetes Brenngasreservoir 15 zur Verfügung steht, das mit mehreren und insbesondere mit sämtlichen Brennern 12 der Anlage 1 in Fluidverbindung steht.

[0068] Die Anlage 1 weist entsprechend ein zentrales Inertgasreservoir 34 auf, das auch als Inertgasquelle bezeichnet wird. In dem Inertgasreservoir 34 ist Inertgas bevorratet. Das Inertgas weist insbesondere einen höheren Inertanteil auf als Umgebungsluft. Als Inertgas dient insbesondere Stickstoff. Das Inertgasreservoir 34 ist mit einer Inertgasleitung 35 jeweils an die Brenner 12 der ersten Vorrichtung 2 und der zweiten Vorrichtung 3 angeschlossen. Es versteht sich, dass auch jeweils ein separates Inertgasreservoir 34 für den jeweiligen Brenner 12 ausgeführt sein kann. Dadurch ist es insbesondere möglich, unterschiedliche Inertgase des jeweiligen Brenner 12 zuzuführen.

[0069] Die Abgasrückführleitung 24 und die Inertgasleitung 35 bilden jeweils eine Sekundärgasleitung, um Sekundärgas dem Brenner 12 zuzuführen. Sekundärgas im Sinne der Erfindung kann Abgas, insbesondere gereinigtes Abgas, und/oder Inertgas sein. Mit dem Sekundärgas kann eine Verbrennungsreaktion in dem Brenner 12 gezielt beeinflusst, insbesondere verlangsamt, werden.

[0070] Der Brenner 12 weist eine Mischkammer 36 auf, die in dem Brenner 12 integriert angeordnet ist. Die Mischkammer 36 dient zum Mischen des Brenngases mit dem Sekundärgas. Die Mischkammer 36 ist insbesondere derart angeordnet, dass zuerst das

Brenngas mit dem Sekundärgas vermischt wird, bevor Luft von der Luftleitung 19 zugeführt wird. Insbesondere sind mit der Mischkammer 36, die Brenngasleitung 14 sowie die Abgasrückführleitung 24 und/oder die Inertgasleitung 35 fluidtechnisch verbunden. Es ist auch denkbar, dass die Mischkammer außerhalb des Brenners 12, insbesondere am Brenner 12, angeordnet ist. Die Mischkammer 36 kann auch extern und beabstandet zu dem Brenner 12 und insbesondere stromaufwärts des Brenners 12 angeordnet werden. Es ist denkbar, Brenngas und Sekundärgas vor deren Zuführung in den Brenner 12 separat zu vermischen.

[0071] Nachfolgend werden anhand von **Fig. 2** Aufbau und Funktion der ersten Vorrichtung 2, insbesondere des Brenners 12, näher erläutert.

[0072] Der Brenner 12 weist ein eine Längsachse 37 aufweisendes Brennergehäuse 38 auf. Das Brennergehäuse 38 weist an einem dem Drehrohrföfen 9 abgewandten Ende eine Ansaugkammer 39 auf, über die Luft, insbesondere Umgebungsluft, in das Brennergehäuse 38 angesaugt wird. Dazu können an die Ansaugkammer 39 die Luftleitung 19 und/oder ein Schalldämpfer angeschlossen sein. Entlang des Brennergehäuses 38 ist ein Luftgebläse 40 angeordnet, das gemäß dem gezeigten Ausführungsbeispiel als Axialgebläse ausgeführt ist. Es versteht sich, dass das Luftgebläse 40 auch in Art eines anderen Gebläsetyps, insbesondere als Radialgebläse, ausgeführt sein kann.

[0073] Der Brenner 12 weist insbesondere einen Flammsensor 41 auf, der zur Überwachung der Brennerflamme 13 dient. Insbesondere können mehrere Flammsensoren 41 an dem Brenner 12 angeordnet und insbesondere in dem Brennergehäuse 38, insbesondere entlang der Längsachse 37, beabstandet zueinander angeordnet sein. In dem Brennergehäuse 38 ist ferner ein Zündbrenner 42 vorhanden, der zum Zünden der Brennerflamme 13 dient.

[0074] Die Brenngasleitung 14 ist an das Brennergehäuse 38 über die Brenngasverteilkammer 17 angeschlossen. Die Brenngasverteilkammer 17 ist ringförmig um das Brennergehäuse 38 angeordnet. Mit der Brenngasverteilkammer 17 ist mindestens eine Brenngasdüse 43 verbunden, um das Brenngas gezielt in das Brennergehäuse 38 zuzuführen. Insbesondere sind mehrere Brenngasdüsen 43 vorhanden.

[0075] Entsprechend sind an die Sekundärbrennstoffverteilkammer 23 mindestens eine und insbesondere mehrere Sekundärbrennstoffdüsen 44 angeschlossen. Die Sekundärbrennstoffdüsen 44 können als Gaslanzen ausgeführt und insbesondere benachbart zu den Brenngasdüsen 43 in dem Brennergehäuse 38 angeordnet sein.

[0076] Die Sekundärgasleitungen, also die Abgasrückführleitung 24 und/oder die Inertgasleitung 35, sind an eine Sekundärgasverteilkammer 45 des Brenners 12 angeschlossen. Die Sekundärgasverteilkammer 45 bildet eine Sekundärgasverteileinrichtung und ist analog der Brenngasverteilkammer 17 ausgeführt, worauf hiermit verwiesen wird. Die Sekundärgasverteilkammer 45 erstreckt sich insbesondere ringförmig um das Brennergehäuse 38. An die Sekundärgasverteilkammer 45 ist mindestens eine und sind insbesondere mehrere Sekundärgasdüsen 46 angeschlossen, die zur gezielten Abgabe von Sekundärgas in dem Brennergehäuse 38 dienen.

[0077] Die mindestens eine Brenngasdüse 43 und die mindestens eine Sekundärgasdüse 46 bilden eine Düsenanordnung 47, die in **Fig. 2** rein schematisch und vereinfacht dargestellt ist.

[0078] Im Bereich der Düsenanordnung 47, insbesondere stromaufwärts der Düsenanordnung 47, ist in dem Brennergehäuse 38 ein ebenfalls rein schematisch dargestelltes Verwirbelungselement 48 angeordnet. Das Verwirbelungselement 48 dient zum tangentialen Verwirbeln der Luft. Das Verwirbelungselement 48 ist insbesondere als Stauscheibe ausgeführt, die insbesondere ein Leitrad aufweist. In Abhängigkeit der genutzten Brennstoffkombination, also insbesondere in Abhängigkeit des Sekundärbrennstoffs, insbesondere eines Sekundärbrenngases, kann das Verwirbelungselement 48 in Durchmesser, Form und/oder konstruktiven Details verschieden ausgeführt sein.

[0079] Es ist auch denkbar, die Düsenanordnung 47 stromaufwärts des Verwirbelungselements 48 anzuordnen und/oder einzelne Düsen 43, 46 stromaufwärts und/oder stromabwärts des Verwirbelungselements 48 anzuordnen.

[0080] Das Verwirbelungselement 48 ist in einem Kühlkonus 49 des Brenners 12 angeordnet. Der Kühlkonus 49 weist gemäß dem gezeigten Ausführungsbeispiel einen zylindrischen Abschnitt auf, dessen Außendurchmesser mindestens 80% des Innendurchmessers des Brennergehäuses 38 an dieser Stelle aufweist. Insbesondere beträgt der Außendurchmesser des Kühlkonus 49 mindestens 85%, insbesondere mindestens 90%, insbesondere mindestens 95% und insbesondere höchstens 99% des Innendurchmessers des Brennergehäuses 38 an dieser Stelle. Der Kühlkonus 49 ist insbesondere in einem Bereich des Brennergehäuses 38 angeordnet, in dem das Brennergehäuse 38 sich konisch aufweitet. Das Brennergehäuse 38 weist einen Aufweitabschnitt 50 auf, der in einen zylindrischen Abschlussabschnitt 51 übergeht. Der Abschlussabschnitt 51 und der Aufweitabschnitt 50 bilden einen Brennerkopf 52. Zwischen einer Außenwand des Kühlkonus

49 und einer Innenwand des Brennerkopfs 52 wird ein umlaufender, insbesondere konisch ausgeführter, Ringspalt 53 gebildet. Die durch diesen Ringspalt 53 strömende Luft wird als Sekundärluft bezeichnet. Die Sekundärluft strömt also an dem Kühlkonus 49 vorbei. Die durch den Kühlkonus 49 zentral strömende Luft wird als Primärluft bezeichnet. Dadurch, dass zumindest ein Teil der Luft als Sekundärluft den Kühlkonus 49 umströmt, ist eine Luftstufung möglich.

[0081] Der Brennerkopf 52 verbessert in der dargestellten Ausführung die Durchmischung der Brenngase, insbesondere von Wasserstoff mit Luft. Nach dem Brennerkopf 52 bildet sich die Brennerflamme 13 aus, wobei die Form der Brennerflamme von der Geometrie des Brennerkopfs beeinflusst wird. Das bedeutet, dass durch eine geeignete Wahl der Brennerkopfgeometrie die Form der Brennerflamme 13 gezielt eingestellt werden kann. Insbesondere ist ein Durchmesser D_F der Brennerflamme 13 umso größer, je größer der Durchmesser am Auslass des Brennerkopfes 52 ist.

[0082] Der Brenner 12 ist an einer Stirnwand 54 des Drehrohrofens 9 befestigt. Die Stirnwand 54 wird als Auslaufstirnwand bezeichnet, da in diesem Bereich der Materialauslauf 11 angeordnet ist. Die Befestigung des Brenners 12, insbesondere des Brennergehäuses 38, an der Stirnwand 54 erfolgt mittels nicht näher dargestellter Befestigungselemente.

[0083] Die Stirnwand 54 ist in axialer Richtung und/oder in radialer Richtung bezogen auf die Drehachse 29 überlappend an dem Drehrohrfen 9 angeordnet. Die Stirnwand 54 bildet einen Deckel für eine zylindrische Öffnung des Drehrohrofens 9. Insbesondere ist der Drehrohrfen 9 durch die Stirnwand 54 nicht hermetisch abgedichtet. Zwischen der Stirnwand 54 und dem Drehrohrfen 9 verbleibt ein Umfangsspalt 55. Der Umfangsspalt 55 ermöglicht eine zusätzliche Zufuhr von Luft, insbesondere Umgebungsluft, in den Drehrohrfen 9.

[0084] Der Brenner 12 ist an dem Drehrohrfen 9 insbesondere derart angeordnet, dass seine Längsachse 37 und die Drehachse 29 des Drehrohrofens 9 zusammenfallen, also identisch sind. Der Brenner 12 ist konzentrisch zu dem Drehrohrfen 9 angeordnet. Der Brenner 12 ist unmittelbar an dem Drehrohrfen 9 befestigt und zumindest bereichsweise darin integriert. Insbesondere sind der Brennerkopf 52 und die von dem Brenner 12 erzeugte Brennerflamme 13, insbesondere vollständig, innerhalb des Drehrohrofens 9 angeordnet.

[0085] Der Brenner 12 weist ein Brennergestell 56 auf, mit dem der Brenner 12 auf einem Untergrund abgestellt ist. Gemäß dem gezeigten Ausführungsbeispiel ist das Brennergestell 56 statisch, also unbe-

weglich, insbesondere fest, ausgeführt. Das Brennergestell 56 kann auch verfahrbar ausgeführt sein, insbesondere entlang der Längsachse 37. Dazu kann das Brennergestell 56 an seiner Unterseite Rollen aufweisen, die insbesondere auf dafür geeigneten Schienen abrollbar sind. Für eine axiale Verlagerung des Brenners 12 ist ein Axialantrieb vorteilhaft, insbesondere ein Pneumatikantrieb.

[0086] Entlang der Längsachse 37 bzw. der Drehachse 29 weist die Brennerflamme 13 eine Länge L_F und den senkrecht dazu orientierten Durchmesser D_F auf.

[0087] Der Drehrohrfen 9 weist einen Innendurchmesser D_i auf. In der Ausbrandzone 30 sind Feuerschutzeinbauten 57 vorhanden, die an der Innenwand des Drehrohrofens 9 befestigt sind. Infolge der Feuerschutzeinbauten 57 ergibt sich in der Ausbrandzone 30 ein reduzierter Innendurchmesser D_{red} . In axialer Richtung erstrecken sich die Feuerschutzeinbauten 47 entlang einer Länge L_A , die der Länge der Ausbrandzone 30 entspricht. Wesentlich ist, dass die Länge L_A der Ausbrandzone 30 größer ist als die Länge L_F der Brennerflamme 13, und dass der Brenner 12 derart an dem Drehrohrfen 9 angeordnet ist, dass die Brennerflamme 13 vollständig innerhalb der Ausbrandzone 30, insbesondere in axialer Richtung bezogen auf die Drehachse 29, angeordnet ist. Wesentlich ist weiterhin, dass der Durchmesser D_F der Brennerflamme 13 kleiner ist als der reduzierte Durchmesser D_{red} . Ein unmittelbarer Flammenkontakt der Feuerschutzeinbauten 57 ist vermieden.

[0088] In dem Wärmeübergangsbereich 31 sind Wurfbleche 58 angeordnet und insbesondere an der Innenseite des Drehrohrofens 9 befestigt. Die Wurfbleche 58 sind offen ausgeführt und dienen zur Erzeugung eines Materialschleiers 59. Besonders vorteilhaft ist es, wenn der Materialschleier 59 möglichst dicht ist. Es ist möglich, die Dichte des Materialschleiers 59 indirekt zu quantifizieren, insbesondere einer Messung der Abgastemperatur.

[0089] Je geringer die Abgastemperatur ist, desto größer war der zuvor erfolgte Wärmeübergang auf das Material. Das bedeutet, dass der Materialschleier 59 umso dichter ist, je geringer die Abgastemperatur sein wird und umgekehrt. Die Abgastemperatur ergibt sich aus der Brennerleistung, der Vordosierleistung, also dem Massestrom des zugeführten Materials in den Drehrohrfen 9, sowie der Materialtemperatur. Die Materialtemperatur dient insbesondere als Eingangsgröße für die Regelung der Brennerleistung. Es wurde gefunden, dass es vorteilhaft ist, wenn die Abgastemperatur in dem gezeigten Ausführungsbeispiel mindestens 100°C beträgt.

[0090] Es versteht sich, dass in Abhängigkeit des verwendeten Materials, des verwendeten Brenners 12 bzw. der eingesetzten Brenngase, die Abgastemperatur zur Überwachung des Materialschleiers 59 andere Werte annehmen kann.

[0091] Nachfolgend wird anhand von **Fig. 3 bis 5** die Düsenanordnung 47 näher erläutert.

[0092] Die Düsenanordnung 47 dient zum Eindüsen von Gasen in den Brenner 12, insbesondere in den Brennerkopf 52. Die Düsenanordnung 47 weist mehrere, gemäß dem gezeigten Ausführungsbeispiel 16, Düsenpaare auf, die in einer Ringanordnung, insbesondere konzentrisch zur Längsachse 37 des Brennergehäuses 38 angeordnet sind. Diese Ringanordnung weist eine Anordnungsmittelnachse 60 auf, die mit der Längsachse 37 zusammenfällt. In Umfangsrichtung um die Anordnungsmittelnachse 60 sind die Düsenpaare beabstandet und insbesondere gleichmäßig beabstandet zueinander angeordnet. Es versteht sich, dass mehr oder weniger als 16 Düsenpaare vorhanden sein können. Insbesondere können die Umfangsabstände zueinander unterschiedlich und insbesondere beliebig gewählt werden.

[0093] Jedes Düsenpaar umfasst eine Brenngasdüse 43 zum Eindüsen des Brenngases in eine Brennkammer 61 des Brenners 12. Als Brennkammer 61 wird der von dem Brennerkopf 52 umgebene Bereich des Brenners 12 verstanden, der der Öffnung des Brenners 12 zugewandt ist. Die Brenngasdüse ist an die Brenngasverteilkammer 17 angeschlossen, steht also mit der Brenngasverteilkammer 17 in Fluidverbindung. Die Brenngasverteilkammer 17 ist bezüglich der Längsachse 37 des Brennergehäuses 38 ringförmig ausgeführt. Die Brenngasdüse 43 weist eine Brenngasdüsenlängsachse 62 auf, die gegenüber der Längsachse 37 mit einem Neigungswinkel n geneigt angeordnet ist. Insbesondere sind die Düsenpaare bezüglich der Anordnungsmittelnachse 60 mit dem jeweiligen Neigungswinkel n derart angeordnet, dass sich die Brenngasdüsenlängsachsen 62 schneiden. Insbesondere schneiden sich sämtliche Brenngasdüsenlängsachsen 62 in einem gemeinsamen Punkt P, der insbesondere auf der Anordnungsmittelnachse 60 liegt.

[0094] Die Brenngasdüse 43 ist insbesondere eine Innendüse. Die Brenngasdüse 43 ist entlang der Brenngasdüsenlängsachse 62 zumindest abschnittsweise innerhalb der Sekundärgasdüse 46 angeordnet.

[0095] Jedes Düsenpaar umfasst ferner eine Sekundärgasdüse 46 zum Eindüsen von Sekundärgas in die Brennkammer 61. Die Sekundärgasdüse 46 ist im Wesentlichen hohlzylindrisch ausgeführt

und insbesondere konzentrisch zur Brenngasdüsenlängsachse 62 angeordnet. Die Sekundärgasdüse 46 ist insbesondere einteilig und insbesondere als Zylinderhülse, ausgeführt.

[0096] Die Sekundärgasdüse 46 ist an die Sekundärgasverteilkammer 45 angeschlossen. Die Sekundärgasverteilkammer 45 erstreckt sich bezüglich der Längsachse 37 des Brennergehäuses 38 ringförmig. Wesentlich ist, dass die Sekundärgasverteilkammer 45 von der Brenngasverteilkammer 17 getrennt ausgeführt ist.

[0097] In Umfangsrichtung um die Brenngasdüsenlängsachse 62 umgibt sich Sekundärgasdüse 46 die Brenngasdüse 43, insbesondere vollständig. Die Sekundärgasdüse 46 bildet eine Außendüse, die hülsenartig um die Brenngasdüse 43 angeordnet ist. Dabei ist die Sekundärgasdüse 46 mit einem axialen Abstand bezüglich der Brenngasdüsenlängsachse 62 von einer Seitenwand 63 der Brenngasverteilkammer 17 beabstandet angeordnet. Durch diese beabstandete Anordnung ergibt sich ein Einström-spalt zwischen der Seitenwand 63 und der der Sekundärgasverteilkammer 45 zugewandten Stirnseitenöffnung 64 der Sekundärgasdüse 46.

[0098] Die Brenngasdüse 43 weist eine Brenngasabgabeöffnung 65 auf, die innerhalb der Sekundärgasdüse 46 angeordnet ist. Dadurch kann eine Vorabermischung des Brenngases mit dem Sekundärgas in der Sekundärgasdüse 46 erfolgen.

[0099] Insbesondere ist die Brenngasabgabeöffnung 65 mit einem entlang der Brenngasdüsenlängsachse 62 orientierten Öffnungsabstand A zu einer Sekundärgasabgabeöffnung 66 der Sekundärgasdüse 46 angeordnet. Der Öffnungsabstand A beträgt bezogen auf eine Länge L_s der Sekundärgasdüse 46 mindestens 10%.

[0100] Die Brenngasdüse 43 weist einen Verjüngungsabschnitt 67 und einen entlang der Brenngasdüsenlängsachse 62 anschließenden Konstantabschnitt 68 auf. Der Verjüngungsabschnitt 67 ist der Brenngasverteilkammer 17 zugewandt. Die Brenngasdüse 43 ist insbesondere einteilig ausgeführt.

[0101] In dem Verjüngungsabschnitt reduziert sich die Querschnittsfläche der Brenngasdüse 43 entlang der Brenngasdüsenlängsachse 62. Die Querschnittsflächenreduktion ist insbesondere regressiv, kann aber auch linear ausgeführt sein. Die Außenkontur des Verjüngungsabschnitts 47 ist entsprechend konkav oder konisch ausgeführt. Die Querschnittsform senkrecht zur Brenngasdüsenlängsachse 62 ist insbesondere rund, kann aber auch eine andere Form aufweisen, insbesondere oval oder polygonal.

[0102] Der Konstantabschnitt ist insbesondere zylindrisch ausgeführt. Wesentlich ist, dass der Übergang von Verjüngungsabschnitt zu Konstantabschnitt kontinuierlich und insbesondere kantenfrei ausgeführt ist.

[0103] Die Brenngasdüse 43 ist insgesamt trichterförmig oder trompetenkopfförmig ausgeführt.

[0104] Die minimale Querschnittsfläche des Verjüngungsabschnitts 67 beträgt höchstens 50% der maximalen Querschnittsfläche des Verjüngungsabschnitts 67.

[0105] Nachfolgend wird der Betrieb der Anlage 1, insbesondere die Funktion des Brenners 12 mit der Düsenanordnung 47 näher erläutert.

[0106] In der ersten Vorrichtung 2 wird Material über den Materialeinlauf 10 dem Drehrohrofen 9 zugeführt und entlang der Materialförderrichtung 20 durch den Drehrohrofen 9 gefördert. Im Wärmeübergangsbereich 21 wird mit den Wurfblechen 58 ein dichter, kontinuierlicher und homogener Materialschleier 59 erzeugt, so dass das Material mit einer sehr großen Oberfläche innerhalb des Drehrohrofens 9 angeordnet ist. Die Erwärmung des Materials erfolgt mittels der Brennerflamme 13 durch Konvektion, wobei die Brennerflamme 13 unmittelbar in dem Drehrohrofen 9 angeordnet ist.

[0107] Die Brennerflamme 13 wird von dem Brenner 12 erzeugt, der mit Wasserstoff als Brenngas betrieben wird. Durch die Zugabe von Sekundärgas, insbesondere rückgeführtes Abgas und/oder Inertgas, kann die Wasserstoffgasverbrennung verlangsamt werden. Dadurch wird der Brenngasumsatz pro Volumen reduziert. Hochtemperaturzonen werden vermieden. Insbesondere ist gewährleistet, dass die Hochtemperaturzonen ausschließlich innerhalb der Ausbrandzone 30 angeordnet sind.

[0108] Eine vorteilhafte Eindüsung des Brenngases einerseits und der Sekundärgase andererseits erfolgt mittels der in **Fig. 3 bis 5** gezeigten Düsenanordnung 47. Das Brenngas, insbesondere Wasserstoff, wird in dem Brenner 12 über die Brenngasverteilkammer 17 bereitgestellt und über die Brenngasdüsen 43 eingedüst. Aufgrund der besonderen Ausgestaltung der Brenngasdüse 43, insbesondere mit dem Verjüngungsabschnitt 67, wird das Brenngas vorteilhaft angesaugt und mit einer vergleichsweise hohen Eindüsgeschwindigkeit an der Brenngasdüsenabgabeöffnung 65 abgegeben. Die Abgabe des Brenngases erfolgt in die Sekundärgasdüse 46, die Sekundärgas aus der Sekundärgasverteilkammer 45 über die Stirnseitenöffnung 64 ansaugt. Die Ansauggeschwindigkeit des Sekundärgases ist kleiner als die Eindüsgeschwindigkeit des Brenngases. Durch diesen Geschwindigkeitsunter-

schied von Brenngas zu Sekundärgas ergibt sich eine verbesserte Vermischung des Brenngases mit dem Sekundärgas. Die Vermischung erfolgt insbesondere innerhalb der Sekundärgasdüse 46. Die Sekundärgasdüse 46 bildet eine Mischkammer zum Mischen von Brenngas und Sekundärgas.

[0109] Vorteilhaft ist auch, dass das Brenngas zentral, also konzentrisch in die Sekundärgasdüse 46 eingedüst wird.

[0110] Durch die Zugabe des Sekundärgases, also insbesondere gereinigtem, Abgas und/oder Inertgas, werden Hochtemperaturzonen reduziert und damit die Stickoxidbildung.

[0111] Insbesondere gewährleistet die erfindungsgemäße Düsenanordnung eine vorteilhafte Vermischung von Brenngas und Sekundärgas, insbesondere bevor ein Kontakt des Brenngases mit der Verbrennungsluft in der Brennkammer 61 erfolgt. Die Fluidströmungen sind in **Fig. 5** schematisch dargestellt. Dabei kennzeichnen die Strömungspfeile 69 das Brenngas, die Strömungspfeile 70 das Sekundärgas, die Strömungspfeile 71 die Primärluft und die Strömungspfeile 72 die Sekundärluft.

Patentansprüche

1. Düsenanordnung für einen Brenner (12), wobei die Düsenanordnung mindestens ein Düsenpaar (43, 46) umfasst mit

- a. einer eine Brenngasdüsenlängsachse (62) aufweisenden Brenngasdüse (43) zum Eindüsen von Brenngas, wobei die Brenngasdüse (43) an eine Brenngasverteileinrichtung (17) angeschlossen ist,
- b. einer Sekundärgasdüse (46) zum Eindüsen von Sekundärgas, wobei die Sekundärgasdüse (46) an eine Sekundärgasverteileinrichtung (45) angeschlossen ist,

wobei die Brenngasdüse (43) entlang der Brenngasdüsenlängsachse (62) zumindest teilweise innerhalb der Sekundärgasdüse (46) angeordnet ist, wobei die Sekundärgasdüse (46) in Umfangsrichtung um die Brenngasdüsenlängsachse (62) die eine Brenngasdüse (43) umgibt.

2. Düsenanordnung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brenngasdüse (43) eine Brenngasabgabeöffnung (65) aufweist, die innerhalb der Sekundärgasdüse (46) angeordnet ist.

3. Düsenanordnung gemäß Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brenngasabgabeöffnung (65) mit einem entlang der Brenngasdüsenlängsachse (62) orientierten Öffnungsabstand (A) zu einer Sekundärgasabgabeöffnung (66) der Sekundärgasdüse (46) angeordnet ist.

4. Düsenanordnung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brenngasdüse (43) einen Verjüngungsabschnitt (67) und einen sich entlang der Brenngasdüsenlängsachse (62) anschließenden Konstantabschnitt (68) aufweist.

5. Düsenanordnung gemäß Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine minimale Querschnittsfläche des Verjüngungsabschnitts (67) höchstens 50% einer maximalen Querschnittsfläche des Verjüngungsabschnitts (67) beträgt.

6. Düsenanordnung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sekundärgasdüse (46) bezüglich der Brenngasdüsenlängsachse (62) beabstandet zu der Brenngasverteileinrichtung (17) angeordnet ist.

7. Düsenanordnung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sekundärgasdüse (46) bezüglich der Brenngasdüsenlängsachse (62) zylindrisch ausgeführt ist.

8. Düsenanordnung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sekundärgasdüse (46) bezüglich der Brenngasdüsenlängsachse (62) konzentrisch angeordnet ist.

9. Düsenanordnung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** mehrere Düsenpaare, die in Umfangsrichtung um eine Anordnungsmittelnachse (60) beabstandet zueinander angeordnet sind.

10. Düsenanordnung gemäß Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brenngasdüsenlängsachsen (62) jeweils mit einem Neigungswinkel (n) gegenüber der Anordnungsmittelnachse (60) geneigt angeordnet ist, wobei sich die Brenngasdüsenlängsachsen (62), insbesondere in einem gemeinsamen Punkt (P), insbesondere auf der Anordnungsmittelnachse (60), schneiden.

11. Brenner mit
a. einem einen Brennerkopf (52) und eine Brennkammer (61) aufweisenden Brennergehäuse (38),
b. einer Ansaugkammer (39) zum Ansaugen von Luft,
c. einer im Brennergehäuse (38) angeordneten Düsenanordnung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche.

12. Brenner gemäß Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Brennerkopf (52) von einem Kühlkonus (49) umgeben ist, wobei zwischen dem Kühlkonus (49) und dem Brennerkopf (52) ein Ringspalt (53) gebildet wird.

13. Brenner gemäß Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sekundärgasdüse (46) den Ringspalt (53) kreuzt.

14. Brenner gemäß einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brenngasverteileinrichtung (17) und/oder die Sekundärgasverteileinrichtung (45) an einer Außenseite des Brennergehäuses (38) angeordnet sind.

15. Brenner gemäß einem der Ansprüche 11 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sekundärgasdüse (46), insbesondere unmittelbar, in Brennkammer (61) mündet.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

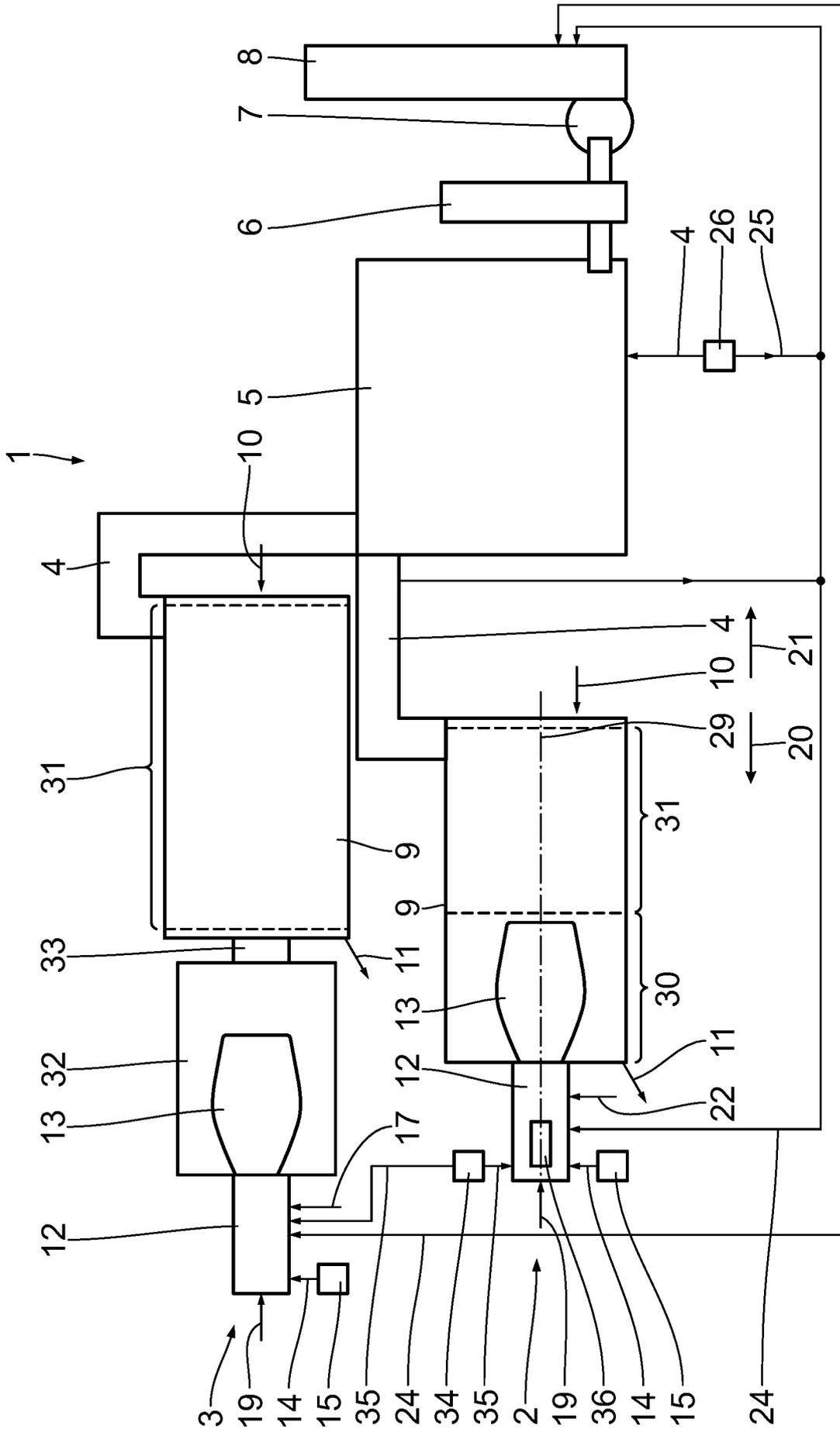


Fig. 1

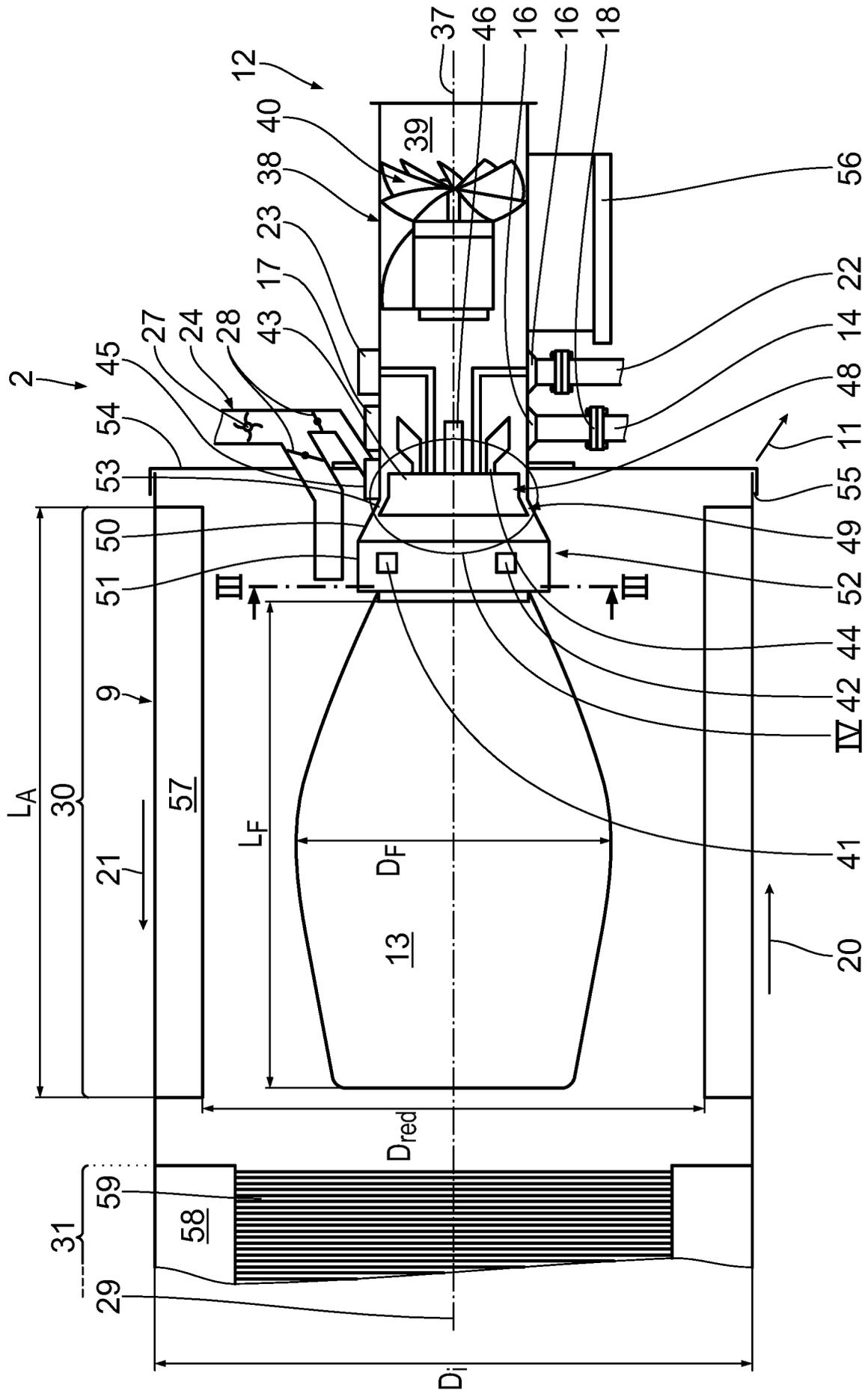


Fig. 2

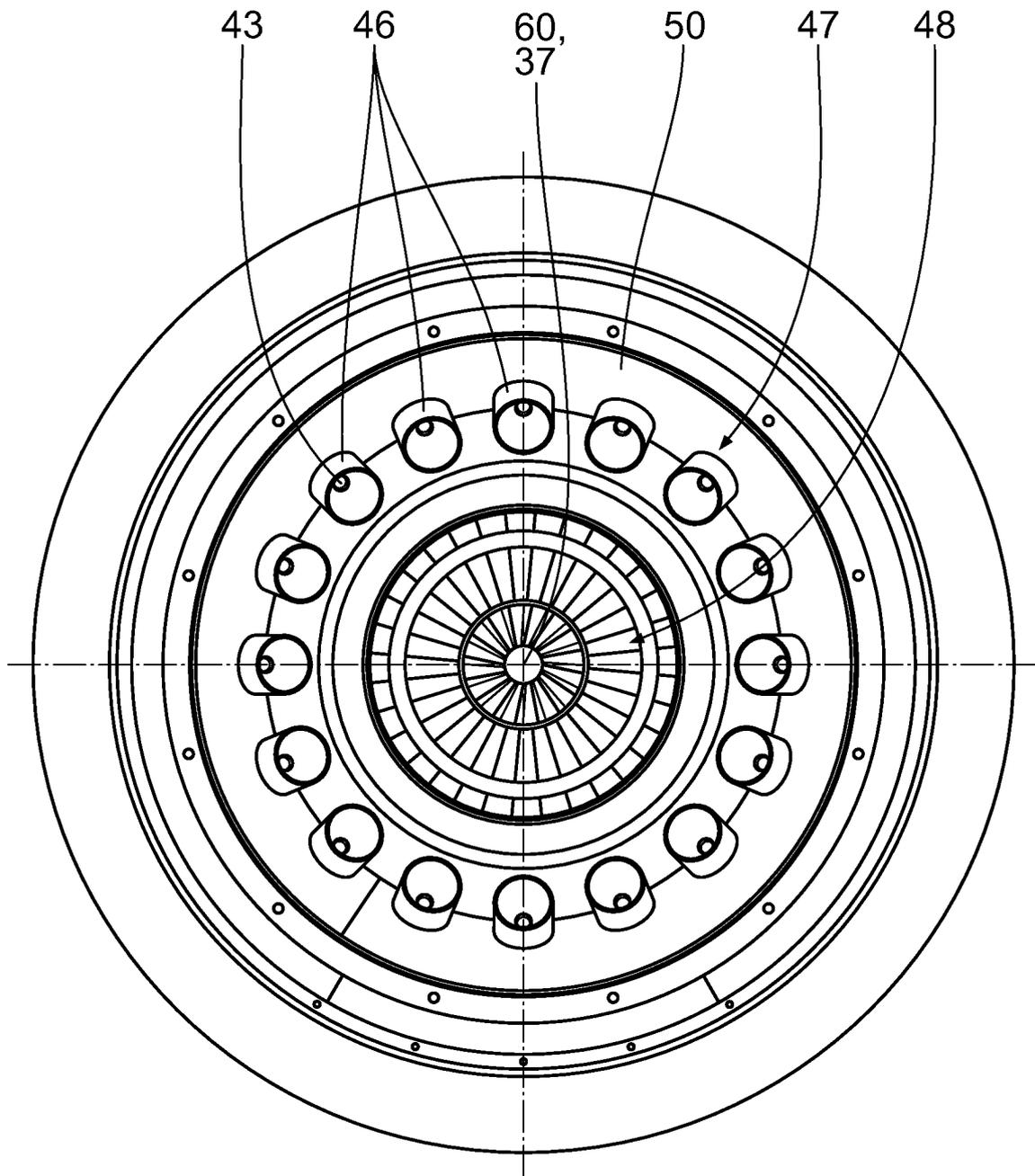


Fig. 3

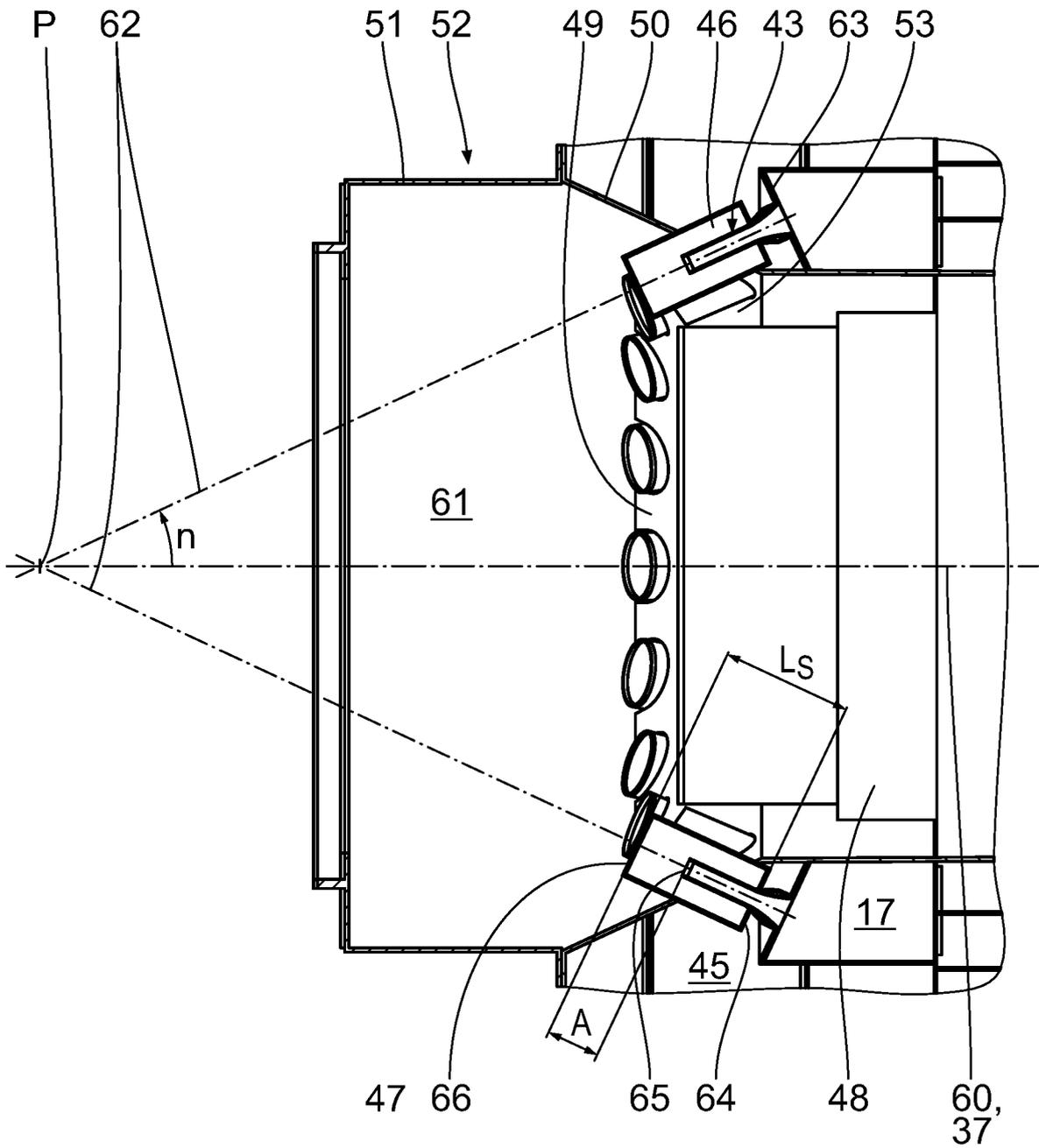


Fig. 4

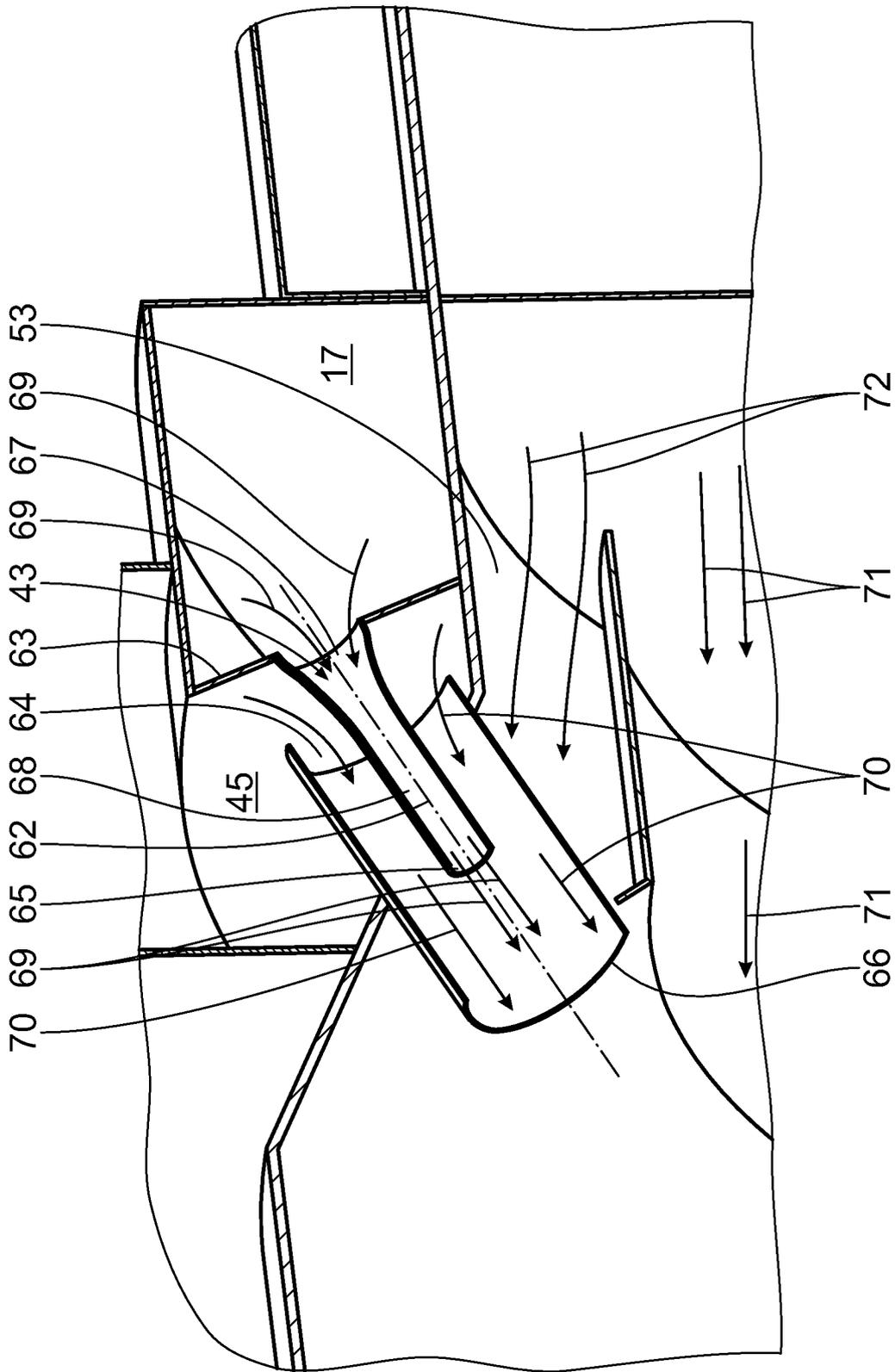


Fig. 5