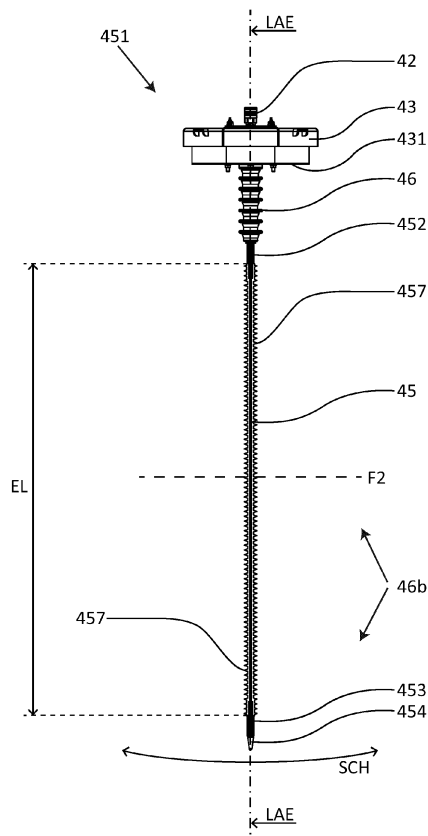


(71) Anmelder: **SL-Technik GmbH**
5120 St. Pantaleon (AT)

(72) Erfinder: **SOMMERAUER, Thilo**
5120 St. Pantaleon (AT)

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



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

5 **[0001]** Diese Anmeldung betrifft eine Biomasse-Heizanlage mit einer verbesserten elektrostatischen Filtereinrichtung.
[0002] Insbesondere betrifft die Erfindung eine Biomasse-Heizanlage mit einer elektrostatischen Filtereinrichtung mit einer verbesserten Elektrode, einem verbesserten Isolator, einer verbesserten Reinigungsmechanik und einer verbesserten Ansteuerung.

10 STAND DER TECHNIK

[0003] 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
 15 Pellets.

[0004] 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 Holzschnitzel, Holzhackschnitzel oder Hackschnitzel bezeichnet) ist mit schneidenden Werkzeugen zerkleinertes Holz.

20 **[0005]** 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 verschärften gesetzlichen Vorschriften weisen einige Biomasse-Heizanlagen auch einen Feinstaubfilter bzw. eine elektrostatische Filtereinrichtung (ebenso als "Abscheider" oder "E-Filter" bezeichnet) auf.

[0006] Solche Filtereinrichtungen bzw. Filter sind im Stand der Technik der EP 3 789 670 B1, der EP 3 789 671 B1 und auch der EP 3 789 676 B1 offenbart.

[0007] In Biomasse-Kleinf Feuerungen herrschte auf Grund der im Vergleich zu Großfeuerungen generell niedrigeren Staubemissionen lange kein Bedarf für den Einsatz dieser Technologie, womit der Einsatz dieser Technologie für Biomasse-Heizanlagen mit kleinerer Leistung (unter 500 kW) relativ jung ist und einiges an Verbesserungsbedarf besteht. Diese Anmeldung betrifft im Kern derartige Biomasse-Heizanlagen mit kleinerer Leistung.

30 **[0008]** Erst ab Anfang der 2000er Jahre entstand eine erhöhte öffentliche Aufmerksamkeit hinsichtlich der Feinstaubemissionen bei Kleinf Feuerungsanlagen. Beispielsweise die Einführung der 1. BImSchV in Deutschland im Jahr 2010 führte zu einem Umdenken. Die 1. BImSchV schreibt für den Zeitraum nach 31.12.2014 besonders hohe Anforderungen an die Staubemissionen von Pellet- und Hackgutfeuerungen im Leistungsbereich unter 500 kW vor. So müssen Grenzwerte für Staub von kleiner 20 mg/Nm³ (bezogen auf trockenes Rauchgas und 13 Vol% O₂) eingehalten werden. Eine wesentliche Anforderung dieses Gesetzes ist es, dass diese Staubemissionen nicht nur im Zuge der Typenprüfung nachzuweisen sind, sondern auch jährliche Überprüfungen durch die Kaminkehrer im Feldbetrieb stattfinden. Ähnliches gilt für eine Vielzahl an weiteren Ländern. Damit bestehen bei Filtern für Biomasse-Heizanlagen im niedrigeren Leistungsbereich (< 500 kW), um die sich diese Offenbarung im Kern dreht, Anforderungen nach einer langfristig bestehenden erhöhten Filterwirkung (Langzeitbetriebsstabilität bei hoher Abscheideleistung), während der Filter gleichzeitig kompakt
 35 in einen Kessel einer Kleinf Feuerung integrierbar sein muss.

[0009] Regelmäßig ist bei Biomasse-Heizanlagen weiteres verschiedenes Zubehör vorhanden, wie beispielsweise Brennstoff-Fördereinrichtungen, Regelungseinrichtungen, Sonden, Sicherheitsthermostate, Druckschalter, eine Rauchgas- bzw. Abgasrückführung, eine Kesselabreinigung und ein separater Brennstoffbehälter.

[0010] 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.

50 **[0011]** 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.

55 **[0012]** 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.

[0013] 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.

[0014] 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 Lambda-sonde kann der Verbrennungsprozess vorteilhaft geregelt werden.

[0015] 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.

[0016] 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 (CO₂) und Wasserdampf (H₂O). 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 (CO₂) 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. Ebenso entstehen Verbrennungsrückstände, wie beispielsweise Asche oder auch Schlacke.

[0017] Allerdings sind die vorstehend beschriebenen komplexen Verbrennungsvorgänge nicht einfach zu beherrschen. So besteht allgemein formuliert ein Verbesserungsbedarf betreffend der Verbrennungsvorgänge in Biomasse-Heizanlagen.

[0018] Neben der Luftzufuhr in die Brennkammer sind weiterhin Rauchgas- bzw. 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 bzw. eventuell von Frischluft. Eine Rauchgasrezirkulation kann unter oder über dem Rost erfolgen. Zudem kann die Rauchgasrezirkulation gemischt mit der Verbrennungsluft oder separat erfolgen.

[0019] Das Rauchgas bzw. 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 ein Konvektionsteil (dem daran anschließenden Wärmetauscher) auf.

[0020] Bei der Zündvorrichtung handelt es sich meistens um eine Heißlufteinrichtung oder eine Glüheinrichtung. 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.

[0021] Grundsätzlich bestehen bei herkömmlichen Biomasse-Heisanlagen die Probleme, dass die gasförmigen oder festen Emissionen zu hoch sind, dass der Wirkungsgrad zu niedrig ist und dass die Staubemissionen zu hoch sind.

[0022] 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-Heisanlagen, 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-Heisanlage aufrechtzuerhalten. So kann es insbesondere bei feuchtem Brennstoff oder auch bei der Verwendung von nicht genormtem Brennstoff oder einem Betrieb der Biomasse-Heisanlage nicht am optimalen Arbeitspunkt mit falsch gelagertem Brennstoff zu einer deutlich erhöhten Partikel- und Rußemission kommen. Allerdings ist es wünschenswert, eine Biomasse-Heisanlage auch unter nicht-optimalen Bedingungen bei möglichst niedriger Emission zu betreiben. Diesbezüglich besteht erheblicher Optimierungsbedarf.

[0023] Auch betreffend die Filter des Stands der Technik der EP 3 789 670 B1, der EP 3 789 671 B1 und auch der EP 3 789 676 B1 besteht betreffend obenstehender Probleme Verbesserungsbedarf.

[0024] Bei diesen Filtern des Stands der Technik ist es wünschenswert, die Funktionalität dieser Filter und auch deren Filterwirkung zu verbessern. So hat sich bei der Erprobung dieser Filter gezeigt, dass ein Verrußen des Filters zu Überschlagen führen kann und das Verrußen auch nicht effizient beseitigt werden kann. Ebenso ist die Reinigungsleistung dieser Filter, insbesondere in Anbetracht der in den letzten Jahren in vielen europäischen Ländern verschärften gesetzlichen Rahmenbedingungen, nicht als ausreichend betrachtet worden.

[0025] Es kann folglich eine Aufgabe der Erfindung sein, eine Biomasse-Heisanlage in Hybridtechnologie vorzusehen, welche emissionsarm (v. a. bzgl. Feinstaub, CO, Kohlenwasserstoffen, NO_x) ist, welche insbesondere brennstoffflexibel mit Hackgut und Pellets betrieben werden kann, und welche einen hohen Wirkungsgrad aufweist.

[0026] Dabei kann es auch eine Aufgabe der Erfindung sein, einen effizienteren und funktional optimierten elektrostatischen Filter vorzusehen.

[0027] 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.

[0028] Möglichst niedrige gasförmige Emissionen (kleiner als 50 oder 100 mg/Nm³ bezogen auf trockenes Rauchgas und 13 Volumenprozent O₂) sollen erzielt werden.

[0029] Sehr niedrige Staubemissionen kleiner 15 mg/Nm³ ohne und kleiner 5 mg/Nm³ mit Elektrofilterbetrieb werden angestrebt.

[0030] Ein hoher Wirkungsgrad von bis zu 98% (bezogen auf die zugeführte Brennstoffenergie (Heizwert) soll erreicht werden.

[0031] 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.

[0032] Zudem sollte eine hohe Anlagenverfügbarkeit vorhanden sein.

[0033] Dabei kann/können sich die vorstehend genannte Aufgabe(n) oder die potenziellen Einzelproblemstellungen auch auf einzelne Teilaspekte der Gesamtanlage beziehen, beispielsweise auf die Regelung und/oder Steuerung.

[0034] Diese vorstehend genannte(n) Aufgabe(n) wird/werden durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst. Weitere Aspekte und vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0035] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Offenbarung ist eine Biomasse-Heisanlage zur Verfeuerung von Brennstoff in Form von Pellets und/oder Hackgut vorgesehen; diese Biomasse-Heisanlage aufweisend: einen Kessel mit einem Gehäuse; eine Brenneinrichtung mit einer Brennkammer; einen Wärmetauscher, der stromabwärts zu der Brennkammer angeordnet und mit der Brennkammer strömungstechnisch verbunden ist; eine elektrostatische Filtereinrichtung zur Filterung eines in der Brenneinrichtung entstehenden Rauchgases, wobei die Filtereinrichtung stromabwärts zu dem Wärmetauscher angeordnet und mit dem Wärmetauscher strömungstechnisch verbunden ist; eine Steuereinrichtung zur Ansteuerung der elektrostatischen Filtereinrichtung; wobei die elektrostatische Filtereinrichtung das Folgende aufweist: ein röhrenförmiges Innenvolumen, in welchem das Rauchgas strömt; eine erste stabförmige Elektrode, welche als eine Sprühelektrode ausgebildet ist; und eine zweite rohrförmige Elektrode, welche als eine Gegenelektrode ausgebildet ist; und einen Isolator zur Halterung der Sprühelektrode; und einen Filtereintritt, durch welchen das Rauchgas in die Filtereinrichtung eintreten kann; und einen Filteraustritt, durch welchen das Rauchgas aus der Filtereinrichtung austreten kann.

[0036] Die Vorteile dieser Konfiguration und auch der folgenden Aspekte ergeben sich aus der folgenden Beschreibung der zugehörigen Ausführungsbeispiele.

[0037] Gemäß einer Weiterbildung des vorstehenden Aspekts ist eine Biomasse-Heisanlage vorgesehen, wobei die Sprühelektrode ein Kreuzprofil oder ein Sternprofil aufweist; die Sprühelektrode pendelfähig am Isolator aufgehängt ist und in Ruhestellung eine vertikale Längsachse (LAE) aufweist, wobei die Biomasse-Heisanlage derart eingerichtet ist, dass die Sprühelektrode zur Reinigung derart ausgelenkt werden kann, dass diese in zumindest zwei Richtungen pendeln kann.

[0038] Biomasse-Heisanlage gemäß dem vorausgehenden Aspekt, wobei die Sprühelektrode aus zumindest zwei miteinander verbundenen, länglichen und plattenförmigen Elektrodenanteilen vorgesehen ist, wobei zumindest eines der Elektrodenanteile sägezahnförmige Vorsprünge aufweist.

[0039] Biomasse-Heisanlage gemäß einem der vorausgehenden Aspekte, wobei der Isolator ein stabförmiger Keramik- oder Porzellanisolator ist; und der Isolator Rippen aufweist, wobei zwischen den Rippen des Isolators Ausnehmungen zum Vorsehen einer Mehrzahl von Sollabbrandstellen für leitfähige Ablagerung auf der Oberfläche des Isolators vorgesehen sind.

[0040] Biomasse-Heisanlage gemäß einem vorausgehenden Aspekt, wobei zwischen den Rippen des Isolators, jeweils eine Ausnehmung, ein Zwischenkegelteil mit einer der Ausnehmung zugewandten Endkante und ein Zwischenzylinderteil vorgesehen sind.

[0041] Biomasse-Heisanlage gemäß einem der vorausgehenden Aspekte, wobei ein Hauptkörper des Isolators zu einer Öffnung des Filteraustritts in einer Längsrichtung der röhrenförmigen Filtereinrichtung versetzt angeordnet ist; und wobei der Isolator an einem Ende der Filtereinrichtung angeordnet ist, welche dem Ende entgegengesetzt angeordnet ist, an welchem der Filtereintritt vorgesehen ist.

[0042] Biomasse-Heisanlage gemäß einem der vorausgehenden Aspekte, wobei die Biomasse-Heisanlage derart eingerichtet ist, dass die durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit in der Filtereinrichtung im Vollastbetrieb der Biomasse-Heisanlage in einem Bereich von 0,5 bis 3 m/s, vorzugsweise in einem Bereich von 1 bis 2 m/s liegt.

[0043] Biomasse-Heisanlage gemäß einem der vorausgehenden Aspekte, wobei die Biomasse-Heisanlage derart eingerichtet ist, dass die Temperatur des Rauchgases im Filtereintritt im Vollastbetrieb der Biomasse-Heisanlage kleiner als 220°C, vorzugsweise kleiner als 200°C, ist.

[0044] Biomasse-Heisanlage gemäß einem der vorausgehenden Aspekte, wobei die Brenneinrichtung, der Wärmetauscher und die elektrostatische Filtereinrichtung gemeinsam im Kessel angeordnet sind, und im Wärmetauscher Turbulatoren als Strömungsbremsen derart angeordnet sind, dass die maximale Eintrittsgeschwindigkeit des Rauchgases in die Filtereinrichtung 2 m/s im Vollastbetrieb beträgt.

[0045] Biomasse-Heisanlage gemäß einem der vorausgehenden Aspekte, weiter aufweisend: eine Reinigungseinrichtung mit einem Reinigungsantrieb zur Betätigung eines Schlaghebels, wobei der Schlaghebel einen kegelförmigen Schlagkopf aufweist.

[0046] Biomasse-Heisanlage gemäß einem der vorausgehenden Aspekte, wobei zumindest ein Hauptkörper des Isolators in einem endseitigen Totvolumen des Innenvolumens der Filtereinrichtung angeordnet ist.

[0047] Biomasse-Heisanlage gemäß einem der vorausgehenden Aspekte, wobei der Filteraustritt des Filters derart angeordnet ist, dass dieser auf einer relativen Längsposition bzw. Höhe des Filters vorgesehen ist, die, bevorzugt vollständig, unterschiedlich zu einer Längsposition bzw. Höhe eines Hauptkörpers des Isolators ist.

[0048] Biomasse-Heisanlage gemäß einem der vorausgehenden Aspekte, wobei die Steuereinrichtung derart eingerichtet ist, dass: im Betriebszustand eines Ausbrennens des Kessels nach Beendigung einer Brennstoffzufuhr eine Filterspannung (Vf) sukzessive erhöht wird, so dass leitfähige Ablagerung auf der Oberfläche des Isolators mittels einer Glimmentladung abgebrannt werden.

[0049] "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 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.

[0050] Obschon alle vorstehenden Einzelmerkmale und Details eines Aspekts der Erfindung und der Weiterbildungen dieses Aspekts in Zusammenhang mit der Biomasse-Heisanlage und der Rezirkulationseinrichtung beschrieben sind, so sind diese Einzelmerkmale und Details auch als solche unabhängig von der Biomasse-Heisanlage offenbart.

[0051] Dabei sind als Einzelaspekte insbesondere der Isolator, die Elektrode und der Abreinigungshebel auch unabhängig von der Biomasse-Heisanlage offenbart und können auch unabhängig von der Biomasse-Heisanlage im Oberbegriff beansprucht werden.

[0052] Zudem sind unabhängig von der Biomasse-Heisanlage Regelungsverfahren für eine Biomasse-Heisanlage beschrieben und können entsprechend unabhängig davon beansprucht werden.

[0053] Im Rahmen der vorliegenden Offenbarung ist eine elektrostatische Filtereinrichtung unabhängig von der Biomasse-Heisanlage offenbart, wobei die elektrostatische Filtereinrichtung das Folgende aufweist:

ein röhrenförmiges Innenvolumen, in welchem das Rauchgas strömt; eine erste stabförmige Elektrode, welche als eine Sprühelektrode ausgebildet ist; und eine zweite rohrförmige Elektrode, welche als eine Gegenelektrode ausgebildet ist; und einen Isolator zur Halterung der Sprühelektrode; und einen Filtereintritt, durch welchen das Rauchgas in die Filtereinrichtung eintreten kann; und einen Filteraustritt, durch welchen das Rauchgas aus der Filtereinrichtung austreten kann.

[0054] Diese elektrostatische Filtereinrichtung kann auch unabhängig von der vorliegenden Biomasse-Heisanlage mit einzelnen vorstehenden Aspekten oder Merkmalen der nachstehenden Ausführungsformen kombiniert werden.

[0055] Diese Einzelaspekte und auch die Regelverfahren können zudem mit weiteren hierin offenbarten Aspekten und Einzelmerkmalen der vorliegenden Offenbarung kombiniert werden, so wie der Fachmann dies als technisch machbar erachtet.

[0056] Die erfindungsgemäße Biomasse-Heisanlage wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen und einzelnen Aspekten anhand der Figuren der Zeichnung näher erläutert:

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

Fig. 2 zeigt eine Querschnittsansicht durch die Biomasse-Heisanlage 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-Heisanlage 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 einen herausgestellten Teil der Filtereinrichtung aus einer Seitenansicht der Biomasse-Heisanlage;

Fig. 5 zeigt den herausgestellten Teil der Filtereinrichtung der Fig. 4 aus einer perspektivischen Ansicht und der Seite und von unten;

Fig. 6 zeigt verschiedene Ansichten der Sprühelektrode der Fig. 5, wobei Einzelteile der Sprühelektrode als Elektrodenanteile, sowie eine Unteransicht der zusammengesetzten Elektrode aus der Richtung F1 und eine Schnittansicht der zusammengesetzten Elektrode entlang der Schnittlinie F2 dargestellt sind;

Figs. 7a bis 7d zeigen alternative Sprühelektroden mit alternativen Profilen;

Fig. 8a zeigt eine Seitenansicht eines Isolators 46;

Fig. 8b zeigt einen Ausschnitt IS der Fig. 8a;

Fig. 9 zeigt eine Seitenansicht des Isolators der Fig. 8a zusammen mit einem Halterungsblech;

Fig. 10 zeigt eine herausgestellte perspektivische Ansicht der Fig. 8a von schräg oben;

Fig. 11 zeigt ein allgemeines Betriebsverfahren der vorliegenden Biomasse-Heisanlage;

Fig. 12a zeigt ein Verfahren zur Regelung einer Filtereinrichtung während der Stabilisierung der Verbrennung, d.h. ein Filterstabilisierungsregelungsverfahren;

Fig. 12b zeigt ein Verfahren zur Regelung der Filtereinrichtung 4 während der Verbrennung (im normalem Verbrennungsbetrieb des Kessels), d.h. ein Filterverbrennungsregelungsverfahren;

Fig. 12c zeigt ein Verfahren zur Regelung der Filtereinrichtung 4 während des Ausbrennens, d.h. ein Filterausbrennregelungsverfahren;

Fig. 12d zeigt ein Verfahren zur Regelung der Filtereinrichtung zur Vermeidung von Durchschlägen im Filter, d.h. ein Filterdurchschlagsregelungsverfahren DU;

- Fig. 13 zeigt ein Leistungsdiagramm, ein Spannungsdiagramm und ein Stromdiagramm mit gemeinsamer Zeitachse eines beispielhaften Zyklus des Verbrennungsbetriebs der Biomasse-Heizanlage von der Zündung bis zum Ausbrennen;
- 5 Fig. 14 zeigt einen Querschnitt durch die Biomasse-Heizanlage der Fig. 2 mit dem Ergebnis einer CFD-Temperatursimulation;
- Fig. 15 zeigt einen Querschnitt durch die Biomasse-Heizanlage der Fig. 2 mit dem Ergebnis einer CFD-Strömungssimulation, welche mit der CFD-Temperatursimulation der Fig. 14 korrespondiert;
- 10 Fig. 16a zeigt eine dreidimensionale Schnittansicht der Filtereinrichtung der Biomasse-Heizanlage der Fig. 2 von hinten (d.h. von einer Richtung, die entgegengesetzt dem Pfeil V der Fig. 1 ist) in einem Ruhezustand der Abreinigung;
- 15 Fig. 16b zeigt eine ebene Schnittansicht der Filtereinrichtung der Biomasse-Heizanlage von hinten in dem Ruhezustand der Abreinigung der Fig. 16a;
- Fig. 17a zeigt eine dreidimensionale Schnittansicht der Filtereinrichtung der Biomasse-Heizanlage von hinten in einem ersten Abreinigungszustand;
- 20 Fig. 17b zeigt eine ebene Schnittansicht der Filtereinrichtung der Biomasse-Heizanlage von hinten in dem ersten Abreinigungszustand der Fig. 17a;
- Fig. 18a zeigt eine dreidimensionale Schnittansicht der Filtereinrichtung der Biomasse-Heizanlage von hinten in einem zweiten Abreinigungszustand;
- 25 Fig. 18b zeigt eine ebene Schnittansicht der Filtereinrichtung der Biomasse-Heizanlage von hinten in dem zweiten Abreinigungszustand der Fig. 18a;
- 30 Fig. 19a zeigt eine dreidimensionale Schnittansicht der Filtereinrichtung der Biomasse-Heizanlage von hinten in einem dritten Abreinigungszustand;
- Fig. 19b zeigt eine ebene Schnittansicht der Filtereinrichtung der Biomasse-Heizanlage von hinten in dem dritten Abreinigungszustand der Fig. 19a;
- 35 Fig. 20a zeigt eine dreidimensionale Schnittansicht der Filtereinrichtung der Biomasse-Heizanlage von hinten in einem vierten Abreinigungszustand;
- Fig. 20b zeigt eine ebene Schnittansicht der Filtereinrichtung der Biomasse-Heizanlage von hinten in dem vierten Abreinigungszustand der Fig. 20a;
- 40 Figs. 21a bis 21d zeigen verschiedene Ansichten des Anschlaghebels 96 mit dessen kegelförmigen Schlagkopf 97.

BESCHREIBUNG VON BEISPIELHAFTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

45 **[0057]** 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.

[0058] 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.

55 **[0059]** 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.

[0060] 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.

[0061] 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 Bedeutung 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.

[0062] 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.

[0063] 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.

[0064] 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.

[0065] 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.

[0066] Fig. 1 zeigt eine dreidimensionale Überblicksansicht der Biomasse-Heizanlage 1 gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

[0067] 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.

[0068] 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. Nicht vollständig dargestellt ist eine Isolation des Kessels 11.

[0069] 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.

[0070] 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.

[0071] Im Hinterteil des Kessels 11 befindet sich eine elektrostatische Filtereinrichtung 4 (kurz auch als Filter 4 bezeichnet) mit einer Elektrode 45 (vgl. Fig. 2 ff.), die mit einer isolierenden Elektrodenhalterung 43 aufgehängt ist, und die über eine Elektrodenversorgungsleitung 42 unter Spannung gesetzt wird. Die Filtereinrichtung 4 weist ein röhrenförmiges Innenvolumen 46b, welches sich in einer Längsrichtung der Filtereinrichtung 4 erstreckt.

[0072] Das Abgas der Biomasse-Heizanlage 1, welches durch die Filtereinrichtung 4 geströmt ist, wird über einen Abgasausgang 41 abgeführt, der der Filtereinrichtung 4 (fluidisch) strömungstechnisch nachgelagert angeordnet ist. Hier kann ein Ventilator oder ein Gebläse vorgesehen sein.

[0073] Hinter dem Kessel 11 ist eine Rezirkulationseinrichtung 5 vorgesehen, die einen Teil des Rauch- bzw. Abgases über Rezirkulationskanäle 51, 53 und 54 und Klappen 52 zur Kühlung des Verbrennungsvorgangs und Wiederverwendung beim Verbrennungsvorgang rezirkuliert.

[0074] 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-Förderschnecke 67 antreiben kann, so dass der Brennstoff in einem Brennstoff-Zufuhrkanal 64 zu der Brenneinrichtung 2 gefördert wird.

[0075] Im unteren Teil der Biomasse-Heizanlage 1 ist eine Ascheabfuereinrichtung 7 vorgesehen, welche eine Ascheaustragungsschnecke 71 in einem Ascheaustragungskanal aufweist, die von einem Motor 72 betrieben wird.

[0076] Die Biomasse-Heizanlage 1 weist des Weiteren eine Steuereinrichtung 100 auf. Diese Steuereinrichtung 100

ist mit einem herkömmlichen Prozessor, flüchtigem und nicht-flüchtigem Speicher (beispielsweise (S-) RAM, ROM, Flash und/oder Cache-Speicher), sowie diversen Schnittstellen vorgesehen. Als Schnittstellen können analoge oder digitale Ein- und Ausgänge vorgesehen sein. Beispielsweise können CAN-Bus Schnittstellen, 0-10V analoge Eingänge oder 4-20 mA analoge Eingänge/Ausgänge für Sensoren und Aktoren und/oder RS-232 Schnittstellen vorgesehen sein.

Zudem weist die Steuereinrichtung vorzugsweise (optional) zumindest eine Schnittstelle mit einem Internet-Protokoll (IP, Ethernet, WLAN) nach den bekannten Standards auf. Damit kann die Steuereinrichtung, bevorzugt über das Internet, mit den von der Biomasse-Heisanlage 1 entfernt installierten Datenverarbeitungseinrichtungen kommunizieren.

[0077] Mit der Möglichkeit einer Kommunikation zu entfernt angeordneten Datenverarbeitungseinrichtungen oder auch einem zentralen Server kann die Steuereinrichtung 100 ein Teil eines verteilten Systems zum maschinellen Lernen darstellen, welches später in Bezug auf die Figuren 19 näher erläutert ist.

[0078] Weiterhin kann die Steuereinrichtung 100 eine Tastatur und/oder ein Display zur Anzeige von Betriebsdaten aufweisen. Das Display kann ebenso eine sog. Touch-Funktion aufweisen, bei der ein Bediener Eingaben auf dem Display vornehmen kann.

[0079] Die Steuereinrichtung 100 kann auch eine Spannungserzeugungseinheit aufweisen, welche die Spannung für den Betrieb der Filtereinrichtung 4 erforderlich ist.

[0080] Neben der Steuereinrichtung 100 sind eine Mehrzahl von Sensoren zur Erfassung von physikalischen und/oder chemischen Größen der Biomasse-Heisanlage 1 vorgesehen. Beispiele solcher Sensoren sind in Bezug auf die Fig. 2 näher beschrieben.

[0081] Einer der Sensoren, der mit der Steuereinrichtung 100 kommunikativ verbunden sein kann, kann ein Kesseltemperatursensor 115 sein. Eine Brennkammer 24 oder Kesselrohre 32 (vgl. Fig. 2) sind zumindest teilweise von einem Wärmetauschmedium 38 (vgl. Fig. 2), beispielsweise (Heizungs-)Wasser, umgeben. Der Kesseltemperatursensor 115 misst oder erfasst die Temperatur des Wärmetauschmediums 38 im Kessel 11 vorzugsweise an einer Stelle, die für eine Durchschnittstemperatur des Wärmetauschmediums 38 im Kessel 11 repräsentativ ist.

[0082] Die von dem Kesseltemperatursensor 115 erfasste Temperatur wird an die Steuereinrichtung 100 kommuniziert (vorzugsweise als Signal, beispielsweise als Spannungssignal, als Stromsignal oder als digitales Signal), womit der Steuereinrichtung 100 die Temperatur (welche eventuell noch aus dem Signal berechnet werden muss, beispielsweise könnte die Spannung von 1 Volt 10 Grad Celsius über einem Nullpunkt entsprechen) zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung steht.

[0083] Dabei kann die Steuereinrichtung die von dem Kesseltemperatursensor 115 erfasste Temperatur in einem (permanenten oder flüchtigen) Speicher abspeichern, und/oder die Temperatur als Trainingsdaten für das maschinelle Lernen verwenden.

[0084] Das vorstehend betreffend Kesseltemperatursensor 115 und der erfassten Temperatur (als erfasste physikalische Größe) Dargelegte kann auch auf weitere Sensoren und physikalische oder chemische Größen Anwendung finden, insbesondere auf die Sensoren, welche mit Bezug auf Fig. 2 beschrieben werden. Als Sensoren können insbesondere Sensoren der Brennstoffbetthöhe bzw. Glutbetthöhe 86, die Lambdasonde 112, der Abgastemperatursensor 111, der Unterdrucksensor 113, der Heizungswassertemperatursensor 114 verwendet werden.

[0085] Weiter kann die Steuereinrichtung 100 Sensoren aufweisen, mit denen die (Soll-) Spannung, welche an der Elektrode 45 der Filtereinrichtung 100 anliegen soll, und der Strom I_f , der in der Filtereinrichtung 4 fließt, erfasst werden kann. Damit kann die Steuereinrichtung 100 Stromerfassungsmittel zum Erfassen des Stroms durch die Elektrode 45 aufweisen. Ebenso kann die Steuereinrichtung 100 Spannungserfassungsmittel zum Erfassen der Filterspannung V_f , welche an der Elektrode 45 anliegt, aufweisen.

[0086] Zudem können auch die Aktoren der Biomasse-Heisanlage 1 mit der Steuereinrichtung 100 kommunikativ verbunden sein. Dabei können beispielsweise die Luftventile 52 der Rezirkulationseinrichtung 5, die Zündeinrichtung 201, die Motoren 231 und 66, der elektrostatische Filter 4 bzw. der Elektrofilter 4 (bspw. dessen An-/Aus Zustand S_f), die Ascheabfuhr 7 bzw. deren Motor 72, die Brennstoffzufuhr 6 mit deren Zellenradschleuse 61 bzw. deren Antriebsmotor 66 oder die Reinigungseinrichtung 9 mit deren Antrieb 91 durch die Steuereinrichtung 100 angesteuert werden.

[0087] Auch ist die Filtereinrichtung 4 mit der Steuereinrichtung 100 derart kommunikativ verbunden, dass der Zustand, die Spannung und/oder die Bestromung der Elektrode 45 gesteuert werden kann. Dabei kann die Steuereinrichtung 100 derart eingerichtet sein, dass der An-/Aus-Zustand S_f der Elektrode 45 und deren Spannung V_f eingestellt werden kann. Beispielsweise kann die Spannung in einem Bereich von 10-80 kV, vorzugsweise in einem Bereich von 10-60 kV, eingestellt werden.

[0088] Die Steuereinrichtung 100 kann damit eine Regelung der Biomasse-Heisanlage 1 vornehmen. Zumindest eine erfasste physikalische/chemische Größe und/oder zumindest eine elektrotechnische Größe zumindest eines Sensors der Biomasse-Heisanlage 1 wird zu der Steuereinrichtung 100 kommuniziert, die Biomasse-Heisanlage 1 verwendet diese Größe(n) zur Berechnung einer Regelantwort, wobei die Regelantwort wiederum zur Einstellung zumindest eines Aktors der Biomasse-Heisanlage 1 verwendet wird. Aufgrund der Einstellung des zumindest eines Aktors wiederum werden die physikalisch/chemischen Vorgänge in der Biomasse-Heisanlage 1 (insb. diejenigen der Verbrennung) beeinflusst, was wiederum von dem zumindest einem Sensor erfasst wird. Damit schließt sich zumindest ein Regelkreis.

Aufgrund der Vielzahl von möglichen Regelungsaufgaben der Steuereinrichtung 100 kann durch die Steuereinrichtung 100 auch mehr als ein Regelkreis der Biomasse-Heisanlage gleichzeitig geregelt werden.

[0089] Insbesondere kann die Regelung der Filtereinrichtung (Spannungsregelung der Elektrode 45) basierend auf diversen erfassten Größen erfolgen. Dies wird später näher erörtert.

[0090] Fig. 2 zeigt eine Querschnittsansicht durch die Biomasse-Heisanlage 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 "S" des Rauchgases, und strömungstechnische Querschnitte schematisch dargestellt (Diese Strömungen entsprechen auch Verfahrensschritten S1..., von der Erzeugung des Rauchgases bis zum Austritt aus der Biomasse-Heisanlage 11). Zu Fig. 3 ist anzumerken, 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.

[0091] 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 Wasser oder ein anderes fluides Wärmetauschmedium 38 zirkulieren kann. Zur Zufuhr und Abfuhr des Wärmetauschmediums ist eine Wasserzirkulationseinrichtung 14 mit Pumpe, Ventilen, Leitungen, etc. vorgesehen.

[0092] Die Brenneinrichtung 2 weist eine Brennkammer 24 auf, in der im Kern der Verbrennungsprozess des Brennstoffes stattfindet. Die Brennkammer 24 weist einen mehrteiligen Drehrost 25 auf, auf dem das Brennstoffbett 28 aufliegt. Der mehrteilige Drehrost 25 ist mittels einer Mehrzahl von Lagerachsen 81 drehbar gelagert angeordnet.

[0093] Weiter bezugnehmend auf Fig. 2 und Fig. 3 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.

[0094] 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. 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.

[0095] Es sind die Sekundärluftdüsen 291 somit 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.

[0096] Dabei 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.

[0097] 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 Gusseisen, 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.

[0098] 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.

[0099] Durch die Sekundärlufteindüsung hervorgerufen bilden sich in der isolierten bzw. begrenzten Brennkammer 24 ausgeprägt Drall- bzw. Rotations- bzw. Wirbelströmungen aus. Dabei trägt insbesondere die ovale Brennkammergeometrie 24 dazu bei, dass sich die Wirbelströmung ungestört bzw. optimal entwickeln kann.

[0100] Nach dem Austritt aus der Düse 203, die diese Wirbelströmungen nochmals bündelt, zeigen sich kerzenflammenförmige Rotationsströmungen S2, 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 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.

[0101] Die Sekundärluftdüsen 291 sind in den elliptischen bzw. ovalen Querschnitt der Brennkammer 24 somit 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 Luftüberschuss und somit maximalem Wirkungsgrad ermöglichen.

[0102] 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.

[0103] 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.

[0104] Nach der Sekundärverbrennungszone 27 strömt das Rauchgas in die Wärmetauscheinrichtung 3, welche ein Bündel von parallel zueinander vorgesehenen 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.

[0105] 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.

[0106] Der Ausgang der Kesselrohre 32 mündet über den Wendekammereintritt 34 bzw. -einlass in die Wendekammer 35. Dabei ist die Wendekammer 35 derart gegenüber der Brennkammer 24 abgedichtet, dass kein Rauchgas aus der Wendekammer 35 direkt zurück in die Brennkammer 24 strömen kann. Allerdings ist trotzdem ein gemeinsamer (Ab-)Transportweg für die Verbrennungsrückstände vorgesehen, die im gesamten Strömungsbereich des Kessels 11 anfallen können. 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.

[0107] Elektrostatische Staubfilter, in der Wissenschaft 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 Staubeilchen durch eine Koronaentladung einer Sprühelektrode elektrisch aufgeladen und zur entgegengesetzt aufgeladenen Elektrode (Niederschlagselektrode) gezogen. Die Koronaentladung findet auf einer dafür geeigneten, geladenen Hochspannungselektrode (auch als Sprühelektrode bezeichnet) im Inneren des Elektrofilters statt.

[0108] Die (Sprüh-) Elektrode 45 ist mit herausragenden Spitzen und eventuell mit scharfen Kanten ausgeführt, weil dort die Dichte der Feldlinien und damit auch die elektrische Feldstärke am größten und somit die Koronaentladung begünstigt ist. Näheres zu einer optimierten Geometrie findet sich später in Bezug auf die Figuren 4 bis 6.

[0109] Die gegengesetzte Elektrode (Gegenelektrode bzw. Niederschlagselektrode) besteht für gewöhnlich aus einem geerdeten Abgasrohrabschnitt oder einer käfigartigen Anordnung, der um die Elektrode gelagert bzw. vorgesehen ist.

[0110] 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 der Spannungserzeugungseinheit der Steuereinrichtung 100 (nicht dargestellt) bereitgestellt. Die Elektrode 45 besteht zumindest weitgehend aus einem hochwertigen Federstahl oder Chromstahl und ist von einer Elektrodenhalterung 43 über einen Isolator 46, d. h. eine Elektrodenisolation 46, gehalten.

[0111] Die Halterung 43 für die Elektrode 45 und insbesondere der Isolator 46 sind vorliegend Staub und Verschmutzung ausgesetzt, da diese am bzw. im rauchgasführenden Innenraum angeordnet sind. Insofern sind besondere Maßnahmen zur Vermeidung ungewollter Kriechströme erforderlich, welche später in Bezug auf die Figuren 8 ff. beschrieben werden.

[0112] Wie in Fig. 2 gezeigt, ist eine optimierte stabförmige Elektrode 45 (welche später näher beschrieben ist, vgl. Figuren 4 bis 7) in etwa mittig in einem annähernd kaminförmigen oder länglichen Innenraum der Filtereinrichtung 4 gehalten.

[0113] Diese (Sprüh-) Elektrode 45 hängt schwingungsfähig bzw. pendelfähig nach unten in dem Innenraum der Filtereinrichtung 4. Dabei kann die Elektrode 45 beispielsweise quer zur Längsachse der Elektrode 45 hin- und herschwingen.

[0114] 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 Rauchgas bzw. Abgas, vgl. die Pfeile S6, gefiltert, wie vorstehend erläutert. Die Pfeile S6 geben grob den Bereich an, in welchem eine Strömungsgeschwindigkeit des Rauchgases als Referenz zu bestimmen ist. In diesem Bereich im Inneren der rohrförmigen Filtereinrichtung 4 liegt die Strömungsgeschwindigkeit in einem Bereich von 0,5 bis 3 m/s, vorzugsweise in einem Bereich von 1 bis 2 m/s, wenn die Biomasse-Heisanlage im Volllastbetrieb betrieben wird. Unter Volllastbetrieb wird derjenige Betrieb der Biomasse-Heisanlage verstanden, bei dem mindestens 90% der Nominalleistung [kW] (auf welche der Kessel 11 ausgelegt und regelmäßig auch zertifiziert ist) abgegeben wird, auf welche der Kessel 11 bzw. die Biomasse-Heisanlage 1 ausgelegt ist. Unter Teillastbetrieb wird ein Betrieb des Kessels 11 bzw. der Biomasse-Heisanlage 1 unterhalb dieser 90% verstanden.

[0115] 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 grob 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 Strahlenbildung und optimiert dadurch zudem die Abscheideeffizienz der Filtereinrichtung 4 sowie den Wärmeübergang in der Biomasse-Heisanlage 1.

[0116] Im Falle der Abreinigung der Filtereinrichtung 4 wird die 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 werden.

[0117] Das Rauchgas strömt nach dem Austritt aus dem Wärmetauscher 3 (aus dessen Austritt) durch die Wendekammer 34 in den Eintritt 44 der Filtereinrichtung 4.

[0118] Dabei ist die Filtereinrichtung 4 vorteilhaft 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 Wand die Filtereinrichtung 4 mit dem Wärmetauschermedium durchspült sein, womit zumindest ein Teil dieser Wand mit Kesselwasser gekühlt wird.

[0119] 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. Dieses zur Rezirkulierung bestimmte Abgas bzw. Rauchgas kann kurz auch als "Rezi" oder "Rezi-Gas" bezeichnet werden. Der verbleibende Teil des Abgases wird über den Abgasausgang 41 aus dem Kessel 11 hinausgeleitet.

[0120] Der Pfeil S8 gibt eine Rauchgasströmung bzw. Verwirbelung an, bei der Rauchgas nicht direkt aus dem Filter 4 austritt, sondern in einem Totvolumen des Filters 4 (welches strömungstechnisch hinter den Austritt 47 gelegen ist, womit es nicht in der Hauptdurchgangsströmung S6, S7 durch den Filter 4 gelegen ist), eine Umkehr bzw. Wirbelströmung ausbildet und insbesondere den Isolator 46 beströmen kann. Dabei kann sich Ruß und Asche auf dem Isolator ablagern. So können sich neben nicht-mineralischen Verbrennungsrückständen auch kohlenstoffhaltige Verbrennungsrückstände auf dem Isolator ablagern, welche die Funktion des Isolators beeinträchtigen. Näheres hierzu wird in Bezug auf die Fig. 9 erläutert.

[0121] 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.

[0122] In Fig. 2 und Fig. 3 sind weitere Sensoren abgebildet, die mit der Steuereinrichtung 100 zumindest kommunikativ verbunden sind. Mit den Sensoren werden (physikalische und/oder chemische) Größen der Biomasse-Heisanlage 1

erfasst.

[0123] Ein Abgastempertatursensor 111 ist stromabwärts zu dem Ausgang des Wärmetauschers 3 vorgesehen. Dieser misst eine Temperatur des Abgases bzw. Rauchgases nach dem dieses durch den Wärmetauscher 3 hindurchgeströmt ist. Dieser Sensor 111 kann bevorzugt zur Regelung der Temperatur des in den Filter 4 hineinströmenden Rauchgases zur Filterung eingesetzt werden. Dies insbesondere für die Einhaltung der später beschriebenen Maximaltemperatur des Rauchgases für den Filter 4.

[0124] Als Abgastempertatursensor 111 kann ein herkömmlicher Temperaturfühler oder auch ein PT-100 oder PT-1000 Sensor zum Einsatz kommen, welcher in der Wand des Abgaskanals vorgesehen ist oder in den Abgaskanal hineinragt. Mit Hilfe des Abgastempertatursensors 111 kann die Temperatur des Abgases in Grad Celsius bestimmt werden.

[0125] Es kann der Abgastempertatursensor 111 beispielsweise vor oder nach der optionalen Filtereinrichtung 4 vorgesehen sein. Ebenso beispielsweise kann der Abgassensor 111 vor dem Abgasausgang 41 vorgesehen sein. Des Weiteren kann auch mehr als ein Abgastempertatursensor 111 vorgesehen sein, um die Genauigkeit der Messung zu erhöhen oder auch messtechnische Redundanzen vorzusehen. Es kann beispielsweise ein Abgastempertatursensor 111 direkt nach dem Ausgang des Wärmetauschers 3 und ein weiterer Abgastempertatursensor 111 kann nach der Filtereinrichtung 4 vorgesehen sein.

[0126] Des Weiteren ist zumindest eine Lambdasonde 112 vorgesehen. Sie ist als Sensor für die Lambdaregelung der Biomasse-Heisanlage 1 vorgesehen. Mit der Lambdasonde wird zumindest eine physikalische/chemische Größe erfasst, der eine Regelung des Verbrennungsvorgangs im Kessel 11 ermöglicht. Die Lambdasonde 112 ermöglicht eine O₂-Gehaltsmessung bzw. eine Sauerstoffgehaltsmessung des Abgases bzw. des Rauchgases nach der Brennkammer 24.

[0127] Eine Lambdasonde kann üblicherweise den Restsauerstoffgehalt im Abgas mit dem Sauerstoffgehalt einer Referenz, meist der momentanen Atmosphären- bzw. Umgebungsluft, vergleichen. Daraus kann das Verbrennungsluftverhältnis λ (Verhältnis von Verbrennungsluft zu Brennstoff) bestimmt und eingestellt werden. Es können zwei Messprinzipien verwendet werden: Spannung eines Festkörperelektrolyts (Nernst-Sonde) und Widerstandsänderung einer Keramik (Widerstandssonde).

[0128] Bei der vorliegenden Verwendung in der Biomasse-Heisanlage kann die Lambdasonde 112 den Sauerstoffgehalt des Abgases (beispielsweise in Vol-%) messen und so kann am Kessel 11 ein optimales Gemisch, vorzugsweise mittels einem KI-Modell, geregelt werden, um so ein Überangebot an kühlender Zuluft oder infolge Sauerstoffmangels entstehendes Kohlenstoffmonoxid (mit ungenutztem Restheizwert) zu verhindern, welche dem Heizungssystem Energie "rauben" würden.

[0129] Für die zumindest eine Lambdasonde 112 sind in Fig. 2 zwei mögliche Einbaupositionen vorgeschlagen. Die eine befindet sich benachbart zum Eingang 33 des Wärmetauschers 3 (vgl. Fig. 2, oben, Mitte) und die andere befindet sich im Abgasausgang 41 und damit nach dem Ausgang des Wärmetauschers 3 (vgl. Fig. 2, oben rechts). Generell kann die Lambdasonde 112 an einer beliebigen Position in der Abgasführung des Kessels 11 vorgesehen sein, solange diese das Abgas bzw. Rauchgas vermessen kann.

[0130] Je größer allerdings die Entfernung zwischen Flamme in der Brennkammer 24 und Lambdasonde 112 gewählt wird, desto schwieriger wird die Regelung des Kessels 11 wegen der dann auftretenden Totzeit. Deshalb ist es vorzuziehen, die Sonde möglichst nahe an der Brennkammer 24 zu montieren. Mit dem Signal der Lambdasonde 112 können über die Steuereinrichtung 100 beispielsweise die Zufuhr an Primärluft in die Brennkammer und die Brennstoffzufuhrmenge geregelt werden.

[0131] Weiter ist ein (optionaler) Unterdrucksensor 113 oder Druckdifferenzsensor 113 vorgesehen. Dieser Unterdrucksensor 113 misst den (Unter-)Druck in der Brennkammer 24, beispielsweise in der Einheit [mPas], beziehungsweise den Differenzdruck der Brennkammer 24 zum Umgebungsluftdruck. Über den Unterdruck wird die Primärluft (und optional die Sekundärluft) in die Brennkammer 24 zur Verbrennung angesaugt.

[0132] Weiter ist ein (optionaler) Rücklauf- (oder Vorlauf-)Temperatursensor 114 bzw. ein Heizungswassertemperatursensor 114 vorgesehen. Dieser ist beispielsweise im Rücklauf oder im Vorlauf einer üblichen Wasserzirkulationseinrichtung 14 vorgesehen und erfasst die Temperatur des Heizungswassers im Wasserkreislauf, in welchem der Kessel 11 vorgesehen ist. Dabei ist das Wärmetauschmedium 38 vorzugsweise das Heizungswasser.

[0133] Damit kann die Temperatur des Wärmetauschmediums 38 in bzw. außerhalb des Kessels mit dem vorher erläuterten Kesseltemperatursensor 115 bzw. mit dem Heizungswassertemperatursensor 114 (bevorzugt ein Rücklauf-temperatursensor 114) erfasst werden.

[0134] Ein Brennstoffbetthöhensensor 116 (vorliegend in den Fig. ohne eine beispielhafte Mechanik dargestellt) erfasst die Höhe des Brennstoffbetts 28 über dem Rost und damit eine Menge des Brennstoffs, beispielsweise der Hackschnitzel, auf dem Rost 25. Ein Beispiel für einen derartigen Sensor in mechanischer Ausführung ist in der EP 3 789 670 B1 in Bezug auf deren Fig. 17 und 18 beschrieben, vorauf Bezug genommen wird. Alternativ kann der Brennstoffbetthöhensensor 116 beispielsweise als Ultraschallsensor vorgesehen sein.

[0135] Weiter ist ein Brennkammertemperatursensor 117 vorgesehen. Dieser erfasst eine Temperatur der Brennkam-

mer 24, beispielsweise in Grad Celsius. Der Brennkammertemperatursensor 117 kann am Ausgang der Brennkammer 24 oder auch in der Brennkammer 24 vorgesehen sein.

[0136] Anzumerken ist, dass die Orte der Sensoren der Fig. 2 und 3 auch von den dargestellten Orten abweichen können, so wie dies vom Fachmann als sinnvoll erachtet wird. Beispielsweise kann die Brennkammertemperatur auch an einem anderen Ort erfasst werden.

[0137] Die Brennkammer 24 und auch die Geometrie der Filtereinrichtung 4 sowie der vorgelagerten Wendekammer 35 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.

[0138] 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 Optimierungswerkzeug. 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.

[0139] Die Ergebnisse der CFD-Simulation zur Veranschaulichung der strömungstechnischen Optimierung der Filtereinrichtung 4 sind später in Bezug auf die Figuren 14 und 15 näher erläutert.

(Filtereinrichtung 4)

[0140] Die vorstehend beschriebene Biomasse-Heisanlage 1 ist mit einer Filtereinrichtung 4 vorgesehen, welche nachstehend näher erörtert wird.

[0141] Fig. 4 zeigt einen herausgestellten Teil der Filtereinrichtung 4 aus einer Seitenansicht der Biomasse-Heisanlage 1. Fig. 5 zeigt den herausgestellten Teil der Filtereinrichtung 4 der Fig. 4 aus einer perspektivischen Ansicht und der Seite und von unten.

[0142] In den Figuren 4 und 5 dargestellt ist ein Filtereinsatz 451, mit dem die Sprühelektrode 45 etwa mittig in dem rohrförmigen Innenvolumen der Filtereinrichtung 4 gehalten wird. Dieser Filtereinsatz 451 kann als eine Einheit aus dem Kessel 11 bzw. der Biomasse-Heisanlage 1 entfernt und auch wieder in diese eingesetzt werden. Damit kann eines der Kernelemente der Filtereinrichtung 4 leicht gewartet (d. h. ausgewechselt oder zur Reinigung freigelegt werden) und auch bei der Erstmontage mit geringem Aufwand montiert werden. In den Figuren 4 und 5 befindet sich die Sprühelektrode 45 in deren Ruheposition bzw. im Ruhezustand der Figuren 16a und 16b und ist nicht, beispielsweise zur Reinigung, ausgelenkt.

[0143] Der Filtereinsatz 45 hält insbesondere die länglich bzw. stabförmig ausgebildete Sprühelektrode 45, welche sich entlang derer Längsachse LAE erstreckt, die in den Figuren 4 und 5 mit der gestrichelten Linie LAE eingezeichnet ist. Im Querschnitt F2, der senkrecht zur Längsachse LAE vorgesehen ist, weist die Sprühelektrode 45 ein Kreuzprofil bzw. ein kreuzförmiges Profil auf.

[0144] Vorzugsweise ist die Sprühelektrode 45 derart angeordnet, dass deren Längsachse LAE mit einer Mittenachse des rohrförmigen Innenvolumens der Filtereinrichtung 4 zumindest annähernd übereinstimmt. Insofern kann die Längsachse LAE in etwa auch als Längs(mitten)achse der Filtereinrichtung 4 verstanden werden. Richtungen, welche winklig, insbesondere senkrecht, zur Längsachse LAE stehen, werden nachstehend als "quer" oder "radial" bezeichnet.

[0145] Die Längsmittenachse LAE definiert weiter auch eine Ruheposition der beweglich montierten Sprühelektrode 45.

[0146] Die Sprühelektrode 45 ist vorliegend eine Elektrode mit Vorsprüngen 457, welche umgangssprachlich auch als Sägezahnelektrode bezeichnet werden kann. Alternativ kann diese mit nicht-dreiecksförmigen Vorsprüngen vorgesehen sein, beispielsweise mit flossenförmigen oder viereckigen Vorsprüngen. Vorliegend weist die Sprühelektrode eine Vielzahl von dreiecks- oder sägezahnförmigen Vorsprüngen 457 auf, welche mit einer einzelnen Spitze vorgesehen sind, an welcher eine hohe elektrische Feldstärke bei Bestromung der Sprühelektrode 45 verursacht wird. Diese Vorsprünge 457 erstrecken sich quer zur Längsachse LAE. Die Sprühelektrode 45 weist eine Länge EL auf, welche derart dimensioniert sein kann, dass sich die Elektrode 45 über einen größeren Teil (mehr als 50%) der Längserstreckung der Filtereinrichtung 4 erstreckt.

[0147] Es weist die Sprühelektrode 45 eine Vielzahl von seitlich angeordneten Spitzen bzw. Vorsprüngen 457 auf, welche jeweils eine örtliche Vergrößerung der elektrischen Feldstärke in der elektrostatischen Filtereinrichtung 4 bewirken.

[0148] Der Filtereinsatz 451 weist weiter die Elektrodenhalterung 43, welche auch als Filtereinsatzdeckel 43 bezeichnet werden kann und den Isolator 46 zur Halterung der Sprühelektrode 45, auf. Ein isolatorseitiges oder proximales Auf-

hängungselement 452 verbindet ein Ende der Sprühelektrode 45 mit dem Isolator 46. Ein (optionales) spitzenförmiges oder distales Federelement 453 kann eine Filterspitze 454 flexibel mit dem unteren bzw. distalen Ende der Sprühelektrode 45 verbinden. In anderen Worten kann an dem einen Ende der Sprühelektrode 45 ein Aufhängungselement 452 und an dem anderen Ende der Sprühelektrode 45 ein Federelement 453 vorgesehen sein.

[0149] Die Elektrodenhalterung 43 bzw. der Filtereinsatzdeckel 43 weist ein Halterungsblech 431 aus einem leitfähigen Material auf, welches an der Innenseite der Elektrodenhalterung 43 vorgesehen ist. Das Halterungsblech 431 ist geerdet und sieht eine zumindest teilweise Abschirmung nach außen vor. Weiter kann die Elektrodenhalterung 43 eine Isolation beinhalten, um eine thermische Isolation der Filtereinrichtung 4 bzw. des Kessels 11 vorzusehen. Weiter ist auf der Außenseite des Filtereinsatzdeckels 43 ein Anschluss 421 für die Elektrodenversorgungsleitung 42 vorgesehen.

[0150] Das isolatorseitige Aufhängungselement 452 ist vorzugsweise flexibel ausgestaltet, so dass die Sprühelektrode 45 schwingungsfähig bzw. pendelfähig in der Filtereinrichtung 4 aufgehängt ist. Diese Bewegungsfreiheit zum Pendeln ist in der Fig. 4 mit dem Doppelpfeil SCH angedeutet. Die Sprühelektrode 45 ist somit derart aufgehängt, dass diese nach Art eines Pendels hin- und her schwingen kann. Das Aufhängungselement 452 erlaubt dabei eine Bewegung der Sprühelektrode 45 zumindest in einer Ebene (beispielsweise der Papierebene der Fig. 4), allerdings ist es vorzuziehen (und für die Ausführungen in Bezug auf die Figuren 16a ff. auch erwünscht), dass das Aufhängungselement 452 eine Bewegung der Sprühelektrode 45 in mehrere Richtungen erlaubt.

[0151] Das Aufhängungselement 452 kann beispielsweise ein Gelenk oder eine Spiralfeder sein. Dabei ist es vorzuziehen, dass das Aufhängungselement 452 eine Spiralfeder 452 ist, die eine federartige Rückstellungswirkung auf die Sprühelektrode 45 in Richtung der Ruheposition bzw. deren Ruhezustand ausübt.

[0152] Das Federelement 453 ist beispielsweise eine Spiralfeder, die an dem distalen Ende der Sprühelektrode 45 vorgesehen ist. Die Spiralfeder kann beispielsweise aus einem Federstahl bestehen.

[0153] Die Filterspitze 454 ist aus einem isolierenden (vorzugsweise mit einem spezifischen Widerstand von größer $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$, besser größer $10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$, noch besser größer $10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$) und hitzeresistenten Material hergestellt, beispielsweise aus PTFE (Polytetrafluorethylen, bzw. Teflon) oder aus PEEK (Polyetheretherketon).

[0154] Insbesondere kann die Filterspitze aus einem temperatur- und chemisch beständigem Kunststoff bestehen. Hierzu zählen diverse Kunststoffe aus der Klasse der Polyhalogenolefine.

[0155] Es kann der Werkstoff der Filterspitze 454 derart vorgesehen sein, dass dieser gegenüber Temperaturen bis zu mindestens 200 Grad Celsius (vorzugsweise mindestens 250 Grad Celsius) beständig ist. Dabei kann der Kunststoff der Filterspitze 454 derart vorgesehen sein, dass dieser gegenüber der Chemie der Verbrennungsgase beständig ist.

[0156] Weiter kann die Filterspitze 454 bevorzugt stiftförmig mit einem kegelförmigen oder kegelmuffenförmigen Ende vorgesehen sein. Im Querschnitt kann die Filterspitze 454 rund ausgestaltet sein.

[0157] In der Ansicht der Fig. 5 ist die Anordnung der Sprühelektrode 45 mit dem Filtereinsatz 451 und insbesondere das Kreuzprofil der Sprühelektrode 45 dreidimensional ersichtlich.

[0158] Die Fig. 6 zeigt verschiedene Ansichten der Sprühelektrode 45 der Fig. 5, wobei Einzelteile der Sprühelektrode 45 als Elektrodenteile 45a, 45b, sowie eine Unteransicht der zusammengesetzten Elektrode 45 aus der Richtung F1 und eine Schnittansicht der zusammengesetzten Elektrode 45 entlang der Schnittnlinie F2 dargestellt sind.

[0159] Die Sprühelektrode 45 besteht aus einem leitfähigen Werkstoff, bevorzugt einem Metall.

[0160] Dabei kann die Sprühelektrode 45 aus zwei Elektrodenteilen 45a, 45b zusammengesetzt sein. Diese Metallstücke können bevorzugt derart identisch ausgebildet sein, dass diese mittels jeweils einer Ausnehmung 458 ineinandergesteckt werden können, um die Sprühelektrode 45 mit dem Kreuzprofil auszubilden. Dies erleichtert die Fertigung und verringert die Fertigungskosten, da zwei identische Teile hergestellt werden können.

[0161] Die Elektrodenteile 45a, 45b können mittels eines Laserschneidverfahrens aus einem Metallblech hergestellt sein.

[0162] Die Elektrodenteile 45a, 45b weisen Vorsprünge 457 auf, welche bevorzugt in regelmäßigen Abständen über die gesamte Länge EL (oder mehr als 90% der Gesamtlänge) der Sprühelektrode 45 angeordnet sind.

[0163] Die Elektrodenteile 45a, 45b können eine Breite (horizontal betrachtet) von 20-35 mm aufweisen. Weiter können die Elektrodenteile 45a, 45b eine Dicke von 1,5 mm bis 4,5 mm, bevorzugt eine Dicke von 2,5 mm bis 3,5 mm, aufweisen.

[0164] Die Elektrodenteile 45a, 45b sind somit im Allgemeinen längliche, plattenförmige Teile, welche miteinander derart verbunden (beispielsweise verschweißt) werden, dass diese eine Sprühelektrode 45 mit einem Profil, beispielsweise einem Kreuzprofil oder einem Sternprofil, ausbilden.

[0165] Die Schnittansicht F2 der Fig. 6 zeigt, dass das Kreuzprofil der Sprühelektrode 45 Vorsprünge aufweist, welche in vier Richtungen und damit in die vier Hauptquadranten des röhrenförmigen Innenvolumens der Filtereinrichtung 4 zeigen.

[0166] An den Enden der Elektrodenteile 45a, 45b sind ein erstes und ein zweites Übergangselement 455, 456 vorgesehen. Diese optionalen Übergangselemente 455, 456 (es könnten das Aufhängungselement 452 und das Federelement 453 auch anders befestigt werden, beispielsweise direkt geschweißt) können in Ausnehmungen an den Enden der Sprühelektrode 45 aufgenommen sein, und beispielsweise eine Bolzenform aufweisen. Die Übergangselemente 455, 456 erlauben einen stabileren und einfacheren Übergang von der Sprühelektrode mit seinem Profil beispielsweise

auf eine Spiralfeder, welche das Aufhängungselement 452 und das Federelement 453 ausbilden können. Die Übergangselemente 455, 456 können aus einem Kunststoff, beispielsweise Teflon, oder aus einem Metall gefertigt sein. Die Ansicht F1 der Fig. 6 von unten zeigt, dass das Übergangselement 456 in den Elektrodenanteilen 45a, b aufgenommen angeordnet ist.

5 **[0167]** Die Figuren 7a bis 7d zeigen alternative Sprühelektroden 45 mit alternativen (Stern-) Profilen. Die Profile sind als Querschnitte auf Höhe der Linie F2 der Fig. 6 dargestellt.

[0168] Die Sprühelektroden 45 der Figuren 7a bis 7d entsprechen im grundsätzlichen Aufbau der Sprühelektrode der Figuren 5 und 6, beispielsweise weisen alle Sprühelektroden 45 Vorsprünge 457 auf, womit nachstehend nur die Unterschiede der diversen Sprühelektroden zueinander erörtert werden.

10 **[0169]** Fig. 7a zeigt eine erste alternative Sprühelektrode 45 mit einem Stern- bzw. Y-Profil. Dabei können drei Elektrodenanteile 45a, 45b, 45c miteinander sternförmig verbunden, beispielsweise verschweißt, werden, um die erste alternative Sprühelektrode 45 vorzusehen. Die erste alternative Sprühelektrode 45 kann damit, analog zu der Sprühelektrode 45 der Figuren 5 und 6, eine stabförmige und mit Vorsprüngen versehene Sprühelektrode 45 sein, welche deren Feldmaxima in drei Richtungen vorsieht. Das Y-Profil weist in anderen Worten drei Schenkel 45a, 45b, 45c auf.

15 **[0170]** Der Winkel zwischen den drei Elektrodenanteilen 45a, 45b, 45c im Querschnitt ist jeweils vorzugsweise 120 Grad ($\pm 10^\circ$ Grad Herstellungsungenauigkeit), um eine symmetrische Elektrode 45 vorzusehen.

[0171] Diese erste alternative Sprühelektrode 45 kann beispielsweise auch (nicht dargestellt) aus einem ersten Elektrodenanteil 45a, welches um 120 Grad geknickt wird und einem zweiten Elektrodenanteil 45b, das an den Kick des ersten Elektrodenanteils 45a geschweißt wird, hergestellt sein.

20 **[0172]** Fig. 7b zeigt eine zweite alternative Sprühelektrode 45 mit einem weiteren Sternprofil. Dabei können drei Elektrodenanteile 45a, 45b, 45c verbunden sein. So kann das Elektrodenanteil 45a als stabförmige Platte vorgesehen sein, und es können zwei weitere geknickte Platten als die Elektrodenanteile 45b und 45c damit verbunden werden. Alternativ (nicht dargestellt) kann die zweite alternative Sprühelektrode 45 auch aus mehr Elektrodenanteilen hergestellt werden, beispielsweise aus vier, fünf oder sechs. In Fig. 7b sind sechs Schenkel gezeigt.

25 **[0173]** Der Winkel zwischen den Elektrodenanteilen 45a, 45b, 45c, ... im Querschnitt ist jeweils vorzugsweise 60 Grad ($\pm 5^\circ$ Grad Herstellungsungenauigkeit), um eine symmetrische Elektrode 45 vorzusehen.

[0174] Die zweite alternative Sprühelektrode 45 kann damit, analog zu der Sprühelektrode 45 der Figuren 5 und 6, eine stabförmige und mit Vorsprüngen versehene Sprühelektrode 45 sein, welche deren Feldmaxima in sechs Richtungen vorsieht.

30 **[0175]** Der gestrichelte Kreis der Fig. 7b zeigt einen bevorzugten Maximalumfang bzw. eine bevorzugte Maximalausdehnung der Sprühelektrode in eine Richtung, die senkrecht zur Längsrichtung der Elektrode 45 ist. So kann bevorzugt die Maximalausdehnung aller Elektrodenanteile 45a, 45b, 45c identisch sein, womit eine Felddausbildung im Filter begünstigt wird, welche möglichst gleichmäßig ist.

35 **[0176]** Fig. 7c zeigt eine dritte alternative Sprühelektrode 45 mit einem weiteren Sternprofil. Dabei kann eine Mehrzahl von plattenförmigen Elektrodenanteilen 45a, 45b, 45c miteinander verbunden, beispielsweise verschweißt, sein. In Fig. 7c sind fünf Schenkel gezeigt. In Fig. 7d sind drei Schenkel gezeigt.

[0177] Der Winkel zwischen den Elektrodenanteilen 45a, 45b, 45c, 45d, 45e im Querschnitt ist jeweils vorzugsweise 72 Grad ($\pm 5^\circ$ Grad Herstellungsungenauigkeit), um eine symmetrische Elektrode 45 vorzusehen.

40 **[0178]** Die dritte alternative Sprühelektrode 45 kann damit, analog zu der Sprühelektrode 45 der Figuren 5 und 6, eine stabförmige und mit Vorsprüngen versehene Sprühelektrode 45 sein, welche deren Feldmaxima in fünf Richtungen vorsieht.

[0179] Fig. 7d zeigt eine vierte alternative Sprühelektrode 45 mit einem Stern- bzw. Y-Profil. Dabei können drei Elektrodenanteile 45a, 45b, 45c mit einem Innenrohr 45f sternförmig verbunden, beispielsweise verschweißt, werden, um die erste alternative Sprühelektrode 45 vorzusehen. Die vierte alternative Sprühelektrode 45 kann damit, analog zu der Sprühelektrode 45 der Figuren 5 und 6, eine stabförmige und mit Vorsprüngen versehene Sprühelektrode 45 sein, welche Feldmaxima in drei Richtungen vorsieht.

[0180] Der Winkel zwischen den drei Elektrodenanteilen 45a, 45b, 45c im Querschnitt ist jeweils vorzugsweise 120 Grad ($\pm 10^\circ$ Grad Herstellungsungenauigkeit), um eine symmetrische Elektrode 45 vorzusehen.

50 **[0181]** Diese vierte alternative Sprühelektrode 45 weist somit einen Kern 45f, beispielsweise das Innenrohr 45f, auf, und drei daran angebrachte Elektrodenanteile 45a, 45b und 45c, welche länglich und plattenförmig ausgebildet sind, und welche jeweils Vorsprünge 457 analog denjenigen der Sprühelektrode 45 der Figuren 5 und 6 aufweisen.

[0182] Die Sprühelektrode 45 der Fig. 5 bis 7d weist ein Querschnittsprofil mit zumindest drei Schenkeln auf, um die Felddausbildung im Filter 4 zu verbessern.

55 **[0183]** Mit dieser Ausgestaltung wird das Feld im Vergleich zu einer üblichen länglichen Plattenelektrode (mit 2 starken Feldmaxima an den beiden Längskanten) oder auch im Vergleich zu einem herkömmlichen Draht oder Rundstab (mit gleichmäßiger Feldstärke, aber geringer maximaler Feldstärke) als Sprühelektrode 45 ein Kompromiss zwischen einem möglichst homogenen Feld im Filter und einem Feld mit möglichst starken Feldstärken (und mit nachteilhaften Durchlassstellen mit sehr niedriger Feldstärke) erzielt.

[0184] So sehen die vorgeschlagenen Sprühelektroden 45 der Fig. 5 bis 7d vorteilhaft eine Vielzahl von lokalen Feldmaxima vor, welche im Vergleich zu üblichen Lösungen die Wahrscheinlichkeit geringhalten, dass Partikel durch Feldminima durch den Filter 4 hindurchtreten, ohne vom Feld beeinflusst bzw. herausgefiltert zu werden.

[0185] Eine besondere Eigenschaft des in den Fig. 5 und 6 gezeigten Profils ist es, dass die Vorsprünge und auch die Kanten der Sprühelektrode 45 in verschiedene Richtungen zeigen und damit in dem röhrenförmigen Innenvolumen der Filtereinrichtung 4 ein effektiveres elektrisches Feld ausbilden. Im (hauseigenen) Stand der Technik besteht die Sprühelektrode aus einer einfachen Plattenelektrode, womit das daraus resultierende elektrische Feld Vorzugsrichtungen in einer Ebene aufweist, und das elektrische Feld senkrecht zur Plattenebene dieser Sprühelektrode schwächer ausgebildet ist wie in der Plattenebene. Diese herkömmliche Felddarstellung führt im Gegensatz zu der vorliegend Beschriebenen zu einer nicht optimalen Filtereffizienz.

[0186] Ein weiterer Effekt ist die Rückwirkung der geladenen Partikel auf das elektrische Feld. Da die Aufladezeit der Partikel gegenüber der Abscheidezeit im Filter 4 relativ klein ist, entsteht eine Wolke negativ geladener Partikel. Die negativ geladenen Partikel (Partikel-Raumladung) beeinflussen sich auf dem Weg zur Abscheideelektrode (Abstoßung gleicher Polarität) gegenseitig und begrenzen dadurch den Ionenstrom. Dies ist ein genereller Vorgang, der üblicherweise bei elektrischen Abscheidern in geringem Ausmaß auftritt. Bei sehr hoher Eingangskonzentration, insbesondere feiner Partikel, kann diese Partikel-Raumladung allerdings so stark werden, dass der Strom der Coronaentladung auf Promille-Werte der Reingasstromaufnahme absinkt. Man spricht dann von Corona-Quenching.

[0187] Dieses Problem wird durch die Wahl eines geeigneten Abstandes zwischen Sprüh- und Abscheideelektrode und die Verwendung der Sprühelektrode 45 mit im Verhältnis zur erzeugten Feldstärke kleiner Corona-Einsatzspannung (d. h. aufgrund der Konstruktion als Sägezähnelektrode) weitgehend minimiert oder sogar vermieden.

[0188] Die Fig. 8a zeigt eine Seitenansicht eines Isolator 46, welcher als ein Hochspannungsisolator 46 zur Isolation gegenüber Spannungen von einigen kV oder sogar einigen 10 kV und zum Einsatz in der Filtereinrichtung 4 geeignet ist. Vorzugsweise ist der Isolator 46 ausgelegt, eine Isolation gegenüber einer Spannung von mindestens 40 kV, vorzugsweise mindestens 60 kV, vorzusehen. Die Fig. 8b zeigt einen Ausschnitt IS der Fig. 8a. Die Fig. 9 zeigt eine Seitenansicht des Isolators 46 der Fig. 8a zusammen mit einem Halterungsblech 431, welches auch als Montageplatte 431 bezeichnet werden kann. Hierbei ist die Höhen- bzw. Längsposition des Isolators 46 etwas anders als in Fig. 3. Dies ist eine Variante der Ausführungsform der Fig. 2 und 3.

[0189] Der Isolator 46 weist eine säulenförmige Grundform auf, welche einen innenliegenden etwa mittig angeordneten oder axialen Durchgang 469 zur Durchführung eines stiftförmigen oder röhrenförmigen Hochspannungsleiters zur Versorgung der Sprühelektrode 45 aufweist. Vorzugsweise stimmen die Mittenachse des Isolators 46 und die Mittenachse des Durchgangs 469 überein. Es weist der Isolator 46 eine Mehrzahl von (vorzugsweise schirmartig bzw. ringförmig ausgebildeten) Rippen 461, Ausnehmungen 462, Flanken 463 der Rippen 461, einen Fuß 464, eine (proximale) Endrippe 467, ein (distales bzw. elektrodenseitiges) Übergangselement 468 (bevorzugt eine Buchse aus einem hitze- und chemiebeständigem und isolierendem Material, beispielsweise Teflon oder PEEK), sowie zwischen den Rippen 416 liegende kegelstumpfförmige erste Zwischenteile 465 (auch als Zwischenkegelteile 465 bezeichnet) und zylindrische zweite Zwischenteile 466 (auch als Zwischenzylinderteile 466 bezeichnet) auf.

[0190] Damit liegen jeweils zwischen zwei benachbarten Rippen 461, welche annähernd scheibenförmig mit der Scheibenebene senkrecht zur Mittelachse IMI der säulenförmigen Grundform ausgebildet sind, ein erstes Zwischenteil 465 (Zwischenkegelteil 465) und ein zweites Zwischenteil 466 (Zwischenzylinderteil 466). Anzumerken ist, dass das Vorstehende nicht für alle Zwischenräume zwischen Rippen 461 vorgesehen sein muss (wie in Fig. 8a gezeigt), sondern alternativ auch nur ein Teil der Zwischenräume zwischen jeweils zwei benachbarten Rippen 461 ausgestaltet sein kann, wie in Fig. 8a gezeigt. Die Mittelachse IMI kann vorzugsweise mit der Längsachse LAE der Elektrode 45 zusammenfallen.

[0191] Das Zwischenkegelteil 465 weist eine äußere Kegelmantelfläche 4651 auf, welche in Bezug auf die (Längs-) Mittelachse IMI des Isolators 46 winklig vorgesehen ist. Eine winklige Anordnung dieser Fläche über den gesamten Außenumfang der Fläche ist vorzugsweise in einem Bereich von 15 bis 35 Grad vorgesehen. Das Zwischenzylinderteil 466 weist eine äußere Zylindermantelfläche 4661 auf, welche zumindest annähernd parallel zur Mittelachse IMI vorgesehen sind.

[0192] Wie in der Ausschnittdarstellung der Fig. 8b zu erkennen ist, dient das Zwischenkegelteil 465 der Beabstandung der Ausnehmung 462 von dem Durchgang 496 um zumindest die Tiefe TI1, womit eine effektive Dicke TI2 bzw. geringste Dicke TI2 des Isolators 46 zur Erhaltung der Isolationsfähigkeit des Isolators 46 trotz des Vorhandenseins der Ausnehmung 462 gewährleistet ist. In anderen Worten gewährleistet das Zwischenkegelteil 465 eine ausreichende Tiefe der Ausnehmung 462 mit deren Funktion (siehe später hierzu), während zugleich der Isolator 46 in dessen Dicke nicht überdimensioniert vorgesehen werden muss.

[0193] Die Tiefe TI1 beträgt vorzugsweise zumindest 2, besser zumindest 3 mm, besonders bevorzugt zumindest 5 mm. Das gleiche gilt damit einhergehend für die Erhebungshöhe des Zwischenkegelteils 465 in Radialrichtung über das Zwischenzylinderteil 466.

[0194] Ausnehmungen 462 grenzen an einer Seite unmittelbar an unteren Flanken 463 der Rippen 461 an. Weiter grenzen die Ausnehmungen 462 unmittelbar an die scharfen (d.h. >90 Grad Spitzenwinkel) Endkanten 4652 der Zwi-

schenkegelteile 465 an. Diese Endkanten 4652 sind gegenüber dem Außendurchmesser der ringförmigen Rippen 461 zurückgesetzt. Weiter sind die Endkanten 4652 vorzugsweise kreisförmig vorgesehen. Auch die sich anschließenden Zwischenkegelteile 465 verjüngen sich kegelförmig in Richtung des elektrodenseitigen Endes des Isolators 62 bzw. zur jeweils nächsten Rippe 461, derart, dass der geringste Durchmesser des Isolators T12 beim Übergang zur nächsten

Rippe 461 etwa dem Durchmesser des Isolators an den Ausnehmungen 462 entspricht. Bevorzugt sind die unteren Flanken 463 konkav, d. h. nach innen gewölbt (nach Art einer Hohlkehle), vorgesehen. Damit wird die Wirkung der Ausnehmung 462 auf den Bereich der Flanke 463 ausgedehnt, und es brennen auch Teile der Flanke bzw. der Hohlkehle frei und/oder werden gegen Rußbefall durch Feldwirkung geschützt.

[0195] Der Isolator 46 weist zumindest 5 Rippen auf. Bevorzugt weist der Isolator 46 sechs (6) bis acht (8) Rippen 461 auf. Alternativ weist der Isolator 46 acht (8) bis zehn (10) Rippen 461 aus.

[0196] Der Isolator 46 kann einstückig, aber auch mehrstückig, vorzugsweise dreistückig (wie gezeigt, mit einer Ergänzungsrippe 467a, dem säulenförmigen Hauptteil 46a, und dem Übergangselement 468) vorgesehen sein. Dabei ist der Hauptteil 46a des Isolators 46 vorzugsweise aus einer üblichen Keramik hergestellt, welche bei Hochspannungsisolatoren zum Einsatz kommt. Die Ergänzungsrippe 467a kann ebenso aus Keramik bestehen, kann aber alternativ auch aus einem isolierenden Hochleistungskunststoff bestehen, beispielsweise Teflon oder PEEK. Die Ergänzungsrippe 467a schafft eine großflächige Verbreiterung des Isolators 46 und damit der Isolatorstrecke, ohne dass dieser in der Bauhöhe vergrößert werden müsste. Insofern dient die Ergänzungsrippe 467a einer platzsparenden Vergrößerung des Isolationswiderstands des Isolators 46. Mit der Ergänzungsrippe 467a kann zumindest eine weitere Rippe 461 (welche eine Vergrößerung der Bauhöhe bedingen würde) des Isolators 46 eingespart werden.

[0197] Das Übergangselement 468 ist buchsen- bzw. röhrenförmig vorgesehen und dient dem Übergang zwischen dem Hauptteil des Isolators 46 und dem Aufhängungselement 452 der Sprühelektrode 45. Da die Sprühelektrode 45 zur Reinigung angeschlagen bzw. bewegt wird, dient das Übergangselement 468 auch einem mechanischen Schutz der spröden Keramik des Hauptteils 46a des Isolators 46, da der Knickpunkt für eine pendelartige Bewegung der Sprühelektrode 45 am distalen Ende des Hauptteils 45a liegt und mithin eine Querbewegung an dem Isolator 46 auftritt.

Allerdings kann das Übergangselement 468 auch entfallen, beispielsweise aus Kostengründen, und ist mithin optional. **[0198]** Der Hochspannungsisolator 46 findet Anwendung in dem elektrostatischen Filter 4, wobei kleine Fremdpartikel wie Staub aus den Verbrennungsgasen entfernt werden sollen. Die üblicherweise verwendeten Hochspannungsisolatoren haben eine säulenförmige Grundstruktur mit ringförmig verlaufenden Rippen und dienen der Halterung der von Hochspannung beaufschlagten Elektrode(n) im Innern des Filters.

[0199] Nachdem solche herkömmlichen Isolatoren und auch der Isolator 46 dem verschmutzten Gas ausgesetzt sind, können diese leicht mit einer Schmutzschicht bzw. Fremdschicht überzogen werden. Bei der Entstehung dieser Fremdschicht spielen Adhäsionsvorgänge an der Oberfläche des Isolators 46 bei den Temperaturen im Filter 4 und im elektrischen Feld des Filters eine Rolle.

[0200] Dabei spielen insbesondere Verbrennungsvorgänge bei Teillasten eine Rolle, bei denen relativ viel Ruß entsteht. Dieser bildet auf den der Abgasatmosphäre ausgesetzten Isolatoren recht schnell eine durchgehende Schicht gleichmäßiger Stärke, wobei der Ruß die Eigenschaft hat, dass er relativ gut leitfähig ist. Insofern ist die entstehende Fremdschicht leitfähig, und stellt damit für die Funktion des Isolators ein ersichtliches Problem dar.

[0201] Es fließen über eine so entstandene leitfähige Fremdschicht, welche oft den Ruß aus dem Verbrennungsvorgang beinhaltet, Ableitströme, welche zu permanenten Verlustleistungen der elektrischen Versorgungseinrichtung des elektrostatischen Filters führen.

[0202] Damit treten gewöhnlich gerade beim Anfahren des Kessels oder im Teillastbetrieb recht rasch elektrisch Nebenschlüsse über den Isolator auf, was eine erhebliche Belastung der Hochspannungsversorgung des elektrostatischen Filters bedeutet.

[0203] Zudem sinkt bei Nebenschlüssen die Filterleistung aufgrund von Spannungseinbrüchen. Es sollte die Hochspannungsanlage zur Spannungsversorgung des Filters 4 im Verbrennungsbetrieb möglichst ohne Nebenschluss und mit möglichst geringen Verlusten an Hochspannungsleistung betrieben werden können.

[0204] Der in den Figuren 8a und 8b dargestellte Isolator ist ausgehend von den vorstehenden Überlegungen so konzipiert, dass speziell die Leistungsverluste aufgrund von Ableitströmen durch eine Art Selbstreinigung der Isolatoroberfläche möglichst klein gehalten werden, während zugleich die Baugröße und der Materialaufwand für den Isolator 46 klein gehalten werden. In stark mit Verbrennungsrückständen und insb. mit Ruß beladenen Abgasen wird die Isolatorfläche schnell gleichmäßig mit einer Rußschicht, die auch noch weitere Fremdstoffe enthalten kann, überzogen.

[0205] Dieser Belag bzw. diese Rußschicht wird bei in Betrieb befindlicher Anlage, also wenn zwischen den Elektroden des Filters 4 eine Hochspannung von zumindest 20 kV angelegt ist, im Bereich der Ausnehmungen 462 geometrisch unterbrochen bzw. speziell geformt. Es fließen bei Spannungsbeaufschlagung somit in dem Belag Ableitströme, wobei die Ausnehmungen 462 im Ersatzschaltbild als Serie von Widerständen betrachtet werden kann. Wenn auch diese Ableitströme nur geringfügig sind, so werden zwischen der Flanke 463 und der Endkante 4652 der Rippen 461 starke elektrische Felder von beispielsweise $E \geq 10 \text{ kV/cm}$ aufgebaut, welche ausreichend groß sind, um an dieser Stelle Oberflächenteilentladungen wie Glimm- oder Bogenentladungen wiederholt zünden zu können.

[0206] Die hierzu erforderlichen hohen Potentialdifferenzen zwischen der Endkante 4652 und der Flanke 463 entstehen durch lokal erhöhte Belagwiderstände im Bereich der Oberfläche der Ausnehmung (welche als jeweils einzelner Widerstand in einer Serie von Widerständen betrachtet werden können). Deren Ursache ist einerseits der örtlich verjüngte Durchmesser des Isolators an dieser Stelle, andererseits aber sind auch die Belagdicken im Bereich der Ausnehmungen

462 geringer, weil die elektrischen Felder E das Volumen der Ausnehmungen 462 grundsätzlich auch gegen großen Anfall von Belagspartikeln abschirmen.

[0207] Anfliegende Verbrennungsrückstände bzw. Rußapartikel werden durch die Feldkräfte entweder auf die Zylindermantelfläche 4661 oder auf der weiter außen liegenden Oberfläche der Rippen 12 abgeschieden, bevor sie die Oberfläche im Bereich der Ausnehmungen 462 erreichen.

[0208] Die gezündeten Oberflächenteilentladungen brennen den Ruß, der sich trotz der Feldabschirmung im Bereich der Ausnehmungen 462 niedergeschlagen hat, mit guter Wirksamkeit ab. Geringe mittlere Gesamtverlustleistungen von wenigen Watt, z. B. 5 Watt, reichen damit aus, um den Ruß lokal auf Temperaturen von der Größenordnung um 1000 °C aufzuheizen. Der erste Grund hierfür ist, dass es im Bereich der Ausnehmungen 462 durch den großen Spannungsbedarf der brennenden Oberflächenteilentladung zu einem lokal stark konzentrierten Umsatz der gesamten, am Isolator entnommenen Leistung kommt. Zudem erfolgt der Energieumsatz von elektrischer in Heizenergie im Wesentlichen innerhalb des Belags selbst. Leckwärmeströme durch Wärmeableitung und Wärmeübertragung, wie sie bei einer Fremdbeheizung der Rußschicht auftreten würden, werden dadurch weitgehend vermieden.

[0209] Glimm- und Bogenentladungen tragen mit unterschiedlichen Mechanismen zum Rußabbrand bei. Feine Rußbeläge mit einer Belagstärke von weniger als 0,5 mm werden vollständig und nahezu verlustfrei mit einer Leistung $P = 1$ Watt durch eine regelmäßig wirkende Glimmentladung abgetragen. Die Isolatoroberfläche wird in der Glimmentladung durch den Ionenbeschuß der in der Glimmentladung beschleunigten Ionen im Idealfall blank gereinigt. Dickere Rußbeläge mit einer Schichtstärke von größer als 0,5 mm, welche bei größerem Rußauftrag beispielsweise bei Betrieb des Kessels unter Teillast entstehen können, werden dagegen durch die große Hitzeentwicklung im Bereich von ca. 3500 Kelvin im kathodenseitigen Fußpunkt einer Lichtbogenentladung von der Endkante 4652 zur Flanke 463 verstärkt abgebrannt. Aufgrund dieser Temperaturen ist für den Hauptkörper 46a des Isolators 46 ein hitzebeständiges Material erforderlich.

[0210] Für ein stabiles Arbeiten des Isolators 46 ist generell eine ausreichende Überschlagsfestigkeit des Isolators erforderlich. Diese steigt zwar einerseits mit der Zahl der Rußabbrandstellen, den Ausnehmungen 462, andererseits ist es aber auch notwendig, dass Reste der Isolatorfläche, welche zwischen den Abbrandstellen angeordnet sind, mit möglichst dünnen und gleichmäßig verteilten Rußschichten bedeckt bleiben. Die verschmutzte Isolatoroberfläche ist dann ersatzweise vergleichbar mit einer Serienschaltung von Gasentladungsstrecken im Bereich der Ausnehmungen 462 und ohmschen Widerstände im Bereich der restlichen Oberflächen, d. h. der Oberfläche der Rippen 461 und der Zylindermantelfläche 4661 bis zum Fußpunkt der Oberflächenteilentladung.

[0211] Werden lokal begrenzte Oberflächenentladungen gezündet, so wirken die zwischengeschalteten Rußbeläge als stromstabilisierende Vorwiderstände in der Serienschaltung des Ersatzschaltbilds. Ist der ohmsche Widerstand dieser Beläge nicht ausreichend groß, so käme es nach dem Zünden der Oberflächenentladungen wegen der fallenden Strom-Spannungscharakteristik von Entladungen zu einem fortwährenden Ansteigen des Stromes. Ein stetiges Vorwandern der Teilentladung auf der Isolatoroberfläche und damit ein Fremdschichtüberschlag wären die unvermeidbare Folge.

[0212] Durch die schirmartigen, ringförmigen Rippen 461 erhält man bei richtiger Dimensionierung des Durchmesser-Verhältnisses Rippenaußendurchmesser/Durchmesser des Zwischenzylinderteils 466 einen maximalen Kriechweg für eine gegebene Isolationslänge. Außerdem sollten die Durchmesser der Strünke des Zwischenzylinderteils 466 möglichst klein gewählt werden und die Rußschichtstärke möglichst klein bleiben. Entsprechend diesen Parametern wird die Länge des Isolators gewählt und so dimensioniert, dass bei gegebener Betriebsspannung möglichst selten Überschlüge vorkommen.

[0213] Durch die Ausgestaltung des Hochspannungsisolators 46 wird gezielt ein Mechanismus für eine Selbstreinigung und den Schutz mittels elektrischem Feld der Isolatoroberfläche bereitgestellt. Weitere Zusatzeinrichtungen zur Reinigung der Isolatoroberfläche können entfallen. Damit ist insbesondere möglich, die Filtereinrichtung 4 platzsparend (kompakt) in den Kessel 11 zu integrieren, insbesondere da der Isolator 46 im rauchgasbeladenen Inneren der Filtereinrichtung 4 vorgesehen werden kann.

[0214] Es sind nur geringfügige Verlustleistungen erforderlich, um die Isolierfähigkeit des Isolators durch einen immer wieder erfolgenden Abbrand des Rußes zu erhalten. Diese Verlustleistung wird direkt in Heizenergie zum Abbrennen des Rußes abgewandelt und wird durch den selbstregelnden Charakter des Selbstreinigungsmechanismus auf ein Minimum reduziert.

[0215] Es ist auch die Lage des Isolators 46 in der Abgasströmung ein wichtiger Parameter, nicht nur um die vorstehenden Effekte besser zur Wirkung kommen zu lassen, sondern auch um die Strömungsbildung im Filter 4 zur Funktionsaufrechterhaltung des Isolators 46 vorteilhaft zu nutzen. Das elektrische Feld zwischen der Endkante 4652 und der Flanke 463 weist eine gewisse Abstoßungswirkung für Partikel auf, während allerdings die Abgasströmung

diese zumindest Wirkung teilweise aufheben kann.

[0216] Entsprechend zeigt die Fig. 9 stark vereinfacht die Strömungsbildung im Innenvolumen des Filters 4 anhand von Strömungspfeilen S7 und S8, welche beispielhaft Luftströmungen innerhalb des Filters 4 wiedergeben, welche Rußbeladen sein können.

[0217] Dabei ist der Filteraustritt 47 des Filters 4 derart angeordnet, dass dieser auf einer Höhe bzw. Längsposition des Filters 4 vorgesehen ist, die (bevorzugt vollständig) unterschiedlich zu der Höhe bzw. Längsposition des Hauptkörpers 46a des Isolators 46 ist. Die hierfür relevante Längsrichtung, an der die Höhe bemessen wird, ist mit dem entsprechend bezeichneten Doppelpfeil in der Fig. 9 angegeben (diese gilt analog für die Figuren 2 und 3). Mithin ist bei der vorliegenden vertikalen Orientierung des Filters 4 der Filteraustritt 47 des Filters 4 derart angeordnet, dass dieser unterhalb des Hauptkörpers 46a des Isolators 46 vorgesehen ist.

[0218] In anderen Worten kann der Hauptkörper 46a des Isolators 46 derart angeordnet sein, dass dieser nicht im Bereich einer Hauptaustrittsströmung S7 im Innenvolumen des Filters 4 angeordnet ist, deren obere Grenze der Einfachheit halber vorliegend durch die Anordnung der Öffnung des Filteraustritts 47 des Filters 4 definiert wird (vgl. die obere Langstrich-Kurzstrich-Linie in Fig. 9). In anderen Worten ist zumindest der Hauptkörper 46a des Isolators 46 (oder des ganzen Isolators 46) nicht im (Höhen-) Bereich (vgl. der Bereich zwischen den oberen und unteren Langstrich-Kurzstrich-Linien in Fig. 9) des Austritts 47 angeordnet.

[0219] Damit ist der Austritt 47 mit dessen Öffnung vollständig unterhalb des Hauptkörpers 46a des Isolators 46 vorgesehen, wenn der Filter 4 vertikal angeordnet ist. Wäre der Filter 4 bei einer nicht gezeigten Ausführungsform horizontal angeordnet, wäre der Austritt 47 mit dessen Öffnung vollständig seitlich versetzt zu dem Hauptkörper 46a des Isolators 46 vorgesehen.

[0220] Zudem ist der Isolator 46 an einem Ende des Filters 4 vorgesehen, der dem anderen Ende des Filter 4 mit dessen Filtereintritt 44 entgegengesetzt ist. Es weist das röhrenförmige Innenvolumen 46b des Filters 4 zwei Enden auf, wobei an einem Ende der Filtereintritt 44 und an dem anderen Ende der Filteraustritt 47 vorgesehen ist, und zumindest der Hauptkörper 46a des Isolators 46 (oder noch besser der gesamte Isolator 46) an dem Ende des Filteraustritts 47 derart vorgesehen ist, dass dieser in Längsrichtung zur Öffnung des Filteraustritts 47 versetzt angeordnet ist.

[0221] Im Ergebnis ist zumindest der Hauptkörper 46a des Isolators 46 (oder bevorzugt der gesamte Isolator 46) nicht in der Hauptströmung S6, S7 zwischen Filtereintritt 44 und Filteraustritt 47 angeordnet.

[0222] Zunächst liegt der Isolator 46 damit an einer Position, an welcher das Rauchgas schon zumindest weitgehend gefiltert ist. Insofern ist eine Beaufschlagung des Isolators 46 mit Ruß im Normal- bzw. Vollastbetrieb deutlich verringert, da der Isolator 46 erst nach der Filterung vorgesehen ist, womit die Rußlast in der Strömung schon reduziert ist.

[0223] Weiter kann, optional, wie in der Fig. 9 gezeigt, auch die Anordnung des Isolators 46 im obersten Ende des Filters dazu beitragen, dass dieser weniger mit Ruß bzw. Partikeln beaufschlagt wird, da (bei dieser vertikalen Anordnung des Filters 4) schlicht die Gravitation bei geringen Luftströmungen (insb. bei geringen Teillasten) dazu beitragen kann, dass der Ruß statistisch eher im unteren Teil des Filters 4 verbleibt bzw. über die Hauptströmung S7 aus dem Filter 4 hinausgesogen wird.

[0224] Im Kern liegt mit der vorstehend beschriebenen Anordnung zumindest der Hauptkörper 46a des Isolators 46 (oder aber auch der gesamte Isolator 46) in einem Totvolumen, in welchem Wirbelströmungen S8 in einem geringeren Umfang auftreten und mithin die Partikel- bzw. Rußfracht geringer ist.

[0225] Dabei können die Rippen 461 auch als schirmartige Strömungsableiter für die Rauchgasströmung dienen, welche u.U. größere Teile der Wirbelströmung S8 von den Ausnehmungen 462 weggleiten können. Damit kann die Wirkung des E-Feldes an der Endkante 4652 zu der Flanke 463 besser zur Geltung kommen. Deshalb ist es vorteilhaft, dass die Ausnehmungen 462 direkt unterhalb der Rippen 461 vorgesehen sind.

[0226] Dadurch, dass zumindest der Hauptkörper 46a des Isolators 46 nicht in der Hauptströmung S6, S7 zwischen Filtereintritt 44 und Filteraustritt 47 angeordnet ist, sinkt die Partikel- bzw. Rußlast, mit der der Isolator 46 beaufschlagt wird. In anderen Worten wird durch diese Anordnung Zeit gewonnen, bis eine Abreinigung des Isolators 46 durchgeführt wird.

[0227] Fig. 10 zeigt eine herausgestellte perspektivische Ansicht der Fig. 8a von schräg oben. Damit sollen die Geometrien der Fig. 8a, 8b und 9 nochmals verdeutlicht werden. Weiter ist das Halterungsblech 431 zweiteilig und geschlitzt und mit einer Wartungsöffnung von oben vorgesehen. Diese Ausgestaltung ist allerdings optional.

[0228] Um die Regelung der Biomasse-Heisanlage 1 besser zu erörtern, wird nachstehend mit Bezug auf Fig. 11 einen Verbrennungsbetrieb bzw. ein Betriebsverfahren der Biomasse-Heisanlage 1 erläutert.

(Betriebsverfahren für die Biomasse-Heisanlage 1)

[0229] Fig. 11 zeigt ein allgemeines Betriebsverfahren der Biomasse-Heisanlage 1.

[0230] Nach einem Start des Verbrennungsbetriebs, üblicherweise durch Einschalten der Biomasse-Heisanlage 1 durch einen Nutzer oder durch eine externe Automatik, kann zunächst bei dem optionalen Schritt S50 ein Vorbereiten des Verbrennungsvorgangs erfolgen.

[0231] Bei dem Vorbereiten des Schritts S50 kann die Biomasse-Heisanlage mechanisch und elektronisch initialisiert werden. Dabei fährt beispielsweise das Betriebssystem der Steuereinrichtung 100 hoch, es wird ein Selbsttest der Elektronik durchgeführt und/oder es werden die Drehrostelemente 252, 253, 254 um einen vorbestimmten Winkel gedreht (geöffnet), um etwaige Ablagerungen auf dem Rost zu entfernen und die Mechanik vor einem Verbrennungsvorgang zu testen. Bei einem solchen Mechaniktest des Drehrosts 25 kann mittels der Dreh(geber)sensoren überprüft werden, ob eine Ansteuerung der Motoren 231 der Drehmechanik zum gewünschten Ergebnis führt, oder ob etwas blockiert ist. Weiter können die mechanische Kesselreinigung (über Tubulatoren), die Entaschung und die optionale Elektrofilterabreinigung für eine vordefinierte Zeit (z.B. 30 Sekunden) betrieben werden. Auch kann ein Spülen der Luftwege des Kessels 11 erfolgen. Hierzu wird die Biomasse-Heisanlage durch Öffnen der Primärluft- und Sekundärluftventile mit Luft gespült. Dann werden die Luftschieber geschlossen und die Rauchgaszirkulationsleitung wird gespült.

[0232] Im nächsten Schritt S52 erfolgt ein Füllen der Brennkammer 24 mit Brennstoff. Dabei wird der Brennstoff über die Brennstoffzufuhr 6 auf den Drehrost 25 gefördert, bis eine vorbestimmte Brennstoffbetthöhe erreicht ist. Dazu wird die Brennstoffbetthöhe mit dem Brennstoffbetthöhensensor 116 gemessen. Der Brennstoffbetthöhensensor 116 ist beispielsweise eine mechanische Niveaукlappe 86 mit einem Drehwinkelsensor.

[0233] Als nächstes erfolgt ein Zünden des Brennstoffs in Schritt S52. Dies kann auch als Zündphase bezeichnet werden. Dabei wird dem Brennstoff über die Zündeinrichtung 201 Energie zugeführt, bis dieser brennt. Des Weiteren können die Ventile bzw. Ventilstellungen beim Zünden des Brennstoffs derart eingestellt werden, dass diese das Zünden des Brennstoffs begünstigen. Bei einem solchen Zünden wird im Übrigen auch das Gebläse 15 aktiviert, um einen entsprechenden Unterdruck in der Brennkammer 24 zu erzeugen. Die Primärluft- und Sekundärluftventile können dabei auf vordefinierte Werte (z.B.: 60% und 15%) gestellt werden und es wird ein vordefinierter Unterdruck in der Brennkammer (z.B. 75 Pa) eingeregelt.

[0234] Erreicht nun die Biomasse-Heisanlage 1 eine vorbestimmte Brennraumtemperatur (beispielsweise 50°C) und/oder ein vorbestimmtes Lambda (beispielsweise 17%), geht die Biomasse-Heisanlage 1 zu Schritt S53 über, der Stabilisierung der Verbrennung. Bei diesem Schritt, der auch als Stabilisierungsphase bezeichnet wird, wird ein Entzünden des Brennstoffbetts weiter gefördert. Entsprechend werden die Stellungen der Luftventile 52, die Funktion des Gebläses 15 und auch die Brennstoffzufuhr angepasst. Dabei sollen sich der Kessel 11 und auch die Brennkammer 24 weiter erwärmen. Vorzugsweise soll der Verbrennungsvorgang sukzessive in einen stationären Zustand übergehen, in welchem aus thermodynamischer Sicht ein Gleichgewicht herrscht. Erhöht sich die Verbrennungstemperatur bis auf einen vorbestimmten Wert, beispielsweise 400°C, ist Schritt S53 abgeschlossen.

[0235] Entsprechend geht das Verfahren zu Schritt S54 über: der stabilisierten Verbrennung und dem eigentlichen Heizbetrieb. In diesem Schritt S54 erfolgt eine Regelung der Leistungsabgabe bzw. der Verbrennungsintensität mittels der Brennstoffzufuhr 6, des Gebläses 15, der Stellung der Ventile 52, und weiterer Aktoren basierend auf den Sensordaten von Sensoren der Biomasse-Heisanlage 1, beispielsweise basierend auf der Brennkammertemperatur, dem Lambda-Wert und/oder der Kessel(wasser bzw. -medium)temperatur. Hierbei kann eine brennstoffabhängige Leistungsregelung zum Einsatz kommen.

[0236] Der Schritt S54 wird beendet, wenn beispielsweise genügend Wärmeleistung zur Verfügung gestellt wurde und/oder ein vollständiger Abbrand des Brennstoffs im Kessel 11 erfasst und berechnet wird.

[0237] Danach findet bei Schritt S55 ein Ausbrennen der Brennkammer 24 und insbesondere des Drehrosts 25 statt. Dabei wird die Brennstoffzufuhr beendet und es sinkt die Brennkammertemperatur. Es verbrennen die Reste des Brennstoffs auf dem Drehrost 25. Hierzu können beispielsweise auch die Stellungen der Ventile 52 und das Gebläse 15 entsprechend eingestellt werden. Am Ende des Ausbrennens erfolgt eine Abreinigung des Drehrosts 25 durch entsprechendes Drehen bzw. Öffnen der Drehrostelemente.

[0238] Nach Beendigung des Schritts S55 kann das Verfahren deaktiviert werden (ENDE), oder aber kann das Verfahren nach einiger Zeit erneut zu Schritt S50 übergehen, womit ein erneuter Heizzyklus beginnt.

(Regelverfahren für die Filtereinrichtung 4)

[0239] Die Figuren 12a, b, c und d zeigen diverse Verfahren zur Regelung der Filtereinrichtung 4, welche gemeinsam oder auch einzeln zum Einsatz kommen können. Dabei können die diversen Verfahren in das Betriebsverfahren der Biomasse-Heisanlage 1 integriert sein, und je nach dem Betriebszustand des Kessels 11 zum Einsatz kommen. Das Verfahren der Fig. 12d kann zudem übergeordnet in jeglichem Betriebszustand des Filters 4 zum Einsatz kommen, falls der Kessel 11 aktiv ist, um Beschädigungen an der Biomasse-Heisanlage 1 zu vermeiden.

[0240] Die Filtereinrichtung 4 weist zur Regelung der Filtereinrichtung 4 entweder eine separate Steuereinrichtung bzw. einen eigenen Controller auf, oder aber es wird die Filtereinrichtung 4 über die oben erläuterte Steuereinrichtung 100 geregelt.

[0241] Generell ist davon auszugehen, dass die Steuereinrichtung (100) und damit die Verfahren derart eingerichtet sind, dass der Betriebszustand der Biomasse-Heisanlage 1 (vgl. die Schritte S50 bis S55 der Fig. 11), sowie zumindest

einer der Parameter der Filterspannung V_f [kV], des Filterstroms I_f [μ A], der Filterleistung W_f [W], des Filterstatus S_f [An/Aus] und/oder der Kesselleistung W_k [kW] erfasst werden und damit bekannt sind. Weiter sind die Steuereinrichtung bzw. die Verfahren derart eingerichtet, dass diese den Filterstatus [An/Aus] einstellen können und zumindest der Parameter der Filterspannung V_f [kV] eingestellt werden kann. Die diversen Filterspannungen V_f dieser Verfahren bezeichnen

die an der Sprühelektrode anliegende Spannung in Bezug auf die Gegenelektrode bzw. Masse.

[0242] Fig. 12a zeigt ein Verfahren zur Regelung der Filtereinrichtung 4 während der Stabilisierung S53 der Verbrennung, d. h. ein Filterstabilisierungsregelungsverfahren HO.

[0243] Bei Schritt S60 wird abgefragt, ob der Kessel 11 in Betrieb ist. Nur in diesem Fall beginnt das Verfahren mit Schritt S61.

[0244] Bei Schritt S61 wird abgefragt, ob der Betriebszustand des Kessels 11 im Zustand der Stabilisierung der Verbrennung (S53) ist oder nicht. Ist dies nicht der Fall, wird S61 in regelmäßigen Zeitintervallen wiederholt. Ist dies der Fall, fährt das Verfahren mit Schritt S62 fort.

[0245] Bei Schritt S62 wird eine voreingestellte Spannung V_{min} des Filters 4 als vorgegebene Mindestspannung des Filters 4 eingestellt. V_{min} kann beispielsweise 30 kV betragen. Diese Spannung ist damit die Startspannung des Filters 4.

[0246] Danach wird bei Schritt S63 die Spannung des Filters 4 V_f schrittweise in vorgegebenen Zeitspanne T_{erh} um einen vorgegebenen Spannungserhöhungswert V_{ew} erhöht. Die Zeitspanne T_{erh} kann beispielsweise eine Minute betragen. Der Spannungserhöhungswert V_{ew} kann beispielsweise 500V betragen. Mithin fährt die Filterspannung über eine (Spannungserhöhungs-) Rampe von 500V pro einer Minute hoch. Diese Rampe kann leistungsabhängig in Bezug auf die Kesselleistung definiert sein. Führt der Kessel 11 beispielsweise auf Maximalleistung, dann kann der Spannungserhöhungswert niedriger definiert sein, als wenn der Kessel 11 nur im Teillastbetrieb fährt, da im Teillastbetrieb eine höhere Rußemission zu erwarten ist.

[0247] Nach Schritt S63 wird bei Schritt S54 abgefragt, ob die Filterspannung V_f eine vorgegebene Maximalspannung V_{max} erreicht hat oder nicht. V_{max} kann beispielsweise 48 kV oder 60 kV betragen. Ist die Maximalspannung V_{max} von der Filterspannung V_f nicht erreicht, kehrt das Verfahren zu S63 zurück. Ist die Maximalspannung V_{max} von der Filterspannung V_f erreicht, fährt das Verfahren mit S65 fort und hält die Filterspannung V_f auf der Maximalspannung V_{max} .

[0248] Bei S66 wird erneut abgefragt, ob der Betriebszustand des Kessels im Zustand der Stabilisierung der Verbrennung (S54) ist oder nicht. Ist dies nicht (mehr) der Fall, endet das Verfahren. Ist dies der Fall, fährt das Verfahren mit Schritt S65 fort und hält die Filterspannung V_f auf der Maximalspannung V_{max} .

[0249] Im nächsten Schritt S66 wird, wie bei Schritt S61, abgefragt, ob der Betriebszustand des Kessels 11 im Zustand der Stabilisierung der Verbrennung (S53) ist oder nicht. Ist dies nicht der Fall, wird S65 wiederholt, d. h. es wird die Maximalspannung beibehalten. Ist dies der Fall, endet das Verfahren.

[0250] Dieses Hochfahren der Filterspannung V_f über eine Rampe dient der Anpassung der Filterwirkung an die Vorgänge bei der Verbrennung während der Stabilisierung der Verbrennung, bei der üblicherweise mehr Verbrennungsrückstände im Rauchgas enthalten sind, sowie aufgrund der Kesselleistung über dem gewünschten Sollwert auch höhere Kesseltemperaturen und damit Rauchgasgeschwindigkeiten zu erwarten sind. Insofern trägt diese Regelung den besonderen Bedingungen bzw. Erfordernissen bei dem Zustand der Stabilisierung der Verbrennung Rechnung.

[0251] Fig. 12b zeigt ein Verfahren zur Regelung der Filtereinrichtung 4 während der Verbrennung S54 (im normalem Verbrennungsbetrieb des Kessels 11), d. h. ein Filterverbrennungsregelverfahren VR.

[0252] Bei Schritt S70 wird abgefragt, ob der Kessel 11 in Betrieb ist. Nur in diesem Fall beginnt das Verfahren mit Schritt 71.

[0253] Bei dem folgenden Schritt S71 wird abgefragt, ob der Betriebszustand des Kessels im Zustand der Stabilisierung der Verbrennung (S61) ist oder nicht. Ist dies nicht der Fall, wird S71 in regelmäßigen Zeitintervallen wiederholt. Ist dies der Fall, fährt das Verfahren mit Schritt S72 fort.

[0254] Bei Schritt S72 wird die Spannung V_f des Filters in Abhängigkeit zur Kesselleistung nach einer vordefinierten Funktion $V_f = f(\text{Kesselleistung})$ geregelt.

[0255] Diese Funktion $f(\text{Kesselleistung})$ kann beispielsweise eine lineare Funktion sein, bei der in einem vordefinierten Leistungsbereich (bspw. 30% bis 70%) eine lineare ansteigende Regelung der Filterspannung V_f von einer vordefinierten Minimalspannung V_{fmin} auf eine vordefinierte Maximalspannung V_{fmax} vorgenommen wird.

[0256] Die Funktion V_f kann alternativ aus einer vordefinierten Tabelle bestehen, in der für bestimmte Leistungswerte (bzw. -wertbereiche) des Kessels 11 vordefinierte Filterspannungen V_f vorgegeben sind.

[0257] Nach Schritt S72 wird bei Schritt S73 abgefragt, ob sich der Kesselbetrieb weiterhin im Zustand des Verbrennens (S54) befindet, oder nicht. Befindet sich der Kesselbetrieb im Zustand des Verbrennens (S54), kehrt das Verfahren zu Schritt S72 zurück und setzt die leistungsabhängige Regelung der Filterspannung V_f fort.

[0258] Befindet sich der Kesselbetrieb nicht (mehr) im Zustand des Verbrennens (S54), wird das Filterverbrennungsregelverfahren VR beendet.

[0259] Eine derartige Regelung VR spart Energie (Filterleistung) und beansprucht die Leistungsquelle der Filterspannung V_f weniger, da die Regelung der Filterspannung V_f bedarfsabhängig erfolgt.

[0260] Das Verfahren der Fig. 12b kann optional nur durchgeführt werden, falls zumindest eine vordefinierte Brennstoffart, beispielsweise Pellets, im Kessel 11 zur Verbrennung erfasst werden. Sollten weiterhin andere als die zumindest eine vordefinierte Brennstoffart erfasst werden, kann eine andere Regelung der Filterspannung V_f erfolgen, beispielsweise kann eine Festspannung eingestellt werden. Wird folglich beispielsweise Hackgut erfasst, kann die Filterspannung V_f auf einen festen Wert, beispielsweise 45 kV, eingestellt werden.

[0261] Fig. 12c zeigt ein Verfahren zur Regelung der Filtereinrichtung 4 während des Ausbrennens S55, d. h. ein Filterausbrennregelverfahren ABB.

[0262] Bei Schritt S80 wird abgefragt, ob der Kessel 11 in Betrieb ist. Nur in diesem Fall beginnt das Verfahren.

[0263] Bei Schritt S81 wird abgefragt, ob der Betriebszustand des Kessels 11 im Zustand der Stabilisierung des Ausbrennens (S55) ist oder nicht. Ist dies nicht der Fall, wird S61 in regelmäßigen Zeitintervallen wiederholt. Ist dies der Fall, fährt das Verfahren mit Schritt S82 fort. Dabei wird eine voreingestellte Spannung V_{min} des Filters 4 als vorgegebene Mindestspannung V_{min} des Filters 4 eingestellt. V_{min} kann beispielsweise 30 kV betragen. Diese Spannung ist damit auch die Startspannung einer Rampe zur Erhöhung der Filterspannung V_f (vgl. die folgenden Schritte).

[0264] Danach wird bei Schritt S83 die Spannung des Filters V_f schrittweise in der vorgegebenen Zeitspanne T_{erh1} um einen vorgegebenen Spannungserhöhungswert V_{ew1} erhöht. Die Zeitspanne T_{erh} kann beispielsweise eine Minute betragen. Der Spannungserhöhungswert V_{ew} kann beispielsweise 500V betragen. Mithin fährt die Filterspannung V_f über eine (Spannungserhöhungs-) Rampe von 500V pro einer Minute hoch. Diese Rampe kann leistungsabhängig in Bezug auf die Kesselleistung definiert sein. Führt der Kessel 11 beispielsweise auf Maximalleistung, dann kann der Spannungserhöhungswert niedriger definiert sein, als wenn der Kessel 11 nur im Teillastbetrieb fährt, da im Teillastbetrieb eine höhere Rußemission zu erwarten ist.

[0265] Nach Schritt S83 wird bei Schritt S84 abgefragt, ob die Filterspannung V_f eine vorgegebene Maximalspannung V_{max} erreicht hat oder nicht. V_{max} kann beispielsweise 48 kV oder 60 kV betragen. Ist die Maximalspannung V_{max} von der Filterspannung V_f nicht erreicht, kehrt das Verfahren zu S82 zurück. Ist die Maximalspannung V_{max} von der Filterspannung V_f erreicht, fährt das Verfahren mit S85 fort und hält die Filterspannung V_f auf der Maximalspannung V_{max} .

[0266] Bei S86 wird erneut abgefragt, ob der Betriebszustand des Kessels im Zustand der Stabilisierung des Ausbrennens (S55) ist oder nicht. Ist dies nicht (mehr) der Fall, endet das Verfahren. Ist dies der Fall, fährt das Verfahren mit Schritt S85 fort und hält die Filterspannung V_f auf der Maximalspannung V_{max} .

[0267] Je nach Zusammensetzung dieser Schmutzschicht, d. h. je nach Art und Qualität des Verbrennungsvorgangs in der Brennkammer, wird eine Schwelle zur Zündung von Oberflächengleitentladungen herabgesetzt. Diese Oberflächengleitentladungen treten regelmäßig nur kurzzeitig auf, da durch die dabei auftretenden Spannungseinbrüche, bedingt durch die begrenzte Leistungsfähigkeit der Hochspannungsanlage, die Entladungen wieder unterbrochen werden. Mit dem vorstehenden Verfahren kann gezielt der Isolator 46 freigebrannt werden, da durch die Erhöhung der Filterspannung V_f die Schwelle der Zündung von Oberflächengleitentladungen erreicht wird, womit diese Oberflächengleitentladungen wirksam werden können.

[0268] Fig. 12d zeigt ein Verfahren zur Regelung der Filtereinrichtung 4 während des gesamten Betriebs zur Vermeidung von Durchschlägen im Filter 4, mithin ein Filterdurchschlagsregelverfahren DU. Dieses Verfahren dient dem Schutz der Biomasse-Heizanlage 1, insbesondere dem Schutz der Filtereinrichtung 4 und der Steuereinrichtung 100 vor Überlastung und Beschädigung. Insofern ist dieses Verfahren vorrangig vor den Verfahren der Fig. 12a bis 12c. Mithin kann die vordefinierte Maximalspannung V_{max} der Verfahren der 12a bis 12c mittels dieses Verfahrens "überschrieben" bzw. temporär verringert werden.

[0269] Bei Schritt S90 wird abgefragt, ob der Kessel 11 in Betrieb ist. Nur in diesem Fall beginnt das Verfahren.

[0270] Bei Schritt S91 wird zumindest eine der in Fig. 12d beschriebenen Bedingungen abgefragt: 1) Überschreitet der Filterstrom I_f einen vorgegebenen maximal zulässigen Filterstrom (bspw. 5000 μA) oder 2) sinkt die Filterspannung V_f unter eine vorgegebene Minimalspannung V_{fmin} des Filters (bspw. 15 kV). Hierbei können allerdings (nicht dargestellt) der maximal zulässige Filterstrom und/oder die vorgegebene Minimalspannung V_{fmin} des Filters abhängig vom Betriebszustand (S53, S54, S55) unterschiedlich vordefiniert sein. Beispielsweise soll beim Ausbrennen des Kessels 11 auch der Isolator 64 vom Ruß abgebrannt werden. Hierfür ist regelmäßig eine großzügigere Auslegung der oberen Grenze des Filterstroms I_f bzw. der Minimalspannung V_{fmin} des Filters 4 erwünscht, um das Abbrennen des Isolators 64 zu verbessern.

[0271] Ist dies nicht der Fall, d. h., ist die Abfrage bei S91 negativ, ist keine Aktion erforderlich und der Schritt S91 wird wiederholt.

[0272] Ist dies der Fall, d. h., ist die Abfrage bei S91 positiv, ist ein Durchschlag oder Kurzschluss im Filter 4 positiv erfasst. Ein solcher Durchschlag kann beispielsweise ein Überschlag von der Sprühelektrode 45 auf die Gegenelektrode 48 oder ein Überschlag über den Isolator 46 sein.

[0273] Ist die Abfrage bei S91 positiv, dann wird bei S92 die Maximalspannung des Filters V_{fmax} temporär (bspw. für 10 Minuten) um einen Spannungsverringierungswert V_{vw} (bspw. 1 kV) verringert. Damit wird die Filterspannung V_f auf ein durchschlagfreies Maximum geregelt, womit einerseits einer Beschädigung vorgebeugt wird, aber andererseits die

Filterwirkung (Partikelentfernung und Isolatorabbrand) maximiert wird.

[0274] Alternativ kann die Filterspannung V_f für einen vorbestimmte Zeitdauer auf Null eingestellt werden.

[0275] Das Verfahren der Fig. 12d kann dabei beispielsweise mit den Verfahren der Fig. 12a und/oder 12b und/oder 12c kombiniert werden.

[0276] Weiterhin kann das Filterdurchschlagsregelverfahren DU der Fig. 12d eine dort nicht dargestellte Zeitkomponente beinhalten. Diese Zeitkomponente kann darin bestehen, dass erfasst wird, ob es eine vordefinierte Anzahl von Durchschlägen (d. h. S91: Ja) innerhalb eines vorbestimmten Zeitraums gab. Sollte diese Anzahl von Durchschlägen (bspw. 5) überschritten werden, wird davon ausgegangen, dass ein grundsätzliches Problem im Filter 4 vorliegt, und der Filter 4 wird deaktiviert (Filterstatus Sf: Aus).

[0277] Zudem kann in Bezug auf die Verfahren der Fig. 12a bis 12c beispielsweise bei Erkennung eines Durchschlags das jeweilige Verfahren neu begonnen werden. Insofern können insbesondere die Rampen zur Erhöhung der Filterspannung V_f erneut von der Mindestspannung gestartet werden.

[0278] Der Abscheidegrad einer elektrostatischen Filtereinrichtung ist insbesondere von der Spannung zwischen Sprüh- und Abscheideelektrode abhängig. Eine hohe Spannung bringt jedoch das Problem von elektrischen Überschlägen in der elektrostatischen Filtereinrichtung 4 mit sich. Die Bildung von elektrischen Überschlägen im Filter wird durch die Ablagerung von leitfähigen Verbrennungsrückständen, beispielsweise Ruß, begünstigt. Zudem ist es wünschenswert, die Gesamtbaugröße der elektrostatischen Filtereinrichtung 4 möglichst klein zu halten, womit die Isolationsabstände und auch die Baugröße des Isolators möglichst klein sein sollen. Die vorstehend erläuterten Regelverfahren tragen diesen Umständen Rechnung.

[0279] Zusammengefasst kann die vorstehend dargelegte Filterregelung folgenden Funktionen erfüllen:

- Freibrennen des Isolators 46 während des Ausbrennens der Biomasse-Heizanlage 1 unter Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit der Leistungsversorgung bzw. Steuereinrichtung 100 der Filtereinrichtung 4.
- Freibrennen des Isolators während der Stabilisierung des Verbrennungsvorgangs unter Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit der Leistungsversorgung bzw. Steuereinrichtung 100 der Filtereinrichtung 4.
- Regeln der Elektrodenspannung V_f auf den maximal möglichen Wert - dicht unterhalb des Spannungsdurchschlags aber ohne einen dauerhaften Durchschlag und damit Erzielen eines ausreichenden Sprühstroms auch im Verbrennungsbetrieb.
- Genereller Schutz der Filtereinrichtung 4 durch Begrenzung des Stroms auf vorgegebene Stromwerte.
- Feststellen der Durchschlagsgrenze, Erfassen eines Durchschlags, Unterscheidung verschieden gearteter Durchschläge und Reaktion darauf.
- Detektieren des bei hochohmigen Stäuben auftretenden Rücksprühens und Reaktion darauf.

[0280] Weiterhin können noch Funktionen zur Erkennung der Art des Durchschlags unterlagert sein: Bei einem erkannten Durchschlag kann die Hochlauframpe abgebrochen werden, es kann eventuell die Hochspannung zur Entionisation für einen vorbestimmten Zeitraum auf Null gesetzt werden, und es wird eine neue Hochlauframpe, gegebenenfalls mit geringeren maximalen Spannungswerten, gestartet.

[0281] Fig. 13 zeigt ein Leistungsdiagramm, ein Spannungsdiagramm und ein Stromdiagramm mit gemeinsamer Zeitachse eines beispielhaften Zyklus des Verbrennungsbetriebs der Biomasse-Heizanlage 1 von Zündung (S52) bis zum Ausbrennen (S55). Der Einfachheit halber sind die Vorgänge des Vorbereitens (S50) und des Füllens (S50) vorliegend weggelassen.

[0282] Im Leistungsdiagramm der Fig. 13 ist mit dem Pfeil S52 in etwa der Vorgang des (erneuten) Zündens des Brennstoffs gekennzeichnet. Der Brennstoff fängt Feuer und die Leistung steigt aufgrund des noch unverbrauchten Brennstoffs schnell an. In etwa im Bereich des Pfeils S53 wird eine Stabilisierung des Verbrennungsvorgangs vollzogen, womit die Leistung nach etwas Fluktuation auf den gewünschten Sollleistungswert stabilisiert wird. In etwa im Bereich der Pfeile S54 findet der (stabilisierte) Verbrennungsvorgang statt, womit eine relativ konstante Leistungsabgabe des Kessels 11 erfolgt. Etwa bei S55 findet ein Ausbrennen der Biomasse-Heizanlage mit der damit einhergehenden Leistungsspitze statt. Danach endet dieser Zyklus, die Leistung fällt ab.

[0283] Zeitlich mit dem Vorstehenden einhergehend ist im Spannungsdiagramm die Filterspannung V_f (d. h. die an der Sprühelektrode 45 anliegende Spannung) und im Stromdiagramm der im Filter 4 aufgrund der anliegenden Filterspannung V_f fließende Filterstrom I_f eingezeichnet, die das Ergebnis der Regelungsverfahren der Fig. 12a bis 12d sind.

[0284] Die mit HO1 und HO2 bezeichneten Pfeile zeigen auf beispielhafte Regelergebnisse in Spannung und Strom des Filterstabilisierungsregelungsverfahrens HO.

[0285] Bei der Stabilisierung der Verbrennung wird der normale Verbrennungsbetrieb vorbereitet, indem durch eine rampenartige Erhöhung der Filterspannung V_f ein Freibrennen des Isolators 56 begünstigt bzw. ermöglicht wird. Bei der Stabilisierung der Verbrennung kommt es zu erhöhten, oft bulkartig auftretenden Rußfrachten in der Verbrennungsluft, welchen ebenso mit einer über die Spannungsrampe bis zur Durchschlagsgrenze erhöhten Filterspannung V_f begegnet wird.

[0286] Die mit ABB1 und ABB2 bezeichneten Pfeile zeigen auf beispielhafte Regelergebnisse in Spannung und Strom des Filterausbrennregelverfahrens ABB. Zum Abbrennen der leitfähigen Ablagerungen auf dem Isolator 46 wird die Spannung V_f rampenmäßig erhöht, um einen Glimmbrand auf dem Isolator 46 zu bewirken.

[0287] Die mit VR1, VR2 und VR3 bezeichneten Pfeile zeigen auf beispielhafte (abschnittsweise) Regelergebnisse in Spannung und Strom des Filterverbrennungsregelverfahrens VR. An diesen Stellen korreliert die Filterspannung V_f in etwa linear mit der Kesselleistung, und ist von diversen Ausreißern (beispielsweise durchfliegende bulkartige Partikelansammlungen oder Durchschläge) gekennzeichnet.

[0288] Die mit DU1, DU2 und DU3 bezeichneten Pfeile kennzeichnen Stellen, an welchen das Filterdurchschlagsregelverfahren DU zum Einsatz kommt. Bei DU1 ist die Spannung des Filters V_f unter die voreingestellte Mindestspannung V_{fmin} gefallen, womit ein Durchschlag erkannt wurde. Im Ergebnis wird die Spannungserhöhungsrampe für das Filterstabilisierungsregelungsverfahren der Fig. 12a erneut mit der Mindestspannung V_{fmin} gestartet. Bei DU2 gab es einen einzelnen Durchschlag aufgrund der Überschreitung eines Maximalstroms von $5000\mu A$. Dort wurde die Filterspannung V_f für eine vorgegebene Zeitspanne (eine Minute) auf Null eingestellt, womit das mit dem Durchschlag einhergehende Problem erledigt war. Bei DU2 kam es zu einer Anzahl von Durchschlägen, welche allerdings in der Anzahl pro Zeitdauer noch nicht groß genug war, um eine permanente Deaktivierung des Filters 4 zu bewirken. Hier wurde lediglich der Filter mehrmals für eine vorgegebene Zeitspanne (eine Minute) auf Null eingestellt. Bei DU4 kam es zu einem Spannungsabfall unter die Mindestfilterspannung V_{fmin} während des Abbrennens des Isolators bzw. des Ausbrennens des Kessels 11. Dies kann beispielsweise geschehen, wenn sich Ruß bulkartig aus der Brennkammer 24 oder dem Wärmetauscher 3 löst. In diesem Fall wurde die Filterspannung V_f für eine vorgegebene Zeitspanne (1 Minute) auf Null eingestellt, und es wurde die Spannungsrampe gemäß dem Filterausbrennregelverfahren ABB erneut bei der Mindestspannung gestartet. Dies bewirkt einen weiteren Versuch des Abbrennens des Isolators 46.

[0289] Fig. 14 zeigt einen Querschnitt durch die Biomasse-Heisanlage der Fig. 2 mit dem Ergebnis einer CFD-Temperatursimulation, welche mit praktischen Messungen an einem Prototyp der Biomasse-Heisanlage 1 der Fig. 2 bei 100 kW (bei 120kW Maximalleistung des Kessels) verifiziert wurde.

[0290] Fig. 15 zeigt einen Querschnitt durch die Biomasse-Heisanlage der Fig. 2 mit dem Ergebnis einer CFD-Strömungssimulation, welche mit der CFD-Temperatursimulation der Fig. 14 korrespondiert, wobei die CFD-Strömungssimulation mit praktischen Messungen an einem Prototyp der Biomasse-Heisanlage 1 der Fig. 2 bei 100 kW (bei 120kW Maximalleistung des Kessels) verifiziert wurde.

[0291] Die einzelnen Merkmale und Komponenten der Biomasse-Heisanlage 1 der Figuren 14 und 15 entsprechen denjenigen der Figuren 2 und 3, weshalb diese der Übersichtlichkeit halber weggelassen werden. Die Figuren 14 und 15 zeigen Geschwindigkeits- und Temperaturverteilungen im Innenvolumen des Kessels 11 (bspw. der Brennkammer, dem Wärmetauscher 3 und der elektrostatischen Filtereinrichtung 4) mit Hilfe von Isoflächen in Grautönen.

[0292] Einzelne charakteristische Stellen der Simulation und der Messungen sind in den Figuren 14 und 15 explizit als "ca. "-Werte angegeben.

[0293] Der sogenannte Partikeltransport in einer elektrostatischen Filtereinrichtung ist abhängig von dem angelegten elektrischen Feld, sowie von der Strömungsdynamik (bspw. der Verweildauer des Partikels im elektrischen Feld) des durchströmenden Gases und des abzuscheidenden Staubes.

[0294] Diese Strömungsdynamik wird stark von der Geometrie der Filtereinrichtung 4 sowie der Rauchgasführung im Kessel 11 bestimmt. Weiter werden die elektrischen Bedingungen insbesondere von der Geometrie der Abscheide- und Sprühelektrode bestimmt.

[0295] Um nun die Verweildauer des Rauchgases im Filter 4 zu erhöhen, ist die Rauchgasführung im Kessel 11 derart eingerichtet, dass die Rauchgasgeschwindigkeit in der Filtereinrichtung 4 unter 2 m/s, vorzugsweise unter 1,5 m/s, liegt.

[0296] Um diese Strömungsgeschwindigkeit zu erzielen, ist der Kessel 11 bzw. der Wärmetauscher mit speziellen, mittels CFD-Simulationen entwickelten Turbulatoren 35, 36 als Strömungsbremsen 35, 36 ausgestattet, die zudem den Wärmeaustausch im Wärmetauscher begünstigen.

[0297] Vorstehendes sorgt dafür, dass bei Nennlastbetrieb des 100 kW Kessels eine Wärmetauscheraustrittstemperatur von maximal $180^{\circ}C$, vorzugsweise maximal $160^{\circ}C$, erreicht werden kann, was in einer Eintrittstemperatur in den Filter von maximal $170^{\circ}C$, vorzugsweise maximal $150^{\circ}C$, resultiert. Dies bestätigen auch die Ergebnisse, welche in den Fig. 14 angegeben sind. Generell sollte die Temperatur des Rauchgases im Filtereintritt 44 im Volllastbetrieb der Biomasse-Heisanlage 1 kleiner als $220^{\circ}C$, vorzugsweise kleiner als $200^{\circ}C$, sein, um eine Optimierung der Filterwirkung zu erzielen.

[0298] Weiter ist die Rauchgasführung im Kessel 11 derart eingerichtet, dass Rauchgasgeschwindigkeit im Eintritt des Filters auf maximal 2 m/s, vorzugsweise maximal 1,8 m/s erreicht werden bzw. in einem Bereich von 1 bis 2 m/s liegen. Bei Kesselleistungen von 70 kW (d. h. im Teillastbetrieb) reduziert sich diese Rauchgasgeschwindigkeit auf Werte von maximal ca. 1,2 m/s, vorzugsweise von maximal 1,0 m/s.

[0299] Hierfür können optional auch die Wendekammer 35 und der Filtereintritt 44 derart ausgestaltet sein, dass die Strömung im Volllastbetrieb weiter gebremst wird. Beispielsweise können Strömungsleitbleche oder Bremsströmungen vorgesehen werden.

[0300] Zudem können die Wendekammer 35 und der Filtereintritt 44 derart ausgestaltet, sein, dass die Einstromung in den Filter 4 homogen erfolgt.

[0301] Damit kann zusätzlich eine Vergleichmäßigung der Einstromung in den Filter 4 und damit eine Reduktion der Geschwindigkeitsspitzen im Einstrombereich und im Bereich der Ascheschnecke erreicht werden, wodurch das Absetzen der Asche verbessert und das Aufwirbeln von Asche aus der Wendekammer 35 verringert wird. Des Weiteren ist eine Vergleichmäßigung des Strömungsprofils am Eintritt wichtig, um Strähnenbildungen im E-Filter zu vermeiden.

[0302] Weiterhin kann eine Regelung des Kesselbetriebs derart vorgenommen werden, dass anhand der mit den in Bezug auf Fig. 2 beschriebenen Sensoren, der Betriebszustand der Biomasse-Heizanlage 1 derart geregelt wird, dass die vorstehend erläuterten Strömungsgeschwindigkeiten und Temperaturen erreicht werden. Optional und zusätzlich können weitere, hierin nicht explizit genannte, Sensoren vorhanden sein, um diese Regelung des Betriebszustands der Biomasse-Heizanlage 1 auf die vorstehend genannten Temperaturen und Strömungsgeschwindigkeiten erreicht werden.

[0303] In anderen Worten kann die Biomasse-Heizanlage 1 derart geregelt werden (beispielsweise die Luftzufuhr zur Verbrennung oder die Leistung des Saugzuggebläses bzw. Ventilators), dass der Filter zumindest bei der Verbrennung S54 in den oben genannten physikalischen Bereichen betreffend Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit betrieben wird.

(Filterabreinigung)

[0304] Ein weiteres Problem entsteht durch die Staub- bzw. Partikelschicht, welche sich im Betrieb auf den Elektroden ablagert. Diese Partikel weisen als Verbrennungsrückstände mineralische und kohlenstoffhaltige Anteile auf, womit dies einen nicht zu vernachlässigenden elektrischen Widerstand aufweisen. Die Probleme, welche bei der Ablagerung von leitfähigen Rückständen auf dem Isolator 46 entstehen, wurden schon in Bezug auf die Fig. 8a und 8b näher erläutert.

[0305] Diese Probleme sind allerdings nicht die einzigen Probleme, welche durch Ablagerungen im Filter 4 entstehen. Die Ladung der abgeschiedenen Partikel und des ankommenden Ionenstroms müssen durch die Staubschicht der bereits abgeschiedenen Partikel auf den Elektroden (Sprüh- und Niederschlagselektrode) abfließen. Somit kann es zu einem verhältnismäßig starken Spannungsabfall über die Staubschicht kommen, was schließlich zu einer Koronaentladung in der Staubschicht führen kann. Hierbei entstehen Ladungsträger beider Polaritäten, was zu einem Ionenstrom, entgegen dem Abscheidestrom, in Richtung der Sprühelektroden führt. Teilweise kommt es auch zu Überschlügen innerhalb der bereits abgeschiedenen Staubschicht, die wie bei einer Explosion Staub zurück in den Gasstrom schleudert. Dieser Effekt wird "Rücksprühen" (Back-Corona) genannt und führt zu einer Verminderung der Partikeltransportgeschwindigkeit und zu einer Verminderung der Filterwirkung.

[0306] Weiter besteht das Problem des Reentrainments. Unter Reentrainment versteht man den Mitriss von bereits abgeschiedenem Staub mit dem Gasstrom. Der Großteil des Reentrainments entsteht beim Abklopfen der Elektroden (sog. Klopfverluste). Ein Reentrainment durch Abklopfen der Elektroden wird vorliegend vermieden oder zumindest reduziert, indem der Kesselbetrieb entweder ganz eingestellt ist (d. h. es wird nach dem Ausbrand abgeklopft) oder beim Abklopfen kurzzeitig das Gebläse 15 deaktiviert wird.

[0307] Aber auch im normalen Abscheidebetrieb entstehen Reentrainment-Verluste aus der Staubschicht. Hier spricht man von Erosionsverlusten. Vorliegend wird dem Reentrainment konstruktiv durch die Filtergeometrie der elektrostatischen Filtereinrichtung entgegengewirkt. Zum einen dient das Volumen an der Oberseite der elektrostatischen Filtereinrichtung 4 um den Isolator 46 als Fangraum, in welchem einströmende Partikel zum Umkehren gezwungen werden und mithin im Volumen der Filtereinrichtung 4 eingefangen werden, bevor diese die Filtereinrichtung durch den Austritt 47 verlassen. Dieser strömungstechnische Mechanismus ist in Bezug auf Fig. 9 (vgl. Strömungspfeil S8) beschrieben, worauf verwiesen wird.

[0308] Insofern hat sich gezeigt, dass eine mechanische Abreinigung beider Elektroden 45, 48 erforderlich ist, um einen langzeitstabilen Betrieb der Filtereinrichtung 4 zu gewährleisten.

[0309] Diese mechanische Abreinigung ist in Bezug auf die Figuren 16a bis 20b näher beschrieben. Diese Figuren 16a bis 20b zeigen jeweils Schnitte der Ausführungsform der Figuren 1 ff. in verschiedenen Zuständen. Gleich dargestellte Merkmale der Figuren 16a bis 20b entsprechen denjenigen der Figuren 1 ff, womit aus Gründen der Übersichtlichkeit viele Bezugszeichen nicht erneut eingezeichnet aber jedoch mithin für den Fachmann entsprechend offenbart sind. Die Zustände der Figuren 17a bis 20b stellen eine zeitliche Abfolge eines Abreinigungsverfahrens der Filtereinrichtung 4 in der Reihenfolge dieser Figuren dar.

[0310] Die Fig. 16a zeigt eine dreidimensionale Schnittansicht in die Filtereinrichtung 4 der Biomasse-Heizanlage 1 von hinten (d. h. von einer Richtung, die entgegengesetzt dem Pfeil V der Fig. 1 ist) in einem Ruhezustand der Abreinigung. Die Fig. 16b zeigt eine ebene Schnittansicht der Filtereinrichtung 4 der Biomasse-Heizanlage 1 von hinten in einem Ruhezustand der Abreinigung.

[0311] In diesem Ruhezustand hängt die pendelfähig am Isolator 46 aufgehängte Sprühelektrode 45 (welche selbst unflexibel ist) nach unten mit der Achse LAE als Ruheachse. Das Aufhängungselement 452, vorliegend eine Feder, befindet sich ebenso in Ruhe und übt damit keine Stellkraft auf die Elektrode 45 aus. Auch das Federelement 453 und

die daran angebrachte Filterspitze 454 befinden sich in Ruhe und sind an der Achse LAE ausgerichtet.

[0312] Dieser Ruhezustand ist der Standardzustand während des Verbrennungsbetriebs des Kessels 11. Die Elektrode 45 wird bestromt, der Filter 4 übt eine elektrostatische Reinigungswirkung aus, und sowohl die Sprühelektrode 45 als auch die Niederschlagselektrode 48 bzw. der Käfig 48 werden von Rauchgasrückständen beschlagen. Ebenso lagern

sich Rückstände auf der Innenwand des Filters 4 und auch auf dem Isolator 46 ab.

[0313] Die Fig. 17a zeigt eine dreidimensionale Schnittansicht der Filtereinrichtung 4 der Biomasse-Heisanlage 1 von hinten in einem ersten Abreinigungszustand. Die Fig. 17b zeigt eine ebene Schnittansicht der Filtereinrichtung 4 der Biomasse-Heisanlage 1 von hinten in dem ersten Abreinigungszustand.

[0314] Eine Abreinigung des Filters 4 wird üblicherweise nach einem Ausbrand (S55) des Kessels durchgeführt. Ebenso kann eine Abreinigung des Filters 4 manuell stattfinden, oder - nach Bedarf - auch während des Verbrennungsbetriebs des Kessels.

[0315] Im ersten Abreinigungszustand ist die Bestromung der Elektrode 45 deaktiviert. Ein (vorzugsweise zweiarmiger) Schlaghebel 96 mit einem kegelförmigen Schlagkopf wird mittels eines (nicht dargestellten) Motors, welcher über ein (ebenso nicht näher dargestellte Übersetzungsmechanik) um eine **Drehachse** SDREH in Richtung des Pfeils FE1 ausgelenkt. Gleichzeitig kann (optional) der Käfig 48 zur Abreinigung der Innenwände des Filters 4 angehoben werden, womit dieser Ablagerungen an den Innenwänden abschabt.

[0316] Die Fig. 18a zeigt eine dreidimensionale Schnittansicht der Filtereinrichtung 4 der Biomasse-Heisanlage 1 von hinten in einem zweiten Abreinigungszustand. Die Fig. 18b zeigt eine ebene Schnittansicht der Filtereinrichtung 4 der Biomasse-Heisanlage 1 von hinten in dem zweiten Abreinigungszustand.

[0317] Der Schlaghebel ist in diesem zweiten Abreinigungszustand weiter in Richtung des Pfeils FE2 ausgelenkt worden. Dadurch, dass die Bahn des Anschlagkopfs 97 durch die Position der Filterspitze 454 (und optional auch durch die Position des Federelements 453) verläuft, wird die Elektrode 45 seitlich (in Richtung V (vorne) des Kessels 11) ausgelenkt und pendelt aufgrund Gravitation und optional aufgrund der Rückstellkraft des Aufhängungselements 452 wieder in die Ruhelage entlang der Achse LAE zurück. Diese Bewegung ist mit dem Doppelpfeil FE3 angedeutet. Vorliegend ist die Elektrode 45 nach dem Pendeln in Richtung des Doppelpfeils FE3 wieder in die Ausgangsposition zurückgekehrt.

[0318] Bei dieser ersten Bewegung des Schlaghebels 96 wird somit die Elektrode 45 in eine erste Richtung und zurück (vgl. Doppelpfeil FE3) ausgelenkt, die winklig zu der Bewegungsrichtung des Schlaghebels 96 ist. Die Ursache hierfür ist die kegelförmige Ausgestaltung des Schlagkopfs, mit deren winklig zur Bewegungsrichtung des Schlaghebels 96 angeordneten Flächen eine ebensolche winklige Bewegung der Elektrode 45 bewirkt wird.

[0319] Schon bei diesem Vorgang werden Rückstände auf der Elektrode 45 abgeklopft, wobei die Krafteinwirkung auf die Elektrode 45 in dieser ersten Richtung erfolgt. Verdeutlicht man sich dies in Zusammenhang mit der Elektrode 45 der Fig. 6 (vgl. Ansicht F2), so wird klar, dass eine solchermaßen gerichtete Krafteinwirkung ein Abklopfen an den Elektrodenoberflächen 45 in einer Vorzugsrichtung bewirkt. Diese Vorzugsrichtung ist dadurch gekennzeichnet, dass eine Krafrichtung des Abklopfens senkrecht zur Elektrodenfläche effektiver ist als eine Krafrichtung parallel zur Oberfläche.

[0320] In anderen Worten: Da die Elektrode 45 der Fig. 6 zwei Hauptrichtungen der Oberflächen aufweist, werden mit dem Abklopfen in der ersten Richtung bevorzugt diejenigen Oberflächen mit der Hauptrichtung senkrecht zur Krafrichtung des Abklopfens, d. h. ein erster Teil der Oberflächen der Elektrode 45, abgereinigt.

[0321] Bewegt sich im Übrigen (optional) der Schlaghebel 96 schnell genug, ist die Auslenkung der Elektrode 45 zudem groß genug, dass diese an dem Käfig 48 anschlagen kann, womit auch damit ein weiteres Abklopfen am Käfig 48 erfolgt.

[0322] Die Fig. 19a zeigt eine dreidimensionale Schnittansicht der Filtereinrichtung 4 der Biomasse-Heisanlage 1 von hinten in einem dritten Abreinigungszustand. Die Fig. 19b zeigt eine ebene Schnittansicht der Filtereinrichtung 4 der Biomasse-Heisanlage 1 von hinten in dem dritten Abreinigungszustand.

[0323] In dem dritten Abreinigungszustand schnell der Schlagarm ruckartig bzw. stark beschleunigt aus der Position der Figuren 18a und b zurück, und schlägt mit der flachen Seite der Kegelbasis des Anschlagkopfs 97 auf die Filterspitze 454 und optional auf das Federelement 453 auf. Das Resultat dieses Aufschlagens ist in den Figuren 20a und 20b dargestellt, welche eine Momentaufnahme kurz nach dem Anschlagen im dritten Abreinigungszustand ist.

[0324] Die Fig. 20a zeigt eine dreidimensionale Schnittansicht der Filtereinrichtung 4 der Biomasse-Heisanlage 1 von hinten in einem vierten Abreinigungszustand. Die Fig. 20b zeigt eine ebene Schnittansicht der Filtereinrichtung 4 der Biomasse-Heisanlage 1 von hinten in dem vierten Abreinigungszustand.

[0325] Als Resultat des Aufschlagens des Anschlagkopfs 97 auf die Filterspitze 454 und optional auf das Federelement 453 pendelt die Elektrode 45 in eine zweite Richtung (vgl. Doppelpfeil FE5), die unterschiedlich zur ersten Richtung ist, und schlägt (optional) an dem Käfig 48 an, was eine weitere Reinigungswirkung entfaltet. Bei diesem Aufschlagen erfolgt im Kern eine Krafteinwirkung in die zweite Richtung, welche klar unterschiedlich zur ersten Richtung ist. Je nach Ausprägung des Kegels des Anschlagkopfs 97 ist der (horizontal betrachtete) Winkel zwischen der ersten Richtung und der zweiten Richtung größer als 45 Grad, vorzugsweise größer als 60 Grad.

[0326] Damit weist das Abklopfen im dritten/vierten Abreinigungszustand eine Vorzugsrichtung betreffend des Abklopfens auf, welche unterschiedlich zu der Vorzugsrichtung im zweiten Abreinigungszustand ist.

[0327] In anderen Worten wird durch die vorliegende Umsetzung der Abklopfmechanik ein Abklopfen der Elektrode aus zwei unterschiedlichen Richtungen mit zwei Reinigungsimpulsen bewirkt, was der besonderen Form der Elektrode 45 Rechnung trägt und diese effektiv abreinigt.

[0328] Das Federelement 453 schützt im Übrigen die Elektrode 45 vor der Schlagwirkung des Anschlaghebels 96, um die Elektrode 45 und insbesondere den Isolator 46 vor Schaden (bspw. Verformung, Bruch) zu bewahren.

[0329] Weiter kann die isolatorseitige Aufhängung 452 derart eingerichtet sein, dass diese die Elektrode 45 nach dem zweiten Anschlagen wieder zeitnah in Ruheposition (entlang der Achse LAE) rückstellt. Insofern kann ein längeres und unerwünschtes Auspendeln der Elektrode 45 vermieden werden.

[0330] Im Übrigen bewegt sich der Käfig 48 in seine Ausgangsposition zurück.

[0331] Optional kann das zweite Anschlagen mit einer Kraft erfolgen, mit der die Elektrode 45 mit deren Spitze 454 an den Käfig 48 anschlägt, womit vorteilhaft ein zweiter Reinigungsimpuls auf den Käfig 48 und ein dritter Reinigungsimpuls auf die Elektrode 45 (jeweils in einer weiteren Richtung) erfolgt.

[0332] In anderen Worten kann ein Abreinen im Filter 4 mit folgenden Schritten erfolgen:

- Ausholen des Schlaghebels 96 durch Bewegung aus der Ruheposition in eine Schlagposition; dabei Berühren des Anschlagkopfs 97 des Schlaghebels 96 mit zumindest einem Teil der Elektrode 45, vorzugsweise Berühren der Spitze 454, und Auslenken der Elektrode in eine erste Richtung FE3, womit ein erster Reinigungsimpuls bewirkt wird.
- Bewegen des Anschlagkopfs 97 des Schlaghebels 96 derart, dass zumindest ein Teil der Elektrode 45, vorzugsweise die Spitze 454, angeschlagen wird, und die Elektrode 45 in eine zweite Richtung FE5, die unterschiedlich zur ersten Richtung FE3 ist, ausgelenkt wird, womit ein zweiter Reinigungsimpuls bewirkt wird.
- Optional erfolgt die Auslenkung der Elektrode 45 in die zweite Richtung FE5 derart, dass die Elektrode 45 an den Käfig 48 anschlägt, womit ein dritter Reinigungsimpuls auf Käfig 48 und Elektrode 45 bewirkt wird.

[0333] Das Verfahren bzw. der Ablauf der Figuren 16a bis 20b kann mehrfach (iterativ) wiederholt werden, bis die Abreinigung ausreichend ist.

[0334] Die Figuren 21a bis 21d zeigen verschiedene Ansichten des Anschlaghebels 96 mit dessen kegelförmigen Schlagkopf 97, um die besondere Ausgestaltung des Schlagkopfs im Kontext der Erläuterungen der Figuren 16a bis 20b zu verdeutlichen.

(Weitere Ausführungsformen)

[0335] 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.

[0336] Vorliegend ist die Elektrode 45 schwingungsfähig von oben aufgehängt. Allerdings muss dies nicht der Fall sein. Beispielsweise kann die Elektrode 45 auch schwingungsfähig derart gelagert sein, dass die Aufhängung der Elektrode 45 von unten erfolgt, und die Spitze der Elektrode oben hin- und her pendelt. Ebenso kann die Elektrode 45 nicht vertikal, sondern horizontal oder schräg aufgehängt sein.

[0337] Weiter können das Aufhängungselement 452 und auch das Federelement 453 entfallen und sind nicht unbedingt für den Betrieb der Filtereinrichtung 4 erforderlich. Ebenso kann die Filterspitze 454 entfallen.

[0338] Vorliegend wird die Rezirkulationseinrichtung 5 mit einer Primärrezirkulation und einer Sekundärrezirkulation beschrieben. Die Rezirkulationseinrichtung 5 kann jedoch in deren Basiskonfiguration auch nur eine Primärrezirkulation und keine Sekundärrezirkulation aufweisen. Bei dieser Basiskonfiguration der Rezirkulationseinrichtung können entsprechend die für die Sekundärrezirkulation erforderlichen Komponenten vollständig entfallen.

[0339] Am Eingang der Rauchgasrezirkulationseinrichtung 5 können ein Luftmengensensor, eine Unterdruckdose, ein Temperatursensor, ein Abgassensor und/oder ein Lambda-Sensor vorgesehen sein.

[0340] Der Begriff "röhrenförmig" bezeichnet nicht nur runde Querschnitte bzw. Formen des Rohrs, sondern beispielsweise auch eckige (z.B. vier-, sechs- oder achteckige) Querschnitte bzw. Formen des Rohrs.

[0341] Weiter können anstatt von nur drei Drehrostelementen 252, 253 und 254 auch zwei, vier oder mehr Drehrostelemente vorgesehen sein. Beispielsweise fünf Drehrostelementen könnten 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.

[0342] Zu den angegebenen Maßen ist anzumerken, dass auch abweichend von diesen andere Maße bzw. Maßkombinationen vorgesehen werden können.

[0343] Als Brennstoffe der Biomasse-Heizanlage können auch andere Brennstoffe als Hackgut oder Pellets, beispiels-

weise Elefantengras, verwendet werden.

[0344] Die vorliegend offenbarte Biomasse-Heisanlage kann auch ausschließlich mit einer Art eines Brennstoffs befeuert werden, beispielsweise nur mit Pellets.

[0345] Die Brennkammersteine 29 können auch ohne die Rezirkulationsdüsen 291 vorgesehen sein. Dies kann insbesondere für den Fall gelten, bei welchem keine Sekundärrezirkulation vorgesehen ist.

[0346] Die Rotationsströmung bzw. Wirbelströmung in der Brennkammer 24 kann rechtsdrehend oder linksdrehend vorgesehen sein.

[0347] Die Brennkammerdecke 204 kann auch abschnittsweise, beispielsweise stufenförmig, geneigt vorgesehen sein.

[0348] Die Sekundär(re)zirkulation kann auch nur mit Sekundärluft bzw. Frischluft beströmt werden, und insofern nicht das Rauchgas rezirkulieren, sondern lediglich Frischluft zuführen.

[0349] Die Sekundärlufthdüsen 291 sind nicht auf rein zylindrische Bohrungen in den Brennkammersteinen 291 beschränkt. Diese können auch als kegelstumpfförmige Öffnungen oder taillierte Öffnungen ausgebildet sein.

[0350] Die angegebenen Maße und Größenangaben sind lediglich beispielhaft zu verstehen, und können abgewandelt werden.

[0351] Die Angaben "oben" und "unten" beziehen sich lediglich beispielhaft auf die dargestellte Ausführungsform mit einem Filter 4 mit vertikaler Ausrichtung. Diese Angaben können beispielsweise bei einem Filter 4 mit horizontaler Ausrichtung als "rechts" und "links" verstanden werden. Ebenso kann der Filter auch schräg oder in einem Winkel zur Horizontalebene angeordnet sein, was von der vorliegenden Offenbarung mit umfasst ist.

[0352] Eine sägezahnförmige Elektrode weist generell Spitzen bzw. zulaufende Fortsätze auf.

[0353] Eine Nominalleistung einer Wärmeabgabe der Biomasse-Heisanlage 1 des Kessels 11 von 100 kW ist hierin lediglich beispielhaft angegeben. Der Kessel 11 kann alternativ auch auf andere Nominalleistungen, bspw. 50 kW oder 70 kW oder 250 kW, ausgelegt sein.

[0354] Temperaturangaben und Angaben zur Strömungsgeschwindigkeit sind vorzugsweise im Rahmen der üblichen Messfehler bei der Erfassung dieser physikalischen Parameter zu verstehen.

[0355] 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.

(B ezugszeichenliste)

[0356]

1 Biomasse-Heisanlage

11 Kessel

12 Kesselfuß

13 Kesselgehäuse

14 Wasserzirkulationseinrichtung

15 Gebläse

16 Außenverkleidung

100 Steuereinrichtung / Client

111 Abgasstemperatursensor

112 Lambdasonde

113 Unterdrucksensor oder Druckdifferenzsensor

114 Rücklauftemperatursensor bzw. Heizungswassertemperatursensor

115 Kesseltemperatursensor

116 Brennstoffbetthöhensensor

117 Brennkammertemperatursensor

101 maschinelle Lerneinheit

102 Userinterface

103 KI

190 Server

198 Verbindung

199 Netzwerkverbindung

2 Brenneinrichtung

21 erste Wartungsöffnung für die Brenneinrichtung

	22	Drehmechanikhalterung
	23	Drehmechanik
	24	Brennkammer
	25	Drehrost
5	26	Primärverbrennungszone der Brennkammer
	27	Sekundärverbrennungszone bzw. Strahlungsteil der Brennkammer
	28	Brennstoffbett
	29	Brennkammersteine
	A1	erste Horizontalschnittlinie
10	A2	erste Vertikalschnittlinie
	201	Zündeinrichtung
	202	Brennkammerschräge
	203	Brennkammerdüse
15	204	Brennkammerdecke
	211	Dämmmaterial bspw. Vermiculite
	231	Antrieb bzw. Motor(en) der Drehmechanik
	251	Bodenplatte des Drehrosts
20	252	Erstes Drehrostelement
	253	Zweites Drehrostelement
	254	Drittes Drehrostelement
	255	Übergangselement
	256	Öffnungen
25	257	Rostlippen
	258	Verbrennungsfläche
	260	Auflageflächen der Brennkammersteine
	261	Nut
30	262	Vorsprung
	263	Ring
	264	Halterungssteine
	265	Schräge der Halterungssteine
	291	Sekundärluft bzw. Rezirkulationsdüsen
35	3	Wärmetauscher
	31	Wartungsöffnung für Wärmetauscher
	32	Kesselrohre
	33	Kesselrohreintritt
40	34	Wendekammereintritt
	35	Wendekammer
	36	Federturbulator
	37	Band- oder Spiralturbulator
	38	Wärmetauschmedium
45	331	Isolation am Kesselrohreintritt
	4	Filtereinrichtung
	41	Abgasausgang
50	42	Elektrodenversorgungsleitung
	421	Anschluss
	43	Elektrodenhalterung / Deckel
	431	Halterungsblech
	44	Filtereintritt
55	45	Elektrode
	45a, 45b, 45c, 45d, 45e	Elektrodensteile
	451	Filtereinsatz
	452	(isolatorseitiges) Aufhängungselement

	453	Federelement
	454	Filterspitze
	455	proximaler Verbindungsbolzen
	456	distaler Verbindungsbolzen
5	457	Elektrodenzähne
	458	Schlitz
	46	Elektrodenisolation / Isolator
	46a	Hauptkörper des Isolators
10	46b	(Innen-) Volumen der elektrostatischen Filtereinrichtung
	461	Rippen
	461a	Ergänzungsrippe
	462	Ausnehmungen
	463	Flanke
15	464	Fuß
	465	Zwischenkegelteile
	4651	Kegelmantelfläche
	4652	Endkante des Zwischenkegelteils
	466	Zwischenzylinderteile
20	4661	Zylindermantelfläche
	467	Endrippe
	468	Übergangselement
	469	Durchgang
25	47	Filteraustritt
	48	Käfig/Gegenelektrode
	49	Rauchgaskondensator
30	411	Rauchgaszuleitung zum Rauchgaskondensator
	412	Rauchgasausgang aus dem Rauchgaskondensator
	481	Käfighalterung
	491	erster Fluidanschluss
	491	zweiter Fluidanschluss
35	493	Wärmetauscherrohr
	4931	Rohrhalteelement
	4932	Rohrbodenelement
	4933	Schlaufen/Umkehrstellen
	4934	erste Zwischenräume der Wärmetauscherrohre zueinander
40	4935	zweite Zwischenräume der Wärmetauscherrohre zu der Außenwand des Rauchgaskondensators
	4936	Durchlässe
	495	Kopfelement
	4951	Kopfelementströmungsführung
	496	Kondensataustritt
45	4961	Kondensatsammeltrichter
	497	Flansch
	498	Seitenfläche mit Wartungsöffnung
	499	Halterungseinrichtung für den Rauchgaskondensator
50	5	Rezirkulationseinrichtung
	50	Ringkanal um Brennkammersteine
	52	Luftventil
	52s	Schieberventil
	53	Rezirkulationseintritt
55	54	Primärmischkanal
	55	Sekundärmischkanal
	55a	Sekundärtemperierungskanal
	56	Primärrezirkulationskanal

	57	Sekundärrezirkulationskanal
	58	Primärluftkanal
	59	Sekundärluftkanal
5	5a	Primärmischeinheit
	5b	Sekundärmischeinheit
	521	Ventilstellaktor
	522	Ventilstellachsen
10	523	Ventilflügel
	524	Ventilgehäuse
	525	Ventilvorkammer
	526	Ventildurchtrittsöffnung
	527	Ventilkörper
15	528	Ventilfläche
	531	Rezirkulationseintrittskanal
	532	Rezirkulationseintrittskanalteiler
	541	Primärdurchtritt
20	542	Primärmischkammer
	543	Primärmischkammeraustritt
	544	Primärreziventileintritt
	545	Primärluftventileintritt
	546	Primärmischkammergehäuse
25	551	Sekundärdurchtritt
	552	Sekundärmischkammer
	553	Sekundärmischkammeraustritt
	554	Sekundärreziventileintritt
30	555	Sekundärluftventileintritt
	556	Sekundärmischkammergehäuse
	581	Primärlufteintritt
	582	Primärluftsensor
35	591	Sekundärlufteintritt
	592	Sekundärluftsensor
	6	Brennstoffzufuhr
	61	Zellradschleuse
40	62	Achse der Brennstoffzufuhr
	63	Übersetzungsmechanik
	64	Brennstoffzufuhrkanal
	65	Brennstoffzufuhröffnung
	66	Antriebsmotor
45	67	Brennstoff-Förderschnecke
	7	Ascheabfuhr
	71	Ascheaustragungsschnecke
	711	Schneckenachse
50	712	Zentrierungsscheibe
	713	Wärmetauscherabschnitt
	714	Brennerabschnitt
	72	Motor der Ascheabfuhr mit Mechanik
55	73	Übergangsschnecke
	731	rechter Unterabschnitt - nach links steigende Schnecke
	732	linker Unterabschnitt - nach rechts steigende Schnecke
	74	Aschebehälter

75 Übergangsschneckengehäuse
 751 Öffnung des Übergangsschneckengehäuses
 752 Begrenzungsblech
 753 Hauptkörperabschnitt des Gehäuses
 5 754 Befestigungs- und Trennelement
 755 Trichterelement

81 Lagerachsen
 82 Drehachse der Brennstoff-Niveaукlappe
 10 83 Brennstoff-Niveaукlappe
 831 Hauptfläche
 832 Mittenachse
 833 Oberflächenparallele
 834 Öffnungen

15 84 Lagerkerbe
 85 Sensorflansch
 86 Glutbetthöhenmessmechanik

20 9 Reinigungseinrichtung
 91 Reinigungsantrieb
 92 Reinigungswellen
 93 Wellenhalterung
 94 Fortsatz

25 95 Turbulatorhalterungen
 951 Drehlageraufnahme
 952 Fortsätze
 953 Durchlässe
 954 Ausnehmungen

30 955 Drehlagergestänge
 96 zweiarmiger Schlaghebel
 97 Anschlagkopf
 E Einschubrichtung des Brennstoffs
 S* Strömungspfeile
 35 IMI Mittelachse des Isolators 46
 T11 Tiefe der Isolatorausnehmung 462
 T12 effektive Dicke des Isolators

Vf Filterspannung
 40 If Filterstroms
 Wf Filterleistung
 Sf Filterstatus
 Wk Kesselleistung
 V_{fmin} Minimalspannung des Filters
 45 V_{fmax} Maximalspannung des Filters
 EL Elektrodenlänge

Patentansprüche

50 1. Biomasse-Heizanlage (1) zur Verfeuerung von Brennstoff in Form von Pellets und/oder Hackgut, aufweisend:
 einen Kessel (11) mit einem Gehäuse;
 eine Brenneinrichtung (2) mit einer Brennkammer (24);
 55 einen Wärmetauscher (3), der stromabwärts zu der Brennkammer (24) angeordnet und mit der Brennkammer (24) strömungstechnisch verbunden ist;
 eine elektrostatische Filtereinrichtung (4) zur Filterung eines in der Brenneinrichtung (2) entstehenden Rauchgases, wobei die Filtereinrichtung (4) stromabwärts zu dem Wärmetauscher (3) angeordnet und mit dem Wär-

metauscher (3) strömungstechnisch verbunden ist;
eine Steuereinrichtung (100) zur Ansteuerung der elektrostatischen Filtereinrichtung (4);
wobei die elektrostatische Filtereinrichtung (4) das Folgende aufweist:

- 5 ein röhrenförmiges Innenvolumen (46b), in welchem das Rauchgas strömt;
eine erste stabförmige Elektrode (45), welche als eine Sprühelektrode (45) ausgebildet ist; und
eine zweite rohrförmige Elektrode (48), welche als eine Gegenelektrode (48) ausgebildet ist; und
einen Isolator (46) zur Halterung der Sprühelektrode (45); und
10 einen Filtereintritt (44), durch welchen das Rauchgas in die Filtereinrichtung (4) eintreten kann; und
einen Filteraustritt (47), durch welchen das Rauchgas aus der Filtereinrichtung (4) austreten kann.
2. Biomasse-Heisanlage (1) gemäß Anspruch 1, wobei:
die Sprühelektrode (45) ein Kreuzprofil oder ein Sternprofil aufweist.
- 15 3. Biomasse-Heisanlage (1) gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei
die Sprühelektrode (45) pendelfähig am Isolator (46) aufgehängt ist und in Ruhestellung eine vertikale Längs-
achse (LAE) aufweist, wobei
20 die Biomasse-Heisanlage (1) derart eingerichtet ist, dass die Sprühelektrode (45) zur Reinigung derart ausge-
lenkt wird, dass diese in zumindest zwei Richtungen pendelt.
4. Biomasse-Heisanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei
die Sprühelektrode (45) aus zumindest zwei miteinander verbundenen, länglichen und plattenförmigen Elek-
25 trodentteilen vorgesehen ist, wobei
zumindest eines der Elektrodenteile (45a, 45b, 45c, 45d, 45e) sägezahnförmige Vorsprünge (457) aufweist.
5. Biomasse-Heisanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei
30 der Isolator (46) ein stabförmiger Keramik- oder Porzellanisolator (46) ist; und
der Isolator (46) Rippen (461) aufweist, wobei
zwischen den Rippen (461) des Isolators (46) Ausnehmungen (462) zum Vorsehen einer Mehrzahl von Sollab-
brandstellen für leitfähige Ablagerung auf der Oberfläche des Isolators (46) vorgesehen sind.
- 35 6. Biomasse-Heisanlage (1) gemäß Anspruch 5, wobei
zwischen den Rippen (461) des Isolators (46), jeweils eine Ausnehmung (462), ein Zwischenkegelteil (4651) mit
einer der Ausnehmung (462) zugewandten Endkante (4652) und ein Zwischenzylinderteil (4652) vorgesehen sind.
7. Biomasse-Heisanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei
40 ein Hauptkörper (46a) des Isolators (46) zu einer Öffnung des Filteraustritts (47) in einer Längsrichtung der
röhrenförmigen Filtereinrichtung (4) versetzt angeordnet ist; und
wobei der Isolator (46) an einem Ende der Filtereinrichtung (4) angeordnet ist, welche dem Ende entgegenge-
setzt angeordnet ist, an welchem der Filtereintritt (44) vorgesehen ist.
- 45 8. Biomasse-Heisanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei
die Biomasse-Heisanlage (1) derart eingerichtet ist, dass
die durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit in der Filtereinrichtung (4) im Volllastbetrieb der Biomasse-
50 Heisanlage (1) in einem Bereich von 0,5 bis 3 m/s, vorzugsweise in einem Bereich von 1 bis 2 m/s liegt.
9. Biomasse-Heisanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei
die Biomasse-Heisanlage (1) derart eingerichtet ist, dass
55 die Temperatur des Rauchgases im Filtereintritt (44) im Volllastbetrieb der Biomasse-Heisanlage (1) kleiner als
220°C, vorzugsweise kleiner als 200°C, ist.
10. Biomasse-Heisanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei

die Brenneinrichtung (2), der Wärmetauscher (3) und die elektrostatische Filtereinrichtung (4) gemeinsam im Kessel (11) angeordnet sind, und

im Wärmetauscher (3) Turbulatoren (36, 37) als Strömungsbremsen derart angeordnet sind, dass die Eintrittsgeschwindigkeit des Rauchgases in die Filtereinrichtung (4), welche strömungstechnisch nachgelagert zu den Turbulatoren (36,37) angeordnet ist, im Volllastbetrieb des Kessels (11) maximal 2 m/s beträgt.

11. Biomasse-Heisanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, weiter aufweisend: eine Reinigungseinrichtung (9) mit einem Reinigungsantrieb (9) zur Betätigung eines Schlaghebels (96), wobei der Schlaghebel (96) einen kegelförmigen Schlagkopf (97) aufweist.

12. Biomasse-Heisanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei zumindest ein Hauptkörper (46a) des Isolators (46) in einem endseitigen Totvolumen (S8) des Innenvolumens (46b) der Filtereinrichtung (4) angeordnet sind.

13. Biomasse-Heisanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei der Filteraustritt (47) des Filters (4) derart angeordnet ist, dass dieser auf einer Längsposition des Filters (4) vorgesehen ist, die, bevorzugt vollständig, unterschiedlich zu einer Längsposition eines Hauptkörpers (46a) des Isolators (46) ist.

14. Biomasse-Heisanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die Steuereinrichtung (100) derart eingerichtet ist, dass:
im Betriebszustand eines Ausbrennens des Kessels (11), welcher auf einem Zustand eines regulären Verbrennungsbetriebs des Kessels (11) folgt, und nach Beendigung einer Brennstoffzufuhr in die Brenneinrichtung (2) eine Filterspannung (V_f) sukzessive erhöht wird, so dass leitfähige Ablagerung auf der Oberfläche des Isolators (46) mittels einer Glimmentladung abgebrannt werden.

Fig. 1

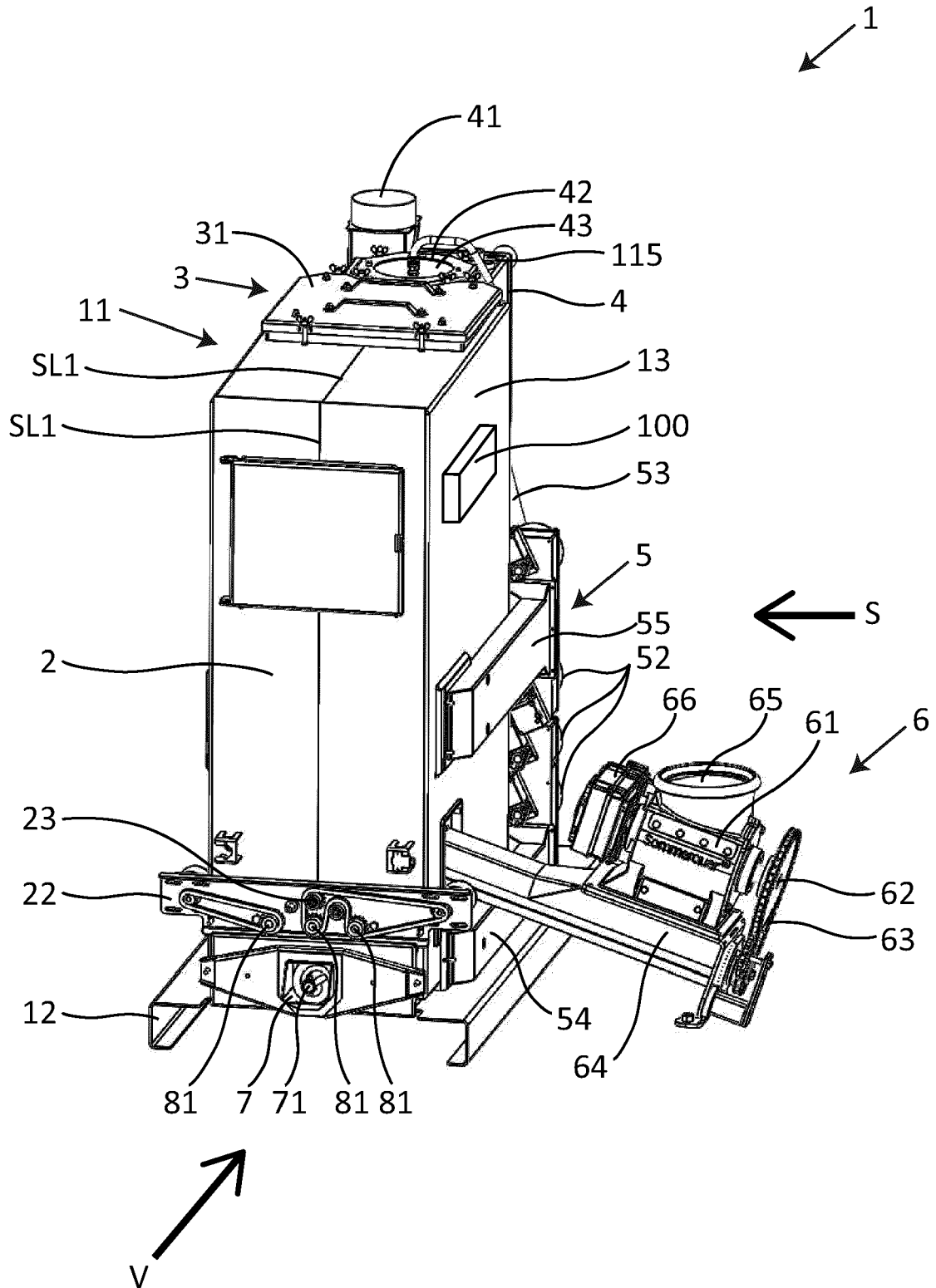


Fig. 2

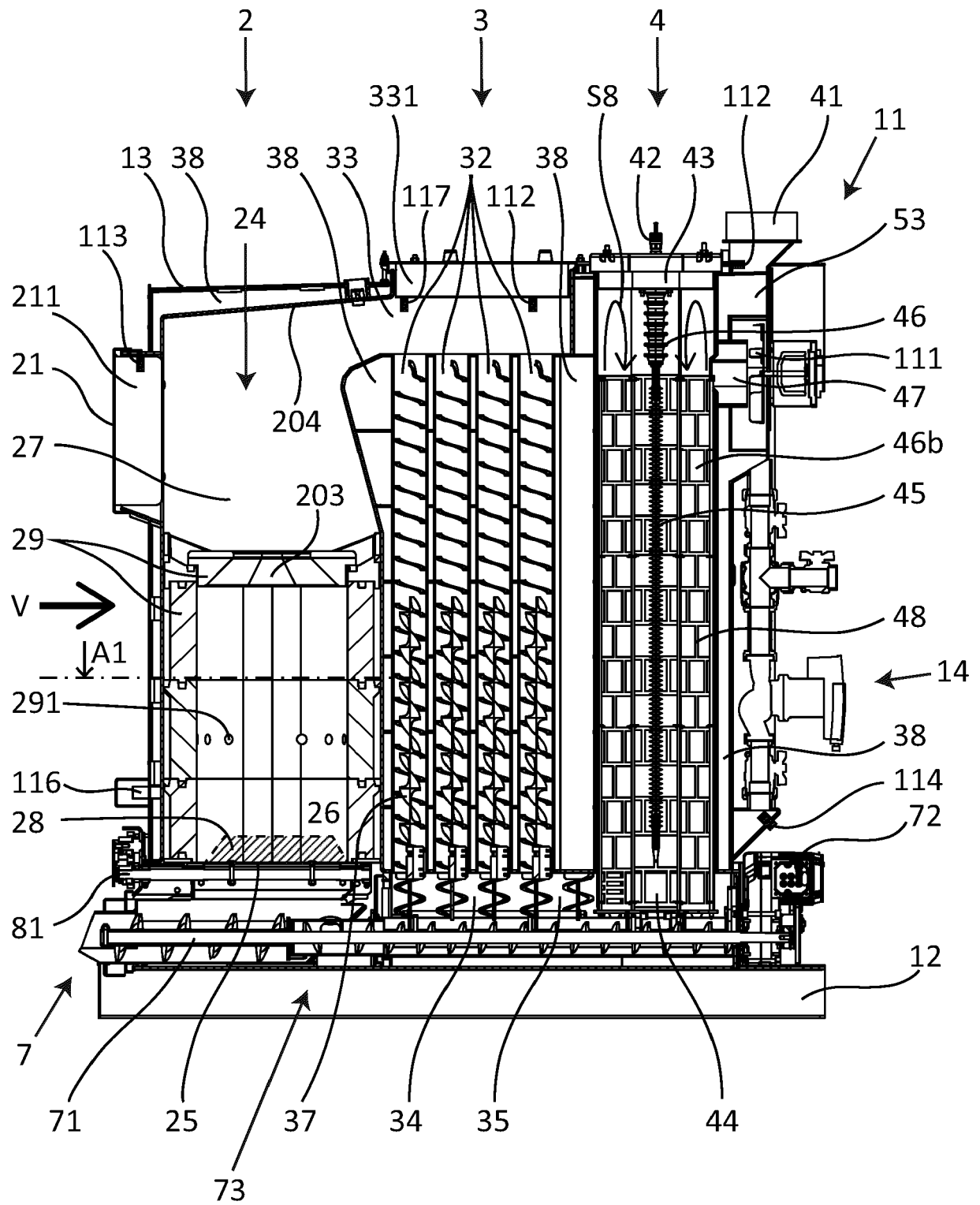


Fig. 3

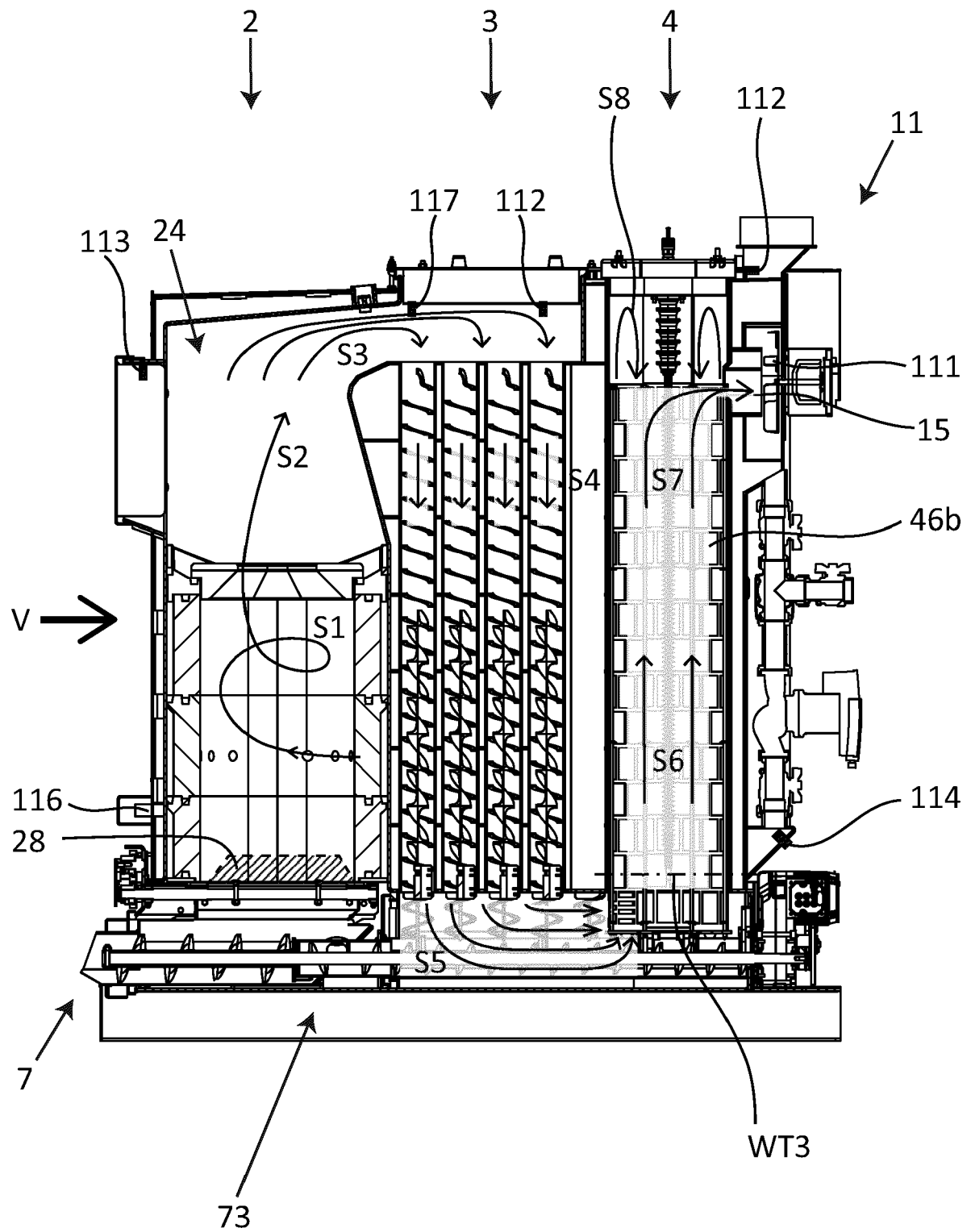


Fig. 4

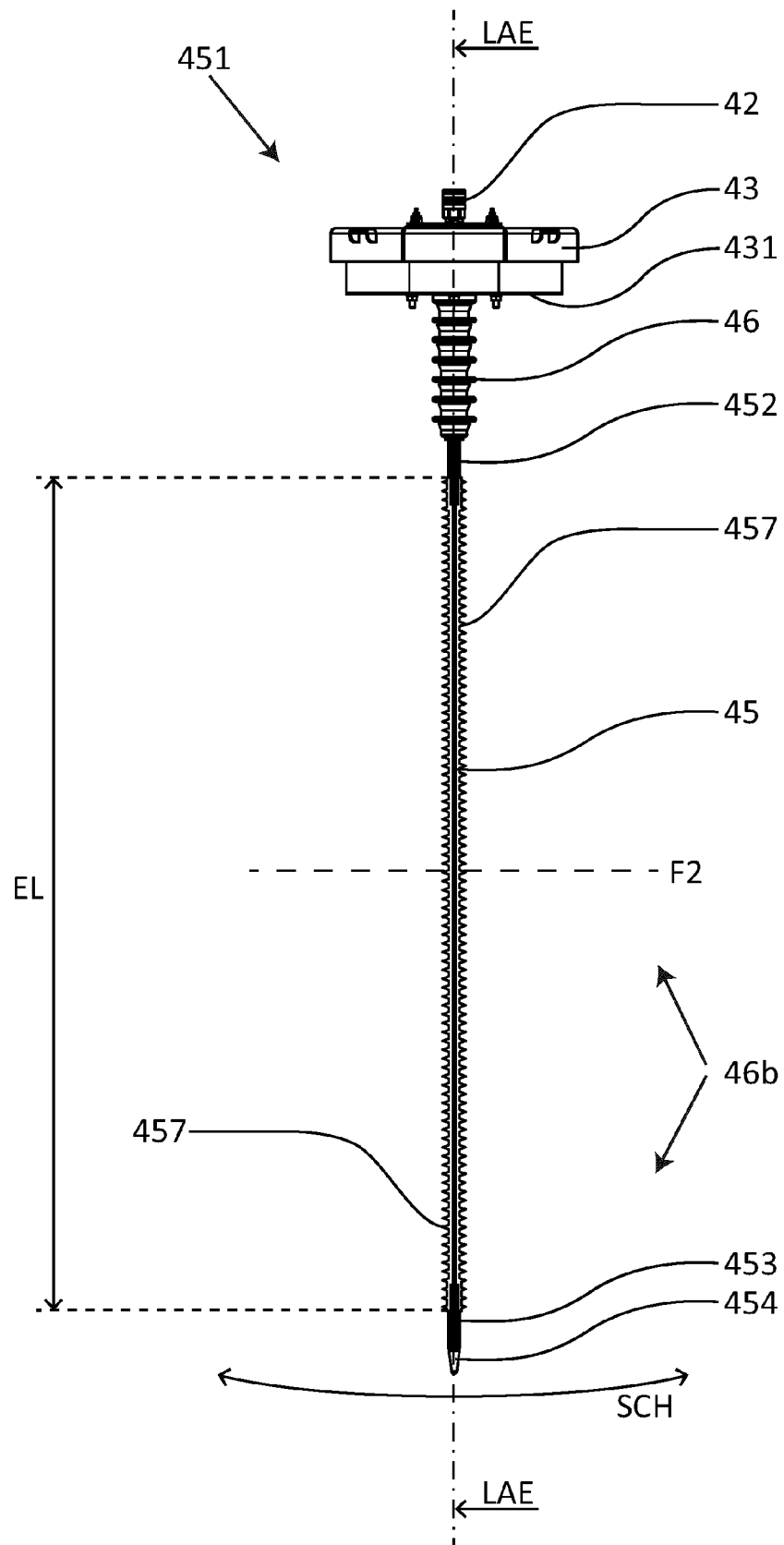


Fig. 5

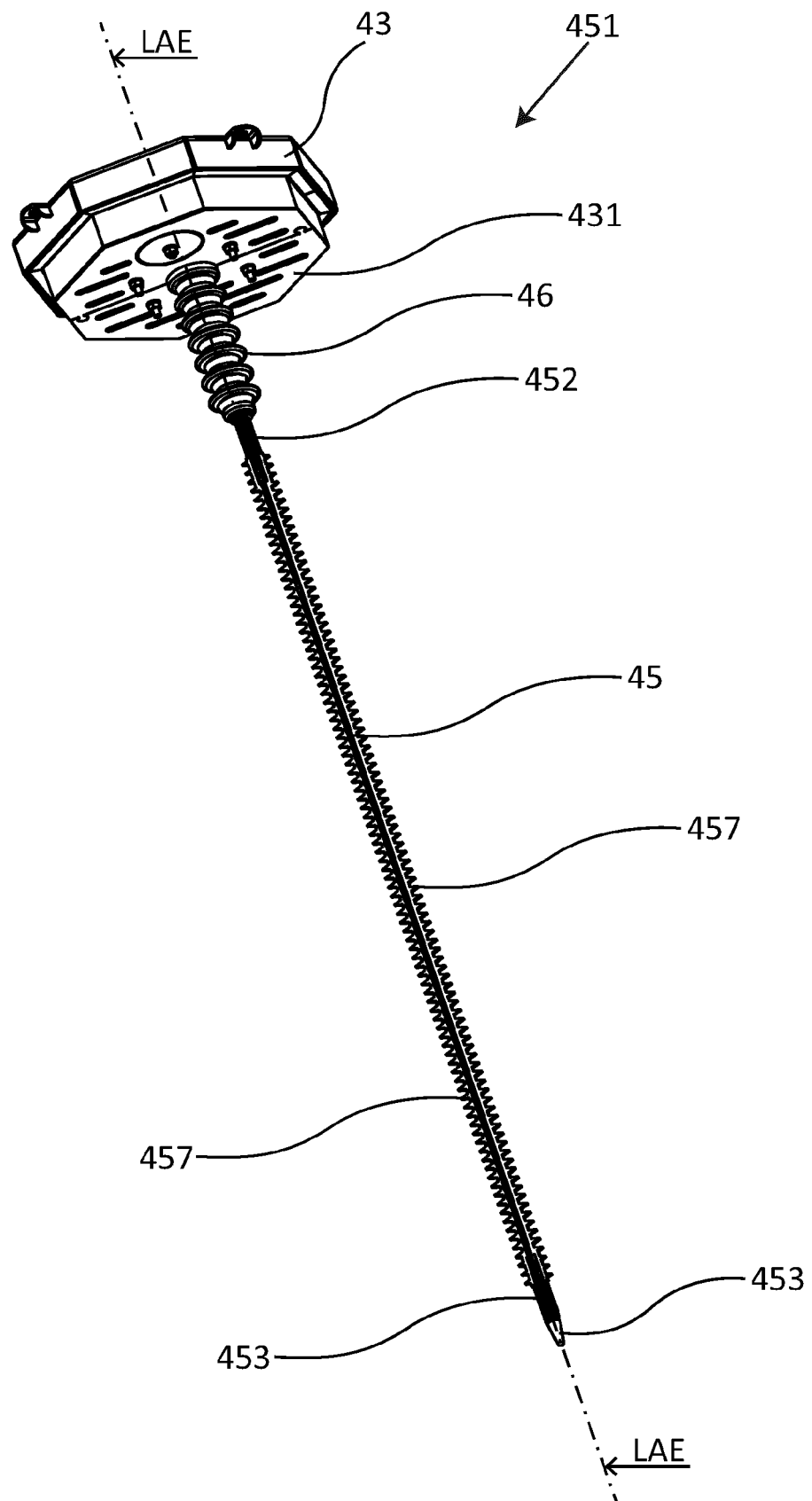


Fig. 7a

Alternative 1 - Schnitt F2

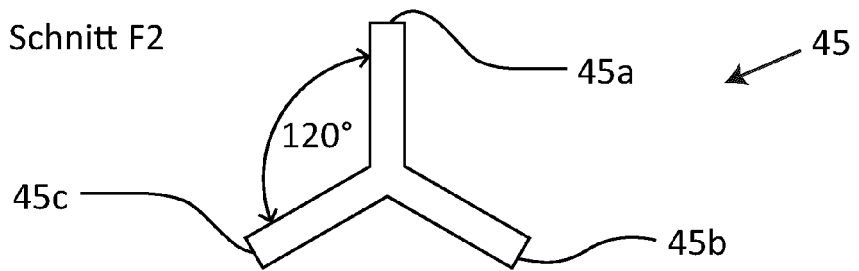


Fig. 7b

Alternative 2 - Schnitt F2

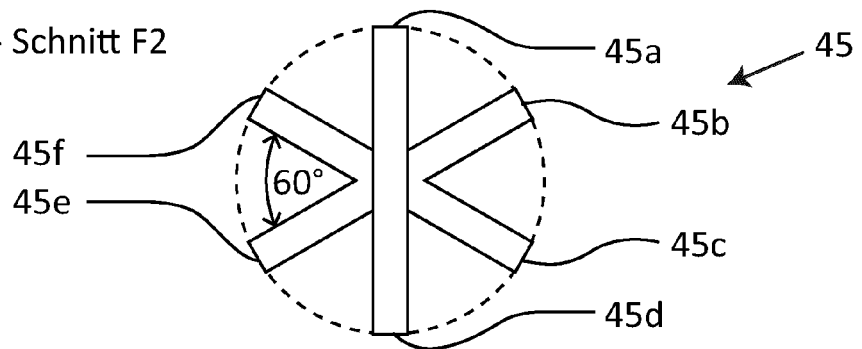


Fig. 7c

Alternative 3 - Schnitt F2

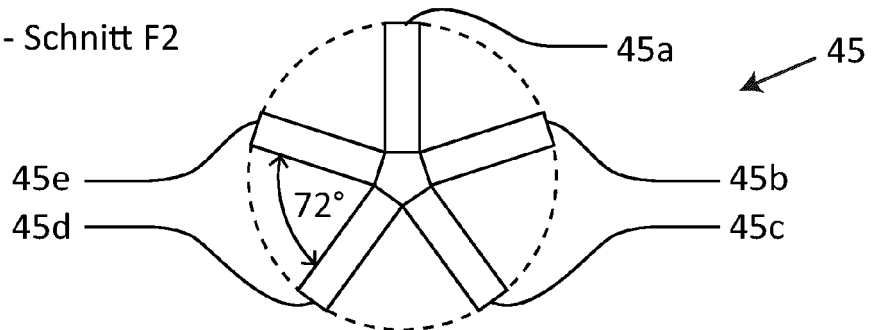


Fig. 7d

Alternative 4 - Schnitt F2

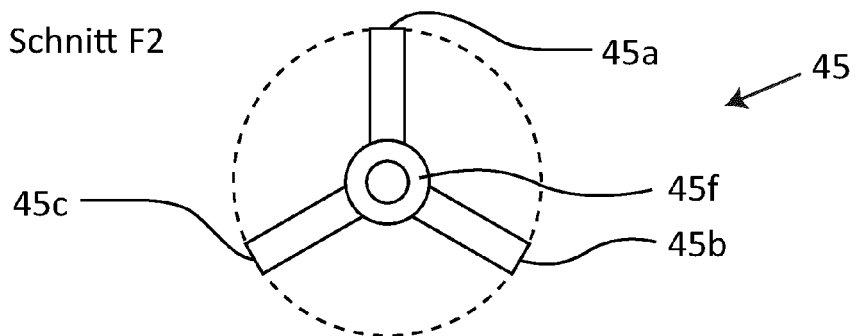


Fig. 8a

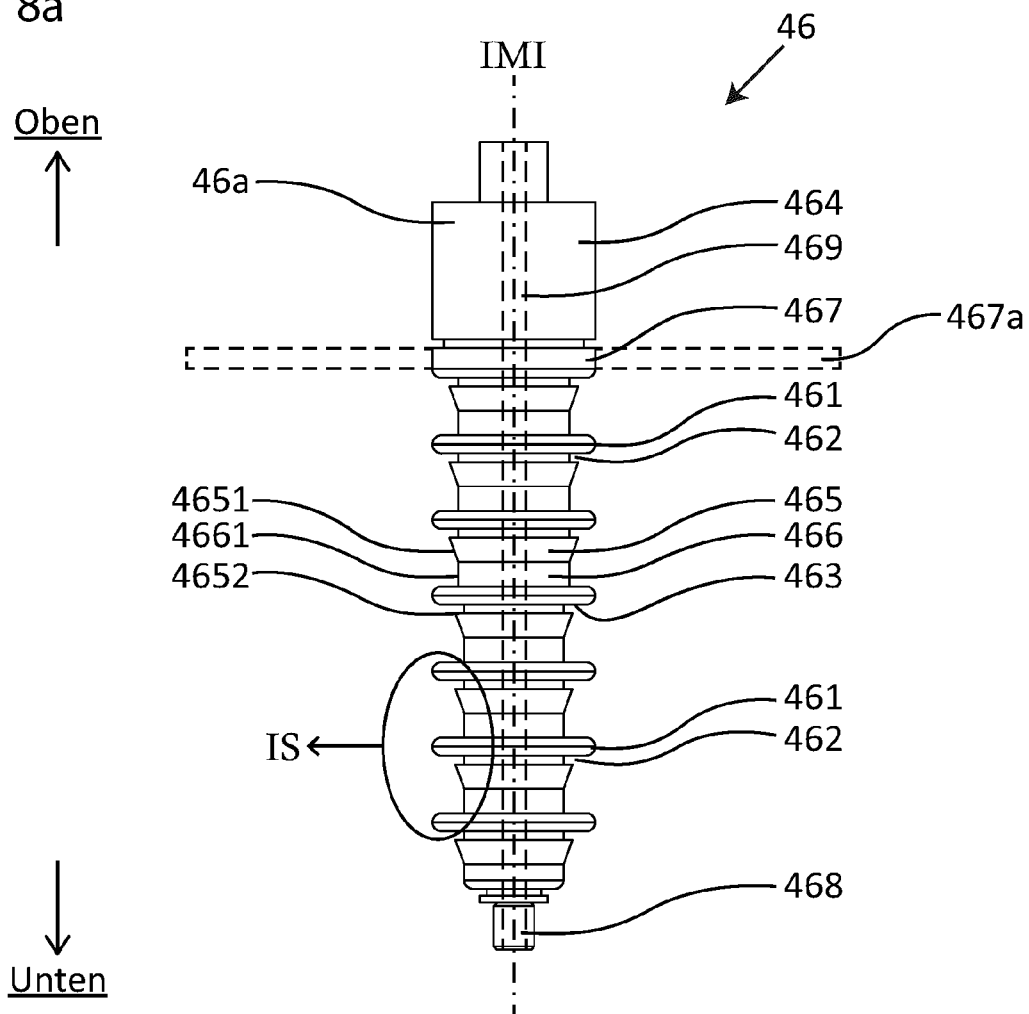


Fig. 8b

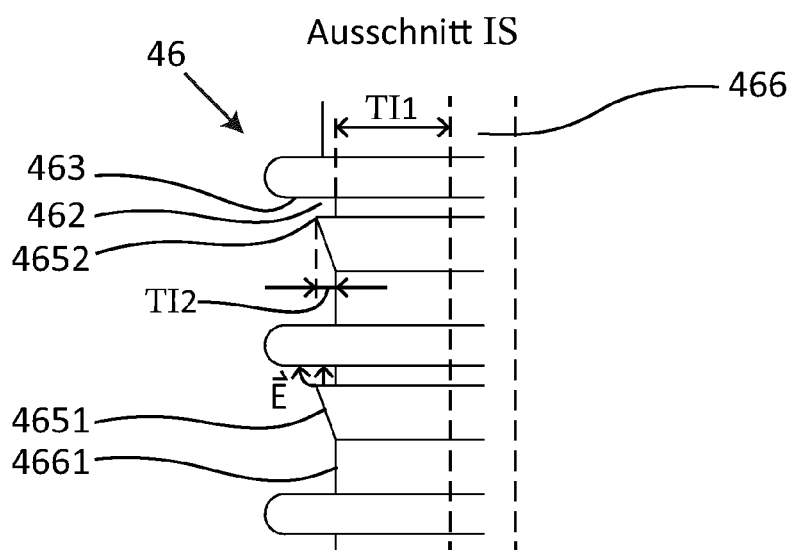


Fig. 9

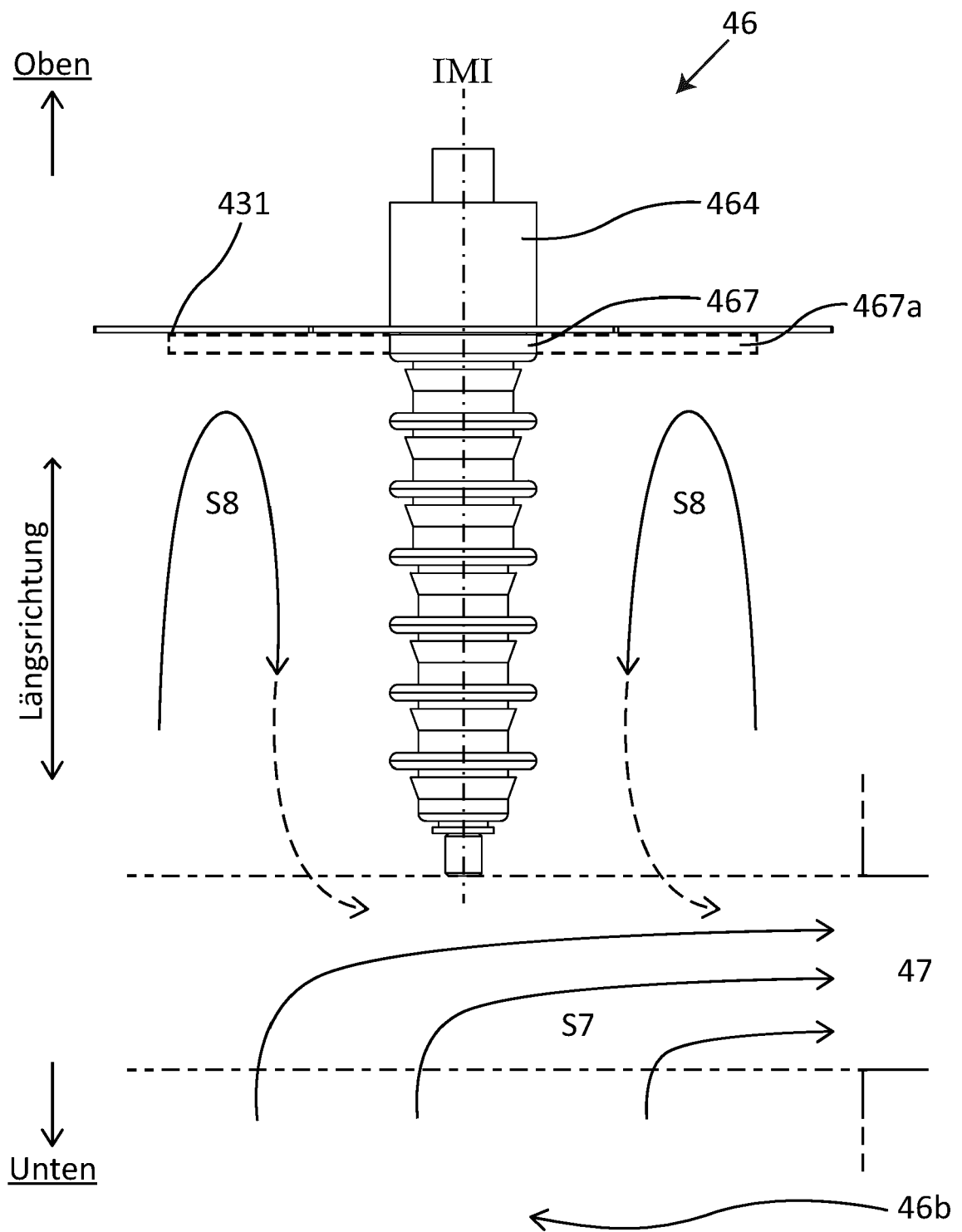


Fig. 10

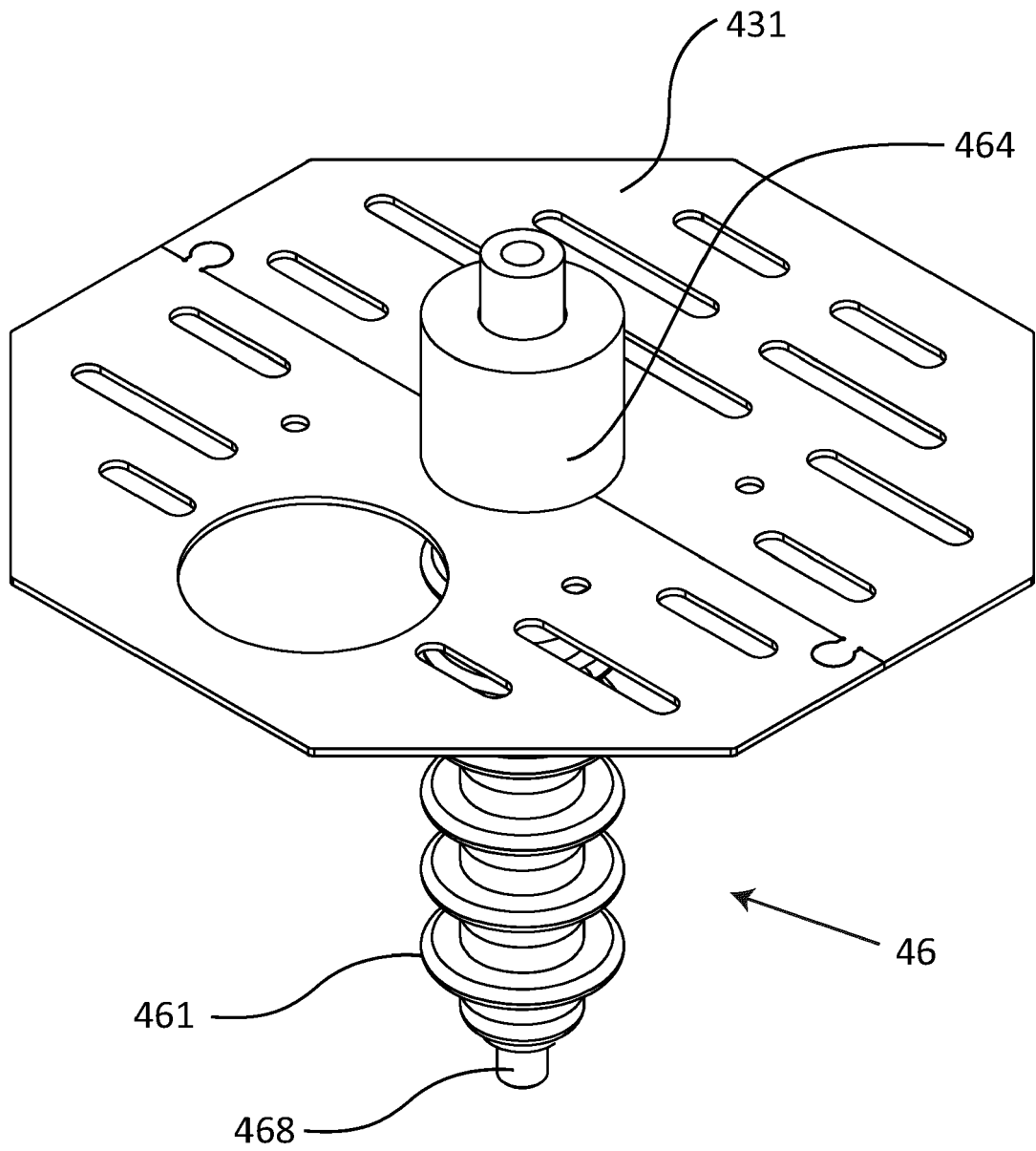


Fig. 11

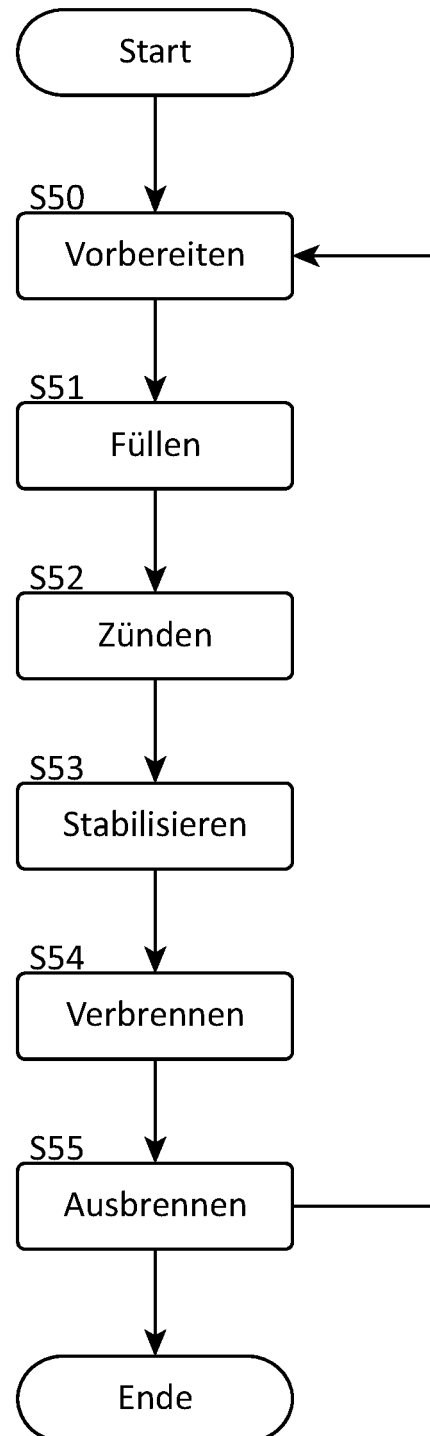


Fig. 12a

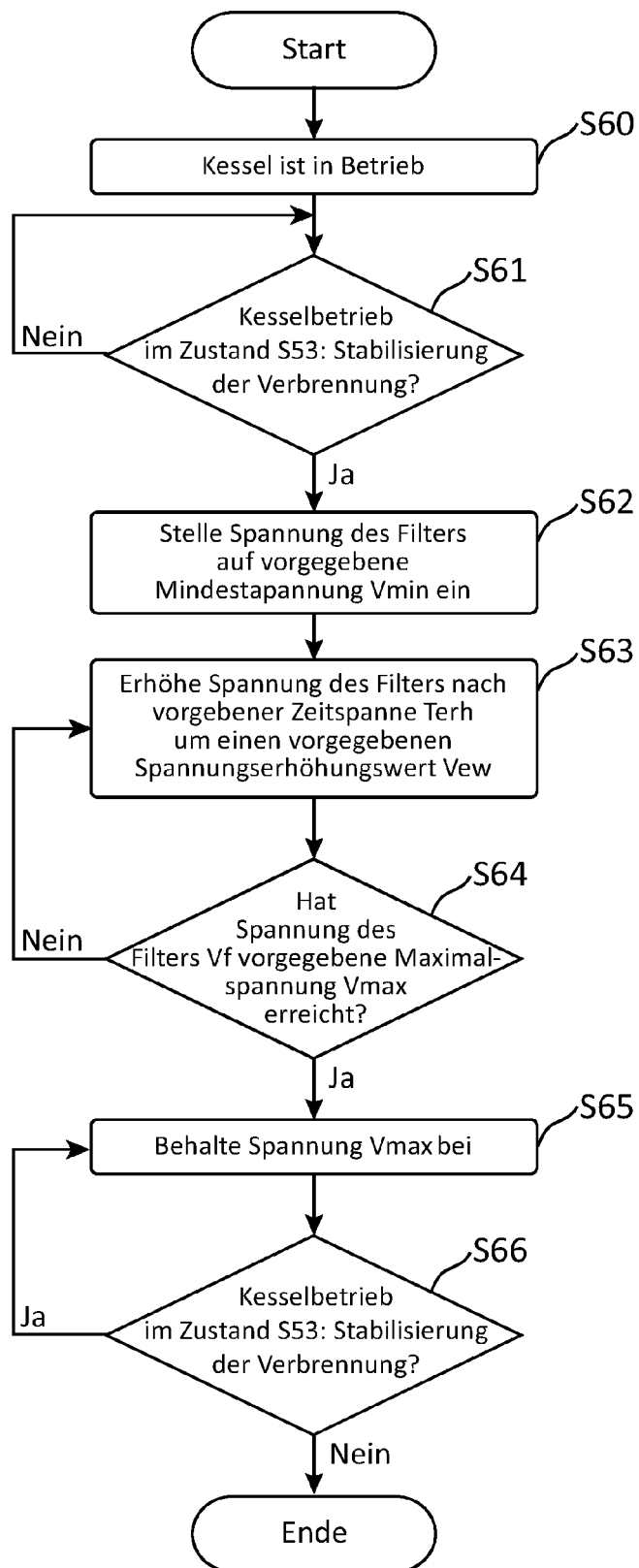
Filterstabilisierungsverfahren HO

Fig. 12b

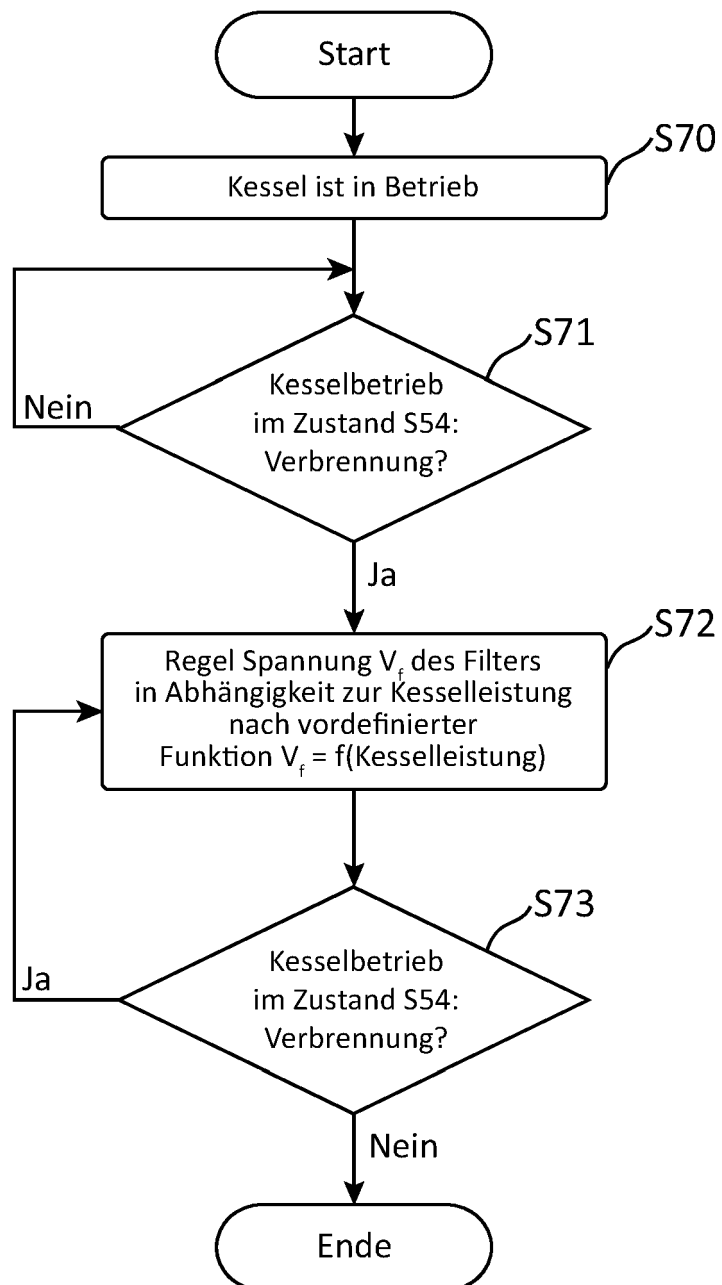
Filterverbrennungsregelverfahren VR

Fig. 12c

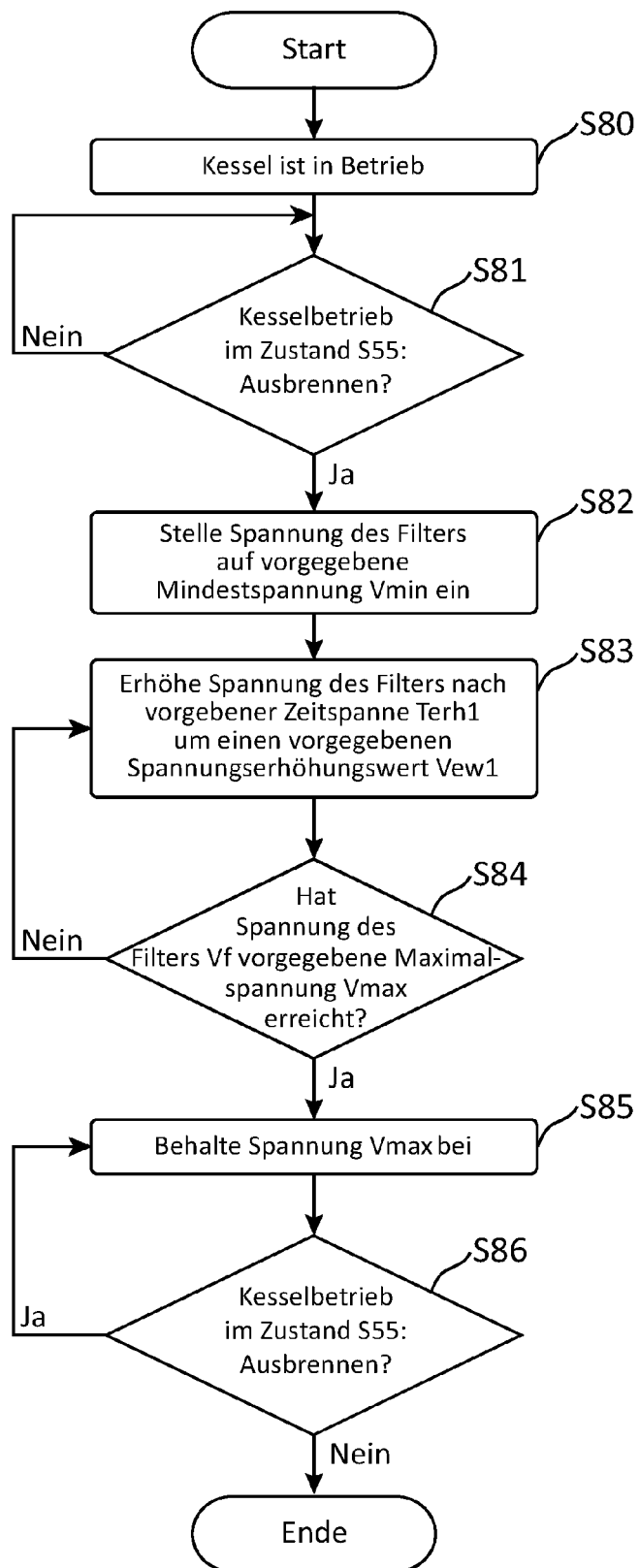
Filterausbrennregelverfahren ABB

Fig. 12d

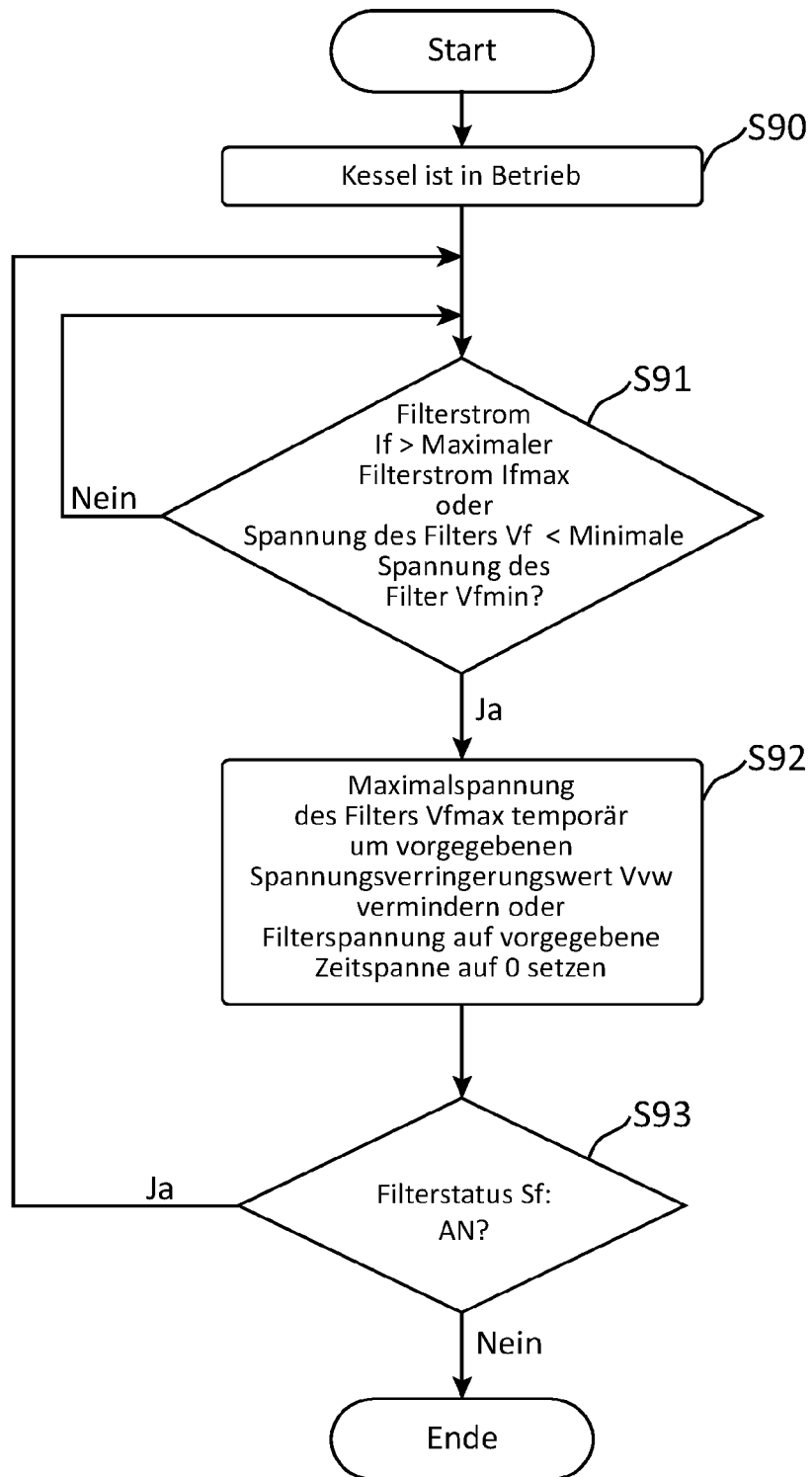
Filterdurchschlagsregelverfahren DU

Fig. 13

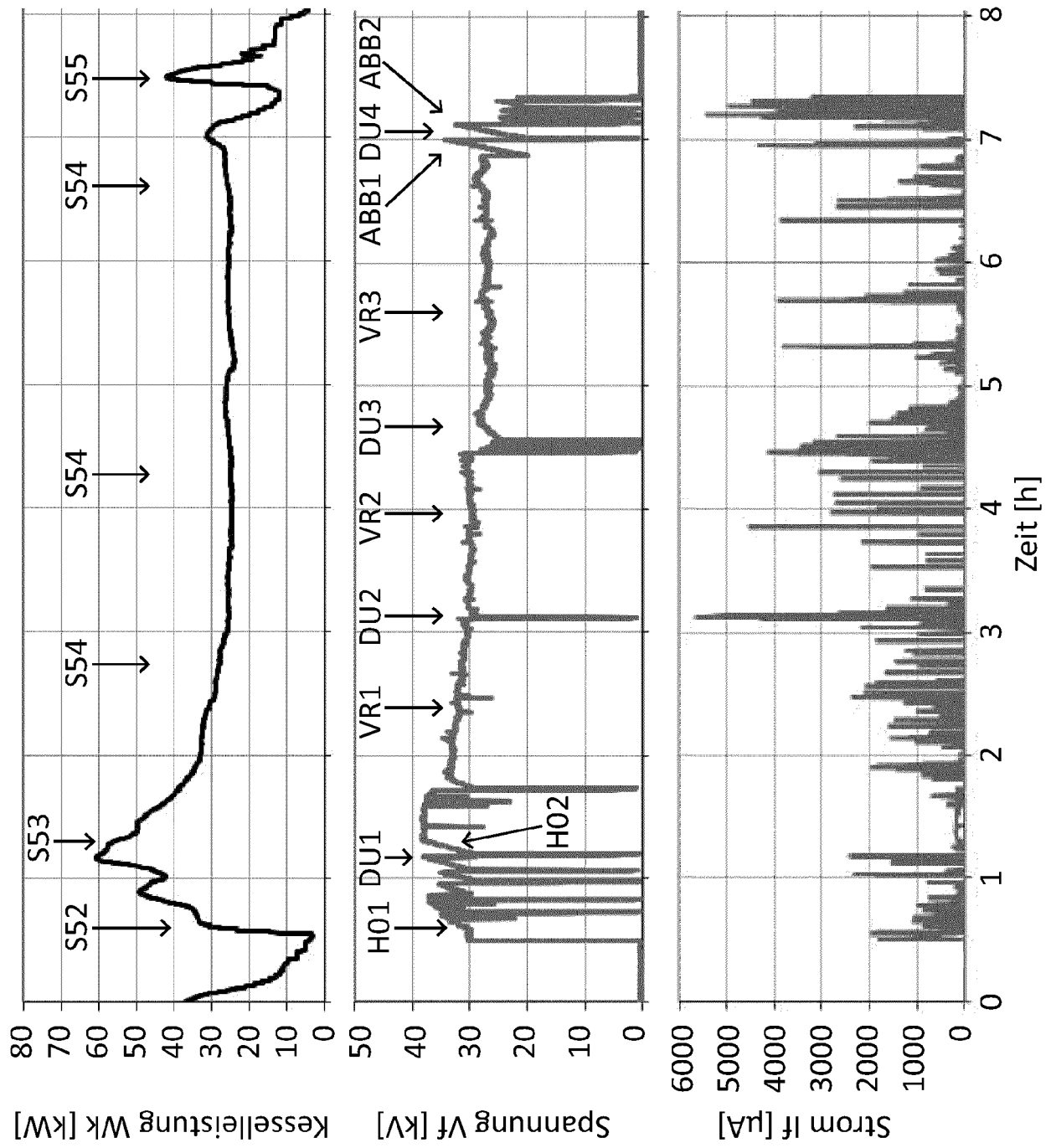
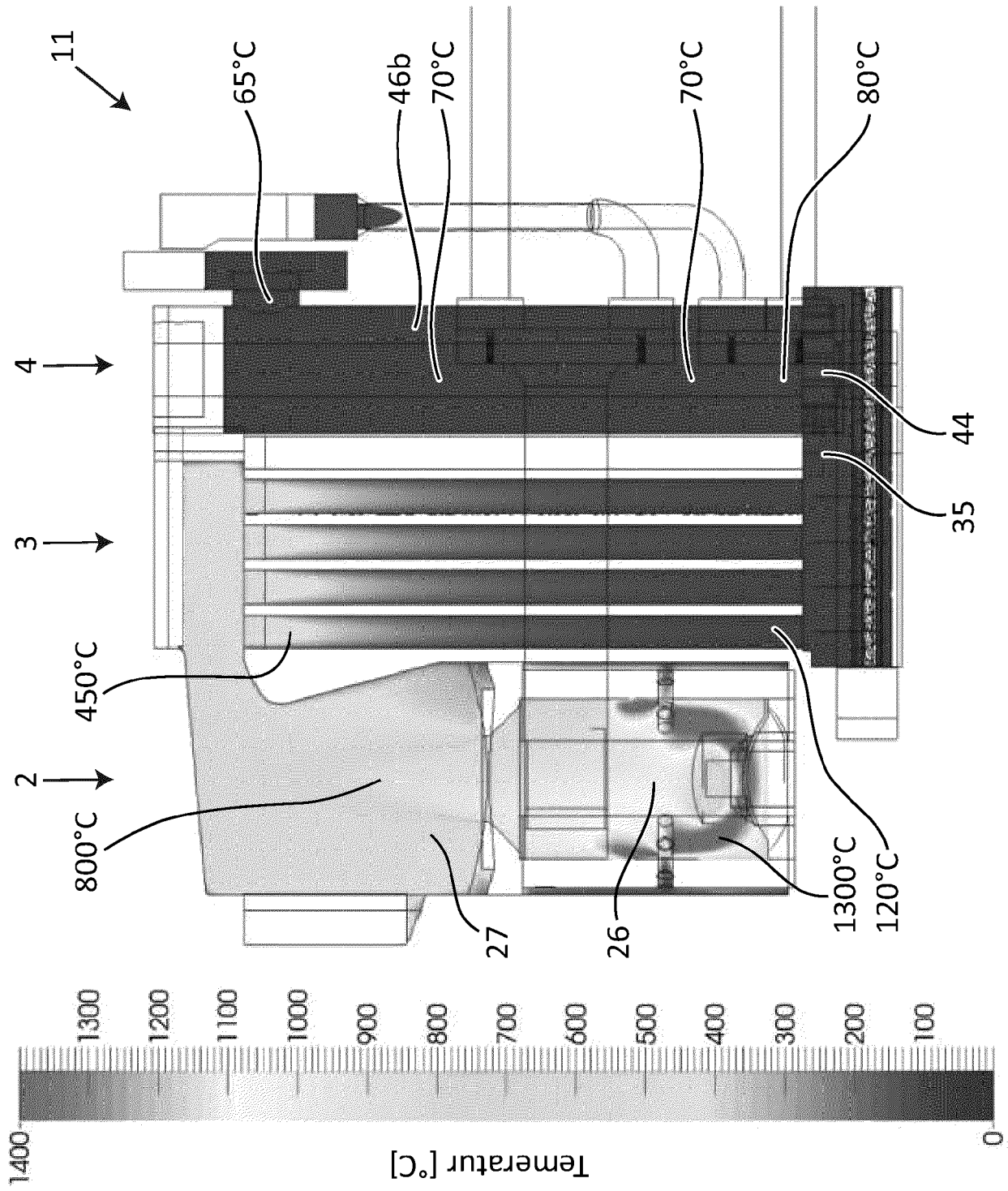


Fig. 14



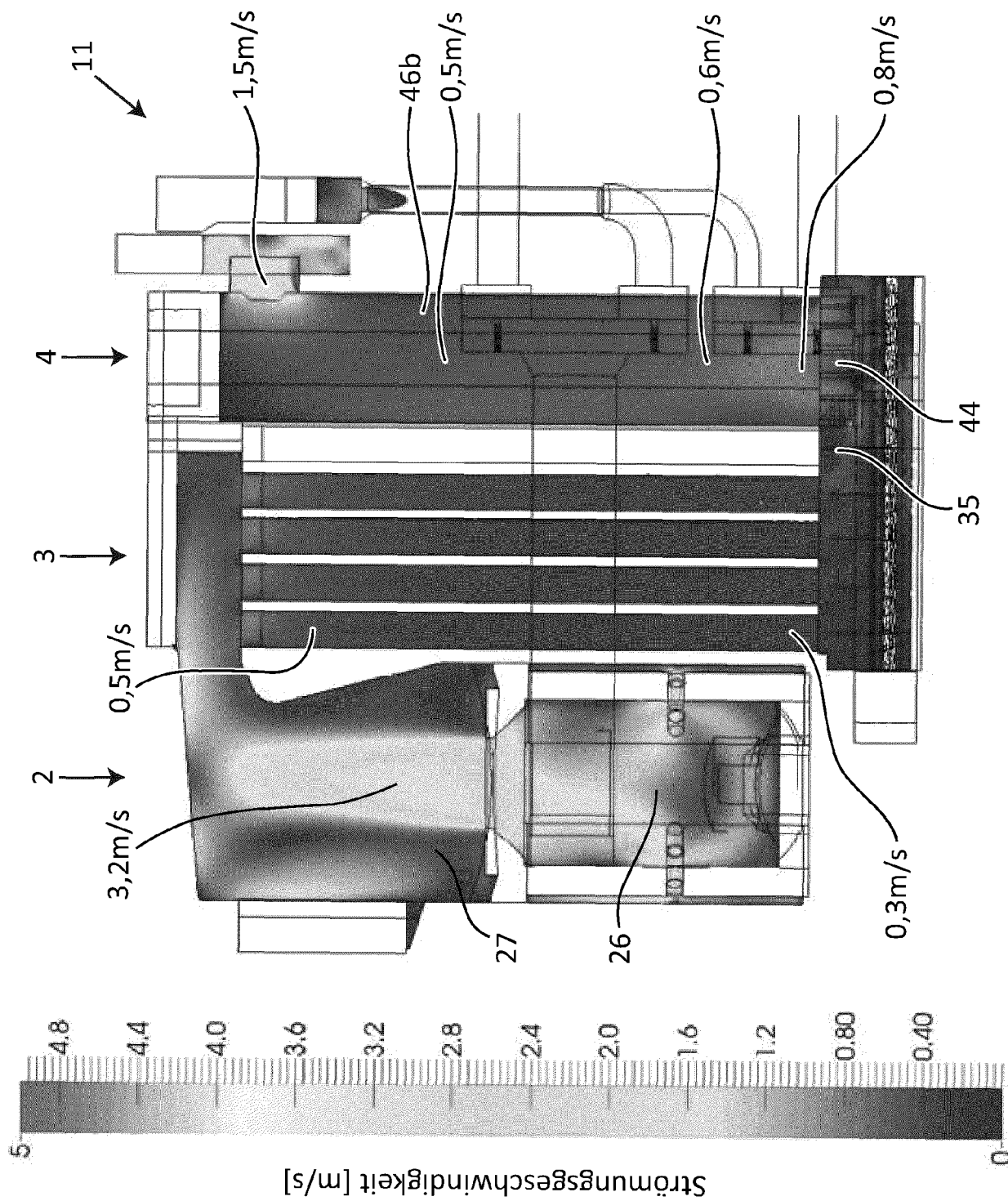


Fig. 15

Fig. 16a

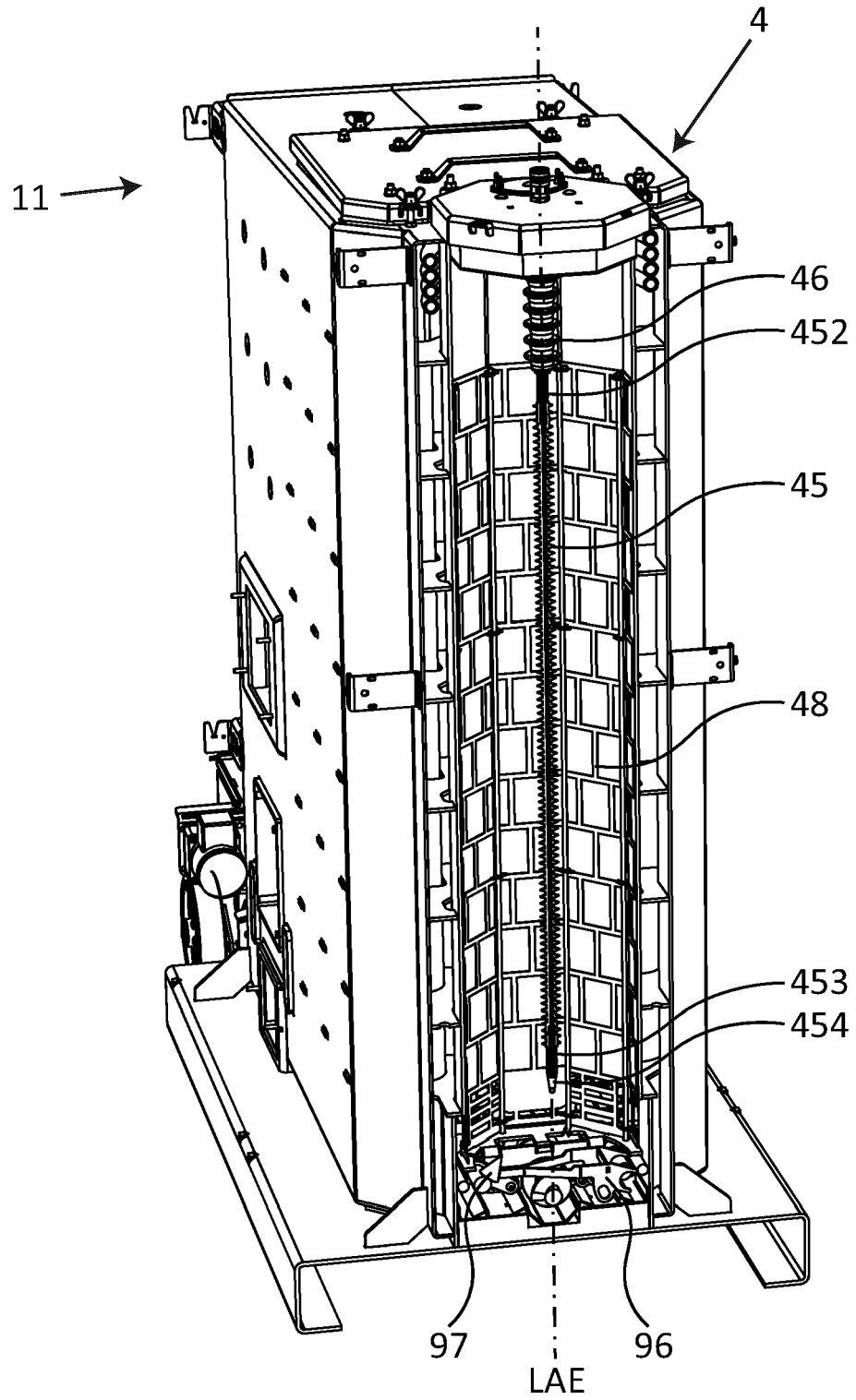


Fig. 16b

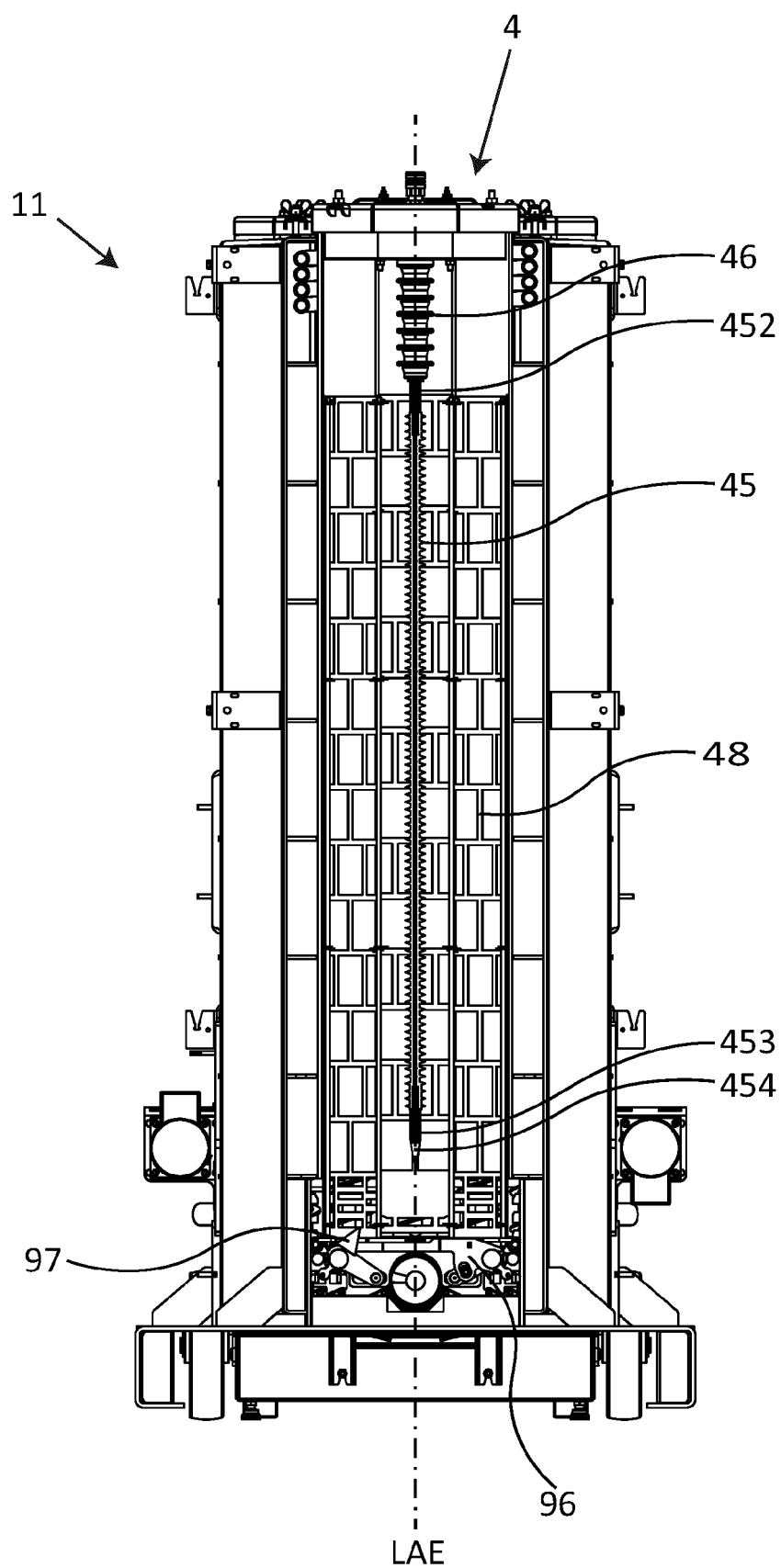


Fig. 17a

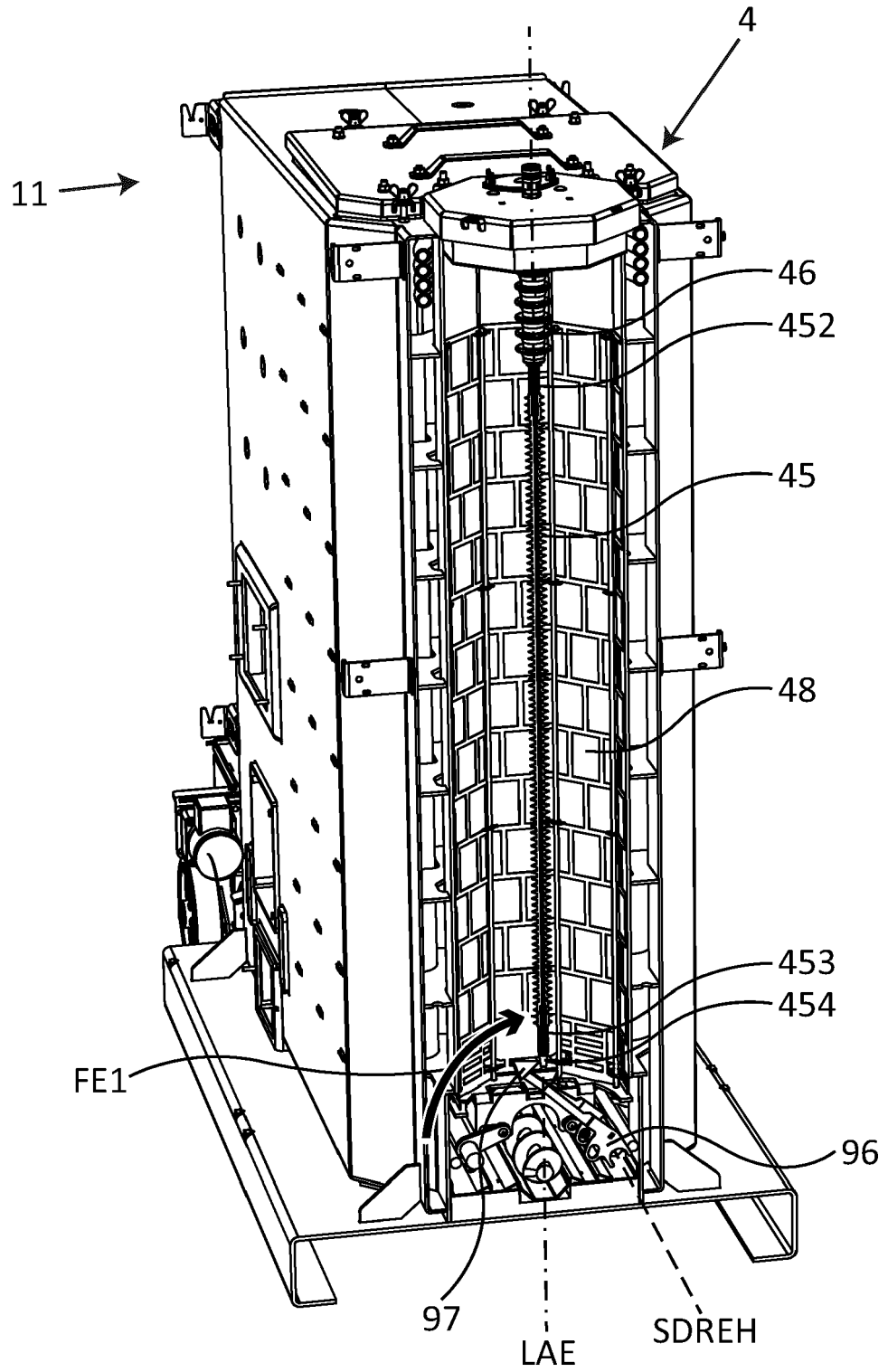


Fig. 17b

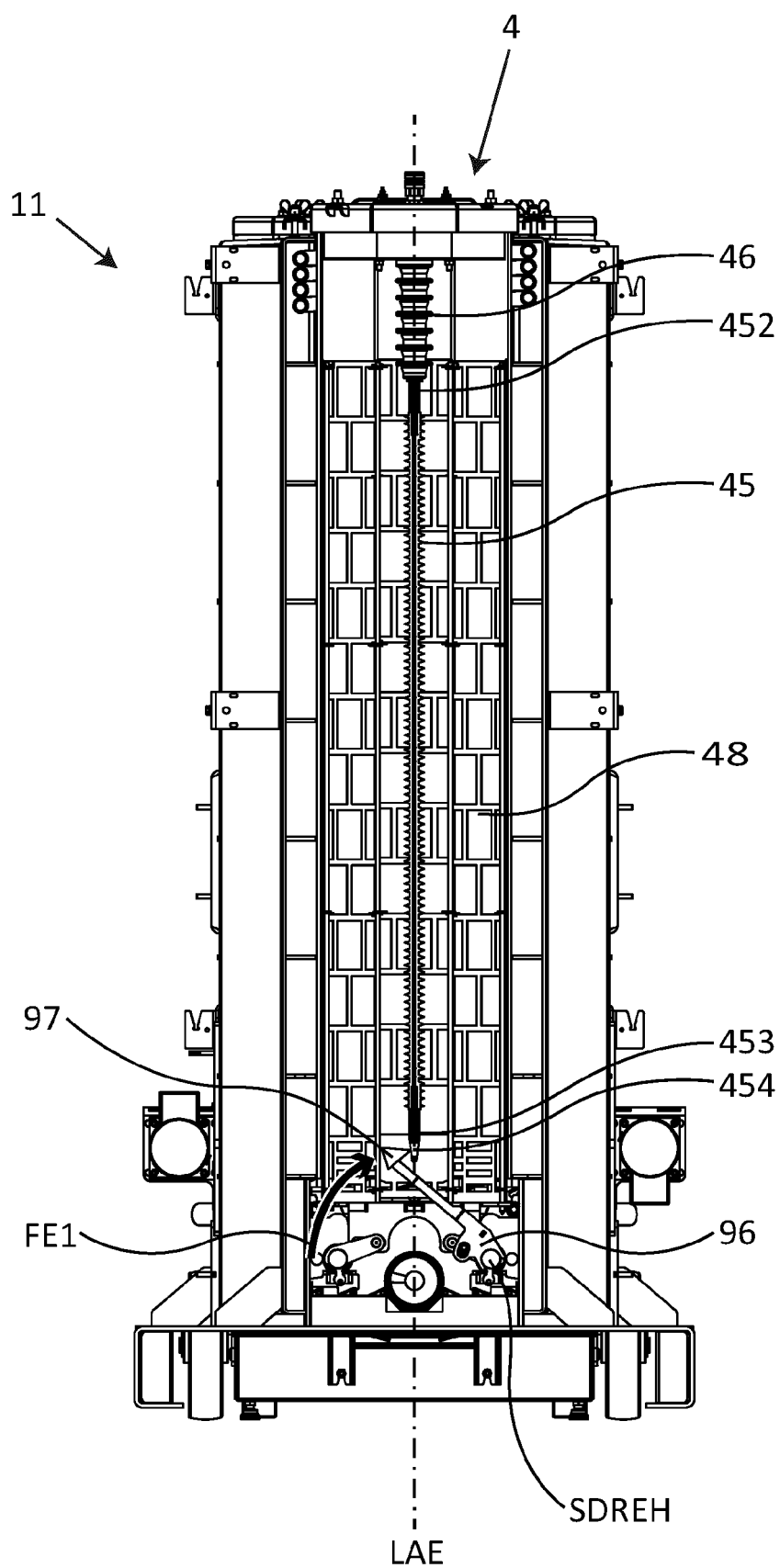


Fig. 18a

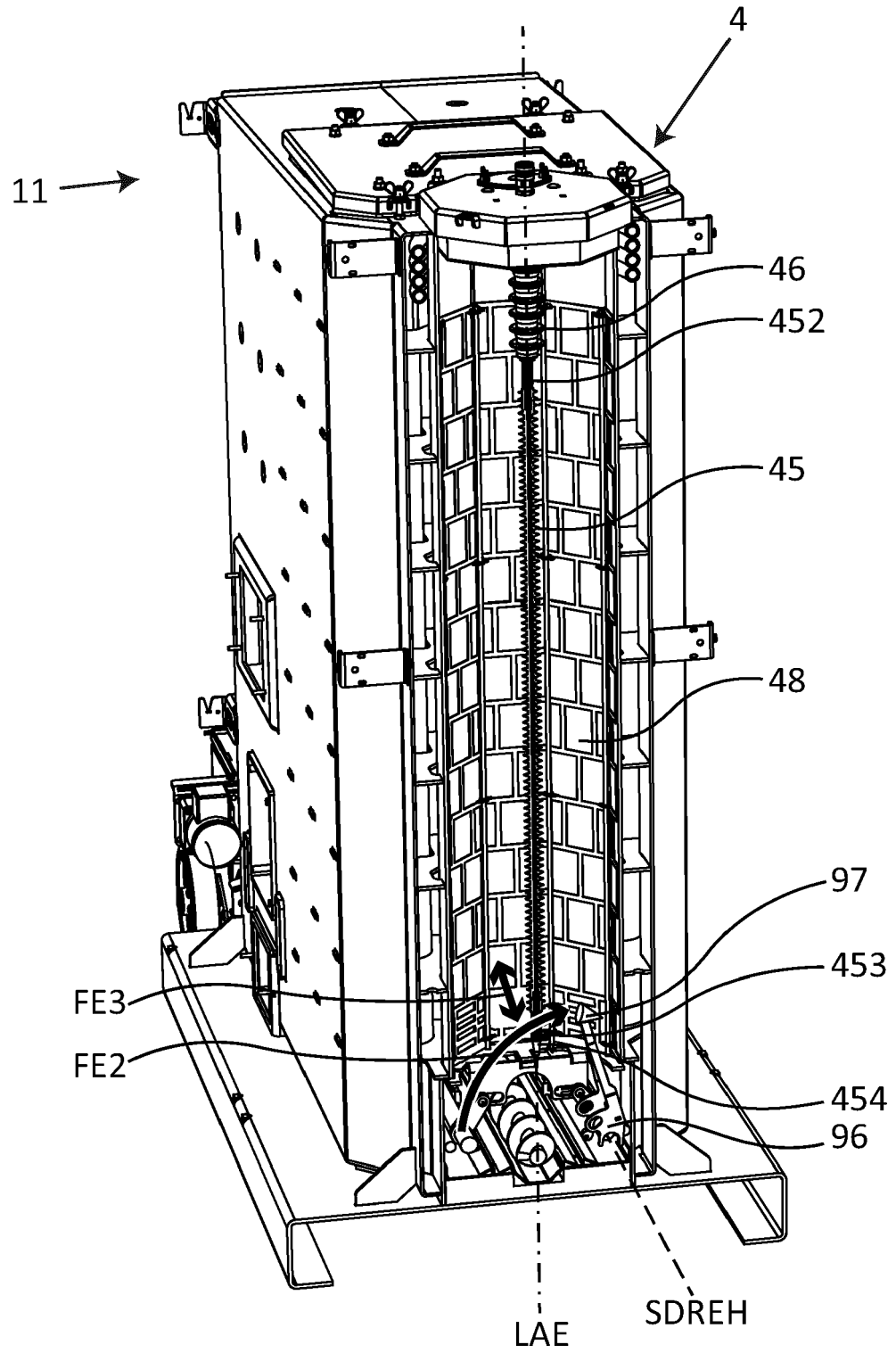


Fig. 18b

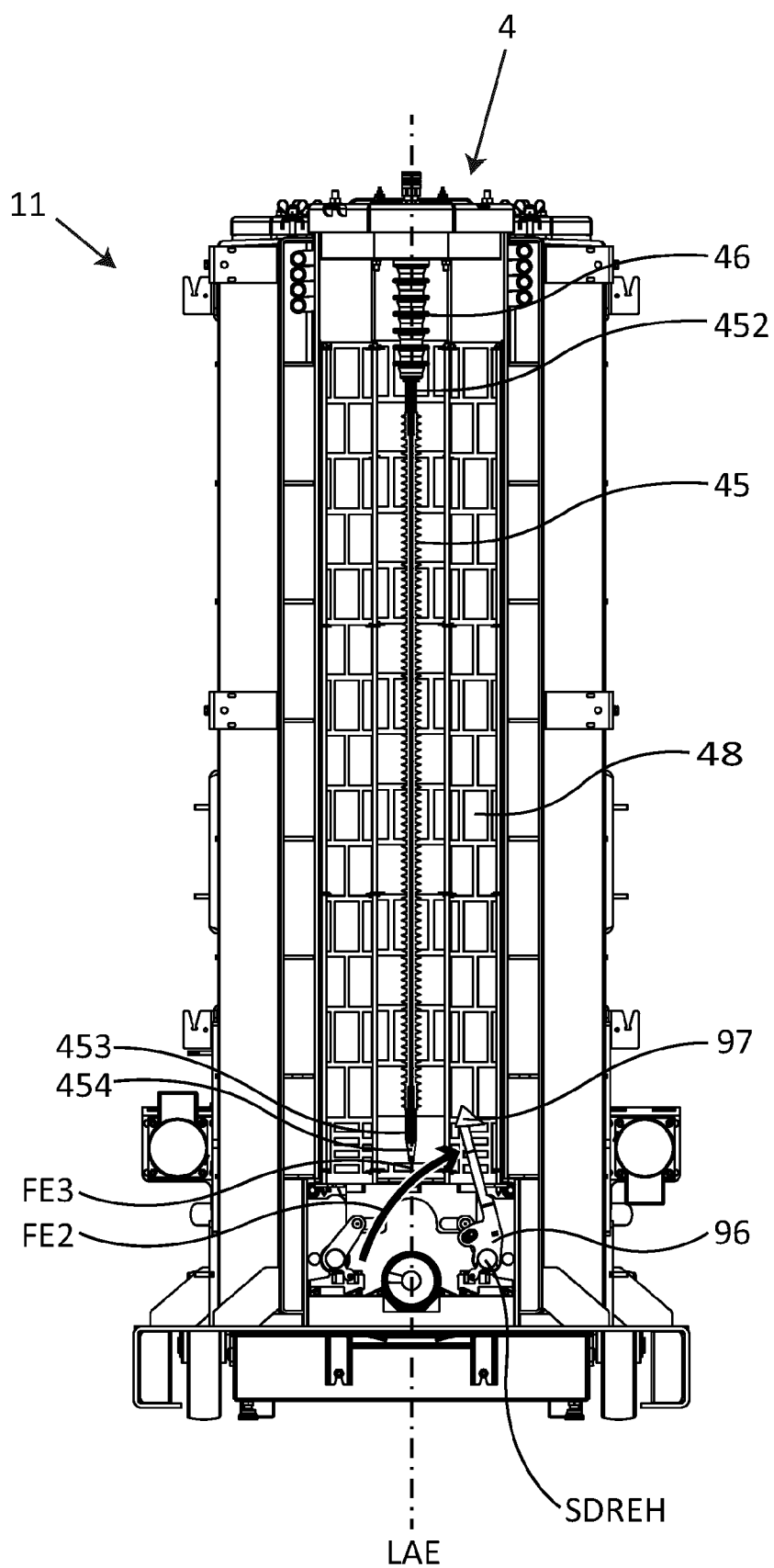


Fig. 19a

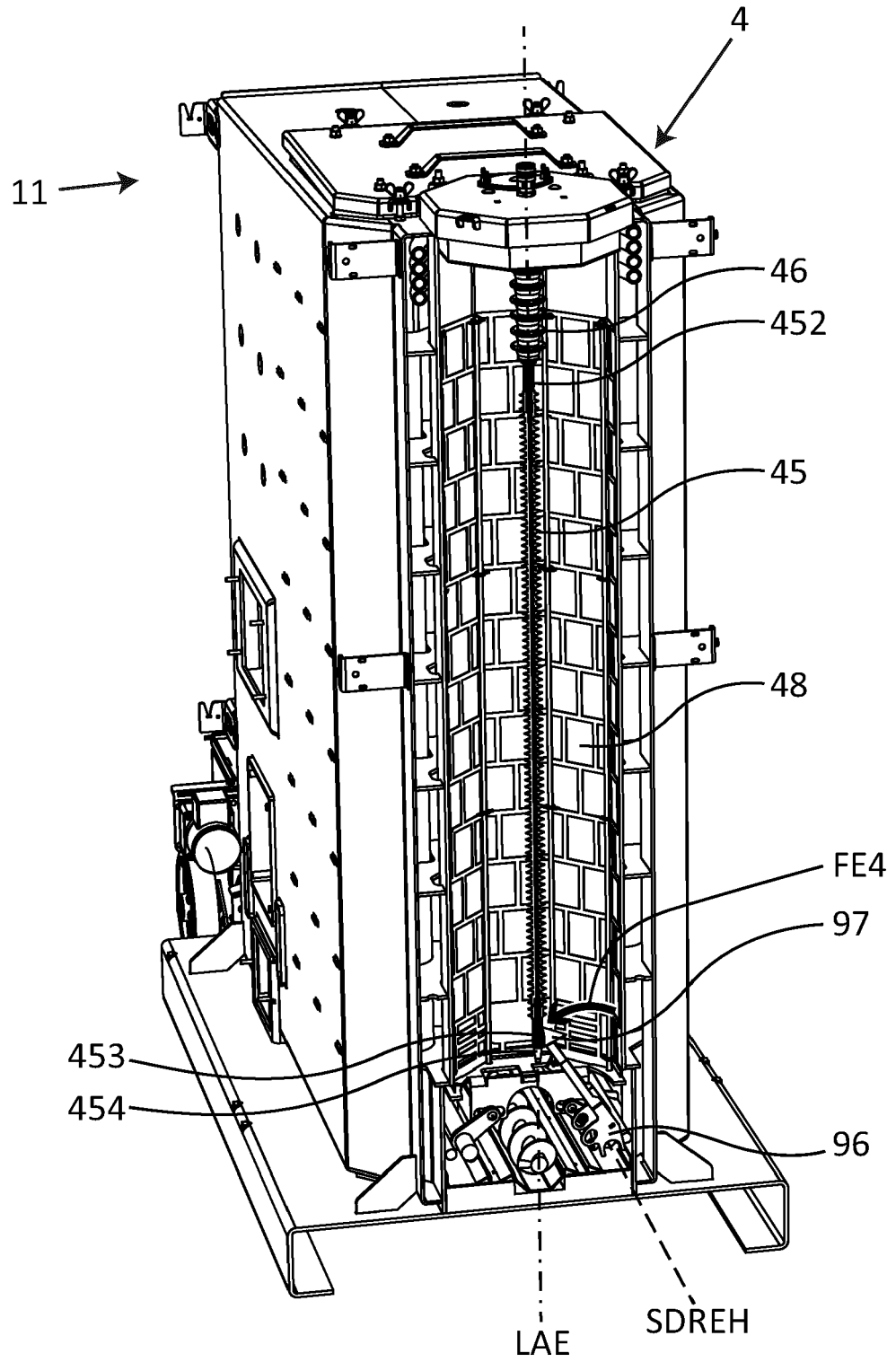


Fig. 19b

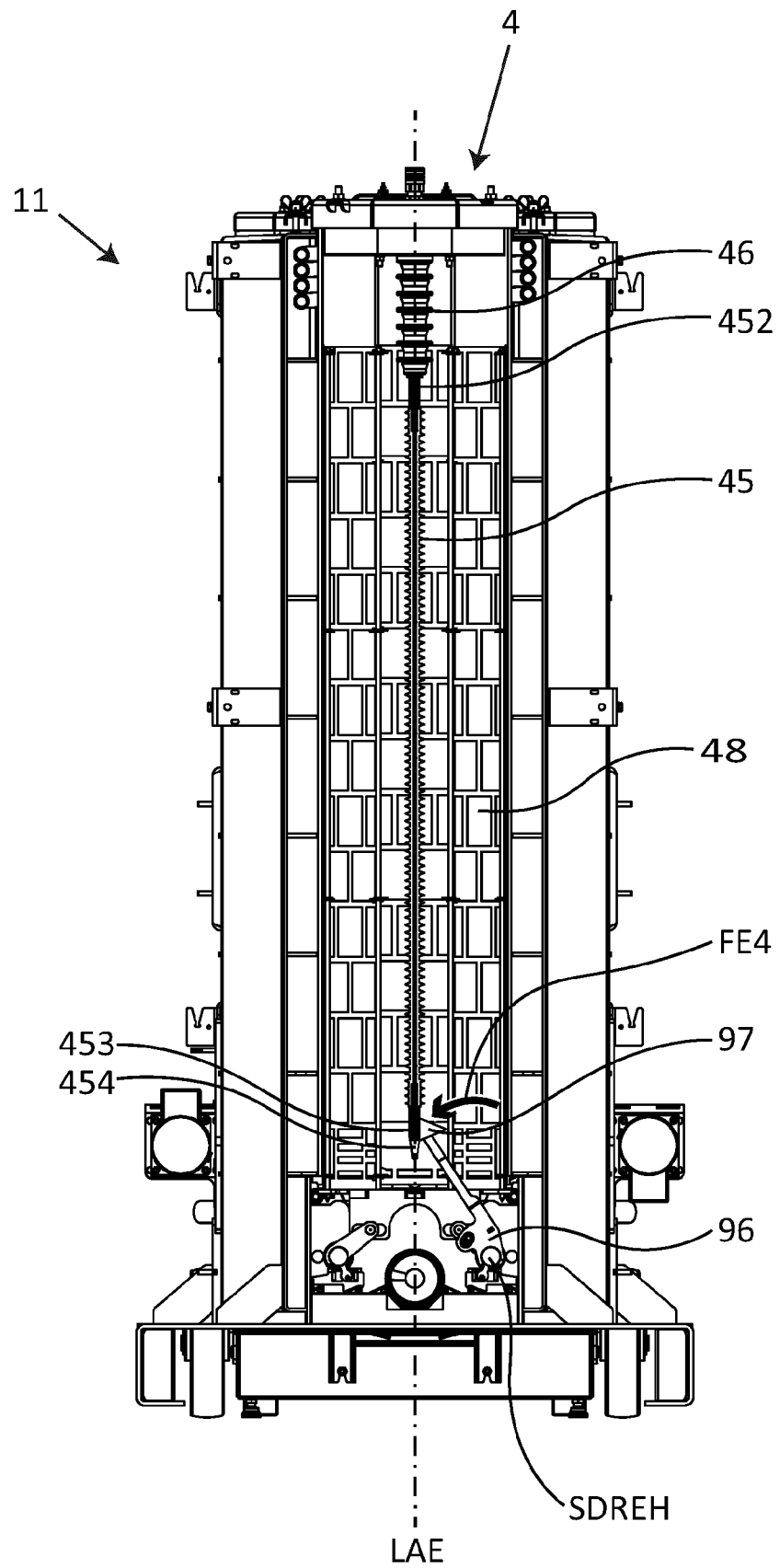


Fig. 20a

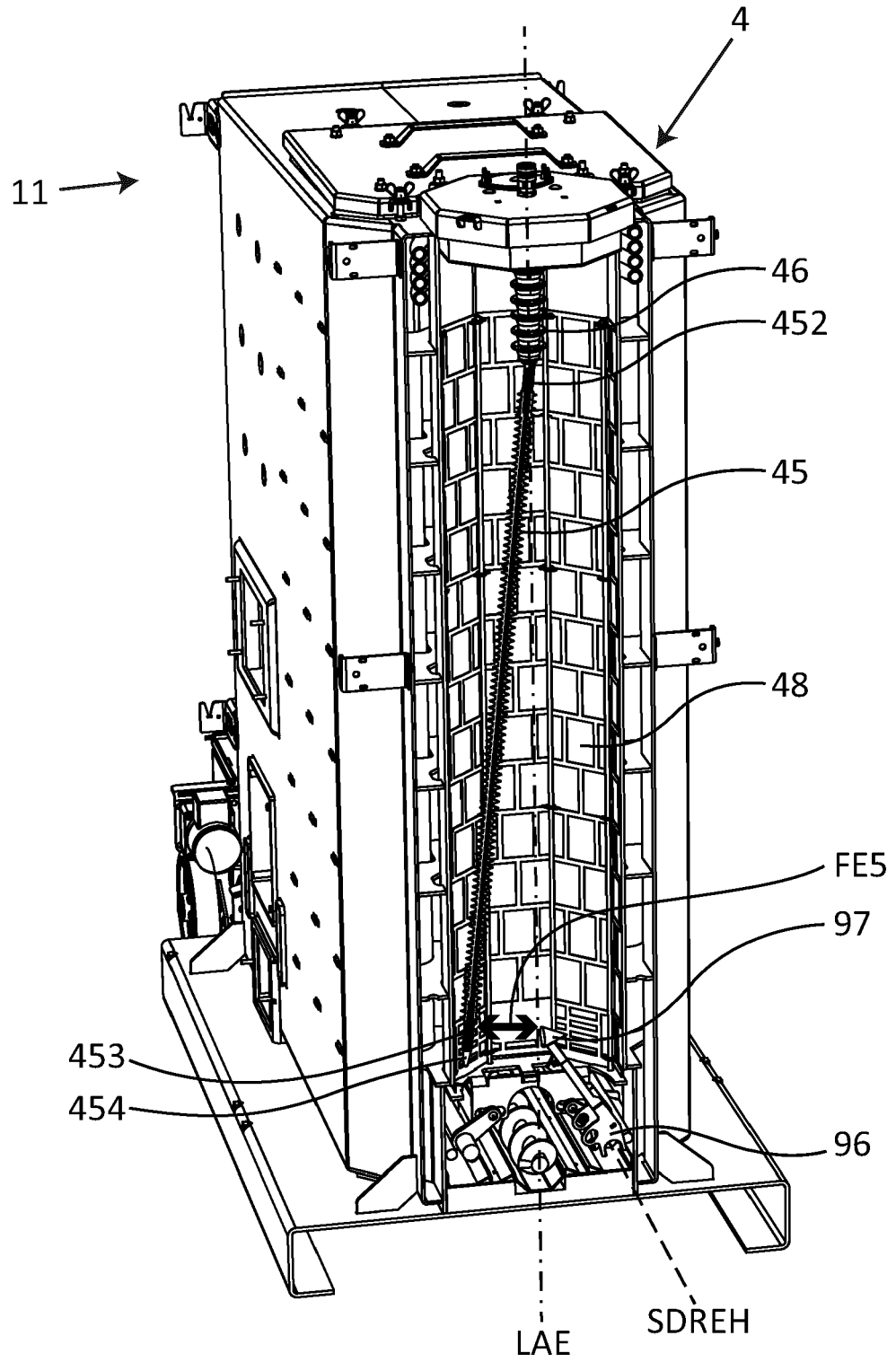


Fig. 20b

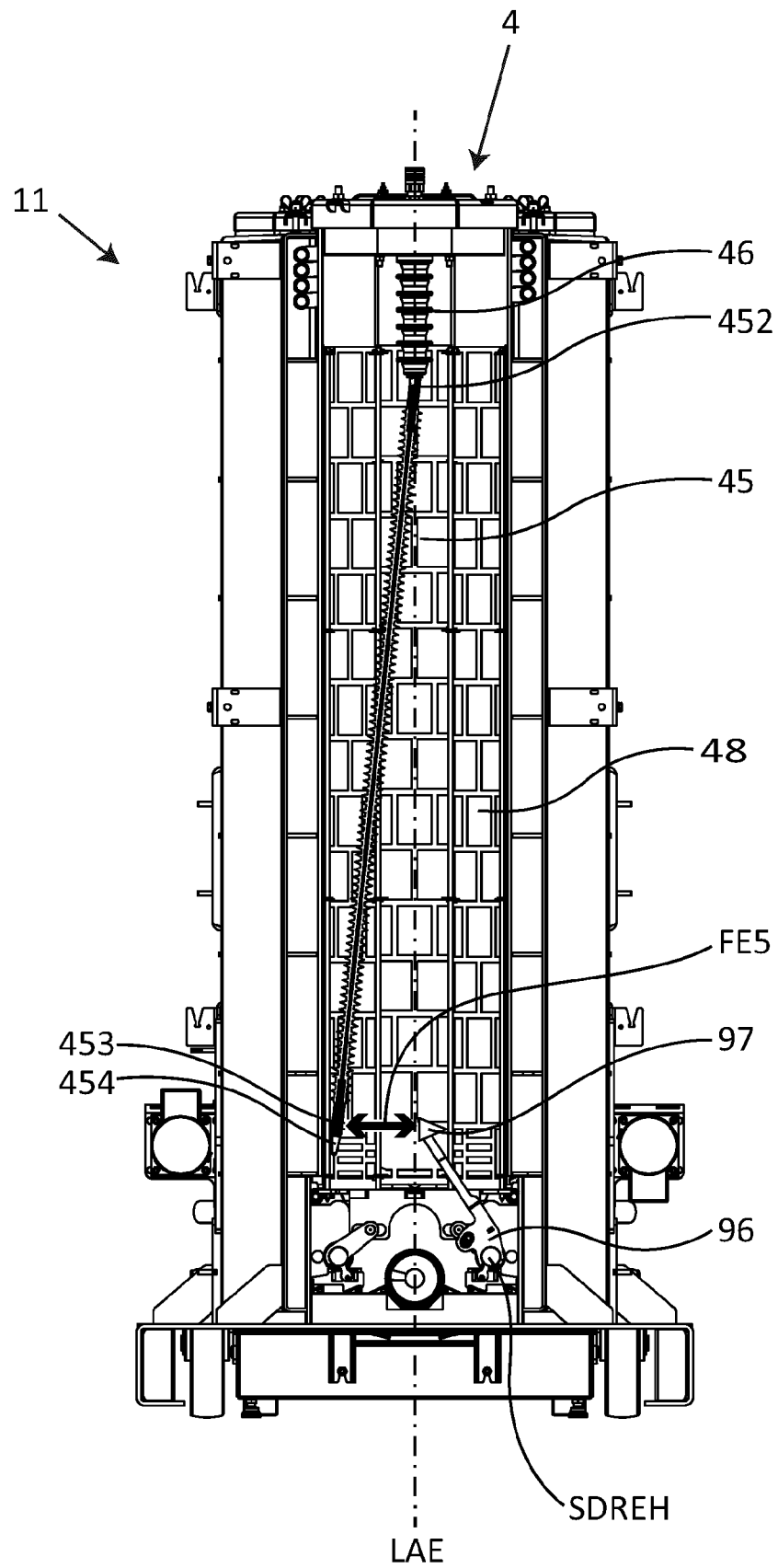


Fig. 21a

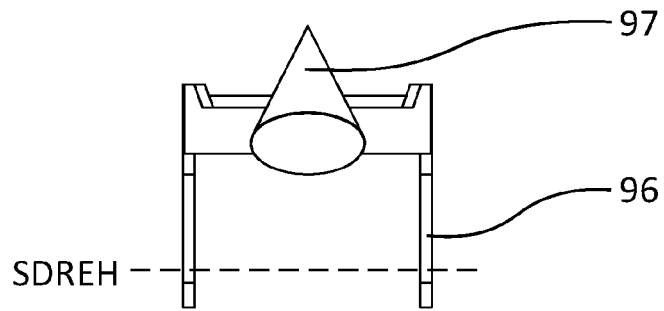


Fig. 21b

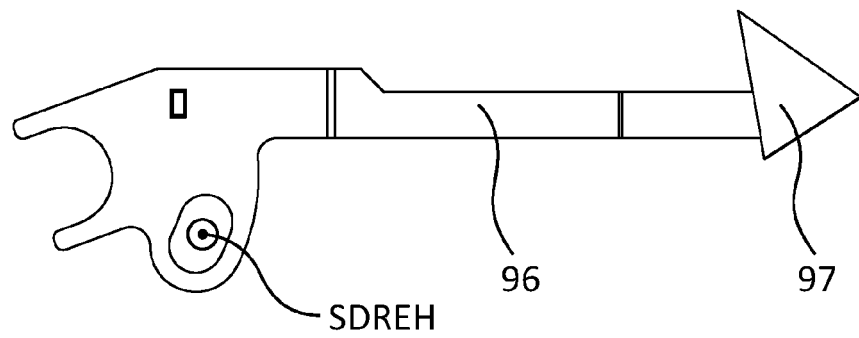


Fig. 21c

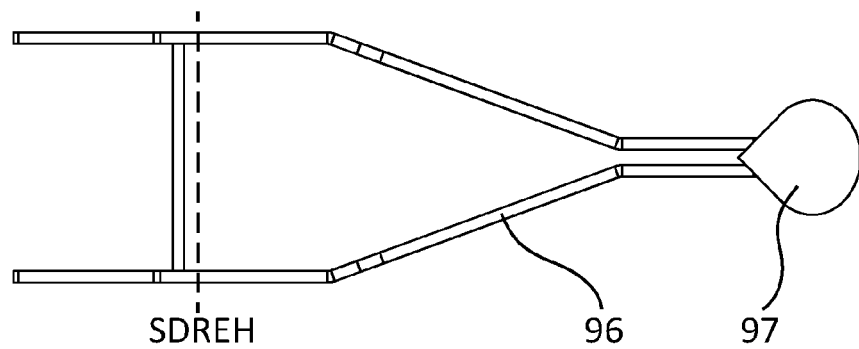
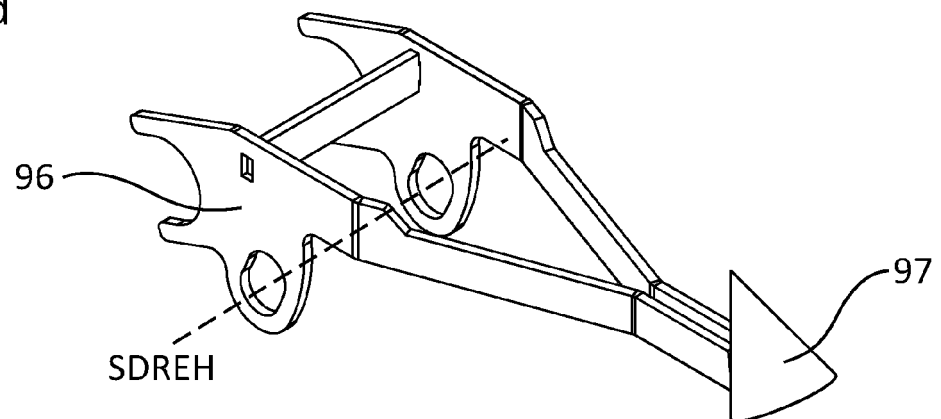


Fig. 21d





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 19 3463

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X,D	EP 3 789 670 B1 (SL TECHNIK GMBH [AT]) 26. Mai 2021 (2021-05-26)	1-3, 7-10, 12, 13	INV. F23J15/02 B03C3/36
Y	* Seite 8, Absatz 74 - Seite 10, Absatz 97 * * Seite 17, Absatz 184 - Seite 18, Absatz 200 * * Abbildungen 1-3, 13, 15-18 * -----	4, 5	B03C3/45 B03C3/49 B03C3/74 B03C3/76 B03C3/41 B03C3/86
X	EP 3 789 672 A1 (SL TECHNIK GMBH [AT]) 10. März 2021 (2021-03-10) * Spalte 1, Absatz 1 - Spalte 20, Absatz 117; Abbildungen 1-3, 13, 15-18 * -----	1-3, 7, 9, 12, 13	
X	EP 3 064 276 A2 (GERLINGER ERNST [AT]) 7. September 2016 (2016-09-07) * das ganze Dokument *	1, 3, 7, 12, 13	
Y	EP 2 208 538 A1 (DAIKIN IND LTD [JP]) 21. Juli 2010 (2010-07-21) * Seite 13, Absatz 70 - Seite 33, Absatz 166 * * Abbildungen 1-3, 27-29 * -----	4	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Y	US 2011/047976 A1 (TOKUDA MASAHIRO [JP] ET AL) 3. März 2011 (2011-03-03) * Seite 3, Absatz 55 - Seite 13, Absatz 157 * * Abbildungen 1-14 * -----	5	F23J F23G B03C
A	WO 2006/015504 A1 (TALT EMPA EIDGENOESSISCHE MATE [CH]; SCHMATLOCH VOLKER [CH]) 16. Februar 2006 (2006-02-16) * Seite 5, Absatz 16 - Seite 8, Absatz 22 * * Abbildungen 1, 2 * ----- -/--	1-13	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 14. Februar 2023	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 Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

 2
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 19 3463

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	EP 1 193 445 A2 (EMPA [CH]) 3. April 2002 (2002-04-03) * Spalte 3, Absatz 11 - Spalte 6, Absatz 18 * * Abbildung 3 *	1-14	
A	DE 20 2018 105322 U1 (KUTZNER WEBER GMBH [DE]) 19. Dezember 2019 (2019-12-19) * Seite 4, Absatz 21 - Seite 5, Absatz 30 * * Abbildungen 1, 2 *	1-14	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 14. Februar 2023	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 Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum 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 22 19 3463

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.

14-02-2023

10

15

20

25

30

35

40

45

50

Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 3789670 B1	26-05-2021	EP 3789670 A1	10-03-2021
		EP 3789671 A1	10-03-2021
		EP 3789685 A1	10-03-2021
		EP 3792551 A1	17-03-2021
		EP 3792552 A1	17-03-2021
		EP 3889502 A1	06-10-2021
		EP 3892917 A1	13-10-2021
		EP 3910250 A1	17-11-2021
		WO 2021043894 A1	11-03-2021
		WO 2021043895 A1	11-03-2021
		WO 2021043898 A1	11-03-2021
		WO 2021043903 A1	11-03-2021

EP 3789672 A1	10-03-2021	AU 2020342698 A1	07-04-2022
		AU 2020342700 A1	21-04-2022
		CA 3152394 A1	11-03-2021
		CA 3152396 A1	11-03-2021
		CA 3152397 A1	11-03-2021
		CA 3152400 A1	11-03-2021
		CN 114729743 A	08-07-2022
		CN 114729744 A	08-07-2022
		CN 114729747 A	08-07-2022
		CN 114729748 A	08-07-2022
		EP 3789672 A1	10-03-2021
		EP 4086510 A1	09-11-2022
		JP 7196365 B2	26-12-2022
		JP 2022536880 A	19-08-2022
		JP 2022537844 A	30-08-2022
		US 2022333770 A1	20-10-2022
		US 2022333817 A1	20-10-2022
		US 2022333822 A1	20-10-2022
		US 2022341625 A1	27-10-2022

EP 3064276 A2	07-09-2016	AT 516061 A4	15-02-2016
		EP 3064276 A2	07-09-2016
		PL 3064276 T3	16-01-2023

EP 2208538 A1	21-07-2010	AU 2008320310 A1	07-05-2009
		CN 101842163 A	22-09-2010
		EP 2208538 A1	21-07-2010
		JP 5304096 B2	02-10-2013
		JP 2009131829 A	18-06-2009
		KR 20100085089 A	28-07-2010
		US 2010251889 A1	07-10-2010
		WO 2009057250 A1	07-05-2009

EPO FORM P0461

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

55

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

EP 22 19 3463

5

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente 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.

14-02-2023

10

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2011047976 A1	03-03-2011	EP 2299073 A1	23-03-2011
		JP 2011052544 A	17-03-2011
		US 2011047976 A1	03-03-2011

WO 2006015504 A1	16-02-2006	DE 102004039118 B3	11-08-2005
		EP 1789198 A1	30-05-2007
		WO 2006015504 A1	16-02-2006

EP 1193445 A2	03-04-2002	CH 695113 A5	15-12-2005
		EP 1193445 A2	03-04-2002

DE 202018105322 U1	19-12-2019	KEINE	

15

20

25

30

35

40

45

50

EPO FORM P0461

55

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 3789670 B1 [0006] [0023] [0134]
- EP 3789671 B1 [0006] [0023]
- EP 3789676 B1 [0006] [0023]