



(11)

EP 3 789 672 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**10.03.2021 Patentblatt 2021/10**

(21) Anmeldenummer: **20194315.6**(22) Anmeldetag: **03.09.2020**

(51) Int Cl.:

**F23B 30/00 (2006.01)**      **F23B 10/00 (2011.01)**  
**F23B 10/02 (2011.01)**      **F23B 60/02 (2006.01)**  
**F23G 5/24 (2006.01)**      **F23H 9/00 (2021.01)**  
**F23H 13/06 (2021.01)**      **F23L 9/02 (2006.01)**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
 Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**  
 Benannte Validierungsstaaten:  
**KH MA MD TN**

(30) Priorität: **03.09.2019 EP 19195118**  
**19.11.2019 EP 19210080**  
**20.11.2019 EP 19210444**

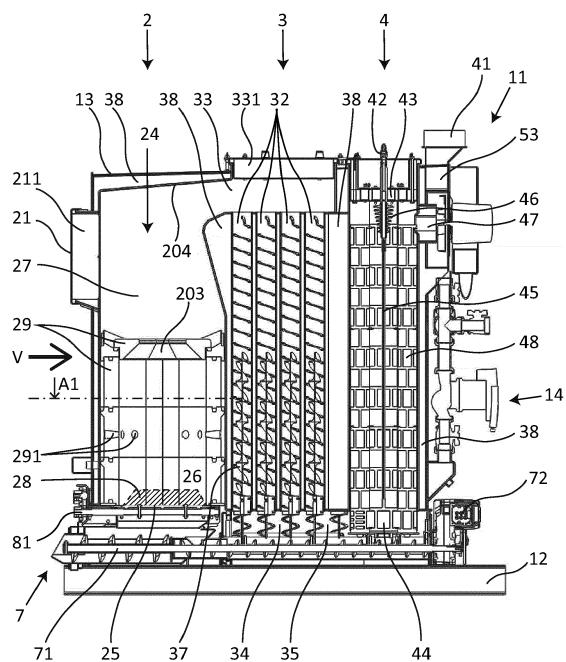
(71) Anmelder: **SL-Technik GmbH  
5120 St. Pantaleon (AT)**(72) Erfinder: **SOMMERAUER, Thilo  
5120 St. Pantaleon (AT)**

(74) Vertreter: **Kuhnen & Wacker  
Patent- und Rechtsanwaltsbüro PartG mbB  
Prinz-Ludwig-Straße 40A  
85354 Freising (DE)**

## (54) BIOMASSE-HEIZANLAGE MIT SEKUNDÄRLUFTFÜHRUNG, SOWIE DEREN BESTANDTEILE

(57) Es ist eine Biomasse-Heizanlage (1) zur Verfeuerung von Brennstoff in Form von Pellets und/oder Hackgut offenbart, welche das Folgende aufweist: einen Kessel (11) mit einer Brenneinrichtung (2), einen Wärmetauscher (3) mit einer Mehrzahl von Kesselrohren (32), wobei die Brenneinrichtung (2) das Folgende aufweist: eine Brennkammer (24) mit einem Drehrost (25), mit einer Primärverbrennungszone (26) und mit einer Sekundärverbrennungszone (27); wobei die Primärverbrennungszone (26) durch eine Mehrzahl von Brennkammersteinen (29) seitlich und durch den Drehrost (25) von unten umfasst ist; wobei in den Brennkammersteinen (29) eine Mehrzahl von Sekundärluftdüsen (291) vorgesehen ist; wobei die Primärverbrennungszone (26) und die Sekundärverbrennungszone (27) auf der Höhe der Sekundärluftdüsen (291) separiert werden; wobei die Sekundärverbrennungszone (27) der Brennkammer (24) strömungstechnisch mit einem Eintritt (33) des Wärmetauschers (3) verbunden ist.

Fig. 2



## Beschreibung

### TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Biomasse-Heizanlage, sowie deren Bestandteile. Insbesondere betrifft die Erfindung eine strömungstechnisch optimierte Biomasse-Heizanlage.

### STAND DER TECHNIK

**[0002]** Biomasse-Heizanlagen, insbesondere Biomasse-Kessel, in einem Leistungsbereich von 20 bis 500 kW sind bekannt. Biomasse kann als ein günstiger, heimischer, krisensicherer und umweltfreundlicher Brennstoff angesehen werden. Als verfeuerbare Biomasse beziehungsweise als biogene Festbrennstoffe gibt es beispielsweise Hackgut oder Pellets.

**[0003]** Die Pellets bestehen meistens aus Holzspänen, Sägespänen, Biomasse oder anderen Materialien, die in kleine Scheiben oder Zylinder mit einem Durchmesser von ca. 3 bis 15 mm und einer Länge von 5 bis 30 mm verdichtet worden sind. Hackgut (auch als Holschnitzel, Holzhackschnitzel oder Hackschnitzel bezeichnet) ist mit schneidenden Werkzeugen zerkleineretes Holz.

**[0004]** Biomasse-Heizanlagen für Brennstoffe in Form von Pellets und Hackgut weisen im Wesentlichen einen Kessel mit einer Brennkammer (der Verbrennungsraum) und mit einer daran anschließenden Wärmetauschvorrichtung auf. Aufgrund der in vielen Ländern verschärfter gesetzlicher Vorschriften weisen einige Biomasse-Heizanlagen auch einen Feinstaubfilter auf. Regelmäßig ist weiteres verschiedenes Zubehör vorhanden, wie beispielsweise Brennstoff-Fördereinrichtungen, Regelungseinrichtungen, Sonden, Sicherheitsthermostate, Druckschalter, eine Abgasrückführung, eine Kesselabreinigung und ein separater Brennstoffbehälter.

**[0005]** Bei der Brennkammer sind regelmäßig eine Einrichtung zur Zuführung von Brennstoff, eine Einrichtung für die Zufuhr der Luft und eine Zündvorrichtung für den Brennstoff vorgesehen. Die Einrichtung zur Zufuhr der Luft weist wiederum normalerweise ein Gebläse mit niedrigem Druck auf, um die thermodynamischen Faktoren bei der Verbrennung in der Brennkammer vorteilhaft zu beeinflussen. Eine Einrichtung zur Zuführung von Brennstoff kann beispielsweise mit einem seitlichen Einschub vorgesehen sein (sog. Quereinschubfeuerung). Dabei wird der Brennstoff von der Seite über eine Schnecke oder einen Kolben in die Brennkammer eingeschoben.

**[0006]** In der Brennkammer einer Festbettfeuerung ist weiter üblicherweise ein Feuerungsrost vorgesehen, auf welchem kontinuierlich der Brennstoff im Wesentlichen zugeführt und verbrannt wird. Dieser Feuerungsrost lagert den Brennstoff für die Verbrennung und weist Öffnungen, beispielsweise Schlitze, auf, die den Durchgang eines Teils der Verbrennungsluft als Primärluft zu dem

Brennstoff erlauben. Weiter kann der Rost starr oder beweglich ausgeführt sein. Zudem gibt es Rostfeuerungen, bei denen die Verbrennungsluft nicht durch den Rost, sondern nur seitlich zugeführt wird.

**[0007]** Beim Durchströmen des Rosts mit der Primärluft wird unter anderem auch der Rost gekühlt, wodurch das Material geschont wird. Zudem kann es bei unzureichender Luftzuführung auf dem Rost zu Schlackenbildung kommen. Insbesondere Feuerungen, die mit unterschiedlichen Brennstoffen beschickt werden sollen, womit sich die vorliegende Offenbarung insbesondere beschäftigt, weisen die inhärente Problematik auf, dass die unterschiedlichen Brennstoffe unterschiedliche Ascheschmelzpunkte, Wassergehalte und unterschiedliches Brennverhalten aufweisen. Damit ist es problematisch eine Heizanlage vorzusehen, die für unterschiedliche Brennstoffe gleichermaßen gut geeignet ist. Die Brennkammer kann weiterhin regelmäßig in eine Primärverbrennungszone (unmittelbare Verbrennung des Brennstoffes auf dem Rost sowie im Gasraum darüber vor Zuführung einer weiteren Verbrennungsluft) und eine Sekundärverbrennungszone (Nachverbrennungszone des Rauchgases nach einer weiteren Luftzufuhr) eingeteilt werden. In der Brennkammer erfolgen die Trocknung, pyrolytische Zersetzung sowie die Vergasung des Brennstoffes und der Holzkohleausbrand. Um die entstehenden brennbaren Gase vollständig zu verbrennen wird zudem eine weitere Verbrennungsluft in einer oder mehreren Stufen (Sekundärluft bzw. Tertiärluft) bei Beginn der Sekundärverbrennungszone eingebracht.

**[0008]** Die Verbrennung der Pellets oder des Hackguts weist nach der Trocknung im Wesentlichen zwei Phasen auf. In der ersten Phase wird der Brennstoff durch hohe Temperaturen und Luft, die in die Brennkammer eingeblasen werden kann, und zumindest teilweise pyrolytisch zersetzt und in Gas umgewandelt. In der zweiten Phase treten die Verbrennung des in Gas umgewandelten (An-)Teils sowie die Verbrennung der eventuell vorhandenen restlichen Feststoffe (beispielsweise Holzkohle) ein. Insofern gast der Brennstoff aus, und das entstandene Gas sowie die darin vorhandene Holzkohle werden mitverbrannt.

**[0009]** Unter Pyrolyse versteht man die thermische Zersetzung eines festen Stoffes unter Sauerstoffabschluss. Die Pyrolyse lässt sich in die primäre und sekundäre Pyrolyse aufteilen. Die Produkte der primären Pyrolyse sind Pyrolysekoks und Pyrolysegase, wobei sich die Pyrolysegase in bei Raumtemperatur kondensierbare und nicht kondensierbare Gase unterteilen lassen. Die primäre Pyrolyse findet bei grob 250-450°C und die sekundäre Pyrolyse bei ungefähr 450-600°C statt. Die in weiterer Folge auftretende sekundäre Pyrolyse basiert auf der Weiterreaktion der primär gebildeten Pyrolyseprodukte. Die Trocknung und Pyrolyse finden zumindest weitgehend ohne den Einsatz von Luft statt, da flüchtige CH-Verbindungen vom Partikel austreten und daher keine Luft an die Partikeloberfläche gelangt. Die Vergasung kann als Teil der Oxidation gesehen werden; es

werden die bei der pyrolytischen Zersetzung entstandenen festen, flüssigen und gasförmigen Produkte durch weitere Wärmeeinwirkung in Reaktion gebracht. Dies geschieht unter Zugabe eines Vergasungsmittels wie Luft, Sauerstoff, Wasserdampf, oder auch Kohlendioxid. Der Lambda-Wert bei der Vergasung ist größer als null und kleiner als eins. Die Vergasung findet bei rund 300 bis 850°C oder sogar bis 1.200 °C statt. Die vollständige Oxidation mit Luftüberschuss (Lambda größer 1) findet durch weitere Luftzugabe an diese Prozesse anschließend statt. Die Reaktionsendprodukte sind im Wesentlichen Kohlendioxid, Wasserdampf und Asche. Bei allen Phasen sind die Grenzen nicht starr, sondern fließend. Mittels einer am Abgasausgang des Kessels vorgesehenen Lamasonde kann der Verbrennungsprozess vorzeitig geregelt werden.

**[0010]** Allgemein ausgedrückt wird der Wirkungsgrad der Verbrennung durch die Umwandlung der Pellets in Gas erhöht, weil gasförmiger Brennstoff mit der Verbrennungsluft besser vermischt und damit vollständiger umgesetzt wird, und eine geringere Emission von Schadstoffen, weniger unverbrannte Partikel und Asche (Flugasche bzw. Staubpartikel) erzeugt werden.

**[0011]** Bei der Verbrennung von Biomasse entstehen gasförmige bzw. luftgetragene Verbrennungsprodukte, deren Hauptbestandteile Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff sind. Diese können in Emissionen aus vollständiger Oxidation, aus unvollständiger Oxidation und Stoffen aus Spurenelementen bzw. Verunreinigungen unterschieden werden. Bei den Emissionen aus vollständiger Oxidation handelt es sich im Wesentlichen um Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) und Wasserdampf ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Die Bildung von Kohlenstoffdioxid aus dem Kohlenstoff der Biomasse ist das Ziel der Verbrennung, da so die freigesetzte Energie vollständiger genutzt werden kann. Die Freisetzung von Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) verhält sich weitgehend proportional zum Kohlenstoffgehalt der verbrannten Brennstoffmenge; somit ist der Kohlenstoffdioxid auch abhängig von der bereitzustellenden Nutzenergie. Eine Reduzierung kann im Wesentlichen nur durch eine Verbesserung des Wirkungsgrades erzielt werden.

**[0012]** Allerdings sind die vorstehend beschriebenen komplexen Verbrennungsvorgänge nicht einfach zu beherrschen. So besteht ganz allgemein formuliert ein Verbesserungsbedarf betreffend der Verbrennungsvorgänge in Biomasse-Heizanlagen.

**[0013]** Neben der Luftzufuhr in die Brennkammer sind weiterhin Abgasrückführungseinrichtungen bekannt, die Abgas aus dem Kessel zur Kühlung und zur erneuten Verbrennung in die Brennkammer zurückführen. Hierbei existieren im Stand der Technik üblicherweise Öffnungen in der Brennkammer zur Zufuhr von Primärluft durch eine die Brennkammer speisende Primärluftleitung, und weiterhin existieren Umfangsöffnungen in der Brennkammer zur Zufuhr von Sekundärluft aus einer Sekundärluftleitung. Eine Rauchgasrezirkulation kann unter oder über dem Rost erfolgen. Zudem kann die Rauchgasrezirkulation gemischt mit der Verbrennungsluft oder

separat erfolgen.

**[0014]** Das Abgas der Verbrennung in der Brennkammer wird dem Wärmetauscher zugeführt, so dass die heißen Verbrennungsgase durch den Wärmetauscher strömen, um Wärme auf ein Wärmetauschmedium zu übertragen, bei dem es sich normalerweise um Wasser bei etwa 80°C (üblicherweise zwischen 70 °C und 110°C) handelt. Der Kessel weist weiter üblicherweise einen Strahlungsteil, der in die Brennkammer integriert ist, und einen Konvektionsteil (dem daran anschließenden Wärmetauscher) auf.

**[0015]** Bei der Zündvorrichtung handelt es sich meistens um eine Heißlufteinrichtung oder eine Glühleinrichtung. Im ersten Fall wird die Verbrennung in Gang gesetzt, indem der Brennkammer Heißluft zugeführt wird, wobei die Heißluft durch einen elektrischen Widerstand aufgeheizt wird. Im zweiten Fall weist die Zündvorrichtung eine Glühkerze / einen Glühstab oder mehrere Glühkerzen auf, um die Pellets oder das Hackgut durch direkten Kontakt zu erhitzen, bis die Verbrennung beginnt. Die Glühkerzen können auch mit einem Motor versehen sein, um während der Zündphase mit den Pellets oder dem Hackgut in Berührung zu bleiben, und dann zurückzufahren, um nicht den Flammen ausgesetzt zu bleiben.

Diese Lösung ist verschleißanfällig und aufwändig.

**[0016]** Grundsätzlich bestehen bei herkömmlichen Biomasse-Heizanlagen die Probleme, dass die gasförmigen oder festen Emissionen zu hoch sind, dass der Wirkungsgrad zu niedrig ist und dass die Staubemissionen zu hoch sind. Problematisch ist weiter die variierende Qualität des Brennstoffs, aufgrund des variierenden Wassergehalts und der Stückigkeit des Brennstoffs, womit ein gleichmäßiger Abbrand des Brennstoffs mit niedriger Emission erschwert wird. Insbesondere bei Biomasse-Heizanlagen, welche für verschiedene Arten von biologischem bzw. biogenem Brennstoff tauglich sein sollen, erschwert es die variierende Qualität und Konsistenz des Brennstoffs, eine durchgängig hohe Effizienz der Biomasse-Heizanlage aufrechtzuerhalten. Diesbezüglich besteht erheblicher Optimierungsbedarf.

**[0017]** Ein Nachteil der herkömmlichen Biomasse-Heizanlagen für Pellets kann darin bestehen, dass Pellets, die in die Brennkammer fallen, aus dem Gitter bzw. vom Rost herausrollen bzw. abrutschen können oder neben dem Rost landen können und in einen Bereich der Brennkammer gelangen können, in dem die Temperatur niedriger ist oder in dem die Luftzufuhr schlecht ist, oder sie können sogar in die unterste Kammer des Kessels bzw. den Ascheschacht fallen. Pellets, die nicht auf dem Gitter bzw. Rost verbleiben, verbrennen unvollständig und verursachen dadurch einen schlechten Wirkungsgrad, übermäßige Asche und eine bestimmte Menge an unverbrannten Schadstoffpartikeln. Dies gilt für Pellets wie auch für Hackschnitzel.

**[0018]** Aus diesem Grund besitzen die bekannten Biomasse-Heizanlagen für Pellets in der Nähe des Gitters bzw. Rostes und/oder des Austritts des Verbrennungsgases beispielsweise Prallbleche, um Brennstoffele-

mente an bestimmten Orten zurückzuhalten. Bei manchen Kesseln sind an der Innenseite der Brennkammer Absätze vorgesehen, um zu verhindern, dass Pellets in die Entaschung oder/und die unterste Kammer des Kessels hineinfallen. In diesen Prallblechen und Absätzen können sich jedoch wiederum Verbrennungsrückstände festsetzen, was die Reinigung erschwert und Luftströmungen in der Brennkammer behindert kann, was wiederum die Effizienz mindert. Zudem erfordern diese Prallbleche einen eigenen Herstellungs- und Montageaufwand. Dies gilt für Pellets wie auch für Hackschnitzel.

**[0019]** Biomasse-Heizanlagen für Pellets oder Hackgut weisen die folgenden weiteren Nachteile und Probleme auf.

**[0020]** Ein Problem besteht auch in der nicht gleichmäßigen Verteilung der Pellets in der Brennkammer und insbesondere auf dem Rost, wodurch der Wirkungsgrad der Verbrennung verringert und die Emission von Schadstoffen erhöht wird. Durch diesen Nachteil kann auch die Zündung behindert werden, wenn sich ein Bereich ohne Brennstoff in der Nähe der Zündvorrichtung befindet. Dies gilt für Pellets wie auch für Hackschnitzel.

**[0021]** Prallbleche oder Absätze in der Brennkammer können diesen Nachteil begrenzen und vermeiden, dass der Brennstoff vom Rost herausrollt bzw. abrutscht oder sogar in die unterste Kammer des Kessels hineinfällt, doch sie behindern die Luftströmungen und verhindern eine optimale Mischung von Luft und Brennstoff.

**[0022]** Ein weiteres Problem besteht darin, dass eine unvollständige Verbrennung infolge der nicht gleichmäßigen Verteilung des Brennstoffes aus dem Rost und infolge der nicht optimalen Mischung von Luft und Brennstoff die Anhäufung und das Herabfallen von unverbrannter Asche durch die Lufteintrittsöffnungen, die direkt auf den Verbrennungsrost führen, oder vom Rostende in die Luftkanäle oder den Luftzufuhrbereich begünstigt.

**[0023]** Dies ist besonders störend und verursacht häufige Unterbrechungen, um Wartungsarbeiten wie Reinigen durchzuführen. Aus allen diesen Gründen wird in der Brennkammer normalerweise ein großer Luftüberschuss aufrechterhalten, doch dadurch nehmen die Flammtemperatur und der Wirkungsgrad der Verbrennung ab, und es kommt zu erhöhten Emissionen an unverbrannten Gasen (z.B. CO, CyHy), NOx und Staub (bspw. durch die verstärkte Aufwirbelung).

**[0024]** Der Einsatz eines Gebläses mit niedriger Druckhöhe liefert keine geeignete Wirbelströmung der Luft in der Brennkammer und ermöglicht deshalb auch keine optimale Mischung von Luft und Brennstoff. Generell ist es schwierig, in herkömmlichen Brennkammern eine optimale Wirbelströmung auszubilden.

**[0025]** Ein weiteres Problem bei den bekannten Brennern ohne Luftstufung besteht noch darin, dass die beiden Phasen, Umwandlung der Pellets in Gas und Verbrennung, mittels der gleichen Luftmenge gleichzeitig in der gesamten Brennkammer stattfinden, womit die Effizienz gesenkt wird.

**[0026]** Schließlich existieren einige Nachteile in Bezug

auf die Zündvorrichtungen. Heißluftvorrichtungen benötigen eine hohe elektrische Leistung und verursachen hohe Kosten. Zündkerzen benötigen weniger Strom, doch sie benötigen bewegliche Teile, da die Zündkerzen motorisiert sein müssen. Sie sind teuer, kompliziert und können bezüglich Zuverlässigkeit ein Problem darstellen.

**[0027]** Weiter besteht insbesondere auch bei den Wärmetauschern von Biomasse-Heizanlagen des Stands der Technik Optimierungsbedarf, d.h., deren Effizienz könnte gesteigert werden. Ebenso besteht Verbesserungsbedarf betreffend der oft umständlichen und ineffizienten Abreinigung von herkömmlichen Wärmetauschern.

**[0028]** Das gleiche gilt für die üblichen Elektrofilter von Biomasse-Heizanlagen. Deren Sprüh- und auch Abscheideelektroden setzen sich regelmäßig mit Verbrennungsrückständen zu, was die Ausbildung des elektrischen Feldes zur Filterung verschlechtert und die Effizienz der Filterung verringert.

**[0029]** Es kann eine Aufgabe der Erfindung sein, eine Biomasse-Heizanlage in Hybridtechnologie vorzusehen, welche emissionsarm (v.a. bzgl. Feinstaub, CO, Kohlenwasserstoffen, NOx) ist, welche brennstoffflexibel mit Hackgut und Pellets betrieben werden kann, und welche einen hohen Wirkungsgrad aufweist.

**[0030]** Dabei können erfindungsgemäß und ergänzend folgende Überlegungen eine Rolle spielen: Die Hybridtechnologie soll sowohl den Einsatz von Pellets als auch von Hackgut mit Wassergehalten zwischen 8 und 35 Gewichtsprozent ermöglichen.

**[0031]** Möglichst niedrige gasförmige Emissionen (kleiner als 50 oder 100 mg/Nm<sup>3</sup> bezogen auf trockenes Rauchgas und 13 Volumenprozent O<sub>2</sub>) sollen erzielt werden.

**[0032]** Sehr niedrige Staubemissionen kleiner 15 mg/Nm<sup>3</sup> ohne und kleiner 5 mg/Nm<sup>3</sup> mit Elektrofilterbetrieb werden angestrebt.

**[0033]** Ein hoher Wirkungsgrad von bis zu 98% (bezogen auf die zugeführte Brennstoffenergie (Heizwert) soll erreicht werden.

**[0034]** Weiter kann man berücksichtigen, dass der Betrieb der Anlage optimiert sein soll. Beispielsweise soll eine einfache Entaschung, einfache Reinigung oder eine einfache Wartung ermöglicht werden.

**[0035]** Zudem sollte eine hohe Anlagenverfügbarkeit vorhanden sein.

**[0036]** Dabei kann/können sich die vorstehend genannte Aufgabe oder die potentiellen Einzelproblemstellungen auch auf einzelne Teilespektre der Gesamtanlage beziehen, beispielsweise auf die Brennkammer, den Wärmetauscher oder den elektrischen Filtereinrichtung.

**[0037]** Diese Aufgabe(n) wird/werden durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst. Weitere Aspekte und vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

**[0038]** Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Offenbarung ist eine Biomasse-Heizanlage zur Ver-

feuerung von Brennstoff in Form von Pellets und/oder Hackgut offenbart, die Anlage aufweisend das Folgende: einen Kessel mit einer Brenneinrichtung, einen Wärmetauscher mit einer Mehrzahl von Kesselrohren, wobei die Brenneinrichtung das Folgende aufweist: eine Brennkammer mit einem Drehrost, mit einer Primärverbrennungszone und mit einer Sekundärverbrennungszone; wobei die Primärverbrennungszone durch eine Mehrzahl von Brennkammersteinen seitlich und durch den Drehrost von unten umfasst ist; wobei in den Brennkammersteinen eine Mehrzahl von Sekundärluftdüsen vorgesehen ist; wobei die Primärverbrennungszone und die Sekundärverbrennungszone auf der Höhe der Sekundärluftdüsen separiert werden; wobei die Sekundärverbrennungszone der Brennkammer strömungstechnisch mit einem Eintritt des Wärmetauschers verbunden ist.

**[0039]** Gemäß einer Weiterbildung des Vorstehenden ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei die Sekundärluftdüsen derart angeordnet sind, dass in der Sekundärverbrennungszone der Brennkammer Wirbelströmungen eines Rauchgas-Luft Gemischs aus Sekundärluft und Verbrennungsluft um eine vertikale Mittenachse entstehen, wobei die Wirbelströmungen zur Verbesserung der Vermischung des Rauchgas-Luft Gemischs führen.

**[0040]** Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei die Sekundärluftdüsen in den Brennkammersteinen jeweils als zylindrische oder kegelstumpfförmige Öffnung in den Brennkammersteinen mit einem kreisförmigen oder elliptischen Querschnitt ausgebildet sind, wobei der kleinste Durchmesser der jeweiligen Öffnung kleiner als dessen maximale Länge ist.

**[0041]** Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei die Brenneinrichtung mit der Brennkammer derart eingerichtet ist, dass die Wirbelströmungen nach dem Austritt aus der Brennkammerdüse spiralförmige Rotationsströmungen ausbilden, die bis zu einer Brennkammerdecke der Brennkammer reichen.

**[0042]** Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei die Sekundärluftdüsen in der Brennkammer auf zumindest annähernd der gleichen Höhe angeordnet sind; und die Sekundärluftdüsen mit deren Mittenachse derart angeordnet und/oder (je nach Art der Düse) derart ausgerichtet sind, dass die Sekundärluft azentrisch zu einem Symmetriemittelpunkt der Brennkammer eingeleitet wird.

**[0043]** Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei die Anzahl der Sekundärluftdüsen zwischen 8 und 14 liegt; und/oder die Sekundärluftdüsen eine Mindestlänge von mindestens 50 mm bei einem Innendurchmesser von 20 bis 35 mm aufweisen.

**[0044]** Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei die Brennkammer in der Sekundärverbrennungszone eine Brennkammerschräge aufweist, welche den Quer-

schnitt der Sekundärverbrennungszone in Richtung des Eintritts des Wärmetauschers verkleinert.

**[0045]** Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei die Brennkammer in der Sekundärverbrennungszone eine Brennkammerdecke aufweist, die in Richtung des Eintritts des Wärmetauschers nach oben geneigt vorgesehen ist, und die den Querschnitt der Brennkammer in Richtung des Eintritts verkleinert.

10 [0046] Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei die Brennkammerschräge und die geneigte Brennkammerdecke einen Trichter ausbilden, dessen kleineres Ende in den Eintritt des Wärmetauschers mündet.

15 [0047] Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-  
Heizanlage vorgesehen, wobei die Primärverbrennungs-  
zone und zumindest ein Teil der Sekundärverbrennungs-  
zone einen ovalen Horizontalquerschnitt aufweist;  
und/oder die Sekundärluftdüsen derart angeordnet sind,  
20 dass diese die Sekundärluft tangential in die Brennkammer

20 dass diese die Sekundär Luft tangential in die Brennkammer einleiten.

[0048] Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei die durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit der Sekundärluft in den Sekundärlufterdüsen zumindest 8 m/s, vorzugsweise zumindest 10 m/s, beträgt.

[0049] Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei die Brennkammersteine einen modularen Aufbau aufweisen; und jeweils zwei halbkreisförmige Brennkammersteine einen geschlossenen Ring bilden, um die Primärverbrennungszone und/oder einen Teil der Sekundärverbrennungszone auszubilden; und zumindest zwei Ringe an Brennkammersteinen aufeinandergestapelt angeordnet sind.

35 [0050] Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei der Wärmetauscher in den Kesselrohren angeordnete Spiralturbulatoren aufweist, die sich über die gesamte Länge der Kesselrohre erstrecken; und der Wärmetauscher in den Kesselrohren  
40 angeordnete Bandturbulatoren aufweist, die sich zumindest über die halbe Länge der Kesselrohre erstrecken.

[0051] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Offenbarung ist eine Biomasse-Heizanlage zur Verfeuerung von Brennstoff in Form von Pellets und/oder

45 Hackgut vorgesehen, welche das Folgende aufweist: einen Kessel mit einer Brenneinrichtung, einen Wärmetauscher mit einer, vorzugsweise bündelartig angeordneten, Mehrzahl von Kesselrohren, wobei die Brenneinrichtung

das Folgende aufweist: eine Brennkammer mit einem Drehrost und mit einer Primärverbrennungszone und mit einer, bevorzugt über der Primärverbrennungszone vorgesehenen, Sekundärverbrennungszone; wobei die Primärverbrennungszone durch eine Mehrzahl von Brennkammersteinen seitlich und durch den Drehrost von unten umfasst ist; wobei Sekundärverbrennungszone eine Brennkammerdüse bzw. ein Durchbrandloch beinhaltet; wobei die Sekundärverbrennungszone der Brennkammer strömungstechnisch mit einem Eintritt bzw. Einlass

des Wärmetauschers verbunden ist; wobei die Primärverbrennungszone einen ovalen Horizontalquerschnitt aufweist.

**[0052]** Bei bündelartig angeordneten Kesselrohren kann es sich um eine Mehrzahl von parallel zueinander angeordneten Kesselrohren mit zumindest weitgehend gleicher Länge handeln. Vorzugsweise können die Einlassöffnungen und die Auslassöffnungen aller Kesselrohre jeweils in einer gemeinsamen Ebene angeordnet sein; d. h., die Einlassöffnungen und die Auslassöffnungen aller Kesselrohre liegen auf gleicher Höhe.

**[0053]** "Horizontal" kann vorliegend eine ebene Ausrichtung einer Achse oder eines Querschnitts in der Annahme bezeichnen, dass der Kessel ebenso horizontal aufgestellt ist, womit beispielsweise das Erdniveau die Referenz sein kann. Alternativ kann "horizontal" vorliegend "parallel" zur Grundebene des Kessels 11 bedeuten, so wie diese üblicherweise definiert wird. Weiter alternativ kann, insbesondere bei einem Fehlen einer Bezugsebene, "horizontal" lediglich als "parallel" zur Verbrennungsebene des Rosts verstanden werden.

**[0054]** Weiter kann die Primärverbrennungszone einen ovalen Querschnitt aufweisen.

**[0055]** Der ovale Horizontalquerschnitt weist keine Tocken auf, und weist somit eine verbesserte Luftdurchströmung und die Möglichkeit zu einer weitgehend unbehinderten Wirbelströmung auf. Folglich weist die Biomasse-Heizanlage eine verbesserte Effizienz und niedrigere Emissionen auf. Zudem ist der ovale Querschnitt gut an die Art der Brennstoffverteilung bei seitlicher Zufluss dessen und der daraus entstehenden Geometrie des Brennstoffbetts auf dem Rost angepasst. Ein ideal "runder" Querschnitt ist ebenso möglich, jedoch nicht so gut an die Geometrie der Brennstoffverteilung und auch der Strömungstechnik der Wirbelströmung angepasst, wobei die Asymmetrie des Ovals gegenüber der "ideal" Kreisförmigen Querschnittsform der Brennkammer eine verbesserte Ausbildung einer turbulenten Strömung in der Brennkammer ermöglicht.

**[0056]** Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei der Horizontalquerschnitt der Primärverbrennungszone über eine Höhe von zumindest 100 mm zumindest annähernd gleichbleibend vorgesehen ist. Auch dies dient der unbehinderten Ausbildung der Strömungsprofile in der Brennkammer.

**[0057]** Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei die Brennkammer in der Sekundärverbrennungszone eine Brennkammerschräge aufweist, welche den Querschnitt der Sekundärverbrennungszone in Richtung des Eintritts bzw. des Einlasses des Wärmetauschers verjüngt.

**[0058]** Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei der Drehrost ein erstes Drehrostelement, ein zweites Drehrostelement und ein drittes Drehrostelement aufweist, die jeweils um eine horizontal angeordnete Lagerachse um zumindest 90 Grad, vorzugsweise zumindest 160 Grad, noch weiter bevorzugt um zumindest 170 Grad, drehbar angeordnet

sind; wobei die Drehrostelemente eine Verbrennungsfläche für den Brennstoff ausbilden; wobei die Drehrostelemente Öffnungen für die Luft zur Verbrennung aufweisen, wobei das erste Drehrostelement und das dritte Drehrostelement in ihrer Verbrennungsfläche identisch ausgebildet sind.

**[0059]** Die Öffnungen in den Drehrostelementen sind dabei bevorzugt schlitzförmig und in einem regelmäßigen Muster ausgebildet, um eine gleichmäßige Luftdurchströmung des Brennstoffbetts sicherzustellen.

**[0060]** Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei das zweite Drehrostelement formschlüssig zwischen dem ersten Drehrostelement und dem dritten Drehrostelement angeordnet ist und Rostlippen aufweist, die derart angeordnet sind, dass diese in Horizontallage aller drei Drehrostelemente zumindest weitgehend dichtend an dem ersten Drehrostelement und dem dritten Drehrostelement anliegen.

**[0061]** Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei der Drehrost weiter eine Drehrostmechanik aufweist, die derart konfiguriert ist, dass diese das dritte Drehrostelement unabhängig von dem ersten Drehrostelement und dem zweiten Drehrostelement drehen kann, und dass diese das erste Drehrostelement und das zweite Drehrostelement gemeinsam aber unabhängig von dem dritten Drehrostelement drehen kann.

**[0062]** Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei die Verbrennungsfläche der Drehrostelemente eine im Wesentlichen ovale oder elliptische Verbrennungsfläche konfiguriert.

**[0063]** Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei die Drehrostelemente zueinander komplementäre und gekrümmte Seiten aufweisen, wobei vorzugsweise das zweite Drehrostelement jeweils zu dem benachbarten ersten und dritten Drehrostelement konkave Seiten aufweist, und vorzugsweise das erste und dritte Drehrostelement jeweils zu dem zweiten Drehrostelement hin eine konvexe Seite aufweisen.

**[0064]** Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei die Brennkammersteine einen modularen Aufbau aufweisen; und jeweils zwei halbkreisförmige Brennkammersteine einen geschlossenen Ring bilden, um die Primärverbrennungszone auszubilden; und zumindest zwei Ringe an Brennkammersteinen aufeinander gestapelt angeordnet sind.

**[0065]** Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei der Wärmetauscher in den Kesselrohren angeordnete Spiralturbulatoren aufweist, die sich über die gesamte Länge der Kesselrohre erstrecken; und der Wärmetauscher in den Kesselrohren angeordnete Bandturbulatoren aufweist, die sich zumindest über die halbe Länge der Kesselrohre erstrecken. Dabei können die Bandturbulatoren bevorzugt in oder innerhalb der Spiralturbulatoren angeordnet sein. Insbesondere können die Bandturbulatoren in den Spiralturbulatoren integriert angeordnet sein. Dabei können sich

die Bandturbulatoren bevorzugt über eine Länge von 30 bis 70% der Länge der Spiralturbulatoren erstrecken.

**[0066]** Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei der Wärmetauscher zwischen 18 und 24 Kesselrohre mit jeweils einem Durchmesser von 70 bis 85 mm und einer Wandstärke von 3 bis 4 mm aufweist.

**[0067]** Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei der Kessel eine integriert angeordnete elektrostatische Filtereinrichtung aufweist, die eine Sprühelektrode und eine die Sprühelektrode umgebende Niederschlagselektrode und einen Käfig bzw. eine käfigförmige Abreinigungseinrichtung aufweist; wobei der Kessel weiter eine mechanisch betätigbare Reinigungseinrichtung mit einem Schlaghebel mit einem Anschlagkopf aufweist; wobei die Reinigungseinrichtung derart eingerichtet ist, dass diese die (Sprüh-) Elektrode an deren Ende mit dem Anschlagkopf anschlagen kann, so dass eine Stoßwelle durch die Elektrode und/oder eine Transversalschwingung der (Sprüh-)Elektrode erzeugt wird, um die Elektrode von Verunreinigungen abzureinigen. Als Material für die Elektrode ist ein Stahl vorgesehen, der durch den Anschlagkopf in Schwingungen (longitudinal und/oder transversal und/oder Stoßwelle) versetzt werden kann. Hierzu kommt beispielsweise Federstahl und/oder Chromstahl in Frage. Der Werkstoff des Federstahls kann vorzugsweise ein austenitischer Chrom-Nickel-Stahl, beispielsweise 1.4310 sein. Weiter kann der Federstahl bombiert ausgeführt sein. Die käfigförmige Abreinigungseinrichtung kann weiter entlang der Wand der elektrostatischen Filtereinrichtung zum Abreinigen der Niederschlagselektrode hin- und herbewegt werden.

**[0068]** Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei eine in den Kessel im kalten Bereich integrierte Reinigungseinrichtung vorgesehen ist, die derart konfiguriert ist, dass diese die Kesselrohre des Wärmetauschers durch eine Auf- und Abwärtsbewegung von in den Kesselrohren vorgesehenen Turbulatoren abreinigen kann. Die Auf- und Abwärtsbewegung kann auch als Hin- und Herbewegung der Turbulatoren in den Kesselrohren in Längsrichtung der Kesselrohre verstanden werden.

**[0069]** Gemäß einer Weiterbildung ist eine Biomasse-Heizanlage vorgesehen, wobei in der Brennkammer über dem Drehrost eine Glutbetthöhenmessmechanik angeordnet ist; wobei die Glutbetthöhenmessmechanik eine auf einer Drehachse angebrachte Brennstoff-Niveaulappe mit einer Hauptfläche aufweist; wobei eine Oberflächenparallele der Hauptfläche der Brennstoff-Niveaulappe winklig zu einer Mittenachse der Drehachse vorgesehen ist, wobei der Winkel vorzugsweise größer 20 Grad ist.

**[0070]** Obschon alle vorstehenden Einzelmerkmale und Details eines Aspekts der Erfindung und der Weiterbildungen dieses Aspekts in Zusammenhang mit der Biomasse-Heizanlage beschrieben sind, so sind diese Einzelmerkmale und Details auch als solche unabhängig

von der Biomasse-Heizanlage offenbart.

**[0071]** Beispielsweise ist eine Brennkammerschräge einer Sekundärverbrennungszone einer Brennkammer mit deren hierin genannten Merkmalen und Eigenschaften offenbart, die (lediglich) für eine Biomasse-Heizanlage geeignet ist. Insofern ist eine Brennkammerschräge für eine Sekundärverbrennungszone einer Brennkammer einer Biomasse-Heizanlage mit den hierin genannten Merkmalen und Eigenschaften offenbart.

**[0072]** Weiter ist beispielsweise ein Drehrost für eine Brennkammer einer Biomasse-Heizanlage mit dessen hierin genannten Merkmalen und Eigenschaften offenbart.

**[0073]** Weiter ist beispielsweise eine Mehrzahl von Brennkammersteinen für eine Brennkammer einer Biomasse-Heizanlage mit deren hierin genannten Merkmalen und Eigenschaften offenbart.

**[0074]** Weiter ist beispielsweise eine integriert angeordnete elektrostatische Filtereinrichtung für eine Biomasse-Heizanlage mit deren hierin genannten Merkmalen und Eigenschaften offenbart.

**[0075]** Weiter ist beispielsweise eine Mehrzahl von Kesselrohren für eine Biomasse-Heizanlage mit deren hierin genannten Merkmalen und Eigenschaften offenbart.

**[0076]** Weiter ist beispielsweise eine Glutbetthöhenmessmechanik für eine Biomasse-Heizanlage mit deren hierin genannten Merkmalen und Eigenschaften offenbart.

**[0077]** Weiter ist beispielsweise ebenso, als solche, eine Brennstoff-Niveaulappe für eine Biomasse-Heizanlage mit deren hierin genannten Merkmalen und Eigenschaften offenbart.

**[0078]** Die erfindungsgemäße Biomasse-Heizanlage wird nachfolgend in beispielhaften Ausführungsbeispielen und einzelnen Aspekten anhand der Figuren der Zeichnung näher erläutert:

Fig. 1 zeigt eine dreidimensionale Überblicksansicht einer Biomasse-Heizanlage gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 2 zeigt eine Querschnittsansicht durch die Biomasse-Heizanlage der Fig. 1, welche entlang einer Schnittlinie SL1 vorgenommen wurde und welche aus der Seitenansicht S betrachtet dargestellt ist;

Fig. 3 zeigt ebenso eine Querschnittsansicht durch die Biomasse-Heizanlage der Fig. 1 mit einer Darstellung des Strömungsverlaufs, wobei die Querschnittsansicht entlang einer Schnittlinie SL1 vorgenommen wurde und aus der Seitenansicht S betrachtet dargestellt ist;

Fig. 4 zeigt eine Teilansicht der Fig. 2, die eine Brennkammergeometrie des Kessels der Fig. 2 und Fig. 3 darstellt;

- Fig. 5 zeigt eine Schnittansicht durch den Kessel bzw. die Brennkammer des Kessels entlang der Vertikalschnittlinie A2 der Fig. 4; 5 kundärluftdüsen;
- Fig. 6 zeigt eine dreidimensionale Schnittansicht auf die Primärverbrennungszone der Brennkammer mit dem Drehrost der Fig. 4; 10 Fig. 20 zeigt drei horizontale Querschnittsansichten für unterschiedliche Kesseldimensionierungen durch die Brennkammer auf der Höhe der Sekundärluftdüsen mit Angaben zu den Strömungsverteilungen in diesem Querschnitt;
- Fig. 7 zeigt entsprechend zur Fig. 6 eine Explosionsdarstellung der Brennkammersteine; 15 Fig. 21 zeigt drei vertikale Querschnittsansichten für unterschiedliche Kesseldimensionierungen durch die Biomasse-Heizanlage entlang der Schnittlinie SL1 der Fig. 1 mit Angaben zu den Strömungsverteilungen in diesem Querschnitt.
- Fig. 8 zeigt eine Aufsicht auf den Drehrost mit Drehrostelementen von oben aus Sicht der Schnittlinie A1 der Fig. 2; 15
- Fig. 9 zeigt den Drehrost der Fig. 2 in geschlossener Position, wobei alle Drehrostelemente horizontal ausgerichtet bzw. geschlossen sind; 20
- Fig. 10 zeigt den Drehrost der Fig. 9 in dem Zustand einer Teilabreinigung des Drehrosts im Glutberhaltungsbetrieb; 25
- Fig. 11 zeigt den Drehrost der Fig. 9 im Zustand der Universalabreinigung, welche bevorzugt während eines Anlagenstillstands durchgeführt wird; 30
- Fig. 12 zeigt eine Ausschnitt-Detailansicht der Fig. 2; 35
- Fig. 13 zeigt eine Reinigungseinrichtung, mit der sowohl der Wärmetauscher als auch die Filtereinrichtung der Fig. 2 automatisch gereinigt werden können; 40
- Fig. 14 zeigt eine Turbulatorhalterung in herausgestellter und vergrößerter Form; 45
- Fig. 15 zeigt eine Abreinigungsmechanik in einem ersten Zustand, wobei sich sowohl die Turbulatorhalterungen der Fig. 14 als auch eine Käfighalterung in einer unteren Position befinden; 50
- Fig. 16 zeigt die Abreinigungsmechanik in einem zweiten Zustand, wobei sich sowohl die Turbulatorhalterungen der Fig. 14 als auch die Käfighalterung in einer oberen Position befinden; 55
- Fig. 17 zeigt eine freigestellte Glutbetthöhenmessmechanik mit einer Brennstoff-Niveaulappe; 60
- Fig. 18 zeigt eine Detailansicht der Brennstoff-Niveaulappe; 65
- Fig. 19 zeigt eine horizontale Querschnittsansicht durch die Brennkammer auf der Höhe der Se-
- BESCHREIBUNG VON BEISPIELHAFTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN**
- [0079]** Im Folgenden werden verschiedene Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen lediglich beispielhaft offenbart. Ausführungsformen und darin verwendete Begriffe sollen jedoch nicht dazu dienen, die vorliegende Offenbarung auf bestimmte Ausführungsformen zu beschränken, und sie sollte so ausgelegt werden, dass sie verschiedene Änderungen, Äquivalente und/oder Alternativen gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung beinhaltet.
- [0080]** Sollten in der Beschreibung allgemeinere Begriffe für in den Figuren dargestellte Merkmale oder Elemente verwendet werden, so ist beabsichtigt, dass für den Fachmann nicht nur das spezielle Merkmal oder Element in den Figuren offenbart ist, sondern auch die allgemeinere technische Lehre.
- [0081]** In Bezug auf die Beschreibung der Figuren können die gleichen Bezugszeichen in den einzelnen Figuren verwendet werden, um auf ähnliche oder technisch entsprechende Elemente zu verweisen. Weiter können der Übersichtlichkeit halber in einzelnen Detail- oder Ausschnittsansichten mehr Elemente oder Merkmale mit Bezugszeichen dargestellt sein, als in den Überblicksansichten. Dabei ist davon auszugehen, dass diese Elemente oder Merkmale auch entsprechend in den Überblicksdarstellungen offenbart sind, auch wenn diese dort nicht explizit aufgeführt sind.
- [0082]** Es ist zu verstehen, dass eine Singularform eines Substantivs, das einem Gegenstand entspricht, eines oder mehrere der Dinge beinhalten kann, es sei denn, der betreffende Kontext weist eindeutig auf etwas anderes hin.
- [0083]** In der vorliegenden Offenbarung kann ein Ausdruck wie "A oder B", "mindestens einer von "A oder/und B" oder "einer oder mehrere von A oder/und B" alle möglichen Kombinationen von zusammen aufgeführten Merkmalen beinhalten. Ausdrücke wie "erster", "zweiter", "primär" oder "sekundär", die hierin verwendet werden, können verschiedene Elemente unabhängig von ihrer Reihenfolge und/oder Bedeu-

tung darstellen und schränken entsprechende Elemente nicht ein. Wenn beschrieben wird, dass ein Element (z. B. ein erstes Element) "funktionsfähig" oder "kommunikativ" mit einem anderen Element (z. B. einem zweiten Element) gekoppelt oder verbunden ist, kann das Element direkt mit dem anderen Element verbunden werden oder mit dem anderen Element über ein anderes Element (z. B. ein drittes Element) verbunden werden.

**[0084]** Ein in der vorliegenden Offenbarung verwendeter Ausdruck "konfiguriert zu" (oder "eingerichtet") kann beispielsweise durch "geeignet für", "geeignet zu", "angepasst zu", "gemacht zu", "fähig zu" oder "entworfen zu" ersetzt werden, je nach dem technisch Möglichen. Alternativ kann in einer bestimmten Situation ein Ausdruck "Vorrichtung konfiguriert zu" oder "eingerichtet zu" bedeuten, dass die Vorrichtung zusammen mit einer anderen Vorrichtung oder Komponente arbeiten kann, oder eine entsprechende Funktion ausführen kann.

**[0085]** Alle Größenangaben, welche in "mm" angegeben sind, sind als ein Größenbereich von +/- 1 mm um den angegebenen Wert zu verstehen, sofern nicht eine andere Toleranz oder andere Bereiche explizit angegeben sind. Alle Maß- und Größenangaben sind lediglich beispielhaft.

**[0086]** Anzumerken ist, dass die vorliegenden Einzelaspekte, beispielsweise der Drehrost, die Brennkammer oder die Filtereinrichtung gesondert von bzw. getrennt von der Biomasse-Heizanlage hierin als Einzelteile oder Einzelvorrichtungen offenbart sind. Es ist dem Fachmann also klar, dass auch einzelne Aspekte oder Anlagenteile hierin auch für sich genommen offenbart sind. Vorliegend sind die einzelnen Aspekte oder Anlagenteile insbesondere in den durch Klammern gekennzeichneten Unterkapiteln offenbart. Es ist vorgesehen, dass diese einzelnen Aspekte auch gesondert beansprucht werden können.

**[0087]** Weiter sind der Übersichtlichkeit halber in den Figuren nicht alle Merkmale und Elemente, insbesondere wenn sich diese wiederholen, einzeln bezeichnet. Es sind vielmehr die Elemente und Merkmale jeweils exemplarisch bezeichnet. Analoge oder gleiche Elemente sind dann als solche zu verstehen.

(Biomasse-Heizanlage)

**[0088]** Fig. 1 zeigt eine dreidimensionale Überblicksansicht der Biomasse-Heizanlage 1 gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung.

**[0089]** Der Pfeil V bezeichnet in den Figuren die Vorderansicht der Anlage 1, und der Pfeil S bezeichnet in den Figuren die Seitenansicht der Anlage 1.

**[0090]** Die Biomasse-Heizanlage 1 weist einen Kessel 11 auf, der auf einem Kesselfuß 12 gelagert ist. Der Kessel 11 weist ein Kesselgehäuse 13, beispielsweise aus Stahlblech, auf.

**[0091]** Im vorderen Teil des Kessels 11 befindet sich eine Brenneinrichtung 2 (nicht dargestellt), die über eine

erste Wartungsöffnung mit einem Verschluss 21 erreicht werden kann. Eine Drehmechanikhalterung 22 für einen Drehrost 25 (nicht dargestellt) lagert eine Drehmechanik 23, mit der Antriebskräfte auf Lagerachsen 81 des Drehrosts 25 übertragen werden können.

**[0092]** Im Mittelteil des Kessels 11 befindet sich ein Wärmetauscher 3 (nicht dargestellt), der von oben über eine zweite Wartungsöffnung mit einem Verschluss 31 erreicht werden kann.

**[0093]** Im Hinterteil des Kessels 11 befindet sich eine optionale Filtereinrichtung 4 (nicht dargestellt) mit einer Elektrode 44 (nicht dargestellt), die mit einer isolierenden Elektrodenhalterung 43 aufgehängt ist, und die über eine Elektrodenversorgungsleitung 42 unter Spannung gesetzt wird. Das Abgas der Biomasse-Heizanlage 1 wird über einen Abgasausgang 41 abgeführt, der der Filtereinrichtung 4 strömungstechnisch nachgelagert angeordnet ist. Hier kann ein Ventilator vorgesehen sein.

**[0094]** Hinter dem Kessel 11 ist eine Rezirkulationseinrichtung 5 vorgesehen, die einen Teil des Abgases über Rezirkulationskanäle 51, 53 und 54 und Klappen 52 zur Kühlung des Verbrennungsvorgangs und Wiederverwendung beim Verbrennungsvorgang rezirkuliert.

**[0095]** Weiter weist die Biomasse-Heizanlage 1 eine Brennstoffzufuhr 6 auf, mit der der Brennstoff kontrolliert zu der Brenneinrichtung 2 in die Primärverbrennungszone 26 von der Seite auf den Drehrost 25 befördert wird. Die Brennstoffzufuhr 6 weist eine Zellradschleuse 61 mit einer Brennstoffzufuhröffnung 65 auf, wobei die Zellradschleuse 61 einen Antriebsmotor 66 mit einer Ansteuerelektronik aufweist. Eine von dem Antriebsmotor 66 angetriebene Achse 62 treibt eine Übersetzungsmechanik 63 an, die eine (nicht dargestellte) Brennstoff-Föderschnecke 67 antreiben kann, so dass der Brennstoff in einem Brennstoff-Zufahrtskanal 64 zu der Brenneinrichtung 2 gefördert wird.

**[0096]** Im unteren Teil der Biomasse-Heizanlage 1 ist eine Ascheabfuhrreinrichtung 7 vorgesehen, welche eine Ascheaustragungsschnecke 71 in einem Ascheaustragungskanal aufweist, die von einem Motor 72 betrieben wird.

**[0097]** Fig. 2 zeigt nun eine Querschnittsansicht durch die Biomasse-Heizanlage 1 der Fig. 1, welche entlang einer Schnittlinie SL1 vorgenommen wurde und welche aus der Seitenansicht S betrachtet dargestellt ist. In der korrespondierenden Fig. 3, welche den gleichen Schnitt wie Fig. 2 darstellt, sind der Übersichtlichkeit halber die Strömungen des Rauchgases, und strömungstechnische Querschnitte schematisch dargestellt. Zu Fig. 3 anzumerken ist, dass einzelne Bereiche im Vergleich zu der Fig. 2 abgeblendet dargestellt sind. Dies dient nur der Übersichtlichkeit der Fig. 3 und der Sichtbarkeit der Strömungspfeile S5, S6 und S7.

**[0098]** Von links nach rechts sind in Fig. 2 die Brenneinrichtung 2, der Wärmetauscher 3 und eine (optionale) Filtereinrichtung 4 des Kessels 11 vorgesehen. Der Kessel 11 ist auf dem Kesselfuß 12 gelagert, und weist ein mehrwandiges Kesselgehäuse 13 auf, in welchem Was-

ser oder ein anderes fluides Wärmetauschmedium zirkulieren kann. Zur Zufuhr und Abfuhr des Wärmetauschmediums ist eine Wasserzirkulationseinrichtung 14 mit Pumpe, Ventilen, Leitungen, etc. vorgesehen.

**[0099]** Die Brenneinrichtung 2 weist eine Brennkammer 24 auf, in der im Kern der Verbrennungsprozess des Brennstoffes stattfindet. Die Brennkammer 24 weist einen, später näher erläuterten, mehrteiligen Drehrost 25 auf, auf dem das Brennstoffbett 28 aufliegt. Der mehrteilige Drehrost 25 ist mittels einer Mehrzahl von Lagerachsen 81 drehbar gelagert angeordnet.

**[0100]** Weiter bezugnehmend auf Fig. 2 ist die Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24 durch (eine Mehrzahl von) Brennkammersteine(n) 29 umfasst, womit die Brennkammersteine 29 die Geometrie der Primärverbrennungszone 26 definieren. Der Querschnitt der Primärverbrennungszone 26 (beispielsweise) entlang der Horizontalschnittlinie A1 ist im Wesentlichen oval (beispielsweise 380 mm + - 60mm x 320 mm + - 60 mm; dabei ist anzumerken, dass einige der vorstehenden Größenkombinationen auch einen kreisförmigen Querschnitt ergeben können). Der Pfeil S1 gibt die Strömung aus der Sekundärluftdüse 291 schematisch wieder, wobei diese Strömung (diese ist rein schematisch dargestellt) einen durch die Sekundärluftdüsen 291 induzierten Drall aufweist, um die Durchmischung des Rauchgases zu verbessern.

**[0101]** Dabei sind die Sekundärluftdüsen 291 derart ausgestaltet, dass diese die (durch die Brennkammersteine 29 vorgewärmte) Sekundärluft tangential in die Brennkammer 24 mit ihrem dortigen ovalen Querschnitt einführen (vgl. Fig. 19). Damit entsteht eine wirbel- oder drallbehaftete Strömung S1, die grob spiral- oder helixförmig nach oben verläuft. In anderen Worten wird eine nach oben verlaufende und um eine Vertikalachse rotierende Spiralströmung ausgebildet.

**[0102]** Die Brennkammersteine 29 bilden die Innenverkleidung der Primärverbrennungszone 26 aus, speichern Wärme und sind dem Feuer direkt ausgesetzt. Damit schützen die Brennkammersteine 29 auch das weitere Material der Brennkammer 24, beispielsweise Guss-eisen, vor der direkten Flammeneinwirkung in der Brennkammer 24. Die Brennkammersteine 29 sind vorzugsweise an die Form des Rosts 25 angepasst. Die Brennkammersteine 29 weisen weiter Sekundärluft- bzw. Rezirkulationsdüsen 291 auf, die das Rauchgas in die Primärverbrennungszone 26 zur erneuten Teilnahme am Verbrennungsprozess und insbesondere zur bedarfsweisen Kühlung rezirkulieren. Die Sekundärluftdüsen 291 sind dabei nicht auf die Mitte der Primärverbrennungszone 26 ausgerichtet, sondern azentrisch ausgerichtet, um einen Drall der Strömung in der Primärverbrennungszone 26 zu bewirken (d. h., eine Drall- und Wirbelströmung, welche später näher erläutert wird). Die Brennkammersteine 29 werden später noch eingehender erläutert. Eine Isolation 311 ist am Kesselrohreintritt vorgesehen. Die ovale Querschnittsform der Primärverbrennungszone 26 (und der Düse) sowie die Länge und

Lage der Sekundärluftdüsen 291 begünstigen die Ausbildung und den Erhalt einer Wirbelströmung vorzugsweise bis zur Decke der Brennkammer 24 vorteilhaft.

**[0103]** Eine Sekundärverbrennungszone 27 schließt sich, entweder auf der Höhe der Brennkammerdüsen 291 (funktional bzw. verbrennungstechnisch betrachtet) oder auf Höhe der Brennkammerdüse 203 (rein strukturell bzw. baulich betrachtet) an die Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 26 an und definiert den Strahlungsteil der Brennkammer 26. In dem Strahlungsteil gibt das bei der Verbrennung entstandene Rauchgas seine Wärmeenergie hauptsächlich durch Wärmestrahlung insbesondere an das Wärmetauschmedium ab, welches sich in den beiden linken Kammern für das Wärmetauschmedium 38 befindet. Die entsprechenden Rauchgasströmungen sind in Fig. 3 durch die Pfeile S2 und S3 rein beispielhaft angegeben. Diese Wirbelströmungen werden eventuell auch leichte Rückströmungen oder weitere Turbulenzen beinhalten, die durch die rein schematischen Pfeile S2 und S3 nicht dargestellt werden. Das Grundprinzip der Strömungsausprägung in der Brennkammer 24 ist dem Fachmann jedoch ausgehend von den Pfeilen S2 und S3 klar bzw. berechenbar.

**[0104]** Durch die Sekundärluftfeindüsung hervorgerufen bilden sich in der isolierten bzw. begrenzten Brennkammer 24 ausgeprägt Drall- bzw. Rotations- bzw. Wirbelströmungen (vgl. Fig. 20 für den Beginn der Wirbelströmungen auf der Höhe der Sekundärdüsen 291) aus. Dabei trägt insbesondere die ovale Brennkammergeometrie 24 dazu bei, dass sich die Wirbelströmung ungestört bzw. optimal entwickeln kann.

**[0105]** Nach dem Austritt aus der Düse 203, die diese Wirbelströmungen nochmals bündelt, zeigen sich kerzenflammenförmige Rotationsströmungen S2 (vgl. auch Fig. 21), welche vorteilhaft bis zur Brennkammerdecke 204 reichen können, womit der verfügbare Raum der Brennkammer 24 besser ausgenutzt wird. Dabei sind die Wirbelströmungen auf die Brennkammermitte A2 konzentriert und nutzen das Volumen der Sekundärverbrennungszone 27 ideal aus. Weiter mindert die Einschnürung, die die Brennkammerdüse 203 für die Wirbelströmungen darstellt, die Rotationsströmungen, womit Turbulenzen zur Verbesserung der Durchmischung des Luft-Rauchgasgemischs erzeugt werden. Es findet also eine Quervermischung durch die Einschnürung bzw. Verengung durch die Brennkammerdüse 203 statt. Der Rotationsimpuls der Strömungen bleibt allerdings zumindest teilweise auch oberhalb der Brennkammerdüse 203 erhalten, was die Ausbreitung dieser Strömungen bis zur Brennkammerdecke 204 erhält.

**[0106]** Die Sekundärluftdüsen 291 sind in den elliptischen bzw. ovalen Querschnitt der Brennkammer 24 so mit derart integriert, dass sie aufgrund ihrer Länge und ihrer Ausrichtung Wirbelströmungen induzieren, die das Rauchgas-Sekundärluftgemisch in Rotation versetzen und dadurch (nochmals durch in Kombination mit der darüber positionierten Brennkammerdüse 203 verbessert) eine vollständige Verbrennung bei minimalem Luftüber-

schuss und somit maximalem Wirkungsgrad ermöglichen. Dies ist auch in den Figuren 19 bis 21 illustriert.

**[0107]** Dabei ist die Sekundärluftzufuhr derart gestaltet ist, dass diese die heißen Brennkammersteine 29 durch Umströmung derselben kühlt und die Sekundärluft im Gegenzug selbst vorgewärmt wird, wodurch die Ausbrandgeschwindigkeit der Rauchgase beschleunigt wird und die Vollständigkeit des Ausbrandes auch bei extremer Teillast (z. B. 30% der Nennlast) sichergestellt wird.

**[0108]** Die erste Wartungsöffnung 21 ist mit einem Dämmmaterial, beispielsweise Vermiculite™, isoliert. Die vorliegende Sekundärverbrennungszone 27 ist derart eingerichtet, dass ein Ausbrand des Rauchgases gewährleistet wird. Die spezielle geometrische Ausgestaltung der Sekundärverbrennungszone 27 wird später noch eingehender erläutert.

**[0109]** Nach der Sekundärverbrennungszone 27 strömt das Rauchgas in die Wärmetauscheinrichtung 3, welche ein Bündel von parallel zueinander vorgesehnen Kesselrohren 32 aufweist. In den Kesselrohren 32 strömt das Rauchgas nun abwärts, wie in Fig. 3 durch die Pfeile S4 angegeben. Man kann diesen Teil der Strömung auch als Konvektionsteil bezeichnen, da die Wärmeabgabe des Rauchgases im Wesentlichen an den Kesselrohrwänden über eine erzwungene Konvektion erfolgt. Durch die im Kessel 11 verursachten Temperaturgradienten im Wärmetauschermedium, beispielsweise im Wasser, stellt sich eine natürliche Konvektion des Wassers ein, welche eine Durchmischung des Kesselwassers begünstigt.

**[0110]** In den Kesselrohren 32 sind Federturbulatoren 36 und Spiral- bzw. Bandturbulatoren 37 angeordnet, um den Wirkungsgrad der Wärmetauscheinrichtung 4 zu verbessern. Dies wird später noch eingehender erläutert werden.

**[0111]** Der Ausgang der Kesselrohre 32 mündet über den Wendekammereintritt 34 bzw. -einlass in die Wendekammer 35. Falls die Filtereinrichtung 4 nicht vorgesehen ist, wird das Rauchgas wieder im Kessel 11 nach oben abgeführt. Der andere Fall der optionalen Filtereinrichtung 4 ist in den Fig. 2 und 3 dargestellt. Dabei wird das Rauchgas nach der Wendekammer 35 wieder nach oben in die Filtereinrichtung 4 eingeleitet (vgl. Pfeile S5), welche vorliegend beispielhaft eine elektrostatische Filtereinrichtung 4 ist. Dabei können am Eintritt 44 der Filtereinrichtung 4 Strömungsblenden vorgesehen sein, die die Einströmung des Rauchgases in den Filter vergleichmäßigen.

**[0112]** Elektrostatische Staubfilter, oder auch Elektroabscheider genannt, sind Einrichtungen zur Abscheidung von Partikeln aus Gasen, die auf dem elektrostatischen Prinzip beruhen. Diese Filtereinrichtungen werden insbesondere zur elektrischen Reinigung von Abgasen verwendet. Bei Elektrofiltern werden Staubteilchen durch eine Koronaentladung einer Sprühelektrode elektrisch aufgeladen und zur entgegengesetzten aufgeladenen Elektrode (Niederschlagselektrode) gezogen. Die Koronaentladung findet auf einer dafür geeigneten, geladenen

Hochspannungselektrode (auch als Sprühelektrode bezeichnet) im Inneren des Elektrofilters statt. Die Elektrode ist bevorzugt mit herausragenden Spitzen und eventuell scharfen Kanten ausgeführt, weil dort die Dichte der

5 Feldlinien und damit auch die elektrische Feldstärke am größten und somit die Koronaentladung begünstigt ist. Die gegengesetzte Elektrode (Niederschlagselektrode) besteht für gewöhnlich aus einem geerdeten Abgasrohrabschnitt, der um die Elektrode gelagert ist. Der Abscheidungsgrad eines Elektrofilters ist insbesondere von der Verweilzeit der Abgase im Filtersystem und der Spannung zwischen Sprüh- und Abscheidungselektrode abhängig. Die dafür notwendige gleichgerichtete Hochspannung wird von einer Hochspannungsanlage bereitgestellt. Die Hochspannungsanlage und die Halterung für die Elektrode sind vor Staub und Verschmutzung zu schützen, um ungewollte Kriechströme zu vermeiden und die Standzeit der Anlage 1 zu verlängern.

10 **[0113]** Wie in Fig. 2 gezeigt, ist eine stabförmige Elektrode 45 (welche vorzugsweise wie eine längliche, plattenförmige Stahlfeder ausgestaltet ist, vgl. Fig. 15) in etwa mittig in einem annähernd kamiförmigen Innenraum der Filtereinrichtung 4 gehalten. Die Elektrode 45 besteht 15 zumindest weitgehend aus einem hochwertigen Federstahl oder Chromstahl und ist von einer Elektrodenhalterung 43 über einen Hochspannungsisolator, d. h., eine Elektrodenisolation 46, gehalten.

20 **[0114]** Die (Sprüh-) Elektrode 45 hängt schwingungsfähig nach unten in den Innenraum der Filtereinrichtung 4. Dabei kann die Elektrode 45 beispielsweise quer zur Längssachse der Elektrode 45 hin- und herschwingen.

25 **[0115]** Ein Käfig 48 dient gleichzeitig als Gegenelektrode und als Abreinigungsmechanik für die Filtereinrichtung 4. Der Käfig 48 ist mit dem Masse- bzw. Erdpotential verbunden. Durch den herrschenden Potentialunterschied wird das in der Filtereinrichtung 4 strömende Abgas, vgl. die Pfeile S6, gefiltert wie vorstehend erläutert. Im Falle der Abreinigung der Filtereinrichtung 4 wird die 30 Elektrode 45 stromlos geschaltet. Der Käfig 48 weist vorzugsweise ein achteckiges regelmäßiges Querschnittsprofil auf, so wie sich das beispielsweise der Ansicht der Fig. 13 entnehmen lässt. Der Käfig 48 kann vorzugsweise bei der Herstellung mit dem Laser zugeschnitten 35 werden.

40 **[0116]** Das Rauchgas strömt nach dem Austritt aus dem Wärmetauscher 3 durch die Wendekammer 34 in den Eintritt 44 der Filtereinrichtung 4.

45 **[0117]** Dabei ist die (optionale) Filtereinrichtung 4 optional vollintegriert in den Kessel 11 vorgesehen, womit die dem Wärmetauscher 3 zugewandte und von dem Wärmetauschermedium durchspülte Wandfläche auch aus Richtung der Filtereinrichtung 4 zum Wärmetausch eingesetzt wird, womit die Effizienz der Anlage 1 nochmals verbessert wird. Damit kann zumindest ein Teil der 50 Wand die Filtereinrichtung 4 mit dem Wärmetauschmedium durchspült sein, womit zumindest ein Teil dieser Wand mit Kesselwasser gekühlt wird.

**[0118]** Am Filteraustritt 47 strömt das gereinigte Abgas aus der Filtereinrichtung 4 hinaus, wie durch die Pfeile S7 angegeben. Nach dem Filteraustritt wird ein Teil des Abgases über die Rezirkulationseinrichtung 5 wieder zu der Primärverbrennungszone 26 zurückgeführt. Auch dies wird später noch näher erläutert werden. Der verbleibende Teil des Abgases wird über den Abgasausgang 41 aus dem Kessel 11 hinausgeleitet.

**[0119]** Eine Ascheabfuhr 7 ist im unteren Teil des Kessels 11 angeordnet. Über eine Ascheaustragungsschnecke 71 wird die beispielsweise aus der Brennkammer 24, den Kesselrohren 32 und der Filtereinrichtung 4 abgeschiedene und herausfallende Asche seitlich aus dem Kessel 11 ausgefördert.

**[0120]** Die Brennkammer 24 und der Kessel 11 dieser Ausführungsform wurden mittels CFD-Simulationen berechnet. Weiter wurden Praxisexperimente durchgeführt, um die CFD-Simulationen zu bestätigen. Ausgangspunkt der Überlegungen waren Berechnungen für einen 100 kW Kessel, wobei jedoch ein Leistungsbereich von 20 bis 500 kW berücksichtigt wurde.

**[0121]** Eine CFD-Simulation (CFD = Computational Fluid Dynamics = numerische Strömungsmechanik) ist die räumlich und zeitlich aufgelöste Simulation von Strömungs- und Wärmeleitprozessen. Dabei können die Strömungsprozesse laminar und/oder turbulent sein, von chemischen Reaktionen begleitet auftreten, oder es kann sich um ein mehrphasiges System handeln. CFD-Simulationen eignen sich somit gut als Design- und Optimierungswerzeug. Bei der vorliegenden Erfindung wurden CFD-Simulationen eingesetzt, um die strömungstechnischen Parameter derart zu optimieren, dass die vorstehend aufgeführten Aufgaben der Erfindung gelöst werden. Insbesondere wurden im Ergebnis die mechanische Ausgestaltung und Dimensionierung des Kessels 11, der Brennkammer 24, der Sekundärluftdüsen 291 und der Brennkammerdüse 203 maßgeblich durch die CFD-Simulation und auch durch zugehörige praktische Experimente definiert. Die Simulationsergebnisse basieren auf einer Strömungssimulation mit Berücksichtigung der Wärmeübertragung. Beispiele von Ergebnissen solcher CFD-Simulationen sind in den Fig. 20 und 21 dargestellt.

**[0122]** Die vorstehend aufgeführten Bestandteile der Biomasse-Heizanlage 1 und des Kessels 11, die Ergebnisse der CFD-Simulationen sind, werden nachstehend eingehender beschrieben.

(Brennkammer)

**[0123]** Die Gestaltung der Brennkammerform ist von Wichtigkeit, um die aufgabengemäßen Anforderungen einhalten zu können. Durch die Brennkammerform bzw. -geometrie sollen eine möglichst gute turbulente Durchmischung und Homogenisierung der Strömung über den Querschnitt des Rauchgaskanals, eine Minimierung des Feuerungsvolumens, sowie eine Reduktion des Luftüberschusses und des Rezirkulationsverhältnisses (Wirk-

kungsgrad, Betriebskosten), eine Reduktion der CO- und CxHx- Emissionen, der NOx-Emissionen, der Staubemissionen, eine Reduktion von lokalen Temperaturspitzen (Fouling und Verschlackung) sowie eine Reduktion von lokalen Rauchgas-Geschwindigkeitsspitzen (Materialbeanspruchung und Erosion) erreicht werden.

**[0124]** Die Fig. 4, die eine Teilansicht der Fig. 2 ist, und die Fig. 5, welche eine Schnittansicht durch den Kessel 11 entlang der Vertikalschnittlinie A2 ist, stellen eine Brennkammergeometrie dar, die den vorstehend genannten Anforderungen für Biomasse-Heizanlagen über einen weiten Leistungsbereich von beispielsweise 20 bis 500 kW gerecht wird. Die Vertikalschnittlinie A2 kann im Übrigen auch als Mittel- oder Mittenachse der ovalen Brennkammer 24 verstanden werden.

**[0125]** Die in den Figuren 3 und 4 angegebenen und über CFD-Berechnungen und Praxisexperimente ermittelten Maße bei einem beispielhaften Kessel mit ca. 100 kW sind im Einzelnen wie folgt:

BK1 = 172 mm +- 40 mm, vorzugsweise +- 17 mm;  
 BK2 = 300 mm +- 50 mm, vorzugsweise +- 30 mm;  
 BK3 = 430 mm +- 80 mm, vorzugsweise +- 40 mm;  
 BK4 = 538 mm +- 80 mm, vorzugsweise +- 50 mm;  
 BK5 = (BK3 - BK2) / 2 = bspw. 65 mm +- 30 mm, vorzugsweise +- 20 mm;  
 BK6 = 307 mm +- 50 mm, vorzugsweise +- 20 mm;  
 BK7 = 82 mm +- 20 mm, vorzugsweise +- 20 mm;  
 BK8 = 379 mm +- 40 mm, vorzugsweise +- 20 mm;  
 BK9 = 470 mm +- 50 mm, vorzugsweise +- 20 mm;  
 BK10 = 232 mm +- 40 mm, vorzugsweise +- 20 mm;  
 BK11 = 380 mm +- 60 mm, vorzugsweise +- 30 mm;  
 BK12 = 460 mm +- 80 mm, vorzugsweise +- 30 mm.

**[0126]** Mit diesen Werten werden vorliegend sowohl die Geometrien der Primärverbrennungszone 26 als auch der Sekundärverbrennungszone 27 der Brennkammer 24 optimiert. Die angegebenen Größenbereiche sind Bereiche, mit denen die Anforderungen ebenso (annähernd) erfüllt werden, wie mit den angegebenen exakten Werten.

**[0127]** Dabei kann vorzugsweise eine Kammergeometrie der Primärverbrennungszone 26 und der Brennkammer 24 (bzw. ein Innenvolumen der Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24) anhand der folgenden Grundparameter definiert werden:

Ein Volumen mit einer ovalen horizontalen Grundfläche mit den Maßen von 380 mm +- 60 mm (vorzugsweise +- 30 mm) x 320 mm +- 60 mm (vorzugsweise +- 30 mm), sowie einer Höhe von 538 mm +- 80 mm (vorzugsweise +- 50 mm).

**[0128]** Die vorstehenden Größenangaben können im Verhältnis dieser zueinander skaliert auch Anwendung auf Kessel anderer Leistungsklassen (bspw. 50 kW oder 200 kW) finden.

**[0129]** Als Fortbildung dessen kann das vorstehend definierte Volumen eine obere Öffnung in Form einer Brennkammerdüse 203 aufweisen, die in der Sekundär-

verbrennungszone 27 der Brennkammer 24 vorgesehen ist, welche eine in die Sekundärverbrennungszone 27 hineinragende Brennkammerschräge 202 aufweist, welche vorzugsweise das Wärmetauschmedium 38 beinhaltet. Die Brennkammerschräge 202 verringert den Querschnitt der Sekundärverbrennungszone 27. Dabei ist die Brennkammerschräge 202 um einen Winkel k von zu mindest 5%, bevorzugt um einen Winkel k von zumindest 15% und noch mehr bevorzugt um zumindest einen Winkel k von 19% in Bezug auf eine fiktive horizontale bzw. gerade vorgesehene Brennkammerdecke H (vgl. die gestrichelte Horizontallinie H in Fig. 4) vorgesehen.

**[0130]** Zudem ist eine Brennkammerdecke 204 ebenfalls in Richtung des Eintritts 33 aufsteigend geneigt vorgesehen. Die Brennkammer 24 in der Sekundärverbrennungszone 27 weist somit die Brennkammerdecke 204 auf, die in Richtung des Eintritts 33 des Wärmetauschers 3 nach oben geneigt vorgesehen ist. Diese Brennkammerdecke 204 erstreckt sich im Schnitt der Fig. 2 zumindest weitgehend gerade bzw. geradlinig und geneigt. Der Neigungswinkel der geraden bzw. ebenen Brennkammerdecke 204 kann gegenüber der (fiktiven) Horizontalen vorzugsweise 4 bis 15 Grad betragen.

**[0131]** Mit der Brennkammerdecke 204 ist eine weitere (Decken-)Schräge in der Brennkammer 24 vor dem Eintritt 33 vorgesehen, die zusammen mit der Brennkammerschräge 202 einen Trichter ausbildet. Dieser Trichter dreht die nach oben gerichtete Drall- bzw. Wirbelströmung zur Seite und lenkt diese Strömung in etwa in das Horizontale um. Aufgrund der schon turbulenten Aufwärtsströmung und der Trichterform vor dem Eintritt 33 wird sichergestellt, dass alle Wärmetauscherrohre 32 bzw. Kesselrohe 32 gleichmäßig bestromt werden, womit ein gleichverteilter Durchfluss des Rauchgases in allen Kesselrohren 32 sichergestellt ist. Dies optimiert den Wärmeübergang im Wärmetauscher 3 ganz erheblich.

**[0132]** Dabei kann insbesondere die Kombination der vertikalen und horizontalen Schrägen 203, 204 in der Sekundärverbrennungszone in Kombination als Einströmgeometrie in dem konvektiven Kessel eine gleichmäßige Verteilung des Rauchgases auf die konvektiven Kesselrohre erreichen.

**[0133]** Die Brennkammerschräge 202 dient der Homogenisierung der Strömung S3 in Richtung des Wärmetauschers 3 und damit der Bestromung der Kesselrohre 32. Somit wird eine möglichst gleichmäßige Verteilung des Rauchgases auf die einzelnen Kesselrohre bewirkt, um dort den Wärmeübergang zu optimieren.

**[0134]** Im Detail dreht die Kombination der Schrägen mit dem Einströmquerschnitt des Kessels die Rauchgasströmung so, dass eine möglichst gleichmäßige Verteilung des Rauchgasdurchflusses bzw. der Durchflussmenge auf die jeweiligen Kesselrohre 32 erfolgt.

**[0135]** Im Stand der Technik gibt es häufig Brennkammern mit rechteckiger oder polygonaler Brennkammer und Düse, wobei jedoch die unregelmäßige Form der Brennkammer und der Düse sowie deren Zusammenspiel ein weiteres Hindernis für eine gleichmäßige Luft-

verteilung und eine gute Mischung von Luft und Brennstoff und somit einen guten Ausbrand darstellen, wie vorliegend erkannt wurde. Insbesondere mit einer eckigen Geometrie der Brennkammer entstehen Strömungsfäden bzw. Vorzugsströmungen, die nachteilhaft zu einer ungleichmäßigen Bestromung der Wärmetauscherrohre 32 führen.

**[0136]** Deshalb ist vorliegend die Brennkammer 24 ohne Totecken oder Totkanten vorgesehen.

**[0137]** Vorliegend wurde somit erkannt, dass die Geometrie der Brennkammer (und des gesamten Strömungsverlaufs im Kessel) eine maßgebliche Rolle bei den Überlegungen zur Optimierung der Biomasse-Heizanlage 1 spielt. Deshalb wurde (in Abkehr von den üblichen rechteckigen oder mehr-eckigen oder rein zylindrischen Formgebungen) die hierin beschriebene ovale oder runde Grundgeometrie ohne Totecken gewählt. Zudem wurde auch diese Grundgeometrie der Brennkammer und deren Aufbau mit den vorstehend angegebenen Maßen / Maßbereichen optimiert. Dabei sind diese Maße / Maßbereiche derart gewählt, dass insbesondere auch unterschiedliche Brennstoffe (Hackgut und Pellets) mit unterschiedlicher Qualität (beispielsweise mit unterschiedlichem Wassergehalt) bei sehr hohem Wirkungsgrad verbrannt werden können. Dies haben die Praxistests und CFD-Simulationen ergeben.

**[0138]** Insbesondere kann die Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24 ein Volumen umfassen, das bevorzugt im Außenumfang einen ovalen oder annähernd kreisförmigen Horizontalquerschnitt aufweist (ein solcher Querschnitt ist in Fig. 2 beispielhaft mit A1 gekennzeichnet). Dieser Horizontalquerschnitt kann zudem bevorzugt die Grundfläche der Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24 darstellen. Über die durch den Doppelpfeil BK4 angegebene Höhe kann die Brennkammer 24 einen annähernd gleichbleibenden Querschnitt aufweisen. Insofern kann die Primärverbrennungszone 24 ein annähernd oval-zylindrisches Volumen aufweisen. Bevorzugt können die Seitenwände und die Grundfläche (der Rost) der Primärverbrennungszone 26 senkrecht aufeinander stehen. Dabei können die vorstehend beschriebenen Schrägen 203, 204 integriert als Wände der Brennkammer 24 vorgesehen sein, wobei die Schrägen 203, 204 einen Trichter ausbilden, der im Eintritt 33 des Wärmetauschers 33 mündet und dort den geringsten Querschnitt aufweist.

**[0139]** Vorstehend wird der Begriff "annähernd" verwendet, da selbstverständlich einzelne Kerben, konstruktiv bedingte Abweichungen oder kleine Asymmetrien vorhanden sein können, beispielsweise bei den Übergängen der einzelnen Brennkammersteine 29 zueinander. Diese geringfügigen Abweichungen spielen strömungstechnisch jedoch nur eine untergeordnete Rolle.

**[0140]** Der Horizontalquerschnitt der Brennkammer 24 und insbesondere der Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24 können ebenso bevorzugt regelmäßig ausgeführt sein. Weiter kann der Horizontalquerschnitt der Brennkammer 24 und insbesondere der Primärver-

brennungszone 26 der Brennkammer 24 bevorzugt eine regelmäßige (und/oder symmetrische) Ellipse sein.

**[0141]** Zudem kann der Horizontalquerschnitt (der Außenumfang) der Primärverbrennungszone 26 über eine vorgegebene Höhe, (beispielsweise 20 cm) gleichbleibend ausgestaltet sein.

**[0142]** Damit ist vorliegend eine oval-zylindrische Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24 vorgesehen, die nach CFD-Berechnungen eine deutlich gleichmäßigeren und bessere Luftverteilung in der Brennkammer 24 ermöglicht als bei rechteckigen Brennkammern des Stands der Technik. Die fehlenden Toträume vermeiden zudem Zonen in der Brennkammer mit schlechter Luftdurchströmung, was die Effizienz steigert und die Schlackebildung verringert.

**[0143]** Ebenso ist die Düse 203 in der Brennkammer 24 als ovale oder annähernd kreisförmige Verengung ausgestaltet, um die Strömungsverhältnisse noch weiter zu optimieren. Der vorstehend erläuterte Drall der Strömung in der Primärverbrennungszone 26, welcher durch die erfindungsgemäßen speziell konzipierten Sekundärluftdüsen 291 bedingt ist, führt zu einem grob helixförmig oder spiralförmig nach oben gerichteten Strömungsverlauf, wobei eine ebenso ovale oder annähernd kreisförmige Düse diesen Strömungsverlauf begünstigt, und nicht wie übliche rechteckige Düsen stört. Diese optimierte Düse 203 bündelt das nach oben rotierend strömende Rauchgas-Luft-Gemisch und sorgt für eine bessere Durchmischung, einen Erhalt der Wirbelströmungen in der Sekundärverbrennungszone 27 und damit für eine vollständige Verbrennung. Dadurch wird auch der erforderliche Luftüberschuss minimiert. Dies verbessert den Verbrennungsvorgang und erhöht die Effizienz.

**[0144]** Damit dient insbesondere die Kombination der vorstehend erläuterten (und nachstehend nochmals in Bezug auf die Fig. 19 erläuterten) Sekundärluftdüsen 291 und der dadurch induzierten Wirbelströmungen mit der optimierten Düse 203 der Bündelung des nach oben rotierenden Rauchgas-/Luftgemischs. Dies sorgt für eine zumindest annähernd vollständige Verbrennung in der Sekundärverbrennungszone 27.

**[0145]** Somit wird eine wirbel- bzw. drallbehaftete Strömung durch die Düse 203 gebündelt und nach oben gerichtet, womit sich diese Strömung weiter nach oben erstreckt als im Stand der Technik üblich. Dies hat, wie für den Fachmann aus den Gesetzen der Physik betreffend des Drehimpulses ersichtlich, seine Ursache in der durch die Düse 203 erzwungenen Verkleinerung des drallbehafteten Abstandes des Luftstromes zur Rotations- bzw. Drallmittennachse (vgl. analog die Physik des Pirouetteneffekts).

**[0146]** Zudem wird vorliegend der Strömungsverlauf in der Sekundärverbrennungszone 27 und aus der Sekundärverbrennungszone 27 zu den Kesselrohren 32 optimiert, wie nachstehend näher erläutert.

**[0147]** Die Brennkammerschräge 202 der Fig. 4, welche ohne Bezugszeichen auch in den Fig. 2 und 3 zu erkennen ist und an der sich die Brennkammer 25 (bzw.

deren Querschnitt) von unten nach oben hin zumindest annähernd linear verjüngt, sorgt nach CFD-Berechnungen für eine Vergleichsmäßigung der Rauchgasströmung in Richtung der Wärmetauscheinrichtung 4, womit deren Effizienz verbessert werden kann. Dabei verjüngt sich die horizontale Querschnittsfläche der Brennkammer 25 von Anfang bis Ende der Brennkammerschräge 202 bevorzugt zumindest um 5%. Die Brennkammerschräge 202 ist dabei auf der Seite der Brennkammer 25 zur Wärmetauscheinrichtung 4 vorgesehen, und ist an der Stelle der maximalen Verjüngung abgerundet vorgesehen. Im Stand der Technik üblich sind parallele bzw. gerade Brennkammerwände ohne eine Verjüngung (um die Rauchgasströmung nicht zu behindern). Hinzu kommt,

einzelne oder in Kombination, die zur horizontalen schräg nach oben in Richtung des Eintritts 33 verlaufende Brennkammerdecke 204, die die Wirbelströmungen in der Sekundärverbrennungszone 27 seitlich ableitet, und dabei in deren Strömungsgeschwindigkeitsverteilung vergleichmäßigt.

**[0148]** Die Einströmung bzw. Umlenkung des Rauchgasstromes vor dem Rohrbündelwärmetauscher ist derart ausgestaltet, dass eine ungleichmäßige Anströmung der Rohre bestmöglich vermieden wird, womit Temperaturspitzen in einzelnen Kesselrohren 32 niedrig gehalten werden können und damit der Wärmeübergang im Wärmetauscher 4 verbessert werden kann (bestmögliche Nutzung der Wärmetauscherflächen). In der Folge ist die Effizienz der Wärmetauscheinrichtung 4 verbessert.

**[0149]** Im Detail wird der gasförmige Volumenstrom des Rauchgases durch die schräge Brennkammerwandung 203 mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit (auch im Falle unterschiedlicher Verbrennungszustände) zu den Wärmetauscherrohren bzw. den Kesselrohren 32 geführt. Durch die schräge Brennkammerdecke 204 wird dieser Effekt nochmals verstärkt, wobei ein Trichtereffekt bewirkt wird. Im Ergebnis entsteht eine gleichmäßige Wärmeverteilung der einzelnen Kesselrohre 32 betreffenden Wärmetauscherflächen und damit eine verbesserte Nutzung der Wärmetauscherflächen. Die Abgastemperatur wird somit gesenkt und der Wirkungsgrad erhöht. Dabei ist die Strömungsverteilung insbesondere an der in der Fig. 3 dargestellten Indikatorlinie

WT1 deutlich gleichmäßiger als im Stand der Technik. Die Linie WT1 stellt eine Eintrittsfläche für den Wärmetauscher 3 dar. Die Indikatorlinie WT3 gibt eine beispielhafte Querschnittslinie durch die Filtereinrichtung 4 an, in der die Strömung möglichst homogen eingerichtet bzw. über den Querschnitt der Kesselrohre 32 in etwa gleichverteilt ist (u. A. aufgrund von Strömungsblenden am Eingang der Filtereinrichtung 4 und aufgrund der Geometrie der Wendekammer 35). Eine gleichmäßige Durchströmung der Filtereinrichtung 3 bzw. des letzten Kesselzuges minimiert Strähnenbildung und optimiert dadurch zudem die Abscheideeffizienz der Filtereinrichtung 4 sowie den Wärmeübergang in der Biomasse-Heizanlage 1.

**[0150]** Weiter ist im unteren Teil der Brennkammer 25 am Brennstoffbett 28 eine Zündeinrichtung 201 vorgesehen. Diese kann eine Initialzündung oder eine erneute Zündung des Brennstoffes bewirken. Es kann die Zündeinrichtung 201 ein Glühzünder sein. Die Zündeinrichtung ist vorteilhaft ortsfest und horizontal seitlich versetzt zum Ort der Einführung des Brennstoffs angeordnet.

**[0151]** Weiter kann (optional) nach dem Ausgang des Rauchgases (d. h., nach S7) aus der Filtereinrichtung eine Lamdasonde (nicht dargestellt) vorgesehen sein. Durch die Lamdasonde kann eine Steuerung (nicht dargestellt) den jeweiligen Heizwert erkennen. Die Lamdasonde kann somit für das ideale Mischverhältnis zwischen den Brennstoffen und der Sauerstoffzufuhr sorgen. Trotz unterschiedlicher Brennstoffqualitäten werden im Ergebnis eine hohe Effizienz und ein höherer Wirkungsgrad erreichbar.

**[0152]** Das in Fig. 5 gezeigte Brennstoffbett 28 zeigt eine grobe Brennstoffverteilung aufgrund der Zuführung des Brennstoffs von der rechten Seite der Fig. 5.

**[0153]** Weiter ist in den Fig. 4 und 5 eine Brennkammerdüse 203 gezeigt, in der eine Sekundärverbrennungszone 27 vorgesehen ist und die die Rauchgasströmung beschleunigt und bündelt. Dadurch wird die Rauchgasströmung besser durchmischt und kann in der Nachverbrennungszone 27 bzw. Sekundärverbrennungszone 27 effizienter verbrennen. Das Flächenverhältnis der Brennkammerdüse 203 liegt in einem Bereich von 25 % bis 45 %, beträgt jedoch bevorzugt 30 % bis 40 %, und ist, beispielsweise für eine 100 kW Biomasse-Heizanlage 1, idealerweise 36 % +/- 1 % (Verhältnis der gemessenen Eingangsfläche zur gemessenen Ausgangsfläche der Düse 203).

**[0154]** Mithin stellen die vorstehenden Angaben zur Brennkammergeometrie der Primärverbrennungszone 26 zusammen mit der Geometrie der Sekundärluftdüsen 291 und der Düse 203 eine vorteilhafte Weiterbildung der vorliegenden Offenbarung dar.

(Brennkammersteine)

**[0155]** Die Fig. 6 zeigt eine dreidimensionale Schnittansicht (von schräg oben) auf die Primärverbrennungszone 26 sowie den isolierten Teil der Sekundärverbrennungszone 27 der Brennkammer 24 mit dem Drehrost 25, und insbesondere auf die besondere Ausgestaltung der Brennkammersteine 29. Die Fig. 7 zeigt entsprechend zur Fig. 6 eine Explosionsdarstellung der Brennkammersteine 29. Die Ansichten der Fig. 6 und 7 können bevorzugt mit den vorstehend aufgeführten Abmessungen der Fig. 4 und 5 ausgeführt sein. Dies ist jedoch nicht zwingend der Fall.

**[0156]** Die Kammerwand der Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24 ist mit einer Mehrzahl von Brennkammersteinen 29 in einem modularen Aufbau vorgesehen, was unter anderem die Fertigung und die Wartung erleichtert. Die Wartung wird insbesondere durch die Möglichkeit der Entnahme einzelner Brenn-

kammersteine 29 erleichtert.

**[0157]** An den Auflageflächen 260 der Brennkammersteine 29 sind formschlüssige Nuten 261 und Vorsprünge 262 (in Fig. 6 sind zur Vermeidung von Redundanzen in 5 den Figuren exemplarisch nur jeweils ein paar dieser bezeichnet) vorgesehen, um eine mechanische und weitgehend luftdichte Verbindung zu schaffen, um wiederum das Eindringen von störender Fremdluft zu vermeiden. Bevorzugt bilden je zwei zumindest weitgehend symmetrische Brennkammersteine (mit Ausnahme eventuell der Öffnungen für die Sekundärluft bzw. das rezirkulierte Rauchgas) einen vollständigen Ring aus. Weiter sind bevorzugt drei Ringe aufeinandergestapelt, um die ovalzyндrische oder alternativ auch zumindest annähernd kreisförmige (letzteres ist nicht dargestellt) Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24 auszubilden.

**[0158]** Als oberer Abschluss sind drei weitere Brennkammersteine 29 vorgesehen, wobei die ringförmige Düse 203 durch zwei Halterungssteine 264 gelagert wird, 10 die formschlüssig auf den oberen Ring 263 aufgesetzt werden. Bei allen Auflageflächen 260 sind Nuten 261 entweder für passende Vorsprünge 262 und/oder zur 15 Einfügung von geeignetem Dichtmaterial vorgesehen.

**[0159]** Die Halterungssteine 264, welche bevorzugt 20 symmetrisch ausgebildet sind, können bevorzugt eine nach innen geneigte Schräge 265 aufweisen, um ein Abkehren von Flugasche auf den Drehrost 25 zu vereinfachen.

**[0160]** Der untere Ring 263 der Brennkammersteine 25 liegt auf einer Bodenplatte 251 des Drehrosts 25 auf. An der Innenkannte zwischen diesem unteren Ring 263 der Brennkammersteine 29 lagert sich vermehrt Asche ab, was somit diesen Übergang vorteilhaft im Betrieb der Biomasse-Heizanlage 1 selbstständig und vorteilhaft abdichtet.

**[0161]** Im mittleren Ring der Brennkammersteine 29 sind die Öffnungen für die Rezirkulationsdüsen 291 bzw. Sekundärluftdüsen 291 vorgesehen. Dabei sind die Sekundärluftdüsen 291 zumindest annähernd auf der gleichen (horizontalen) Höhe der Brennkammer 24 in den Brennkammersteinen 29 vorgesehen.

**[0162]** Vorliegend sind drei Ringe von Brennkammersteinen 29 vorgesehen, da dies den effizientesten Weg der Herstellung und auch der Wartung darstellt. Alternativ 45 können auch 2, 4 oder 5 solcher Ringe vorgesehen sein.

**[0163]** Die Brennkammersteine 29 bestehen vorzugsweise aus Hochtemperatur-Siliziumkarbid, wodurch diese sehr verschleißfest sind.

**[0164]** Die Brennkammersteine 29 sind als Formsteine 50 vorgesehen. Die Brennkammersteine 29 sind derart geformt, dass das Innenvolumen der Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24 einen ovalen Horizontalquerschnitt aufweist, womit durch eine ergonomische Formgebung Totecken bzw. Toträume vermieden werden, die üblicherweise vom Rauchgas-Luftgemisch nicht optimal durchströmt werden, wodurch der dort vorhandene Brennstoff nicht optimal verbrannt wird. Aufgrund

der vorliegenden Formgebung der Brennkammersteine 29 wird die Durchströmung des Rosts 25 mit Primärluft, die auch zur Verteilung des Brennstoffs über dem Rost 25 passt, und die Möglichkeit von unbehinderten Wirbelströmungen verbessert; und folglich wird die Effizienz der Verbrennung verbessert.

**[0165]** Der ovale Horizontalquerschnitt der Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24 ist bevorzugt ein punktsymmetrisches und/oder regelmäßiges Oval mit dem kleinsten Innendurchmesser BK3 und dem größten Innendurchmesser BK11. Diese Maße waren das Ergebnis der Optimierung der Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24 mittels CFD-Simulation und von praktischen Versuchen.

(Drehrost)

**[0166]** Fig. 8 zeigt eine Aufsicht auf den Drehrost 25 von oben aus Sicht der Schnittlinie A1 der Fig. 2.

**[0167]** Die Aufsicht der Fig. 8 kann bevorzugt mit den vorstehend aufgeführten Abmessungen ausgeführt sein. Dies ist jedoch nicht zwingend der Fall.

**[0168]** Der Drehrost 25 weist die Bodenplatte 251 als Basiselement auf. In einer grob ovalförmigen Öffnung der Bodenplatte 251 ist ein Übergangselement 255 vorgesehen, welches einen Zwischenraum zwischen einem ersten Drehrostelement 252, einem zweiten Drehrostelement 253 und einem dritten Drehrostelement 254 überbrückt, welche drehbar gelagert sind. Damit ist der Drehrost 25 als Drehrost mit drei Einzelementen vorgesehen, d. h., dieser kann auch als 3-fach Drehrost bezeichnet werden. In den Drehrostelementen 252, 253 und 254 sind Luflöcher zur Durchströmung mit Primärluft vorgesehen.

**[0169]** Die Drehrostelemente 252, 253 und 254 sind flache und hitzebeständige Metallplatten, beispielsweise aus einem Metallguss, die auf deren Oberseite eine zumindest weitgehend eben konfigurierte Oberfläche aufweisen und an deren Unterseite mit den Lagerachsen 81 beispielsweise über Zwischenhalterungselemente verbunden sind. Von oben betrachtet weisen die Drehrostelemente 252, 253 und 254 gekrümmte und komplementäre Seiten bzw. Umrisse auf.

**[0170]** Insbesondere können die Drehrostelemente 252, 253, 254 zueinander komplementäre und gekrümmte Seiten aufweisen, wobei vorzugsweise das zweite Drehrostelement 253 jeweils zu dem benachbarten ersten und dritten Drehrostelement 252, 254 konkave Seiten aufweist, und vorzugsweise das erste und dritte Drehrostelement 252, 254 jeweils zu dem zweiten Drehrostelement 253 hin eine konvexe Seite aufweist. Damit wird die Brecherfunktion der Drehrostelemente verbessert, da die Länge des Bruchs vergrößert wird, und die zum Brechen wirkenden Kräfte (ähnlich wie bei einer Schere) gezielter angreifen.

**[0171]** Die Drehrostelemente 252, 253 und 254 (sowie deren Umfassung in Form des Übergangselements 255) weisen gemeinsam betrachtet in der Aufsicht eine annähernd ovale Außenform auf, womit hier wiederum Totrücken bzw. Toträume vermieden werden, in denen eine nicht optimale Verbrennung stattfinden könnte oder sich Asche unerwünscht ansammeln könnte. Die optimalen Abmessungen dieser Außenform der Drehrostelemente 252, 253 und 254 sind in Fig. 8 mit den Doppelpfeilen DR1 und DR2 bezeichnet. Bevorzugt, aber nicht ausschließlich, sind DR1 und DR2 wie folgt definiert:

5 hernd ovale Außenform auf, womit hier wiederum Totrücken bzw. Toträume vermieden werden, in denen eine nicht optimale Verbrennung stattfinden könnte oder sich Asche unerwünscht ansammeln könnte. Die optimalen Abmessungen dieser Außenform der Drehrostelemente 252, 253 und 254 sind in Fig. 8 mit den Doppelpfeilen DR1 und DR2 bezeichnet. Bevorzugt, aber nicht ausschließlich, sind DR1 und DR2 wie folgt definiert:

10 DR1 = 288 mm +- 40 mm, bevorzugt +-20 mm  
DR2 = 350 mm +- 60 mm, bevorzugt +- 20 mm

**[0172]** Diese Werte haben sich bei den CFD-Simulationen und dem folgenden Praxistest als Optimalwerte (-bereiche) herausgestellt. Diese Maße korrespondieren mit denen der Fig. 4 und 5. Diese Maße sind insbesondere für die Verbrennung von unterschiedlichen Brennstoffen bzw. den Brennstoffarten Hackgut und Pellets (Hybridfeuerung) in einem Leistungsbereich von 20 bis 200 kW vorteilhaft.

**[0173]** Dabei weist der Drehrost 25 eine ovale Verbrennungsfläche auf, die für die Brennstoffverteilung, die Luftdurchströmung des Brennstoffs und den Abbrand des Brennstoffs günstiger ist als eine übliche rechteckige Verbrennungsfläche. Die Verbrennungsfläche 258 wird im Kern durch die Oberflächen der Drehrostelemente 252, 253 und 254 (im horizontalen Zustand) gebildet. Die Verbrennungsfläche ist somit die nach oben zeigende Oberfläche der Drehrostelemente 252, 253 und 254. Diese ovale Verbrennungsfläche entspricht vorteilhaft der Brennstoffauflagefläche, wenn diese seitlich auf den Drehrost 25 aufgebracht bzw. aufgeschoben wird (vgl. der Pfeil E der Fig. 9, 10 und 11). Insbesondere kann die Brennstoffzufuhr aus einer Richtung erfolgen, die parallel zu einer längeren Mittelachse (Hauptachse) der ovalen Verbrennungsfläche des Drehrosts 25 liegt.

**[0174]** Das erste Drehrostelement 252 und das dritte Drehrostelement 254 können bevorzugt in deren Verbrennungsfläche 258 identisch ausgebildet sein. Weiter können das erste Drehrostelement 252 und das dritte Drehrostelement 254 identisch oder baugleich zueinander sein. Dies ist beispielsweise in Fig. 9 zu sehen, wobei das erste Drehrostelement 252 und das dritte Drehrostelement 254 die gleiche Form aufweisen.

**[0175]** Weiter ist das zweite Drehrostelement 253 zwischen dem ersten Drehrostelement 252 und dem dritten Drehrostelement 254 angeordnet.

**[0176]** Bevorzugt ist der Drehrost 25 mit einer annähernd punktsymmetrischen ovalen Verbrennungsfläche 258 vorgesehen.

**[0177]** Ebenso kann der Drehrost 25 eine annähernd elliptische Verbrennungsfläche 258 ausbilden, wobei DR2 die Maße von deren Hauptachse und DR1 die Maße von deren Nebenachse ist.

**[0178]** Weiter kann der Drehrost 25 eine annähernd ovale Verbrennungsfläche 258 aufweisen, welche achsensymmetrisch in Bezug auf eine Mittenachse der Verbrennungsfläche 258 ist.

**[0179]** Weiter kann der Drehrost 25 eine annähernd kreisförmige Verbrennungsfläche 258 aufweisen, wobei dies geringfügige Nachteile bei der Brennstoffzuführung und der - Verteilung nach sich zieht.

**[0180]** Weiter sind zwei Motoren bzw. Antriebe 231 der Drehmechanik 23 vorgesehen, mit denen die Drehrostelemente 252, 253 und 254 entsprechend gedreht werden können. Näheres zur besonderen Funktion und zu den Vorteilen des vorliegenden Drehrosts 25 wird später mit Bezug auf die Figuren 9, 10 und 11 beschrieben.

**[0181]** Insbesondere bei Pellet- und Hackgutheizungen (und insbesondere bei hybriden Biomasse-Heizanlagen) kann es vermehrt zu Ausfällen durch Schlackebildung in der Brennkammer 24, insbesondere auf dem Drehrost 25, kommen. Schlacke entsteht bei einem Verbrennungsvorgang immer dann, wenn in der Glut Temperaturen über dem Ascheschmelzpunkt erreicht werden. Die Asche wird dann weich, verklebt und bildet nach dem Abkühlen feste, und oft dunkel gefärbte Schlacke. Dieser auch als Versinterung bezeichnete Vorgang ist bei der Biomasse-Heizanlage 1 unerwünscht, da es durch die Anreicherung von Schlacke in der Brennkammer 24 zu einer Funktionsstörung kommen kann: sie schaltet sich ab. Die Brennkammer 24 muss üblicherweise geöffnet werden und die Schlacke muss entfernt werden.

**[0182]** Der Ascheschmelzbereich (dieser erstreckt sich vom Sinterpunkt bis zum Fließpunkt) hängt ganz wesentlich von dem verwendeten Brennmaterial ab. Fichtenholz hat beispielsweise eine kritische Temperatur von ca. 1.200 °C. Doch auch der Ascheschmelzbereich eines Brennstoffes kann starken Schwankungen unterliegen. Je nach Menge und Zusammensetzung der im Holz enthaltenen Mineralien ändert sich das Verhalten der Asche im Verbrennungsprozess.

**[0183]** Ein weiterer Faktor, der die Schlackebildung beeinflussen kann, sind Transport und Lagerung der Holzpellets oder der Hackschnitzel. Diese sollten nämlich möglichst unbeschädigt in die Brennkammer 24 gelangen. Sind die Holzpellets bereits zerbröselt, wenn sie in den Verbrennungsprozess gelangen, so erhöht sich dadurch die Dichte des Glutbetts. Stärkere Schlackebildung ist die Folge. Insbesondere der Transport vom Lagerraum zur Brennkammer 24 ist hier von Bedeutung. Besonders lange Wege, sowie Bögen und Winkel, führen zu einer Beschädigung bzw. einem Abrieb der Holzpellets.

**[0184]** Ein weiterer Faktor betrifft die Führung des Verbrennungsvorgangs. Bislang war man bestrebt, die Temperaturen eher hoch zu halten, um einen möglichst guten Ausbrand und niedrige Emissionen zu erzielen. Durch eine optimierte Brennkammergeometrie und Geometrie der Verbrennungszone 258 des Drehrosts 25 ist es möglich, die Verbrennungstemperatur am Rost niedriger und im Bereich der Sekundärluftdüsen 291 hoch zu halten, und somit die Schlackebildung am Rost zu verringern.

**[0185]** Zudem kann entstehende Schlacke (und auch die Asche) durch die besondere Formgebung und die

Funktionalität des vorliegenden Drehrosts 25 vorteilhaft entfernt werden. Dies wird nun mit Bezug auf die Figuren 9, 10 und 11 näher erläutert.

**[0186]** Die Figuren 9, 10 und 11 zeigen eine dreidimensionale Ansicht des Drehrosts 25 mit der Bodenplatte 251, dem ersten Drehrostelement 252, dem zweiten Drehrostelement 253 und dem dritten Drehrostelement 254. Die Ansichten der Fig. 9, 10 und 11 können bevorzugt mit den vorstehend aufgeführten Abmessungen korrespondieren. Dies ist jedoch nicht zwingend der Fall.

**[0187]** Diese Ansicht zeigt den Drehrost 25 als freigestelltes Einschubteil mit Drehrostmechanik 23 und Antrieb(en) 231. Der Drehrost 25 ist mechanisch derart vorgesehen, dass er nach Art des Baukastensystems einzeln vorgefertigt werden kann, und als Einschubteil in eine vorgesehene längliche Öffnung des Kessels 11 eingeführt und eingebaut werden kann. Dies erleichtert zudem die Wartung dieses verschleißanfälligen Teils. Damit kann der Drehrost 25 bevorzugt modular ausgebildet sein, wobei dieser als Komplettteil mit Drehrostmechanik 23 und Antrieb 231 schnell und effizient entnommen und wieder eingesetzt werden kann. Der modularisierte Drehrost 25 kann damit auch mittels Schnellverschlüssen montiert und demontiert werden. Im Gegensatz dazu sind die Drehroste des Stands der Technik regelmäßig fest montiert, und somit schwer zu warten oder zu montieren.

**[0188]** Der Antrieb 231 kann zwei getrennt ansteuerbare Elektromotoren aufweisen. Diese sind vorzugsweise seitlich an der Drehrostmechanik 23 vorgesehen. Die Elektromotoren können Untersetzungsgetriebe aufweisen. Weiter können Endanschlagsschalter vorgesehen sein, die Endanschläge jeweils für die Endpositionen der Drehrostelemente 252, 253 und 254 vorsehen.

**[0189]** Die Einzelkomponenten der Drehrostmechanik 23 sind austauschbar vorgesehen. Beispielsweise sind die Zahnräder aufsteckbar vorgesehen. Dies erleichtert die Wartung und auch einen Seitenwechsel der Mechanik bei der Montage, falls erforderlich.

**[0190]** In den Drehrostelementen 252, 253 und 254 des Drehrosts 25 sind die schon erwähnten Öffnungen 256 vorgesehen. Die Drehrostelemente 252, 253 und 254 können über deren jeweilige Lagerachsen 81, die über die Drehmechanik 23 von dem Antrieb 231, vorliegend den beiden Motoren 231, angetrieben werden, jeweils zumindest um 90 Grad, bevorzugt zumindest um 120 Grad, noch mehr bevorzugt um 170 Grad um die jeweilige Lager- bzw. Drehachse 81 gedreht werden. Dabei kann der maximale Drehwinkel 180 Grad, oder auch etwas weniger als 180 Grad sein, so wie das die Rostlippen 257 zulassen. Dabei ist die Drehmechanik 23 derart eingerichtet, dass das dritte Drehrostelement 254 einzeln und unabhängig vom ersten Drehrostelement 252 und vom zweiten Drehrostelement 243 gedreht werden kann, und dass das erste Drehrostelement 252 und das zweite Drehrostelement 243 gemeinsam und unabhängig von dem dritten Drehrostelement 254 gedreht werden können. Die Drehmechanik 23 kann beispielsweise mit-

tels Laufrädern, Zahn- oder Antriebsriemen und/oder Zahnrädern entsprechend vorgesehen sein.

**[0191]** Die Drehrostelemente 252, 253 und 254 können bevorzugt als Gussrost mit einem Laserzuschnitt hergestellt werden, um eine exakte Formhaltigkeit sicherzustellen. Dies insbesondere um die Luftführung durch das Brennstoffbett 28 so genau wie möglich zu definieren, und störende Luftströmungen, beispielsweise Luftsträhnen an den Rändern der Drehrostelemente 252, 253 und 254, zu vermeiden.

**[0192]** Die Öffnungen 256 in den Drehrostelementen 252, 253 und 254 sind derart eingerichtet, dass diese für das übliche Pelletmaterial und/oder die üblichen Hackschnitzel klein genug sind, dass diese nicht hindurchfallen, und dass diese groß genug sind, dass der Brennstoff gut mit Luft bestreut werden kann. Zudem sind die Öffnungen 256 groß genug bemessen, dass diese durch Aschepartikel oder Störstoffe (z. B. keine Steine im Brennstoff) blockiert werden können.

**[0193]** Fig. 9 zeigt nun den Drehrost 25 in geschlossener Position, wobei alle Drehrostelemente 252, 253 und 254 horizontal ausgerichtet bzw. geschlossen sind. Dies ist die Position im Regelbetrieb. Durch die gleichmäßige Anordnung der Vielzahl der Öffnungen 256 wird eine gleichmäßige Durchströmung des Brennstoffbetts 28 (dieses ist in Fig. 9 nicht dargestellt) auf dem Drehrost 25 sichergestellt. Insofern kann hier der optimale Verbrennungszustand hergestellt werden. Der Brennstoff wird aus Richtung des Pfeiles E auf den Drehrost 25 aufgebracht; insofern wird der Brennstoff von der rechten Seite der Fig. 9 auf den Drehrost 25 hinaufgeschoben.

**[0194]** Im Betrieb sammelt sich Asche und/oder Schlacke auf dem Drehrost 25 und insbesondere auf den Drehrostelementen 252, 253 und 254 an. Mit dem vorliegenden Drehrost 25 kann eine effiziente Abreinigung des Drehrosts 25 erfolgen.

**[0195]** Fig. 10 zeigt den Drehrost in dem Zustand einer Teilabreinigung des Drehrosts 25 im Gluterhaltungsbetrieb. Dazu wird nur das dritte Drehrostelement 254 gedreht. Dadurch, dass nur eines der drei Drehrostelemente gedreht wird, erhält sich die Glut auf dem ersten und dem zweiten Drehrostelement 252, 253, während zugleich die Asche und Schlacke nach unten aus der Brennkammer 24 herausfallen kann. In der Folge ist keine externe Zündung zur Wiederaufnahme des Betriebs erforderlich (dies spart bis zu 90% Zündenergie). Eine weitere Folge sind eine Verschleißminderung der Zündeinrichtung (beispielsweise eines Zündstabes) und eine Stromersparnis. Weiter kann vorteilhaft eine Aschereinigung im Betrieb der Biomasse-Heizanlage 1 erfolgen.

**[0196]** Fig. 10 zeigt ebenso einen Zustand der Gluterhaltung während einer (oft schon ausreichenden) Teilaabreinigung. Damit kann der Betrieb der Anlage 1 vorteilhaft kontinuierlicher erfolgen, womit im Gegensatz zur üblichen Vollabreinigung eines herkömmlichen Rostes keine langwierige vollständige Zündung erfolgen muss, die einige zehn Minuten in Anspruch nehmen kann.

**[0197]** Zudem wird eine potentielle Schlackebildung

bzw. Schlackeansammlung an den beiden Außenkanten des dritten Drehrostelements 254 bei der Drehung dessen (auf-)gebrochen, wobei aufgrund der kurvenförmigen Außenkanten des dritten Drehrostelements 254

5 nicht nur die Abscherung über eine größere Gesamtänge als bei herkömmlichen rechteckigen Elementen des Stands der Technik erfolgt, sondern auch mit einer ungleichmäßigen Bewegungsverteilung in Bezug auf die Außenkante (in der Mitte erfolgt eine größere Bewegung als an den unteren und oberen Rändern). Damit ist die Brecherfunktion des Drehrosts 25 deutlich verstärkt.

**[0198]** In Fig. 10 sind (beidseitige) Rostlippen 257 des zweiten Drehrostelements 253 erkennbar. Diese Rostlippen 257 sind derart eingerichtet, dass das erste Drehrostelement 252 und das dritte Drehrostelement 254 im geschlossenen Zustand dieser auf der Oberseite der Rostlippen 257 aufliegen, und somit die Drehrostelemente 252, 253 und 254 zueinander spaltfrei vorgesehen und damit dichtend vorgesehen sind. Damit werden Luftsträhnen und unerwünschte ungleichmäßige Primärluftströmungen durch das Glutbett vermieden. Vorteilhaft wird damit die Effizienz der Verbrennung verbessert.

**[0199]** Fig. 11 zeigt den Drehrost 25 im Zustand der Universalabreinigung, welche bevorzugt während eines Anlagenstillstands durchgeführt wird. Dabei werden alle drei Drehrostelemente 252, 253 und 254 gedreht, wobei das erste und zweite Drehrostelement 252, 253 bevorzugt in die entgegengesetzte Richtung gedreht werden wie das dritte Drehrostelement 254. Realisiert wird damit einerseits eine vollständige Entleerung des Drehrosts 25, und andererseits wird die Asche und Schlacke nunmehr an vier ungeraden Außenkanten aufgebrochen. Mit anderen Worten wird eine vorteilhafte 4-fache Brecherfunktion realisiert. Das vorstehend in Bezug auf Fig. 9 zu der Geometrie der Außenkanten Erläuterte gilt auch in Bezug auf Fig. 10.

**[0200]** Zusammengefasst realisiert der vorliegende Drehrost 25 neben dem Normalbetrieb (vgl. Fig. 9) vorteilhaft zwei unterschiedliche Arten der Abreinigung (vgl. Fig. 10 und 11), wobei die Teilaabreinigung eine Abreinigung während des Betriebs der Anlage 1 erlaubt.

**[0201]** Im Vergleich dazu sind marktübliche Drehrostsysteme nicht ergonomisch und haben durch ihre rechteckige Geometrie nachteilige Totecken, in welchen die Primärluft den Brennstoff nicht optimal durchströmen kann, womit eine Luftsträhnenbildung auftreten kann. An diesen Ecken kommt es auch gehäuft zu einer Schlackenbildung. Diese Punkte sorgen für eine schlechtere Verbrennung mit einem schlechteren Wirkungsgrad.

**[0202]** Der vorliegende einfache mechanische Aufbau des Drehrosts 25 gestaltet diesen robust, zuverlässig und langlebig.

(Wärmetauscher)

**[0203]** Zur Optimierung des Wärmetauschers 3 wurden, in Synergie mit den vorstehend beschriebenen Brennkammergeometrien, wiederum CFD-Simulationen

und Praxistests durchgeführt. Dabei wurde auch überprüft, inwieweit ein Federturbulator oder ein Bandturbulator oder eine Kombination aus beidem die Effizienz des Wärmetauschvorganges verbessern können, ohne jedoch den Druckverlust in dem Wärmetauscher 3 zu groß werden zu lassen. Turbulatoren verstärken die Turbulenzbildung in den Kesselrohren 32, womit die Strömungsgeschwindigkeit gesenkt, die Verweildauer des Rauchgases im Kesselrohr 32 erhöht und damit die Effizienz des Wärmeaustauschs erhöht wird. Im Detail wird die Grenzschicht der Strömung an der Rohrwandung aufgebrochen, wodurch der Wärmeübergang verbessert wird. Allerdings wird der Druckverlust auch umso größer, je turbulenter die Strömung ist.

**[0204]** Vorliegend wurde zudem für alle mit Rauchgas in Berührung stehenden Flächen eine leichte Verschmutzung (sogenanntes Fouling mit einer Dicke von 1 mm) berücksichtigt. Die Emissivität einer derartigen Fouling-Schicht wurde mit 0,6 angesetzt.

**[0205]** Das Ergebnis dieser Optimierung ist in Fig. 12 dargestellt, die eine Ausschnitt-Detailansicht der Fig. 2 ist.

**[0206]** Der Wärmetauscher 3 weist ein vertikal angeordnetes Bündel an Kesselrohren 32 auf, wobei bevorzugt in jedem Kesselrohr 32 jeweils sowohl ein Feder- als auch ein Band- oder Spiralturbulator vorgesehen ist. Der jeweilige Federturbulator 36 erstreckt sich bevorzugt über die gesamte Länge des jeweiligen Kesselrohrs 32 und ist federförmig ausgestaltet. Der jeweilige Bandturbulator 37 erstreckt sich bevorzugt über etwa die halbe Länge des jeweiligen Kesselrohrs 32 und weist ein sich spiralförmig in Achsrichtung des Kesselrohrs 32 erstreckendes Band mit einer Materialstärke von 1,5 mm bis 3 mm auf. Weiter kann der jeweilige Bandturbulator 37 auch etwa 35 % bis 65 % der Länge des jeweiligen Kesselrohrs 32 lang sein. Der jeweilige Bandturbulator 37 ist bevorzugt mit einem Ende am stromabwärtigen Ende des jeweiligen Kesselrohrs 32 angeordnet. Die Kombination aus Feder- und Band- bzw. Spiralturbulator kann auch als Doppelturbulator bezeichnet werden. In Fig. 12 sind sowohl Band- als auch Spiralturbulatoren dargestellt. Bei dem vorliegenden Doppelturbulator ist der Bandturbulator 37 innerhalb des Federturbulators 36 angeordnet.

**[0207]** Bandturbulatoren 37 sind vorgesehen, da der Bandturbulator 37 die Turbulenzwirkung im Kesselrohr 32 erhöht und ein über den Rohrquerschnitt betrachtet homogeneres Temperatur- und Geschwindigkeitsprofil hervorruft, währenddessen das Rohr ohne einen Bandturbulator bevorzugt eine heiße Strähne mit höheren Geschwindigkeiten im Rohrzentrum ausbildet, die sich bis zum Austritt des Kesselrohrs 32 fortsetzt, was sich negativ auf die Effizienz der Wärmeübertragung auswirken würde. Damit verbessern die Bandturbulatoren 37 im unteren Bereich der Kesselrohre 32 die konvektive Wärmeübertragung.

**[0208]** Als Optimum bevorzugt können beispielhaft 22 Kesselrohre mit einem Durchmesser von 76,1 mm und

3,6 mm Wandstärke verwendet werden.

**[0209]** Der Druckverlust kann in diesem Fall weniger als 25 Pa betragen. Der Federturbulator 36 weist in diesem Fall idealerweise einen Außendurchmesser von 65 mm, eine Steigung von 50 mm, und ein Profil von 10 x 3 mm auf. Der Bandturbulator 37 kann in diesem Fall einen Außendurchmesser von 43 mm, eine Steigung von 150 mm und ein Profil von 43 x 2 mm aufweisen. Eine Blechstärke des Bandturbulatoren kann 2 mm betragen.

**[0210]** Eine gute Effizienz wird mittels 18 bis 24 Kesselrohren und einen Durchmesser von 70 bis 85 mm bei einer Wandstärke von 3 bis 4,5 mm erreicht. Dabei können entsprechend angepasste Feder- und Bandturbulatoren zum Einsatz kommen.

**[0211]** Allerdings können zur Erreichung einer ausreichenden Effizienz zwischen 14 und 28 Kesselrohre 32 mit einem Durchmesser zwischen 60 und 80 mm mit einer Wandstärke von 2 bis 5 mm verwendet werden. Der Druckverlust kann in diesen Fällen zwischen 20 und 40 Pa betragen, und ist mithin als positiv zu bewerten. Der Außendurchmesser, die Steigung und das Profil der Feder- und Bandturbulatoren 36, 37 ist entsprechend angepasst vorgesehen.

**[0212]** Die gewünschte Zieltemperatur am Austritt der Kesselrohre 32 kann bei Nennleistung bevorzugt zwischen 100 und 160 Grad Celsius liegen.

(Reinigungseinrichtung für den Kessel)

**[0213]** Fig. 13 zeigt eine Reinigungseinrichtung 9, mit der sowohl der Wärmetauscher 3 als auch die Filtereinrichtung 4 automatisch (ab-) gereinigt werden können. Die Fig. 13 stellt die Reinigungseinrichtung aus dem Kessel 11 der Anschaulichkeit halber herausgestellt dar. Die Reinigungseinrichtung 9 betrifft den gesamten Kessel 11 und betrifft somit den konvektiven Teil des Kessels 11 und auch den letzten Kesselzug, in welchen die elektrostatische Filtereinrichtung 4 optional integriert werden kann.

**[0214]** Die Reinigungseinrichtung 9 weist zwei Reinigungsantriebe 91, vorzugsweise Elektromotoren, auf, die zwei Reinigungswellen 92 drehbar antreiben, die wiederum in einer Wellenhalterung 93 gelagert sind. Die Reinigungswellen 92 können bevorzugt auch noch an weiterer Stelle, beispielsweise an den entfernten Enden, ebenso drehbar gelagert sein. Die Reinigungswellen 92 weisen Fortsätze 94 auf, mit denen über Gelenke oder über Drehlager der Käfig 48 der Filtereinrichtung 4 und Turbulatorhalterungen 95 verbunden sind.

**[0215]** Die Turbulatorhalterung 95 ist in Fig. 14 herausgestellt und vergrößert dargestellt. Die Turbulatorhalterung 95 ist kammartig ausgestaltet und bevorzugt horizontal-symmetrisch ausgebildet. Weiter ist die Turbulatorhalterung 95 als ein flaches Metallstück mit einer Materialstärke in Dickenrichtung D zwischen 2 und 5 mm ausgebildet. Die Turbulatorhalterung 95 weist an deren Unterseite zwei Drehlageraufnahmen 951 zur Verbindung mit Drehlagerzapfen (nicht dargestellt) der Fortsätze

ze 94 der Reinigungswellen 92 auf. Die Drehlageraufnahmen 951 weisen ein horizontales Spiel auf, in welchem sich Drehlagerzapfen oder ein Drehlagergestänge 955 hin- und bewegen kann/können. Vertikal hervorstehende Fortsätze 952 weisen eine Mehrzahl von Ausnehmungen 954 auf, in und mit denen die Doppelturbulatoren 36, 37 befestigt werden können. Die Ausnehmungen 954 können einen Abstand zueinander aufweisen, der dem Gangabstand der Doppelturbulatoren 36, 37 entspricht. In der Turbulatorhalterung 95 können zudem bevorzugt Durchlässe 953 für das Rauchgas angeordnet sein, um die Strömung aus den Kesselrohren 32 in die Filtereinrichtung 4 zu optimieren. Andernfalls würde das Flachmetall quer zur Strömung stehen und diese zu stark behindern.

**[0216]** Zudem dreht sich bei der Montage des jeweiligen Federturbulators 36 inkl. des Spiralturbulators (Doppelturbulator) die Spirale durch ihr Eigengewicht automatisch in die Aufnahme der Turbulatorhalterung 95 (die auch als Aufnahmestange bezeichnet werden kann) und ist somit fixiert und gesichert. Dies erleichtert die Montage deutlich.

**[0217]** Die Figuren 15 und 16 zeigen die Abreinigungsmechanik 9 ohne den Käfig 48 in zwei unterschiedlichen Zuständen. Dabei ist die Käfighalterung 481 besser zu erkennen.

**[0218]** Fig. 15 zeigt die Abreinigungsmechanik 9 in einem ersten Zustand, wobei sich sowohl die Turbulatorhalterungen 95 als auch die Käfighalterung 481 in einer unteren Position befinden. An einer der Reinigungswellen 92 ist ein zweiarmiger Schlaghebel 96 mit einem Anschlagkopf 97 befestigt. Der Schlaghebel 96 kann alternativ auch ein- oder mehrarmig vorgesehen sein. Der Schlaghebel 96 mit dem Anschlagkopf 97 ist derart eingerichtet, dass dieser an das Ende der (Sprüh-)Elektrode 45 bewegt werden kann bzw. an diese anschlagen kann.

**[0219]** Fig. 16 zeigt die Abreinigungsmechanik 9 in einem zweiten Zustand, wobei sich sowohl die Turbulatorhalterungen 95 als auch die Käfighalterung 481 in einer oberen Position befinden.

**[0220]** Beim Übergang vom ersten Zustand in den zweiten Zustand (und umgekehrt) wird durch Drehung der Reinigungswellen 92 mittels der Reinigungsantriebe 91 sowohl die Turbulatorhalterung 95 als auch die Käfighalterung 481 über die Fortsätze 952 (und ein Drehlagergestänge 955) vertikal angehoben. Damit können die Doppelturbulatoren 36, 37 in den Kesselrohren 32 und auch der Käfig 48 in dem Kamin der Filtereinrichtung 4 nach oben und nach unten bewegt werden und können die jeweiligen Wände entsprechend von Flugasche oder Ähnlichem abreinigen.

**[0221]** Es kann zudem der Schlaghebel 96 mit dem Anschlagkopf 97 beim Übergang vom ersten Zustand in den zweiten Zustand an das Ende der (Sprüh-)Elektrode 45 anschlagen. Dieses Anschlagen am freien (d.h. nicht aufgehängten) Ende der (Sprüh-) Elektrode 45 hat den Vorteil gegenüber herkömmlichen Rüttelmechaniken (bei diesen wird die Elektrode an deren Aufhängung be-

wegt), dass die (Sprüh-) Elektrode 45 entsprechend ihrer Schwingungscharakteristika nach der Anregung durch das Anschlagen selbst (im Idealfall frei) schwingen kann. Dabei bestimmt die Art des Anschlags die Schwingungen bzw. Schwingungsmodi der (Sprüh-) Elektrode 45.

Es kann die (Sprüh-) Elektrode 45 von unten (d.h. aus deren Längsachsenrichtung bzw. aus deren Longitudinalrichtung) für die Erregung einer Stoßwelle oder einer Longitudinalschwingung angeschlagen werden. Es kann die (Sprüh-) Elektrode 45 aber auch seitlich (in den Figuren 15 und 16 beispielsweise aus Richtung des Pfeils V) angeschlagen werden, womit diese transversal schwingt. Oder es kann die (Sprüh-) Elektrode 45 (wie vorliegend in den Figuren 15 und 16 dargestellt) an deren Ende aus einer leicht seitlich versetzten Richtung von unten angeschlagen werden. In letzterem Fall werden eine Mehrzahl von unterschiedlichen Schwingungsarten in der (Sprüh-) Elektrode 45 (durch das Anschlagen) erzeugt, die sich im Abreinigungseffekt vorteilhaft aufaddieren und die Abreinigung in deren Effizienz verbessern. Insbesondere die Scherwirkung der Transversalschwingung an der Oberfläche der (Sprüh-) Elektrode 45 kann den Abreinigungseffekt verbessern.

**[0222]** Insofern kann es in der elastischen Federelektrode 45 zu einem Stoß bzw. einer Stoßwelle in Längsrichtung der bevorzugt als länglicher plattenförmiger Stab ausgeführten Elektrode 45 kommen. Ebenso kann es zu einer Transversalschwingung der (Sprüh-) Elektrode 45 aufgrund der wirkenden Querkräfte (die quer bzw. rechtwinklig zur Längsachsenrichtung der Elektrode 45 ausgerichtet sind) kommen.

**[0223]** Ebenso kann man mehrere Schwingungsarten gleichzeitig erzeugen. Insbesondere eine Stoßwelle und/oder Longitudinalwelle kombiniert mit einer Transversalschwingung der Elektrode 45 kann nochmals zu einer verbesserten Abreinigung der Elektrode 45 führen.

**[0224]** Im Ergebnis ist eine vollautomatische Abreinigung während der Entaschung in eine gemeinsame Aschebox an der Vorderseite der Heizanlage (nicht dargestellt) über die Austragungsschnecke 71 realisierbar. Ebenso kann die Federstahlelektrode 48 verschleißfrei und geräuscharm abgereinigt werden.

**[0225]** Weiter ist die Reinigungseinrichtung 9 auf die beschriebene Weise einfach und kostengünstig zu fertigen und weist einen einfachen und verschleißarmen Aufbau auf.

**[0226]** Weiter ist die Reinigungseinrichtung 9 mit der Antriebsmechanik derart eingerichtet, dass Ascherückstände vorteilhaft schon ab dem ersten Zug der Kesselrohre 32 durch die Turbulatoren abgereinigt werden können und nach unten abfallen können.

**[0227]** Zudem ist die Reinigungseinrichtung 9 im unteren, sogenannten "kalten Bereich" des Kessels 11 verbaut, was den Verschleiß ebenso verringert, da die Mechanik keinen sehr hohen Temperaturen ausgesetzt ist (d.h. die thermische Belastung ist verringert). Im Gegensatz dazu wird im Stand der Technik die Reinigungsmechanik im oberen Bereich der Anlage verbaut, was den

Verschleiß entsprechend nachteilig erhöht.

**[0228]** Durch eine regelmäßige automatisierte Abreinigung wird zudem der Wirkungsgrad der Anlage 1 verbessert, da die Oberflächen des Wärmetauschers 3 sauberer sind. Ebenso kann die Filtereinrichtung 4 effizienter arbeiten, da auch deren Oberflächen sauberer sind. Dies ist auch deshalb wichtig, da die Elektroden der Filtereinrichtung 4 schneller verschmutzen als der konvektive Teil des Kessels 11.

**[0229]** Dabei ist eine Abreinigung der Elektroden der Filtereinrichtung 4 vorteilhaft auch im Betrieb bzw. während des Betriebs des Kessels 11 möglich.

(Modularisierung von Anlagen- und Kesselkomponenten)

**[0230]** Bevorzugt ist die Biomasse-Heizanlage 1 derart ausgestaltet, dass die komplette Antriebsmechanik im unteren Kesselbereich (u.a. Drehrostmechanik inkl. Drehrost, Wärmetauscherreinigungsmechanik, Antriebsmechanik für Schubboden, Mechanik für Filtereinrichtung, Reinigungskorb und Antriebswellen und Ascheaustragungsschnecke) im "Schubladenprinzip" schnell und effizient entnommen und wieder eingesetzt werden kann. Ein Beispiel hierfür ist vorstehend mit dem Drehrost 25 in Bezug auf die Fig. 9 bis 11 veranschaulicht. Dies erleichtert Wartungsarbeiten.

(Glutbetthöhenmessung)

**[0231]** Fig. 17 zeigt eine (freigestellte) Glutbetthöhenmessmechanik 86 mit einer Brennstoff-Niveaulappe 83. Fig. 18 zeigt eine Detailansicht der Brennstoff-Niveaulappe 83 der Fig. 17.

**[0232]** Die Glutbetthöhenmessmechanik 86 weist im Detail eine Drehachse 82 für die Brennstoff-Niveaulappe 83 auf. Die Drehachse 82 weist eine Mittenachse 832 auf und weist an einer Seite eine Lagerkerbe 84 zur Halterung der Drehachse 82, sowie einen Sensorflansch 85 zur Befestigung eines Winkel- oder -drehensors (nicht dargestellt) auf.

**[0233]** Die Drehachse 82 ist bevorzugt mit einem Sechskantprofil versehen. Die Halterung der Brennstoff-Niveaulappe 83 kann derart vorgesehen sein, dass diese aus zwei Öffnungen 834 mit einem Innensechskant besteht. Damit kann die Brennstoff-Niveaulappe 83 einfach auf die Drehachse 82 aufgesteckt und fixiert werden. Weiter kann die Brennstoff-Niveaulappe 83 ein einfaches Blechformteil sein.

**[0234]** Die Glutbetthöhenmessmechanik 86 ist in der Brennkammer 24, bevorzugt etwas zur Mitte versetzt, über dem Brennstoffbett 28 bzw. der Verbrennungsfläche 258 vorgesehen, dass die Brennstoff-Niveaulappe 83 in Abhängigkeit zu dem etwaig vorhandenen Brennstoff je nach Höhe des Brennstoffs bzw. Brennstoffbetts 28 angehoben wird, womit die Drehachse 82 in Abhängigkeit zu der Höhe des Brennstoffbetts 28 gedreht wird. Diese Drehung oder auch der Absolutwinkel der Dreh-

achse 82 kann/können durch einen (nicht dargestellten) berührungslosen Dreh- und/oder Winkelsensor erfasst werden. Damit kann vorliegend eine effiziente und robuste Glutbetthöhenmessung erfolgen.

**[0235]** Dabei ist die Brennstoff-Niveaulappe 83 derart eingerichtet, dass diese in Bezug auf die Mittenachse 823 der Drehachse 82 angeschrägt ausgeführt ist. Im Detail kann eine Oberflächenparallele 835 einer Hauptfläche 831 der Brennstoff-Niveaulappe 83 derart angeordnet sein, dass diese winklig in Bezug auf die Mittenachse 823 der Drehachse 82 vorgesehen ist. Dieser Winkel kann bevorzugt zwischen 10 und 45 Grad betragen. Zur Winkelmessung anzumerken ist, dass die Oberflächenparallele 835 und die Mittenachse 823 derart gedacht werden, dass sich diese (in der Horizontalen projiziert) in der Mittenachse 823 zur Winkelbildung schneiden können. Weiter ist die Oberflächenparallele 835 normalerweise nicht parallel zu der Vorderkante der Brennstoff-Niveaulappe 83 ausgerichtet.

**[0236]** Nun wird bei der Brennstoffzuführung 6 in die Brennkammer 24 keine ebene Brennstoffverteilung verursacht, sondern es wird eher ein länglicher Hügel aufgeworfen. Mit einer angeschrägten Brennstoff-Niveaulappe 83 und einer parallelen Ausrichtung der Mittenachse 823 der Drehachse 82 zu der Fläche des Drehrosts 25 wird folglich der eher schrägen Verteilung des Brennstoffs derart Rechnung getragen, dass die Hauptfläche 831 der Brennstoff-Niveaulappe 83 flächig auf dem Brennstoffhügel bzw. Brennstoffbett 28 aufliegen kann.

Durch diese flächigere Auflage der Brennstoff-Niveaulappe 83 werden Messfehler durch Unregelmäßigkeiten im Brennstoffbett 28 verringert, und die Messgenauigkeit und die Ergonomie der Messung werden verbessert.

**[0237]** Zudem kann mittels der vorstehend dargestellten Geometrie der Brennstoff-Niveaulappe 83 auch trotz unterschiedlichem bzw. variierendem Brennstoff (Hackgut, Pellets) die exakte Glutbetthöhe mittels berührungslosem Dreh- und/oder Winkelsensor ermittelt werden. Die ergonomisch-schräge Form passt sich ideal an den auch durch die Stokerschnecke eher schräg eingeführten Brennstoff an und sorgt für repräsentative Messwerte.

**[0238]** Mittels der Glutbetthöhenmessung kann weiter die auf der Verbrennungsfläche 258 des Drehrosts 25 verbleibende Brennstoffhöhe (und Menge) genau ermittelt werden, womit die Brennstoffzufuhr und die Durchströmung des Brennstoffbetts 28 derart geregelt werden kann, dass der Verbrennungsprozess optimiert werden kann.

**[0239]** Zudem ist die Herstellung und Montage dieses Sensors einfach und kostengünstig.

(Strömungstechnische Ausgestaltung der Biomasse-Heizanlage 1)

**[0240]** Fig. 19 zeigt eine horizontale Querschnittsansicht durch die Brennkammer auf der Höhe der Sekundärluftdüsen 291 und entlang der horizontalen Schnittli-

nie A6 der Fig. 5.

**[0241]** Die in der Fig. 19 angegebenen Maße sind lediglich beispielhaft zu verstehen, und dienen nur der Ver deutlichung der technischen Lehre unter anderem der Fig. 3.

**[0242]** Eine Länge einer Sekundärluftdüse 291 kann beispielsweise zwischen 40 und 60 mm betragen. Ein (Maximal-) Durchmesser der zylindrischen oder kegelstumpfförmigen Sekundärluftdüse 291 kann beispielsweise zwischen 20 und 25 mm betragen.

**[0243]** Der dargestellte Winkel betrifft die beiden zur längeren Hauptachse des Ovals nächstliegenden Sekundärluftdüsen 291. Der Winkel, der beispielhaft mit 26,1 Grad angegeben ist, wird zwischen der Mittenachse der Sekundärluftdüse 291 und der längeren der Hauptachsen des Ovals der Brennkammer 24 gemessen. Der Winkel kann vorzugsweise in einem Bereich von 15 Grad bis 35 Grad liegen. Die verbleibenden Sekundärluftdüsen 291 können weiter mit einem Winkel deren Mittenachse vorgesehen werden, der funktional demjenigen der beiden zur längeren Hauptachse des Ovals nächstliegenden Sekundärluftdüsen 291 zur Bewirkung der Wirbelströmung entspricht (beispielsweise in Bezug auf die Brennkammerwand 24).

**[0244]** In Fig. 19 dargestellt sind 10 Sekundärluftdüsen 291, welche derart angeordnet sind, dass deren Mittenachse bzw. Ausrichtung, die mit den jeweiligen gestrichelten (Mittel-) Linien dargestellt sind, azentrisch zum (Symmetrie-) Mittelpunkt des Ovals der Brennkammergeometrie vorgesehen ist. In anderen Worten zielen die Sekundärluftdüsen 291 nicht in die Mitte der ovalen Brennkammer 24, sondern an deren Mitte bzw. Mittenachse (in Fig. 4 mit A2 bezeichnet) vorbei. Die Mittenachse A2 kann entsprechend auch als Symmetriearchse betreffend der ovalen Brennkammergeometrie 24 verstanden werden.

**[0245]** Es sind die Sekundärluftdüsen 291 derart ausgerichtet, dass diese die Sekundärluft -in der horizontalen Ebene betrachtet- tangential in die Brennkammer 24 einführen. In anderen Worten sind die Sekundärluftdüsen 291 jeweils als nicht auf die Brennkammermitte ausgerichteter Eintritt für die Sekundärluft vorgesehen. Im Übrigen kann ein solcher tangentialer Eintritt auch bei einer kreisförmigen Brennkammergeometrie zum Einsatz kommen.

**[0246]** Es sind alle Sekundärluftdüsen 291 derart ausgerichtet, dass diese jeweils entweder eine rechtsdrehende oder eine linksdrehende Strömung bewirken. Insofern kann jede Sekundärluftdüse 291 zur Entstehung der Wirbelströmungen beitragen, wobei jede Sekundärluftdüse 291 eine gleichartige Ausrichtung aufweist. Zu Vorstehendem ist anzumerken, dass in Ausnahmefällen einzelne Sekundärluftdüsen 291 auch neutral (mit Ausrichtung in die Mitte) oder gegenläufig (mit entgegengesetzter Ausrichtung) angeordnet sein können, obschon dies die strömungstechnische Effizienz der Anordnung verschlechtern kann.

**[0247]** Fig. 20 zeigt drei horizontale Querschnittsan-

sichten für unterschiedliche Kesseldimensionierungen (50 kW, 100 kW und 200 kW) durch die Brennkammer 24 der Fig. 2 und 4 auf der Höhe der Sekundärluftdüsen 291 mit Angaben zu den Strömungsverteilungen in diesem Querschnitt im jeweiligen Nennlastfall.

**[0248]** Gleiche Grautöne in der Fig. 20 geben grob Bereiche mit gleicher Strömungsgeschwindigkeit an. Allgemein ist aus der Fig. 20 ersichtlich, dass die Sekundärluftdüsen 291 Düsenströmungen tangential bzw. außer mittig in die Brennkammer 24 hinein bewirken.

**[0249]** Zur Verdeutlichung sind die relevanten Strömungsgeschwindigkeiten dieser Düsenströmungen beispielhaft explizit in Fig. 20 angegeben. Dabei ist zu erkennen, dass die resultierenden Düsenströmungen relativ weit in die Brennkammer 24 hineinreichen, womit starke Wirbelströmungen bewirkt werden können, die einen Großteil des Volumens der Brennkammer 24 erfassen.

**[0250]** Der Pfeil in der Brennkammer 24 der CFD-Berechnung zu einer 200 kW Kesseldimensionierung gibt die Drall- bzw. Wirbelrichtung der durch die Sekundärluftdüsen 291 induzierten Wirbelströmungen an. Diese gilt analog auch für die beiden anderen Kesseldimensionierungen (50 kW, 100 kW) der Fig. 20. Vorliegend ist beispielhaft eine (von oben betrachtet) rechtsdrehende Wirbelströmung angegeben.

**[0251]** Über die Sekundärluftdüsen 291 wird Sekundärluft (vorzugsweise einfach Umgebungsluft) in die Brennkammer 24 eingeführt. Dabei wird die Sekundärluft in den Sekundärluftdüsen im Nennlastfall auf mehr als 10 m/s in der Düse beschleunigt. Im Vergleich zu den im Stand der Technik üblichen Sekundärluftöffnungen wird die Eindringtiefe der resultierenden Luftstrahlen in der Brennkammer 24 erhöht, womit diese ausreichend ist, eine effektive Wirbelströmung zu induzieren, die sich über den Großteil des Brennkammervolumens erstreckt.

**[0252]** Bei einem ovalen (oder auch kreisförmigen) Querschnitt einer Brennkammer 24 entsteht bei einem tangentialen Eintritt von Luft in die Brennkammer 24 eine relativ ungestörte Wirbelströmung, die auch als Drallströmung oder als Wirbelsenkenströmung bezeichnet werden kann. Hierbei bilden sich Spiralströmungen aus. Diese Spiralströmungen pflanzen sich in der Brennkammer 24 helix- oder spiralförmig nach oben fort.

**[0253]** Fig. 21 zeigt drei vertikale Querschnittsansichten für unterschiedliche Kesseldimensionierungen (50 kW, 100 kW und 200 kW) durch die Biomasse-Heizanlage entlang der Schnittlinie SL1 der Fig. 1 mit Angaben zu den dem tangentialen Eintritt der Sekundärdüsenströmungen in diesen Querschnitt.

**[0254]** Auch in Fig. 21 geben gleiche Grautöne grob Bereiche mit gleicher Strömungsgeschwindigkeit an. Allgemein ist aus der Fig. 21 ersichtlich, dass in der Sekundärverbrennungszone 27 kerzenflammenförmige Rotationsströmungen S2 (vgl. auch Fig. 3) vorhanden sind, welche vorteilhaft bis zur Brennkammerdecke 204 reichen können. Zudem ist zu erkennen, dass die Kesselrohre 32 mit ca. 1-2 m/s aufgrund des zuvor erläuterten

Trichters in Richtung des Eintritts 33 recht gleichmäßig durchströmt werden. Betreffend der Vorteile und der technischen Hintergründe des Vorstehenden wird auf die Erläuterungen zu den Fig. 1 bis 4 verwiesen.

(Weitere Ausführungsformen)

**[0255]** Die Erfindung lässt neben den erläuterten Ausführungsformen und Aspekten weitere Gestaltungsgrundsätze zu. So können einzelne Merkmale der verschiedenen Ausführungsformen und Aspekte auch beliebig miteinander kombiniert werden, solange dies für den Fachmann als ausführbar ersichtlich ist.

**[0256]** Weiter können anstatt von nur drei Drehrostelementen 252, 253 und 254 auch zwei, vier oder mehr Drehrostelemente vorgesehen sein. Bei beispielsweise fünf Drehrostelementen könnten diese mit der gleichen Symmetrie und Funktionalität angeordnet sein, wie bei den vorgestellten drei Drehrostelementen. Zudem können die Drehrostelemente auch unterschiedlich zueinander geformt oder ausgebildet sein. Mehr Drehrostelemente haben den Vorteil, dass die Brecherfunktion verstärkt wird.

**[0257]** Zu den angegebenen Maßen ist anzumerken, dass auch abweichend von diesen andere Maße bzw. Maßkombinationen vorgesehen werden können.

**[0258]** Anstelle der konvexen Seiten der Drehrostelemente 252 und 254 können auch konkave Seiten dieser vorgesehen sein, wobei die Seiten des Drehrostelements 253 in Folge komplementär konvex geformt sein können. Dies ist funktional annähernd gleichwertig.

**[0259]** Obschon in Fig. 19 10 (zehn) Sekundärluftdüsen 291 angegeben sind, kann (je nach Dimensionierung der Biomasse-Heizanlage) auch eine andere Anzahl von Sekundärluftdüsen 291 vorgesehen sein.

**[0260]** Die Rotationsströmung bzw. Wirbelströmung in der Brennkammer 24 kann rechtsdrehend oder linksdrehend vorgesehen sein.

**[0261]** Die Brennkammerdecke 204 kann auch abschnittsweise, beispielsweise stufenförmig, geneigt vorgesehen sein.

**[0262]** Die Sekundärluftdüsen 291 sind nicht auf rein zylindrische Bohrungen in den Brennkammersteinen 291 beschränkt. Diese können auch als kegelstumpfförmige Öffnungen oder taillierte Öffnungen ausgebildet sein.

**[0263]** Die Sekundär(re)zirkulation kann auch nur mit Sekundärluft bzw. Frischluft bestromt werden, und insofern nicht das Rauchgas rezirkulieren, sondern lediglich Frischluft zuführen.

**[0264]** Die in Bezug auf die beispielhaften Ausführungsformen angegebenen Maße und Anzahlen sind lediglich beispielhaft zu verstehen. Diese vorliegend offenbare technische Lehre ist nicht auf diese Maße beschränkt und kann beispielsweise bei Abwandlung der Dimensionierung des Kessels 11 (kW) abgewandelt werden.

**[0265]** Als Brennstoffe der Biomasse-Heizanlage können auch andere Brennstoffe als Hackgut oder Pellets

verwendet werden.

**[0266]** Die vorliegend offenbarte Biomasse-Heizanlage kann auch ausschließlich mit einer Art eines Brennstoffs befeuert werden, beispielsweise nur mit Pellets.

**[0267]** Die hierin offenbarten Ausführungsformen wurden zur Beschreibung und zum Verständnis der offenbarten technischen Sachverhalte bereitgestellt und sollen den Umfang der vorliegenden Offenbarung nicht einschränken. Daher ist dies so auszulegen, dass der Umfang der vorliegenden Offenbarung jede Änderung oder andere verschiedene Ausführungsformen beinhaltet, die auf dem technischen Geist der vorliegenden Offenbarung basieren.

15 (Bezugszeichenliste)

### [0268]

- |    |   |
|----|---|
| 1  | Biomasse-Heizanlage   |
| 20 | 11 Kessel   |
|    | 12 Kesselfuß  |
|    | 13 Kesselgehäuse  |
|    | 14 Wasserzirkulationseinrichtung  |
| 25 | 2 Brenneinrichtung  |
|    | 21 erste Wartungsöffnung für Brenneinrichtung                                     |
|    | 22 Drehmechanikhalterung  |
|    | 23 Drehmechanik   |
|    | 24 Brennkammer  |
| 30 | 25 Drehrost   |
|    | 26 Primärverbrennungszone der Brennkammer   |
|    | 27 Sekundärverbrennungszone bzw. Strahlungsteil der Brennkammer                   |
|    | 28 Brennstoffbett   |
| 35 | 29 Brennkammersteine  |
|    | A1 erste Horizontalschnittlinie   |
|    | A2 erste Vertikalschnittlinie und vertikale Mittenachse der ovalen Brennkammer 24 |
| 40 | 201 Zündeinrichtung   |
|    | 202 Brennkammerschräge  |
|    | 203 Brennkammerdüse   |
|    | 204 Brennkammerdecke  |
|    | 231 Antrieb bzw. Motor(en) der Drehmechanik                                       |
| 45 | 251 Bodenplatte des Drehrosts   |
|    | 252 Erstes Drehrostelement  |
|    | 253 Zweites Drehrostelement   |
|    | 254 Drittes Drehrostelement   |
| 50 | 255 Übergangselement  |
|    | 256 Öffnungen   |
|    | 257 Rostlippen  |
|    | 258 Verbrennungsfläche  |
| 55 | 260 Auflageflächen der Brennkammersteine  |
|    | 261 Nut   |
|    | 262 Vorsprung   |
|    | 263 Ring  |

264	Halterungssteine	952	Fortsätze
265	Schräge der Halterungssteine	953	Durchlässe
3	Wärmetauscher	954	Ausnehmungen
31	Wartungsoffnung für Wärmetauscher	955	Drehlagergestänge
32	Kesselrohre	5	96 zweiarmiger Schlaghebel
33	Kesselrohreintritt	97	Anschlagkopf
34	Wendekammereintritt	211	Dämmmaterial, beispielsweise Vermiculite
35	Wendekammer	10	291 Sekundärluft bzw. Rezirkulationsdüsen
36	Federturbulator	E	Einschubrichtung des Brennstoffs
37	Band- oder Spiralturbulator	331	Isolation am Kesselrohreintritt
38	Wärmetauschmedium	481	Käfighalterung
4	Filteneinrichtung		
41	Abgasausgang		
42	Elektrodenversorgungsleitung		
43	Elektrodenhalterung		
44	Filteneintritt		
45	Elektrode	20	<b>Patentansprüche</b>
46	Elektrodenisolation		
47	Filteraustritt		
48	Käfig		
5	Rezirkulationseinrichtung	1	1. Biomasse-Heizanlage (1) zur Verfeuerung von Brennstoff in Form von Pellets und/oder Hackgut, aufweisend:
51, 54	Rezirkulationskanal / Rezirkulationskanäle	25	einen Kessel (11) mit einer Brenneinrichtung (2),
52	Klappen		einen Wärmetauscher (3) mit einer Mehrzahl von Kesselrohren (32),
53	Rezirkulationseintritt		wobei die Brenneinrichtung (2) das Folgende aufweist:
6	Brennstoffzufuhr		eine Brennkammer (24) mit einem Drehrost (25), mit einer Primärverbrennungszone (26) und mit einer Sekundärverbrennungszone (27);
61	Zellradschleuse		wobei die Primärverbrennungszone (26) durch eine Mehrzahl von Brennkammersteinen (29) seitlich und durch den Drehrost (25) von unten umfasst ist;
62	Achse der Brennstoffzufuhr	30	wobei in den Brennkammersteinen (29) eine Mehrzahl von Sekundärluftdüsen (291) vorgesehen ist;
63	Übersetzungsmechanik		wobei die Primärverbrennungszone (26) und die Sekundärverbrennungszone (27) auf der Höhe der Sekundärluftdüsen (291) separiert werden;
64	Brennstoffzufuhrkanal		wobei die Sekundärverbrennungszone (27) der Brennkammer (24) strömungstechnisch mit einem Eintritt (33) des Wärmetauschers (3) verbunden ist.
65	Brennstoffzufuhröffnung		
66	Antriebsmotor	40	
67	Brennstoff-Förderschnecke		
7	Ascheabfuhr		
71	Ascheaustragungsschnecke		
72	Motor der Ascheabfuhr mit Mechanik		
81	Lagerachsen	2	2. Biomasse-Heizanlage (1) gemäß Anspruch 1, wobei die Sekundärluftdüsen (291) derart angeordnet sind,
82	Drehachse		dass in der Sekundärverbrennungszone (27) der Brennkammer (24) Wirbelströmungen eines Rauchgas-Luft Gemischs aus Sekundärluft und Verbrennungsluft um eine vertikale Mittenachse (A2) entstehen, wobei die Wirbelströmungen zur Verbesserung der Vermischung des Rauchgas-Luft Gemischs führen.
83	Brennstoff-Niveaulappe		
831	Hauptfläche		
832	Mittenachse		
835	Oberflächenparallele	50	
84	Lagerkerbe		
85	Sensorflansch		
86	Glutbetthöhenmessmechanik		
9	Reinigungseinrichtung		
91	Reinigungsantrieb		
92	Reinigungswellen		
93	Wellenhalterung		
94	Fortsatz		
95	Turbulatorhalterungen		
951	Drehlageraufnahme	55	

3. Biomasse-Heizanlage (1) gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei die Sekundärluftdüsen (291) in den Brennkammersteinen (29) jeweils als zylindrische oder kegelstumpfförmige Öffnung in den Brennkammersteinen (29) mit einem kreisförmigen oder elliptischen Querschnitt ausgebildet sind, wobei der kleinste Durchmesser der jeweiligen Öffnung kleiner als dessen maximale Länge ist.
4. Biomasse-Heizanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die Brenneinrichtung (2) mit der Brennkammer (24) derart eingerichtet ist, dass die Wirbelströmungen nach dem Austritt aus der Brennkammerdüse (203) spiralförmige Rotationsströmungen ausbilden, die bis zu einer Brennkammerdecke (204) der Brennkammer (24) reichen.
5. Biomasse-Heizanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die Sekundärluftdüsen (291) in der Brennkammer (24) auf zumindest annähernd der gleichen Höhe angeordnet sind; und die Sekundärluftdüsen (291) jeweils derart ausgerichtet sind, dass die Sekundärluft in Bezug auf einen Symmetriemittelpunkt der Brennkammer (24) azentrisch eingeleitet wird.
6. Biomasse-Heizanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die Anzahl der Sekundärluftdüsen (291) zwischen 8 und 14 liegt; und/oder die Sekundärluftdüsen (291) eine Mindestlänge von mindestens 50 mm bei einem minimalen Innen-durchmesser von 20 bis 35 mm aufweisen.
7. Biomasse-Heizanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die Brennkammer (24) in der Sekundärverbrennungszone (27) eine Brennkammerschräge (202) aufweist, welche den Querschnitt der Sekundärverbrennungszone (27) in Richtung des Eintritts (33) des Wärmetauschers (3) verkleinert.
8. Biomasse-Heizanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die Brennkammer (24) in der Sekundärverbrennungszone (27) eine Brennkammerdecke (204) aufweist, die in Richtung des Eintritts (33) des Wärmetauschers (3) nach oben geneigt vorgesehen ist, und die den Querschnitt der Brennkammer (24) in Richtung des Eintritts (33) verkleinert.
9. Biomasse-Heizanlage (1) gemäß Anspruch 7 und 8, wobei die Brennkammerschräge (202) und die geneigte Brennkammerdecke (204) einen Trichter ausbilden,
- dessen kleineres Ende in dem Eintritt (33) des Wärmetauschers (3) mündet.
10. Biomasse-Heizanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die Primärverbrennungszone (26) und zumindest ein Teil der Sekundärverbrennungszone (27) einen ovalen Horizontalquerschnitt aufweist; und/oder die Sekundärluftdüsen (291) derart angeordnet sind, dass diese die Sekundärluft tangential in die Brennkammer (24) einleiten.
11. Biomasse-Heizanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit der Sekundärluft in den Sekundärluftdüsen (291) zumindest 8 m/s, vorzugsweise zumindest 10 m/s, beträgt.
12. Biomasse-Heizanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die Brennkammersteine (29) einen modularen Aufbau aufweisen; und jeweils zwei halbkreisförmige Brennkammersteine (29) einen geschlossenen Ring bilden, um die Primärverbrennungszone (26) und/oder einen Teil der Sekundärverbrennungszone (27) auszubilden; und zumindest zwei Ringe an Brennkammersteinen (29) aufeinander gestapelt angeordnet sind.
13. Biomasse-Heizanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei der Wärmetauscher (3) in den Kesselrohren (32) angeordnete Spiralturbulatoren aufweist, die sich über die gesamte Länge der Kesselrohre (32) erstrecken; und der Wärmetauscher (3) in den Kesselrohren (32) angeordnete Bandturbulatoren aufweist, die sich zumindest über die halbe Länge der Kesselrohre (32) erstrecken.

Fig. 1

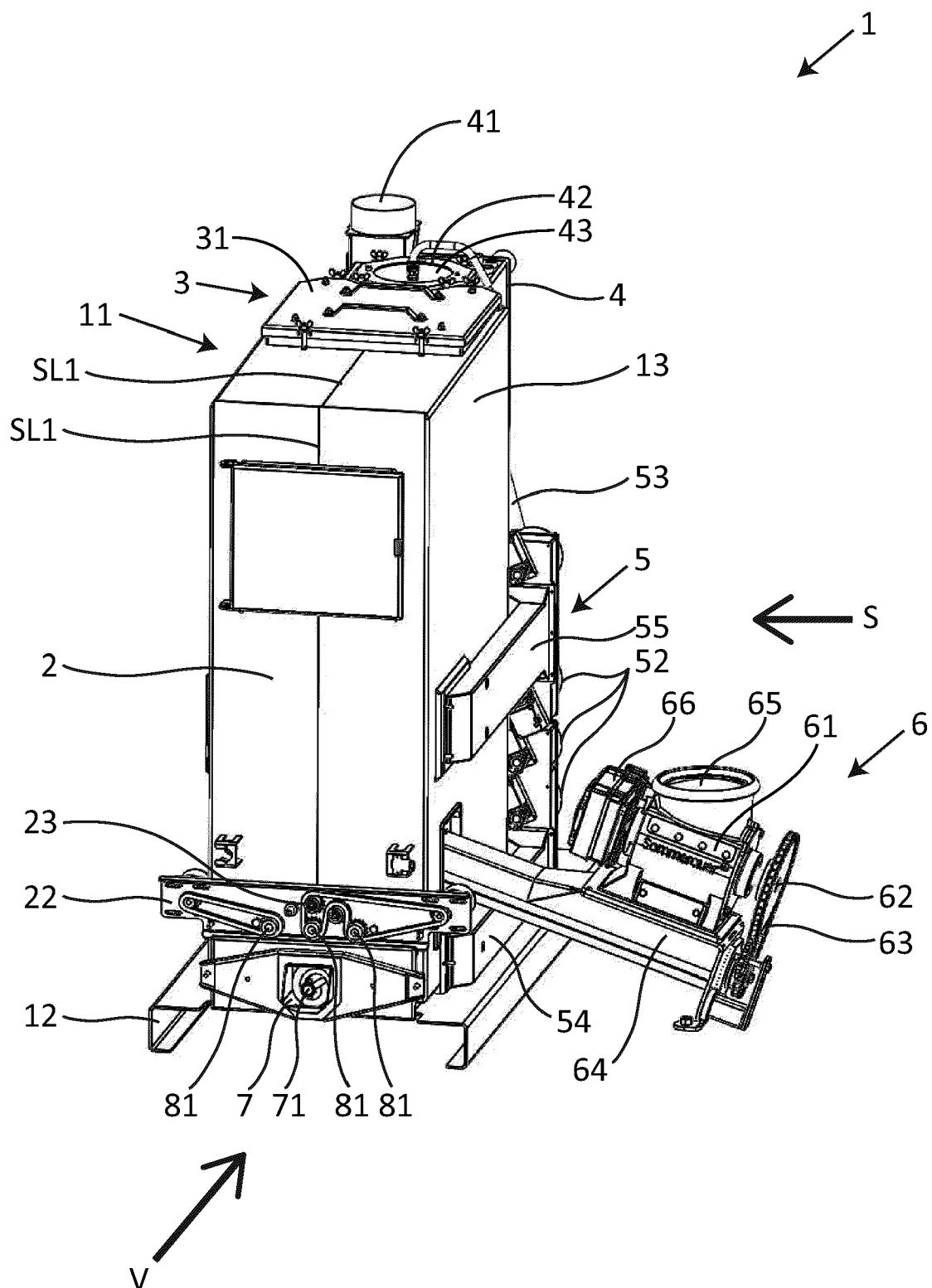


Fig. 2

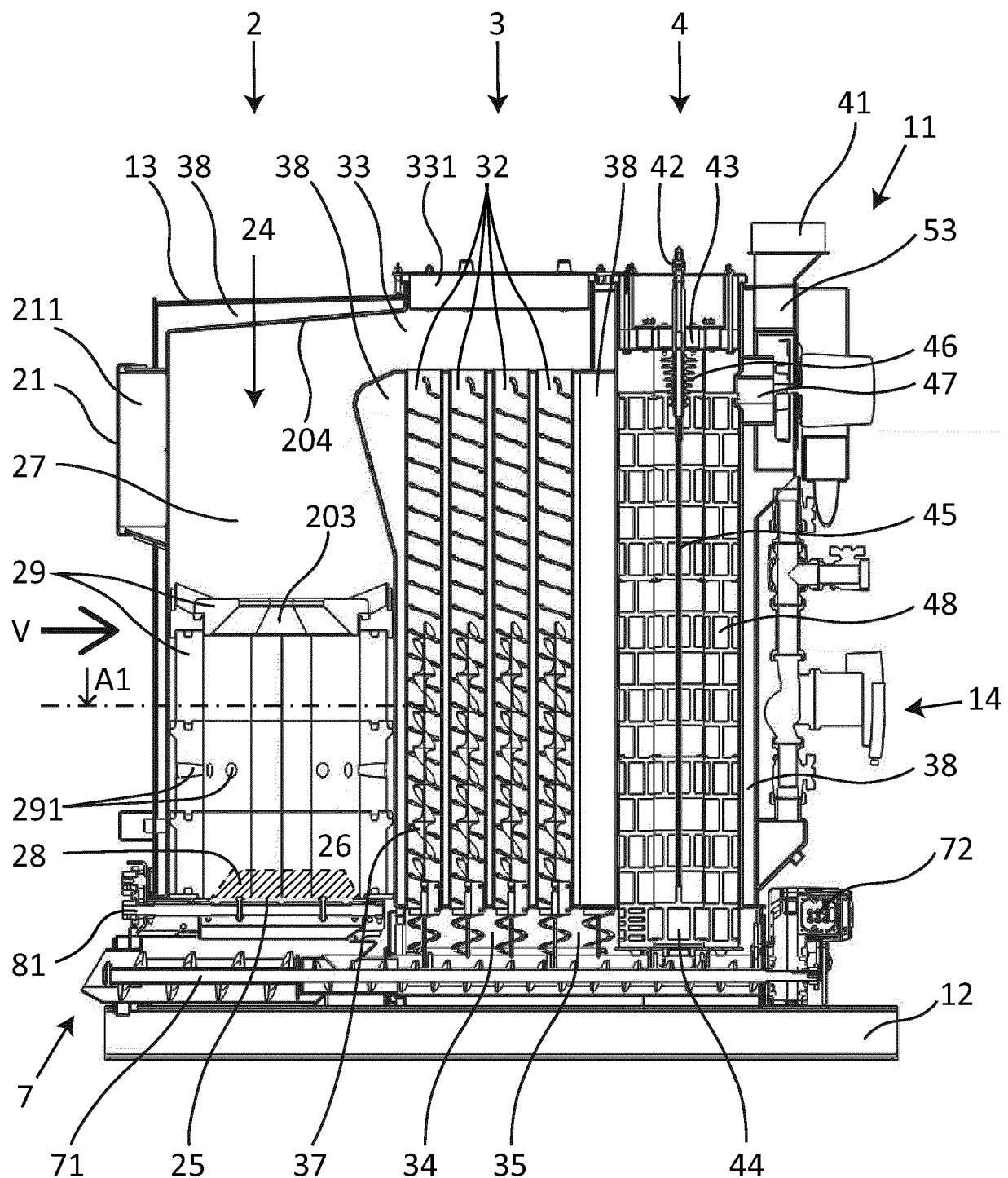


Fig. 3

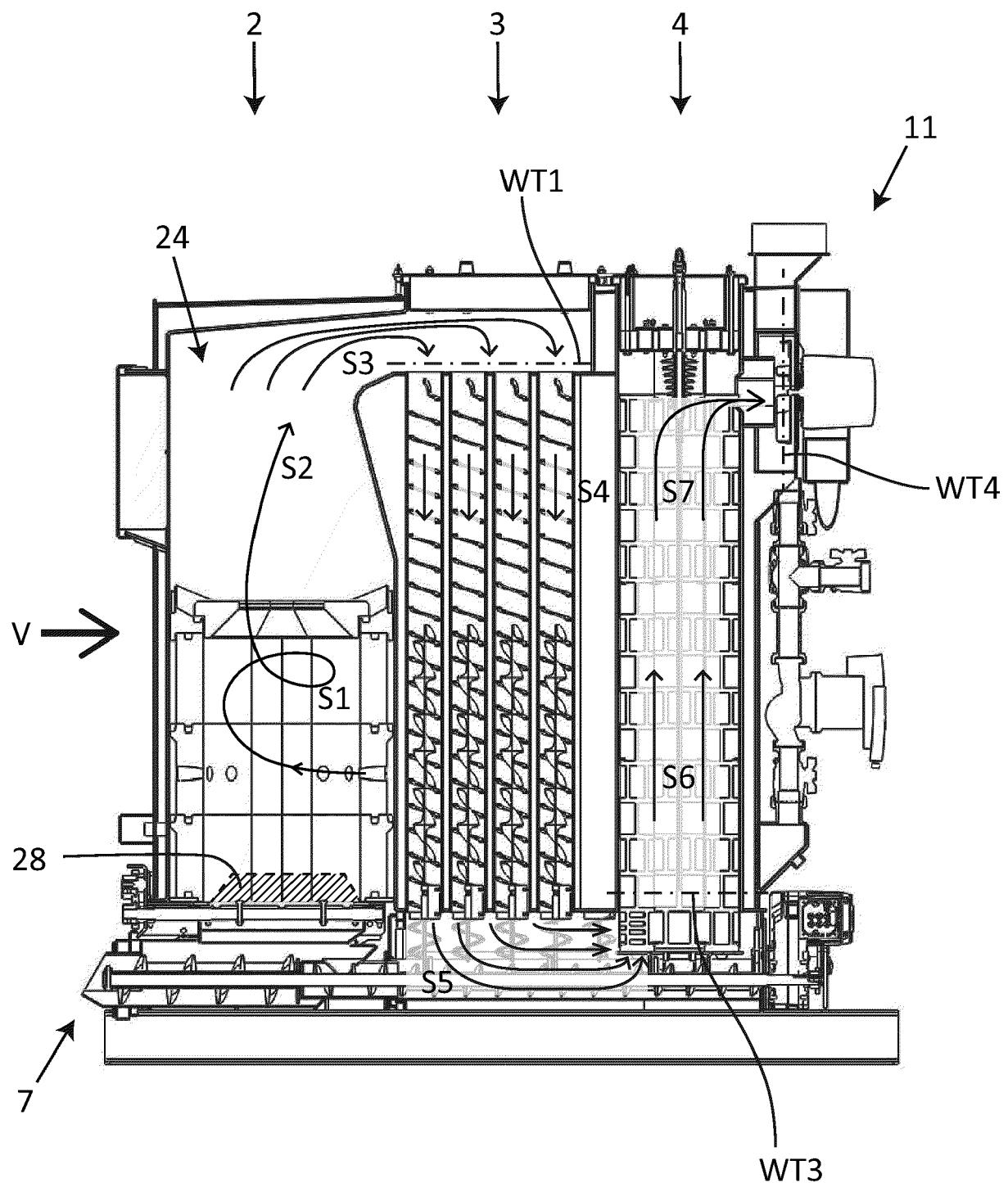


Fig. 4

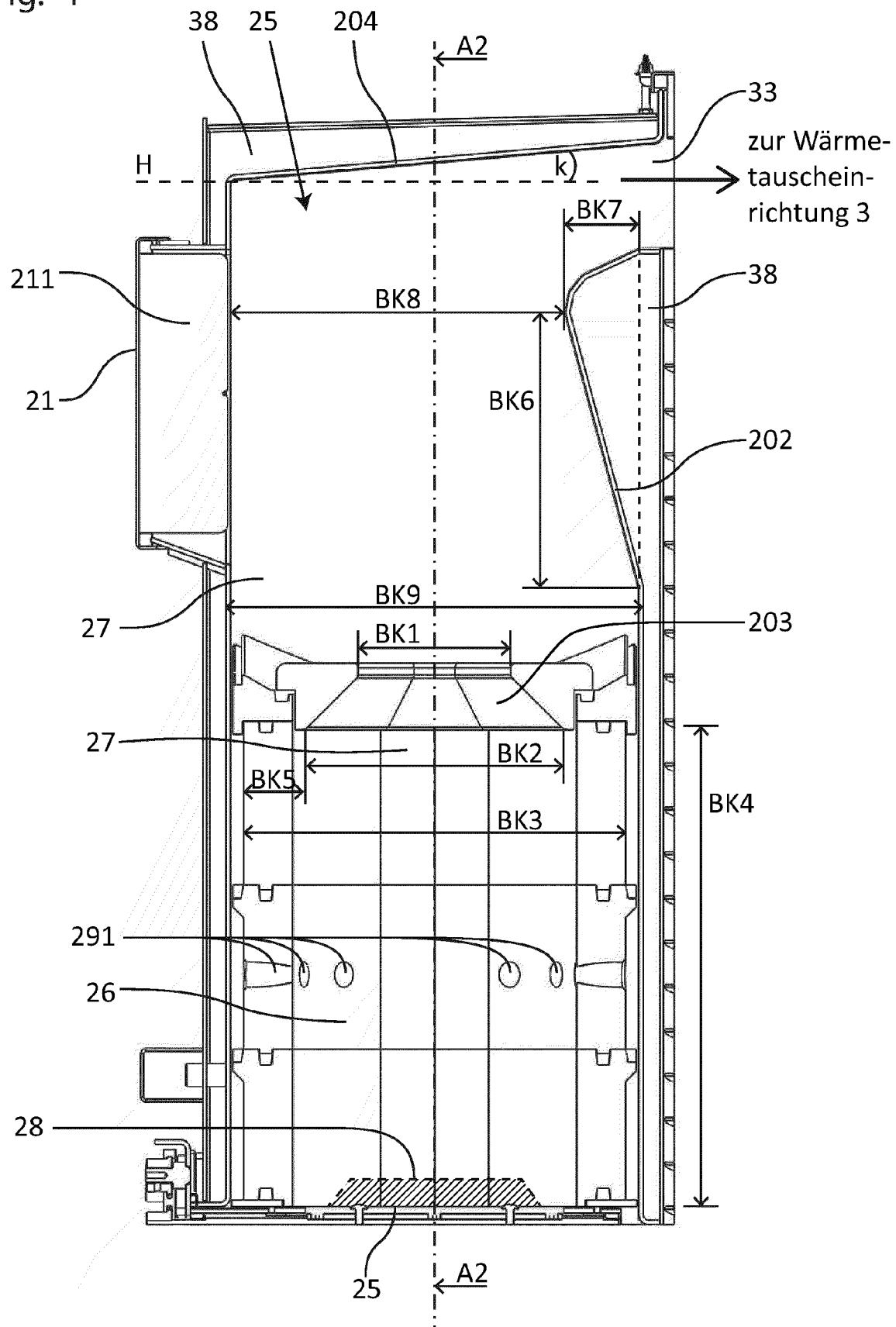


Fig. 5

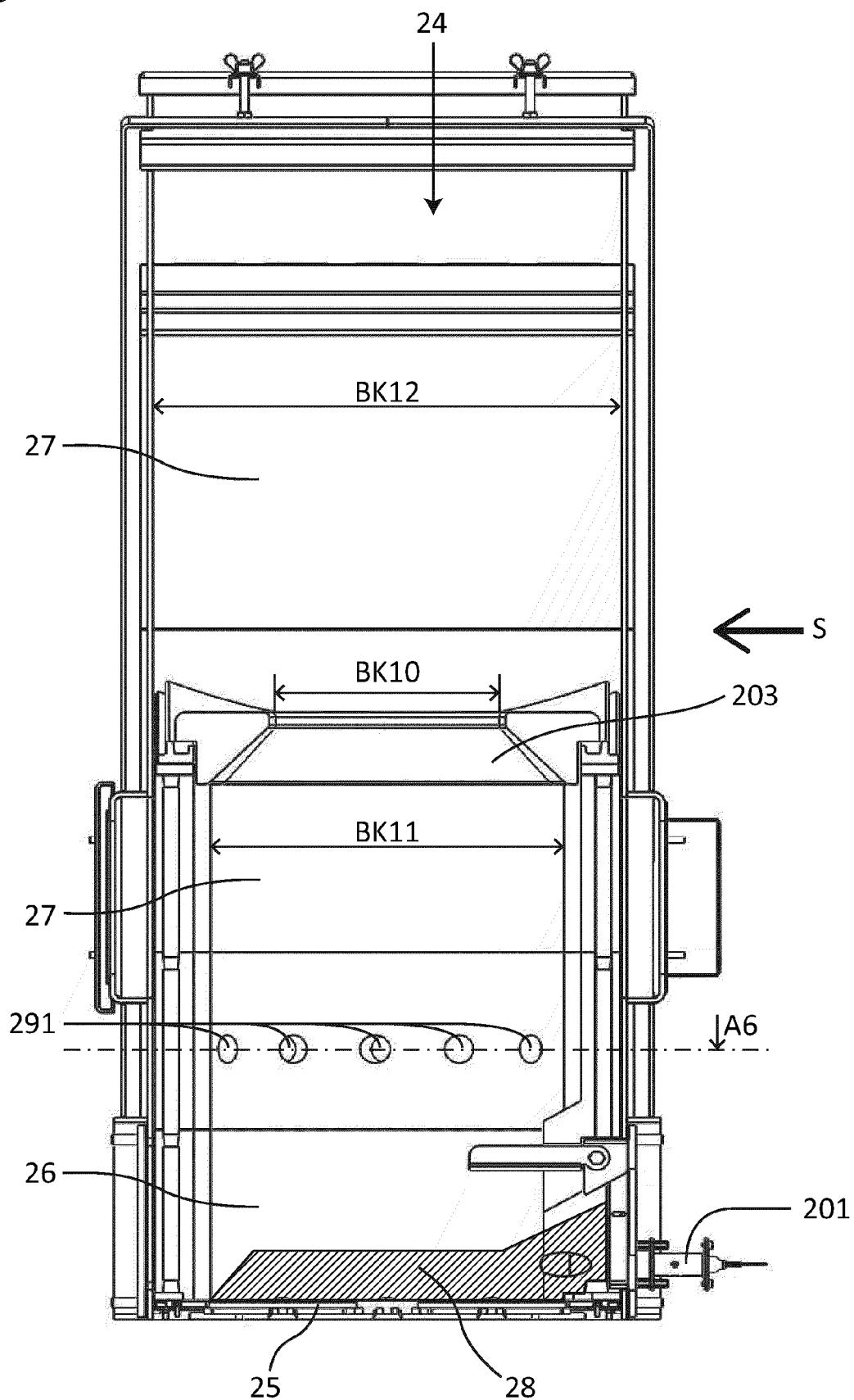


Fig. 6

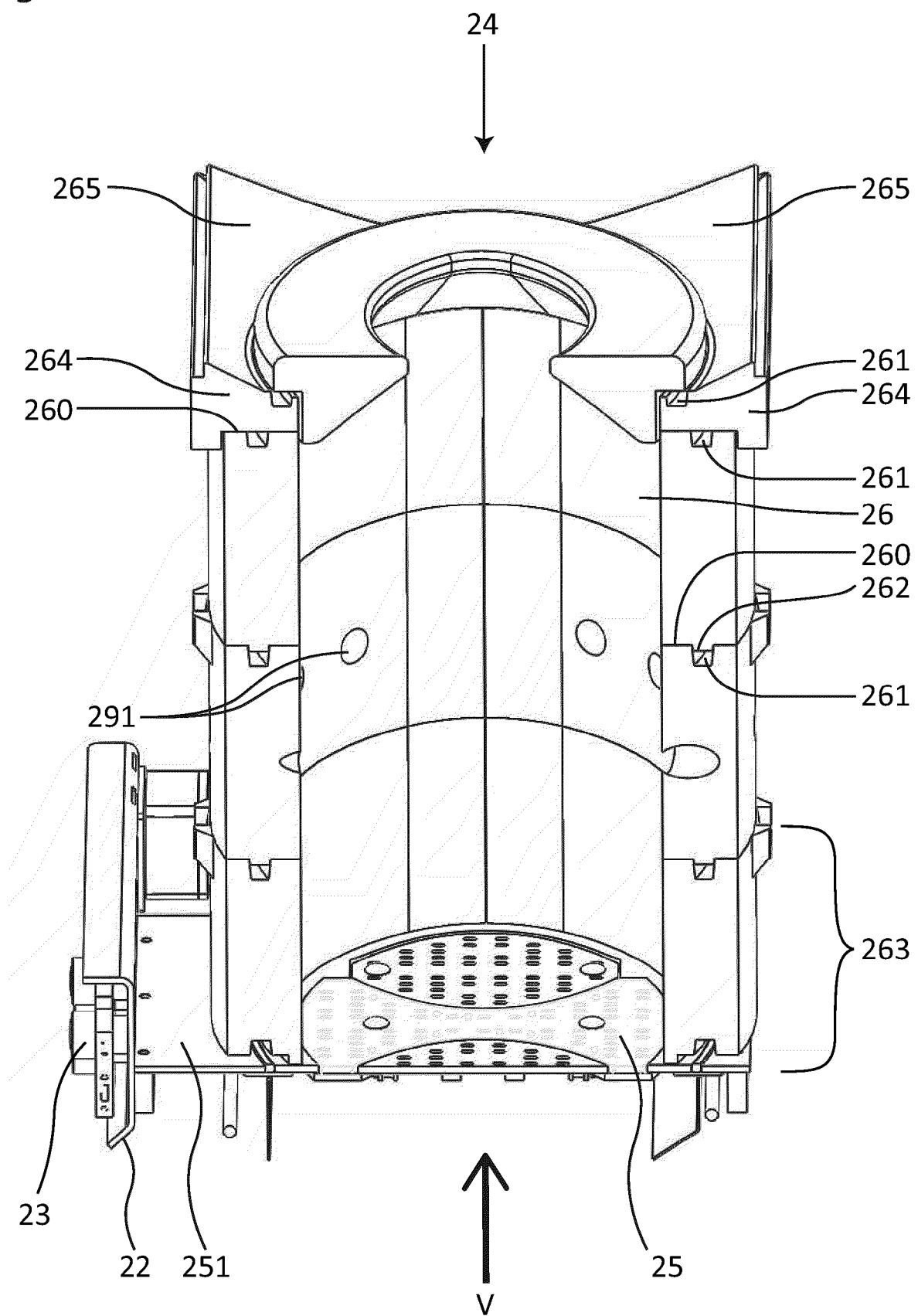


Fig. 7

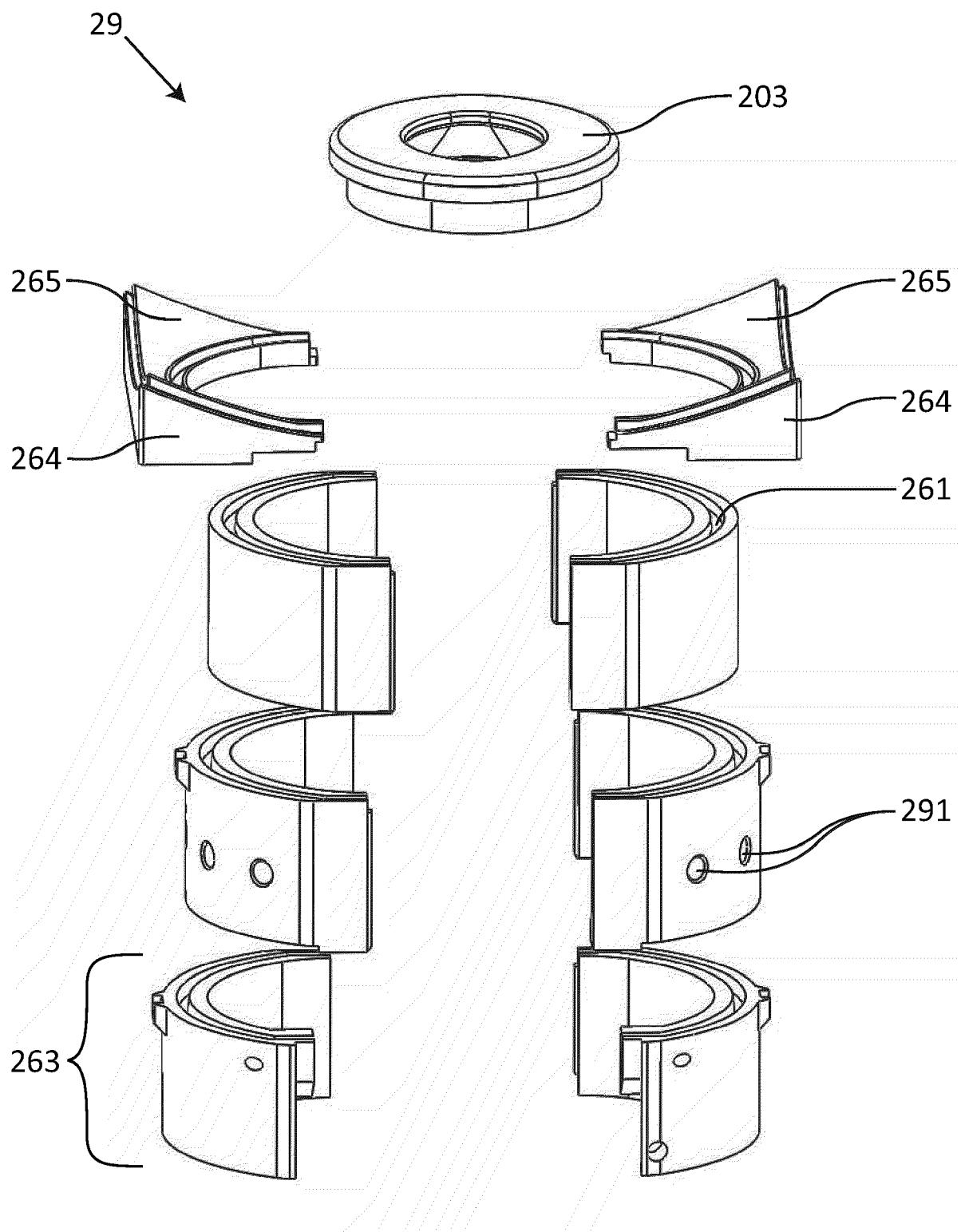


Fig. 8

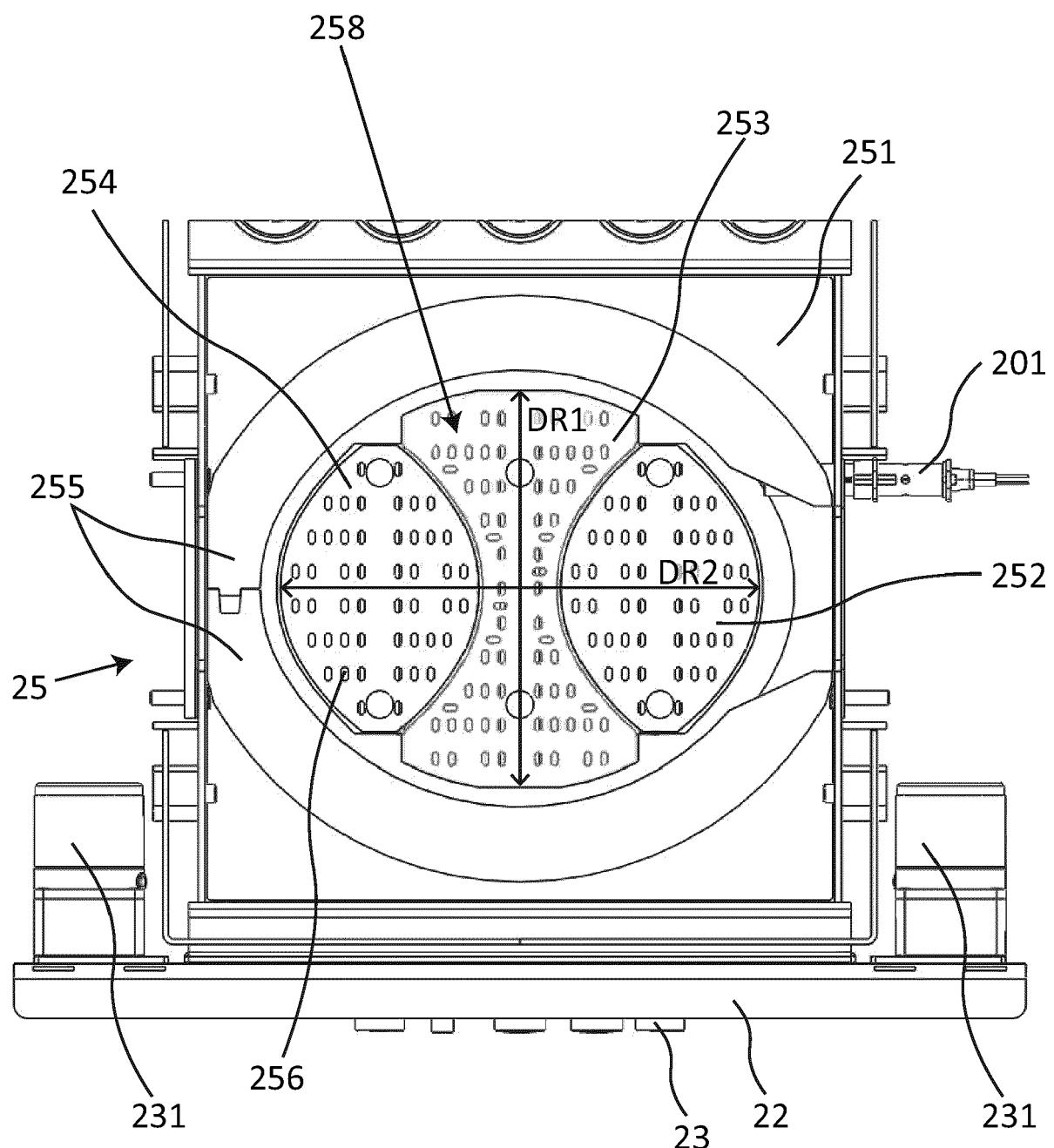


Fig. 9

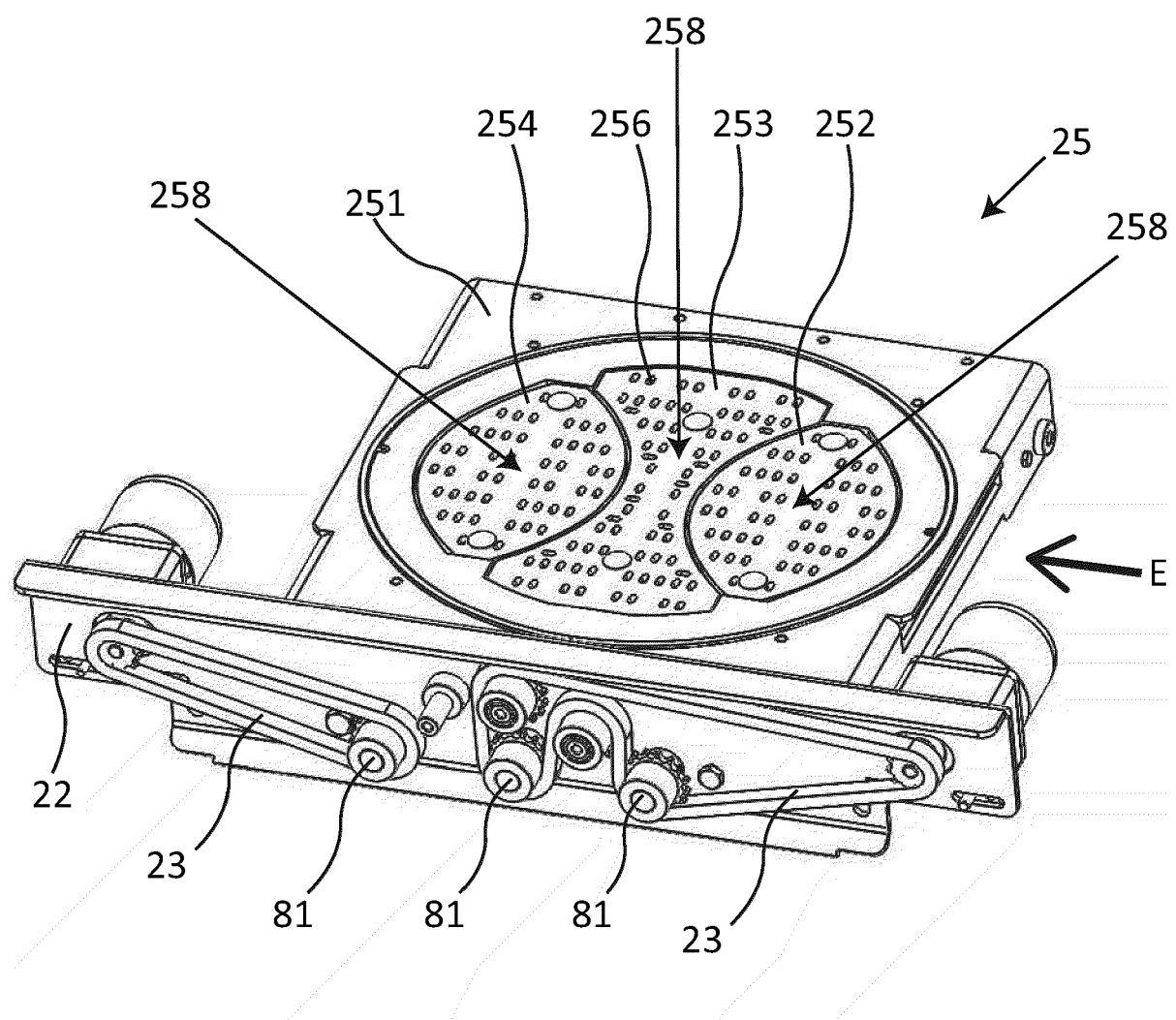


Fig. 10

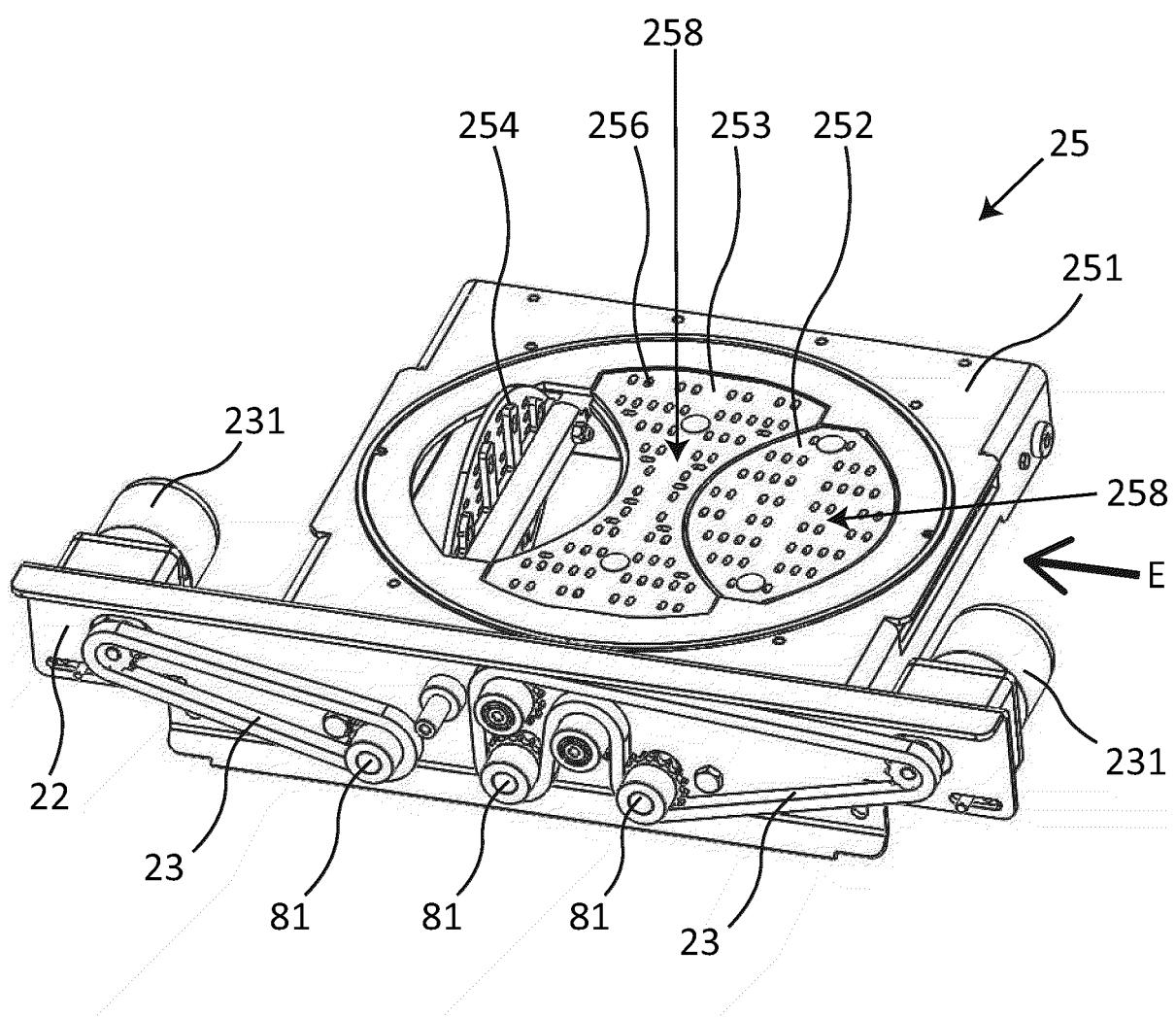


Fig. 11

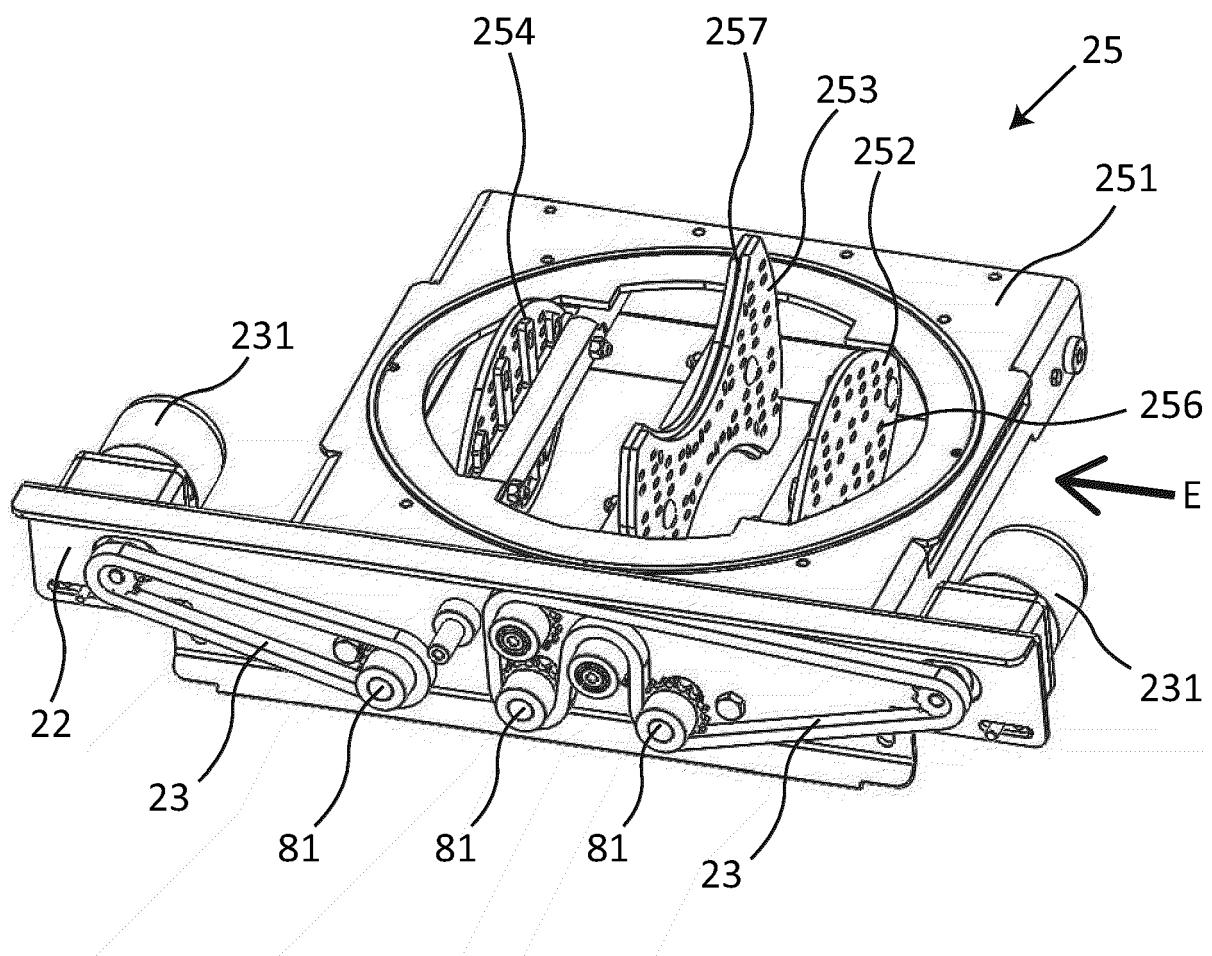


Fig. 12

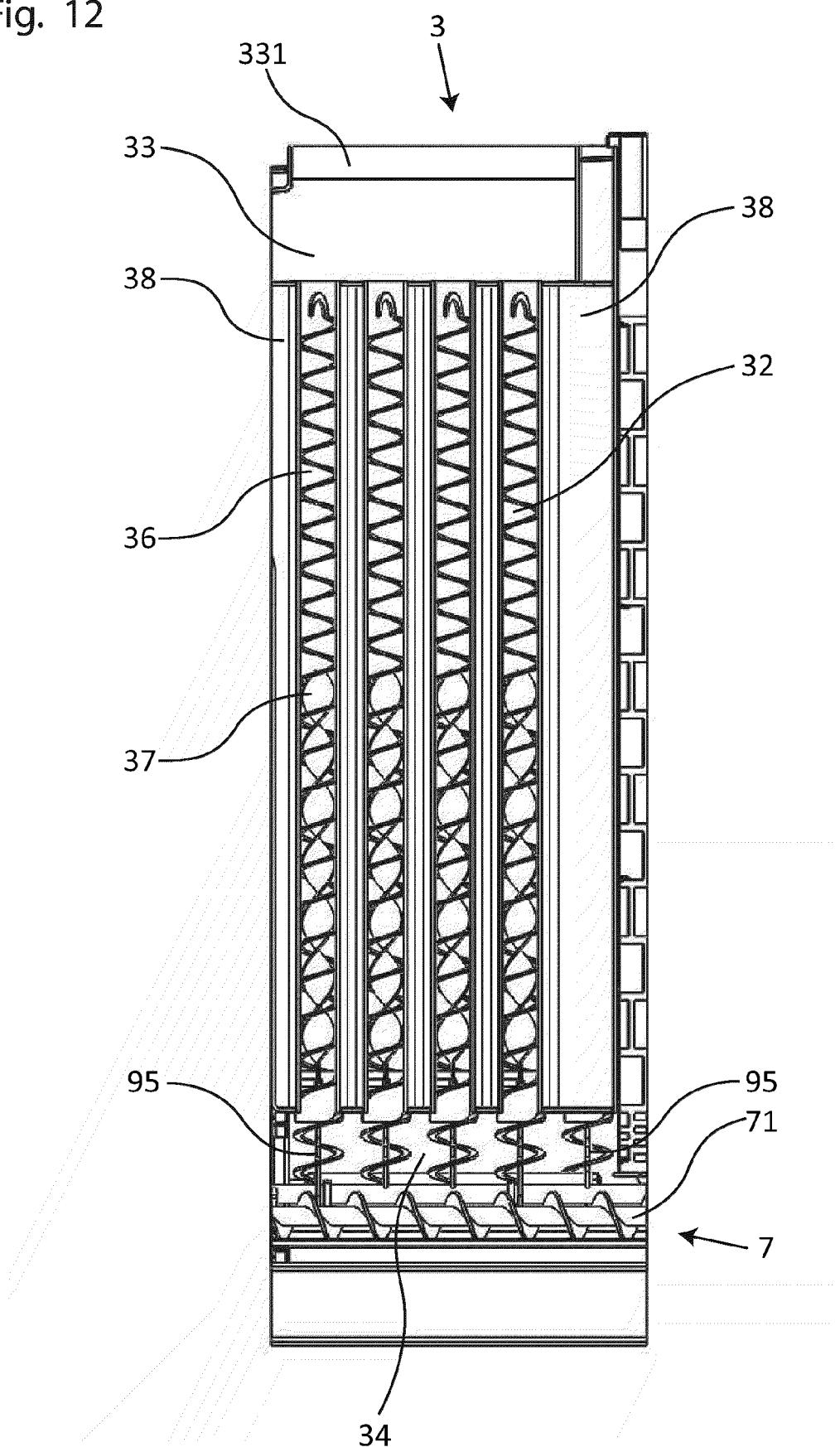


Fig. 13

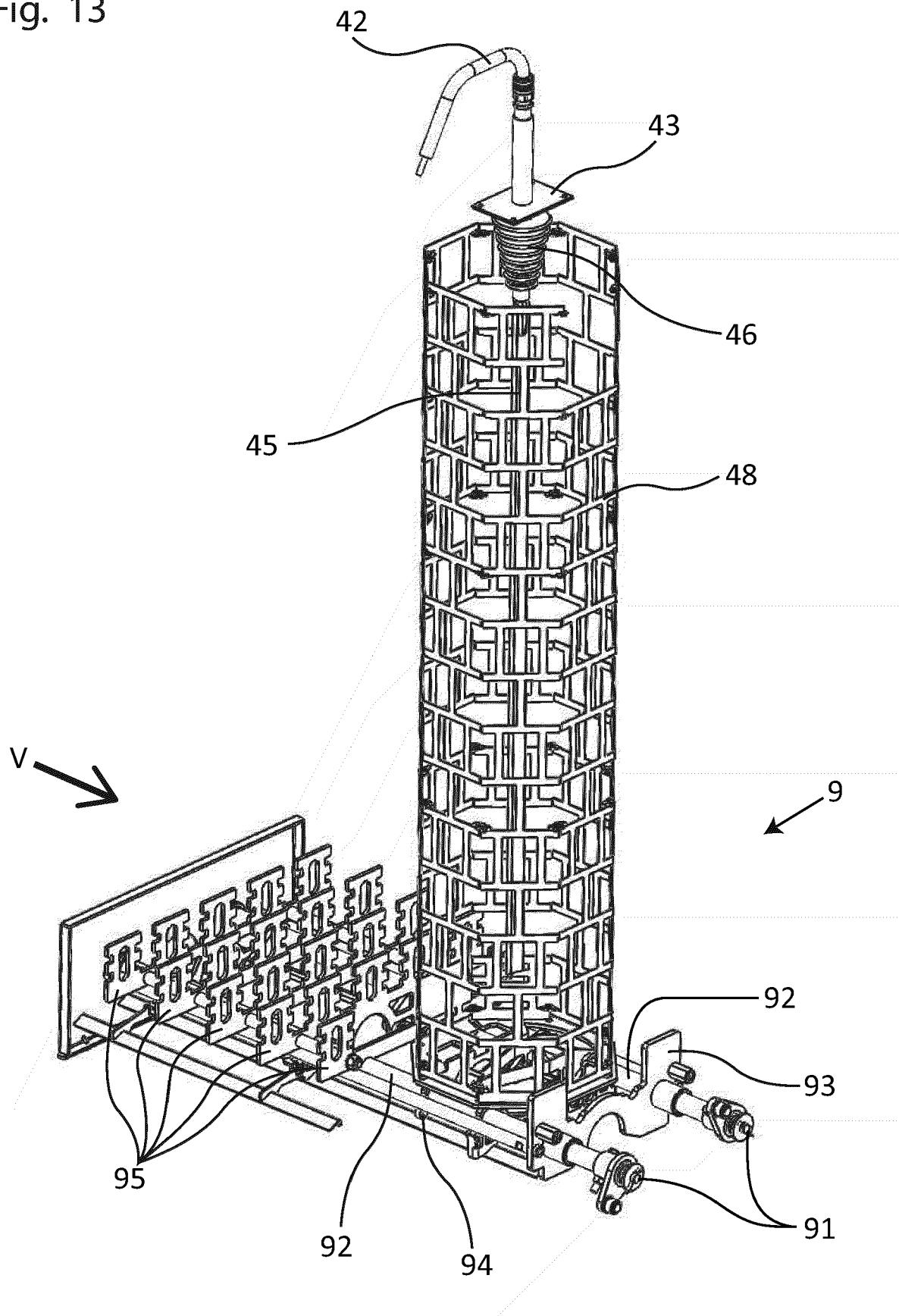


Fig. 14

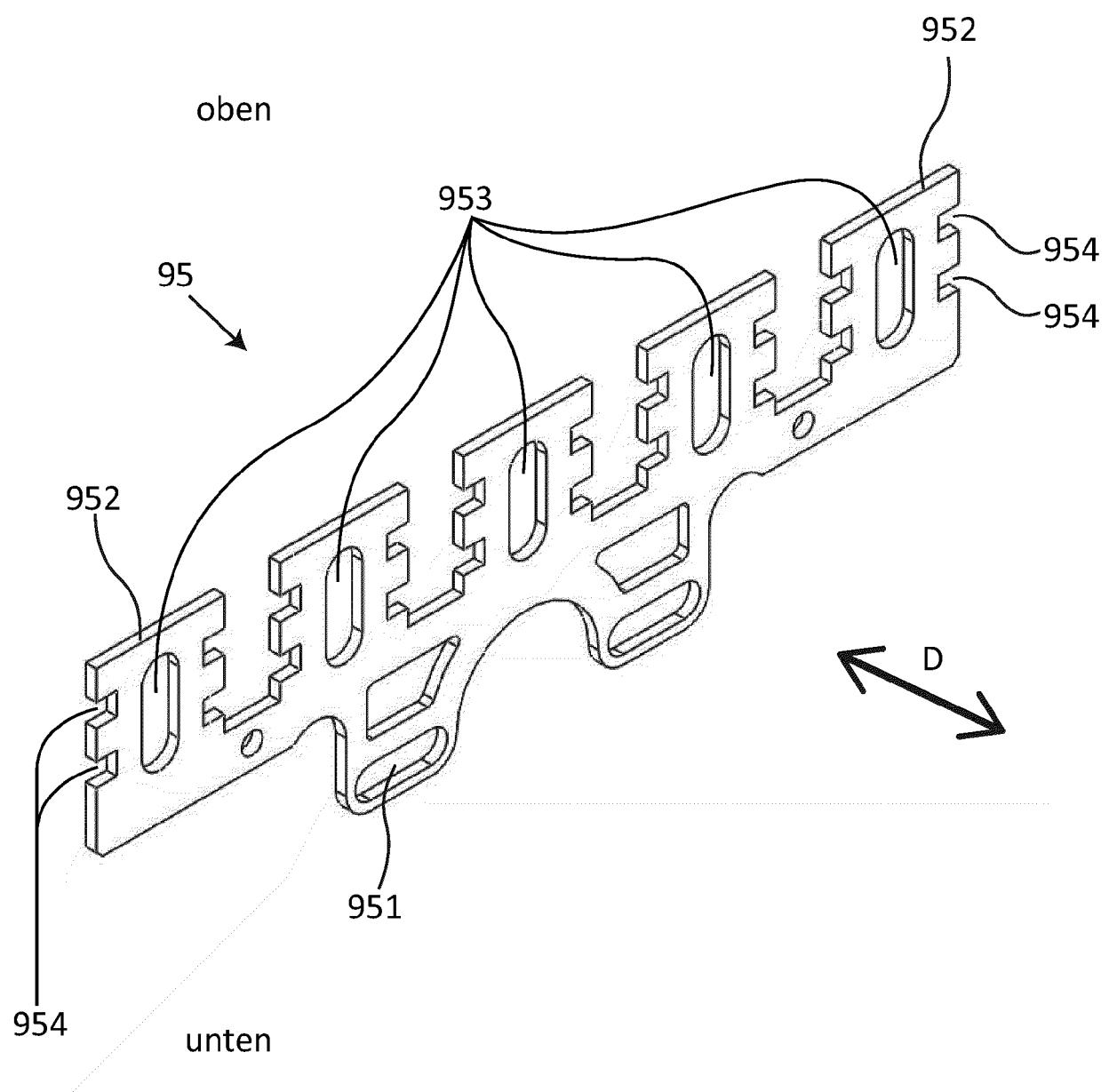


Fig. 15

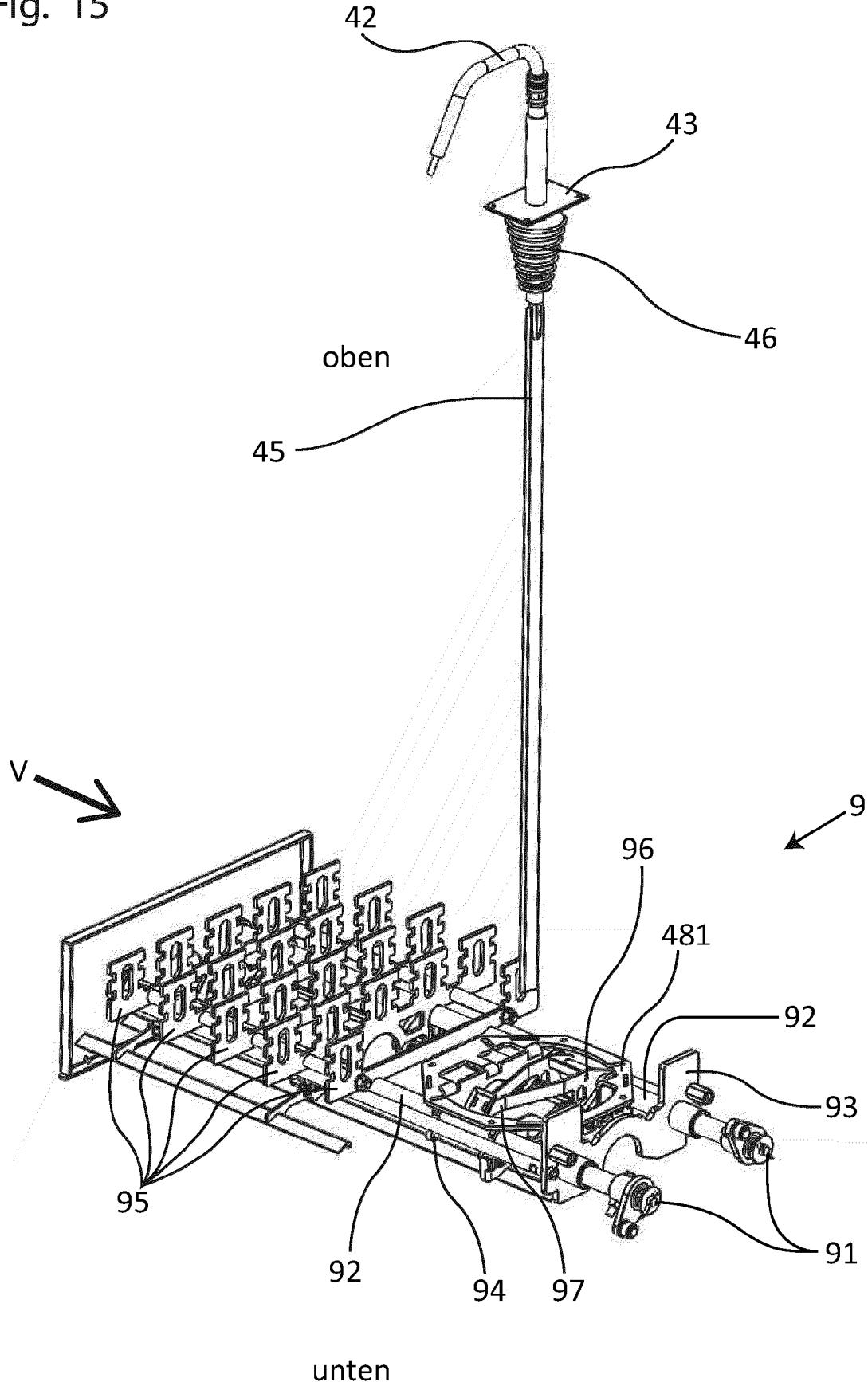


Fig. 16

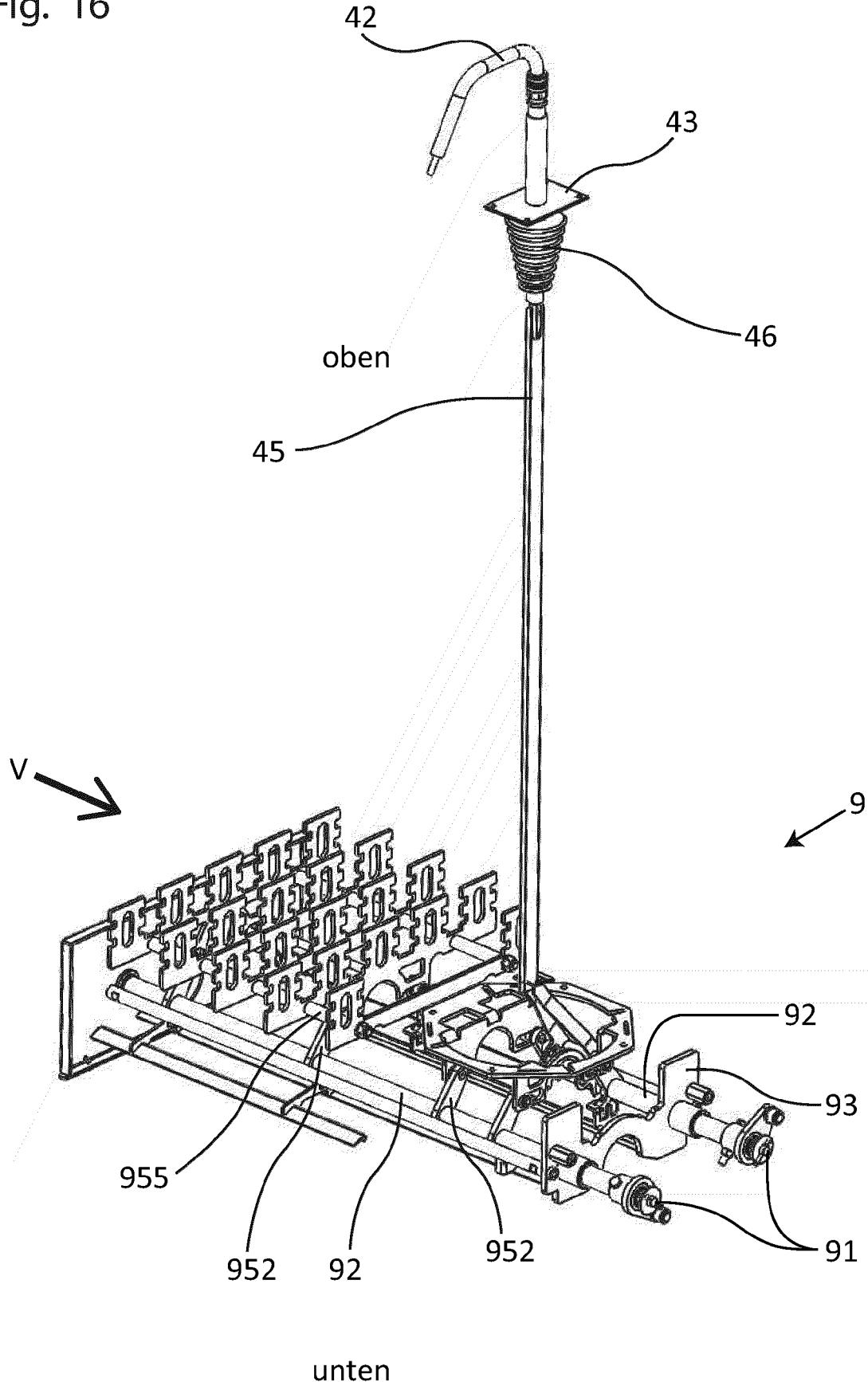


Fig. 17

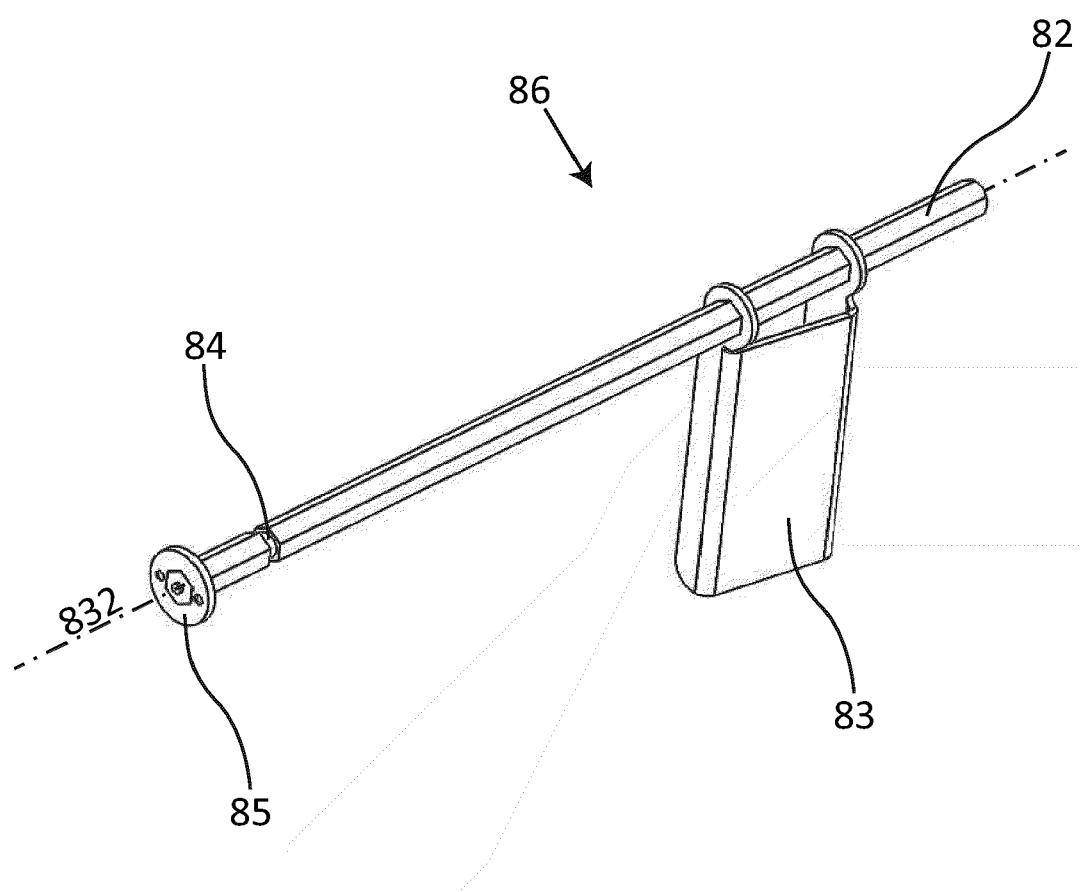


Fig. 18

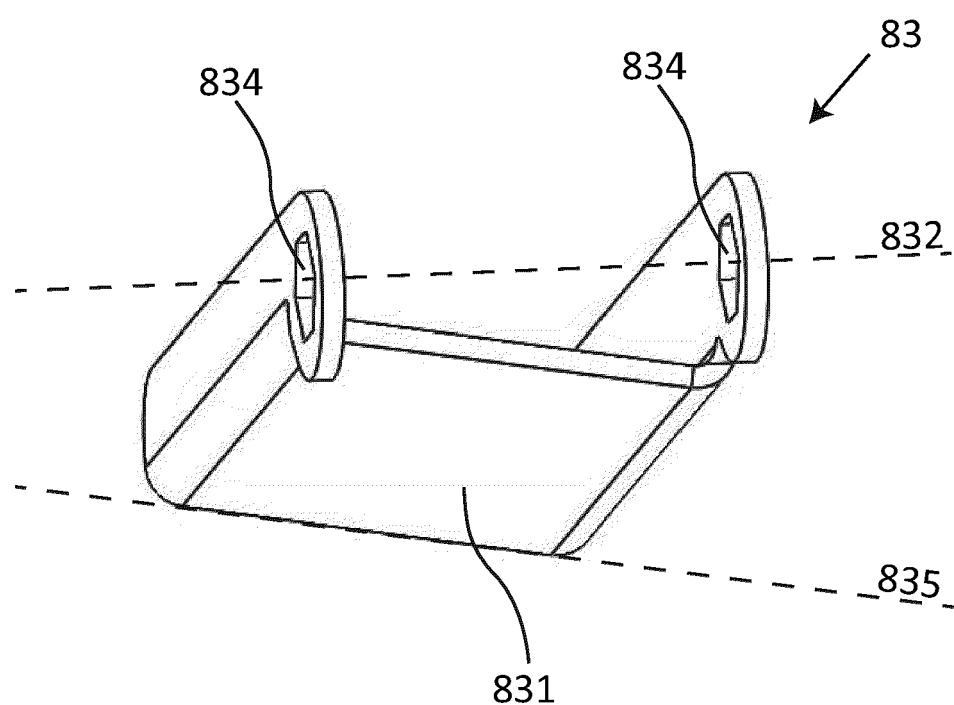


Fig. 19

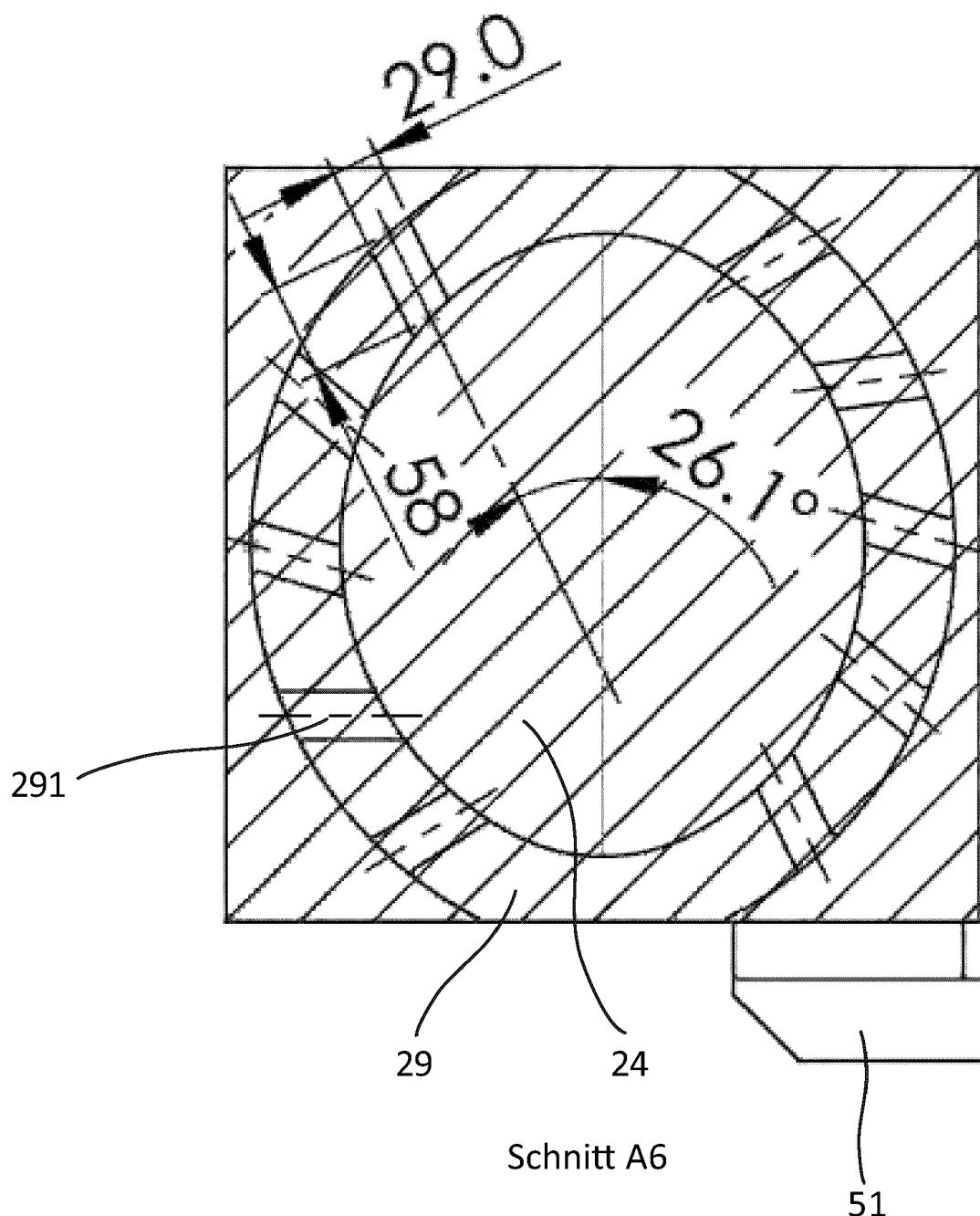
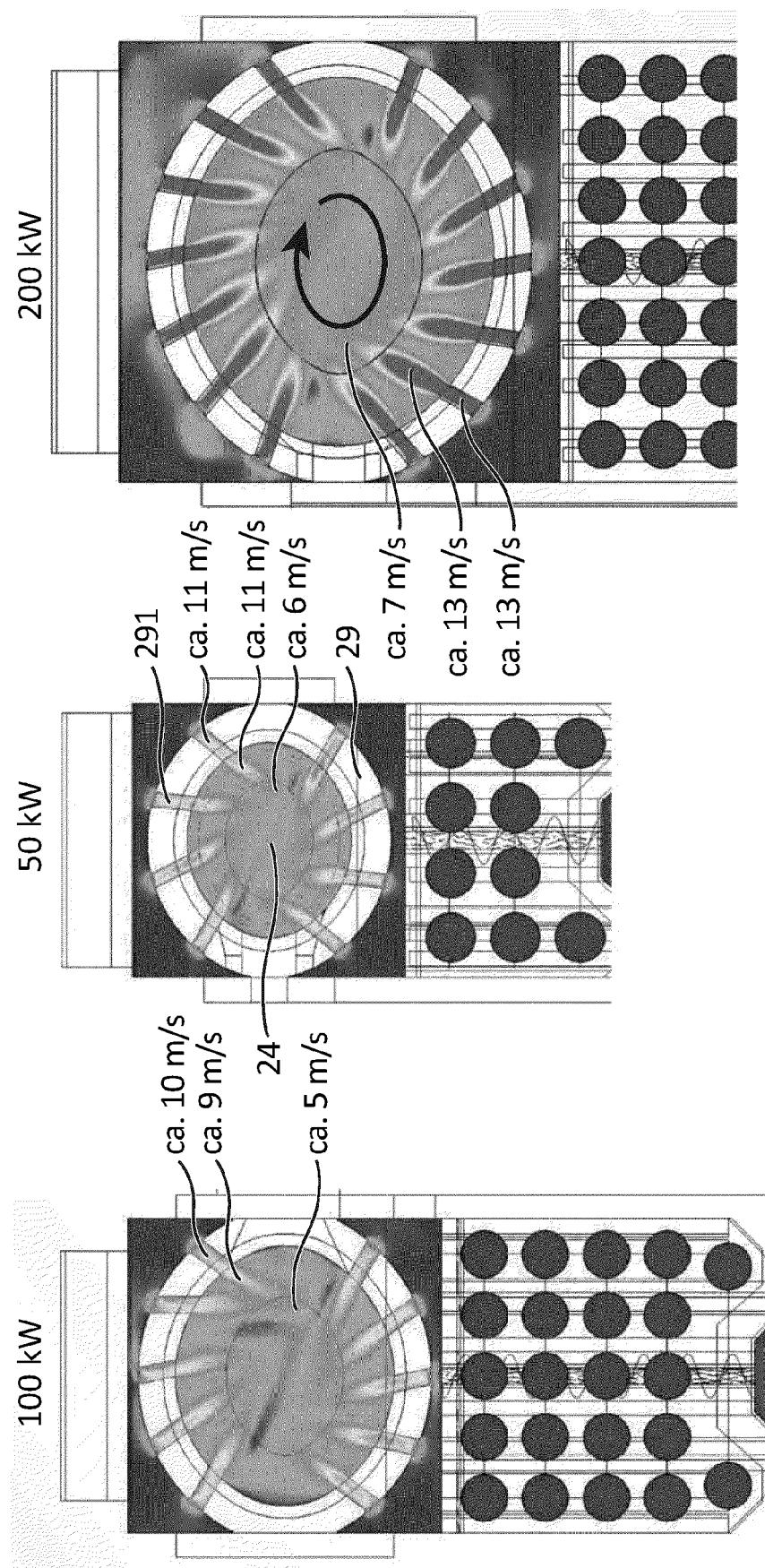
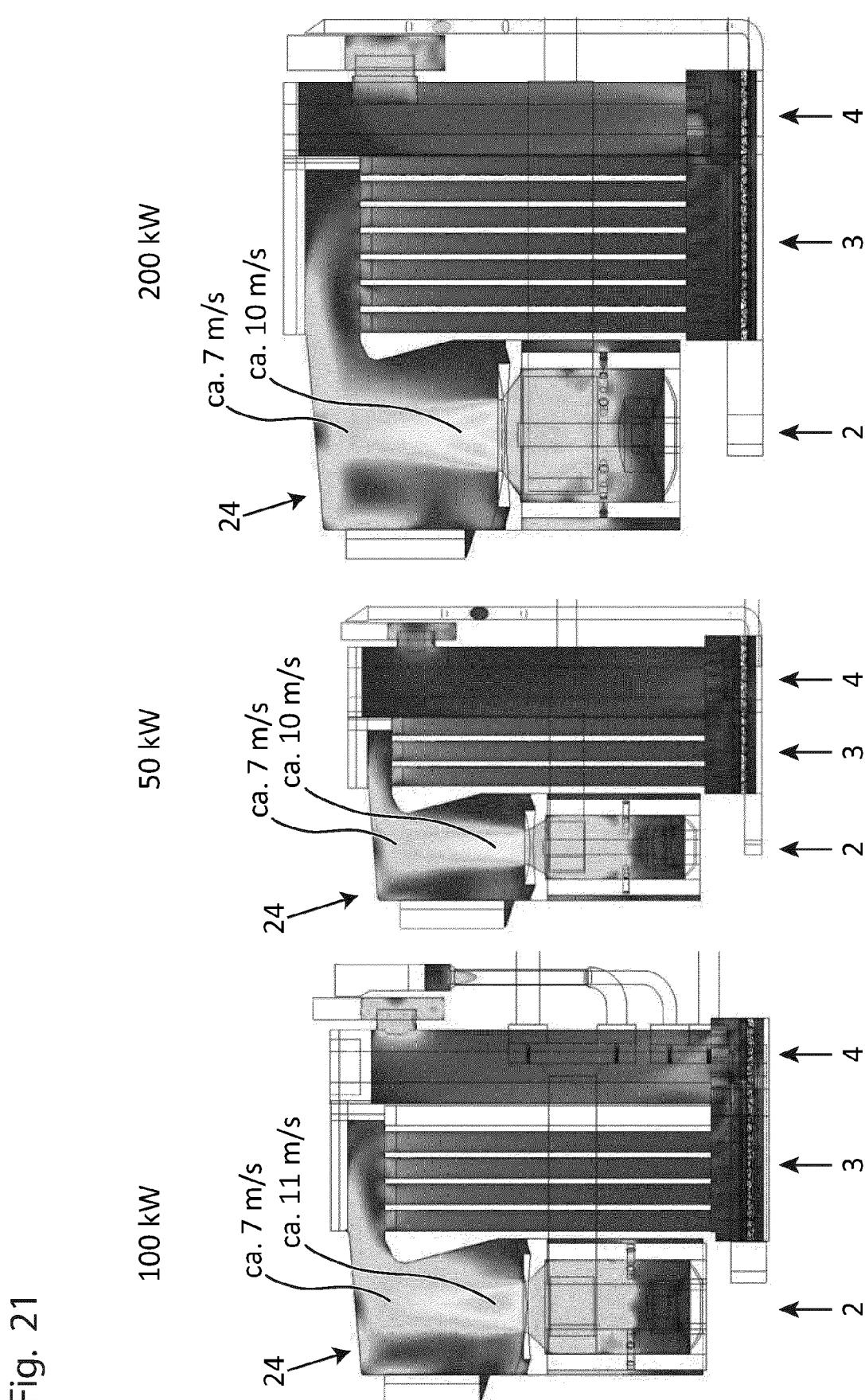


Fig. 20



Schnitt A6





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 20 19 4315

5

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betriefft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
10 X	US 2 933 057 A (WILSON FRANCIS D) 19. April 1960 (1960-04-19) * Spalte 1, Zeile 71 - Spalte 4, Zeile 2 * * Abbildungen 1-3 *	1,3,7-9, 11,13	INV. F23B30/00 F23B10/00 F23B10/02 F23B60/02
15 A	AT 6 972 U1 (HARTL ENERGY TECHNOLOGY KEG [AT]) 25. Juni 2004 (2004-06-25) * das ganze Dokument *	1-13	F23G5/24 F23H9/00 F23H13/06 F23L9/02
20 A	CN 108 826 310 A (ZHUZHOU CRRC SOUTH ENVIRONMENTAL PROTECTION TECH CO LTD) 16. November 2018 (2018-11-16) * Abbildungen 1-7 und dazu gehörige Abschnitte der Beschreibung *	1-13	
25 A	US 2013/133560 A1 (LASKOWSKI SCOTT [US] ET AL) 30. Mai 2013 (2013-05-30) * Seite 4, Absatz 42 - Seite 7, Absatz 55 * * Abbildungen 2-5 *	1-13	
30			RECHERCHIERTE SACHGEBiete (IPC)
35			F23B F23G F23H F23J F23M F23L
40			
45			
50 2	Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt		
55	Recherchenort München	Abschlußdatum der Recherche 25. Januar 2021	Prüfer Rudolf, Andreas
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			
T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmelde datum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 20 19 4315

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patendokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

25-01-2021

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	US 2933057 A	19-04-1960	KEINE	
15	AT 6972 U1	25-06-2004	KEINE	
	CN 108826310 A	16-11-2018	KEINE	
20	US 2013133560 A1	30-05-2013	US 2013133560 A1 US 2013137052 A1 WO 2013082146 A1	30-05-2013 30-05-2013 06-06-2013
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82