



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
14.09.2022 Patentblatt 2022/37

(21) Anmeldenummer: **21218435.2**

(22) Anmeldetag: **31.12.2021**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F23G 5/50 (2006.01) **F23G 7/10** (2006.01)
F23N 5/00 (2006.01) **F24D 19/00** (2006.01)
F24H 9/20 (2022.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F23H 15/00; F23G 5/50; F23G 7/105; F23N 5/00;
F24D 19/00; F24H 9/20; F23G 2900/50001;
F23G 2900/55003; F23N 2223/38; F23N 2223/48;
F23N 2900/05006

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

(30) Priorität: **09.03.2021 EP 21161524**
10.03.2021 EP 21161799

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

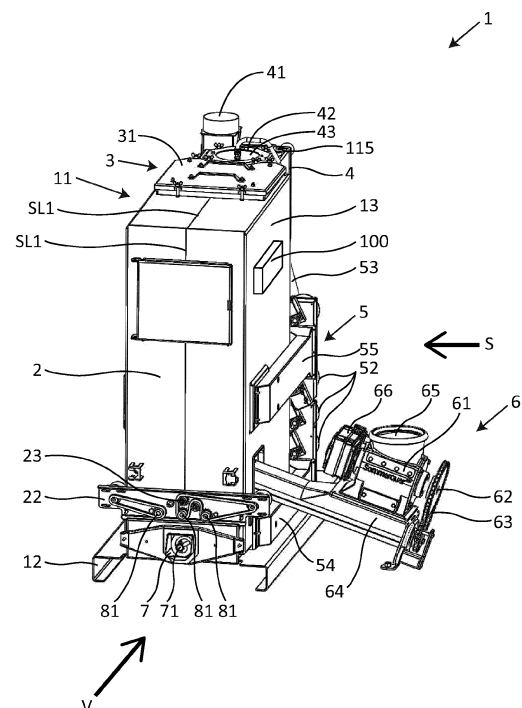
(72) Erfinder: **SOMMERAUER, Thilo**
5120 St. Pantaleon (AT)

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

(54) **BIOMASSE-HEIZANLAGE MIT EINER MITTELS MASCHINELLEM LERNEN OPTIMIERTEN STEUEREINRICHTUNG UND ENTSPRECHENDES VERFAHREN**

(57) Biomasse-Heizanlage (1) zur Verfeuerung von biogenem Brennstoff, aufweisend: einen Kessel (11) mit einer Brenneinrichtung (2) und mit einem Wärmetauscher (3); eine Steuereinrichtung (100) mit einem Speicher (105, 105a); zumindest einen Sensor (86, 111-117, 582, 592) zur Bereitstellung von Sensor-daten, welcher zumindest eine chemische und/oder physikalische Größe der Bio-masse-Heizanlage (1) erfassen kann und welcher mit der Steuereinrichtung (100) kommunikativ verbunden ist; zumindest einen Aktor (4, 5, 52, 6, 61, 66, 7, 72, 91, 201, 231) der Biomasse-Heizanlage (1), welcher mit der Steuereinrichtung (100) kommunikativ verbunden ist und von dieser angesteuert werden kann; wobei die Steuereinrichtung (100) zumindest ein KI-Modell (104) zur Regelung der Biomasse-Heizanlage (1) basierend auf den bereitgestellten Sensordaten beinhaltet, wobei das KI-Modell (104) mittels maschinellem Lernen parametrisiert wird.

Fig. 1



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

5 **[0001]** Die Erfindung betrifft eine Biomasse-Heisanlage mit einer mittels maschinellern Lernen optimierten Steuereinrichtung und ein entsprechendes Verfahren.

[0002] Insbesondere betrifft die Erfindung eine Biomasse-Heisanlage mit einer optimierten Regelung durch eine Steuereinrichtung, welche ein durch maschinelles Lernen optimiertes Regelverhalten aufweist.

10 STAND DER TECHNIK

[0003] Biomasse-Heisanlagen, 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-Heisanlagen für Brennstoffe in Form von Pellets und Hackgut weisen im Wesentlichen einen Kessel mit einer Brennkammer (der Verbrennungsraum) und mit einer daran anschließenden Wärmetauscheinrichtung auf. Aufgrund der in vielen Ländern verschärfter gesetzlicher Vorschriften weisen einige Biomasse-Heisanlagen auch einen Feinstaubfilter auf. Regelmäßig ist weiteres verschiedenes Zubehör vorhanden, wie beispielsweise Brennstoff-Fördereinrichtungen, Regelungseinrichtungen, Sonden, Sicherheitsthermostate, Druckschalter, eine Rauchgas- bzw. Abgasrückführung, eine Kesselabreinigung und ein separater Brennstoffbehälter.

25 **[0006]** 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
30 über eine Schnecke oder einen Kolben in die Brennkammer eingeschoben.

[0007] 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.

35 **[0008]** 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 Heisanlage 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.

40 **[0009]** 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.

55 **[0010]** 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 Lambdasonde kann der Verbrennungsprozess vorteilhaft geregelt werden.

[0011] 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.

[0012] 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.

[0013] Allerdings sind die vorstehend beschriebenen komplexen Verbrennungsvorgänge nicht einfach zu beherrschen. So besteht ganz allgemein formuliert ein Verbesserungsbedarf betreffend der Verbrennungsvorgänge in Biomasse-Heizanlagen.

[0014] 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.

[0015] 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.

[0016] Bei der Zündvorrichtung handelt es sich meistens um eine Heißluftereinrichtung 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.

[0017] Des Weiteren gibt es für eine Vielzahl von Anwendungen, beispielsweise automatisierte Diagnoseverfahren, Erkennung von Kreditkartenbetrug, Aktienmarktanalysen, Klassifikation von Nukleotidsequenzen, Sprach- und Texterkennung sowie autonome Systeme, Vorrichtungen und Verfahren, die sich dem sogenannten "maschinellen Lernen" bedienen. Dabei lernt eine künstliche Intelligenz aus Beispielen, beispielsweise Sensordaten, und kann diese nach Beendigung der Lernphase verallgemeinert anwenden. Dazu bauen Algorithmen beim maschinellen Lernen ein (statistisches) Modell (vorliegend ein KI-Modell einer Biomasse-Heizanlage) auf, das auf Trainingsdaten beruht. Dabei kann das Modell eine Berechnung mittels eines neuronalen Netzwerks durchführen, welches durch ein Training in dessen Gewichtungen bzw. Gewichten parametrisiert wird.

[0018] Im Kern werden mit dieser Systematik nicht einfach die Beispiele auswendig gelernt, sondern es werden Muster und Gesetzmäßigkeiten in den Lerndaten erkannt, um ein KI-Modell zu parametrisieren. Die Gewichte des neuronalen Netzes können zusammengefasst als Parameterdaten verarbeitet und/oder gespeichert werden. Ein Beispiel für derar-

tige Parameterdaten (Gewichte eines neuronalen Netzes) ist in Fig. 24 gezeigt.

[0019] Die Künstliche Intelligenz (KI) ist ein Teilgebiet der Informatik. Sie imitiert menschliche kognitive Fähigkeiten, indem sie Informationen aus Eingabedaten erkennt und sortiert. Diese Intelligenz kann auf programmierten Abläufen basieren oder durch maschinelles Lernen erzeugt werden. Dabei wird üblicherweise zwischen einem überwachten Lernen und einem nicht-overwachten Lernen unterschieden.

[0020] Beim überwachten Lernen lernt der Algorithmus eine Funktion aus gegebenen Paaren von Ein- und Ausgaben. Dabei stellt während des Lernens ein "Lehrer" den korrekten Funktionswert zu einer Eingabe bereit. Ziel beim überwachten Lernen ist, dass dem neuronalen Netz nach mehreren Rechengängen mit unterschiedlichen Ein- und Ausgaben die Fähigkeit antrainiert wird, Assoziationen herzustellen. Ein Teilgebiet des überwachten Lernens ist dabei die automatische Klassifizierung.

[0021] Beim nicht-overwachten bzw. unüberwachten Lernen erzeugt der Algorithmus für eine gegebene Menge von Eingaben ein statistisches Modell, das die Eingaben beschreibt und erkannte Kategorien und Zusammenhänge enthält und somit Vorhersagen ermöglicht. Dabei gibt es Clustering-Verfahren, die die (Roh-)Daten in mehrere Kategorien einteilen, die sich durch charakteristische Muster voneinander unterscheiden. Das Netz erstellt somit selbständig Klassifikatoren, nach denen es die Eingabemuster einteilt. Ein wichtiger Algorithmus in diesem Zusammenhang ist der EM-Algorithmus, der iterativ die Parameter eines Modells so festlegt, dass es die gesehenen Daten optimal erklärt. Er legt dabei das Vorhandensein nicht beobachtbarer Kategorien zugrunde und schätzt abwechselnd die Zugehörigkeit der Daten zu einer der Kategorien und die Parameter, die die Kategorien ausmachen. Eine Anwendung des EM-Algorithmus findet sich beispielsweise in den Hidden Markov Modellen (HMMs). Andere Methoden des unüberwachten Lernens, z. B. Hauptkomponentenanalyse, verzichten auf die Kategorisierung. Sie zielen darauf ab, die beobachteten Daten in eine einfachere Repräsentation zu übersetzen, die sie trotz drastisch reduzierter Information möglichst genau wiedergibt.

[0022] Das sog. "Deep Learning" (deutsch: mehrschichtiges Lernen, tiefes Lernen oder tiefgehendes Lernen) bezeichnet eine Methode des maschinellen Lernens, die künstliche neuronale Netze mit zahlreichen Zwischenschichten (englisch: hidden layers) zwischen Eingabeschicht und Ausgabeschicht einsetzt und dadurch eine umfangreiche innere Struktur herausbildet. Es ist eine spezielle, dem Fachmann bekannte, Methode der Informationsverarbeitung, dessen Verständnis für diese Anmeldung vorausgesetzt ist.

[0023] Deep Learning, eine -nach dem üblichen Verständnis- spezielle Art des maschinellen Lernens, nutzt eine Reihe hierarchischer Schichten bzw. eine Hierarchie von Konzepten, um den Prozess des maschinellen Lernens durchzuführen. Die hierbei benutzten künstlichen neuronalen Netze beinhalten sog. Neuronen, die wie ein Netz miteinander verbunden sind. Die erste Schicht des neuronalen Netzes, die sichtbare Eingangsschicht, verarbeitet eine Rohdateneingabe, beispielsweise Sensordaten, wie beispielsweise die einzelnen Temperaturwerte eines Temperatursensors. Die Dateneingabe enthält Variablen, die der Beobachtung zugänglich sind, daher wird diese als "sichtbare Schicht" bezeichnet.

[0024] Diese erste Schicht leitet ihre Ausgaben an die nächste Schicht weiter. Diese zweite Schicht verarbeitet die Informationen der vorherigen Schicht und gibt das Ergebnis ebenfalls weiter. Die nächste Schicht nimmt die Informationen der zweiten Schicht entgegen und verarbeitet sie weiter. Diese Schichten werden als versteckte Ebenen (englisch: "hidden layers") bezeichnet. Die in ihnen enthaltenen Merkmale werden zunehmend abstrakt. Ihre Werte sind nicht in den Ursprungsdaten angegeben. Stattdessen muss das Modell bestimmen, welche Konzepte für die Erklärung der Beziehungen in den beobachteten Daten nützlich sind. Dies geht über alle Ebenen des künstlichen neuronalen Netzes so weiter. Das Ergebnis wird in der sichtbaren letzten Schicht ausgegeben. Hierdurch wird die gewünschte komplizierte Datenverarbeitung in eine Reihe von verschachtelten einfachen Zuordnungen unterteilt, die jeweils durch eine andere Schicht des Modells beschrieben werden.

[0025] Zusammengefasst sind neuronale Netze Maschinenlernmodelle, die eine oder mehrere Schichten von nicht linearen Einheiten zur Prognose einer Ausgabe für eine empfangene Eingabe einsetzen. Ein einmal trainiertes bzw. gelehrt neuronales Netz kann vorliegend als (zu trainierendes und trainiertes) KI-Modell für die Biomasse-Heizanlage verwendet werden.

[0026] Einige neuronale Netze sind tiefe neuronale Netze, die zusätzlich zu einer Ausgabeschicht eine oder mehrere verborgene Schichten umfassen. Die Ausgabe jeder verborgenen Schicht wird als Eingabe für die nächste Schicht im Netz verwendet, d. h. die nächste verborgene Schicht oder die Ausgabeschicht. Jede Schicht des Netzes erzeugt eine Ausgabe von einer empfangenen Eingabe in Übereinstimmung mit aktuellen Werten eines entsprechenden Satzes von Parametern. Das trainierte neuronale Netz ist dann der Kern dessen, was verallgemeinert als "künstliche Intelligenz" bezeichnet wird.

[0027] Eine Umsetzung eines tiefen neuronalen Netzes bzw. vom sog. "Deep-Learning" kann mit der Software "TensorFlow"™ erfolgen. TensorFlow™ ist ein Framework zur datenstromorientierten Programmierung. Populäre Anwendung findet TensorFlow™ im Bereich des maschinellen Lernens. Der Name "TensorFlow"™ stammt von Rechenoperationen, welche von künstlichen neuronalen Netzen auf mehrdimensionalen Datenfeldern, sog. Tensoren, ausgeführt werden. TensorFlow™ wurde ursprünglich vom Google-Brain-Team für den Google-internen Bedarf entwickelt und 2015 unter der Apache-2.0-Open-Source-Lizenz veröffentlicht. Mit diesem Framework kann das später in den Ausführungsbeispielen dargelegte implementiert werden, wodurch der Fachmann auch sein Verständnis eines KI-Modells herleiten kann.

[0028] Die Technologie des maschinellen Lernens (ML) wird häufig als ein Teilgebiet der künstlichen Intelligenz verstanden. Insofern betrifft die vorliegende Anmeldung auch den neuartigen Einsatz von künstlicher Intelligenz zur verbesserten Regelung einer Biomasse-Heisanlage.

[0029] 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. 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.

[0030] Diese Probleme führen häufig dazu, dass der Nutzer der Biomasse-Heisanlage manuell eingreifen muss, und beispielsweise Regelungsparameter oder Grundeinstellungen selbst vornehmen muss, um den Betrieb der Anlage zu optimieren oder gar zu ermöglichen. Dabei erfolgt eine Einstellung der Biomasse-Heisanlage häufig nach "Bauchgefühl" oder nach langjährigen manuellen Aufzeichnungen und Optimierungsversuchen, womit der Betrieb der Biomasse-Heisanlage erschwert und nachteilig kompliziert ist.

[0031] Zudem sind die Regelungen herkömmlicher Biomasse-Heisanlagen regelmäßig recht primitiv und weisen ein unzureichendes Regelverhalten auf. So komme es nach den Erfahrungen des Erfinders häufig zu überstarken Regelschwankungen, unerwünschten Regelreaktionen und /oder einem stark verzögerten Regelverhalten bei üblichen Biomasse-Heisanlagen.

[0032] Beispielsweise wird bei der Regelung von Ventilen in Rezirkulationseinrichtung häufig nur ein primitiver Stufenwertalgorithmus basierend auf einem einzelnen erfassten Wert (üblicherweise die Kesseltemperatur) verwendet, womit die Luftfrezirkulation regelmäßigen Schwankungen unterworfen ist (d.h. der entsprechende Regelkreis schwingt). Damit ist eine stationäre und optimierte Regelung der Kesselleistung letztlich unmöglich. Ähnliches gilt für viele weitere Regelungsaufgaben in herkömmlichen Biomasse-Heisanlagen (Leistung, Lambda etc.), für die Optimierungsbedarf herrscht.

[0033] Die herkömmlichen Regelungen führen deshalb in der Folge häufig zu Effizienzverlusten der Biomasse-Heisanlagen, erhöhtem Schadstoffausstoß und einem erhöhten Wartungsaufwand.

[0034] Diesbezüglich besteht somit erheblicher Optimierungsbedarf.

[0035] Biomasse-Heisanlagen für Pellets oder Hackgut weisen die folgenden weiteren Nachteile und Probleme auf.

[0036] Es kann eine Aufgabe der Erfindung sein, eine Biomasse-Heisanlage in Hybridtechnologie vorzusehen, welche emissionsarm (v.a. bzgl. Feinstaub, CO, Kohlenwasserstoffen, NOx) ist, und welche einfach betrieben werden kann.

[0037] Zudem soll die Biomasse-Heisanlage insbesondere brennstoffflexibel mit Hackgut und Pellets betrieben werden können, und dabei einen hohen Wirkungsgrad aufweisen.

[0038] 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.

[0039] Möglichst niedrige gasförmige Emissionen (kleiner als 50 oder 100 mg/Nm³ bezogen auf trockenes Rauchgas und 13 Volumenprozent O₂) sollen erzielt werden.

[0040] Sehr niedrige Staubemissionen kleiner 15 mg/Nm³ ohne und kleiner 5 mg/Nm³ mit Elektrofilterbetrieb werden angestrebt.

[0041] Ein hoher Wirkungsgrad von bis zu 98% (bezogen auf die zugeführte Brennstoffenergie (Heizwert) soll erreicht werden.

[0042] 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.

[0043] Zudem sollte eine hohe Anlagenverfügbarkeit vorhanden sein.

[0044] Dabei kann/können sich die vorstehend genannte Aufgabe(n) oder die potentiellen Einzelproblemstellungen auch auf einzelne Teilaspekte der Gesamtanlage beziehen, beispielsweise auf die Regelung und/oder Steuerung.

[0045] Dies vorstehend genannte(n) Aufgabe(n) wird/werden durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst. Weitere Aspekte und vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0046] Gemäß einem Aspekt ist Biomasse-Heisanlage, vorzugsweise zur Verfeuerung von Fest-Brennstoff (bspw. in Form von Pellets und/oder Hackgut) oder auch zur Verfeuerung von biogenem (gasförmigen) Brennstoff, offenbart, die Biomasse-Heisanlage aufweisend das Folgende:

einen Kessel mit einer Brenneinrichtung und mit einem Wärmetauscher ;

eine Steuereinrichtung mit einem Speicher ;

zumindest einen Sensor zur Bereitstellung von Sensordaten, welcher zumindest eine chemische und/oder physi-

kalische Größe der Biomasse-Heizanlage erfassen kann und welcher mit der Steuereinrichtung kommunikativ verbunden ist;

zumindest einen Aktor der Biomasse-Heizanlage, welcher mit der Steuereinrichtung kommunikativ verbunden ist und von dieser angesteuert werden kann;

wobei die Steuereinrichtung zumindest ein KI-Modell zur Regelung der Biomasse-Heizanlage basierend auf den bereitgestellten Sensordaten beinhaltet, wobei das KI-Modell mittels maschinellem Lernen parametrisiert wird.

[0047] Biomasse-Heizanlage gemäß dem vorhergehenden Aspekt, wobei das KI-Modell ein neuronales Netzwerk mit mindestens 3 Schichten und mindestens 200 Neuronen ist.

[0048] Biomasse-Heizanlage gemäß einem der vorhergehenden Aspekte, wobei

die Steuereinrichtung derart eingerichtet ist, dass

die Sensordaten über einen vorbestimmten Zeitraum während eines Betriebs der Biomasse-Heizanlage aggregiert werden, und

die aggregierten Sensordaten zum maschinellen Lernen verwendet werden.

[0049] Biomasse-Heizanlage gemäß einem der vorhergehenden Aspekte, wobei

die Steuereinrichtung der Biomasse-Heizanlage eine maschinelle Lerneinheit aufweist; und

die Biomasse-Heizanlage derart eingerichtet ist, dass

die von dem zumindest einem Sensor erfasste Größe als die Sensordaten in dem Speicher der Steuereinrichtung abgespeichert werden; und

das maschinelle Lernen mittels der maschinellen Lerneinheit unter Verwendung der in dem Speicher abgespeicherten Sensordaten erfolgt.

[0050] Biomasse-Heizanlage gemäß einem der vorhergehenden Aspekte, wobei

die Biomasse-Heizanlage derart eingerichtet ist, dass

die von dem zumindest einem Sensor erfasste zumindest eine Größe als die Sensordaten in dem Speicher der Steuereinrichtung abgespeichert wird; und

die in dem Speicher der Steuereinrichtung gespeicherten Sensordaten über eine Netzwerkverbindung an eine zentrale Recheneinheit übertragen werden; und

von der zentralen Recheneinheit ein KI-Modell oder Gewichtsdaten zur Regelung der Biomasse-Heizanlage an die Steuereinrichtung der Biomasse-Heizanlage übertragen wird/werden, wobei das KI-Modell durch maschinelles Lernen mittels einer maschinellen Lerneinheit der zentralen Recheneinheit zumindest unter Verwendung der übertragenen Sensordaten parametrisiert wird.

[0051] Biomasse-Heizanlage gemäß einem der vorhergehenden Aspekte, wobei

das KI-Modell eingerichtet ist, eine Klassifizierung des Brennstoffs durchzuführen, und die Klassifizierung des Brennstoffs auf folgenden Sensordaten basiert:
einem Sauerstoffgehalt des Abgases der Biomasse-Heizanlage, welcher mit einer Lambda-Sonde erfasst wird; sowie zumindest eines des Folgenden:

einer Abgastemperatur des Abgases der Biomasse-Heizanlage, welche mit einem Abgastempersensor erfasst wird;

einer Brennkammertemperatur eines Brennraums der Biomasse-Heizanlage, welche mit einem Brennraum-

temperatursensor erfasst wird;

wobei der Sauerstoffgehalt, die Abgastemperatur und die Brennkammertemperatur in einem Zeitraum nach einer Zündung des Brennstoffs durch eine Zündeinrichtung bis zum Erreichen eines vordefinierten Sauerstoffgehalts, vorzugsweise 16 Vol %-O₂, erfasst werden.

[0052] Biomasse-Heisanlage gemäß einem der vorhergehenden Aspekte, wobei

die Steuereinrichtung mit dem KI-Modell eingerichtet ist, eine Regelung eines Motors einer Brennstoffzufuhr in die Brenneinrichtung auf eine vorgegebene Brennstoffbetthöhe durchzuführen, wobei die Regelung auf zumindest einem der folgenden Sensordaten basiert:

einem Sauerstoffgehalt des Abgases der Biomasse-Heisanlage, welcher mit einer Lambda-Sonde erfasst wird; sowie zumindest eines des Folgenden:

einer Abgastemperatur des Abgases der Biomasse-Heisanlage, welche mit einem Abgastemperatursensor erfasst wird;

einer Brennkammertemperatur eines Brennraums der Biomasse-Heisanlage, welche mit einem Brennraumtemperatursensor erfasst wird.

Biomasse-Heisanlage gemäß einem der vorhergehenden Aspekte, wobei

die Steuereinrichtung mit dem KI-Modell eingerichtet ist, eine Lambda-Regelung der Biomasse-Heisanlage auf einen vorbestimmten Lambda-Wert des Abgases durchzuführen, wobei die Regelung auf zumindest einem der folgenden Sensordaten basiert:

einem Sauerstoffgehalt des Abgases der Biomasse-Heisanlage, welcher mit einer Lambda-Sonde erfasst wird; sowie zumindest eines des Folgenden:

einer Abgastemperatur des Abgases der Biomasse-Heisanlage, welche mit einem Abgastemperatursensor erfasst wird;

einer Brennkammertemperatur einer Brennkammer der Biomasse-Heisanlage, welche mit einem Brennraumtemperatursensor erfasst wird;

einem Unterdruck in der Brennkammer, welcher durch einen Unterdrucksensor erfasst wird;

einer Brennstoffbetthöhe auf dem Drehrost, welche durch einen Brennstoffbetthöhensensor erfasst wird;

und wobei durch das KI-Modell zumindest eines der Luftventile der Rezirkulationseinrichtung angesteuert wird.

[0053] Biomasse-Heisanlage gemäß einem der vorhergehenden Aspekte, wobei

die Steuereinrichtung mit dem KI-Modell eingerichtet ist, eine Leistungs-Regelung der Biomasse-Heisanlage auf einen vorbestimmten Leistungswert der Biomasse-Heisanlage(1) durchzuführen, wobei die Regelung auf zumindest einem der folgenden Sensordaten und/oder externen Daten basiert:

eine Brennkammertemperatur einer Brennkammer der Biomasse-Heisanlage, welche mit einem Brennraumtemperatursensor erfasst wird;

einer Brennstoffbetthöhe auf dem Drehrost, welche durch einen Brennstoffbetthöhensensor erfasst wird;

eine Kesseltemperatur, welche eine Temperatur des Wärmetauschmediums im Kessel ist;

eine abgegebene Wärmemenge des Kessels, welche mittels eines Wärmemengensensors erfasst wird;

Wetterprognosedaten, welche über ein Netzwerk, vorzugsweise das Internet, abgerufen werden; und

und wobei durch das KI-Modell zumindest eines der Luftventile der Rezirkulationseinrichtung und/oder der Primärluftzufuhr angesteuert wird, oder das Gebläse der Biomasse-Heisanlage angesteuert wird.

[0054] Biomasse-Heizanlage gemäß einem der vorhergehenden Aspekte, wobei die Steuereinrichtung mit dem KI-Modell eingerichtet ist, eine Regelung der Stellung eines Ventils eines Primärluftkanals der Biomasse-Heizanlage(1) auf eine vorbestimmte Primärluftmenge durchzuführen, wobei die Regelung auf zumindest einem der folgenden Sensordaten basiert:

einer Brennkammertemperatur einer Brennkammer der Biomasse-Heizanlage, welche mit einem Brennraumtemperatursensor erfasst wird;

einer Brennstoffbetthöhe auf dem Drehrost, welche durch einen Brennstoffbetthöhensensor erfasst wird;

einem Sauerstoffgehalt des Abgases der Biomasse-Heizanlage, welcher mit einer Lambda-Sonde erfasst wird;

eine Kesseltemperatur, welche eine Temperatur des Wärmetauschmediums im Kessel ist;

eine abgegebene Wärmemenge des Kessels, welche mittels eines Wärmemengensensors erfasst wird;

[0055] Biomasse-Heizanlage gemäß einem der vorhergehenden Aspekte, wobei

die Steuereinrichtung mit dem KI-Modell eingerichtet ist, eine Ein/Aus-Regelung der Biomasse-Heizanlage durchzuführen, wobei die Regelung auf Folgendem basiert:

Wetterprognosedaten, welche über ein Netzwerk, vorzugsweise das Internet, abgerufen werden; und

eine vorgegebene Kesselsolltemperatur;

eine Kesseltemperatur, welche eine Temperatur des Wärmetauschmediums im Kessel ist;

sowie optional auf zumindest einem der folgenden Sensordaten basieren kann:

eine Temperatur eines Wärmespeichers, vorzugsweise eines Puffers, in einem Heizkreislauf, welcher von der Biomasse-Heizanlage mit Energie versorgt wird;

eine Leistungsabgabefähigkeit der Biomasse-Heizanlage, beispielsweise die Leistungsklasse des Kessels (kW);

eine abgegebene Wärmemenge des Kessels, welche mittels eines Wärmemengensensors erfasst wird.

[0056] Biomasse-Heizanlage gemäß einem der vorhergehenden Aspekte, wobei wobei das Ergebnis der Berechnung des trainierten KI-Modells als zumindest eine Eingangsgröße für einen Regelalgorithmus, beispielsweise einer P-, PI-, PID-, oder PD-Regelung, verwendet wird.

[0057] Verfahren zur Regelung einer Biomasse-Heizanlage zur Verfeuerung von Fest-Brennstoff in Form von Pellets und/oder Hackgut, die Biomasse-Heizanlage aufweisend:

einen Kessel mit einer Brenneinrichtung und einem Wärmetauscher ;

eine Steuereinrichtung mit einem Speicher ;

wobei das Verfahren das Folgende aufweist:

Regeln der Biomasse-Heizanlage mittels eines KI-Modells der Steuereinrichtung, welches durch maschinelles Lernen parametrisiert wird.

[0058] Verfahren gemäß dem vorhergehenden Aspekt, wobei das Regeln der Biomasse-Heizanlage Folgendes beinhaltet:

Erfassen von zumindest einer chemischen und/oder physikalischen Größe der Biomasse-Heizanlage durch zumindest einen Sensor der Biomasse-Heizanlage, welcher mit der Steuereinrichtung kommunikativ verbunden ist; und

Verarbeiten der zumindest einer chemischen und/oder physikalischen Größe unter Verwendung des KI-Modells; und

Ansteuern des zumindest eines Aktors der Biomasse-Heizanlage, welcher mit der Steuereinrichtung kommunikativ verbunden ist, basierend auf dem Ergebnis des Schritts des Verarbeitens.

[0059] Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Aspekte, wobei das Verfahren weiter die folgenden Schritte aufweist:

Aggregieren der Sensordaten über einen vorbestimmten Zeitraum während eines Betriebs der Biomasse-Heizanlage, und

Verwenden der aggregierten Sensordaten zum maschinellen Lernen.

[0060] Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Aspekte, wobei

die Steuereinrichtung der Biomasse-Heizanlage eine maschinelle Lerneinheit aufweist; und

das Verfahren weiter den folgenden Schritt aufweist:

Abspeichern der von der Mehrzahl von Sensoren erfassten zumindest einen Größe in dem Speicher der Steuereinrichtung als die Sensordaten; wobei das maschinelle Lernen mittels der maschinellen Lerneinheit unter Verwendung der in dem Speicher gespeicherten Sensordaten erfolgt.

[0061] Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Aspekte, wobei das Verfahren ferner die folgenden Schritte aufweist:

Speichern der von dem zumindest einem Sensor erfassten zumindest einen Größe in dem Speicher der Steuereinrichtung als die Sensordaten; und

Übertragen der in dem Speicher der Steuereinrichtung gespeicherten Sensordaten über eine Netzwerkverbindung an eine zentrale Recheneinheit; und

Parametrieren des KI-Modell durch maschinelles Lernen mittels einer maschinellen Lerneinheit der zentralen Recheneinheit unter Verwendung der übertragenen Sensordaten; und

Übertragen des parametrisierten KI-Modells an die Steuereinrichtung der Biomasse-Heizanlage von der zentralen Recheneinheit .

[0062] Verfahren zur Regelung einer Biomasse-Heizanlage zur Verfeuerung von Fest-Brennstoff in Form von Pellets und/oder Hackgut, aufweisend die Biomasse-Heizanlage und die Vorgänge gemäß einem der vorhergehenden Aspekte.

[0063] Verfahren für ein System mit einer Mehrzahl von Biomasse-Heizanlagen und mit zumindest einer zentralen Recheneinrichtung, wobei die Biomasse-Heizanlagen mit der zentralen Recheneinrichtung kommunikativ über ein Netzwerk verbunden sind, wobei die Mehrzahl der Biomasse-Heizanlagen das Folgende aufweist:

einen Kessel mit einer Brenneinrichtung und einem Wärmetauscher ;

eine Steuereinrichtung mit einem Speicher ;

eine Mehrzahl von Sensoren zur Bereitstellung von Sensordaten, welche chemische und/oder physikalische Größen der Biomasse-Heizanlage erfassen können und welche mit der Steuereinrichtung kommunikativ verbunden sind;

eine Mehrzahl von Aktoren der Biomasse-Heizanlage, welche mit der Steuereinrichtung kommunikativ verbunden sind und von dieser angesteuert werden können;

wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

Erfassen von zumindest einer chemischen und/oder physikalischen Größe der Biomasse-Heizanlage durch zumindest einen Sensor (86, 111-117, 582), 592 der Biomasse-Heizanlagen; und

Abspeichern der erfassten Größen in den Speichern der Steuereinrichtungen der Biomasse-Heizanlagen als Sensordaten;

Übertragen zumindest eines Teils der in den Speichern der Steuereinrichtungen der Biomasse-Heisanlagen gespeicherten Größen über zumindest eine Netzwerkverbindung an die zentrale Recheneinheit.

[0064] Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Aspekte, weiter aufweisend die folgenden Schritte:

Aggregieren der übertragenen Sensordaten in der zentralen Recheneinheit;

Maschinelles Lernen mittels der maschinellen Lerneinheit unter Verwendung der aggregierten Sensordaten, woraus ein parametrisiertes KI-Modell resultiert;

Übertragen des parametrisierten KI-Modells an die Steuereinrichtung der Biomasse-Heisanlage von der zentralen Recheneinheit über das Netzwerk;

Regeln der Biomasse-Heisanlage mittels des übertragenen KI-Modells durch die der Steuereinrichtung.

Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Aspekte, weiter aufweisend die Merkmale von zumindest von einem der vorstehenden vorrichtungsbezogenen Aspekte.

[0065] Computerlesbares Speichermedium, das Befehle enthält, die, wenn Sie von einer Recheneinrichtung ausgeführt werden, veranlassen, dass die Recheneinrichtung eines der vorstehenden Verfahren oder die Vorgänge eines der vorstehenden Aspekte ausführt.

[0066] Die Vorteile dieser des Hauptaspekts, seiner Konfiguration und auch der zugehörigen (Einzel-) Aspekte und auch die Vorteile der jeweiligen Verfahren ergeben sich aus der folgenden Beschreibung der zugehörigen Ausführungsbeispiele.

[0067] "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.

[0068] 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.

[0069] Insbesondere sind unabhängig von der Biomasse-Heisanlage eine KI-Modell basierte Regelung für eine Biomasse-Heisanlage, die Regel-Verfahren der Fig. 18 ff. für eine Biomasse-Heisanlage und eine optimierte Selbstlern-Funktion der Fig. 22 für eine Biomasse-Heisanlage beschrieben und können entsprechend unabhängig davon beansprucht werden. Ebenso ist auch ein KI-Modell für eine Biomasse-Heisanlage offenbart, welche beispielsweise als Steuereinrichtung mit einem KI-Modell für eine Biomasse-Heisanlage gesondert beansprucht werden kann. Dabei können die Merkmale aller vorstehend offenbarten Aspekte, aller Ausführungsformen und Abwandlungen und die der ergänzenden Beispiele mit dem Regel-Verfahren, mit der Selbstlern-Funktion, und mit der Steuereinrichtung mit einem KI-Modell für eine Biomasse-Heisanlage kombiniert werden, so wie das der Fachmann als machbar erachtet.

[0070] Es versteht sich, dass ein KI-Modell ein umso besseres Regelungsverhalten aufweist, je mehr Eingangsparameter zum Lernen und zum Regeln vorhanden sind. Insofern sind die vorstehend bei den Aspekten beschriebenen "zumindest einem der folgenden Sensordaten" eine Angabe eines Mindestparameters, wobei die Auswahl von mehr als des einen Parameters regelmäßig zu einem besseren Verhalten des KI-Modells führt.

[0071] 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 Schnitlinie 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 Schnitlinie SL1 vorgenommen wurde und aus der Seitenansicht S betrachtet dargestellt ist;

Fig. 4	zeigt eine Teilansicht der Fig. 2, die eine Brennkammergeometrie des Kessels der Fig. 2 und Fig. 3 darstellt;
5 Fig. 5	zeigt eine Schnittansicht durch den Kessel bzw. die Brennkammer des Kessels entlang der Vertikalschnittlinie A2 der Fig. 4;
Fig. 6	zeigt eine dreidimensionale Schnittansicht auf die Primärverbrennungszone der Brennkammer mit dem Drehrost der Fig. 4;
10 Fig. 7	zeigt entsprechend zur Fig. 6 eine Explosionsdarstellung der Brennkammersteine;
Fig. 8	zeigt eine Aufsicht auf den Drehrost mit Drehrostelementen von oben aus Sicht der Schnittlinie A1 der Fig. 2;
15 Fig. 9	zeigt den Drehrost der Fig. 2 in geschlossener Position, wobei alle Drehrostelemente horizontal ausgerichtet bzw. geschlossen sind;
Fig. 10	zeigt den Drehrost der Fig. 9 in dem Zustand einer Teilabreinigung des Drehrosts im Gluterhaltungsbetrieb;
20 Fig. 11	zeigt den Drehrost der Fig. 9 im Zustand der Universalabreinigung, welche bevorzugt während eines Anlagenstillstands durchgeführt wird;
Fig. 12	zeigt eine herausgestellte Schrägansicht einer beispielhaften Rezirkulationseinrichtung mit Brennkammersteinen, die eine Primärverbrennungszone umgeben;
25 Fig. 13	zeigt eine herausgestellte semitransparente Schrägansicht der Rezirkulationseinrichtung der Fig. 12;
30 Fig. 14	zeigt eine Seitenansicht der Rezirkulationseinrichtung 5 der Figuren 12 und 13;
Fig. 15	zeigt ein schematisches Blockdiagramm, dass den Strömungsverlauf in den jeweiligen Einzelkomponenten der Biomasse-Heisanlage und der Rezirkulationseinrichtung der Fig. 12 bis 14 zeigt;
35 Fig. 16	zeigt eine herausgestellte semitransparente Schrägansicht einer Rezirkulationseinrichtung einer weiteren Ausführungsform;
Fig. 17	zeigt ein schematisches Blockdiagramm, dass den Strömungsverlauf in den jeweiligen Einzelkomponenten einer Biomasse-Heisanlage und der Rezirkulationseinrichtung der Fig. 16 gemäß einer weiteren Ausführungsform offenbart.
40 Fig. 18	zeigt ein schematisches Blockdiagramm einer Vorrichtung und eines Verfahrens mit beispielhaften Komponenten der Biomasse-Heisanlage der Fig. 1 bis Fig. 17, wobei dies auf einem lokalen Ansatz des maschinellen Lernens basiert;
45 Figuren 19a, 19b und 19c	zeigen schematische Blockdiagramme von Vorrichtungen und Verfahren mit beispielhaften Komponenten der Biomasse-Heisanlage der Fig. 1 bis Fig. 17, wobei dies auf einem zentralen Ansatz des maschinellen Lernens basiert;
50 Fig. 20	zeigt ein schematisches Diagramm, das ein Grundkonzept für ein Neuron darstellt, welches eine mögliche Grundlage eines maschinellen Lernens ist;
Fig. 21	zeigt ein schematisches Diagramm, das ein dreischichtiges neuronales Netzwerk darstellt, das durch Zusammenfassen von in Fig. 21 dargestellten Neuronen gebildet wird;
55 Fig. 22	zeigt ein Blockdiagramm, welches einen Datenfluss bzw. einen Ablauf eines maschinellen Lernens einer Biomasse-Heisanlage und der Anwendung des erlernten Modells auf die

Biomasse-Heisanlage darstellt;

Figuren 23a und 23b zeigen Beispiele von Lernkurven beim Lernen / Trainieren des Modells

- 5 Fig. 24 zeigt beispielhafte Gewichtsdaten, welche Gewichte eines neuronalen Netzwerks beinhaltet.
- Fig. 25 zeigt einen Verbrennungsbetrieb bzw. ein Betriebsverfahren der Biomasse-Heisanlage der Fig. 1 bis 24;
- 10 Fig. 26 zeigt ein schematisches Diagramm einer Anwendung des maschinellen Lernens zur Klassifizierung von Brennstoff mit diversen Eingangsparametern bzw. Sensordaten;
- 15 Figuren 27a, 27b und 27c zeigen entsprechend Sensordaten von Sensoren, welche für die Anwendung der Fig. 26 verwendet werden;
- Fig. 28 zeigt ein Verfahren zur Materialerkennung/Klassifizierung von Brennstoff der Biomasse-Heisanlage der Fig. 1 bis 24 mit einem KI-Modell;
- 20 Fig. 29 zeigt ein Verfahren zur Brennstoffbetthöhenregelung der Biomasse-Heisanlage der Fig. 1 bis 24 mit einem KI-Modell;
- Fig. 30 zeigt ein Verfahren zur Lambda-Regelung bzw. zur Sauerstoffgehaltsregelung des Abgases der Biomasse-Heisanlage der Fig. 1 bis 24 mit einem KI-Modell;
- 25 Fig. 31 zeigt ein Verfahren zur wetterprognoseabhängigen Ein-/Aus-Regelung der Biomasse-Heisanlage der Fig. 1 bis 24 mit einem KI-Modell;
- Fig. 32 zeigt ein Verfahren zur wetterabhängigen Leistungsregelung der Biomasse-Heisanlage der Fig. 1 bis 24 mit einem KI-Modell.
- 30 Fig. 33 zeigt ein Verfahren zur Leistungsregelung der Biomasse-Heisanlage der Fig. 1 bis 24 mit einem KI-Modell;
- 35 Fig. 34 zeigt ein Verfahren zur Primärluftregelung der Biomasse-Heisanlage der Fig. 1 bis 24 mit einem KI-Modell.

BESCHREIBUNG VON BEISPIELHAFTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

- 40 **[0072]** 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.
- 45 **[0073]** 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.
- [0074]** 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.
- 50 **[0075]** 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.
- 55 **[0076]** 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 Ele-

mente 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.

[0077] 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.

[0078] 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.

[0079] Anzumerken ist, dass die vorliegenden Einzelaspekte, beispielsweise der Drehrost, die Brennkammer oder die Filtereinrichtung gesondert von bzw. getrennt von der Biomasse-Heisanlage 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.

[0080] Weiter sind der Übersichtlichkeit halber in den Figuren nicht alle Merkmale und Elemente, insbesondere wenn sich diese wiederholen, einzeln bezeichnet. Es sind vielmehr die Elemente und Merkmale jeweils exemplarisch bezeichnet. Analoge oder gleiche Elemente sind dann als solche zu verstehen.

(Biomasse-Heisanlage)

[0081] Fig. 1 zeigt eine dreidimensionale Überblicksansicht der Biomasse-Heisanlage 1 gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

[0082] 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.

[0083] Die Biomasse-Heisanlage 1 weist einen Kessel 11 auf, der auf einem Kesselfuß 12 gelagert ist. Der Kessel 11 weist ein Kesselgehäuse 13, beispielsweise aus Stahlblech, auf.

[0084] 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.

[0085] 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.

[0086] Im Hinterteil des Kessels 11 befindet sich eine optionale Filtereinrichtung 4 (nicht dargestellt) mit einer Elektrode 44 (nicht dargestellt), die mit einer isolierenden Elektrodenhalterung 43 aufgehängt ist, und die über eine Elektrodenversorgungsleitung 42 unter Spannung gesetzt wird. Das Abgas der Biomasse-Heisanlage 1 wird über einen Abgasausgang 41 abgeführt, der der Filtereinrichtung 4 (fluidisch) strömungstechnisch nachgelagert angeordnet ist. Hier kann ein Ventilator vorgesehen sein.

[0087] 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. Diese Rezirkulationseinrichtung 5 wird später mit Bezug auf die Figuren 12 bis 17 im Detail erläutert.

[0088] Weiter weist die Biomasse-Heisanlage 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.

[0089] Im unteren Teil der Biomasse-Heisanlage 1 ist eine Ascheabfuereinrichtung 7 vorgesehen, welche eine Ascheaustragungsschnecke 71 in einem Ascheaustragungskanal aufweist, die von einem Motor 72 betrieben wird.

[0090] Die Biomasse-Heisanlage 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 kann 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.

[0091] 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.

[0092] 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.

[0093] 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.

[0094] 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.

[0095] 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.

[0096] 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.

[0097] 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 später mit Bezug auf Fig. 2 und Fig. 12 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.

[0098] 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 Elektrodenspannung), 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.

[0099] Die Steuereinrichtung 100 kann damit eine Regelung der Biomasse-Heisanlage 1 vornehmen. Zumindest eine erfasste physikalische / chemische 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.

[0100] Im Unterschied zu herkömmlichen Biomasse-Heisanlagen basiert die Regelung der vorliegenden Biomasse-Heisanlage 1 auf einer künstlichen Intelligenz, welche wiederum mit vorab erfassten Sensordaten zumindest einer Biomasse-Heisanlage 1 angelernt wurde bzw. auch im Betrieb "live" optimiert werden kann. Damit ist die vorliegende Biomasse-Heisanlage 1 in der Lage bessere Regelergebnisse zu erzielen und auch Regelaufgaben zu lösen, welche sonst regelmäßig den Eingriff eines Menschen im Betrieb erforderten oder die ohne KI bzw. dem Einsatz eines KI-Modells 104 fehlerbehaftet sind. Beispiele hierfür werden mit Bezug auf die Fig. 26 ff. beschrieben.

[0101] Fig. 2 zeigt eine Querschnittsansicht durch die Biomasse-Heisanlage 1 der Fig. 1, welche entlang einer Schnitteinie SL1 vorgenommen wurde und welche aus der Seitenansicht S betrachtet dargestellt ist. In der korrespondierenden Fig. 3, welche den gleichen Schnitt wie Fig. 2 darstellt, sind der Übersichtlichkeit halber die Strömungen des Rauchgases, und strömungstechnische Querschnitte schematisch dargestellt. Zu Fig. 3 anzumerken ist, dass einzelne Bereiche im Vergleich zu der Fig. 2 abgeblendet dargestellt sind. Dies dient nur der Übersichtlichkeit der Fig. 3 und der Sichtbarkeit der Strömungspfeile S5, S6 und S7.

[0102] 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.

[0103] Die Brenneinrichtung 2 weist eine Brennkammer 24 auf, in der im Kern der Verbrennungsprozess des Brennstoffes stattfindet. Die Brennkammer 24 weist einen, später näher erläuterten, mehrteiligen Drehrost 25 auf, auf dem das Brennstoffbett 28 aufliegt. Der mehrteilige Drehrost 25 ist mittels einer Mehrzahl von Lagerachsen 81 drehbar gelagert angeordnet.

[0104] 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 $\pm$ 60 mm x 320 mm $\pm$ 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.

[0105] 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.

[0106] 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.

[0107] 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.

[0108] 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.

[0109] 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.

[0110] 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.

[0111] 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 A2 konzentriert und nutzen das Volumen der Sekundärverbrennungszone 27 ideal aus. Weiter mindert die Einschnürung, die die Brennkammerdüse 203 für die Wirbelströmungen darstellt, die Rotationsströmungen, womit Tur-

bulenzen 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.

[0112] 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. Dies ist auch in den Figuren 19 bis 21 illustriert.

[0113] 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.

[0114] 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.

[0115] 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 erzeugene 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.

[0116] 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.

[0117] 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 Einstromung des Rauchgases in den Filter vergleichmäßigen.

[0118] Elektrostatische Staubfilter, 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. Die (Sprüh-) Elektrode ist bevorzugt mit herausragenden Spitzen und eventuell scharfen Kanten ausgeführt, weil dort die Dichte der Feldlinien und damit auch die elektrische Feldstärke am größten und somit die Koronaentladung begünstigt ist. Die gegengesetzte Elektrode (Niederschlagselektrode) besteht für gewöhnlich aus einem geerdeten Abgasrohrabschnitt, der um die Elektrode gelagert ist. Der Abscheidungsgrad eines Elektrofilters ist insbesondere von der Verweilzeit der Abgase im Filtersystem und der Spannung zwischen Sprüh- und Abscheidungselektrode abhängig. Die dafür notwendige gleichgerichtete Hochspannung wird von einer Hochspannungserzeugungseinrichtung (nicht dargestellt) bereitgestellt. Die Hochspannungserzeugungsanlage und die Halterung für die Elektrode sind vor Staub und Verschmutzung zu schützen, um ungewollte Kriechströme zu vermeiden und die Standzeit der Anlage 1 zu verlängern.

[0119] Wie in Fig. 2 gezeigt, ist eine stabförmige Elektrode 45 (welche vorzugsweise wie eine längliche, plattenförmige Stahlfeder ausgestaltet ist, vgl. Fig. 15) in etwa mittig in einem annähernd kaminförmigen Innenraum der Filtereinrichtung 4 gehalten. Die Elektrode 45 besteht zumindest weitgehend aus einem hochwertigen Federstahl oder Chromstahl und ist von einer Elektrodenhalterung 43 über einen Hochspannungsisolator, d. h., eine Elektrodenisolation 46, gehalten.

[0120] Die (Sprüh-) Elektrode 45 hängt schwingungsfähig nach unten in den Innenraum der Filtereinrichtung 4. Dabei kann die Elektrode 45 beispielsweise quer zur Längsachse der Elektrode 45 hin- und herschwingen.

[0121] 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. 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.

[0122] Das Rauchgas strömt nach dem Austritt aus dem Wärmetauscher 3 (aus dessen Austritt) durch die Wendekammer 34 in den Eintritt 44 der Filtereinrichtung 4.

[0123] Dabei ist die (optionale) Filtereinrichtung 4 optional vollintegriert in den Kessel 11 vorgesehen, womit die dem Wärmetauscher 3 zugewandte und von dem Wärmetauschermedium durchspülte Wandfläche auch aus Richtung der Filtereinrichtung 4 zum Wärmetausch eingesetzt wird, womit die Effizienz der Anlage 1 nochmals verbessert wird. Damit kann zumindest ein Teil der Wand die Filtereinrichtung 4 mit dem Wärmetauschermedium durchspült sein, womit zumindest ein Teil dieser Wand mit Kesselwasser gekühlt wird.

[0124] 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.

[0125] 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.

[0126] 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.

[0127] 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.

[0128] 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.

[0129] 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.

[0130] Des Weiteren ist zumindest eine Lambdasonde 112 vorgesehen. Sie ist als Sensor für die Lambdaeegelung 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.

[0131] 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).

[0132] 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.

[0133] 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 den 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.

[0134] 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.

[0135] 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.

[0136] 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.

[0137] 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.

[0138] 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.

[0139] Weiter ist ein Brennkammertemperatursensor 117 vorgesehen. Dieser erfasst eine Temperatur der Brennkammer 24, beispielsweise in Grad Celsius. Der Brennkammertemperatursensor 117 kann am Ausgang der Brennkammer 24 oder auch in der Brennkammer 24 vorgesehen sein.

[0140] Anzumerken ist, dass die Orte der Sensoren der Fig. 2 und 3 auch von den dargestellten Orten abweichen können, so wie dies von Fachmann als sinnvoll erachtet wird. Beispielsweise kann die Brennkammertemperatur auch an einem anderen Ort erfasst werden.

[0141] Die Brennkammer 24 und der Kessel 11 dieser Ausführungsform wurden mittels CFD-Simulationen berechnet. Weiter wurden Praxisexperimente durchgeführt, um die CFD-Simulationen zu bestätigen. Ausgangspunkt der Überlegungen waren Berechnungen für einen 100 kW Kessel, wobei jedoch ein Leistungsbereich von 20 bis 500 kW berücksichtigt wurde.

[0142] 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.

[0143] Die vorstehend aufgeführten Bestandteile der Biomasse-Heisanlage 1 und des Kessels 11, die Ergebnisse der CFD-Simulationen sind, werden nachstehend eingehender beschrieben.

(Brennkammer)

[0144] Die Gestaltung der Brennkammerform ist von Wichtigkeit, um die aufgabengemäßen Anforderungen einhalten zu können. Durch die Brennkammerform bzw. -geometrie sollen eine möglichst gute turbulente Durchmischung und Homogenisierung der Strömung über den Querschnitt des Rauchgaskanals, eine Minimierung des Feuerungsvolumens, sowie eine Reduktion des Luftüberschusses und des Rezirkulationsverhältnisses (Wirkungsgrad, Betriebskosten), eine Reduktion der CO- und CxHx- Emissionen, der NOx-Emissionen, der Staubemissionen, eine Reduktion von lokalen Temperaturspitzen (Fouling und Verschlackung) sowie eine Reduktion von lokalen Rauchgas-Geschwindigkeitsspitzen (Materialbeanspruchung und Erosion) erreicht werden.

[0145] Die Fig. 4, die eine Teilansicht der Fig. 2 ist, und die Fig. 5, welche eine Schnittansicht durch den Kessel 11 entlang der Vertikalschnittlinie A2 ist, stellen eine Brennkammergeometrie dar, die den vorstehend genannten Anforderungen für Biomasse-Heisanlagen über einen weiten Leistungsbereich von beispielsweise 20 bis 500 kW gerecht wird. Die Vertikalschnittlinie A2 kann im Übrigen auch als Mittel- oder Mittenachse der ovalen Brennkammer 24 verstanden werden. In der Fig. 4 sind diejenigen Sensoren eingezeichnet, so wie diese in Bezug auf die Fig. 2 und 3 erläutert wurden.

[0146] Die in den Figuren 3 und 4 angegebenen und über CFD-Berechnungen und Praxisexperimente ermittelten Maße bei einem beispielhaften Kessel mit ca. 100 kW sind im Einzelnen wie folgt:

$$BK1 = 172 \text{ mm} \pm 40 \text{ mm, vorzugsweise } \pm 17 \text{ mm;}$$

BK2 = 300 mm +- 50 mm, vorzugsweise +- 30 mm;

BK3 = 430 mm +- 80 mm, vorzugsweise +- 40 mm;

BK4 = 538 mm +- 80 mm, vorzugsweise +- 50 mm;

BK5 = (BK3 – BK2) / 2 = bspw. 65 mm +- 30 mm, vorzugsweise +- 20 mm;

BK6 = 307 mm +- 50 mm, vorzugsweise +- 20 mm;

BK7 = 82 mm +- 20 mm, vorzugsweise +- 20 mm;

BK8 = 379 mm +- 40 mm, vorzugsweise +- 20 mm;

BK9 = 470 mm +- 50 mm, vorzugsweise +- 20 mm;

BK10 = 232 mm +- 40 mm, vorzugsweise +- 20 mm;

BK11 = 380 mm +- 60 mm, vorzugsweise +- 30 mm;

BK12 = 460 mm +- 80 mm, vorzugsweise +- 30 mm.

[0147] Alle Maß- und Größenangaben sind um Übrigen lediglich beispielhaft zu verstehen.

[0148] Mit diesen Werten werden vorliegend sowohl die Geometrien der Primärverbrennungszone 26 als auch der Sekundärverbrennungszone 27 der Brennkammer 24 optimiert. Die angegebenen Größenbereiche sind Bereiche, mit denen die Anforderungen ebenso (annähernd) erfüllt werden, wie mit den angegebenen exakten Werten.

[0149] Dabei kann vorzugsweise eine Kammergeometrie der Primärverbrennungszone 26 und der Brennkammer 24 (bzw. ein Innenvolumen der Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24) anhand der folgenden Grundparameter definiert werden:

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

[0150] Die vorstehenden Größenangaben können im Verhältnis dieser zueinander skaliert auch Anwendung auf Kessel anderer Leistungsklassen (bspw. 50 kW oder 200 kW) finden.

[0151] Als Fortbildung dessen kann das vorstehend definierte Volumen eine obere Öffnung in Form einer Brennkammerdüse 203 aufweisen, die in der Sekundärverbrennungszone 27 der Brennkammer 24 vorgesehen ist, welche eine in die Sekundärverbrennungszone 27 hineinragende Brennkammerschräge 202 aufweist, welche vorzugsweise das Wärmetauschmedium 38 beinhaltet. Die Brennkammerschräge 202 verringert den Querschnitt der Sekundärverbrennungszone 27. Dabei ist die Brennkammerschräge 202 um einen Winkel k von zumindest 5%, bevorzugt um einen Winkel k von zumindest 15% und noch mehr bevorzugt um zumindest einen Winkel k von 19% in Bezug auf eine fiktive horizontale bzw. gerade vorgesehene Brennkammerdecke H (vgl. die gestrichelte Horizontallinie H in Fig. 4) vorgesehen.

[0152] Zudem ist eine Brennkammerdecke 204 ebenfalls in Richtung des Eintritts 33 aufsteigend geneigt vorgesehen. Die Brennkammer 24 in der Sekundärverbrennungszone 27 weist somit die Brennkammerdecke 204 auf, die in Richtung des Eintritts 33 des Wärmetauschers 3 nach oben geneigt vorgesehen ist. Diese Brennkammerdecke 204 erstreckt sich im Schnitt der Fig. 2 zumindest weitgehend gerade bzw. geradlinig und geneigt. Der Neigungswinkel der geraden bzw. ebenen Brennkammerdecke 204 kann gegenüber der (fiktiven) Horizontalen vorzugsweise 4 bis 15 Grad betragen.

[0153] Mit der Brennkammerdecke 204 ist eine weitere (Decken-)Schräge in der Brennkammer 24 vor dem Eintritt 33 vorgesehen, die zusammen mit der Brennkammerschräge 202 einen Trichter ausbildet. Dieser Trichter dreht die nach

oben gerichtete Drall- bzw. Wirbelströmung zur Seite und lenkt diese Strömung in etwa in das Horizontale um. Aufgrund der schon turbulenten Aufwärtsströmung und der Trichterform vor dem Eintritt 33 wird sichergestellt, dass alle Wärmetauscherrohre 32 bzw. Kesselrohre 32 gleichmäßig bestrahlt werden, womit ein gleichverteilter Durchfluss des Rauchgases in allen Kesselrohren 32 sichergestellt ist. Dies optimiert den Wärmeübergang im Wärmetauscher 3 ganz erheblich.

[0154] Dabei kann insbesondere die Kombination der vertikalen und horizontalen Schrägen 203, 204 in der Sekundärverbrennungszone in Kombination als Einströmgeometrie in dem konvektiven Kessel eine gleichmäßige Verteilung des Rauchgases auf die konvektiven Kesselrohre erreichen.

[0155] Die Brennkammerschräge 202 dient der Homogenisierung der Strömung S3 in Richtung des Wärmetauschers 3 und damit der Bestrahlung der Kesselrohre 32. Somit wird eine möglichst gleichmäßige Verteilung des Rauchgases auf die einzelnen Kesselrohre bewirkt, um dort den Wärmeübergang zu optimieren.

[0156] Im Detail dreht die Kombination der Schrägen mit dem Einströmquerschnitt des Kessels die Rauchgasströmung so, dass eine möglichst gleichmäßige Verteilung des Rauchgasdurchflusses bzw. der Durchflussmenge auf die jeweiligen Kesselrohre 32 erfolgt.

[0157] Im Stand der Technik gibt es häufig Brennkammern mit rechteckiger oder polygonaler Brennkammer und Düse, wobei jedoch die unregelmäßige Form der Brennkammer und der Düse sowie deren Zusammenspiel ein weiteres Hindernis für eine gleichmäßige Luftverteilung und eine gute Mischung von Luft und Brennstoff und somit einen guten Ausbrand darstellen, wie vorliegend erkannt wurde. Insbesondere mit einer eckigen Geometrie der Brennkammer entstehen Strömungsfäden bzw. Vorzugsströmungen, die nachteilhaft zu einer ungleichmäßigen Bestrahlung der Wärmetauscherrohre 32 führen.

[0158] Deshalb ist vorliegend die Brennkammer 24 ohne Totecken oder Totkanten vorgesehen.

[0159] Vorliegend wurde somit erkannt, dass die Geometrie der Brennkammer (und des gesamten Strömungsverlaufs im Kessel) eine maßgebliche Rolle bei den Überlegungen zur Optimierung der Biomasse-Heisanlage 1 spielt. Deshalb wurde (in Abkehr von den üblichen rechteckigen oder mehr-eckigen oder rein zylindrischen Formgebungen) die hierin beschriebene ovale oder runde Grundgeometrie ohne Totecken gewählt. Zudem wurden auch diese Grundgeometrie der Brennkammer und deren Aufbau mit den vorstehend angegebenen Maßen / Maßbereichen für einen 100 kW Kessel optimiert. Dabei sind diese Maße / Maßbereiche derart gewählt, dass insbesondere auch unterschiedliche Brennstoffe (Hackgut und Pellets) mit unterschiedlicher Qualität (beispielsweise mit unterschiedlichem Wassergehalt) bei sehr hohem Wirkungsgrad verbrannt werden können. Dies haben die Praxistests und CFD-Simulationen ergeben.

[0160] Insbesondere kann die Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24 ein Volumen umfassen, das bevorzugt im Außenumfang einen ovalen oder annähernd kreisförmigen Horizontalquerschnitt aufweist (ein solcher Querschnitt ist in Fig. 2 beispielhaft mit A1 gekennzeichnet). Dieser Horizontalquerschnitt kann zudem bevorzugt die Grundfläche der Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24 darstellen. Über die durch den Doppelpfeil BK4 angegebene Höhe kann die Brennkammer 24 einen annähernd gleichbleibenden Querschnitt aufweisen. Insofern kann die Primärverbrennungszone 24 ein annähernd oval-zylindrisches Volumen aufweisen. Bevorzugt können die Seitenwände und die Grundfläche (der Rost) der Primärverbrennungszone 26 senkrecht aufeinander stehen. Dabei können die vorstehend beschriebenen Schrägen 203, 204 integriert als Wände der Brennkammer 24 vorgesehen sein, wobei die Schrägen 203, 204 einen Trichter ausbilden, der im Eintritt 33 des Wärmetauschers 33 mündet und dort den geringsten Querschnitt aufweist.

[0161] Vorstehend wird der Begriff "annähernd" verwendet, da selbstverständlich einzelne Kerben, konstruktiv bedingte Abweichungen oder kleine Asymmetrien vorhanden sein können, beispielsweise bei den Übergängen der einzelnen Brennkammersteine 29 zueinander. Diese geringfügigen Abweichungen spielen strömungstechnisch jedoch nur eine untergeordnete Rolle.

[0162] Der Horizontalquerschnitt der Brennkammer 24 und insbesondere der Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24 können ebenso bevorzugt regelmäßig ausgeführt sein. Weiter kann der Horizontalquerschnitt der Brennkammer 24 und insbesondere der Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24 bevorzugt eine regelmäßige (und/oder symmetrische) Ellipse sein.

[0163] Zudem kann der Horizontalquerschnitt (der Außenumfang) der Primärverbrennungszone 26 über eine vorgegebene Höhe, (beispielsweise 20 cm) gleichbleibend ausgestaltet sein.

[0164] Damit ist vorliegend eine oval-zylindrische Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24 vorgesehen, die nach CFD-Berechnungen eine deutlich gleichmäßigere und bessere Luftverteilung in der Brennkammer 24 ermöglicht als bei rechteckigen Brennkammern des Stands der Technik. Die fehlenden Toträume vermeiden zudem Zonen in der Brennkammer mit schlechter Luftdurchströmung, was die Effizienz steigert und die Schlackebildung verringert.

[0165] Ebenso ist die Düse 203 in der Brennkammer 24 als ovale oder annähernd kreisförmige Verengung ausgestaltet, um die Strömungsverhältnisse noch weiter zu optimieren. Der vorstehend erläuterte Drall der Strömung in der Primärverbrennungszone 26, welcher durch die erfindungsgemäßen speziell konzipierten Sekundärluftdüsen 291 bedingt ist, führt zu einem grob helixförmig oder spiralförmig nach oben gerichteten Strömungsverlauf, wobei eine ebenso ovale oder annähernd kreisförmige Düse diesen Strömungsverlauf begünstigt, und nicht wie übliche rechteckige Düsen stört. Diese optimierte Düse 203 bündelt das nach oben rotierend strömende Rauchgas-Luft-Gemisch und sorgt für eine

bessere Durchmischung, einen Erhalt der Wirbelströmungen in der Sekundärverbrennungszone 27 und damit für eine vollständige Verbrennung. Dadurch wird auch der erforderliche Luftüberschuss minimiert. Dies verbessert den Verbrennungsvorgang und erhöht die Effizienz.

[0166] Damit dient insbesondere die Kombination der vorstehend erläuterten Sekundärluftdüsen 291 und der dadurch induzierten Wirbelströmungen mit der optimierten Düse 203 der Bündelung des nach oben rotierenden Rauchgas-/Luftgemischs. Dies sorgt für eine zumindest annähernd vollständige Verbrennung in der Sekundärverbrennungszone 27.

[0167] Somit wird eine wirbel- bzw. drallbehaftete Strömung durch die Düse 203 gebündelt und nach oben gerichtet, womit sich diese Strömung weiter nach oben erstreckt als im Stand der Technik üblich. Dies hat, wie für den Fachmann aus den Gesetzen der Physik betreffend des Drehimpulses ersichtlich, seine Ursache in der durch die Düse 203 erzwungenen Verkleinerung des drallbehafteten Abstandes des Luftstromes zur Rotations- bzw. Drallmittenachse (vgl. analog die Physik des Pirouetteneffekts).

[0168] Zudem wird vorliegend der Strömungsverlauf in der Sekundärverbrennungszone 27 und aus der Sekundärverbrennungszone 27 zu den Kesselrohren 32 optimiert, wie nachstehend näher erläutert.

[0169] Die Brennkammerschräge 202 der Fig. 4, welche ohne Bezugszeichen auch in den Fig. 2 und 3 zu erkennen ist und an der sich die Brennkammer 25 (bzw. deren Querschnitt) von unten nach oben hin zumindest annähernd linear verjüngt, sorgt nach CFD-Berechnungen für eine Vergleichmäßigung der Rauchgasströmung in Richtung der Wärmetauscheinrichtung 4, womit deren Effizienz verbessert werden kann. Dabei verjüngt sich die horizontale Querschnittsfläche der Brennkammer 25 von Anfang bis Ende der Brennkammerschräge 202 bevorzugt zumindest um 5%. Die Brennkammerschräge 202 ist dabei auf der Seite der Brennkammer 25 zur Wärmetauscheinrichtung 4 vorgesehen, und ist an der Stelle der maximalen Verjüngung abgerundet vorgesehen. Im Stand der Technik üblich sind parallele bzw. gerade Brennkammerwände ohne eine Verjüngung (um die Rauchgasströmung nicht zu behindern). Hinzu kommt, einzeln oder in Kombination, die zur horizontalen schräg nach oben in Richtung des Eintritts 33 verlaufende Brennkammerdecke 204, die die Wirbelströmungen in der Sekundärverbrennungszone 27 seitlich ableitet, und dabei in deren Strömungsgeschwindigkeitsverteilung vergleichmäßigt.

[0170] Die Einströmung bzw. Umlenkung des Rauchgasstromes vor dem Rohrbündelwärmetauscher ist derart ausgestaltet, dass eine ungleichmäßige Anströmung der Rohre bestmöglich vermieden wird, womit Temperaturspitzen in einzelnen Kesselrohren 32 niedrig gehalten werden können und damit der Wärmeübergang im Wärmetauscher 4 verbessert werden kann (bestmögliche Nutzung der Wärmetauscherflächen). In der Folge ist die Effizienz der Wärmetauscheinrichtung 4 verbessert.

[0171] Im Detail wird der gasförmige Volumenstrom des Rauchgases durch die schräge Brennkammerwandung 203 mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit (auch im Falle unterschiedlicher Verbrennungszustände) zu den Wärmetauscherrohren bzw. den Kesselrohren 32 geführt. Durch die schräge Brennkammerdecke 204 wird dieser Effekt nochmals verstärkt, wobei ein Trichtereffekt bewirkt wird. Im Ergebnis entsteht eine gleichmäßige Wärmeverteilung der einzelnen Kesselrohre 32 betreffenden Wärmetauscherflächen und damit eine verbesserte Nutzung der Wärmetauscherflächen. Die Abgastemperatur wird somit gesenkt und der Wirkungsgrad erhöht. Dabei ist die Strömungsverteilung insbesondere an der in der Fig. 3 dargestellten Indikatorlinie WT1 deutlich gleichmäßiger als im Stand der Technik. Die Linie WT1 stellt eine Eintrittsfläche für den Wärmetauscher 3 dar. Die Indikatorlinie WT3 gibt eine beispielhafte Querschnittslinie durch die Filtereinrichtung 4 an, in der die Strömung möglichst homogen eingerichtet bzw. über den Querschnitt der Kesselrohre 32 in etwa gleichverteilt ist (u. A. aufgrund von Strömungsblenden am Eingang der Filtereinrichtung 4 und aufgrund der Geometrie der Wendekammer 35). Eine gleichmäßige Durchströmung der Filtereinrichtung 3 bzw. des letzten Kesselzuges minimiert Strahlenbildung und optimiert dadurch zudem die Abscheideeffizienz der Filtereinrichtung 4 sowie den Wärmeübergang in der Biomasse-Heisanlage 1.

[0172] Weiter ist im unteren Teil der Brennkammer 25 am Brennstoffbett 28 eine Zündeinrichtung 201 vorgesehen. Diese kann eine Initialzündung oder eine erneute Zündung des Brennstoffes bewirken. Es kann die Zündeinrichtung 201 ein Glühzünder sein. Die Zündeinrichtung ist vorteilhaft ortsfest und horizontal seitlich versetzt zum Ort der Einführung des Brennstoffs angeordnet.

[0173] Weiter kann (optional) nach dem Ausgang des Rauchgases (d. h., nach S7) aus der Filtereinrichtung die Lambdasonde 112 vorgesehen sein. Durch die Lambdasonde kann eine Steuereinrichtung 100 den jeweiligen Heizwert erkennen. Die Lambdasonde 112 kann somit eine Regelung des idealen Mischverhältnisses zwischen den Brennstoffen und der Sauerstoffzufuhr ermöglichen. Trotz unterschiedlicher Brennstoffqualitäten werden im Ergebnis eine hohe Effizienz und ein höherer Wirkungsgrad erreichbar.

[0174] Dabei dient einer guten und flexiblen Regelung der (Betriebs-)Parameter der Verbrennung und der Biomasse-Heisanlage 1 der Einhaltung oder der Verbesserung der vorstehend erläuterten Vorgänge in der Biomasse-Heisanlage 1. Die Einstellung der Aktoren basierend auf dem sensorischen Feedback mittels KI bzw. trainiertem KI-Modell verbessert die vorstehend erläuterten Vorgänge erheblich.

[0175] Das in Fig. 5 gezeigte Brennstoffbett 28 zeigt eine grobe Brennstoffverteilung aufgrund der Zuführung des Brennstoffs von der rechten Seite der Fig. 5. Dieses Brennstoffbett 28 wird von unten mit einem Rauchgas-Frischluf Gemisch beströmt, das von der Rezirkulationseinrichtung 5 bereitgestellt wird. Dieses Rauchgas-Frischluf Gemisch ist

vorteilhaft vortemperiert und weist die ideale Menge (Massenstrom) und das ideale Mischungsverhältnis auf, so wie die Steuereinrichtung 100 aufgrund diverser sensorisch erfasster Messwerte und zugehöriger Luftventile 52 regelt. Das Abbrennverhalten des Brennstoffbetts kann dabei insbesondere mit der Brennstoffbetthöhe, welche durch den Brennstoffbetthöhensensor 116 erfasst wird, beeinflusst werden. Die Höhe des Brennstoffbetts hat sich nach Experimenten als ein guter für das KI-Modell verwendbarer Indikator erwiesen, welche Brennstoffmenge für einen Abbrand zur Verfügung steht. Die Höhe des Brennstoffbetts ist zur Optimierung des Verbrennungsvorgangs auch eine relevante zu regelnde Größe für die Biomasse-Heisanlage 1.

[0176] Weiter ist in den Fig. 4 und 5 eine Brennkammerdüse 203 gezeigt, in der eine Sekundärverbrennungszone 27 vorgesehen ist und die die Rauchgasströmung beschleunigt und bündelt. Dadurch wird die Rauchgasströmung besser durchmischt und kann in der Nachverbrennungszone 27 bzw. Sekundärverbrennungszone 27 effizienter verbrennen. Das Flächenverhältnis der Brennkammerdüse 203 liegt in einem Bereich von 25 % bis 45 %, beträgt jedoch bevorzugt 30 % bis 40 %, und ist, beispielsweise für eine 100 kW Biomasse-Heisanlage 1, idealerweise 36 % $\pm$ 1 % (Verhältnis der gemessenen Eingangsfläche zur gemessenen Ausgangsfläche der Düse 203).

[0177] Mithin stellen die vorstehenden Angaben zur Brennkammergeometrie der Primärverbrennungszone 26 zusammen mit der Geometrie der Sekundärluftdüsen 291 und der Düse 203 eine vorteilhafte Weiterbildung der vorliegenden Offenbarung dar.

(Brennkammersteine)

[0178] Die Fig. 6 zeigt eine dreidimensionale Schnittansicht (von schräg oben) auf die Primärverbrennungszone 26 sowie den isolierten Teil der Sekundärverbrennungszone 27 der Brennkammer 24 mit dem Drehrost 25, und insbesondere auf die besondere Ausgestaltung der Brennkammersteine 29. Die Fig. 7 zeigt entsprechend zur Fig. 6 eine Explosionsdarstellung der Brennkammersteine 29. Die Ansichten der Fig. 6 und 7 können bevorzugt mit den vorstehend aufgeführten Abmessungen der Fig. 4 und 5 ausgeführt sein. Dies ist jedoch nicht zwingend der Fall.

[0179] Die Kammerwand der Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24 ist mit einer Mehrzahl von Brennkammersteinen 29 in einem modularen Aufbau vorgesehen, was unter anderem die Fertigung und die Wartung erleichtert. Die Wartung wird insbesondere durch die Möglichkeit der Entnahme einzelner Brennkammersteine 29 erleichtert.

[0180] An den Auflageflächen 260 der Brennkammersteine 29 sind formschlüssige Nuten 261 und Vorsprünge 262 (in Fig. 6 sind zur Vermeidung von Redundanzen in den Figuren exemplarisch nur jeweils ein paar dieser bezeichnet) vorgesehen, um eine mechanische und weitgehend luftdichte Verbindung zu schaffen, um wiederum das Eindringen von störender Fremdluft zu vermeiden. Bevorzugt bilden je zwei zumindest weitgehend symmetrische Brennkammersteine (mit Ausnahme eventuell der Öffnungen für die Sekundärluft bzw. das rezirkulierte Rauchgas) einen vollständigen Ring aus. Weiter sind bevorzugt drei Ringe aufeinander gestapelt, um die oval-zylindrische oder alternativ auch zumindest annähernd kreisförmige (letzteres ist nicht dargestellt) Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24 auszubilden.

[0181] Als oberer Abschluss sind drei weitere Brennkammersteine 29 vorgesehen, wobei die ringförmige Düse 203 durch zwei Halterungssteine 264 gelagert wird, die formschlüssig auf den oberen Ring 263 aufgesetzt werden. Bei allen Auflageflächen 260 sind Nuten 261 entweder für passende Vorsprünge 262 und/oder zur Einfügung von geeignetem Dichtmaterial vorgesehen.

[0182] Die Halterungssteine 264, welche bevorzugt symmetrisch ausgebildet sind, können bevorzugt eine nach innen geneigte Schräge 265 aufweisen, um ein Abkehren von Flugasche auf den Drehrost 25 zu vereinfachen.

[0183] Der untere Ring 263 der Brennkammersteine 29 liegt auf einer Bodenplatte 251 des Drehrosts 25 auf. An der Innenkannte zwischen diesem unteren Ring 263 der Brennkammersteine 29 lagert sich vermehrt Asche ab, was somit diesen Übergang vorteilhaft im Betrieb der Biomasse-Heisanlage 1 selbstständig und vorteilhaft abdichtet.

[0184] Im mittleren Ring der Brennkammersteine 29 sind die (optionalen) Öffnungen für die Rezirkulationsdüsen 291 bzw. Sekundärluftdüsen 291 vorgesehen. Dabei sind die Sekundärluftdüsen 291 zumindest annähernd auf der gleichen (horizontalen) Höhe der Brennkammer 24 in den Brennkammersteinen 29 vorgesehen.

[0185] Vorliegend sind drei Ringe von Brennkammersteinen 29 vorgesehen, da dies den effizientesten Weg der Herstellung und auch der Wartung darstellt. Alternativ können auch 2, 4 oder 5 solcher Ringe vorgesehen sein.

[0186] Die Brennkammersteine 29 bestehen vorzugsweise aus Hochtemperatur-Siliziumkarbid, wodurch diese sehr verschleißfest sind.

[0187] Die Brennkammersteine 29 sind als Formsteine vorgesehen. Die Brennkammersteine 29 sind derart geformt, dass das Innenvolumen der Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24 einen ovalen Horizontalquerschnitt aufweist, womit durch eine ergonomische Formgebung Totecken bzw. Toträume vermieden werden, die üblicherweise vom Rauchgas-Luftgemisch nicht optimal durchströmt werden, wodurch der dort vorhandene Brennstoff nicht optimal verbrannt wird. Aufgrund der vorliegenden Formgebung der Brennkammersteine 29 wird die Durchströmung des Rosts 25 mit Primärluft, die auch zur Verteilung des Brennstoffs über dem Rost 25 passt, und die Möglichkeit von unbehinderten Wirbelströmungen verbessert; und folglich wird die Effizienz der Verbrennung verbessert.

[0188] Der ovale Horizontalquerschnitt der Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24 ist bevorzugt ein punkt-

symmetrisches und/oder regelmäßiges Oval mit dem kleinsten Innendurchmesser BK3 und dem größten Innendurchmesser BK11. Diese Maße waren das Ergebnis der Optimierung der Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24 mittels CFD-Simulation und von praktischen Versuchen.

(Drehrost)

[0189] Fig. 8 zeigt eine Aufsicht auf den Drehrost 25 von oben aus Sicht der Schnittlinie A1 der Fig. 2.

[0190] Die Aufsicht der Fig. 8 kann bevorzugt mit den vorstehend aufgeführten Abmessungen ausgeführt sein. Dies ist jedoch nicht zwingend der Fall.

[0191] Der Drehrost 25 weist die Bodenplatte 251 als Basiselement auf. In einer grob ovalförmigen Öffnung der Bodenplatte 251 ist ein Übergangselement 255 vorgesehen, welches einen Zwischenraum zwischen einem ersten Drehrostelement 252, einem zweiten Drehrostelement 253 und einem dritten Drehrostelement 254 überbrückt, welche drehbar gelagert sind. Damit ist der Drehrost 25 als Drehrost mit drei Einzelelementen vorgesehen, d. h., dieser kann auch als 3-fach Drehrost bezeichnet werden. In den Drehrostelementen 252, 253 und 254 sind Luftlöcher zur Durchströmung mit Primärluft vorgesehen.

[0192] Die Drehrostelemente 252, 253 und 254 sind flache und hitzebeständige Metallplatten, beispielsweise aus einem Metallguss, die auf deren Oberseite eine zumindest weitgehend eben konfigurierte Oberfläche aufweisen und an deren Unterseite mit den Lagerachsen 81 beispielsweise über Zwischenhalterungselemente verbunden sind. Von oben betrachtet weisen die Drehrostelemente 252, 253 und 254 gekrümmte und komplementäre Seiten bzw. Umrisse auf.

[0193] Insbesondere können die Drehrostelemente 252, 253, 254 zueinander komplementäre und gekrümmte Seiten aufweisen, wobei vorzugsweise das zweite Drehrostelement 253 jeweils zu dem benachbarten ersten und dritten Drehrostelement 252, 254 konkave Seiten aufweist, und vorzugsweise das erste und dritte Drehrostelement 252, 254 jeweils zu dem zweiten Drehrostelement 253 hin eine konvexe Seite aufweist. Damit wird die Brecherfunktion der Drehrostelemente verbessert, da die Länge des Bruchs vergrößert wird, und die zum Brechen wirkenden Kräfte (ähnlich wie bei einer Schere) gezielter angreifen.

[0194] Die Drehrostelemente 252, 253 und 254 (sowie deren Umfassung in Form des Übergangselements 255) weisen gemeinsam betrachtet in der Aufsicht eine annähernd ovale Außenform auf, womit hier wiederum Totecken bzw. Toträume vermieden werden, in denen eine nicht optimale Verbrennung stattfinden könnte oder sich Asche unerwünscht ansammeln könnte. Die optimalen Abmessungen dieser Außenform der Drehrostelemente 252, 253 und 254 sind in Fig. 8 mit den Doppelpfeilen DR1 und DR2 bezeichnet. Bevorzugt, aber nicht ausschließlich, sind DR1 und DR2 wie folgt definiert:

$$DR1 = 288 \text{ mm} \pm 40 \text{ mm, bevorzugt } \pm 20 \text{ mm}$$

$$DR2 = 350 \text{ mm} \pm 60 \text{ mm, bevorzugt } \pm 20 \text{ mm}$$

[0195] Diese Werte haben sich bei den CFD-Simulationen und dem folgenden Praxistest als Optimalwerte (-bereiche) herausgestellt. Diese Maße korrespondieren mit denen der Fig. 4 und 5. Diese Maße sind insbesondere für die Verbrennung von unterschiedlichen Brennstoffen bzw. den Brennstoffarten Hackgut und Pellets (Hybridfeuerung) in einem Leistungsbereich von 20 bis 200 kW vorteilhaft.

[0196] Dabei weist der Drehrost 25 eine ovale Verbrennungsfläche auf, die für die Brennstoffverteilung, die Luftdurchströmung des Brennstoffs und den Abbrand des Brennstoffs günstiger ist als eine übliche rechteckige Verbrennungsfläche. Die Verbrennungsfläche 258 wird im Kern durch die Oberflächen der Drehrostelemente 252, 253 und 254 (im horizontalen Zustand) gebildet. Die Verbrennungsfläche ist somit die nach oben zeigende Oberfläche der Drehrostelemente 252, 253 und 254. Diese ovale Verbrennungsfläche entspricht vorteilhaft der Brennstoffauflagefläche, wenn diese seitlich auf den Drehrost 25 aufgebracht bzw. aufgeschoben wird (vgl. der Pfeil E der Fig. 9, 10 und 11). Insbesondere kann die Brennstoffzufuhr aus einer Richtung erfolgen, die parallel zu einer längeren Mittelachse (Hauptachse) der ovalen Verbrennungsfläche des Drehrosts 25 liegt.

[0197] Das erste Drehrostelement 252 und das dritte Drehrostelement 254 können bevorzugt in deren Verbrennungsfläche 258 identisch ausgebildet sein. Weiter können das erste Drehrostelement 252 und das dritte Drehrostelement 254 identisch oder baugleich zueinander sein. Dies ist beispielsweise in Fig. 9 zu sehen, wobei das erste Drehrostelement 252 und das dritte Drehrostelement 254 die gleiche Form aufweisen.

[0198] Weiter ist das zweite Drehrostelement 253 zwischen dem ersten Drehrostelement 252 und dem dritten Drehrostelement 254 angeordnet.

[0199] Bevorzugt ist der Drehrost 25 mit einer annähernd punktsymmetrischen ovalen Verbrennungsfläche 258 vorgesehen.

[0200] Ebenso kann der Drehrost 25 eine annähernd elliptische Verbrennungsfläche 258 ausbilden, wobei DR2 die Maße von deren Hauptachse und DR1 die Maße von deren Nebenachse ist.

[0201] Weiter kann der Drehrost 25 eine annähernd ovale Verbrennungsfläche 258 aufweisen, welche achsensymmetrisch in Bezug auf eine Mittenachse der Verbrennungsfläche 258 ist.

[0202] Weiter kann der Drehrost 25 eine annähernd kreisförmige Verbrennungsfläche 258 aufweisen, wobei dies geringfügige Nachteile bei der Brennstoffzuführung und der -verteilung nach sich zieht.

[0203] Weiter sind zwei Motoren bzw. Antriebe 231 der Drehmechanik 23 vorgesehen, mit denen die Drehrostelemente 252, 253 und 254 entsprechend gedreht werden können. Näheres zur besonderen Funktion und zu den Vorteilen des vorliegenden Drehrosts 25 wird später mit Bezug auf die Figuren 9, 10 und 11 beschrieben.

[0204] Insbesondere bei Pellet- und Hackgutheizungen (und insbesondere bei hybriden Biomasse-Heizanlagen) kann es vermehrt zu Ausfällen durch Schlacke-Bildung in der Brennkammer 24, insbesondere auf dem Drehrost 25, kommen. Schlacke entsteht bei einem Verbrennungsvorgang immer dann, wenn in der Glut Temperaturen über dem Ascheschmelzpunkt erreicht werden. Die Asche wird dann weich, verklebt und bildet nach dem Abkühlen feste, und oft dunkel gefärbte Schlacke. Dieser auch als Versinterung bezeichnete Vorgang ist bei der Biomasse-Heizanlage 1 unerwünscht, da es durch die Anreicherung von Schlacke in der Brennkammer 24 zu einer Funktionsstörung kommen kann: sie schaltet sich ab. Die Brennkammer 24 muss üblicherweise geöffnet werden und die Schlacke muss entfernt werden.

[0205] Der Ascheschmelzbereich (dieser erstreckt sich vom Sinterpunkt bis zum Fließpunkt) hängt ganz wesentlich von dem verwendeten Brennmaterial ab. Fichtenholz hat beispielsweise eine kritische Temperatur von ca. 1.200 °C. Doch auch der Ascheschmelzbereich eines Brennstoffes kann starken Schwankungen unterliegen. Je nach Menge und Zusammensetzung der im Holz enthaltenen Mineralien ändert sich das Verhalten der Asche im Verbrennungsprozess.

[0206] Ein weiterer Faktor, der die Schlackebildung beeinflussen kann, sind Transport und Lagerung der Holzpellets oder der Hackschnitzel. Diese sollten nämlich möglichst unbeschädigt in die Brennkammer 24 gelangen. Sind die Holzpellets bereits zerbröckelt, wenn sie in den Verbrennungsprozess gelangen, so erhöht sich dadurch die Dichte des Glutbetts. Stärkere Schlackebildung ist die Folge. Insbesondere der Transport vom Lagerraum zur Brennkammer 24 ist hier von Bedeutung. Besonders lange Wege, sowie Bögen und Winkel, führen zu einer Beschädigung bzw. einem Abrieb der Holzpellets.

[0207] Ein weiterer Faktor betrifft die Führung des Verbrennungsvorgangs. Bislang war man bestrebt, die Temperaturen eher hoch zu halten, um einen möglichst guten Ausbrand und niedrige Emissionen zu erzielen. Durch eine optimierte Brennkammergeometrie und Geometrie der Verbrennungszone 258 des Drehrosts 25 ist es möglich, die Verbrennungstemperatur am Rost niedriger und im Bereich der Sekundärluftdüsen 291 hoch zu halten, und somit die Schlackebildung am Rost zu verringern.

[0208] Zudem kann entstehende Schlacke (und auch die Asche) durch die besondere Formgebung und die Funktionalität des vorliegenden Drehrosts 25 vorteilhaft entfernt werden. Dies wird nun mit Bezug auf die Figuren 9, 10 und 11 näher erläutert.

[0209] Die Figuren 9, 10 und 11 zeigen eine dreidimensionale Ansicht des Drehrosts 25 mit der Bodenplatte 251, dem ersten Drehrostelement 252, dem zweiten Drehrostelement 253 und dem dritten Drehrostelement 254. Die Ansichten der Fig. 9, 10 und 11 können bevorzugt mit den vorstehend aufgeführten Abmessungen korrespondieren. Dies ist jedoch nicht zwingend der Fall.

[0210] Diese Ansicht zeigt den Drehrost 25 als freigestelltes Einschubteil mit Drehrostmechanik 23 und Antrieb(en) 231. Der Drehrost 25 ist mechanisch derart vorgesehen, dass er nach Art des Baukastensystems einzeln vorgefertigt werden kann, und als Einschubteil in eine vorgesehene längliche Öffnung des Kessels 11 eingeführt und eingebaut werden kann. Dies erleichtert zudem die Wartung dieses verschleißanfälligen Teils. Damit kann der Drehrost 25 bevorzugt modular ausgebildet sein, wobei dieser als Komplettteil mit Drehrostmechanik 23 und Antrieb 231 schnell und effizient entnommen und wieder eingesetzt werden kann. Der modularisierte Drehrost 25 kann damit auch mittels Schnellverschlüssen montiert und demontiert werden. Im Gegensatz dazu sind die Drehroste des Stands der Technik regelmäßig fest montiert, und somit schwer zu warten oder zu montieren.

[0211] Der Antrieb 231 kann zwei getrennt ansteuerbare Elektromotoren aufweisen. Diese sind vorzugsweise seitlich an der Drehrostmechanik 23 vorgesehen. Die Elektromotoren können Untersetzungsgetriebe aufweisen. Weiter können Endanschlagsschalter vorgesehen sein, die Endanschläge jeweils für die Endpositionen der Drehrostelemente 252, 253 und 254 vorsehen.

[0212] Die Einzelkomponenten der Drehrostmechanik 23 sind austauschbar vorgesehen. Beispielsweise sind die Zahnräder aufsteckbar vorgesehen. Dies erleichtert die Wartung und auch einen Seitenwechsel der Mechanik bei der Montage, falls erforderlich.

[0213] In den Drehrostelementen 252, 253 und 254 des Drehrosts 25 sind die schon erwähnten Öffnungen 256 vorgesehen. Die Drehrostelemente 252, 253 und 254 können über deren jeweilige Lagerachsen 81, die über die Drehmechanik 23 von dem Antrieb 231, vorliegend den beiden Motoren 231, angetrieben werden, jeweils zumindest um 90 Grad, bevorzugt zumindest um 120 Grad, noch mehr bevorzugt um 170 Grad um die jeweilige Lager- bzw. Drehachse 81 gedreht werden. Dabei kann der maximale Drehwinkel 180 Grad, oder auch etwas weniger als 180 Grad sein, so

wie das die Rostlippen 257 zulassen. Dabei ist die Drehmechanik 23 derart eingerichtet, dass das dritte Drehrostelement 254 einzeln und unabhängig vom ersten Drehrostelement 252 und vom zweiten Drehrostelement 243 gedreht werden kann, und dass das erste Drehrostelement 252 und das zweite Drehrostelement 243 gemeinsam und unabhängig von dem dritten Drehrostelement 254 gedreht werden können. Die Drehmechanik 23 kann beispielsweise mittels Laufrädern, Zahn- oder Antriebsriemen und/oder Zahnrädern entsprechend vorgesehen sein.

[0214] Die Drehrostelemente 252, 253 und 254 können bevorzugt als Gussrost mit einem Laserzuschnitt hergestellt werden, um eine exakte Formhaltigkeit sicherzustellen. Dies insbesondere um die Luftführung durch das Brennstoffbett 28 so genau wie möglich zu definieren, und störende Luftströmungen, beispielsweise Luftsträhnen an den Rändern der Drehrostelemente 252, 253 und 254, zu vermeiden.

[0215] Die Öffnungen 256 in den Drehrostelementen 252, 253 und 254 sind derart eingerichtet, dass diese für das übliche Pelletmaterial und/oder die üblichen Hackschnitzel klein genug sind, dass diese nicht hindurchfallen, und dass diese groß genug sind, dass der Brennstoff gut mit Luft beströmt werden kann. Zudem sind die Öffnungen 256 groß genug bemessen, dass diese durch Aschepartikel oder Störstoffe (z. B. keine Steine im Brennstoff) blockiert werden können.

[0216] Fig. 9 zeigt nun den Drehrost 25 in geschlossener Position, wobei alle Drehrostelemente 252, 253 und 254 horizontal ausgerichtet bzw. geschlossen sind. Dies ist die Position im Regelbetrieb. Durch die gleichmäßige Anordnung der Vielzahl der Öffnungen 256 wird eine gleichmäßige Durchströmung des Brennstoffbetts 28 (dieses ist in Fig. 9 nicht dargestellt) auf dem Drehrost 25 sichergestellt. Insofern kann hier der optimale Verbrennungszustand hergestellt werden. Der Brennstoff wird aus Richtung des Pfeiles E auf den Drehrost 25 aufgebracht; insofern wird der Brennstoff von der rechten Seite der Fig. 9 auf den Drehrost 25 hinaufgeschoben.

[0217] Im Betrieb sammelt sich Asche und oder Schlacke auf dem Drehrost 25 und insbesondere auf den Drehrostelementen 252, 253 und 254 an. Mit dem vorliegenden Drehrost 25 kann eine effiziente Abreinigung des Drehrosts 25 erfolgen.

[0218] Fig. 10 zeigt den Drehrost in dem Zustand einer Teilabreinigung des Drehrosts 25 im Gluterhaltungsbetrieb. Dazu wird nur das dritte Drehrostelement 254 gedreht. Dadurch, dass nur eines der drei Drehrostelemente gedreht wird, erhält sich die Glut auf dem ersten und dem zweiten Drehrostelement 252, 253, während zugleich die Asche und Schlacke nach unten aus der Brennkammer 24 hinausfallen kann. In der Folge ist keine externe Zündung zur Wiederaufnahme des Betriebs erforderlich (dies spart bis zu 90% Zündenergie). Eine weitere Folge sind eine Verschleißminderung der Zündeinrichtung (beispielsweise eines Zündstabes) und eine Stromersparnis. Weiter kann vorteilhaft eine Aschereinigung im Betrieb der Biomasse-Heizanlage 1 erfolgen.

[0219] Fig. 10 zeigt ebenso einen Zustand der Gluterhaltung während einer (oft schon ausreichenden) Teilabreinigung. Damit kann der Betrieb der Anlage 1 vorteilhaft kontinuierlicher erfolgen, womit im Gegensatz zur üblichen Vollabreinigung eines herkömmlichen Rostes keine langwierige vollständige Zündung erfolgen muss, die einige zehn Minuten in Anspruch nehmen kann.

[0220] Zudem wird eine potentielle Schlackebildung bzw. Schlackeansammlung an den beiden Außenkanten des dritten Drehrostelements 254 bei der Drehung dessen (auf-)gebrochen, wobei aufgrund der kurvenförmigen Außenkanten des dritten Drehrostelements 254 nicht nur die Abscherung über eine größere Gesamtlänge als bei herkömmlichen rechteckigen Elementen des Stands der Technik erfolgt, sondern auch mit einer ungleichmäßigen Bewegungsverteilung in Bezug auf die Außenkante (in der Mitte erfolgt eine größere Bewegung als an den unteren und oberen Rändern). Damit ist die Brecherfunktion des Drehrosts 25 deutlich verstärkt.

[0221] In Fig. 10 sind (beidseitige) Rostlippen 257 des zweiten Drehrostelements 253 erkennbar. Diese Rostlippen 257 sind derart eingerichtet, dass das erste Drehrostelement 252 und das dritte Drehrostelement 254 im geschlossenen Zustand dieser auf der Oberseite der Rostlippen 257 aufliegen, und somit die Drehrostelemente 252, 253 und 254 zueinander spaltfrei vorgesehen und damit dichtend vorgesehen sind. Damit werden Luftsträhnen und unerwünschte ungleichmäßige Primärluftströmungen durch das Glutbett vermieden. Vorteilhaft wird damit die Effizienz der Verbrennung verbessert.

[0222] Fig. 11 zeigt den Drehrost 25 im Zustand der Universalabreinigung, welche bevorzugt während eines Anlagenstillstands durchgeführt wird. Dabei werden alle drei Drehrostelemente 252, 253 und 254 gedreht, wobei das erste und zweite Drehrostelement 252, 253 bevorzugt in die entgegengesetzte Richtung gedreht werden wie das dritte Drehrostelement 254. Realisiert wird damit einerseits eine vollständige Entleerung des Drehrosts 25, und andererseits wird die Asche und Schlacke nunmehr an vier ungeraden Außenkanten aufgebrochen. Mit anderen Worten wird eine vorteilhafte 4-fache Brecherfunktion realisiert. Das vorstehend in Bezug auf Fig. 9 zu der Geometrie der Außenkanten Erläuterte gilt auch in Bezug auf Fig. 10.

[0223] Zusammengefasst realisiert der vorliegende Drehrost 25 neben dem Normalbetrieb (vgl. Fig. 9) vorteilhaft zwei unterschiedliche Arten der Abreinigung (vgl. Fig. 10 und 11), wobei die Teilabreinigung eine Abreinigung während des Betriebs der Anlage 1 erlaubt.

[0224] Im Vergleich dazu sind marktübliche Drehrostsysteme nicht ergonomisch und haben durch ihre rechteckige Geometrie nachteilige Totecken, in welchen die Primärluft den Brennstoff nicht optimal durchströmen kann, womit eine

Luftstrahlenbildung auftreten kann. An diesen Ecken kommt es auch gehäuft zu einer Schlackenbildung. Diese Punkte sorgen für eine schlechtere Verbrennung mit einem schlechteren Wirkungsgrad.

[0225] Der vorliegende einfache mechanische Aufbau des Drehrosts 25 gestaltet diesen robust, zuverlässig und langlebig.

(Rezirkulationseinrichtung)

[0226] Zur Optimierung der vorstehend kurz erwähnten Rezirkulationseinrichtung 5 wurden wiederum CFD-Simulationen, weitere Überlegungen und Praxistests durchgeführt. Dabei wurde die nachstehend beschriebene Rauchgasrezirkulation für eine Biomasse-Heisanlage vorgesehen.

[0227] Bei den Berechnungen wurden beispielsweise ein 100 kW Kessel im Nennlastbetriebsfall mit einem Lastbereich von 20 bis 500 kW mit verschiedenen Brennstoffen (beispielsweise Hackgut mit 30% Wasseranteil) simuliert. Vorliegend wurde zudem für alle mit Rauchgas in Berührung stehenden Flächen eine leichte Verschmutzung oder Verrußung (sogenanntes Fouling mit einer Dicke von 1 mm) berücksichtigt. Die Emissivität einer derartigen Fouling-Schicht wurde mit 0,6 angesetzt.

[0228] Das Ergebnis dieser Optimierung und der einhergehenden Überlegungen ist in den Fig. 12 bis 17 dargestellt. Die Figuren 12 bis 14 zeigen verschiedene Ansichten der Rezirkulationseinrichtung 5, welche in den Figuren 1 bis 3 ersichtlich ist.

[0229] Fig. 12 zeigt eine herausgestellte Schrägansicht der Rezirkulationseinrichtung 5 mit den Brennkammersteinen 29, die die Primärverbrennungszone 26 umgeben. Fig. 13 zeigt eine herausgestellte semitransparente Schrägansicht der Rezirkulationseinrichtung 5 der Fig. 12. Die Fig. 14 zeigt eine Seitenansicht der Rezirkulationseinrichtung 5 der Figuren 12 und 13. Der Pfeil S der Figuren 12 bis 14 entspricht jeweils dem Pfeil S der Fig. 1, welcher die Richtung der Seitenansicht auf die Biomasse-Heisanlage 1 angibt.

[0230] Die Rezirkulationseinrichtung 5 wird nachstehend anhand der Figuren 12, 13, 14 und 15 näher beschrieben.

[0231] Die Rezirkulationseinrichtung 5 weist einen Rezirkulationseintritt 53 mit einem Rezirkulationseintrittskanal 531 und einem Rezirkulationseintrittskanalteiler 532 auf. Der Rezirkulationseintritt 53 und der Rezirkulationseintrittskanal 531 sind stromabwärts eines Gebläses 15 (vgl. Fig. 3) am Rauchgasausgang der Biomasse-Heisanlage 1 nach dem Wärmetauscher 3 oder nach der (optionalen) Filtereinrichtung 4 vorgesehen. Der Rezirkulationseintrittskanalteiler 532 kann das zu rezirkulierende Rauchgas beziehungsweise das Rezi-Gas in einen Primärrezirkulationskanal 56 und einen optionalen Sekundärrezirkulationskanal 57 verzweigen. Ist keine Sekundärrezirkulation vorhanden, ist auch kein Rezirkulationseintrittskanalteiler 532 erforderlich.

[0232] Der Primärrezirkulationskanal 56 mündet über ein Luftventil 52, vorliegend beispielhaft ein Drehschieberventil 52, in einer Primärmischkammer 542. In die Primärmischkammer 542 mündet über ein weiteres Luftventil 52, vorliegend beispielhaft ein Drehschieberventil 52, zudem ein Primärluftkanal 58, welcher wiederum einen Primärlufteintritt 581 für beispielsweise Raum- oder Frischluft, entsprechend als Primärfrischluft bezeichnet, aufweist. Der Primärluftkanal 58 kann einen Primärluftsensor 582 (beispielsweise zum Erfassen der Temperatur und/oder des Sauerstoffgehalts der Primärfrischluft und/oder des Durchflusses der Luft) aufweisen.

[0233] Über den Primärlufteintritt 581 und den Primärluftkanal 58 sowie das Luftventil 52 gelangt noch unvermischte Primärluft, d. h. Frischluft oder Umgebungsluft, in die Primärmischkammer 542, in der die Umgebungsluft entsprechend der Ventilstellung der Luftventile 52 mit dem rezirkulierten Rauchgas aus dem Primärrezirkulationskanal 56 gemischt wird. Stromabwärts anschließend an die Primärmischkammer 542 ist ein Primärmischkanal 54 vorgesehen, in welchem das Gemisch aus Primär(-frisch)luft und Rauchgas weiter vermischt wird. Die Primärmischkammer 542 mit deren Ventilen 52 und der Primärmischkanal 54 bilden zusammen eine Primärmischeinheit 5a aus.

[0234] Der Sekundärrezirkulationskanal 57 mündet über ein Luftventil 52, vorliegend beispielhaft ein Drehschieberventil 52, in einer Sekundärmischkammer 552. In die Sekundärmischkammer 552 mündet über ein weiteres Luftventil 52, vorliegend beispielhaft ein Drehschieberventil 52, zudem ein Sekundärluftkanal 59, welcher wiederum einen Sekundärlufteintritt 591 für Sekundärfrischluft aufweist. Der Sekundärluftkanal 59 kann einen Sekundärluftsensor 592 (beispielsweise zum Erfassen der Temperatur und/oder des Sauerstoffgehalts der Sekundärluft und/oder des Durchflusses der Luft) aufweisen.

[0235] Über den Sekundärlufteintritt 591 und den Sekundärluftkanal 59 sowie das Luftventil 52 gelangt die Sekundärfrischluft, d. h. Umgebungsluft, in die Sekundärmischkammer 552, in der die Umgebungsluft entsprechend der Ventilstellung der Luftventile 52 mit dem rezirkulierten Rauchgas aus dem Sekundärrezirkulationskanal 57 gemischt wird. Stromabwärts anschließend an die Sekundärmischkammer 552 ist ein Sekundärmischkanal 55 vorgesehen, in welchem das Gemisch aus Sekundärfrischluft und Rauchgas weiter vermischt wird. Die Sekundärmischkammer 552 mit deren Ventilen 52 und der Sekundärmischkanal 55 bilden die Sekundärmischeinheit 5b aus.

[0236] Die Stellung der vier Luftventile 52 wird jeweils mittels eines Ventilstellaktors 521, der beispielsweise ein Elektromotor sein kann, eingestellt. In der Fig. 12 ist aus Gründen der Übersichtlichkeit nur einer der vier Ventilstellaktoren 521 bezeichnet. Diese Aktoren können durch die Steuereinrichtung 100 zur Regelung der jeweiligen Luftmenge ange-

steuert werden und sind mit der Steuereinrichtung 100 kommunikativ verbunden.

[0237] Der Primärmischkanal 54 weist eine Mindestlänge L1 auf. Die Mindestlänge L1 beträgt beispielsweise zumindest 700 mm von Beginn des Primärmischkanals 54 am Durchtritt aus der Primärmischkammer 542 bis zu dem Ende des Primärmischkanals 54. Es hat sich gezeigt, dass die Länge L1 des Primärmischkanals 54, für eine gute Durchmischung auch länger, vorzugsweise zumindest 800 mm, idealerweise 1200 mm betragen sollte. Die Länge L1 sollte zudem vorzugsweise aus konstruktiven und drucktechnischen Gründen beispielsweise 2000 mm nicht überschreiten. Der Primärmischkanal 54 kann an dessen stromaufwärtigen Anfang einen Einlaufrichter aufweisen, der sich in Richtung des Endes des Primärmischkanals 54 verjüngt. Damit wird die Strömung am stromaufwärtigen Anfang des Kanals 54 in die Mitte gebündelt, und vermischt sich nochmals besser, da aufgrund thermischer Unterschiede eine Strähnenbildung insbesondere an der oberen Seite des Kanals 54 auftreten kann. Dieser Strähnenbildung wird mittels der Verjüngung des Primärmischkanals 54 an dessen Anfang vorteilhaft entgegengewirkt.

[0238] Der (optionale) Sekundärmischkanal 55 weist eine Mindestlänge L2 auf. Die Mindestlänge L2 beträgt beispielsweise zumindest 500 mm von Beginn des Sekundärmischkanals 55 am Durchtritt aus der Sekundärmischkammer 552 bis zu dem Ende des Sekundärmischkanals 55. Es hat sich gezeigt, dass die Länge L2 des Sekundärmischkanals 55, für eine gute Durchmischung auch länger, vorzugsweise zumindest 600 mm, idealerweise 1200 mm betragen sollte. Auch die Länge L2 sollte zudem aus konstruktiven und drucktechnischen Gründen beispielsweise 2000 mm nicht überschreiten. Der Sekundärmischkanal 55 kann an dessen stromaufwärtigen Anfang ebenso einen Einlaufrichter aufweisen, der sich in Richtung des stromabwärtigen Endes des Sekundärmischkanals 55 verjüngt.

[0239] Der Primärmischkanal 54 und der (optionale) Sekundärmischkanal 55 können mit einem rechteckigen Querschnitt mit einer jeweiligen Innenbreite von 160 mm $\pm$ 30 mm (vertikal) / 120 mm $\pm$ 30 mm (vertikal) und einer Innendicke (horizontal) von 50 mm $\pm$ 15 mm ausgeführt sein. Aufgrund dieser Ausgestaltung des Primärmischkanals 54 und des Sekundärmischkanals 55 jeweils als langer, flacher und an dem Wärmetauscher 3 und der Brenneinrichtung anliegender Kanal, werden mehrere vorteilhafte Effekte erzielt. Zum einen wird das Gemisch aus Rauchgas und Primär(-frisch)luft/Sekundär(-frisch)luft vorteilhaft vorerwärmt, bevor es zur Verbrennung gelangt. Beispielsweise kann ein Gemisch, das nach der Primärmischkammer 542 eine Temperatur von +25 Grad Celsius aufweist, am stromabwärtigen Ende des Primärmischkanals 54 eine im Nennlastfall um 15 Grad Celsius höhere Temperatur aufweisen. Zum anderen ist der Querschnitt und die Längsausdehnung so groß gewählt, dass die Vermischung auch nach den Mischkammern 542, 552 fortgesetzt wird, womit eine Verbesserung der Homogenisierung der Strömung verursacht wird. Dabei wird der Strömung genügend Weg zu einer weiteren Vermischung der eh schon zu Beginn des Weges turbulent vorliegenden Strömung bereitgestellt.

[0240] In anderen Worten wird mit dem länglichen Primärmischkanal 54 eine Wegstrecke zur weiteren Vermischung nach der Primärmischkammer 542 bereitgestellt, wobei die Primärmischkammer 542 gezielt zur Schaffung von erheblichen Turbulenzen zu Beginn der Wegstrecke vorgesehen ist. Hierzu kann der optionale Einlaufrichter der Kanäle 54, 55 ebenso beitragen.

[0241] Es können vorzugsweise die beiden Längen L1 und L2 im Rahmen einer gewissen Toleranz ($\pm$ 10 mm) übereinstimmen.

[0242] Über einen Primärdurchtritt 541 wird das rezirkulierte Rauchgas, welches vorausgehend mit "frischer" Primärluft gut vermischt wurde, von unten zum Drehrost 25 zugeführt. Durch dessen Öffnungen 256 tritt dieses Gemisch aus rezirkuliertem Rauchgas und Primärfrischlufte (d.h. die Primärluft für die Brennkammer 24) in die Primärverbrennungszone 26 der Brennkammer 24 ein. Insofern ist die Primärrezirkulation zum Rezirkulieren des Rauchgas-Primärfrischlufte Gemischs derart vorgesehen, dass dieses von unten in die Primärverbrennungszone 26 eintritt.

[0243] Über einen (optionalen) Sekundärdurchtritt 551 und einen anschließenden Ringkanal 50 (vgl. Fig. 13) um die Brennkammersteine 29 wird das rezirkulierte Rauchgas, welches vorausgehend mit "frischer" Sekundärlufte d.h., Sekundärfrischlufte (oder bei Entfall der Sekundärrezirkulation mit Primär(-frisch)luft) gut vermischt wurde, zu den (ebenso optionalen) Rezirkulations- bzw. Sekundärluftehdüsen 291 zugeführt. Die Sekundärluftehdüsen 291 sind dabei, wie erläutert, nicht auf die Mitte der Primärverbrennungszone 26 ausgerichtet, sondern sind diese azentrisch ausgerichtet, um einen Drall der nach oben aus der Primärverbrennungszone 26 in die in die Sekundärverbrennungszone 27 verlaufende Strömung zu bewirken (d. h. eine nach oben gerichtete Wirbelströmung mit einer vertikalen Drallachse). Insofern kann die Sekundärrezirkulation zum Rezirkulieren des Rauchgas-Sekundärfrischlufte Gemischs zumindest teilweise in die Sekundärverbrennungszone 27 vorgesehen sein.

[0244] Die Figuren 13 und 14 zeigen entsprechend zu der Fig. 12 den Verlauf der Strömungen der Luft, des rezirkulierten Rauchgases und der Rauchgas-Lufte Gemische in der Rezirkulationseinrichtung 5 anhand der (schematischen) Strömungspfeile S8 bis S16. Die Pfeile S1 bis S16 geben die strömungstechnische Konfiguration an, d.h., den Verlauf des Flusses der diversen Gase oder bewegten Massen in der Biomasse-Heizanlage 1. Viele der vorliegenden Komponenten oder Merkmale sind dabei strömungstechnisch verbunden, wobei dies mittelbar (d.h., über andere Komponenten) oder unmittelbar erfolgen kann.

[0245] Wie in der Fig. 13 und der Fig. 14 jeweils ersichtlich ist, tritt das Rauchgas, das nach dem Wärmetausch aus dem Wärmetauscher 3 und aus der optionalen Filtereinrichtung 4 ausströmt, durch den Rezirkulationseintritt 5 in den

Rezirkulationseintrittskanal 531 der Rezirkulationseinrichtung 5 ein (vgl. Pfeil S8). Nach einer (optionalen) Aufteilung der Rauchgasströmung durch einen (optionalen) Rezirkulationseintrittskanalsteiler 532 strömt das Rauchgas der Primärrezirkulation durch den Primärrezirkulationskanal 56 (vgl. Pfeil S10), abhängig von der Stellung eines der einstellbaren Luftventile 52 in die Primärmischkammer 541, in der das Rauchgas mit der Primärfrischluft vermischt wird, die durch den Primärluftkanal 58, abhängig von der Stellung eines weiteren der einstellbaren Luftventile 52, ebenso in die Primärmischkammer 541 einströmt (vgl. Pfeil S12).

[0246] In der Folge entsteht eine Mischströmung (vgl. Pfeil S14) in dem Primärmischkanal 54 aus Rauchgas und Primärfrischluft, in der sich diese beiden Komponenten aufgrund der Turbulenzen und der Länge des Primärmischkanals 54 vorteilhaft vermischen. Am Ende des Primärmischkanals 54 ist ein homogenes Gemisch aus Rauchgas und Primärfrischluft entstanden, welches durch den Primärdurchtritt 541 zur Primärverbrennungszone 26 strömt (vgl. Pfeil S16).

[0247] Sollte eine (strömungstechnisch ähnlich der Primärrezirkulation vorgesehene) Sekundärrezirkulation vorhanden sein, strömt das Rauchgas nach dessen Aufteilung im Rezirkulationseintrittskanalsteiler 532 durch den Sekundärrezirkulationskanal 57 über ein weiteres einstellbares Luftventil 52 in die Sekundärmischkammer 552 (vgl. Pfeil S9), in welcher das Rauchgas mit der über den Sekundärluftkanal 59 und ein weiteres einstellbares Ventil 52 ebenso in die Sekundärmischkammer 552 einströmenden Sekundärfrischluft (vgl. Pfeil S11) vermischt wird. Diese Vermischung des Rauchgases und der Sekundärfrischluft setzt sich im Sekundärmischkanal fort (vgl. Pfeil S13), womit die Durchmischung beider Komponenten verbessert wird. Das entstandene vorteilhaft homogene Gemisch strömt durch den Sekundärdurchtritt 551 in den Ringkanal 50 um die Brennkammersteine 29 und durch die Rezirkulationsdüsen 291 in die Brennkammer 24 (vgl. Pfeil S15).

[0248] Dabei können die physikalischen/chemischen Größen dieser Rezirkulation von den entsprechenden Sensoren 582, 592 etc. erfasst werden. Ebenso kann die Rezirkulation (beispielsweise das Mischverhältnis, Durchflussmengen, etc.) mittels der entsprechenden Aktoren 52, 15 etc. geregelt werden.

[0249] Das schematische Blockdiagramm der Fig. 15 zeigt den vorstehend mit Bezug auf die Figuren 12 bis 14 erläuterten Strömungsverlauf in den jeweiligen Einzelkomponenten der Rezirkulationseinrichtung 5, sowie der der Biomasse-Heizanlage 1. In dem Blockdiagramm der Fig. 15 sind sowohl die Primärrezirkulation als auch die optionale Sekundärrezirkulation als vollständiger Kreislauf dargestellt. Entsprechend sind auch die Sensoren und Aktoren der Biomasse-Heizanlage 1 eingezeichnet, mit denen die Biomasse-Heizanlage 1 geregelt werden kann. Die Rezirkulationseinrichtung 5 kann auch nur eine Primärrezirkulation aufweisen, vgl. Fig. 17.

[0250] Mittels der Rezirkulation des Rauchgases wird dieses im Grundsatz nach der Verbrennung mit Frischluft vermischt, wobei insbesondere der Sauerstoffgehalt erhöht wird, und einer erneuten Verbrennung zugeführt. Damit können brennbare Reste im Rauchgas, die ansonsten ungenutzt durch den Kamin abgeführt werden würden, nun doch noch einen Beitrag zur Verbrennung leisten.

[0251] Die jeweiligen Ventile 52 mit der Primärmischkammer 541 und dem (sich vorzugsweise annähernd horizontal erstreckenden) Primärmischkanal 54 bilden die Primärmischeinheit 5a aus. Die jeweiligen Ventile 52 mit der Sekundärmischkammer 552 und dem Sekundärmischkanal 55 können die Sekundärmischeinheit 5b ausbilden. Betreffend der in Fig. 14 verdeckten Teile der Strömungsführung, wird auf die Fig. 3 und die zugehörigen Erläuterungen verwiesen.

[0252] Weiter ist in Fig. 15 ergänzend der sogenannte Falschlufteintrag berücksichtigt, der vorliegend als Störfaktor berücksichtigt wurde. Dabei gelangt Falschlufft aus der Umgebung über Undichtigkeiten und insbesondere auch die Brennstoffzufuhr in die Brennkammer 24, wobei dies eine zusätzliche Luftquelle für die Verbrennung darstellt, die bei der Einstellung des Mischungsverhältnisses des Gemischs oder der Gemische zu berücksichtigen ist. Deshalb ist die Biomasse-Heizanlage 1 vorliegend vorzugsweise derart eingerichtet, dass der Falschlufteintrag im Nennlastbetriebsfall auf weniger als 6%, vorzugsweise weniger als 4%, der Luftmenge des Gemischs aus Primärfrischluft und rezirkuliertem Rauchgas (und bei vorhandener Sekundärrezirkulation der Luftmenge des Gemischs aus Sekundärfrischluft und rezirkuliertem Rauchgas und des Gemischs aus Primärfrischluft und rezirkuliertem Rauchgas) beträgt.

[0253] Falschlufft könnte im Übrigen auch nachteilhaft von dem weiteren Strömungsweg des Rauchgases nach der Verbrennung zurück in die Brennkammer 24 gelangen, beispielsweise über die übliche Ascheabfuhr.

[0254] Die in den Figuren 14 und 15 eingezeichneten Sensoren 111, 112, 113, und 117, sowie 582 und 592 entsprechen den vorstehend in Bezug auf die Fig. 1 bis 3 und Fig. 12, sowie den in Bezug auf Fig. 18 beschriebenen Sensoren.

(Rauchgasrezirkulation einer weiteren Ausführungsform)

[0255] Fig. 16 zeigt eine herausgestellte semitransparente Schrägansicht einer Rezirkulationseinrichtung einer weiteren Ausführungsform.

[0256] Bei dieser weiteren Ausführungsform ist bei der Sekundärluftzuführung keine Rezirkulation wie bei der Ausführungsform der Fig. 13 vorgesehen, sondern eine einfache gesteuerte oder geregelte Frischluftzuführung. Diese weitere Ausführungsform ist insofern einfacher und kostengünstiger herzustellen, und kann jedoch trotzdem viele der oben genannten Vorteile der Ausführungsform der Fig. 13 bieten. Insbesondere konnten auch mit dieser Ausführungsform, wie praktische Tests ergeben haben, auch die gesetzten Effizienzziele erreicht werden.

[0257] Übereinstimmende Bezugszeichen der Fig. 16 offenbaren im Kern die gleiche Lehre der Fig. 13, weshalb zur Vermeidung von Wiederholungen im Kern nur auf die Unterschiede zwischen den beiden Ausführungsformen eingegangen wird.

[0258] Die Drehschieberventile der Ausführungsform der Fig. 13 sind bei der weiteren Ausführungsform der Fig. 13 durch Gleitschieberventile ersetzt worden. Weiter findet bei der weiteren Ausführungsform der Fig. 16 keine Sekundärmischung von Rezi und Frischluft statt, sondern es wird lediglich die Zufuhr(menge) der Frischluft zu den Rezirkulationsdüsen 291 gesteuert oder geregelt. Dabei wurde der Sekundärmischkanal 55 als Sekundärtemperierungskanal 55a beibehalten, wobei die Funktion einer Temperierung der Frischluft erfüllt. Dabei ist der Sekundärtemperierungskanal 55a an der Wand des Kessels 11 entlang vorgesehen, womit die Frischluft, welche von dem Sekundärluftkanal 59 zugeführt wird, durch die Wärme des Kessels 11 vor der Einführung der Sekundärluft in die Brennkammer 24 vorerwärmt wird (vgl. Pfeil S13a). Entsprechend ist der Sekundärtemperierungskanal 55a mit einem rechteckigen Querschnitt vorgesehen, der eine größere (vertikale) Höhe als (horizontale) Dicke aufweist, womit sich der Sekundärtemperierungskanal 55a an die Kesselwand "anschmiegt", und die Fläche für einen Wärmeaustausch groß gehalten ist. Eine vorgewärmte Sekundärluft steigert die Verbrennungseffizienz. Zur Ausgestaltung des Sekundärtemperierungskanals 55a im Einzelnen wird weiterhin auf die Ausführungen zum Sekundärmischkanal 55 verwiesen.

[0259] Der Pfeil S15 zeigt die Sekundärluftströmung strömt durch den Sekundärdurchtritt 551 in den Ringkanal 50 um die Brennkammersteine 29 und durch die Rezirkulationsdüsen 291 in die Brennkammer 24. Damit wird nicht nur die Sekundärluft weiter vorteilhaft erwärmt, sondern werden auch die Brennkammersteine 29 vorteilhaft gekühlt, was beispielsweise die Schlackebildung an den Brennkammersteinen verringert (vgl. die vorstehenden Ausführungen zur Mindesttemperatur bei der Schlackebildung).

[0260] Die Pfeile S8 und S10 geben lediglich die Strömung des Rauchgases stromabwärts des Wärmetauschers 3 (oder der optionalen Filtereinrichtung 4) zu der Primärmischeinheit 5a an, welche bei dieser Ausführungsform einfacher und kostengünstiger konstruiert ist.

[0261] Fig. 17 zeigt ein schematisches Blockdiagramm, dass den Strömungsverlauf in den jeweiligen Einzelkomponenten einer Biomasse-Heisanlage und der Rezirkulationseinrichtung der Fig. 16 gemäß der weiteren Ausführungsform offenbart.

[0262] Gleiche Bezugszeichen der Fig. 17 offenbaren im Kern die gleiche Lehre der Fig. 15, weshalb zur Vermeidung von Wiederholungen im Kern nur auf die Unterschiede eingegangen wird.

[0263] Es fehlt an einer Mischung der Sekundärluft aus Frischluft und Rezi-Gas. Insofern sind keine Sekundärmischkammer 552 und kein ein Ventil 52 für das Rezi-Gas vorgesehen. Ebenso entfällt der Rezirkulationseintrittskanalsteiler 532. Der Sekundärmischkanal 55 kann zwar mechanisch identisch zu der Ausführungsform der Fig. 15 sein, ist jedoch funktional keine Kanalstrecke zur Vermischung von Frischluft und Rezi-Gas, sondern dient nur mehr (dies ist weiterhin gleich der Ausführungsform der Fig. 15) der Vortemperierung der Frischluft vor der Einbringung in die Brennkammer 24.

[0264] Bei der weiteren Ausführungsform kann im Übrigen auch komplett auf die Sekundärluftzuführung verzichtet werden, wobei die Biomasse-Heisanlage 1 nur mit einer Primärrezirkulation vorgesehen sein kann.

[0265] Die in den Fig. 17 eingezeichneten Sensoren 111, 112, 113, und 117, sowie 582 und 592 entsprechend den vorstehend in Bezug auf die Fig. 1 bis 3 und Fig. 12, sowie in Bezug auf Fig. 18 beschriebenen.

(Biomasse-Heisanlage mit einem KI-Modell bzw. mit einer mittels maschinellern optimierten Steuereinrichtung)

[0266] Die vorstehend beschriebene Biomasse-Heisanlage 1 ist mit einer Steuereinrichtung 100 vorgesehen, die eine künstliche Intelligenz (KI) bzw. ein KI-Modell 104 aufweist. Diese KI wird durch ein maschinelles Lernen präpariert und erlaubt eine optimierte Regelung der Biomasse-Heisanlage 1.

[0267] Mit Hilfe der nachstehend erläuterten Fig. 18 wird ein lokaler Ansatz (d. h. ein Vor-Ort Ansatz) eines maschinellen Lernens erläutert, während später in Bezug auf die Figuren 19a bis 19c ein zentralisierter Ansatz (d. h. Lernen in einem zentralen Server und Ausführung und Datensammlung Vor-Ort) erläutert wird.

[0268] Fig. 18 zeigt ein schematisches Blockdiagramm mit den Komponenten einer Regelung der Biomasse-Heisanlage der Fig. 1 bis Fig. 17.

[0269] Zu der Regelung gehören die drei Schritte des Erfassens der relevanten physikalischen und/oder chemischen Größen in der Biomasse-Heisanlage 1 durch Sensoren, des Verarbeitens der erfassten Größen in der Steuereinrichtung 100, und des Einstellens der jeweiligen Aktoren der Biomasse-Heisanlage 1 im Ergebnis des Verarbeitens.

[0270] Mit diesen drei grundlegenden Schritten können unterschiedlichste Anwendungen mit der Unterstützung durch maschinelles Lernen umgesetzt werden. Zu diesen konkreten Anwendungen gehören u.A. die Klassifizierung des Brennstoffs (Pellets, Hackschnitzel, Elefantengras, Nusschalen etc.), die Ermittlung des Füllgrads der Brennkammer 24 mit Brennstoff, die Berechnung des Lambda-Wertes, die Optimierung der Ansteuerung der elektrostatischen Filtereinheit, die Steuerung der Kesselaktivität (An/Aus), die Regelung der Leistungsabgabe des Kessels 11 oder die Steuerung der Luftventile der Biomasse-Heisanlage 1. Näheres hierzu findet sich in den Figuren 26 bis 33.

[0271] Anzumerken ist, dass die von den Sensoren erfassten chemischen und/oder physikalischen Größen aus da-

tentechnischer Sicht auch als Rohdaten bzw. Sensordaten bezeichnet werden können. Diese Sensordaten können analog oder digital vorliegen.

[0272] Der erste Schritt des Erfassens der relevanten physikalischen/chemischen Größen in der Biomasse-Heisanlage 1 kann mit Hilfe folgender Sensoren, vgl. auch die Figuren 1 und 17 und die zugehörige Beschreibung, durchgeführt werden: Abgasstempertursensor 111, Lambdasonde 112, Unterdrucksensor oder Druckdifferenzsensor 113, Rücklauf-temperatursensor bzw. Heizungswassertemperatursensor 114, Kesseltemperatursensor 115, Brennstoffbetthöhensensor 116, 86 und/oder Brennkammertemperatursensor 117. Ebenso können zumindest ein Primärluftsensor 582 oder/und ein Sekundärluftsensor 592 zum Einsatz kommen. Je nach Anwendung kann einer oder können mehrere dieser Sensoren 111-117, 582, 592 zum Einsatz kommen. Diese Liste ist auch nicht zwingend vollständig, beispielsweise können externe Sensoren oder andere Quellen Informationen über relevante Messgrößen oder Eingangsdaten für das maschinelle Lernen liefern. Ein Beispiel wäre ein Durchflusssensor für das Heizungswasser, einen Wärmemengensensor für die Wärmemenge des im Gebäude zirkulierenden Heizungswassers, der (aktuelle oder angeforderte) Leistungsbedarf des Gebäudes, ein Sensor zur Ermittlung des aktuellen Sonnenstands oder auch Informationen aus einer Wettervorhersage (welche beispielsweise über das Internet abgefragt werden können). Beispielsweise aus einer Wettervorhersage könnte mittels maschinellen Lernens induktiv den zukünftigen Energiebedarf des Gebäudes ermitteln und eine entsprechende Leistungsregelung vornehmen. Am Abgasausgang 41 oder am Ausgang oder Eingang des Gebläses 15 kann weiter ein (nicht dargestellter) Luftmengensensor vorgesehen sein. Als Sensor kommt auch ein Durchflusssensor zum Messen beispielsweise der Durchflussmenge des Kesselwassers, oder zur Messung des Durchflusses des Rauchgases in Betracht.

[0273] Durch die Sensoren 111-117 und weitere Sensoren werden physikalische Größen erfasst, wobei das Ergebnis dieser Erfassung über eine Verbindung 198 an die Steuereinrichtung 100 übermittelt wird. Eine solche Übermittlung kann beispielsweise mittels diverser Signale erfolgen (bspw. digital über den CAN-Bus, oder analog über ein 4-20 mA Signal). Insofern sind die Sensoren kommunikativ mit der Steuereinrichtung 100 verbunden. Im Ergebnis der Erfassung werden der Steuereinrichtung 100 durch die Sensoren 111-117 Sensordaten zur Verfügung gestellt.

[0274] Dabei können, aus datentechnischer Sicht, diese Sensordaten entweder schon im Sensor gewonnen werden (und dann beispielsweise als digitale Werte an die Steuereinrichtung übertragen werden) und/oder auch erst in der Steuereinrichtung 100 aus den übertragenen Signalen gewonnen werden. In ersterem Fall kann beispielsweise ein sog. Smart-Sensor zum Einsatz kommen, der über eine digitale Schnittstelle einen konkreten Temperaturwert oder einen Druckwert als die Sensordaten überträgt. In zweiterem Fall kann beispielsweise ein 0-10V Spannungssignal des Sensors von einem A/D Wandler der Steuereinrichtung 100 in digitale Werte umgewandelt werden und die digitalen Werte können dann (beispielsweise über eine Umrechnungsformel) in die Sensordaten umgewandelt werden, welche beispielsweise eine Temperatur oder einen Druck repräsentieren. Im Sinne der vorliegenden Lehre ist es unerheblich, wo die (finalen) Sensordaten erzeugt werden, ob im Sensor 111-117 oder erst in der Steuereinrichtung 100.

[0275] Die Steuereinrichtung 100 weist zumindest eine Eingangsschnittstelle, zumindest eine Ausgangsschnittstelle, einen Speicher und eine Recheneinheit zur Verarbeitung der erfassten Daten im zweiten Schritt auf.

[0276] Weiter ist eine maschinelle Lerneinheit 101 vorgesehen, welche beispielsweise als Softwaremodul oder ein eigenes Hardwaremodul vorgesehen sein kann, um ein maschinelles Lernen durchzuführen. Die Funktion der maschinellen Lerneinheit 101 wird später in Bezug auf die Fig. 22 noch näher erläutert. Die maschinelle Lerneinheit 101 kann in der Steuereinrichtung 100 vorgesehen sein, wie in Fig. 18 gezeigt, oder auch gesondert von der Steuereinrichtung 100, beispielsweise in einer zentralen Recheneinheit 190 (vgl. Figuren 19a bis c) oder als gesondertes Modul der Steuereinrichtung 100.

[0277] Im Grundsatz wird eine Anzahl von erfassten physikalischen Größen, welche in Form von Sensordaten abgespeichert werden, ausgewählt, dann zum Training eines entsprechenden Modells verwendet, welches dann wiederum iterativ evaluiert und optimiert wird, bis die Vorhersagegenauigkeit des Modells als ausreichend erachtet wird. Ein ausreichend optimiertes Modell wird dann als KI-Modell für den laufenden Betrieb der Biomasse-Heisanlage verwendet.

[0278] Die Steuereinrichtung 100 kann weiter eine optionale Benutzerschnittstelle 102 bzw. ein Userinterface 102 (bspw. ein Display, ein Touchscreen, eine Tastatur, eine Netzwerkvorrichtung wie einen Tablet-PC oder ein Handy etc.) aufweisen, welche insbesondere für das Training mit der maschinellen Lerneinheit 101 verwendet werden kann. Dabei kann beispielsweise eine Optimierung und Evaluierung des Modells mit oder ohne Unterstützung durch den User erfolgen.

[0279] Die Steuereinrichtung 100 kann einen Speicher zur Speicherung der erfassten physikalischen und/oder chemischen Größen und/oder des Ergebnisses des maschinellen Lernens umfassen.

[0280] Mit dem Ergebnis des Verarbeitens wird wiederum in einem dritten Schritt ein Einstellen der Aktoren vorgenommen, um eine optimierte Regelung der Biomasse-Heisanlage vorzunehmen. Insofern wird das Ergebnis des maschinellen Lernens verwendet, um das Regelverhalten der Biomasse-Heisanlage 1 zu beeinflussen oder direkt zu kontrollieren. Zu den Aktoren gehören beispielsweise und nicht exklusiv die Ventile 52, 52s (bzw. die Luftklappen), die Zellradschleuse 61, die Zündeinrichtung 201, die Motoren des Drehrosts 231, die Brennstoffzufuhr bzw. der Antriebsmotor 66, die Ascheaustragung 71, 72, der Reinigungsantrieb 91, die Filtereinrichtung 4, die Wasserzirkulationseinrichtung 14 und das Gebläse 15. Es können auch weitere, hier nicht genannte, Aktoren angesteuert werden. Diese Aktoren

können über eine Verbindung 198, beispielsweise analog oder digital, mit der Steuereinrichtung 100 kommunikativ verbunden sein.

[0281] Der erste, zweite und der dritte Schritt können bevorzugt im Sinne eines Regelkreises iterativ durchgeführt werden.

[0282] Obschon dargestellt ist, dass die Verbindung 198 unidirektional erfolgt, so kann diese natürlich auch bidirektional erfolgen, beispielsweise mittels eines Bussystems.

[0283] Kurz gefasst kommuniziert die Steuereinrichtung 100, welche die maschinellen Lerneinheit 101 beinhaltet, mit diversen Sensoren und Aktoren der Biomasse-Heizanlage 1. Dabei kann die Steuereinrichtung bei dem Verarbeiten zuerst ein maschinelles Lernen durchführen, um eine KI einzustellen. In der Folge kann die KI dann eine optimierte Regelung der Biomasse-Heizanlage 1 ermöglichen.

[0284] Zusammengefasst ist die Regelung ist in Fig. 18 mit folgenden Schritten dargestellt:

- Erfassen der zumindest einen relevanten physikalischen/chemischen Größe der Biomasse-Heizanlage 1 durch zumindest einen Sensor 111-117, 582, 592 (oder durch eine Mehrzahl von Sensoren) der Biomasse-Heizanlage 1 zur Bereitstellung von entsprechenden Sensordaten, wobei der Sensor/die Sensoren mit der Steuereinrichtung 100 kommunikativ verbunden ist/sind;
- Verarbeiten der erfassten Größe oder der Größen (bzw. der Sensordaten);
- Einstellen des zumindest eines Aktors (oder der Aktoren) der Biomasse-Heizanlage 1, welcher (welche) mit der Steuereinrichtung (100) kommunikativ verbunden ist (sind) und von dieser angesteuert werden kann (können).

[0285] Dabei ist in Fig. 18 mit dem gestrichelten Pfeil "Biomasse-Heizanlage 1" die (physikalische und/oder chemische) Reaktion der Anlage auf das Einstellen der Aktoren dargestellt. Beispielsweise wird sich bei einer Änderung der Einstellung von Luftventilen 52 auch das Verbrennungsverhalten in der Brennkammer ändern, beispielsweise ändert sich die Brennkammertemperatur oder der Lambda-Wert.

[0286] Der Schritt des Verarbeitens der der erfassten Größen beinhaltet im Regelmodus, d.h., während des normalen Betriebs der Biomasse-Heizanlage 1, das Verwenden eines KI-Modells (104), mit welchem die Einstellung diverser Aktoren unter Verwendung selektierter Sensordaten bzw. zumindest einer gefilterten Größe berechnet wird. Näheres hierzu findet sich in den Figuren 20 bis 22.

[0287] Es wird das KI-Modell mittels maschinellern Lernen parametrisiert. Es erfolgt somit ein Trainieren des KI-Modells in einem Lernmodus, bei welchem gespeicherte Größen bzw. Sensordaten verwendet werden.

[0288] Dieses maschinelle Lernen im Kontext der vorliegenden Biomasse-Heizanlage 1 (im Lernmodus) wird nachfolgend näher beschrieben.

[0289] Das maschinelle Lernen hat die Funktion zum Extrahieren, z.B. einer nützlichen Regel, einer Wissensrepräsentation und/oder eines Bestimmungskriteriums basierend auf einer Analyse eines in die Vorrichtung eingegebenen Datensatzes, Ausgeben der Bestimmungsergebnisse und Lernens des Wissens (maschinelles Lernen). Es ist eine Vielzahl von Lerntechniken verfügbar, die grob in z.B. "überwachtes Lernen", "unüberwachtes Lernen" und "bestärkendes Lernen" klassifiziert werden, wie eingangs erläutert. Um diese Techniken umzusetzen, ist eine weitere, als "Deep Learning" bezeichnete Technik verfügbar, bei der das Extrahieren von Merkmalsbeiträgen selbst gelernt wird. Obwohl diese Arten des maschinellen Lernens einen Allzweck-Computer oder -Prozessor verwenden können, ermöglicht die Verwendung von z.B. GPGPU (General-Purpose computing on Graphics Processing Units) oder Rechnern mit hoher Rechenleistung eine höhere Verarbeitungsgeschwindigkeit.

[0290] Zunächst wird beim überwachtem Lernen eine (vorzugsweise große) Anzahl von Datensätzen von bestimmten Eingaben und Ergebnissen (Labels) in die Steuereinrichtung 100 eingeführt bzw. dieser zugeführt, die in diesen Datensätzen beinhaltet Zusammenhänge oder Merkmale lernt und induktiv ein Modell zum Vorhersagen bzw. Schätzen des Ergebnisses aus der Eingabe, d.h. ihrer Beziehung, erlernt. Das überwachte Lernen ist auf diese Ausführungsform beispielsweise anwendbar für die Verwendung zur Klassifizierung des verwendeten Brennstoffs (bspw. Hackgut oder Pellets). Überwachtes Lernen kann durch Verwendung eines Algorithmus, wie eines neuronalen Netzwerks (wird später näher erläutert), verwirklicht werden. In diesem Zusammenhang werden als "Labels" die Kategorien von Daten bezeichnet, in die die Datensätze der Sensordaten eingeordnet werden sollen. Somit sind Labels (auf Deutsch "Beschriftung" oder "Kategorie") der Output bzw. das Ergebnis auf den das Modell trainiert wird. Beispielsweise gibt ein Klassifizierungsmodell als Ergebnis ein Label zurück. Ein Label ist die Basis für die Optimierung des Modells auf eine "Aussage". In vielen Fällen werden Labels für eine spezifische Anwendung vordefiniert.

[0291] Beim unüberwachten Lernen werden nur Eingabedaten in großer Menge in eine Lerneinheit der Steuereinrichtung 100 eingeführt bzw. dieser zugeführt, die eine Verteilung bzw. Charakteristik der Eingabedaten lernt und wiederum ein Lernen mit einer Vorrichtung ausführt, die z.B. die Eingabedaten komprimiert, klassifiziert und die eingeführten Daten formt, ohne dass entsprechende Interaktionen mit einem User zum Lernen erforderlich sind. Dies ermöglicht, z.B. das

Zusammenfassen von in diesen Datensätzen gesehenen Merkmalen bzw. Charakteristiken in ähnliche Merkmale bzw. Charakteristiken. Das erzielte Ergebnis kann dazu verwendet werden, bestimmte Kriterien zu definieren und Ausgaben in optimierter Weise entsprechend den Kriterien zuzuordnen und somit eine Ausgabe vorherzusagen. Anzumerken ist, dass das unüberwachte Lernen diese Zusatzinformation nicht benötigt, da die zugehörigen Algorithmen rein auf den Dateninhalten operieren. Unüberwachtes maschinelles Lernen arbeitet mit Ähnlichkeiten der Daten, nicht aber auf vorher definierten Kategorien.

[0292] Eine zwischen dem unüberwachten Lernen und überwachtem Lernen liegende Problemlösung, die als teilüberwachtes Lernen bezeichnet wird, ist ebenfalls auf die vorliegende Biomasse-Heisanlage 1 anwendbar. Dies trifft zu, wenn beispielsweise nur einige Daten als Datensätze von Eingaben und Ausgaben dienen und die übrigen Daten nur Eingaben umfassen. Bei diesem Aspekt kann das Lernen effektiv ausgeführt werden, indem Daten (z.B. Bilddaten oder Simulationsdaten) auch ohne aktuellen Verbrennungsvorgang in der Biomasse-Heisanlage 1 angewendet werden können.

[0293] Der schematische Aufbau der Fig. 18 zeigt eine Vorrichtung und ein Verfahren für ein lokales Lernen (d.h. ein Lernen Vor-Ort in, an oder bei der Biomasse-Heisanlage 1). Es sind folglich an oder in der Biomasse-Heisanlage 1 alle Komponenten vorhanden, damit das maschinelle Lernen durchgeführt werden kann. Ein überwachtes Lernen kann beispielsweise mit Hilfe eines Benutzers durchgeführt werden, welcher einen Lernvorgang des maschinellen Lernens an einem Touch-Screen begleitet.

[0294] Dabei kann die Biomasse-Heisanlage 1 iterativ eine Anzahl an "Lernzyklen" durchlaufen, wobei die Anlage 1 in Betrieb ist und die Sensoren die benötigten Größen erfassen und an die Steuereinrichtung 100 übermitteln. Diese erfassten Größen werden in der Steuereinrichtung 100 gespeichert und ermöglichen dann das vorstehend beschriebene maschinelle Lernen mittels der Lerneinheit 101. Dies kann je nach Art des maschinellen Lernens mittels einer Benutzerschnittstelle 102, beispielsweise ein Display an der Biomasse-Heisanlage 1 oder auch ein Handy oder ein Tablet-PC, welche mit der Steuereinrichtung 100 über ein Netzwerk verbunden sind, auch unter Einbeziehung des Benutzers erfolgen oder auch nicht.

[0295] Figuren 19a, 19b und 19c zeigen schematische Blockdiagramme von Vorrichtungen und Verfahren mit beispielhaften Komponenten der Biomasse-Heisanlage der Fig. 1 bis Fig. 17, wobei dies im Unterschied zu Fig. 18 auf einem zentralen Ansatz des maschinellen Lernens basiert. Dabei kann eine Mehrzahl von Biomasse-Heisanlagen 1 über eine Netzwerkverbindung 199, beispielsweise das Internet, mit einer zentralen Recheneinrichtung 190, beispielsweise einem Server 190, verbunden sein. Die Sensoren und auch die Aktoren entsprechen denen der Figuren 1 bis 17 und der Fig. 18.

[0296] Ziel dieser zentralen Konfiguration ist es, Daten bzw. Größen von einer Mehrzahl von Biomasse-Heisanlagen 1 zu sammeln und dann gesammelt zum Lernen bereitzustellen, damit die resultierenden KI-Modelle auf einer breiteren bzw. besseren Datenbasis basieren.

[0297] Damit unterscheiden sich der zentrale Ansatz bzw. die zentrale Konfiguration der Figuren 19a, b und c von dem lokalen Ansatz bzw. der lokalen Konfiguration der Fig. 18 im Kern in der Architektur.

[0298] Die Figuren 19a und 19b zeigen aus Gründen der Übersichtlichkeit nur jeweils eine einzelne Biomasse-Heisanlage 1 und eine einzelne Steuereinrichtung 100. Wie in Zusammenschau mit Fig. 19c ersichtlich ist, ist bei dem zentralen Ansatz jedoch eine Mehrzahl von Biomasse-Heisanlagen 1 und eine Mehrzahl von Steuereinrichtungen 100 vorgesehen, welche entsprechend in den Fig. 19a und 19b gedanklich ergänzt werden müssen.

[0299] In der Fig. 19a und der Fig. 19b ist die Biomasse-Heisanlage 1 mit deren Sensoren und Aktoren (linker Block) mit der Steuereinrichtung 100 (mittlerer Block) über eine Verbindung 198 verbunden. Die Steuereinrichtung 100 ist wiederum mit einer zentralen Recheneinrichtung 190 bzw. einem Server 190 (rechter Block) über eine Netzwerkverbindung 199 (beispielsweise eine Internet Protokoll (IP) Verbindung über das Internet) verbunden. Entsprechende Schnittstellen sind, wie in Fig. 18, vorhanden.

[0300] Der linke Block jeweils der Fig. 19a und der Fig. 19b (die Biomasse-Heisanlage 1) korrespondiert in etwa mit dem linken und den rechten Block der Fig. 18. Zur Vereinfachung sind in Fig. 19a und in Fig. 19b die einzelnen Angaben des linken und des rechten Blocks 1, 1 der Fig. 18 nicht wiederholt angegeben. Insofern wird diesbezüglich auf die Fig. 18 verwiesen und deren Inhalt in die Fig. 19a und die Fig. 19b durch Verweis mit aufgenommen. Der linke Block 1 der Fig. 19a und der Fig. 19b beinhaltet damit die bezüglich Fig. 18 beispielhaft genannten Sensoren und Aktoren. Entsprechend ist zumindest eine Verbindung 198 zur Steuereinheit 100 (mittlerer Block 100 der Fig. 19a) vorgesehen, mit denen Signale von den Sensoren/Aktoren der Biomasse-Heisanlage 1 an die Steuereinheit 100 und zurück übertragen werden können.

[0301] Die Steuereinrichtung 100 der Biomasse-Heisanlage(n) 1 der Fig. 19a und Fig. 19b weist ein KI-Modell 104 auf, welches zur Regelung der Biomasse-Heisanlage 1 verwendet wird. Weiterhin werden in der Steuereinrichtung 100 Sensordaten bzw. erfasste chemische und/oder physikalische Größen der Biomassen-Heisanlage 1 in einem Speicher 105a zwischengespeichert. Diese gesammelten chemischen und/oder physikalischen Größen werden dann an die zentrale Recheneinrichtung 190 bzw. den Server 190 übermittelt, wobei dieser mithin physikalisch/chemische Größen von einer Mehrzahl von Steuereinrichtungen 100 sammelt und in einem Speicher 105b speichert.

[0302] Folglich werden beim zentralen Ansatz der Figuren 19a, b und c Sensordaten bzw. chemische und/oder physikalische Größen einer Mehrzahl von Biomassen-Heizanlagen 1 aggregiert. Damit kann eine Lerneinheit 101 des Servers 190 ein maschinelles Lernen basierend auf aggregierten chemischen und/oder physikalischen Größen einer Mehrzahl von Biomasse-Heizanlagen durchführen.

[0303] Damit beinhaltet der zentrale Ansatz aus Sicht einer Biomasse-Heizanlage 1 die folgenden Verfahrensschritte: Regeln der Biomasse-Heizanlage 1 mittels eines KI-Modells 104 der Steuereinrichtung 100, welches durch maschinelles Lernen parametrisiert wird, wobei das Regeln der Biomasse-Heizanlage 1 folgendes beinhaltet:

- Erfassen von zumindest einer chemischen und/oder physikalischen Größe der Biomassen-Heizanlage (1) durch zumindest einen Sensor 111-117, 582, 592 (oder durch eine Mehrzahl von Sensoren) 111-117, 582, 592 der Biomasse-Heizanlage 1, welcher (welche) mit der Steuereinrichtung 100 kommunikativ verbunden ist (sind), wobei Sensordaten zur Verfügung gestellt werden;
- Ansteuern einer Mehrzahl von Aktoren 4, 5, 52, 6, 61, 66, 7, 72, 91, 201, 231 der Biomasse-Heizanlage (1), welche mit der Steuereinrichtung (100) kommunikativ verbunden sind und von dieser angesteuert werden können;
- Abspeichern der von dem zumindest einem Sensor 86, 111-117, 582, 592 erfassten Größe (oder der Mehrzahl von Sensoren erfassten Größen) als Sensordaten in dem Speicher 105a der Steuereinrichtung 100;
- Übertragen der in dem Speicher 105a der Steuereinrichtung 100 gespeicherten Sensordaten über eine Netzwerkverbindung 199 an die zentrale Recheneinheit 190; und
- Übertragen, von der zentralen Recheneinheit 190 an die Steuereinrichtung 100 der Biomasse-Heizanlage 1 über das Netzwerk 199, des KI-Modells 104 zur Regelung der Biomasse-Heizanlage 1, wobei das KI-Modell 104 mittels der maschinellen Lerneinheit 101 der zentralen Recheneinheit 190 durch maschinelles Lernen zumindest unter Verwendung der übertragenen Sensordaten parametrisiert wird.

[0304] Dabei kann die zentrale Recheneinheit 190 beispielsweise in regelmäßigen Intervallen die Sensordaten bzw. gespeicherten Größe(n) von der Steuereinrichtung 100 abfragen, oder es kann die Steuereinrichtung 1 der Biomasse-Heizanlage die Größen bzw. Sensordaten selbstständig in regelmäßigen Intervallen oder bei Eintreten sonstiger auslösender Bedingungen an die zentrale Recheneinheit 190 übertragen. Die Übertragung kann mittels üblicher Netzwerkprotokolle und -technologien erfolgen.

[0305] Es kann der zentrale Ansatz aus Systemsicht eines verteilten Systems mit einer Mehrzahl von Biomasse-Heizanlagen 1 und mit zumindest einer zentralen Recheneinrichtung 190 (bzw. einem zentralen Server 190) die folgenden Verfahrensschritte aufweisen:

- Erfassen von zumindest einer chemischen und/oder physikalischen Größe der Biomassen-Heizanlage (1) durch zumindest einen Sensor 111-117, 582, 592 (oder eine jeweilige Mehrzahl von Sensoren) der Biomasse-Heizanlagen 1, welcher (welche) mit der Steuereinrichtung 100 kommunikativ verbunden ist (sind), wodurch Sensordaten zur Verfügung gestellt werden;
- Abspeichern der erfassten Größe(n) bzw. Sensordaten in den Speichern 105a der Steuereinrichtungen 100 der Biomasse-Heizanlagen 1 als Sensordaten bzw. Sensordatensatz;
- Übertragen zumindest eines Teils der in den Speichern 105a der Steuereinrichtungen 100 der Biomasse-Heizanlagen 1 gespeicherten Sensordaten über zumindest eine Netzwerkverbindung 199 an die zentrale Recheneinheit 190; und

[0306] Es sind (optional) weiter die folgenden Schritte vorgesehen:

(Weiteres) Aggregieren der von der Mehrzahl der Biomasse-Heizanlagen 1 übertragenen Sensordaten in der zentralen Recheneinheit, womit die jeweiligen Sensordaten der Biomasse-Heizanlagen 1 zusammengefasst werden;

Maschinelles Lernen mittels der maschinellen Lerneinheit 101 unter Verwendung der aggregierten Sensordaten, woraus ein parametrisiertes KI-Modell 104 resultiert;

- Übertragen des parametrisierten KI-Modells 104 zur Regelung der Biomasse-Heizanlage 1 an die Steuereinrichtung 100 der Biomasse-Heizanlage 1 von der zentralen Recheneinheit 190 über das Netzwerk 199;

- Regeln der Biomasse-Heizanlage 1 durch die Steuereinrichtung 100 mittels des übertragenen KI-Modells 104.

[0307] Der Schritt des Regelns kann dabei vorzugsweise die folgenden Schritte aufweisen:

- 5 - Erfassen von chemischen und/oder physikalischen Größen der Biomassen-Heizanlage (1) durch eine zumindest einen Sensor 111-117, 582, 592 (oder eine jeweilige Mehrzahl von Sensoren) der Biomasse-Heizanlagen 1, welche mit der Steuereinrichtung 100 kommunikativ verbunden ist (sind);
- 10 - Ansteuern zumindest eines Aktors (oder einer Mehrzahl von Aktoren der Biomasse-Heizanlage 1), welcher mit der Steuereinrichtung 100 kommunikativ verbunden ist (sind) basierend auf den erfassten Größen und dem übertragenen KI-Modell.

[0308] Das Vorstehende wird auch noch in Bezug auf die Fig. 22 näher erörtert.

15 **[0309]** Um die Qualität des Vorhersagen bzw. des Verwendens des (Regel-)Modells für die Biomasse-Heizanlage 1 zu verbessern und maschinelle Lernlösungen für komplexere Anwendungen zu optimieren oder auch diese Anwendungen zu ermöglichen, ist eine ausreichende Menge an Trainingsdaten sinnvoll.

[0310] Dabei gilt der Grundsatz, dass je größer die Menge der Trainingsdaten ist, desto größer ist die Vorhersagegenauigkeit des Modells. Insofern ist es ein Vorteil des vorstehend dargelegten zentralen Ansatzes, dass eine Vielzahl von Sensordaten von einer Mehrzahl von Biomasse-Heizanlagen gesammelt und aggregiert wird. Damit ist die Datenbasis für das maschinelle Lernen größer und das Ergebnis des Lernens genauer.

20 **[0311]** Zwar können auch kleine Modelle des maschinellen Lernens mit kleineren (lokalen) Datenmengen (lokal) trainiert werden, jedoch wächst auch die erforderliche Rechenleistung für das Lernen größerer Modelle in neuronalen Netzen exponentiell mit der Anzahl der Parameter und erfassten Größen.

[0312] Dabei ist es ein Problem, eine entsprechend hohe Rechenleistung mit den üblicherweise lokal vorhandenen Recheneinheiten kaufmännisch sinnvoll zur Verfügung zu stellen.

25 **[0313]** Zur Lösung dieses Problems ist es mit dem den hierin erläuterten Ansatz möglich, die Arbeitslast für das maschinelle Lernen von der lokalen Steuereinrichtung 100 auf einen zentralen (und vorzugsweise darauf spezialisierten) Server 190 umzulegen, welcher zudem über die Daten einer Vielzahl von Biomasse-Heizanlagen verfügen kann. Damit ist nicht nur die Datenbasis größer, sondern kann vorteilhaft auch eine deutlich größere Rechenleistung (beispielsweise mittels eines auf Berechnung großer Datenmengen optimierten Server) ressourcenschonend zur Verfügung gestellt werden.

30 **[0314]** Zudem ist es bei dem zentralen Ansatz mit einem betreuten maschinellen Lernen vorteilhaft möglich, dass ein Spezialist des Serverbetreibers (Herstellers), den Lernvorgang überwacht, ohne dass die lokalen Betreiber der Biomasse-Heizanlagen 1 den Aufwand hierfür betreiben müssen oder diese Kenntnisse vom maschinellen Lernen (und der entsprechenden Bedienung) haben müssen.

35 **[0315]** Dabei kann das Lernen beim zentralen Ansatz zudem vor der Verteilung des parametrisierten KI-Modells an die Biomasse-Heizanlagen erprobt bzw. getestet werden. In anderen Worten kann erst ein vom Hersteller freigegebenes KI-Modell, welches mithin geprüft ist, bei der Biomasse-Heizanlage 1 des Kunden zum Einsatz kommen, womit die üblichen Risiken des Einsatzes einer KI deutlich minimiert werden.

40 **[0316]** Fig. 20 zeigt ein schematisches Diagramm, das ein (Beispiel-) Modell für ein Neuron darstellt, welches eine mögliche Grundlage eines maschinellen Lernens ist. Fig. 21 zeigt ein schematisches Diagramm, das ein dreischichtiges neurales Netzwerk darstellt, das durch Zusammenfassen von in Fig. 21 dargestellten Neuronen gebildet wird. Mit Hilfe der Fig. 20 und 21 wird damit das Parametrisieren bzw. das Trainieren des KI-Modells und auch das Verwenden des KI-Modells der Biomasse-Heizanlage 1 mit dessen Grundlagen näher erläutert.

45 **[0317]** Neurale Netzwerke werden bevorzugt als Lernmodelle für überwachtes Lernen und unüberwachtes Lernen (oder auch als Näherungsalgorithmen für Wertefunktionen im bestärkenden Lernen) verwendet werden.

[0318] Insbesondere wird das neurale Netzwerk durch z.B. eine Recheneinheit, eine Arithmetik-Vorrichtung und einen Speicher realisiert, die ein Grundkonzept für ein Neuron, wie z.B. in Fig. 20 dargestellt, rechnerisch nachbilden.

50 **[0319]** Wie in Fig. 20 dargestellt dienen die Neuronen dazu, eine Ausgabe (Ergebnis) y für mehrere Eingaben x auszugeben (Fig. 20 stellt die drei Eingaben x_1 bis x_3 als ein mögliches Beispiel dar). Jede Eingabe x (x_1 , x_2 , x_3) wird mit einem Gewicht w (w_1 , w_2 , w_3) multipliziert, das der Eingabe x entspricht. Mit diesem Vorgang geben die Neuronen Ergebnisse y aus, die angegeben werden durch:

$$55 \quad y = f_k \left(\sum_{i=1}^n x_i w_i - \theta \right)$$

[0320] wobei θ die systematische Messabweichung ist und f_k die Aktivierungsfunktion ist. Es wird angemerkt, dass

die Eingabe x , das Ergebnis y und das Gewicht w jeweils Vektoren sind.

[0321] Ein beispielhaftes dreischichtiges neuronales Netzwerk, das durch rechnerisches Vernetzen von in Fig. 20 dargestellten Neuronen gebildet wird, wird nachfolgend mit Bezug Fig. 21 beschrieben.

[0322] Mehrere Inputs bzw. Eingaben x (die drei Eingaben x_1 bis x_3 werden hierin lediglich als Beispiel dargestellt) werden von der linken Seite des neuronalen Netzwerks eingegeben, und die Ergebnisse y (die drei Ergebnisse y_1 bis y_3 werden hierin lediglich als ein Beispiel dargestellt) werden von der rechten Seite dieses Netzwerks ausgegeben.

[0323] Weiter werden die Eingaben x_1 , x_2 und x_3 mit einem Gewicht multipliziert, das jedem von drei Neuronen N_{11} bis N_{13} entspricht, und diese werden dann in die Neuronen eingegeben. Die zum Multiplizieren dieser Eingaben verwendeten Gewichte werden gemeinsam hierin als W_1 bezeichnet.

[0324] Die Neuronen N_{11} bis N_{13} geben jeweils entsprechend z_{11} bis z_{13} aus. Mit Bezug auf Fig. 21 werden z_{11} bis z_{13} gemeinsam als Merkmalsvektoren Z_1 bezeichnet und können als Vektoren betrachtet werden, die durch Extrahieren der Merkmalsbeträge von Eingabevektoren erhalten werden. Die Merkmalsvektoren Z_1 werden zwischen den Gewichten W_1 und W_2 definiert. z_{11} bis z_{13} werden mit einem Gewicht multipliziert, das jedem der zwei Neuronen N_{21} und N_{22} entspricht und werden dann in die Neuronen eingegeben. Die zum Multiplizieren dieser Merkmalsvektoren verwendeten Gewichte werden hierin gemeinsam als W_2 bezeichnet.

[0325] Die Neuronen N_{21} und N_{22} geben jeweils entsprechend z_{21} und z_{22} aus. Mit Bezug auf 3 werden z_{21} und z_{22} gemeinsam als Merkmalsvektoren Z_2 bezeichnet. Die Merkmalsvektoren Z_2 werden zwischen den Gewichten W_2 und W_3 definiert. z_{21} und z_{22} werden mit einem Gewicht multipliziert, das jedem von drei Neuronen N_{31} bis N_{33} entspricht, und eingegeben. Die zum Multiplizieren dieser Merkmalsvektoren verwendeten Gewichte werden hierin gemeinsam als W_3 bezeichnet.

[0326] Schließlich geben die Neuronen N_{31} bis N_{33} jeweils entsprechend Ergebnisse y_1 bis y_3 aus. Zusammengefasst verarbeitet ein neuronales Netzwerk eine Mehrzahl von Eingangsdaten und gibt eine berechnete Mehrzahl von Ausgangsdaten aus. Im Kern stellt ein neuronales Netzwerk eine lernfähige Berechnungsfunktion zur Verarbeitung von Eingangsdaten zu Verfügung.

[0327] Diese Berechnungsfunktion ist dabei für vorliegende Anwendung auf eine Biomasse-Heizanlage 1 ein KI-Modell, welches Eingangsdaten von Sensoren der Biomasse-Heizanlage 1 verarbeitet und entsprechende Ausgangsdaten zur Regelung der Aktoren der Biomasse-Heizanlage 1 ausgibt.

[0328] Die Verwendung des neuronalen Netzwerks umfasst dabei zwei Modi:

- einen Lernmodus, und
- einen Wert-Vorhersagemodus, der im Kontext der vorliegenden Biomasse-Heizanlage 1 als Regelmodus bezeichnet wird.

[0329] Beispielsweise wird das Gewicht W unter Verwendung eines Lerndatensatzes im Lernmodus gelernt (bzw. angepasst) und eine Ausgangs- bzw. Regelgröße wird als Ausgang in dem Vorhersagemodus bzw. Regelmodus unter Verwendung des Gewichts W bestimmt.

[0330] Obwohl der Einfachheit halber obenstehend auf "Vorhersage" bzw. ein "Regeln" Bezug genommen wurde, ist selbstverständlich mit einem derartigen neuronalen Netzwerk eine Vielfalt von Aufgaben, wie z.B. Erkennung, Klassifikation und Schlussfolgerung oder Einstellung von Regelparametern möglich. Da aber letztlich alle diese Aufgaben wiederum eine Einstellung der Aktoren der Biomasse-Heizanlage 1 basierend auf erfassten Größen beinhalten, werden diese hierin zusammengefasst als "Regeln" bezeichnet. Als erfasste Größe kommen dabei für eine Regelung nicht nur Größen der Biomasse-Heizanlage 1 in Betracht, sondern auch erfasste Größen / Werte von außerhalb der Biomasse-Heizanlage, beispielsweise Wetterdaten.

[0331] Größen bzw. Sensordaten, die abgerufen werden, während die Biomasse-Heizanlage 1 mit deren Steuervorrichtung 100 im Regelmodus betrieben wird, können dabei auch gleichzeitig und unmittelbar gelernt werden, und können damit in der nachfolgenden Aktion widerspiegelt werden (dies wird auch als "Online-Lernen" bezeichnet, wobei bei dieser Variante Lernmodus und Regelmodus zusammenfallen).

[0332] Oder aber kann eine Gruppe von im Voraus gesammelten Daten verwendet werden, um ein "kollektives Lernen" auszuführen und nachfolgend den Regelmodus unter Verwendung dieser Größen auszuführen (dies wird als Kollektives oder Batch-Lernen bezeichnet und hierin in Bezug auf Fig. 22 näher erörtert). Als Zwischenansatz kann der Lernmodus beispielsweise jedes Mal zwischengeschaltet werden, wenn sich eine bestimmte Datenmenge angesammelt hat.

[0333] Die Gewichte W_1 bis W_3 können im Übrigen durch das Fehlerrückführungsverfahren gelernt werden. Die Information von Fehlern tritt rechts ein und fließt nach links. Das Fehlerrückführungsverfahren wird verwendet, um jedes Gewicht anzupassen (lernen), um die Differenz zwischen der wahren Ausgabe y (Lehrer) und der Ausgabe $\hat{y}$, wenn die Eingabe x eingegeben wird, zu reduzieren. Dies kann auch als Trainieren bzw. Parametrisieren des Modells bezeichnet werden.

[0334] Ein solches neuronales Netzwerk kann auch mehr als drei Schichten aufweisen (dies wird als Deep-Learning

bezeichnet). Ebenso kann die Anzahl der Neuronen anwendungsspezifisch vordefiniert sein. Weiter kann die Art der Vernetzung der Neuronen von vorstehenden Beispiel abweichen.

[0335] Es kann die Steuereinrichtung 100 mit der maschinellen Lerneinheit 101 für maschinelles Lernen insofern ein neurales Netzwerk aufweisen, das als Wertefunktion bzw. KI-Modell verwendet wird.

[0336] Das vorstehend beschriebene neuronale Netzwerk kann damit eine Basis für das maschinelle Lernen bilden, welches nachstehend im Kontext mit der hierin erläuterten Biomasse-Heisanlage 1 beschrieben ist.

[0337] Fig. 22 zeigt ein Blockdiagramm, welches einen Grundkonzept eines Datenflusses bzw. einen Ablaufs eines maschinellen Lernens einer Biomasse-Heisanlage (d.h. den Lernmodus des KI-Modells 104) und der zugehörigen Ausführung des erlernten Modells (d.h. den Regelmodus des KI-Modells 104) darstellt. Dieses Grundkonzept auf die Regelung der Biomasse-Heisanlage 1 angewendet werden, wobei die folgenden Figuren 26 ff. Beispiele für derartige Anwendungen darstellen. Die Figuren 23 und 24 zeigen Ergänzungen zu Fig. 22.

[0338] Im Grundsatz werden im Lernmodus Parameter eines KI-Modells 104 durch einen iterativen Lernvorgang verändert bzw. optimiert. Beispielsweise werden Gewichte eines neuronalen Netzwerks verändert. Allerdings können im Lernmodus beispielsweise auch Parameter betreffend der Grundeinstellung des KI-Modells verändert werden; beispielsweise könnte die Anzahl der Neuronen eines neuronalen Netzes verändert werden.

[0339] Weiter wird im Grundsatz im Regelmodus ein trainiertes KI-Modell mit seinen erlernten (fixen) Parametern verwendet, um aus Eingangswerten bestimmte Ausgangswerte zu berechnen.

[0340] Bei Schritt S20 werden Sensordaten bzw. die von den Sensoren # erfassten Größen zur Verfügung gestellt. Dies kann mittels aktuell erfasster Daten erfolgen (beim online-Lernen) oder aber können gespeicherte Sensordaten als Ausgangsbasis verwendet werden (beispielsweise beim Batch-Lernen). Vorzugsweise werden die Sensordaten in einem Speicher 105, 105a der Steuereinrichtung 100 oder zentralen Recheneinrichtung 190 abgespeichert. Dabei können diese Sensordaten beispielsweise als jeweilige Datensätze für eine physikalischer und/oder chemische Größe über einen vorbestimmten Zeitraum erfasst und im Speicher 105, 105a abgelegt werden.

[0341] In diesem Schritt S20 können diese Daten zudem für das Training als erster Teil der Trainingsdaten vorbereitet werden. Dies kann einerseits maschinell erfolgen, beispielsweise können Referenzdaten automatisch mit den Sensordaten abgespeichert werden, oder aber können diese Trainingsdaten manuell aus den Sensordaten durch Kombination mit einem sog. "Lerninput" aufbereitet werden. Dabei können die Sensordaten durch einen Benutzer/User beispielsweise mit den gewünschten Ergebnissen bzw. den Zielvorgaben als Lerninput versehen werden (diese Ergänzung ist optional). Beispielsweise kann ein Benutzer/User Sensordaten für das Training mit seinem Wissen über die Herkunft der Daten ergänzen. Ein Beispiel hierfür ist die Erkennung bzw. die Klassifizierung von Brennstoff. Die erfassten Sensordaten (bspw. Temperatur, Lambda-Werte, etc.) aus diversen Verbrennungsvorgängen (mit unterschiedlichen Brennstoffen) können von dem Benutzer/User mit der Angabe des Labels des Brennstoffs ergänzt werden. Dabei kann beispielsweise eine Anzahl der Sensordaten mit dem Label "Pellets" ergänzt werden, und eine weitere Anzahl der Sensordaten kann manuell mit dem Label "Hackgut" ergänzt werden. Auch dies kann den Lernvorgang des KI-Modells 104 nochmals optimieren.

[0342] Beispielsweise können dabei Datensätze mit Sensordaten betreffend der Anwendung der Brennstofferkennung von einem User mit ergänzenden Daten betreffend der Brennstoffkennung versehen werden. Hierbei kann somit ein User die Sensordaten mit Ergebnisdaten versehen (beispielsweise wird für einen Satz an Sensordaten angegeben, dass diese Messungen mit Pellets als Brennstoff erfolgten), welche dann zusammengefasst als erster Teil der Trainingsdaten für den nächsten Schritt S21 zur Verfügung gestellt werden.

[0343] Bei Schritt S21 findet eine Datenfilterung statt. Die Datenfilterung dient der zielgerichteten Selektion und -Vorbereitung von Sensordaten und/oder des ersten Teils der Trainingsdaten für das Lernen/Trainieren (Schritt S23) des Modells. Diese Datenfilterung kann auch als Merkmalsextraktion bezeichnet werden.

[0344] Bei der Datenfilterung können vorzugsweise Filtertechniken zum Einsatz kommen, welche die Datenmenge für das Lernen/Trainieren reduzieren. Zudem können (optional) auch Filtertechniken zum Einsatz kommen, welche fehlerhaft erfasste oder zum Lernen/Trainieren nicht gut geeignete Daten entfernt.

[0345] Beispielsweise extrahiert Schritt S21 Daten aus den gespeicherten Daten von Schritt S20 mittels zumindest einem Filter. Ein solcher Filter kann beispielsweise folgendes bewirken:

- Interpolation; beispielsweise das Ersetzen von unerwünschten 0-Werten durch Mittelwerte des Signals (Interpolationsfilter);
- Glättung; beispielsweise durch einen Median- oder Mittelwertfilter;
- Plausibilitätsfilterung; beispielsweise das Entfernen von zu großen oder zu kleinen Messwerten; Beispielsweise wäre es nicht plausibel, wenn ein O₂-Sensor einen Sauerstoffwert von 30% angeben würde (Schwellwertfilter);
- Selektion; Auswahl der zum Lernen bestimmten Daten aus den insgesamt vorhandenen (live-gemessen oder ge-

speichert) Sensordaten (Selektionsfilter);

- Anwendung fortgeschrittener Filtertechniken, wie beispielsweise HOG (Histogram of oriented gradients, vgl. US 4 567 610 A) oder SIFT (Scaleinvariant feature transform).
- Wavelet-Filterung, beispielsweise Haar-Wavelets.

[0346] Die Selektion mittels eines Selektionsfilters ist wohl der wichtigste Punkt der Datenfilterung des Schritts S21. Bei der Datenfilterung durch Selektion werden zunächst grundsätzlich die Sensordaten ausgewählt, die für das maschinelle Lernen verwendet werden sollen. Beispielsweise wird damit vorgegeben, dass Sensordaten nur von bestimmten Sensoren verwendet werden. Folglich wird das KI-Modell mit vordefinierten Sensordaten arbeiten. Zudem kann bei der Selektion auch der genaue Zeitraum der Daten vorgegeben werden.

[0347] Zusammengefasst kann bei Schritt S21 eine Datenfilterung durch Selektion von Sensordaten erfolgen, wobei diese nach Art der Sensordaten und/oder dem Zeitraum der Sensordaten selektiert werden können.

[0348] Weiterhin werden bei Schritt S22 sog. "Labels" zur Verfügung gestellt, falls überwachtes maschinelles Lernen zum Einsatz kommt. Im Fall von nicht-überwachtem maschinellem Lernen ist der Schritt S22 überflüssig. Jedes Label ist, wie schon erläutert, der Name eines bestimmten Konzepts oder Kategorie oder einer bestimmten Klasse an Daten, die das Modell zu erkennen lernt. Ein Label kann beispielsweise die Art des Brennstoffs sein, oder aber beispielsweise das Label "Brennkammertemperatur" sein, womit als Sensordaten mit dem Label "Brennkammertemperatur" alle vom Brennkammertemperatursensor 117 erfassten Sensordaten bezeichnet sind.

[0349] Diese Labels werden noch im Schritt S22 mit den gefilterten Sensordaten bzw. dem ersten Teil der Trainingsdaten zusammengeführt, wobei eine entsprechende Datenmatrix aus Labels und gefilterten und vorbereiteten Sensordaten entsteht. Dabei stellen die Labels den zweiten Teil der Trainingsdaten zur Verfügung.

[0350] Diese Datenmatrix beinhaltet somit die kompletten Trainingsdaten für das KI-Modell 104.

[0351] Schritt S23 betrifft das eigentliche Lernen/Trainieren des Modells. Bei diesem Schritt wird beispielsweise ein vordefiniertes / vorkonfiguriertes neuronales Netzwerk trainiert, welches sich somit in dem Lernmodus befindet. Dabei ist das neuronale Netz in seiner Anzahl der Neuronen (welche in der Programmierung auch als "Nodes" bezeichnet werden) und seiner Anzahl Schichten, je nach Anwendung des Modells, üblicherweise vorbestimmt oder kann an die Anwendung angepasst werden. Beispielsweise können 600 Neuronen in 3 Schichten zum Einsatz kommen. Ist beispielsweise die Komplexität der Anwendung jedoch größer und die Vorhersagegenauigkeit des KI-Modells 104 nicht zufriedenstellend, kann die Anzahl der Neuronen vergrößert werden. Im Kern lernt das KI-Modell durch dessen Input, wie "gut" die vorausgehende Berechnung war und verändert entsprechend seine Parametrierung zur Optimierung seiner Vorhersagegenauigkeit. Nach einer Anzahl von iterativen Lernvorgängen hat sich die Vorhersagegenauigkeit des KI-Modells 104 üblicherweise deutlich verbessert, womit die Parametrierung des KI-Modells 104 optimiert wurde. Diese Parametrierung, beispielsweise die Gewichte des neuronalen Netzes, können als Parameterdaten 106 verarbeitet und gespeichert werden (vgl. Fig. 24 als ein Beispiel hierzu). Damit steckt zu einem guten Teil in den Parameterdaten 106 das Ergebnis des Lernvorgangs. Bei vorbekannten Rahmenbedingungen betreffend das KI-Modell 104 reicht es also im einfachsten Fall aus, nur die Parameterdaten 106 von dem Trainingsmodell zu dem KI-Modell zur Regelung (für den Regelungsmodus) zu übertragen, um das Ergebnis des Lernvorgangs im Lernmodus effektiv weiterzugeben.

[0352] Als Ergebnis des Schritts S23, dem Trainieren des Modells, entsteht ein parametriertes Modell, welches als solches in Schritt S24 gespeichert wird. Dieses Modell ist vorzugsweise ein parametriertes neuronales Netzwerk mit dessen Gewichtungen. Dabei sind die Grundparameter des neuronalen Netzwerks grundsätzlich vorgegeben, allerdings verändern sich in Schritt S23 die Gewichte bzw. Gewichtungen des neuronalen Netzwerks. Damit sind die Gewichtungen des neuronalen Netzwerks variable Parameter des Modells, welche mit dem Lernen anwendungsspezifisch verändert werden.

[0353] Fig. 24 zeigt beispielhaft einen Auszug aus Parameterdaten, welchen die Gewichte eines parametrierten neuronalen Netzes wiedergeben. Dabei steht eine Zahl für ein Gewicht des neuronalen Netzes. Durch die Position der Zahl in den Daten ist gleichzeitig die Position des Gewichts im neuronalen Netz bezeichnet. Damit reicht eine Speicherung der Parameterdaten beispielsweise als Array oder als String in der gezeigten Art aus, um die variablen Parameter des neuronalen Netzes ausreichend zu definieren. Im Übrigen können Parameterdaten aber auch weitere Parameter, beispielsweise die Anzahl der erforderlichen Schichten beinhalten.

[0354] In Schritt S25 der Fig. 22 wird eine Evaluierung des Modells vorgenommen. Dies kann entweder automatisch erfolgen (beispielsweise ist eine gewünschte Genauigkeit nicht erreicht) oder aber erfolgt eine manuelle Evaluierung durch einen User.

[0355] Die Schritte S23, S24, S25 und optional S21 werden iterativ (in zumindest zwei Durchläufen, eher in dutzenden oder gar hunderten an Durchläufen bzw. sog. Epochen) durchgeführt, wobei das Lernen / Trainieren des Modells wiederholt wird, um die Genauigkeit / Vorhersagequalität des Modells zu verbessern. Diese Iteration führt üblicherweise nach der Evaluierung des Schritts S25 zurück zum erneuten Trainieren des Schritts S23. Allerdings kann die Evaluierung

des Modells auch ergeben, dass beispielsweise Sensordaten eines weiteren Sensors erforderlich sind oder, dass Filterparameter angepasst werden müssen. Insofern kann in Ausnahmefällen die Iteration auch zu Schritt S21 zurückführen.

[0356] Diesbezüglich zeigen die Figuren 23a und 23b Beispiele von Lernkurven als Ergebnis des iterativen Lernen / Trainieren des Modells, welche vorliegend bei einem Training des Modells einer Brennstofferkennung der Biomasse-Heizanlage mit Datensätzen von dieser Anlage gewonnen wurden. Die Horizontalachse "Epoche" bezieht sich auf die Anzahl der Iterationen, wobei eine (1) "Epoche" einen (1) Durchlauf beim Trainieren des Modells bezeichnet. Die Vertikalachse "Kreuzentropie" bezeichnet allgemein erläutert die Genauigkeit des Modells; je kleiner der Wert auf dieser Achse, desto besser bzw. genauer ist es.

[0357] Die Kreuzentropie ist in der Informationstheorie und der mathematischen Statistik ein Maß für die Qualität eines Modells für eine Wahrscheinlichkeitsverteilung. Eine Minimierung der Kreuzentropie in Bezug auf die Modellparameter kommt einer Maximierung der Log-Likelihood-Funktion gleich. Die durchgezogene Linie zeigt die Kreuzentropie des Trainings und die gestrichelte Linie die Kreuzentropie der Validierung.

[0358] Der Effekt des wiederholten Trainierens des Modells ist aus dieser Figur ersichtlich: Die Vorhersagegenauigkeit des Modells steigt mit der Anzahl der Trainingsdurchläufe. Anzumerken ist, dass das Trainieren umso effektiver ist, je größer die Anzahl der verfügbaren Lerndaten für jede Iteration (für jede Epoche) ist.

[0359] Wird beim Durchführen der Iterationen festgestellt, dass das KI-Modell ausreichend genau ist, wird das Training beendet. Im Ergebnis des iterativen Prozesses der Fig. 22, welcher im oberen Drittel der Fig. 22 dargestellt ist, besteht ein parametrisiertes KI-Modell für eine spezifische Anwendung.

[0360] Die trainierten Parameter, d.h. Parameterdaten 106, oder auch das gesamte KI-Modell 104 wird/werden dann an die Steuereinrichtung 100 der Biomasse-Heizanlage 1 übergeben. Diese kann dann eine optimierte Regelung der Biomasse-Heizanlage 1 vornehmen. Im Einzelnen:

Bei Schritt S30 werden Sensordaten bereitgestellt. Diese können entweder direkt von Sensoren im Betrieb durch Erfassung zumindest eines physikalischen und/oder chemischen Parameters bereitgestellt werden, oder aber können erfasste Sensordaten aus dem Speicher 105, 105a der Steuereinrichtung 100 (in welchen diese zwischen gespeichert sind) abgerufen werden.

[0361] Die bereitgestellten Sensordaten werden im folgenden Schritt S31 wiederum einer Datenfilterung unterzogen. Dieser Schritt S31 entspricht üblicherweise dem Schritt S21, worauf verwiesen wird. Hierbei entsteht ein Datenvektor bzw. Merkmalsvektor mit den gefilterten Daten dem KI-Modell 104. Dieser Datenvektor wird dem KI-Modell 104 im Regelmodus zugeführt. Dabei bleiben die Gewichte des Modells üblicherweise unverändert. Mit Hilfe des KI-Modells wird ein Modellergebnis berechnet, welches im folgenden Schritt S40 verwendet wird.

[0362] In Schritt S40 wird das Modellergebnis in konkrete Anweisungen zur Steuerung zumindest eines Aktors der Biomasse-Heizanlage 1 umgesetzt. Wenn das Modellergebnis beispielsweise eine bestimmte Brennstoffart als erkannt angibt, werden entsprechende Voreinstellungen (beispielsweise eine Stellung eines Ventils 52 der Rezirkulationseinrichtung 5), abgerufen.

[0363] Mit diesen Anweisungen findet dann in Schritt S41 ein Einstellen / Ansteuern von zumindest einem Aktor der Biomasse-Heizanlage 1 statt.

[0364] Aufgrund der Einstellung des zumindest einen Aktors der Biomasse-Heizanlage 1 kann sich nunmehr auch zumindest eine physikalische oder chemische Größe in der Biomasse-Heizanlage 1 ändern.

[0365] Beispielsweise kann sich aufgrund der Änderung einer Stellung eines Ventils 52 der Rezirkulationseinrichtung 5 die Temperatur in der Brennkammer 24 ändern. Insofern werden sich wiederum Sensordaten betreffend der Brennkammertemperatur ändern. Damit liegt ein Regelkreis vor, womit mittels des KI-Modells eine Regelung der Biomasse-Heizanlage 1 erfolgen kann.

[0366] Um die Regelung der Biomasse-Heizanlage 1 besser zu erläutern, wird nachstehend mit Bezug auf Fig. 25 ein Verbrennungsbetrieb bzw. ein Betriebsverfahren der Biomasse-Heizanlage 1 erläutert.

[0367] Nach einen Start des Verbrennungsbetriebs, üblicherweise durch Einschalten der Biomasse-Heizanlage 1 durch einen Nutzer oder durch eine externe Automatik, kann zunächst bei dem optionalen Schritt S50 ein Vorbereiten des Verbrennungsvorgangs erfolgen.

[0368] Bei dem Vorbereiten des Schritts S50 kann die Biomasse-Heizanlage 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-Heizanlage durch Öffnen der Primärluft- und Sekundärluftventile mit Luft gespült. Dann werden die Luftschieber geschlossen und die Rauchgasrezirkulationsleitung wird gespült.

[0369] 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.

[0370] 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 Sekundärventile 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.

[0371] 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.

[0372] 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.

[0373] In Schritt S54 kann optional zumindest eines der folgenden Regelungskonzepte der Biomasse-Heisanlage 1 zum Einsatz kommen:

- Unterdruckregelung

[0374] Es muss immer ein ausreichend hoher Brennkammerunterdruck aufrechterhalten werden, damit (i) die Primär- und die Sekundärverbrennungsluft von außen und das rezirkulierte Rauchgas aus der Rauchgasleitung angesaugt werden können und (ii) kein Überdruck entsteht, bei dem Rauchgase über die Zuluftöffnungen und etwaige Undichtheiten in den Aufstellungsraum entweichen können.

- O₂-Regelung bzw. Lambda-Regelung

[0375] Um eine schadstoffarme Verbrennung zu gewährleisten, muss der Kessel bei einem gewissen Luftüberschuss betrieben werden. Das so genannte Verbrennungsluftverhältnis (= zugeführte Luftmenge dividiert durch die für die Verbrennung des Brennstoffes unter stöchiometrischen Bedingungen minimal benötigte Luftmenge) muss somit größer als 1 sein. Es sollte aber auch möglichst niedrig gehalten werden, da mit steigendem Luftüberschuss der feuerungstechnische Wirkungsgrad des Kessels absinkt.

[0376] Üblicherweise werden Biomassekessel bei Verbrennungsluftverhältnissen zwischen 1,5 und 2,3 betrieben (entspricht Sauerstoffgehalten im trockenen Rauchgas zwischen 7 und 12 Vol%). Durch das besonders effiziente, mit CFD-Simulationen optimierte, Feuerraum- und Verbrennungslufteindüsungskonzept, können mit der vorliegenden Biomasse-Heisanlage 1 deutlich niedrigere Verbrennungsluftverhältnisse erzielt werden, die typischerweise zwischen 1,3 und 1,75 (bzw. 5 und 9 Vol% O₂ im trockenen Rauchgas) liegen. Eine solche Regelung kann mittels maschinellem Lernen deutlich optimiert werden.

- Leistungsregelung

[0377] Die Aufgabe der Leistungsregelung ist es, die Aktoren des Kessels 11 so einzustellen, dass die im Kessel erzeugte Wärmemenge der vom Abnehmer angeforderten Wärmemenge entspricht. Dazu wird ein Sollwert für die Kesseltemperatur (=Vorlauftemperatur) definiert (z.B.: 85°C). Steigt die Wärmeabnahme durch die Verbraucher, so sinkt bei gleich bleibender Kesselleistung die Vorlauftemperatur, sinkt die Wärmeanforderung so steigt die Vorlauftemperatur. Es wird somit die Kesselleistung so angepasst, dass diese Soll-Vorlauftemperatur möglichst konstant gehalten werden kann. Dies geschieht über Anpassung der Brennstoffzufuhr sowie über Anpassung der in das Brennstoffbett aufgegebenen Primärverbrennungsluft. Die Einstellwerte für diese Parameter sind stark von der Brennstoffqualität (Stückigkeit, Wassergehalt, Heizwert, Energiedichte) anhängig. In Abhängigkeit der errechneten angeforderten Kesselleistung (in %

der maximalen Leistung) wird auf Basis der Vorgabewerte für den Brennkammerunterdruck bei maximaler und minimaler Leistung der Sollwert für den Brennkammerunterdruck über einen linearen Abgleich zwischen Leistung und Unterdruck berechnet. Die Drehzahl des Gebläses 15 kann beispielsweise stufenlos über einen PID-Regler so angepasst werden, dass der gemessene Unterdruck in der Brennkammer 24 dem Sollwert entspricht. Da der Unterdruck sich durch für Biomasse typische Schwankungen im Verbrennungsprozess ständig ändert, schwingt der Istwert des Unterdrucks in geringem Ausmaß um den Sollwert. Eine solche Regelung kann mittels maschinellern Lernen deutlich optimiert werden.

- Brennstoffflexible Leistungsregelung

[0378] Zudem kommt bei der vorliegenden Biomasse-Heisanlage 1 eine brennstoffflexible Leistungsregelung zum Einsatz.

[0379] Wird die Feuerungsleistung erhöht, so wird durch den höheren Brennkammerunterdruck und die höhere Öffnung des Primärluftschiebers mehr Verbrennungsluft in den Rostbereich eingebracht, was zu einem schnelleren Abbrand des Brennstoffbettes führt. Dadurch sinkt bei konstantem Brennstoffeinschub die Brennstoffbetthöhe ab. Die Geschwindigkeit dieses Höhenverlustes hängt auch von der Schüttdichte, der Stückigkeit und vom Wassergehalt des Brennstoffes ab.

[0380] In konventionellen Regelungsstrategien wird auf eine Laständerung mit einer Änderung des Brennstoffeinschubs über die Taktung der Brennstoffzufuhr reagiert, wobei die Anpassung üblicherweise linear zwischen den Einstellwerten für die maximale und die minimale Leistung passiert. Dadurch kann nicht ausreichend genau auf Änderungen der Brennstoffqualität (Schüttdichte, Wassergehalt) reagiert werden.

[0381] Bei der vorliegenden Biomasse-Heisanlage 1 hingegen erfolgt eine brennstoffabhängige Anpassung des Brennstoffeinschubs unter Berücksichtigung der Brennstoffqualität und der Leistungsanforderung. Die Taktung des Brennstoffeinschubs kann dabei so geändert werden, dass die von der Brennstoffbettsensor gemessene Brennstoffbetthöhe in einem (für jede Brennstoffart gesondert) vorgegebenen Höhenbereich verbleibt.

[0382] Die Anpassung der Brennstoffeinschubtaktung erfolgt dabei schrittweise in definierten Zeitintervallen (z.B.: 120 Sekunden). Dabei werden in erster Linie die Pausenzeiten verlängert oder verkürzt. Überschreitet die Zykluszeit (Summe aus Betriebszeit und Pausenzeit) im Schwachlastbetrieb einen bestimmten Wert, so wird auch die Betriebszeit des Einschubs zurückgenommen. Dadurch ergibt sich für dieselbe Laufzeit der Brennstoffzufuhr pro Minute (= derselbe eingebrachte Brennstoffmassenstrom) eine aliquot verkürzte Pausenzeit. So wird vermieden, dass zwischen zwei Einschüben zu hohe Pausenzeiten entstehen, die die Reaktionsfähigkeit der Regelung negativ beeinflussen würden.

[0383] Änderungen bei der Lastanforderung und damit verbundenen Änderungen der Primärluftzufuhr wirken sich erst zeitlich (um einige Minuten) verzögert in Form eines Absinkens oder Ansteigens der Brennstoffbetthöhe aus. Deshalb wird die Brennstoffeinschubtaktung bei diesem Regelungskonzept vorausschauend geändert, wenn der Gradient der Kesseltemperaturänderung über die Zeit (Indikator dafür wie stark ausgeprägt eine Ansteigen oder Abfallen der Lastanforderung ist) ein gewisses Niveau erreicht. In diesem Fall erfolgt auch eine prozentuell stärkere Änderung des Brennstoffeinschubs (konkret der Pausenzeit).

[0384] Eine solche Regelung kann mittels maschinellern Lernen zudem nochmals deutlich optimiert werden.

- Brennstoffabhängige Maximallastanpassung

[0385] Bei herkömmlichen Regelungen müssen die Einstellungen der Aktoren für die minimale und die maximale Leistung für unterschiedliche Brennstoffqualitäten manuell durch den Benutzer (über eine manuelle Auswahl eines Brennstoffes) vorgegeben werden. Würde das nicht geschehen, dann kann zum Beispiel der Fall eintreten, dass die Verbrennung eines Brennstoffs mit niedrigem Wassergehalt mit den Einstellungen, die für einen Brennstoff mit hohem Wassergehalt gelten, geregelt wird. Dabei würde ein höherer Brennstoffumsatz und somit eine zu hohe Leistung erzielt werden. Dies resultiert in zu hohen thermischen Feuerraumbelastungen, die die Standzeit der Anlage verringern (Materialbelastung erhöhen) und erhöhte Emissionen bedingen können.

[0386] Bei der vorliegenden Biomasse-Heisanlage kann die Vorgabe für die Stellung des Primärluftventils und den Brennkammerunterdruck bei Maximalleistung für einen Hackgutbrennstoff üblicher Qualität (Auslegungsbrennstoff), das heißt, mit einem Wassergehalt im oberen Drittel des erlaubten Brennstoffspektrums erfolgen. Eine entsprechende Brennstofferkennung wird mittels der Fig. 26 näher erläutert.

[0387] Der Schritt S54 wird beendet, wenn beispielsweise genügend Wärmeleistung zur Verfügung gestellt wurde.

[0388] 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, das Gebläse 15 entsprechend eingestellt werden. Am Ende des Ausbrennens erfolgt eine Abreinigung des Drehrosts 25 durch entsprechendes Drehen bzw. Öffnen der Drehrostelemente.

[0389] Nach Beendigung des Schritts S55 kann das Verfahren deaktiviert werden (ENDE), oder aber kann das Ver-

fahren nach einiger Zeit erneut zu Schritt S50 übergehen, womit ein erneuter Heizzyklus beginnt.

(Brennstofferkennung)

[0390] Fig. 26 zeigt ein schematisches Diagramm einer beispielhaften Anwendung des maschinellen Lernens zur Erkennung bzw. Klassifizierung des Brennstoffs der Biomasse-Heisanlage 1. Die Figuren 27a, 27b und 27c zeigen entsprechend Sensordaten von Sensoren, welche für diese Anwendung verwendet werden (zum Training und zum Vorhersagen). Dabei bezeichnet das Kürzel "HK" (für Hackgut) Sensordaten von der Erfassung von Hackgut, und es bezeichnet das Kürzel "PL" (für Pellets) Sensordaten von der Erfassung von Pellets.

[0391] Als Sensordaten für das KI-Modell 104 kommen vorliegend zumindest 2 der folgenden Größen zum Einsatz:

- O₂, erfasst durch die Lambda-Sonde 112; und
- Abgastemperatur, erfasst durch den Abgastemperatursensor 111; oder
- Brennkammertemperatur, erfasst durch den Brennkammertemperatursensor 117

[0392] Diese Größen können bevorzugt in einem Zeitraum erfasst werden, der von der Zündung (d.h. von der Aktivierung der Zündeinrichtung 201) bis zum Erreichen eines Schwellwerts von vorzugsweise 16% O₂ definiert ist. Alternativ kann auch ein längerer Zeitraum verwendet werden.

[0393] Sensordaten, welche aus beispielhaften Erfassungen mit einer Biomasse-Heisanlage 1 stammten, sind in den Figuren 27a, 27b und 27c gezeigt. Alle Temperaturdiagramme der Figuren 27a, 27b und 27c zeigen den gleichen Zeitraum und resultieren jeweils für Pellets und Hackgut aus einem Verbrennungsvorgang nach Zündung in der Biomasse-Heisanlage 1.

[0394] Dabei zeigt die Fig. 27a rein beispielhaft den Verlauf einer Temperatur des Abgases nach der Zündung von Hackschnitzeln (HK) und im Vergleich dazu von Pellets (PL) (vgl. Horizontalachse, Zündung erfolgt zum Zeitpunkt 0) in einem Ausschnittszeitraum. Die Abgastemperaturen wurden jeweils mit dem Abgastemperatursensor 111 erfasst. Beide Temperaturdiagramme von Hackgut und Pellets zeigen den gleichen Zeitraum nach Zündung (die Erweiterung der Horizontalachse wurde bei dem Temperaturdiagramm betreffend Pellets nur der Übersichtlichkeit halber weggelassen)

[0395] Es verhalten sich die Temperaturkurven beider Brennstoffe der Fig. 27a im gleichen (beispielhaften) Erfassungszeitraum von ca. Sekunde 600 bis ca. Sekunde 1000 unterschiedlich.

[0396] Die Fig. 27b zeigt rein beispielhaft für den gleichen Zeitraum wie Fig. 27a vergleichend die entsprechenden Sauerstoffgehaltskurven, welche mit der Lambda-Sonde 112 ermittelt wurden, für Pellets und Hackgut. Hier zeigt sich, dass die entsprechenden Temperaturkurven recht ähnlich verlaufen.

[0397] Die Fig. 27c wiederum zeigt rein beispielhaft für den gleichen Zeitraum wie Fig. 27a vergleichend die entsprechenden Brennkammertemperaturkurven, welche mit der Brennkammertemperatursonde 117 ermittelt wurden, für Pellets und Hackgut. Hier sind trotz ähnlichen Kurvenverlaufs klare Unterschiede in der Temperatur festzustellen. Beispielsweise endet die Temperaturkurve betreffend des Hackguts (HK) bei ca. 900°C, während die Temperaturkurve betreffend der Pellets (PL) bei ca. 1150°C endet

[0398] Mit diesen Beispielen der Figuren 27a, 27b und 27c wird nochmals veranschaulicht, was unter Sensordaten verstanden werden kann. Es handelt sich bei vorliegendem Beispiel um Sensordaten, welche über einen Zeitraum erfasst werden und eine physikalische oder chemische Größe wiedergeben. Beispielsweise beinhalten die Sensordaten des Abgastemperatursensors 111 die Temperatur des Abgases über den Verlauf der Zeit.

[0399] Dabei kann der Zeitraum der Sensordaten je nach Anwendung vorteilhaft auf einen Zeitraum beschränkt werden, der besonders charakteristisch für die Anwendung ist. Es hat sich beispielsweise gezeigt, dass die Art des Brennstoffs insbesondere nach dessen Zündung zu charakteristischen und damit für eine KI gut unterscheidbaren Sensordaten führt.

[0400] Bezugnehmend auf Fig. 26 können diese derart nach Zeit und Quelle (Sensor) selektierten Sensordaten zum Training des KI-Modells 104 als auch zur Ausführung des KI-Modells 104 im laufenden Betrieb des Kessels 11 verwendet werden, um eine Klassifizierung des Brennstoffs vorzunehmen.

[0401] Die Erprobung durch den vorliegenden Erfinder hat gezeigt, dass ein Training mit Sensordaten der Verbrennung von unterschiedliche Brennstoffen und ebenso mit Sensordaten von (gleichen) Brennstoffen unterschiedlicher Qualität zu einem KI-Modell 104 führt, welche gute Vorhersagen über die Art des Brennstoffs und dessen Qualität treffen kann.

[0402] Folglich kann diese Klassifizierung nicht nur die generelle Art des Brennstoffs betreffend, sondern den Brennstoff grob in dessen Qualität (insb. dessen Wassergehalt) einteilen.

[0403] Diesbezüglich anzumerken ist, dass während des Trainings einem Klassifizierungsmodell die in Fig. 26 gezeigten Sensordaten (bzw. der Sauerstoffgehalt des Abgases der Biomasse-Heisanlage und zumindest eine der beiden in Fig. 26 dargestellten weiteren Größen) und auch die zugehörigen Labels zugeführt werden. Diese Labels sind in Fig. 26 der Übersichtlichkeit halber nicht gesondert dargestellt, da diese im Kontext der jeweiligen erfassten Größe selbst-

verständlich schon enthalten sind.

[0404] Bei ausreichend vorhandenen Trainingsdaten (häufig Hunderte oder Tausende von Sensordaten oder gar Datensätzen pro Label) kann ein Klassifizierungsmodell lernen, vorherzusagen, ob neue Daten zu einer der Klassen gehören, für die es trainiert wurde. Dieser Vorhersageprozess wird Inferenz genannt.

[0405] Wenn man anschließend beim Verwenden bzw. Vorhersagen neue bzw. aktuelle Sensordaten als Eingabe für das Modell bereitstellen, werden vom trainierten Modell Wahrscheinlichkeiten betreffend der Sensordaten ausgegeben, wobei diese für jedes Label ausgegeben werden, für die es trainiert wurde. Eine Beispielausgabe des trainierten Modells bzw. der KI könnte wie folgt lauten:

Label 1: 80%
Label 2: 15%
Label 3: 5%

[0406] Jede Zeile dieses Beispiels entspricht einem Label der Trainingsdaten (d.h. dem zweiten Teil der Trainingsdaten). Mittels dieser Ausgabe der Wahrscheinlichkeiten kann entsprechend die Klassifikation mit der höchsten Wahrscheinlichkeit ermittelt werden. In diesem Fall würde das Label 1 klassifiziert bzw. erkannt werden. Dabei könnte Label 1 beispielsweise Pellets, Label 2 für Hackschnitzel und Label 3 für Elefantengras stehen, womit bei vorliegendem Beispiel Pellets als Brennstoff erkannt werden würde.

[0407] In anderen Worten wird das regelmäßig statistisch einzuordnende Vorhersageergebnis des KI-Modells 104 durch die Steuereinrichtung derart ausgewertet, dass das Ergebnis mit der größten Vorhersagewahrscheinlichkeit als Endergebnis des Modells 104 verwendet wird.

[0408] Als weitere Label könnten nun betreffend der Qualität des Brennstoffs weitere Label namens "Brennstoffqualität 1 ... 10" verwendet werden, welches beispielsweise auf einer Skala von 1 bis 10 (von schlecht bis sehr gut) ein Indikator für die Qualität des Brennstoffs ist. Damit könnten dem KI-Modell 104 weitere Label in dem zweiten Teil der Trainingsdaten zu Verfügung gestellt werden, um den Brennstoff noch genauer zu klassifizieren. Das gleiche gilt im Übrigen auch für die vom KI-Modell ausgegebenen Zahlenwerte, welche ebenso nach Label (z.B. Sauerstoffgehalt 16,1% (Vol-%), Sauerstoffgehalt 16,2%, Sauerstoffgehalt 16,3"...) mit deren Wahrscheinlichkeiten ausgegeben werden.

[0409] Derartige Label werden in den Beispielen der Fig. 28 ff. nicht gesondert erwähnt, da sich diese wie selbstverständlich aus der Art der Sensordaten bzw. aus den jeweiligen Angaben ergeben. Allerdings sind diese dann entsprechend in die Fig. 28 ff. hineinzulesen.

[0410] Eine der hervorzuhebenden Eigenschaften der vorliegenden Biomasse-Heizanlage 1 ist es nun, dass diese hybrid befeuerbar sein soll. Damit können unterschiedlichste kohlenstoffbasierte Festbrennstoffe zum Einsatz kommen, beispielsweise Hackschnitzel oder Pellets, aber beispielsweise auch Schilfgras (*Miscanthus* bzw. Elefantengras) oder Olivenschalen.

[0411] Die vorgenannten Brennstoffe weisen üblicherweise ein stark unterschiedliches Brennverhalten auf. Derartige biogene Brennstoffe verbrennen aufgrund Ihrer natürlichen Herkunft regelmäßig nicht in der gleichen Weise, obwohl es mittlerweile auch etliche Normen betreffend Brennstoffen, beispielsweise Pellets, gibt. So kann (auch bei genormten Brennstoffen) die Länge, der Staubanteil, die Holzart, etc. des Brennstoffs schwanken. Zudem kann die Konsistenz oder der Wassergehalt des Brennstoffs stark variieren. Dies kann beispielsweise auch von einer unsachgemäßen Lagerung oder einer nicht qualitätsgesicherten Herstellung des Brennstoffs herrühren.

[0412] Allerdings bestimmt die Art des Brennstoffs die Regelparameter der Biomasse-Heizanlage 1 maßgeblich, was wiederum Verbrennungsvorgang stark beeinflusst. Beispielsweise beeinflusst oder bestimmt die Erkennung des Brennstoffs den Betrieb der Aktoren des Kessels 11, beispielsweise die Regelparameter der Luftventile, die Materialzufuhrmenge des Brennstoffs oder auch den Reinigungsvorgang des Kessels 11 (bspw. Reinigungsintervalle und -intensität). Damit führt eine fehlerhafte Erkennung des Brennstoffs üblicherweise zu einer Verringerung der Effizienz der Biomasse-Heizanlage 1 bis hin zu Störungen der Biomasse-Heizanlage 1 im Betrieb, beispielsweise durch verstärkte Verschlackung.

[0413] Eine falsche Materialerkennung kann zudem zu einer Verzögerung des Anfahrens des Kessels 11 bzw. zu einer langen Startzeit, einem schnellen Leistungsabfall und einem Leistungsverlust führen.

[0414] Allerdings haben herkömmliche Biomasse-Heizkessel 1 ein großes Problem darin, die Art (und Qualität) des Brennstoffs korrekt zu klassifizieren, da sich diese üblicherweise rein auf punktuelle Messungen der Lambdasonde verlassen. Dabei wird die Art des Brennstoffs bei herkömmlichen Biomasse-Heizanlagen 1 regelmäßig nur mittels des Sauerstoffgehalts des Abgases/Rauchgases und zugehöriger Schwellwerte im stationären Betrieb, beispielsweise nach 30 Minuten oder mehr, ermittelt. Versuche haben gezeigt, dass diese rudimentäre Umsetzung einer Brennstofferkennung eine vergleichsweise hohe Fehlerwahrscheinlichkeit aufweist und zudem bei mehr als zwei Brennstoffen zur Klassifikation mangels Zuordenbarkeit der Sauerstoffmessung zu einem bestimmten Brennstoff auch ganz versagen kann.

[0415] Zudem wird mit dieser Art und Weise der Brennstofferkennung der Brennstoff verzögert ermittelt, womit schon das Anfahren des Kessels 11 mit fest eingestellten Parametern erfolgt, und somit eine Anpassung der Regelung des

Kessels 11 an die Art des Brennstoffs nachteilhaft erst zu einem späten Zeitpunkt des Verbrennungsvorgangs erfolgen kann.

[0416] Mittels dem KI-Modell 104 zur Klassifizierung des Brennstoffs der Biomasse-Heisanlage 1, welches mit den im Kontext mit Fig. 26 erläuterten Sensordaten arbeitet, kann die Erkennungsgenauigkeit bzw. Klassifizierungsgenauigkeit des Brennstoffs deutlich verbessert werden.

[0417] Mit dem Ergebnis der Klassifizierung des Brennstoffs kann einerseits die Art des Brennstoffs bestimmt werden, und optional auch die Qualität des Brennstoffs. Damit wiederum werden diverse Grundeinstellungen der Biomasse-Heisanlage 1 bestimmt. Beispielsweise können die diversen Grundeinstellungen (beispielsweise Ventilgrundstellungen der Ventile 52, Gebläsearbeitsbereiche des Gebläses 15, etc.) in der Steuereinrichtung 100 pro Art (und Qualität) des Brennstoffs vorgespeichert sein. Bei erfolgter Klassifizierung des Brennstoffs werden diese Grundeinstellungen abgerufen und angewandt.

[0418] Für die Figuren 28 ff. gilt, dass die vorstehend in Bezug auf die Fig. 18 bis 27 erläuterten Grundlagen gelten und diese nicht wiederholt dargelegt werden. Betreffend der für das KI-Modell 104 jeweils genannten Sensordaten bzw. physikalischen oder chemische Größen gilt, dass die in den Fig. 1 bis 27 genannten Sensoren zur Erfassung zum Einsatz kommen. Die entsprechend zur Verfügung gestellten Sensordaten werden ebenso zum Training und zur Ausführung des KI-Modells 104 verwendet.

[0419] Fig. 28 zeigt ein Verfahren zur Materialerkennung -/Klassifizierung von Brennstoff der Biomasse-Heisanlage 1 mit einem KI-Modell 104;

[0420] Erfasst werden können das Lambda des Abgases, die Brennkammertemperatur, die Rauchgastemperatur, und ergänzend zur Erhöhung der Genauigkeit des Modells die Zeitdauer von der Zündung bis zum Erreichen einer vordefinierten Brennkammertemperatur und die Zeitdauer von der Zündung bis zum Erreichen einer vorbestimmten Brennstoffbetthöhe.

[0421] Fig. 29 zeigt ein Verfahren zur Brennstoffbetthöhenregelung der Biomasse-Heisanlage 1 der Fig. 1 bis 24 mit einem KI-Modell 104.

[0422] Einem KI-Modell 104 zur Brennstoffbetthöhenregelung werden zum einen ein voreingestellter Soll-Brennstofffüllgrad und zum anderen Sensordaten von zumindest einer der folgenden Größen zur Verfügung gestellt: Lambda bzw. O₂, Brennkammertemperatur, Rauchgastemperatur, Zündungszeit (d.h., die Zeit von der Initiierung der Zündung bis zum Erreichen einer vorbestimmten Temperatur in der Brennkammer) und Füllzeit (d.h. die Zeit vom Beginn des Einschubs an Brennstoff in eine leere Brennkammer bis zum Erreichen einer vorbestimmten Brennstoffbetthöhe).

[0423] Jede der vorgenannten Größen bzw. die daraus resultierenden Sensordaten kann / können in einer der in Fig. 25 genannten Phasen oder auch in mehreren davon erfasst werden. Besonders vorteilhaft hat sich als Zeitraum für die Sensordaten die Phase der (Regel-) Verbrennung (Schritt S54) erwiesen, in welchen die Brennstoffbetthöhe am besten recht konstant auf einem "Idealwert" gehalten werden soll, um die zur Verfügung gestellte Brennstoffmenge und damit Brennstoffenergie konstant zu halten.

[0424] Das Ergebnis der Ausführung des KI-Modells 104 im Training bzw. beim "Lernen" (d.h. im Trainingsmodus, welcher hierin als Lernmodus bezeichnet wird) und im laufenden Betrieb (d.h. im Regelmodus) kann vorzugsweise als Regelparameter einem Regelalgorithmus 107 zugeführt werden, welcher den Motor 66 der Brennstoffzufuhr 66 ansteuert und von dem Hözensensor 116 die Höhe des Brennstoffbetts mitgeteilt bekommen. Ein solcher Regelalgorithmus 107 kann ein herkömmlicher P, PI, PID, PD Algorithmus sein, bei welchem jedoch (im Unterschied zum Stand der Technik) einer der Regelparameter durch den (weiteren) Regelparameter des KI-Modells 104 zumindest beeinflusst wird. Beispielsweise kann das Ergebnis des KI-Modells 104 der P, der I oder der D-Anteil des Regelalgorithmus oder zumindest ein Teil davon sein (beispielsweise kann ein P-Anteil des KI-Modells in einem vordefinierten Wertebereich zu einem vordefinierten Offset hinzuaddiert werden). Damit kann beispielsweise der P-Anteil oder auch der I-Anteil eines PID Algorithmus von dem KI-Modell 104 stammen. Zudem können auch alle Regelparameter des Regelalgorithmus 107 vom KI-Modell 104 stammen.

[0425] Anzumerken ist, dass der Regelalgorithmus 107 auch bei allen anderen hierin erläuterten Regelungen zum Einsatz kommen kann (vgl. Fig. 18 bis 34). Insofern kann das Ergebnis der Berechnung des KI-Modells 104 einerseits direkt zur Steuerung eines Aktors etc. verwendet werden (beispielsweise kann der Kessel 11 an oder ausgeschaltet werden) oder andererseits kann das Ergebnis der Berechnung des KI-Modells 104 als Eingangsgröße für einen Regelalgorithmus 107 dienen, welcher Regelungsberechnungen durchführt. Alternativ kann das Ergebnis der Berechnung des KI-Modells 104 auch zur Einstellung von Grundeinstellungen (beispielsweise Regelungsbereiche der Luftventile 52, Abreinigungsintervalle, etc.) der Biomasse-Heisanlage 1 verwendet werden. Ein Fall hierfür wäre beispielhaft das Ergebnis der Klassifizierung des Brennstoffs. Ist ein bestimmter Brennstoff erkannt, wird ein dem Brennstoffentsprechendes Reinigungsintervall eingestellt.

[0426] Herkömmliche Regelalgorithmen, welche ohne einen zusätzlichen Input eines KI-Modells arbeiten, führen zu starken Schwankungen bei der Höhe des Brennstoffbetts, da diese zu grob, zu ungenau und/oder zeitlich unangepasst sind. Mittels des KI-Modells 104 kann die Biomasse-Heisanlage 1 "lernen", die Höhe des Brennstoffbetts unter Berücksichtigung der Besonderheiten der Anlage (d.h., unter Berücksichtigung der Art des Brennstoffs und der Spezifika

der Biomasse-Heisanlage 1 an sich) besser zu regeln. Insbesondere kann mit der KI ermittelt werden, welcher Füllstand erforderlich ist, um die gewünschte Energieklasse des Kessels 11 zu erreichen, indem die Parameter von jetzt und von früheren Daten verwendet werden.

[0427] Fig. 30 zeigt ein Verfahren zur Lambda-Regelung bzw. zur Sauerstoffgehaltsregelung des Abgases der Biomasse-Heisanlage der Fig. 1 bis 24 mit einem KI-Modell. Das Ziel des Verfahrens ist eine optimierte Lambda-Regelung der Biomasse-Heisanlage 1. Der Lambda-Wert bzw. Sauerstoff(rest)gehalt des Abgases ist, wie schon erläutert, ein maßgeblicher Faktor, der die Qualität und Effizienz des Verbrennungsvorgangs beeinflusst. Damit wird vorliegend mit dem KI-Modell 104 der Verbrennungsvorgang in der Biomasse-Heisanlage 1 optimiert.

[0428] Einem KI-Modell 104 zur Lambda-Regelung werden Sensordaten von zumindest einer der folgenden Größen zur Verfügung gestellt: erfasstes Lambda bzw. O₂, Brennkammertemperatur, Abgasgastemperatur, Unterdruck in der Brennkammer, Stellung bzw. Öffnungsgrad des zumindest einen Primärventils 52, Stellung bzw. Öffnungsgrad des zumindest einen Sekundärventils 52, sowie Brennstoffbetthöhe. Als Vorgabe wird dem KI-Modell 104 weiter die gewünschte Leistungsabgabe des Kessels 11 zur Verfügung gestellt.

[0429] Jede der vorgenannten Größen bzw. die daraus resultierenden Sensordaten kann / können in einer der in Fig. 25 genannten Phasen oder auch in mehreren davon erfasst werden. Für die Anwendung zur Lambda-Regelung hat sich als Zeitraum für die Sensordaten die Phase der (Regel-) Verbrennung (Schritt S54) als besonders vorteilhaft erwiesen, da in diesem Zeitraum eine Lambda-Regelung auf einen optimalen Lambda-Wert die größte Wirkung in Sachen Effizienz und Sauberkeit des Verbrennungsvorgangs zeigt.

[0430] Mit KI berechnet die Biomasse-Heisanlage somit, welches Lambda-Niveau optimal ist, um mit den Parametern zu arbeiten, und wie das Verhalten in der Vergangenheit mit diesen Einstellungen war, insbesondere mit Sekundärluft und mit Austrittsluft.

[0431] Fig. 31 zeigt ein Verfahren zur Ein/Aus Regelung der Biomasse-Heisanlage der Fig. 1 bis 24 mit einem KI-Modell 104. Eine der Grundregelentscheidungen bei der Beheizung eines Hauses o.Ä. ist die Entscheidung die Biomasse-Heisanlage zum richtigen Zeitpunkt zu aktivieren oder nicht zu aktivieren.

[0432] Eine beispielsweise bei einem Kälteeinbruch zu spät aktivierte Biomasse-Heisanlage 1 könnte unter Umständen nicht ausreichend Leistung zur Verfügung stellen, womit die Temperaturen im Haus unangenehm sinken könnten.

[0433] Umgekehrt könnte eine nur bei einem kurzen Kälteeinbruch "zu vorsorglich" aktivierte Biomasse-Heisanlage überschießend nicht benötigte Leistung zur Verfügung stellen, und damit ineffizient sein.

[0434] Ebenso kann beispielsweise eine auftretende Hitzewelle den Einsatz der Biomasse-Heisanlage 1 entbehrlich gestalten.

[0435] So hat sich gezeigt, dass herkömmliche Biomasse-Heisanlagen entweder gar nicht vorausschauend aktiviert und deaktiviert werden, oder aber nur in sehr statischen oder begrenztem Rahmen mittels einer Benutzerinteraktion aktiviert oder deaktiviert werden.

[0436] Da allerdings ein KI-Modell aus den "Erfahrungen" einer Vielzahl von Heizvorgängen und Wetterereignissen lernen kann, kann auch eine Ein/Aus Regelung des Verbrennungsvorgangs der Biomasse-Heisanlage 1 optimiert werden.

[0437] Einem KI-Modell 104 zur Lambda-Regelung Sensordaten von den folgenden Größen zur Verfügung gestellt: eine vorbestimmte Energieklasse der Biomasse-Heisanlage 1 (beispielsweise 50 oder 120 kW, d.h., die Leistungsfähigkeit der Biomasse-Heisanlage 1), die aktuelle Temperatur eines Heizungswasserpuffers (bzw. allgemeiner formuliert: eine aktuell vorhandene Wärmemenge für die Beheizung), optional eine vorgegebene Zeit zur Reaktion auf eine Wetteränderung, und Daten über die Entwicklung des Wetters.

[0438] Die Daten über die Entwicklung des zukünftigen Wetters beinhalten vorzugsweise die (Außen-) Temperaturen über einen Zeitraum von einem (1) Tag oder bis zu drei Tagen. Dabei können insbesondere Daten verwendet werden, die beispielsweise im Stundentakt die vom Wetterdienst vorhergesagten Temperaturen am Ort der Aufstellung der Biomasse-Heisanlage 1 beinhalten. Ebenso können die zukünftigen Wetterdaten Daten über den zukünftigen Schneefall und/oder den zukünftigen Regenfall beinhalten. Aus diesen Wetterdaten lassen sich Indikatoren über den zukünftigen Leistungsbedarf zum Heizen mit der Biomasse-Heisanlage 1 ableiten. In anderen Worten sind zukünftige Wetterdaten diejenigen Daten, welche als Prognose von einem Wetterdienst abgerufen werden können und welche eine Vorhersage über einen zu erwartenden Leistungsbedarf von der Biomasse-Heisanlage 1 zulassen.

[0439] Aus einem Abgleich der (zukünftigen) Wetterdaten mit der Leistungs(abgabe)fähigkeit (bzw. der Energieklasse) der Biomasse-Heisanlage 1, sowie der aktuell vorhandenen Wärmeenergiemenge kann ein entsprechend trainiertes KI-Modell eine optimierte Prognose über den Zeitpunkt treffen zu welchem die (Verbrennung in der) Biomasse-Heisanlage 1 aktiviert oder deaktiviert wird.

[0440] Fig. 32 zeigt ein Verfahren zur wetterabhängigen Leistungsregelung der Biomasse-Heisanlage der Fig. 1 bis 24 mit einem KI-Modell.

[0441] Eine herkömmliche Leistungsabgaberegulation einer Heizung erfolgt üblicherweise über Thermostaten an den Heizkörpern und einem Außentemperaturfühler, mit welchen der allgemeine Leistungsbedarf der Anlage abgeschätzt wird. Allerdings können viele weitere Wetterfaktoren den allgemeinen Leistungsbedarf der Heizung zumindest beein-

flussen, beispielsweise Regen, Schnee, Sonneneinstrahlung- und stand, Wind, etc. Ebenso wird eine Leistungsabgabe einer Heizung üblicherweise nur mit dem aktuell vorhandenen Temperaturwerten bestimmt, eine vorausschauende Regelung der Leistungsabgabe aufgrund einer Wetterprognose ist nicht üblich.

[0442] Damit haben herkömmliche Leistungsregelungen von Biomasse-Heisanlagen 1 oft das Problem, dass diese oft hohe Leistungsschwankungen beinhaltet. Allerdings widerspricht dies dem Idealfall eines möglichst stationären und gleichmäßigen Verbrennungsvorgangs am optimalen (Leistungs-) Arbeitspunkt bzw. im optimalen Leistungsarbeitsbereich der Biomasse-Heisanlage 1.

[0443] Zur Lösung dieser Problematik wird vorliegend wieder ein KI-Modell zur wetterabhängigen Leistungsregelung eingesetzt, welches einerseits vorausschauend arbeiten kann, und welches andererseits auch zu starke Leistungsschwankungen vermeiden kann.

[0444] Das KI-Modell 104 erhält zumindest eine der folgenden Größen als Sensordaten: erfasstes Lambda bzw. O₂, Brennkammertemperatur, Abgasgastemperatur, Unterdruck in der Brennkammer, Stellung bzw. Öffnungsgrad des zumindest einen Primärventils 52, Stellung bzw. Öffnungsgrad des zumindest einen Sekundärventils 52, Brennstoffbetthöhe, sowie Wasserdurchfluss in den Kessel oder aus diesen hinaus, eine Kesseltemperatur (bzw. betreffend der beiden vorstehenden Größen allgemeiner formuliert: einen Wärmemengensensor betreffend der vom Kessel abgegebenen Wärmemenge, beispielsweise einen Durchflussmengensensor mit Temperatursensor und einhergehender Berechnung der Wärmemenge).

[0445] Jede der vorgenannten Größen bzw. die daraus resultierenden Sensordaten kann / können in einer der in Fig. 25 genannten Phasen oder auch in mehreren davon erfasst werden. Für die Anwendung zur Leistungsregelung hat sich als Zeitraum für die Sensordaten die Phase der (Regel-) Verbrennung (Schritt S54) als besonders vorteilhaft erwiesen.

[0446] Als Vorgabe erhält das KI-Modell 104 weiterhin die Kessel-Soll-Leistung.

[0447] Weiter erhält das KI-Modell 104 zumindest aktuelle Wetterdaten, beispielsweise die aktuelle Außentemperatur am Ort der Biomasse-Heisanlage 1, und vorzugsweise ergänzende Wetterdaten, wie beispielsweise den Sonnenstand.

[0448] Ergänzend kann das KI-Modell 104 auf Wetterprognosedaten über einen vordefinierten zukünftigen Zeitraum erhalten, wie in Bezug auf die Fig. 31 schon erläutert.

[0449] Das Ergebnis des KI-Modells 104 kann einem Regelalgorithmus 107 zugeführt werden, wie vorstehend in Bezug auf die Fig. 29 schon erläutert, worauf verwiesen wird.

[0450] Dabei wird der Regelalgorithmus 107 die Abgabeleistung des Kessels einstellen, welche wiederum mittels geeigneter Sensoren als Kessel-Ist-Leistung erfasst wird. Die Kessel-Ist-Leistung wird wiederum dem Regelalgorithmus 107 als Regeleingangsgröße zugeführt.

[0451] Fig. 33 zeigt ein Verfahren zur (nun wetterunabhängigen) Leistungsregelung bzw. Temperaturregelung der Biomasse-Heisanlage der Fig. 1 bis 24 mit einem KI-Modell 104.

[0452] Das KI-Modell 104 verwendet bei diesem Verfahren zumindest zwei der folgenden Größen bzw. der daraus resultierenden Sensordaten: Brennkammertemperatur, Kesseltemperatur, abgegebene Wärmemenge (beispielsweise ermittelt mittels eines Wärmemengensensors, der den Durchfluss und die Temperatur des durchfließenden Wassers ermittelt und daraus die Wärmemenge ermittelt), Brennstoffbetthöhe.

[0453] Jede der vorgenannten Größen bzw. die daraus resultierenden Sensordaten kann / können in einer der in Fig. 25 genannten Phasen oder auch in mehreren davon erfasst werden. Für die Anwendung zur Leistungsregelung hat sich als Zeitraum für die Sensordaten die Phase der (Regel-) Verbrennung (Schritt S54) als besonders vorteilhaft erwiesen.

[0454] Das Ergebnis des KI-Modells 104 wird wiederum einem Regelalgorithmus 197 zugeführt. Dieser regelt auf eine Kesseltemperatur hin, welche wiederum durch den Kesseltemperatursensor 115 erfasst wird, woraus wiederum eine Abweichung T2-T1 (Solltemperatur T2 minus erfasste Kesseltemperatur T1) ermittelt wird, welche wiederum dem Regelalgorithmus 107 zugeführt wird.

[0455] Auch damit kann eine Regelung der Kesselleistung bzw. -temperatur in einer optimierten Art und Weise erfolgen.

[0456] Fig. 34 zeigt ein Verfahren zur Primärluftregelung der Biomasse-Heisanlage der Fig. 1 bis 24 mit einem KI-Modell. Die Stellung bzw. der Öffnungsgrad des zumindest einen Primärventils 52 und auch des Sekundärventils 52 sind für die Optimierung des Verbrennungsvorgangs im Kessel 11 erhebliche Einflüsse. Auch hier kann eine Regelung mittels eines KI-Modells erheblich zur Optimierung beitragen.

[0457] Das KI-Modell 104 verwendet bei diesem Verfahren zumindest zwei der folgenden Größen bzw. der daraus resultierenden Sensordaten: Brennkammertemperatur, Kesseltemperatur, abgegebene Wärmemenge (beispielsweise ermittelt mittels eines Wärmemengensensors, der den Durchfluss und die Temperatur des durchfließenden Wassers ermittelt und daraus die Wärmemenge ermittelt), Brennstoffbetthöhe.

[0458] Jede der vorgenannten Größen bzw. die daraus resultierenden Sensordaten kann / können in einer der in Fig. 25 genannten Phasen oder auch in mehreren davon erfasst werden. Für die Anwendung zur Leistungsregelung hat sich als Zeitraum für die Sensordaten die Phase der (Regel-) Verbrennung (Schritt S54) als besonders vorteilhaft erwiesen.

[0459] Dabei kann die Stellung des zumindest einen Sekundärventils unmittelbar von dem Ergebnis des KI-Modells 104 und der Stellung des zumindest einen Primärventils 52 abgeleitet werden. Zudem wird die Ist-Leistung des Kessels 11 erfasst, und in eine Differenzregelung der Stellung des zumindest einen Primärventils 52 in Abhängigkeit von der

Ist-leistung des Kessels 11 und der Stellung des Primärventils 52 einbezogen.

[0460] Beispielsweise wird eine Reduzierung der Primärluft wird auch durchgeführt, wenn die Sekundärluft über einen vorgegebenen Zielwert liegt. Mit dem Einsatz des KI-Modells 104 kann man den Zielwert der Primärluft für eine bestimmte Abgabeleistung einhalten und mit Hilfe des Lernvorgangs des KI-Modells 104 aus "alten Daten" kann man kleine Anpassungen in das System aus der Sekundärluft mittels der Stellung der Sekundärluftklappe optimiert berechnen und die Einstell-Parameter der Ventile 52 entsprechend anpassen. Damit kann man Schwankungen im System der Luftführung des Kessels deutlich minimieren

(Weitere Ausführungsformen)

[0461] 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.

[0462] 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, beispielsweise können der Rezirkulationseintrittskanalteiler 532, der Sekundärrezirkulationskanal 57 und eine zugehörige Sekundärmischeinheit 5b, welche später erläutert wird, sowie die Rezirkulationsdüsen 291 entfallen.

[0463] Es kann wiederum alternativ auch nur eine Primärrezirkulation derart vorgesehen sein, dass zwar die Sekundärmischeinheit 5b und die zugehörigen Kanäle entfallen, und das Gemisch der Primärrezirkulation jedoch nicht nur unter den Drehrost 25 zugeführt wird, sondern dieses auch (beispielsweise über einen weiteren Kanal) zu den in dieser Variante vorgesehenen Rezirkulationsdüsen 291 zugeführt wird. Diese Variante ist mechanisch einfacher und damit kostengünstiger, und weist jedoch trotzdem die Rezirkulationsdüsen 291 zur Drallbildung der Strömung in der Brennkammer 24 auf.

[0464] Weiter können anstatt von nur drei Drehrostelementen 252, 253 und 254 auch zwei, vier oder mehr Drehrostelemente vorgesehen sein. Bei 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.

[0465] Zu den angegebenen Maßen ist anzumerken, dass auch abweichend von diesen andere Maße bzw. Maßkombinationen vorgesehen werden können.

[0466] Anstelle der konvexen Seiten der Drehrostelemente 252 und 254 können auch konkave Seiten dieser vorgesehen sein, wobei die Seiten des Drehrostelements 253 in Folge komplementär konvex geformt sein können. Dies ist funktional annähernd gleichwertig.

[0467] Als Brennstoffe der Biomasse-Heisanlage können auch andere Brennstoffe als Hackgut oder Pellets verwendet werden. Hierbei kommen insbesondere Olivenschalen, Elefantengras und biogene Abfälle als weitere Brennstoffe in Frage.

[0468] Die vorliegend offenbarte Biomasse-Heisanlage kann auch ausschließlich mit einer Art eines Brennstoffs befeuert werden, beispielsweise nur mit Pellets. Die Brennstofferkennung kann dabei auch derart zu Einsatz kommen, dass die Qualität (zB der Wassergehalt) nur eines Brennstoffs erkannt wird.

[0469] Die Brennkammersteine 29 können auch ohne die Rezirkulationsdüsen 291 vorgesehen sein. Dies kann insbesondere für den Fall gelten, bei welchem keine Sekundärrezirkulation vorgesehen ist.

[0470] Die Rotationsströmung bzw. Wirbelströmung in der Brennkammer 24 kann rechtsdrehend oder linksdrehend vorgesehen sein.

[0471] Die Brennkammerdecke 204 kann auch abschnittsweise, beispielsweise stufenförmig, geneigt vorgesehen sein.

[0472] Die Sekundär(re)zirkulation kann auch nur mit Sekundärluft bzw. Frischluft beströmt werden, und insofern nicht das Rauchgas rezirkulieren, sondern lediglich Frischluft zuführen.

[0473] Die Sekundärluftdüsen 291 sind nicht auf rein zylindrische Bohrungen in den Brennkammersteinen 291 beschränkt. Diese können auch als kegelstumpfförmige Öffnungen oder taillierte Öffnungen ausgebildet sein.

[0474] Die angegebenen Maße und Größenangaben sind lediglich beispielhaft zu verstehen, und können abgewandelt werden.

[0475] Vorliegend wird die Rezirkulationseinrichtung 5 bei der Ausführungsform der Fig. 12 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, beispielsweise können der Rezirkulationseintrittskanalteiler 532, der Sekundärrezirkulationskanal 57 und eine zugehörige Sekundärmischeinheit 5b, welche erläutert wird, sowie die Rezirkulationsdüsen 291 entfallen.

[0476] Es kann wiederum alternativ auch nur eine Primärrezirkulation derart vorgesehen sein, dass zwar die Sekundärsmischeinheit 5b und die zugehörigen Kanäle entfallen, und das Gemisch der Primärrezirkulation jedoch nicht nur unter den Drehrost 25 zugeführt wird, sondern dieses auch (beispielsweise über einen weiteren Kanal) zu den in dieser Variante vorgesehenen Rezirkulationsdüsen 291 zugeführt wird. Diese Variante ist mechanisch einfacher und damit kostengünstiger, und weist jedoch trotzdem die Rezirkulationsdüsen 291 zur Wirbelstrom- bzw. Drallbildung der Strömung in der Brennkammer 24 auf.

[0477] Auch oder nur am Eingang der Rauchgasrezirkulationseinrichtung 5 können ein Luftmengensensor, eine Unterdruckdose, ein Temperatursensor, ein Abgassensor und/oder ein Lambda-Sensor vorgesehen sein.

[0478] Die Sensoren 111 bis 117 können an jedem geeigneten Ort zur Messung der entsprechenden Größen vorgesehen sein, und insofern sind die Orte für diese Sensoren nicht auf die in den Figuren gezeigten Orte beschränkt.

[0479] Obschon in den Figuren und in den Ausführungsformen eine Vielzahl von Sensoren dargestellt und beschrieben sind, so kann für ein maschinelles Lernen im Sinne der vorgestellten Anwendungen auch nur ein einzelner dieser Sensoren oder nur ein Teil dieser Sensoren verwendet werden. In anderen Worten sind nicht alle der erläuterten Sensoren notwendig, um ein maschinelles Lernen im Sinne der vorliegenden Ausführungsformen und Aspekte zu realisieren. Dabei können insbesondere die Kombinationen der einzelnen Sensoren (und damit der gemessenen physikalischen Größen) zum Einsatz kommen, die in den einzelnen Anwendungsbeispielen der Fig. 25 ff. aufgeführt sind.

[0480] Die Position der Sensoren 111, 112, 113, 114, 116 und 117 etc. ist in den Figuren lediglich beispielhaft dargestellt und kann variieren, solange eine Erfassung der jeweils beabsichtigten Betriebsgröße direkt oder indirekt (bspw. durch Korrekturrechnung) möglich ist.

[0481] Ebenso können auch mehr oder weniger Sensoren oder Aktoren vorgesehen sein, als in den Figuren angegeben. Für die jeweilige Anwendung der Fig. 26 ff. sind jeweils nur bestimmte Sensoren erforderlich, wobei auch nur ein Teil der in den Fig. 26 ff. angegebenen Sensoren ausreichend sein können. Allerdings gilt natürlich der beschriebene Grundsatz, dass die jeweiligen KI-Modelle umso bessere Vorhersagen liefern können, je mehr Eingangsdaten zum Trainieren und Ausführen verwendet werden. Insofern sind die vorliegend beschriebenen KI-Modelle umso genauer, je mehr Sensoren mit entsprechenden Sensordaten zum Einsatz kommen.

[0482] Obschon ein lokales und ein zentrales Training des KI-Modells beschrieben sind, kann im Grundsatz auch eine Mischform dessen zum Einsatz kommen. Beispielsweise kann ein Teil der Trainingsdaten vor Ort gewonnen und damit das Modell antrainiert werden, und dieses dann mit Trainingsdaten von anderen Biomasse-Heizanlagen zentral weiter trainiert werden.

[0483] Als Aktoren, die von der Biomasse-Heizanlage 1 geregelt werden, kommen auch Aktoren in Frage, welche hierin nicht explizit erwähnt sind. Unter den Begriff "Aktor" fällt jeglicher Aktor, unabhängig davon, ob er die Verbrennungsvorgänge in der Biomasse-Heizanlage unmittelbar oder mittelbar oder auch nicht beeinflusst. Beispielsweise kann eine Anzeige auf einem Display, welche das Ergebnis der Erkennung des Brennstoffs (der Klassifizierung des Brennstoffs) anzeigt, als ein "Aktor" im Sinne dieser Anmeldung verstanden werden. Gemäß einem speziellen Verständnis kann allerdings der Begriff "Aktor" dieser Offenbarung auch nur als ein Aktor verstanden werden, welcher die Verbrennungsvorgänge in der Biomasse-Heizanlage 1 beeinflussen kann (beispielsweise ein (Luft- oder Wasser-) Ventil, ein Gebläse, eine Heizungswasserpumpe, ein Stellmotor des Drehrosts, ein Motor zur Abreinigung der Biomasse-Heizanlage 1).

[0484] Als Wetterprognosedaten können jegliche Daten verstanden werden, die Auskunft über die zukünftige Entwicklung des Wetters geben (beispielsweise Temperaturentwicklungen, Regenwahrscheinlichkeiten, etc.). Derartige Daten werden üblicherweise online durch sog. Wetterdienste in einem vorbestimmten Datenformat bereitgestellt, womit diese von dem KI-Modell 104 nach einer Vor-Filterung verarbeitet werden können. Protokolle zum Abrufen der Wetterprognosedaten sind dem Fachmann bekannt und werden für diese Anmeldung inhaltlich vorausgesetzt.

[0485] Als KI-Modell können auch andere mathematische Modelle bzw. Konzepte als das hierin erläuterte neuronale Netzwerk verwendet werden.

[0486] Ein Computerprogramm, das auch als Programm, Software, eine Softwareanwendung, eine Anwendung, ein Modul, ein Softwaremodul, ein Script oder Code bezeichnet oder beschrieben werden kann, kann in beliebiger Form von Programmiersprache geschrieben sein, umfassend kompilierte oder interpretierte Sprachen oder deklarative oder prozedurale Sprachen; und es kann in einer beliebigen Form eingesetzt werden, einschließlich als spezifisches Programm oder als ein Modul, eine Komponente, ein Unterprogramm oder eine andere geeignete Einheit für die Verwendung in einer Rechnerumgebung. Ein Programm kann, muss aber nicht mit einer Datei in einem Dateisystem übereinstimmen. Ein Programm kann in einem Abschnitt einer Datei gespeichert sein, die andere Programme oder Daten hält, z. B. ein oder mehrere Scripts, gespeichert in einem Nachverfolgungs-Sprachdokument, in einer einzelnen dem betreffenden Programm gewidmeten Datei oder in mehrfachen koordinierten Dateien, z. B. Dateien, die auf einem oder mehreren Modulen, Unterprogrammen oder Codeabschnitten speichern. Ein Computerprogramm kann eingesetzt werden, um auf einem Computer oder auf mehrfachen Computer ausgeführt zu werden, die sich an einem Ort befinden oder über mehrfache Orte verteilt und durch ein Datenkommunikationsnetz verbunden sind.

[0487] Die in dieser Beschreibung beschriebenen Verfahren und Logikflüsse können durch einen oder mehrere pro-

grammierbare Computer ausgeführt werden, die ein oder mehrere Computerprogramme zum Ausführen von Funktionen durch den Betrieb durch Eingabedaten und das Erzeugen einer Ausgabe ausführen. Die Verfahren und Logikflüsse können außerdem durch eine Speziallogikschaltung, z. B. FPGA oder ASIC, oder durch eine Kombination von Speziallogikschaltung und einem oder mehreren programmierten Computern ausgeführt werden.

[0488] Geeignete Computer für die Ausführung eines Computerprogramms können auf allgemeinen oder Spezialmikroprozessoren oder beiden beruhen oder auf einer beliebigen anderen Art von zentraler Verarbeitungseinheit. Im Allgemeinen empfängt eine zentrale Verarbeitungseinheit Anweisungen und Daten von einem Festwertspeicher oder einem Direktzugriffsspeicher oder von beiden. Die wesentlichen Elemente eines Computers sind eine zentrale Verarbeitungseinheit zum Ausführen von Anweisungen und eine oder mehrere Speichervorrichtungen zum Speichern von Anweisungen und Daten. Die zentrale Verarbeitungseinheit und der Speicher können durch eine Speziallogikschaltung ergänzt oder in diese integriert werden. Im Allgemeinen umfasst ein Computer außerdem eine oder mehrere Massenspeichervorrichtungen zum Speichern von Daten oder ist operativ zum Empfangen von Daten davon oder zum Übertragen von Daten zu diesen mit einem oder mehreren Massenspeichervorrichtungen verbunden, z. B. magnetische, magnetooptische oder optische Disks. Ein Computer muss jedoch nicht derartige Vorrichtungen aufweisen. Darüber hinaus kann ein Computer in eine andere Vorrichtung eingebettet sein, z. B. ein Mobiltelefon, ein persönlicher digitaler Assistent (PDA), ein mobiler Audio- oder Videoplayer, eine Spielekonsole, ein globales Positionierungssystem (GPS)-Empfänger, oder eine tragbare Speichervorrichtung, z. B. ein universeller serieller Bus (USB)-Stick, um nur ein paar aufzuzählen.

[0489] Geeignete computerlesbare Medien zum Speichern von Computerprogrammanweisungen und Daten umfassen alle Formen von nichtflüchtigem Speicher, Medien und Speichervorrichtungen, beispielhafter umfassend Halbleiterspeichervorrichtungen, z. B. EPROM, EEPROM und Flashspeichervorrichtungen; Magnetdisks, z. B. interne Festplatten oder Wechseldatenträger; magnetooptische Disks; und CD-ROM und DVD-ROM-Disks.

[0490] Um eine Interaktion mit einem Benutzer bereitzustellen, können Ausführungsformen des in dieser Beschreibung beschriebenen Inhalts auf einem Computer ausgeführt werden, der eine Anzeigevorrichtung aufweist, z. B. einen CRT (Kathodenstrahlröhren)- oder LCD (Flüssigkristallanzeige)-Monitor, zum Anzeigen von Informationen für den Benutzer, und eine Tastatur und eine Zeigevorrichtung, z. B. eine Maus oder eine Steuerkugel, durch die der Benutzer eine Eingabe für den Computer bereitstellen kann. Andere Arten von Vorrichtungen können außerdem verwendet werden, um eine Interaktion mit einem Benutzer bereitzustellen; z. B. ein für den Benutzer bereitgestelltes Feedback kann eine beliebige Form von sensorischem Feedback sein, z. B. visuelles Feedback, hörbares Feedback oder taktiles Feedback; und eine Eingabe vom Benutzer kann in einer beliebigen Form empfangen werden, umfassend akustische, sprachliche oder taktile Eingabe. Zusätzlich dazu kann ein Computer durch das Senden von Dokumenten und das Empfangen von Dokumenten von einer Vorrichtung, die vom Benutzer verwendet wird, mit einem Benutzer interagieren; z. B. durch Senden von Webseiten zu einem Webbrowser auf der Vorrichtung eines Benutzers in Reaktion auf vom Webbrowser empfangenen Anfragen. Außerdem kann ein Computer mit einem Benutzer durch das Senden von Textnachrichten oder anderen Formen von Nachrichten an eine persönliche Vorrichtung, z. B. ein Smartphone, auf dem eine Nachrichtenanwendung abläuft, und das Empfangen antwortender Nachrichten vom Benutzer interagieren.

[0491] Datenverarbeitungsvorrichtungen, beispielsweise die Steuereinrichtung 100, zum Umsetzen von Maschinenlernmodellen können außerdem beispielsweise Spezial-Hardware-Beschleunigungseinheiten zum Verarbeiten gewöhnlicher und rechenintensiver Bestandteile des Maschinenlerntrainings oder der Produktion, d. h. Interferenz, Auslastungen, umfassen.

[0492] Maschinenlernmodelle können unter Verwendung eines Maschinenlern-Frameworks ausgeführt und angewendet werden, z. B. ein TensorFlow-Framework, ein Microsoft Cognitive Toolkit-Framework, ein Apache Singa-Framework oder ein Apache MXNet-Framework.

[0493] Ausführungsformen des in dieser Beschreibung beschriebenen Inhalts können in einem Computersystem ausgeführt werden, das eine Back-End-Komponente umfasst, z. B. als ein Datenserver, oder das eine Middleware-Komponente umfasst, z. B. einen Anwendungsserver, oder das eine Front-End-Komponente umfasst, z. B. einen Client-Computer mit einer graphischen Benutzerschnittstelle, einem Webbrowser oder einer Anwendung, durch die ein Benutzer mit einer Ausführung des in dieser Beschreibung beschriebenen Inhalts interagieren kann, oder eine beliebige Kombination von einem oder mehreren derartigen Back-End-, Middleware- oder Front-End-Komponenten. Die Komponenten des Systems können durch eine beliebige Form oder ein beliebiges Medium der digitalen Datenkommunikation verbunden sein, z. B. ein Kommunikationsnetz. Beispiele für Kommunikationsnetze umfassen ein lokales Netzwerk (LAN) und ein Weitbereichsnetz (WAN), z. B. das Internet.

[0494] Das Computersystem kann Clients (die Biomasse-Heisanlage 1) und zumindest einen Server 190 umfassen. Ein Client und ein Server sind im Allgemeinen voneinander entfernt und interagieren üblicherweise durch ein Kommunikationsnetz. Die Beziehung des Clients und des Servers entsteht durch Computerprogramme, die auf den entsprechenden Computern laufen und die eine Client-Server-Beziehung miteinander haben.

[0495] Die hierin offenbarte Biomasse-Heisanlage dient der Verfeuerung von biogenem Festbrennstoff. Die Grundprinzipien der hierin erläuterten Lehre (insb. betreffend der KI) können jedoch auch bei gasförmigen Brennstoff zur

Anwendung kommen. Beispielsweise kann das vorliegende KI-Modell (oder die Lehre des Anspruchs 1) auch auf eine Heizanlage angewendet werden, welche Produktgas (beispielsweise von einem Biomasse-Vergaser) verfeuert. Hier können beispielsweise die hierin offenbarten Verfahren und auch die Grundprinzipien des Lernens des KI-Modells 104 und der Ausführung der Regelung ebenso zum Einsatz kommen.

5 **[0496]** Die hierin offenbarten Ausführungsformen und Aspekte 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.

10	1	Biomasse-Heizanlage
	11	Kessel
	12	Kesselfuß
	13	Kesselgehäuse
	14	Wasserzirkulationseinrichtung
15	15	Gebälse
	16	Außenverkleidung
	100	Steuereinrichtung der Biomasse-Heizanlage 1
	111	Abgasstempertursensor
	112	Lambdasonde
20	113	Unterdrucksensor oder Druckdifferenzsensor
	114	Rücklauf temperatursensor bzw. Heizungswassertempertursensor
	115	Kesseltemperatursensor
	116	Brennstoffbetthöhensensor
	117	Brennkammertempertursensor
25	101	maschinelle Lerneinheit
	102	Userinterface bzw. Benutzerschnittstelle
	104	KI-Modell
	105, 105a, 105b	Speicher (lokal oder zentral)
	106	Parameterdaten
30	107	Regelalgorithmus
	190	Server
	191	weitere (vorzugsweise externe) Datenquelle bzw. Sensoren
	198	Verbindung
	199	Netzwerkverbindung
35	2	Brenneinrichtung
	21	erste Wartungsöffnung für die Brenneinrichtung
	22	Drehmechanikhalterung
	23	Drehmechanik
	24	Brennkammer
40	25	Drehrost
	26	Primärverbrennungszone der Brennkammer
	27	Sekundärverbrennungszone bzw. Strahlungsteil der Brennkammer
	28	Brennstoffbett
	29	Brennkammersteine
45	A1	erste Horizontalschnittlinie
	A2	erste Vertikalschnittlinie
	201	Zündeinrichtung
	202	Brennkammerschräge
	203	Brennkammerdüse
50	204	Brennkammerdecke
	211	Dämmmaterial bspw. Vermiculite
	231	Antrieb bzw. Motor(en) der Drehmechanik
	251	Bodenplatte des Drehrosts
	252	Erstes Drehrostelement
55	253	Zweites Drehrostelement
	254	Drittes Drehrostelement
	255	Übergangselement
	256	Öffnungen

	257	Rostlippen
	258	Verbrennungsfläche
	260	Auflageflächen der Brennkammersteine
	261	Nut
5	262	Vorsprung
	263	Ring
	264	Halterungssteine
	265	Schräge der Halterungssteine
	291	Sekundärluft bzw. Rezirkulationsdüsen
10	3	Wärmetauscher
	31	Wartungsöffnung für Wärmetauscher
	32	Kesselrohre
	33	Kesselrohreintritt
	34	Wendekammereintritt
15	35	Wendekammer
	36	Federturbulator
	37	Band- oder Spiralturbulator
	38	Wärmetauschmedium
	331	Isolation am Kesselrohreintritt
20	4	Filtereinrichtung
	41	Abgasausgang
	42	Elektrodenversorgungsleitung
	43	Elektrodenhalterung
	44	Filtereintritt
25	45	Elektrode
	46	Elektrodenisolation
	47	Filteraustritt
	48	Käfig
	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
	5	Rezirkulationseinrichtung
50	50	Ringkanal um Brennkammersteine
	52	Luftventil
	52s	Schieberventil
	53	Rezirkulationseintritt
	54	Primärmischkanal
55	55	Sekundärmischkanal
	55a	Sekundärtemperierungskanal
	56	Primärrezirkulationskanal
	57	Sekundärrezirkulationskanal

	58	Primärluftkanal
	59	Sekundärluftkanal
	5a	Primärmischeinheit
	5b	Sekundärmischeinheit
5	521	Ventilstellaktor
	522	Ventilstellachsen
	523	Ventilflügel
	524	Ventilgehäuse
	525	Ventilvorkammer
10	526	Ventildurchtrittsöffnung
	527	Ventilkörper
	528	Ventilfläche
	531	Rezirkulationseintrittskanal
	532	Rezirkulationseintrittskanaleiler
15	541	Primärdurchtritt
	542	Primärmischkammer
	543	Primärmischkammeraustritt
	544	Primärreziventileintritt
	545	Primärluftventileintritt
20	546	Primärmischkammergehäuse
	551	Sekundärdurchtritt
	552	Sekundärmischkammer
	553	Sekundärmischkammeraustritt
	554	Sekundärreziventileintritt
25	555	Sekundärluftventileintritt
	556	Sekundärmischkammergehäuse
	581	Primärlufteintritt
	582	Primärluftsensor
	591	Sekundärlufteintritt
30	592	Sekundärluftsensor
	6	Brennstoffzufuhr
	61	Zellradschleuse
	62	Achse der Brennstoffzufuhr
	63	Übersetzungsmechanik
35	64	Brennstoffzufuhrkanal
	65	Brennstoffzufuhröffnung
	66	Antriebsmotor
	67	Brennstoff-Förderschnecke
	7	Ascheabfuhr
40	71	Ascheaustragungsschnecke
	711	Schneckenachse
	712	Zentrierungsscheibe
	713	Wärmetauscherabschnitt
	714	Brennerabschnitt
45	72	Motor der Ascheabfuhr mit Mechanik
	73	Übergangsschnecke
	731	rechter Unterabschnitt - nach links steigende Schnecke
	732	linker Unterabschnitt - nach rechts steigende Schnecke
	74	Aschebehälter
50	75	Übergangsschneckengehäuse
	751	Öffnung des Übergangsschneckengehäuses
	752	Begrenzungsblech
	753	Hauptkörperabschnitt des Gehäuses
	754	Befestigungs- und Trennelement
55	755	Trichterelement
	81	Lagerachsen
	82	Drehachse der Brennstoff-Niveaulappe
	83	Brennstoff-Niveaulappe

831	Hauptfläche
832	Mittenachse
833	Oberflächenparallele
834	Öffnungen
5 84	Lagerkerbe
85	Sensorflansch
86	Glutbetthöhenmessmechanik
9	Reinigungseinrichtung
91	Reinigungsantrieb
10 92	Reinigungswellen
93	Wellenhalterung
94	Fortsatz
95	Turbulatorhalterungen
951	Drehlageraufnahme
15 952	Fortsätze
953	Durchlässe
954	Ausnehmungen
955	Drehlagergestänge
96	zweiarmiger Schlaghebel
20 97	Anschlagkopf
E	Einschubrichtung des Brennstoffs
S*	Strömungspfeile

25 Patentansprüche

1. Biomasse-Heizanlage (1) zur Verfeuerung von biogenem Brennstoff, aufweisend:

einen Kessel (11) mit einer Brenneinrichtung (2) und mit einem Wärmetauscher (3);
 eine Steuereinrichtung (100) mit einem Speicher (105, 105a);
 zumindest einen Sensor (86, 111-117, 582, 592) zur Bereitstellung von Sensordaten, welcher zumindest eine chemische und/oder physikalische Größe der Biomasse-Heizanlage (1) erfassen kann und welcher mit der Steuereinrichtung (100) kommunikativ verbunden ist;
 zumindest einen Aktor (4, 5, 52, 6, 61, 66, 7, 72, 91, 201, 231) der Biomasse-Heizanlage (1), welcher mit der Steuereinrichtung (100) kommunikativ verbunden ist und von dieser angesteuert werden kann;
 wobei die Steuereinrichtung (100) zumindest ein KI-Modell (104) zur Regelung der Biomasse-Heizanlage (1) basierend auf den bereitgestellten Sensordaten beinhaltet, wobei das KI-Modell (104) mittels maschinellem Lernen parametrisiert wird.

2. Biomasse-Heizanlage (1) gemäß Anspruch 1, wobei
 das KI-Modell ein neuronales Netzwerk mit mindestens 3 Schichten und mindestens 200 Neuronen ist.

3. Biomasse-Heizanlage (1) gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei
 die Steuereinrichtung (100) derart eingerichtet ist, dass
 die Sensordaten über einen vorbestimmten Zeitraum während eines Betriebs der Biomasse-Heizanlage (1) aggregiert werden, und
 die aggregierten Sensordaten zum maschinellen Lernen verwendet werden.

4. Biomasse-Heizanlage (1) gemäß Anspruch 1 oder 2 oder 3, wobei
 die Steuereinrichtung (100) der Biomasse-Heizanlage (1) eine maschinelle Lerneinheit (101) aufweist; und
 die Biomasse-Heizanlage (1) derart eingerichtet ist, dass
 die von dem zumindest einem Sensor (86, 111-117, 582, 592) erfasste Größe als die Sensordaten in dem Speicher (105a) der Steuereinrichtung (100) abgespeichert werden; und
 das maschinelle Lernen mittels der maschinellen Lerneinheit (101) unter Verwendung der in dem Speicher (105a) abgespeicherten Sensordaten erfolgt.

5. Biomasse-Heisanlage (1) gemäß Anspruch 1 oder 2 oder 3, wobei die Biomasse-Heisanlage (1) derart eingerichtet ist, dass

die von dem zumindest einem Sensor (86, 111-117, 582, 592) erfasste zumindest eine Größe als die Sensordaten in dem Speicher (105a) der Steuereinrichtung (100) abgespeichert wird; und die in dem Speicher (105a) der Steuereinrichtung (100) gespeicherten Sensordaten über eine Netzwerkverbindung (199) an eine zentrale Recheneinheit (190) übertragen werden; und von der zentralen Recheneinheit (190) ein KI-Modell (104) oder Gewichtsdaten zur Regelung der Biomasse-Heisanlage (1) an die Steuereinrichtung (100) der Biomasse-Heisanlage (1) übertragen wird/werden, wobei das KI-Modell (104) durch maschinelles Lernen mittels einer maschinellen Lerneinheit der zentralen Recheneinheit (190) zumindest unter Verwendung der übertragenen Sensordaten parametrisiert wird.

6. Biomasse-Heisanlage (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei

das KI-Modell (104) eingerichtet ist, eine Klassifizierung des Brennstoffs durchzuführen, und die Klassifizierung des Brennstoffs auf folgenden Sensordaten basiert: einem Sauerstoffgehalt des Abgases der Biomasse-Heisanlage (1), welcher mit einer Lambda-Sonde (112) erfasst wird; sowie zumindest eines des Folgenden: einer Abgastemperatur des Abgases der Biomasse-Heisanlage (1), welche mit einem Abgastempersensor (111) erfasst wird; einer Brennkammertemperatur eines Brennraums (24) der Biomasse-Heisanlage (1), welche mit einem Brennraumtempersensor (117) erfasst wird; wobei der Sauerstoffgehalt, die Abgastemperatur und die Brennkammertemperatur in einem Zeitraum nach einer Zündung des Brennstoffs durch eine Zündeinrichtung (201) bis zum Erreichen eines vordefinierten Sauerstoffgehalts, vorzugsweise 16 Vol %-O₂, erfasst werden.

7. Biomasse-Heisanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei

die Steuereinrichtung (100) mit dem KI-Modell (104) eingerichtet ist, eine Regelung eines Motors (66) einer Brennstoffzufuhr (6) in die Brenneinrichtung (2) auf eine vorgegebene Brennstoffbetthöhe durchzuführen, wobei die Regelung auf zumindest einem der folgenden Sensordaten basiert: einem Sauerstoffgehalt des Abgases der Biomasse-Heisanlage (1), welcher mit einer Lambda-Sonde (112) erfasst wird; sowie zumindest eines des Folgenden:

einer Abgastemperatur des Abgases der Biomasse-Heisanlage (1), welche mit einem Abgastempersensor (111) erfasst wird; einer Brennkammertemperatur eines Brennraums (24) der Biomasse-Heisanlage (1), welche mit einem Brennraumtempersensor (117) erfasst wird.

8. Biomasse-Heisanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei

die Steuereinrichtung (100) mit dem KI-Modell (104) eingerichtet ist, eine Lambda-Regelung der Biomasse-Heisanlage auf einen vorbestimmten Lambda-Wert des Abgases durchzuführen, wobei die Regelung auf zumindest einem der folgenden Sensordaten basiert: einem Sauerstoffgehalt des Abgases der Biomasse-Heisanlage (1), welcher mit einer Lambda-Sonde (112) erfasst wird; sowie zumindest eines des Folgenden:

einer Abgastemperatur des Abgases der Biomasse-Heisanlage (1), welche mit einem Abgastempersensor (111) erfasst wird; einer Brennkammertemperatur einer Brennkammer (24) der Biomasse-Heisanlage (1), welche mit einem Brennraumtempersensor (117) erfasst wird; einem Unterdruck in der Brennkammer (24), welcher durch einen Unterdrucksensor (113) erfasst wird; einer Brennstoffbetthöhe auf dem Drehrost (25), welche durch einen Brennstoffbetthöhensensor (116) erfasst wird;

und wobei durch das KI-Modell (104) zumindest eines der Luftventile (52) der Rezirkulationseinrichtung (5) angesteuert wird.

9. Biomasse-Heisanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei

die Steuereinrichtung (100) mit dem KI-Modell (104) eingerichtet ist, eine Leistungs-Regelung der Biomasse-Heiz-

anlage auf einen vorbestimmten Leistungswert der Biomasse-Heizanlage (1) durchzuführen, wobei die Regelung auf zumindest einem der folgenden Sensordaten und/oder externen Daten basiert:

eine Brennkammertemperatur einer Brennkammer (24) der Biomasse-Heizanlage (1), welche mit einem Brennraumtemperatursensor (117) erfasst wird;
einer Brennstoffbetthöhe auf dem Drehrost (25), welche durch einen Brennstoffbetthöhensensor (116) erfasst wird;
eine Kesseltemperatur, welche eine Temperatur des Wärmetauschmediums (38) im Kessel (11) ist;
eine abgegebene Wärmemenge des Kessels (11), welche mittels eines Wärmemengensensors erfasst wird;
Wetterprognosedaten, welche über ein Netzwerk (199), vorzugsweise das Internet, abgerufen werden; und

und wobei durch das KI-Modell (104) zumindest eines der Luftventile (52) der Rezirkulationseinrichtung (5) und/oder der Primärluftzufuhr angesteuert wird, oder das Gebläse (11) der Biomasse-Heizanlage angesteuert wird.

10. Biomasse-Heizanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die Steuereinrichtung (100) mit dem KI-Modell (104) eingerichtet ist, eine Regelung der Stellung eines Ventils (52) eines Primärluftkanals (58) der Biomasse-Heizanlage (1) auf eine vorbestimmte Primärluftmenge durchzuführen, wobei die Regelung auf zumindest einem der folgenden Sensordaten basiert:

einer Brennkammertemperatur einer Brennkammer (24) der Biomasse-Heizanlage (1), welche mit einem Brennraumtemperatursensor (117) erfasst wird;
einer Brennstoffbetthöhe auf dem Drehrost (25), welche durch einen Brennstoffbetthöhensensor (116) erfasst wird;
einem Sauerstoffgehalt des Abgases der Biomasse-Heizanlage (1), welcher mit einer Lambda-Sonde (112) erfasst wird;
eine Kesseltemperatur, welche eine Temperatur des Wärmetauschmediums (38) im Kessel (11) ist;
eine abgegebene Wärmemenge des Kessels (11), welche mittels eines Wärmemengensensors erfasst wird;

11. Biomasse-Heizanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei

die Steuereinrichtung (100) mit dem KI-Modell (104) eingerichtet ist, eine Ein/Aus-Regelung der Biomasse-Heizanlage durchzuführen, wobei die Regelung auf Folgendem basiert:

Wetterprognosedaten, welche über ein Netzwerk (199), vorzugsweise das Internet, abgerufen werden; und
eine vorgegebene Kesselsolltemperatur;
eine Kesseltemperatur, welche eine Temperatur des Wärmetauschmediums (38) im Kessel (11) ist;

sowie optional auf zumindest einem der folgenden Sensordaten basieren kann:

eine Temperatur eines Wärmespeichers, vorzugsweise eines Puffers, in einem Heizkreislauf, welcher von der Biomasse-Heizanlage (1) mit Energie versorgt wird;
eine Leistungsabgabefähigkeit der Biomasse-Heizanlage (1), beispielsweise die Leistungsklasse des Kessels (kW);
eine abgegebene Wärmemenge des Kessels (11), welche mittels eines Wärmemengensensors erfasst wird.

12. Biomasse-Heizanlage (1) gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei das Ergebnis der Berechnung des trainierten KI-Modells (104) als zumindest eine Eingangsgröße für einen Regelalgorithmus (107), beispielsweise einer P-, PI-, PID-, oder PD-Regelung, verwendet wird.

13. Verfahren zur Regelung einer Biomasse-Heizanlage zur Verfeuerung von Fest-Brennstoff in Form von Pellets und/oder Hackgut, die Biomasse-Heizanlage (1) aufweisend:

einen Kessel (11) mit einer Brenneinrichtung (2) und einem Wärmetauscher (3);
eine Steuereinrichtung (100) mit einem Speicher (105, 105a);
wobei das Verfahren das Folgende aufweist:
Regeln der Biomasse-Heizanlage (1) mittels eines KI-Modells (104) der Steuereinrichtung (100), welches durch maschinelles Lernen parametrisiert wird.

14. Verfahren gemäß Anspruch 13, wobei das Regeln der Biomasse-Heisanlage (1) Folgendes beinhaltet:

Erfassen von zumindest einer chemischen und/oder physikalischen Größe der Biomasse-Heisanlage (1) durch zumindest einen Sensor (111-117, 582, 592) der Biomasse-Heisanlage (1), welcher mit der Steuereinrichtung (100) kommunikativ verbunden ist; und
Verarbeiten der zumindest einer chemischen und/oder physikalischen Größe unter Verwendung des KI-Modells; und
Ansteuern des zumindest eines Aktors (4, 5, 52, 6, 61, 66, 7, 72, 91, 201, 231) der Biomasse-Heisanlage (1), welcher mit der Steuereinrichtung (100) kommunikativ verbunden ist, basierend auf dem Ergebnis des Schritts des Verarbeitens.

15. Verfahren gemäß Anspruch 13 oder 14, wobei das Verfahren weiter die folgenden Schritte aufweist:

Aggregieren der Sensordaten über einen vorbestimmten Zeitraum während eines Betriebs der Biomasse-Heisanlage (1), und
Verwenden der aggregierten Sensordaten zum maschinellen Lernen.

16. Verfahren gemäß Anspruch 13, 14 oder 15, wobei

die Steuereinrichtung (100) der Biomasse-Heisanlage (1) eine maschinelle Lerneinheit (101) aufweist; und das Verfahren weiter den folgenden Schritt aufweist:
Abspeichern der von der Mehrzahl von Sensoren (86, 111-117, 582, 592) erfassten zumindest einer Größe in dem Speicher (105a) der Steuereinrichtung (100) als die Sensordaten; wobei das maschinelle Lernen mittels der maschinellen Lerneinheit (101) unter Verwendung der in dem Speicher (105) gespeicherten Sensordaten erfolgt.

17. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 13 bis 16, wobei das Verfahren ferner die folgenden Schritte aufweist:

Speichern der von dem zumindest einem Sensor (86, 111-117, 582, 592) erfassten zumindest einer Größe in dem Speicher (105a) der Steuereinrichtung (100) als die Sensordaten; und
Übertragen der in dem Speicher (105a) der Steuereinrichtung (100) gespeicherten Sensordaten über eine Netzwerkverbindung (199) an eine zentrale Recheneinheit (190); und
Parametrieren des KI-Modell (104) durch maschinelles Lernen mittels einer maschinellen Lerneinheit der zentralen Recheneinheit (190) unter Verwendung der übertragenen Sensordaten; und
Übertragen des parametrisierten KI-Modells (104) an die Steuereinrichtung (100) der Biomasse-Heisanlage (1) von der zentralen Recheneinheit (190).

18. Verfahren zur Regelung einer Biomasse-Heisanlage (1) zur Verfeuerung von Fest-Brennstoff in Form von Pellets und/oder Hackgut, aufweisend die Biomasse-Heisanlage (1) und die Vorgänge gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12.

19. Verfahren für ein System mit einer Mehrzahl von Biomasse-Heisanlagen (1) und mit zumindest einer zentralen Recheneinheit (190), wobei die Biomasse-Heisanlagen (1) mit der zentralen Recheneinheit (190) kommunikativ über ein Netzwerk (199) verbunden sind, wobei die Mehrzahl der Biomasse-Heisanlagen (1) das Folgende aufweist:

einen Kessel (11) mit einer Brenneinrichtung (2) und einem Wärmetauscher (3);
eine Steuereinrichtung (100) mit einem Speicher (105, 105a);
eine Mehrzahl von Sensoren (86, 111-117, 582, 592) zur Bereitstellung von Sensordaten, welche chemische und/oder physikalische Größen der Biomasse-Heisanlage (1) erfassen können und welche mit der Steuereinrichtung (100) kommunikativ verbunden sind;
eine Mehrzahl von Aktoren (4, 5, 52, 6, 61, 66, 7, 72, 91, 201, 231) der Biomasse-Heisanlage (1), welche mit der Steuereinrichtung (100) kommunikativ verbunden sind und von dieser angesteuert werden können;
wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

Erfassen von zumindest einer chemischen und/oder physikalischen Größe der Biomasse-Heisanlage (1) durch zumindest einen Sensor (86, 111-117, 582, 592) der Biomasse-Heisanlagen (1); und
Abspeichern der erfassten Größen in den Speichern (105a) der Steuereinrichtungen (100) der Biomasse-

Heizanlagen (1) als Sensordaten;

Übertragen zumindest eines Teils der in den Speichern (105a) der Steuereinrichtungen (100) der Biomasse-Heizanlagen (1) gespeicherten Größen über zumindest eine Netzwerkverbindung (199) an die zentrale Recheneinheit (190).

5

20. Verfahren gemäß Anspruch 19, weiter aufweisend die folgenden Schritte:

Aggregieren der übertragenen Sensordaten in der zentralen Recheneinheit;

10

Maschinelles Lernen mittels der maschinellen Lerneinheit (101) unter Verwendung der aggregierten Sensordaten, woraus ein parametrisiertes KI-Modell (104) resultiert;

Übertragen des parametrisierten KI-Modells (104) an die Steuereinrichtung (100) der Biomasse-Heizanlage (1) von der zentralen Recheneinheit (190) über das Netzwerk (199);

Regeln der Biomasse-Heizanlage (1) mittels des übertragenen KI-Modells (104) durch die der Steuereinrichtung (100).

15

21. Verfahren gemäß Anspruch 19 oder 20, weiter aufweisend die Merkmale von zumindest von einem der Ansprüche 1 bis 3 und 6 bis 12.

20

22. Computerlesbares Speichermedium, das Befehle enthält, die, wenn Sie von einer Recheneinrichtung ausgeführt werden, veranlassen, dass die Recheneinrichtung eines der Verfahren der Ansprüche 13 bis 21 ausführt.

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

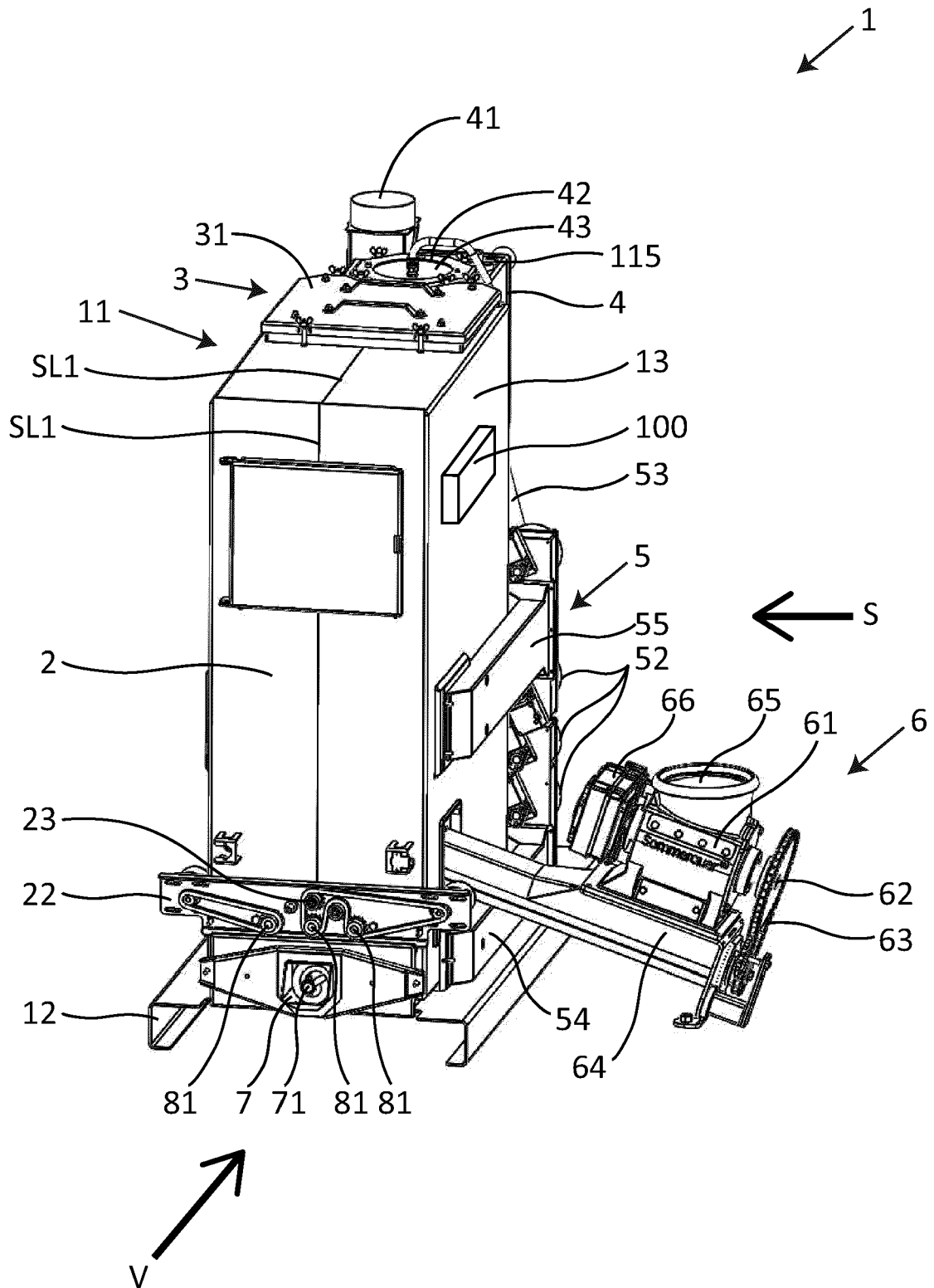


Fig. 2

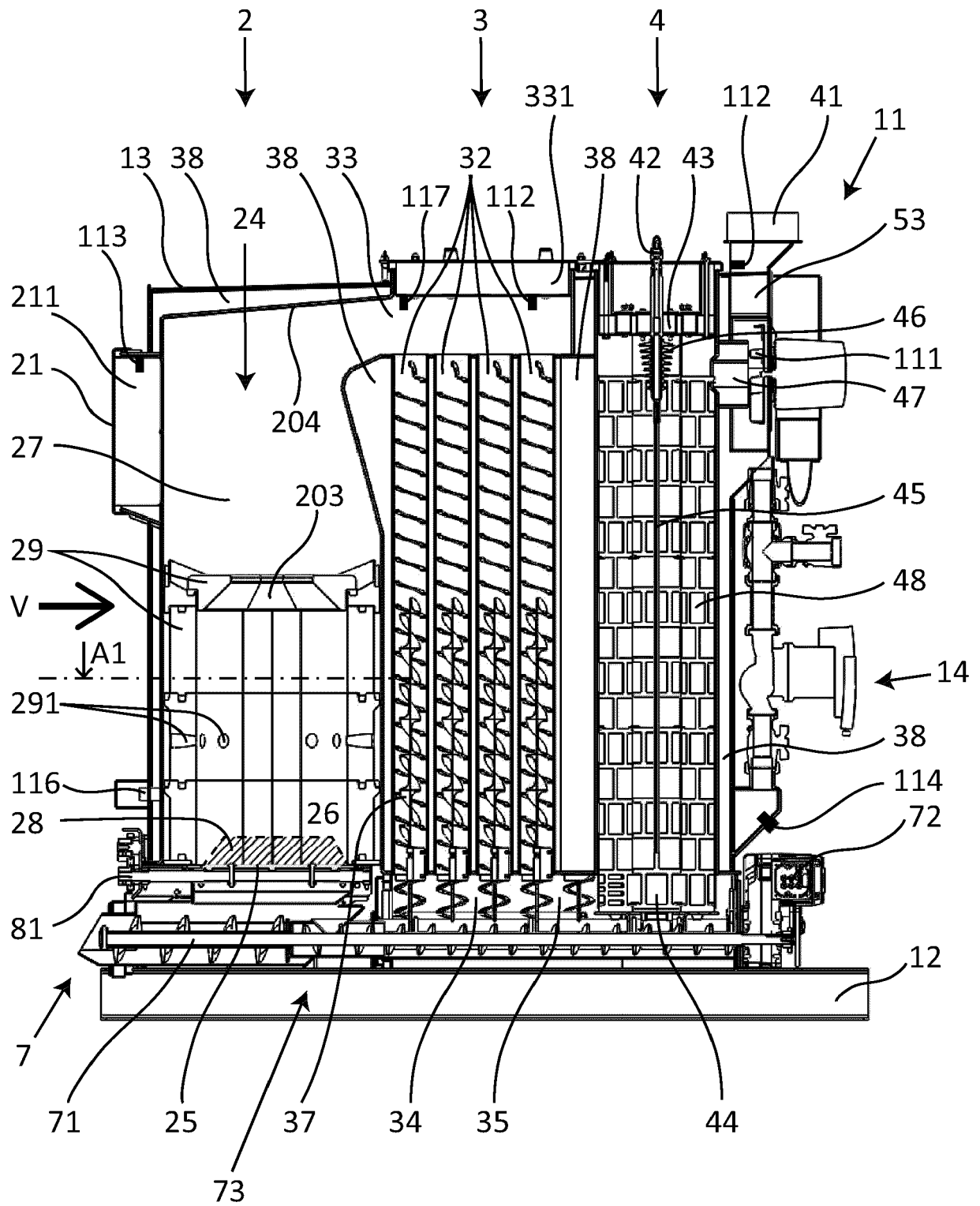


Fig. 3

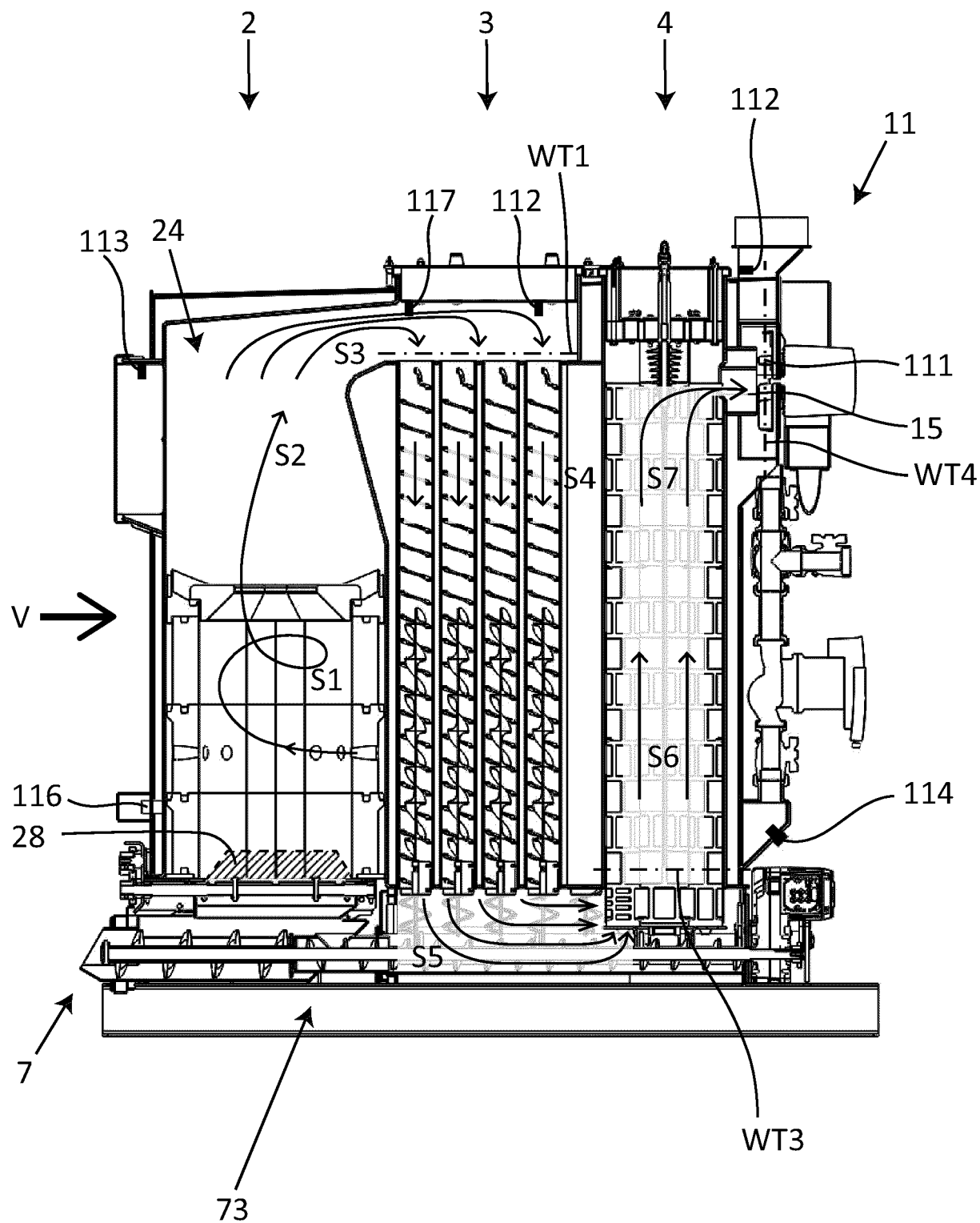


Fig. 4

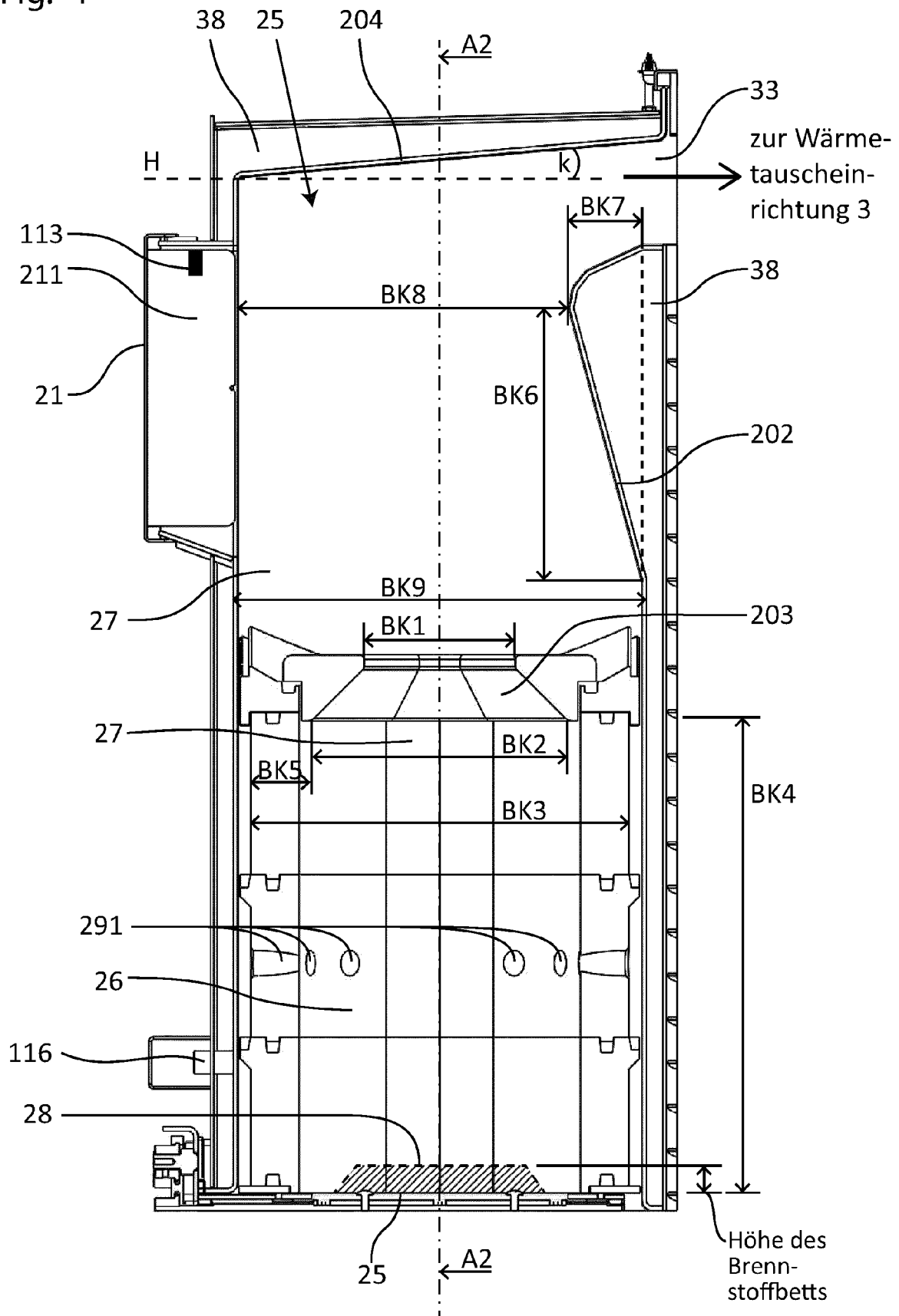


Fig. 5

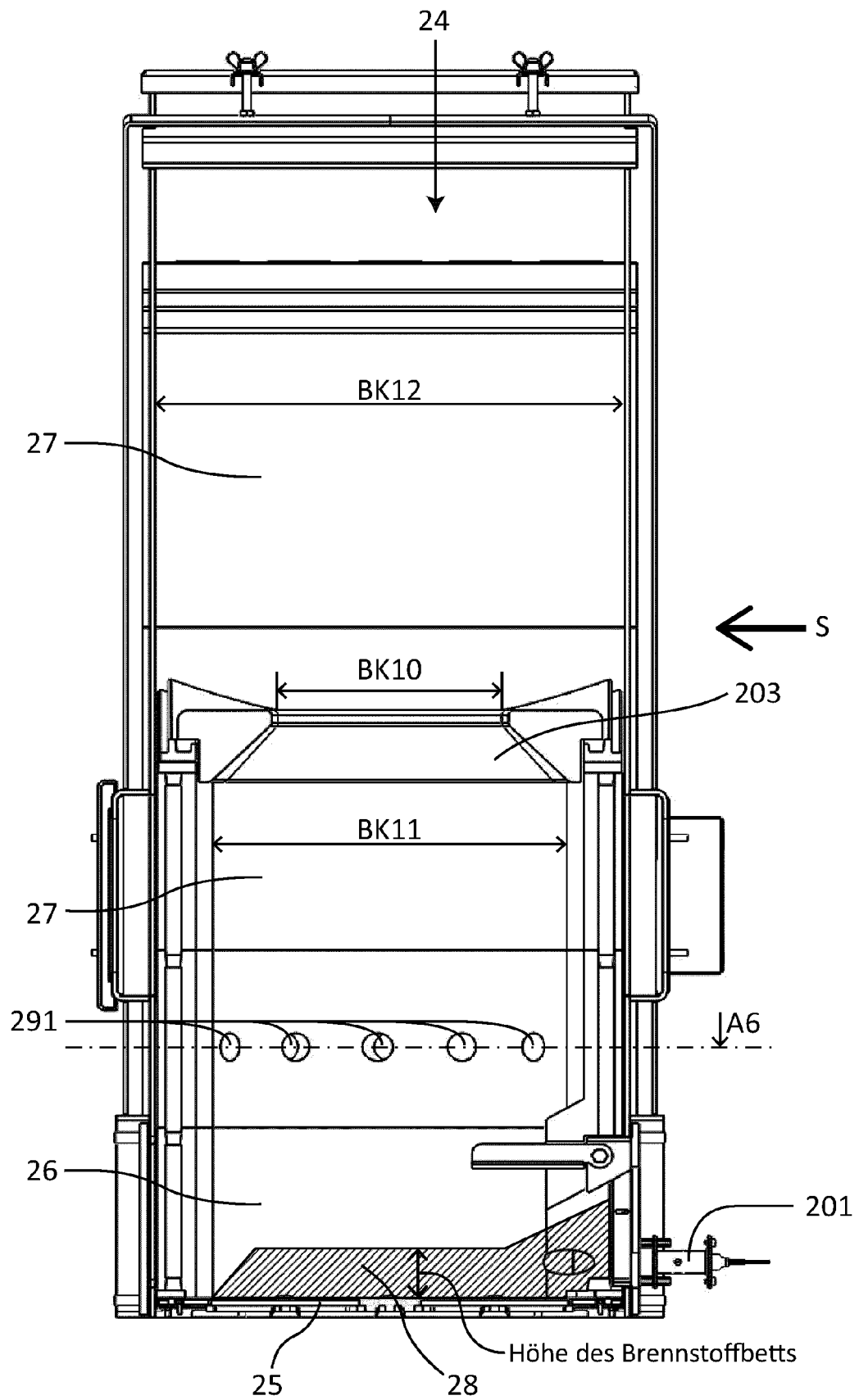


Fig. 6

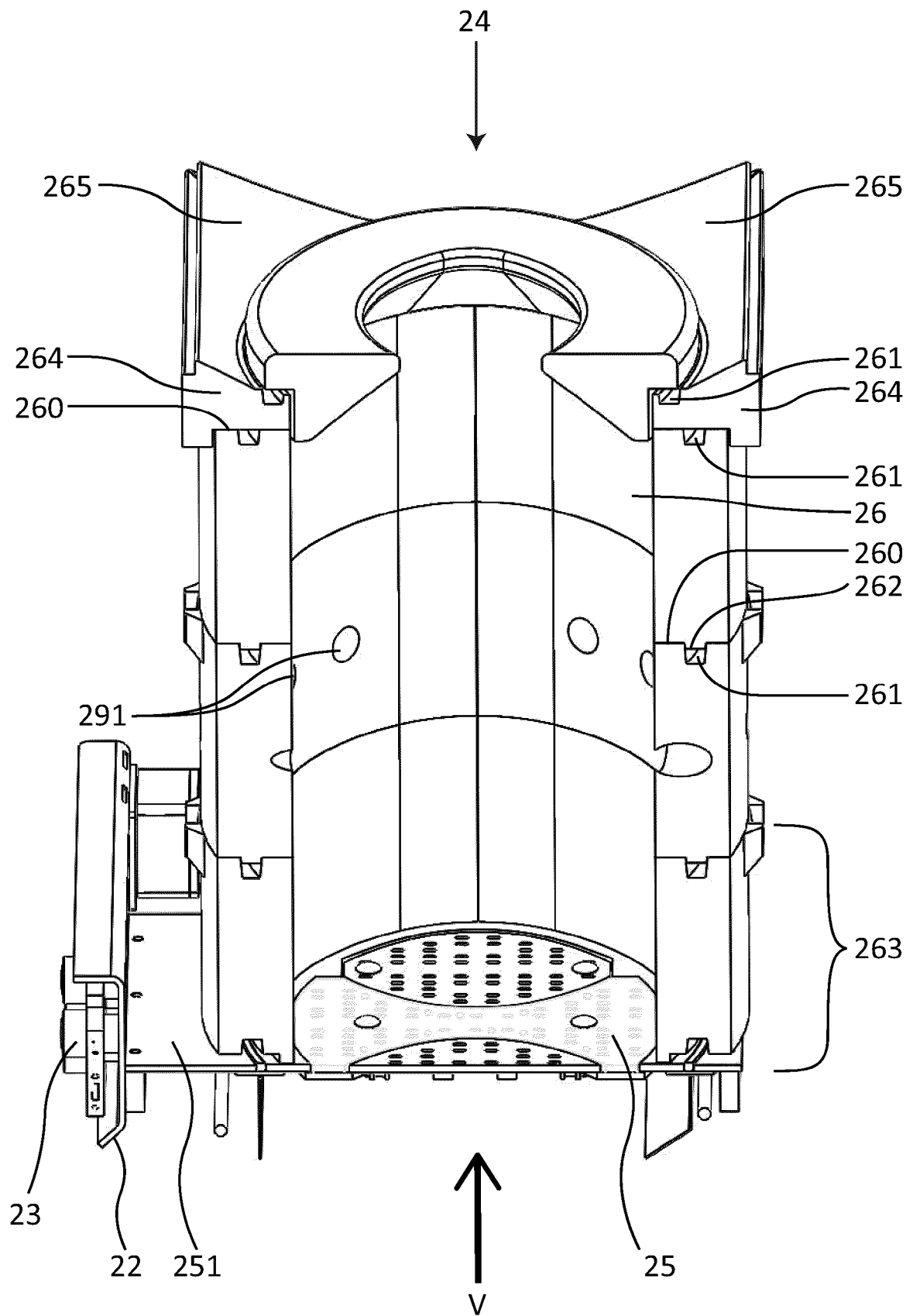


Fig. 7

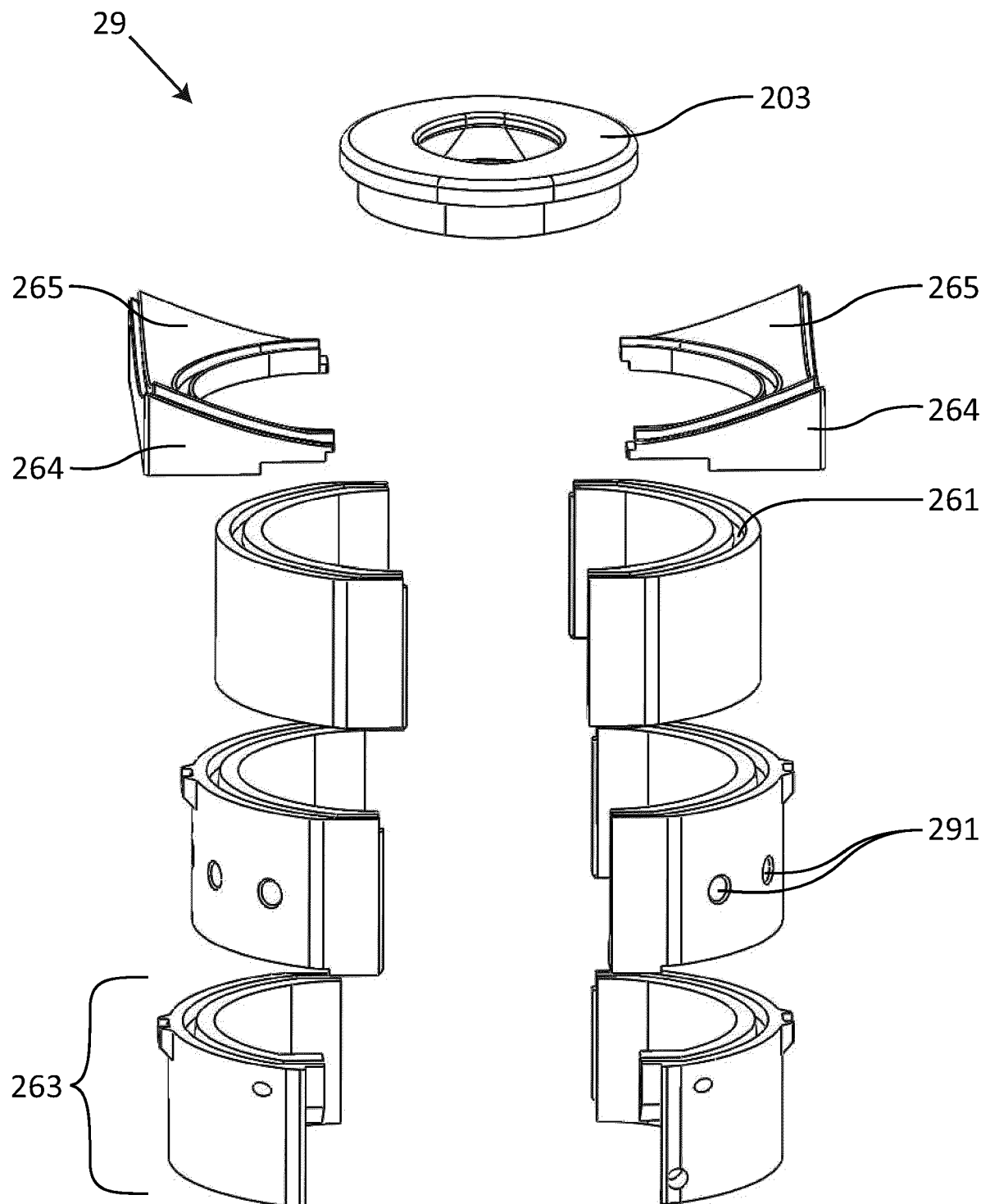


Fig. 8

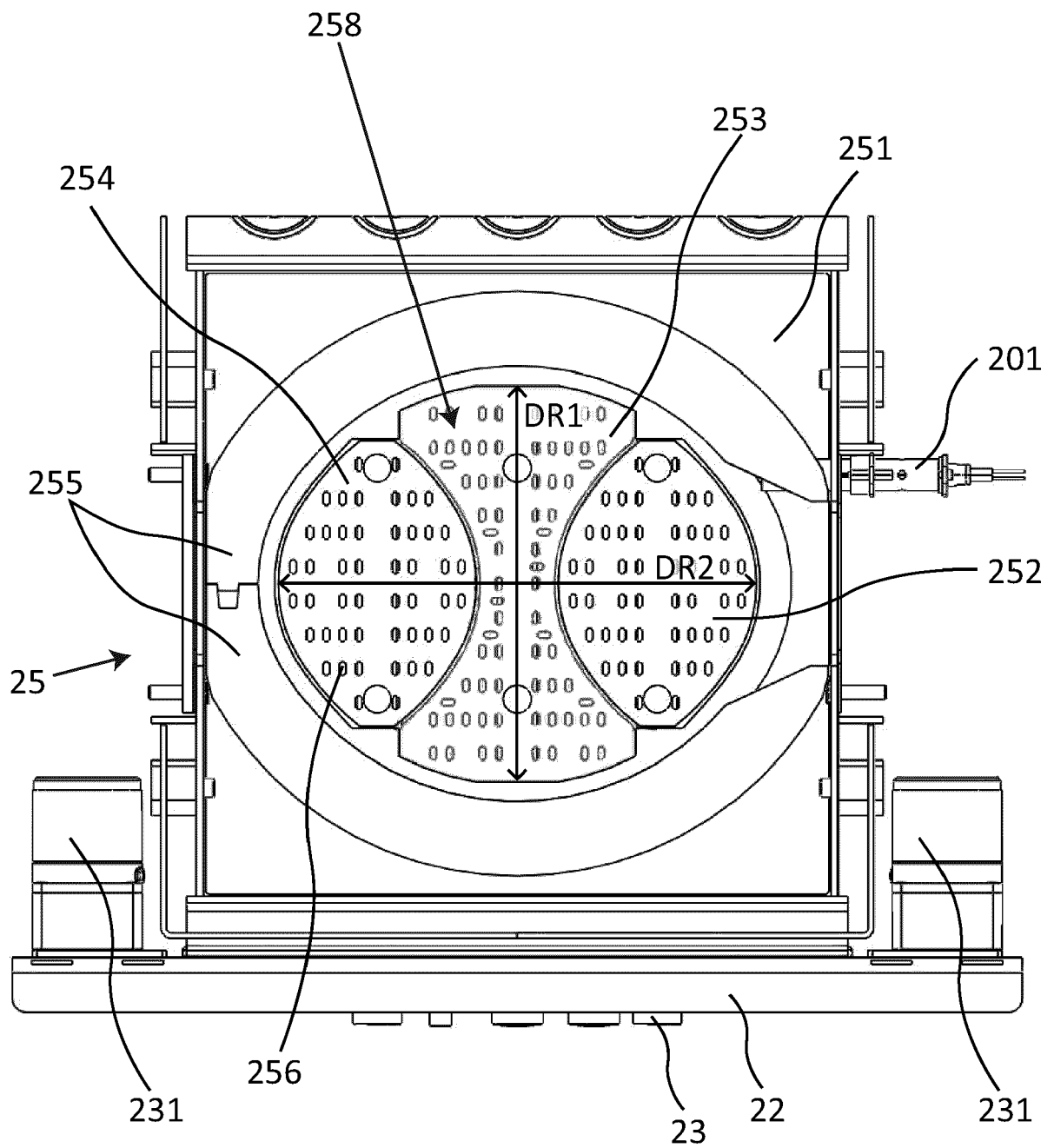


Fig. 9

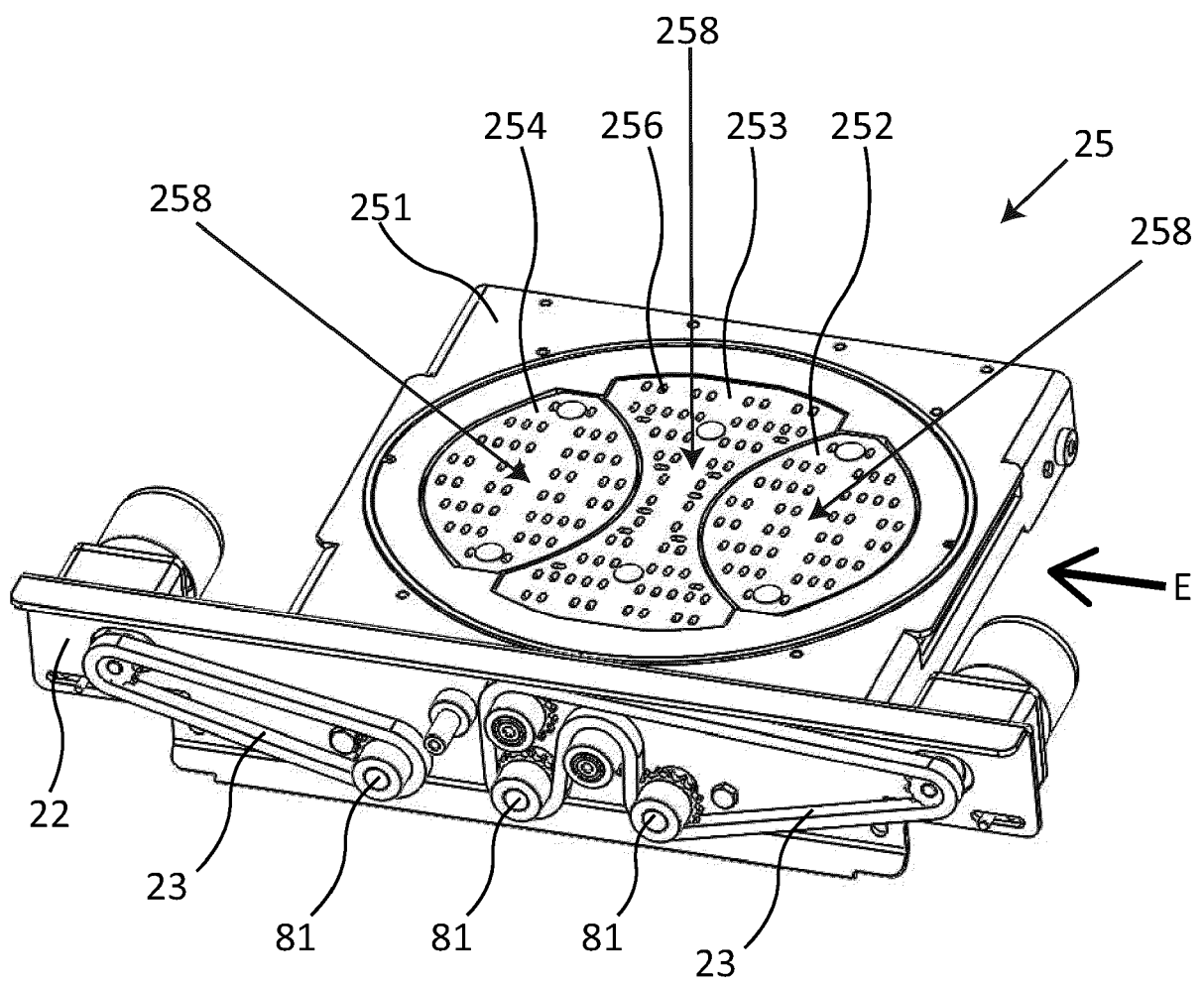


Fig. 10

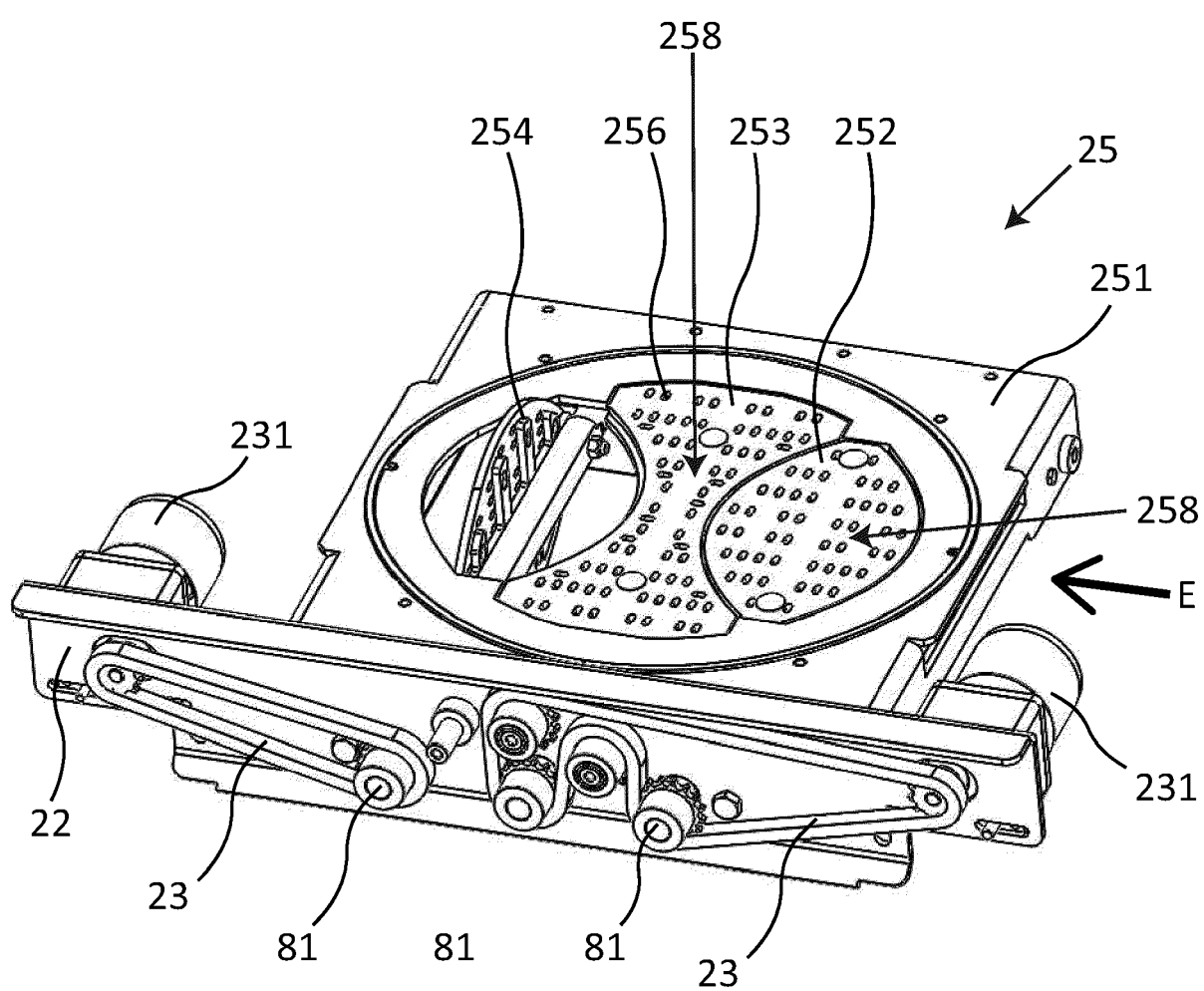
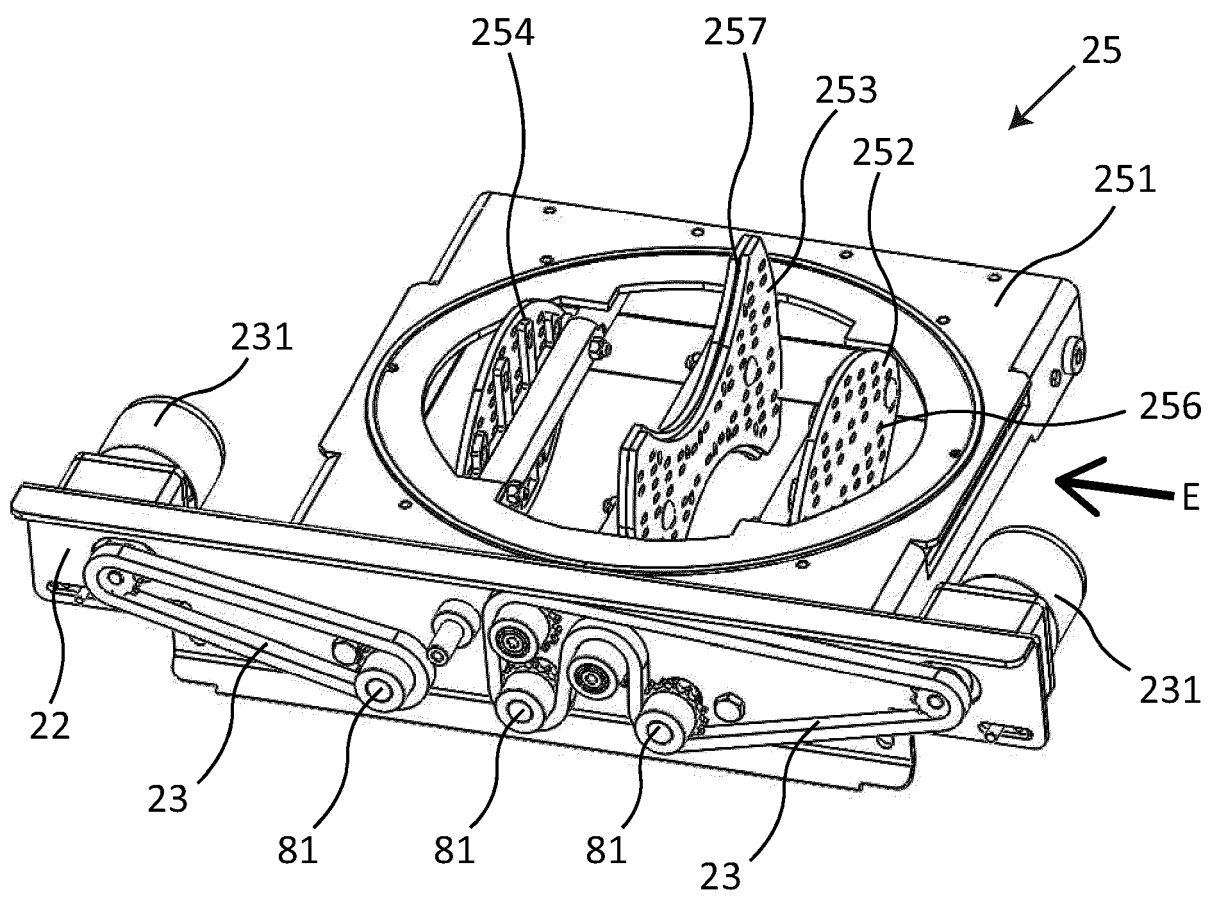


Fig. 11



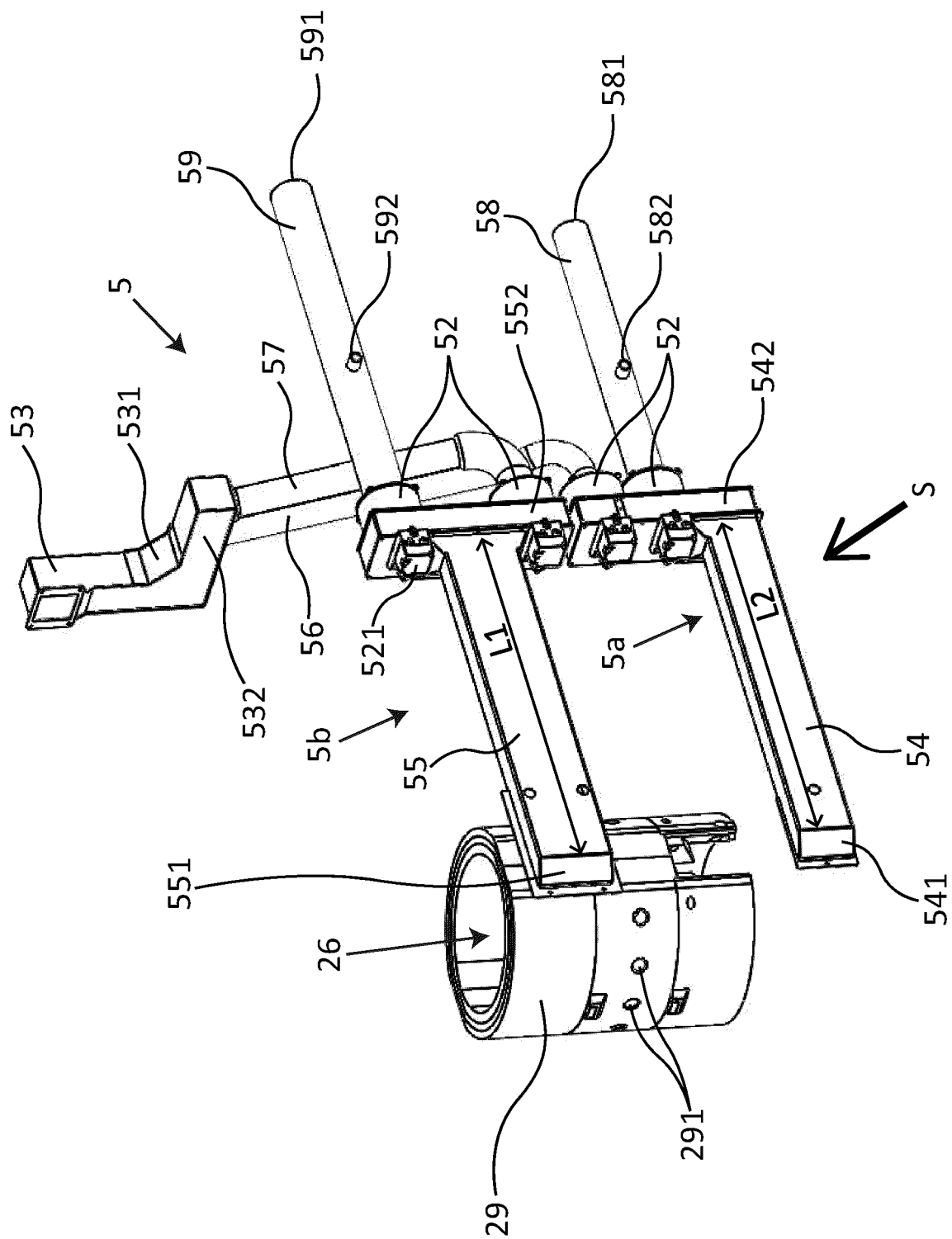


Fig. 12

Fig. 13

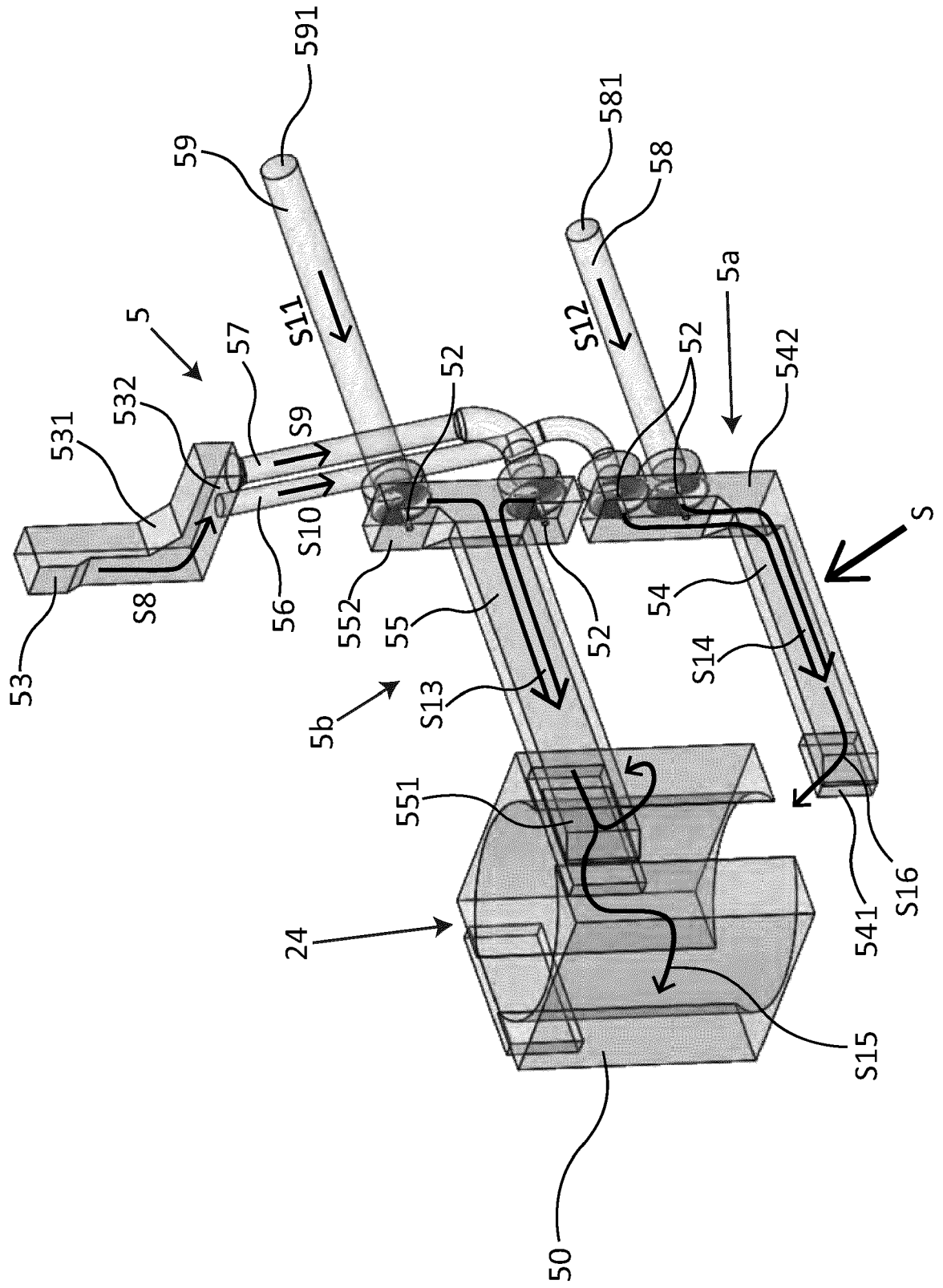


Fig. 14

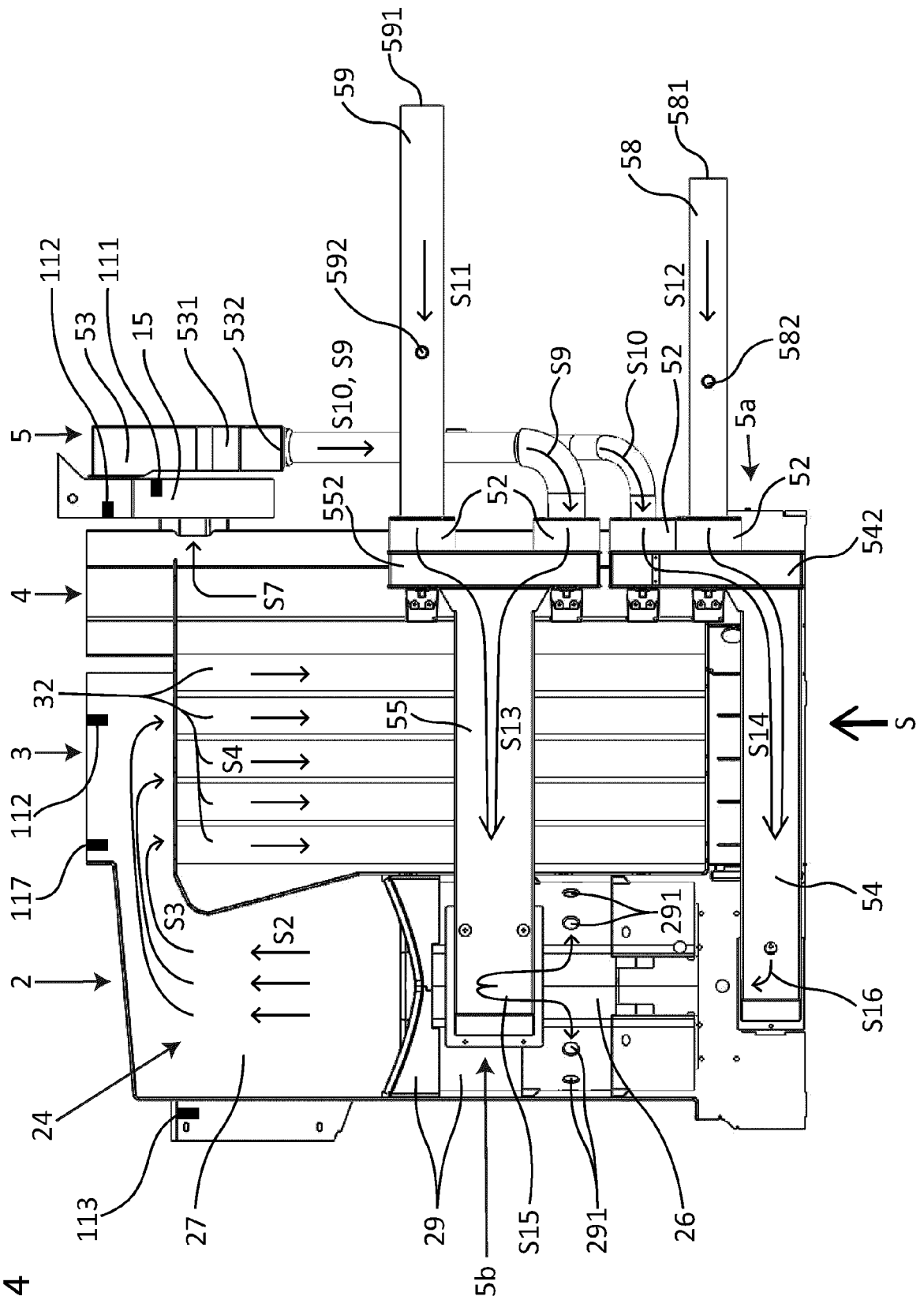
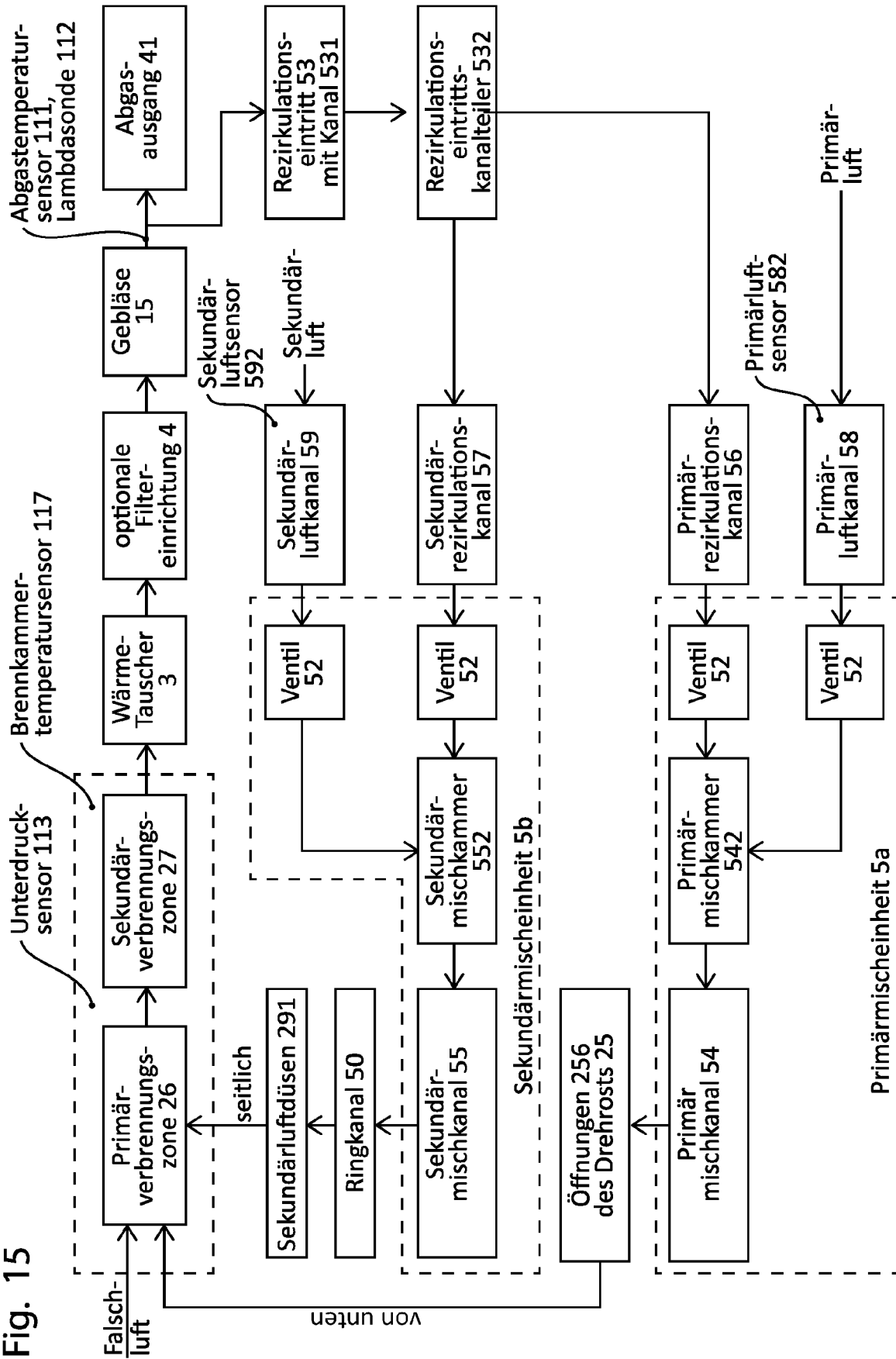


Fig. 15



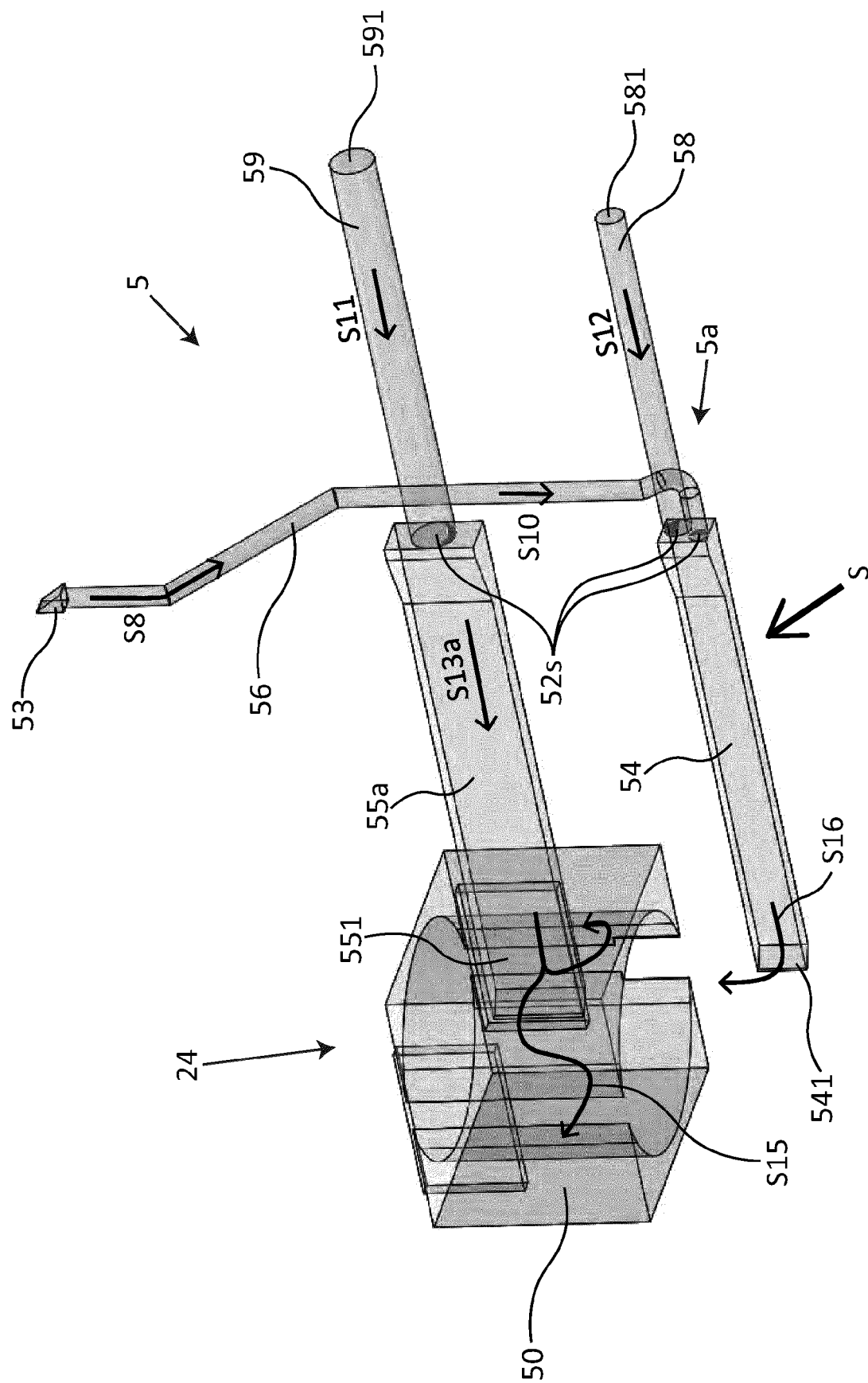


Fig. 16

Fig. 17

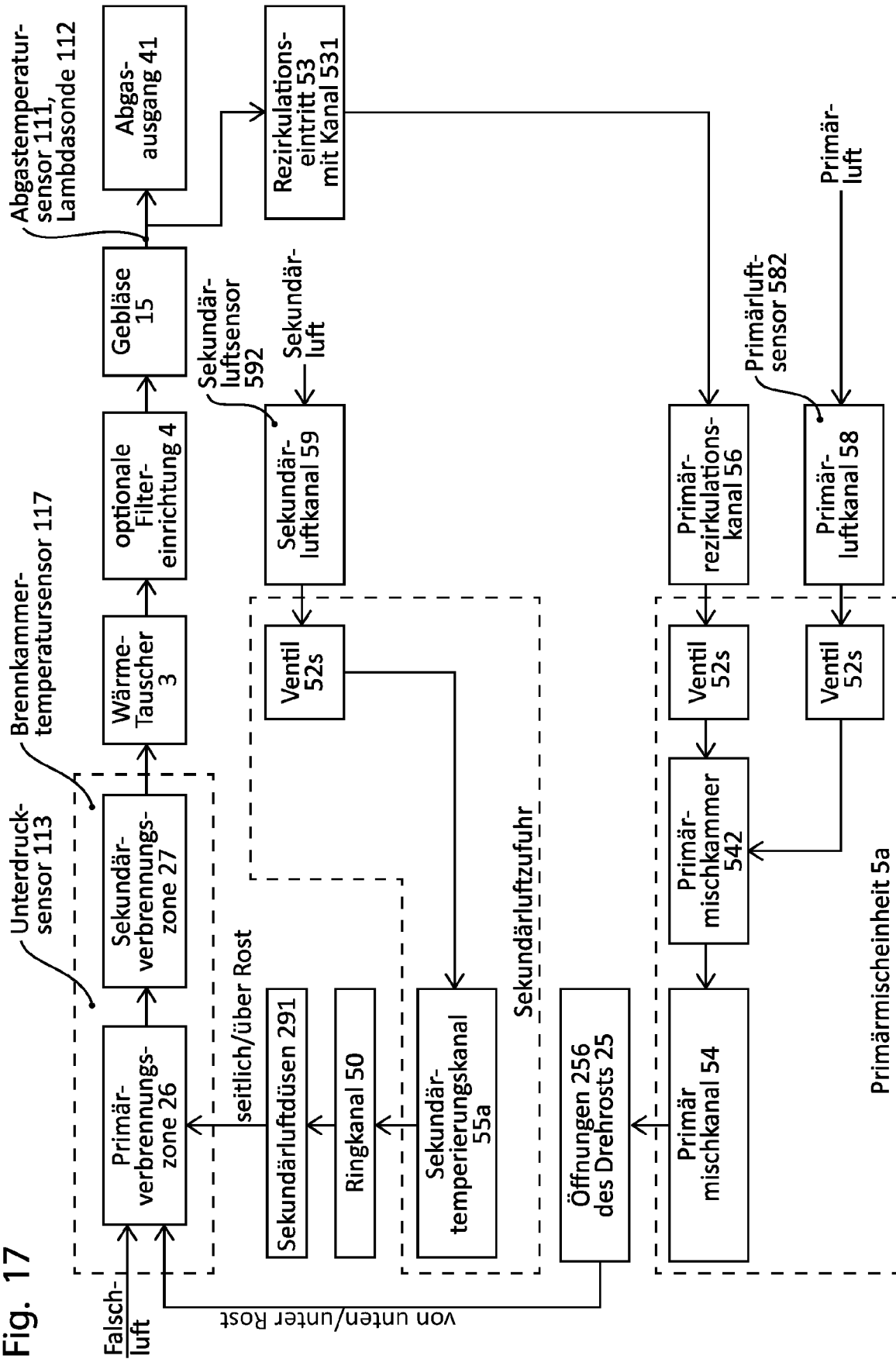


Fig. 18

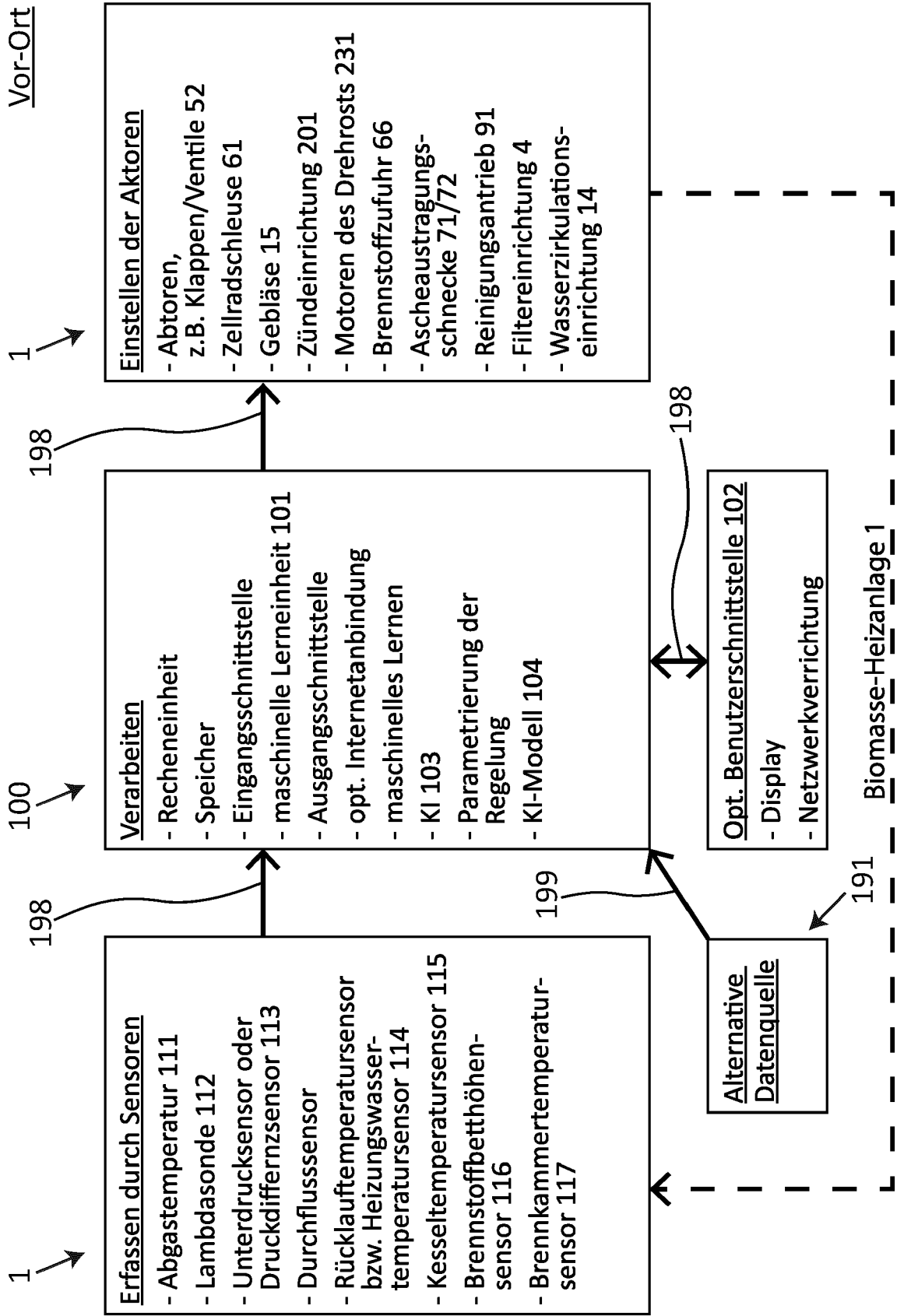


Fig. 19a

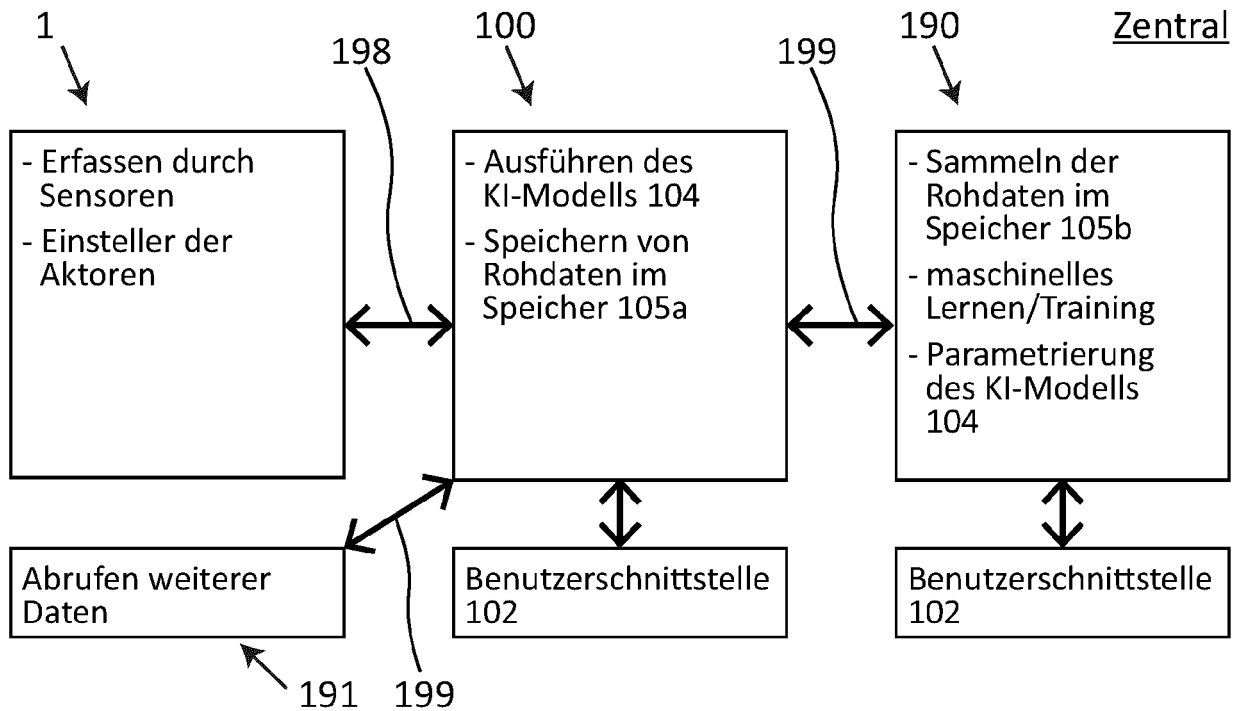


Fig. 19b

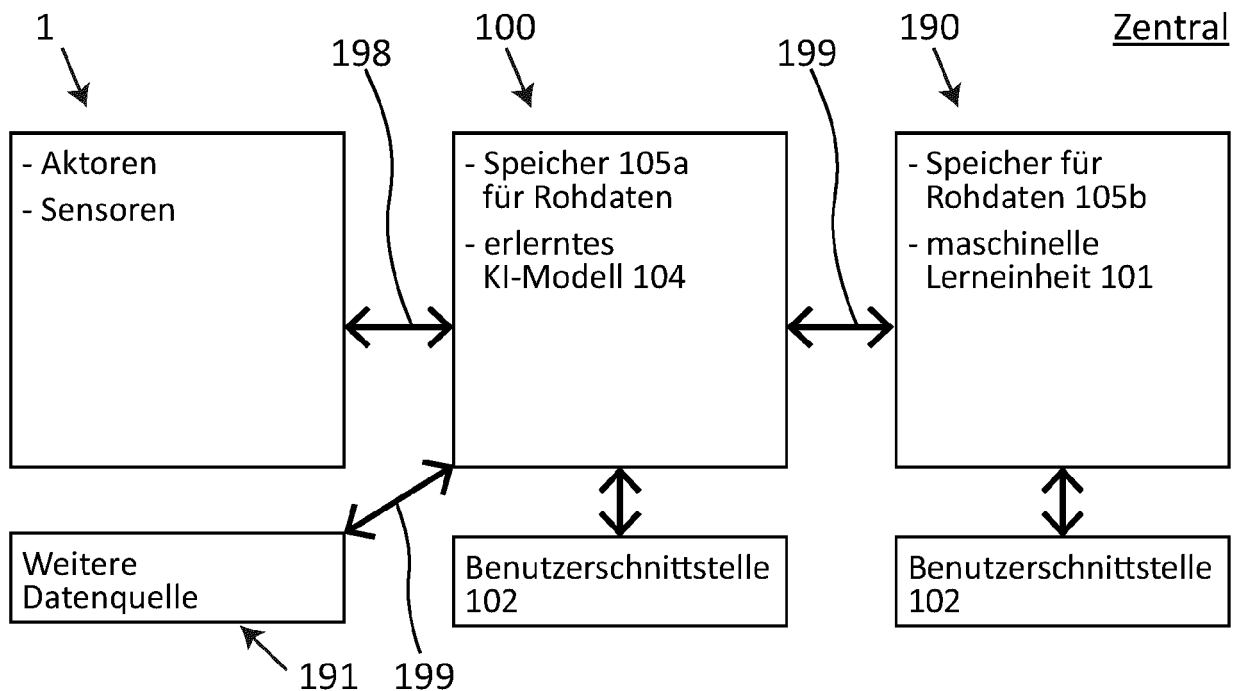


Fig. 19c

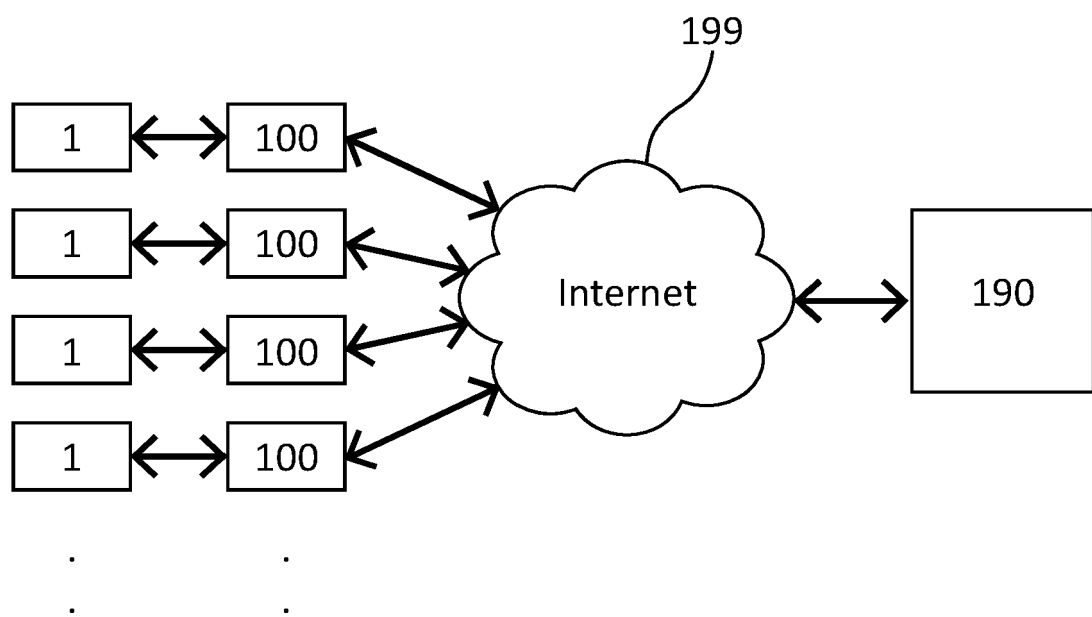


Fig. 20

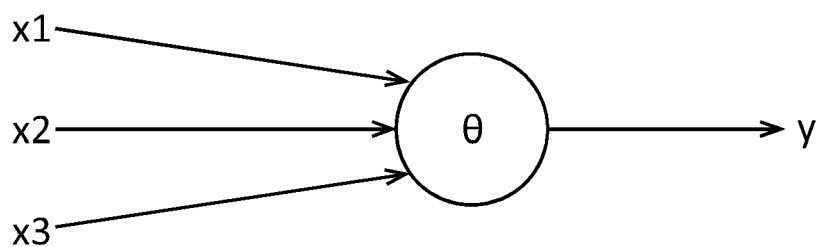


Fig. 21

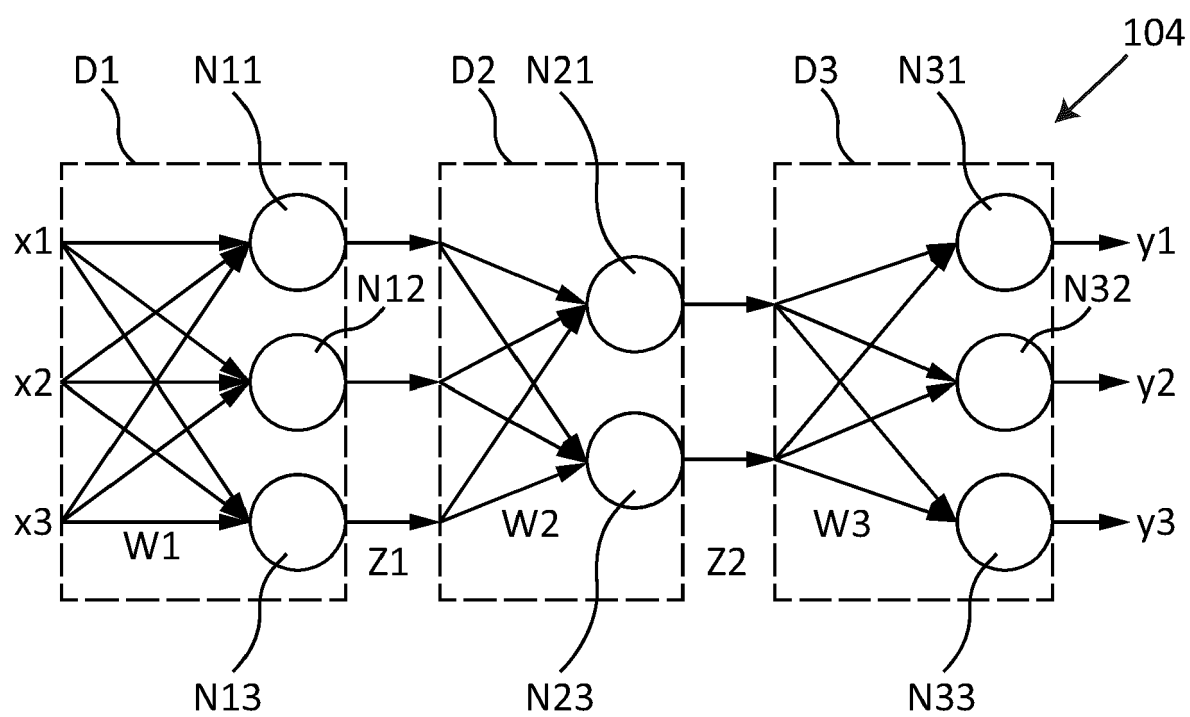


Fig. 22

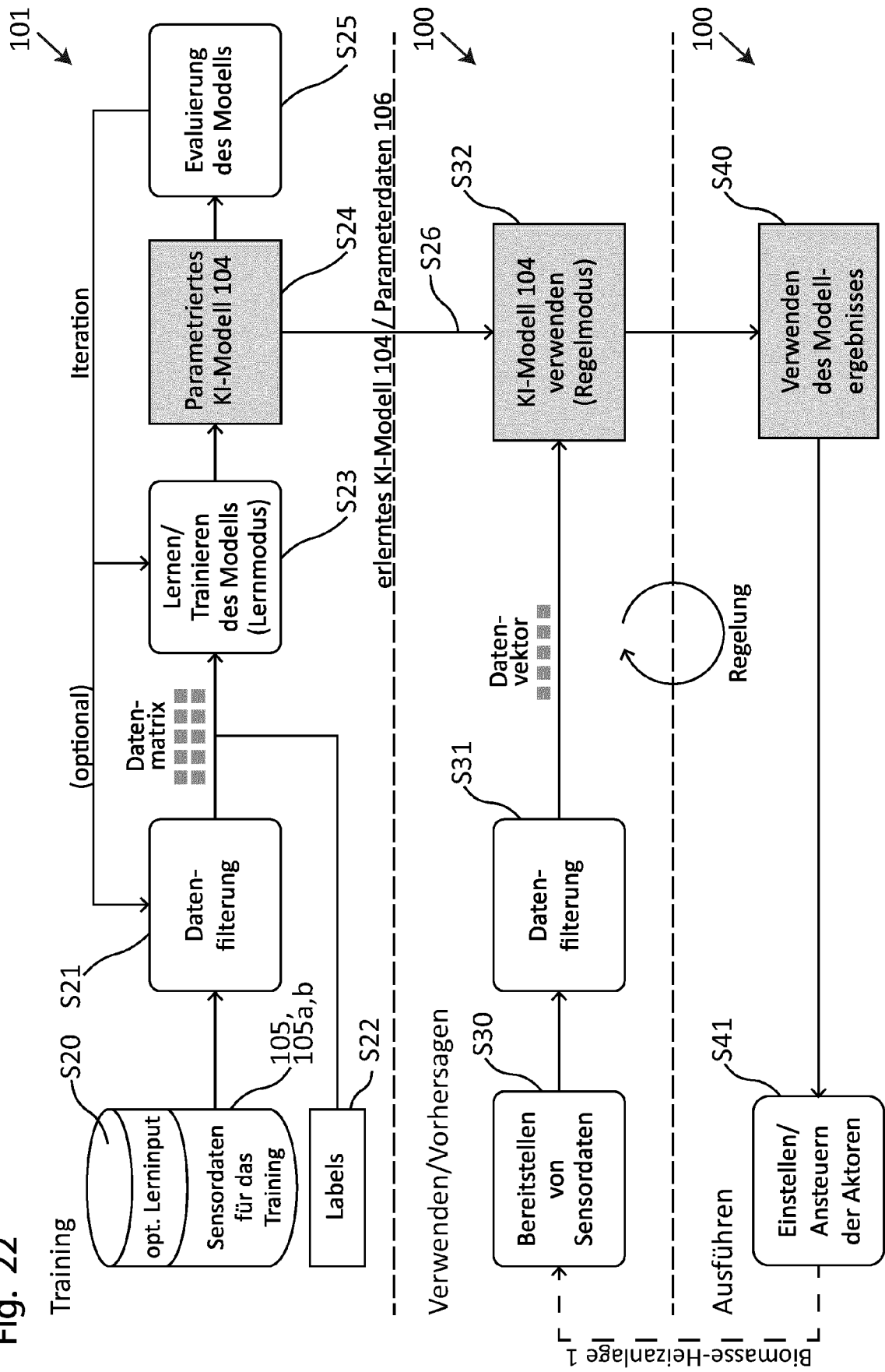


Fig. 23a

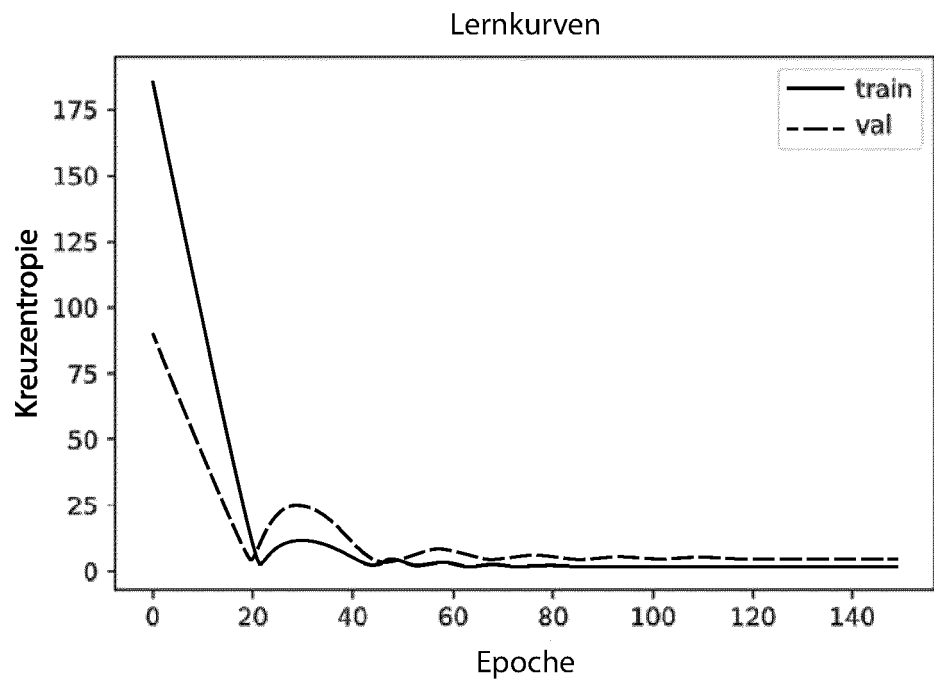


Fig. 23b

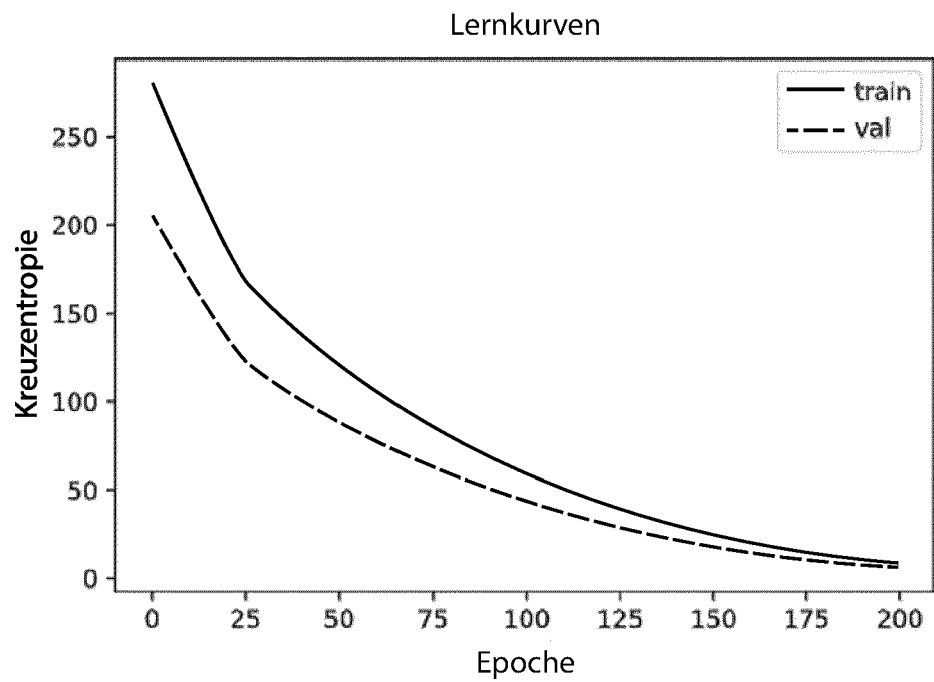


Fig. 24

106
↙

[	[	122	132	142	155	168	183	199	215	234	252	271	292	312	334	356	]
	[	122	133	145	158	170	184	198	214	230	248	266	284	303	321	339	]
	[	126	141	158	175	192	211	229	248	268	288	309	329	347	363	363	]
	[	130	143	155	170	185	200	214	230	250	267	286	304	323	343	361	]
	[	121	130	141	153	166	180	199	199	218	237	257	276	297	318	339	]
	[	124	142	161	182	209	237	262	285	310	332	352	368	282	296	406	]
	[	123	136	155	173	183	200	218	239	258	276	293	309	322	332	342	]
	[	121	129	137	144	159	175	196	217	239	261	283	303	324	342	356	]
	[	121	138	155	174	194	217	239	261	282	301	309	320	332	343	352	]
	[	128	146	163	185	209	233	247	275	302	325	346	363	382	402	418	]
	[	120	134	148	166	184	201	221	239	248	267	284	300	316	332	346	]
	[	124	144	168	193	218	236	258	282	306	330	348	357	376	394	419	]
	[	122	139	147	166	187	211	236	258	281	302	323	345	367	390	411	]
	[	122	131	140	146	159	174	190	209	228	248	267	285	302	310	326	]
	[	129	149	169	190	211	231	250	267	284	292	308	324	339	354	368	]
	[	126	145	166	187	209	230	250	268	285	302	318	333	346	360	373	]
	[	123	135	150	158	176	195	216	338	261	282	301	318	333	346	360	]
	...	]															

Fig. 25

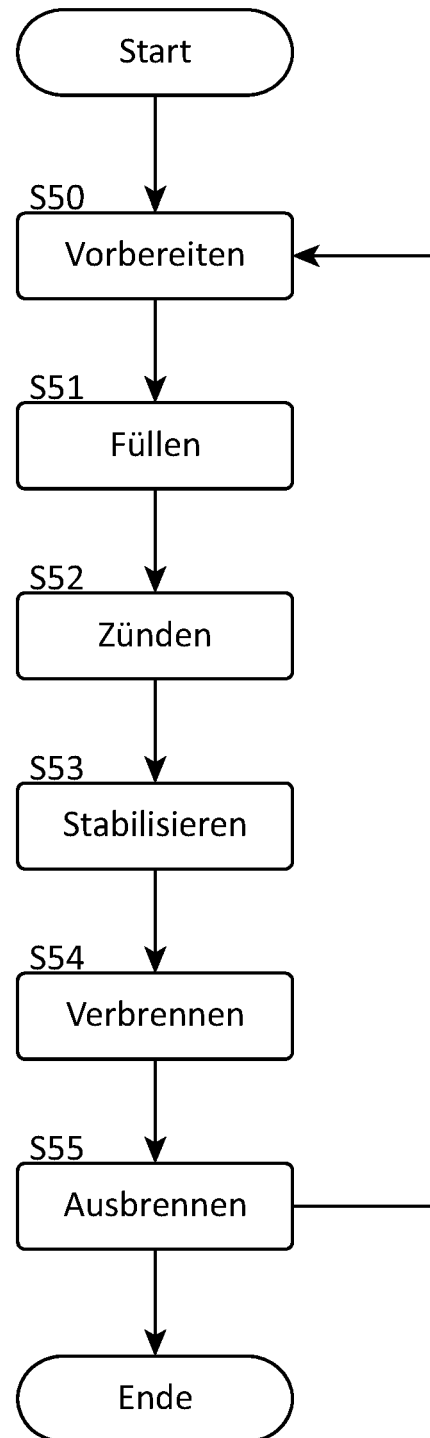
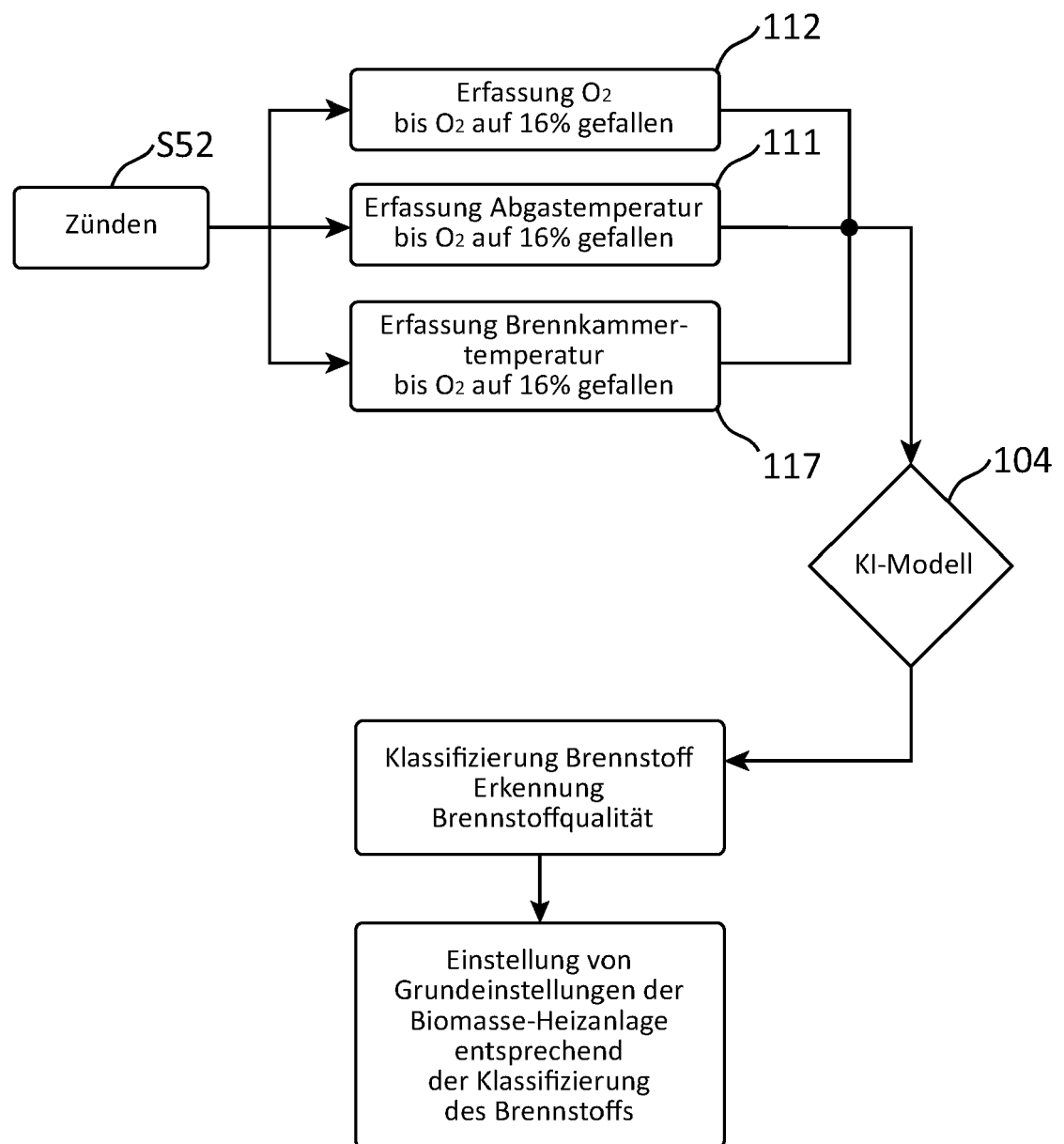


Fig. 26



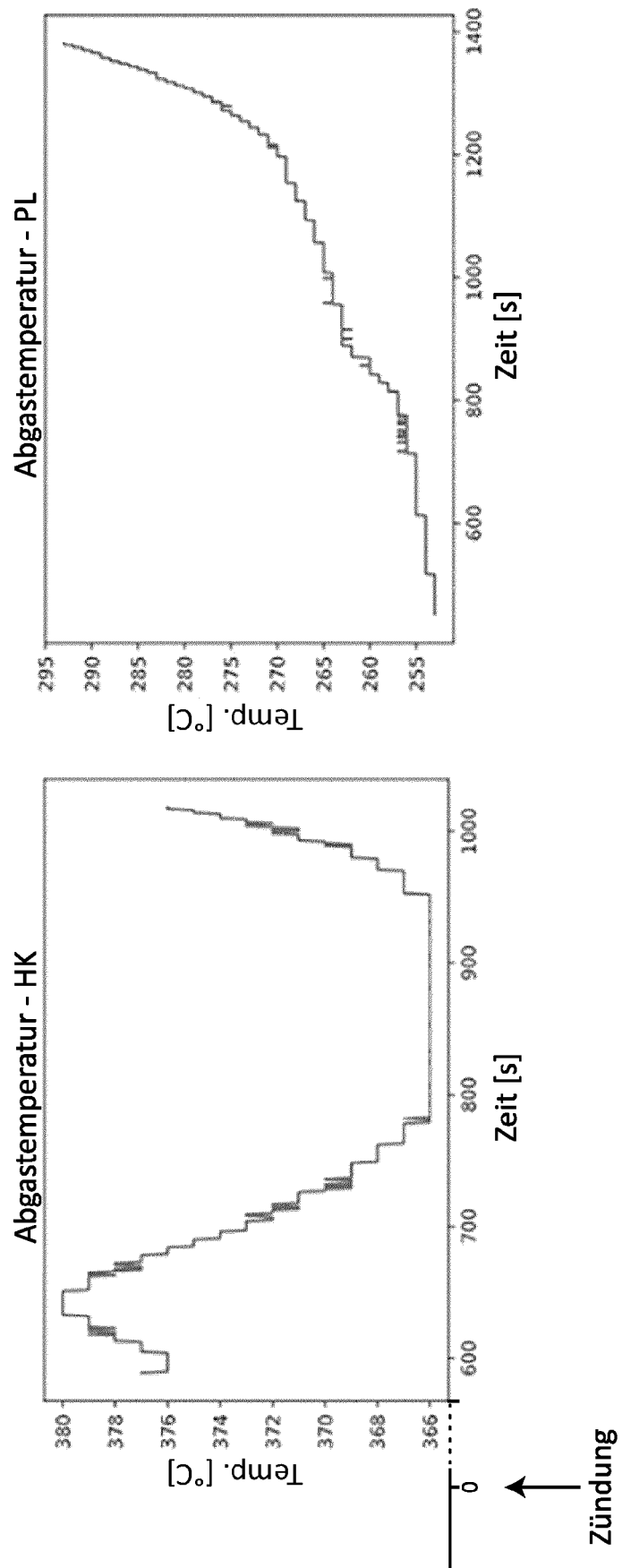


Fig. 27a

Fig. 27b

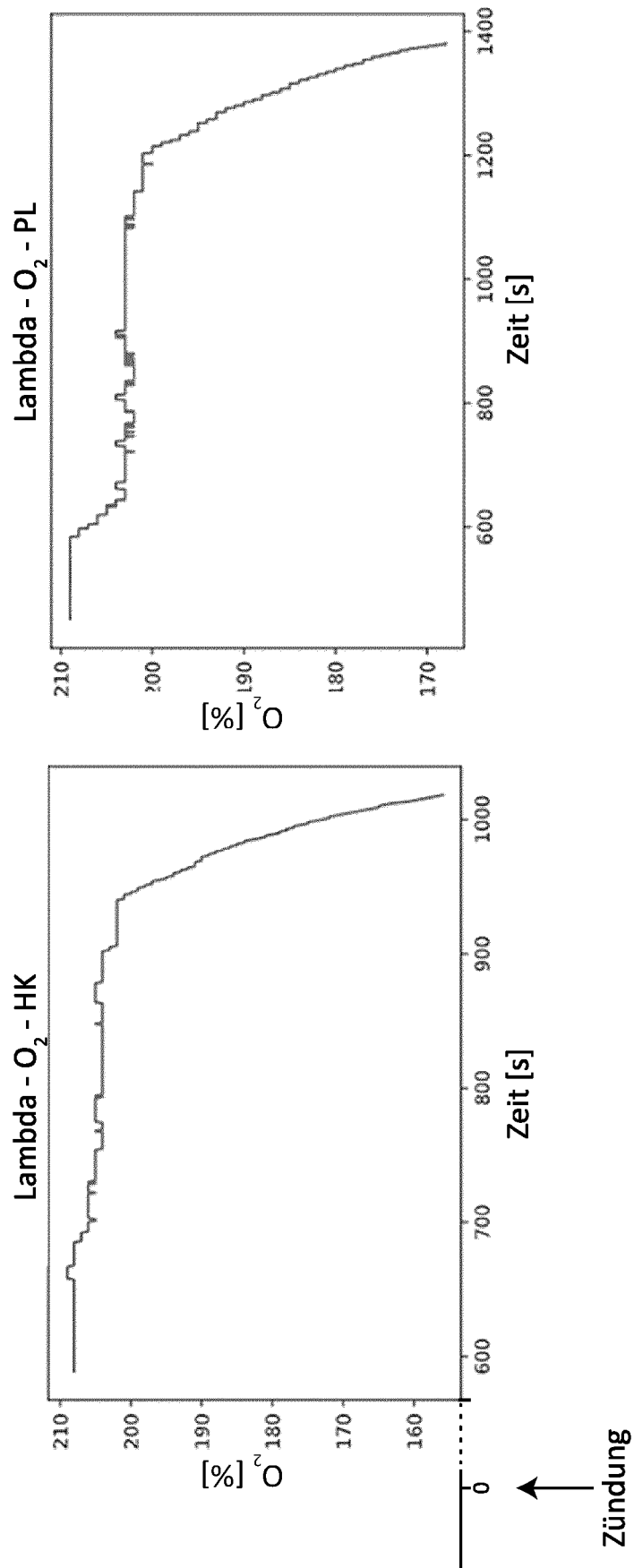


Fig. 27c

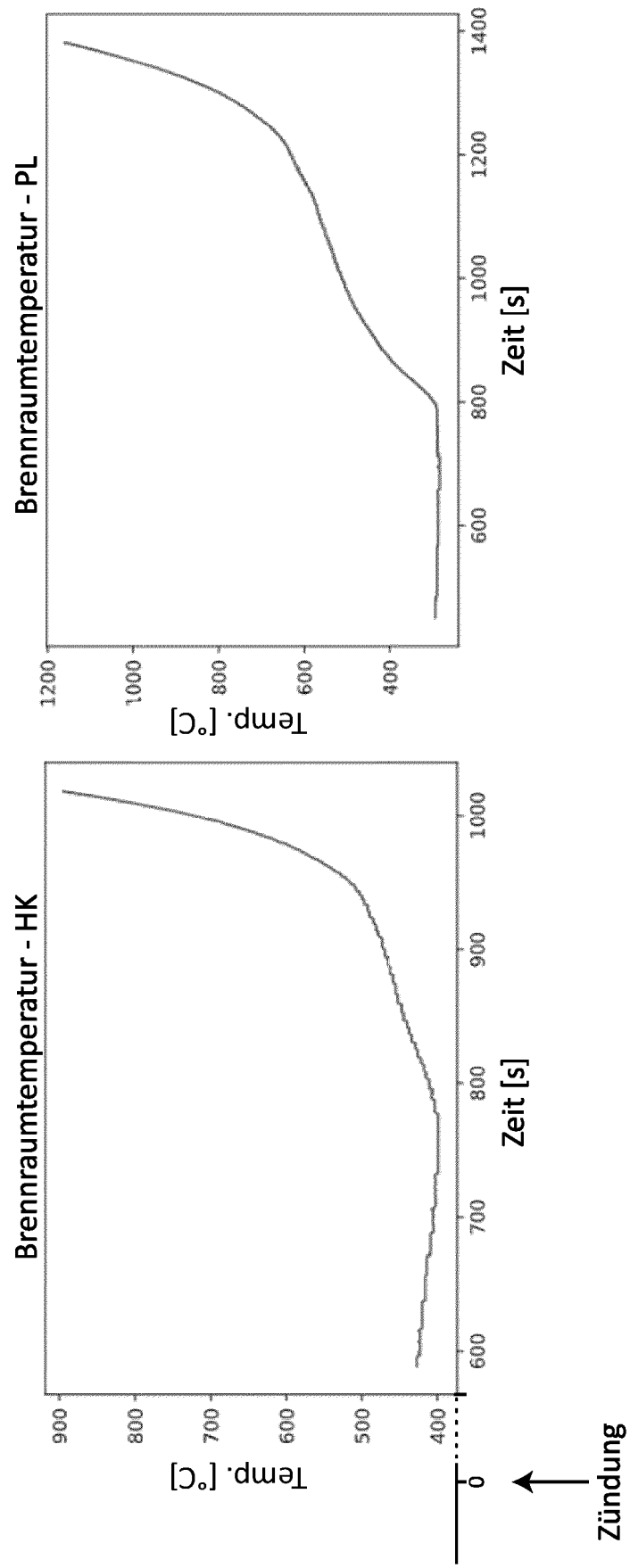


Fig. 28

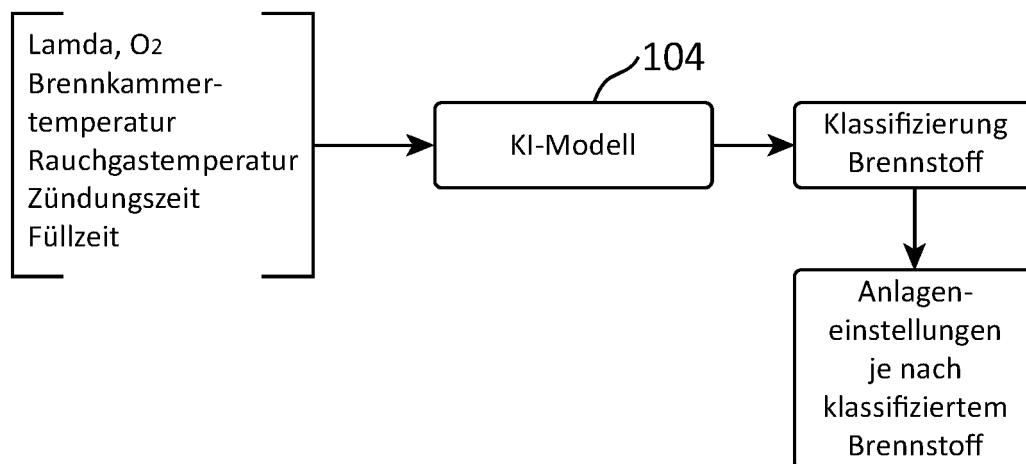
Brennstofferkennung/-klassifizierung

Fig. 29

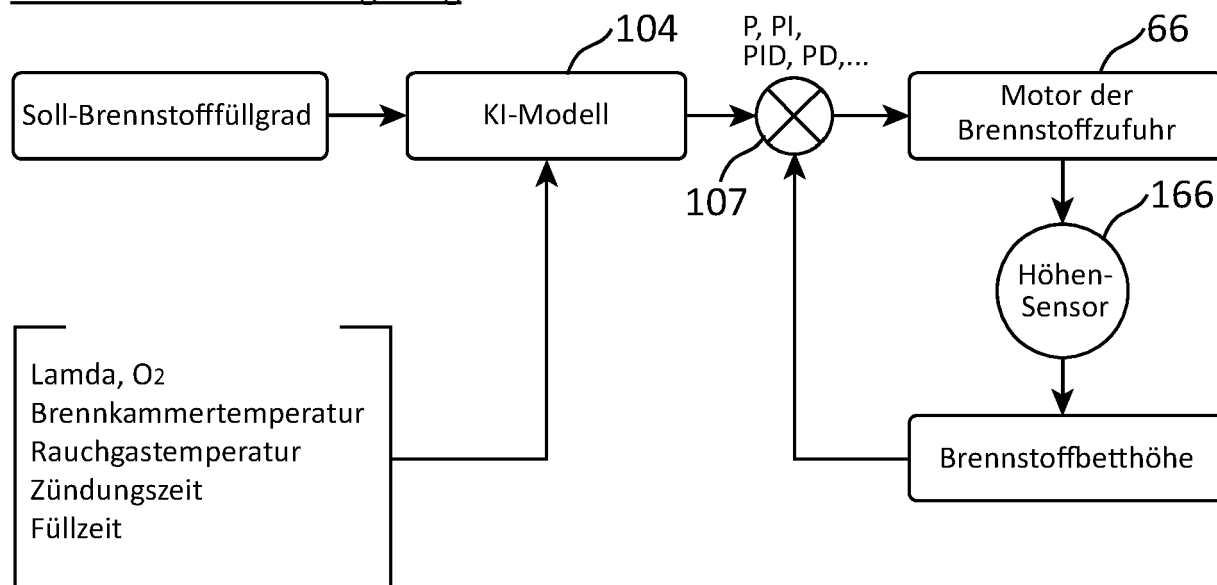
Brennstoffbetthöhenregelung

Fig. 30

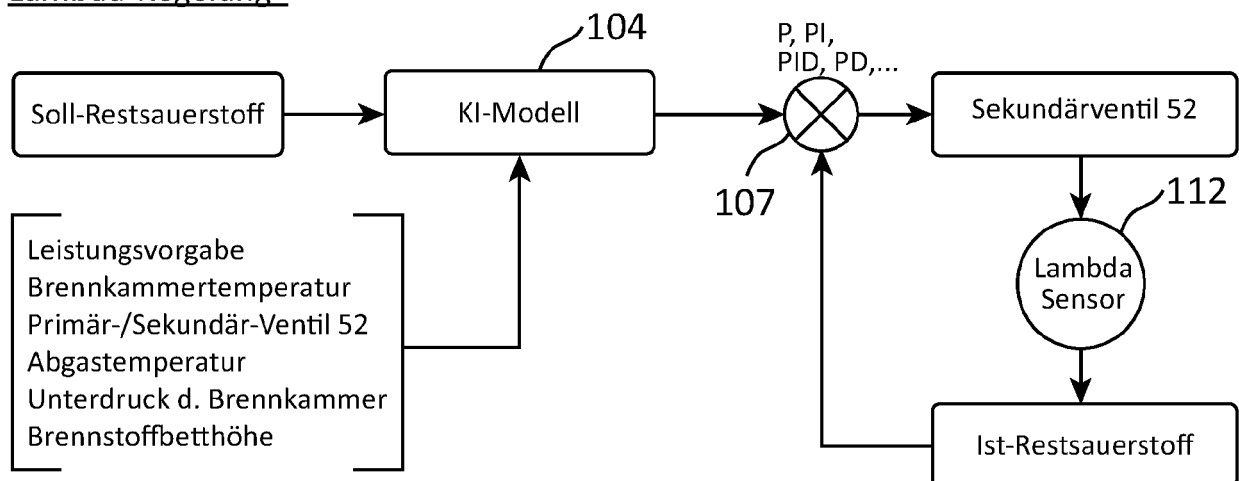
Lambda-Regelung

Fig. 31

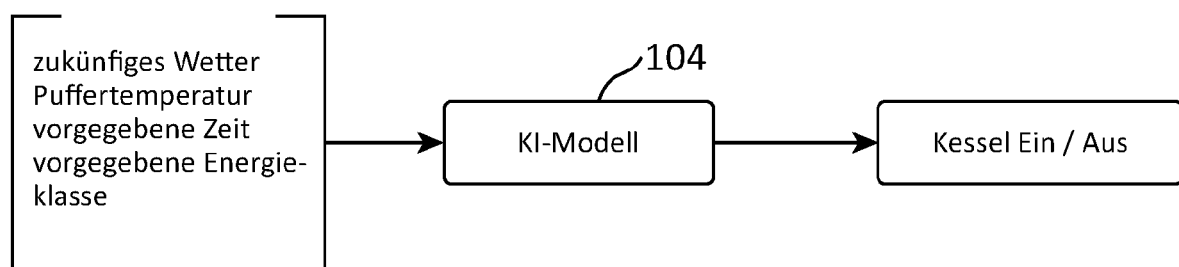
Ein/Aus-Regelung

Fig. 32

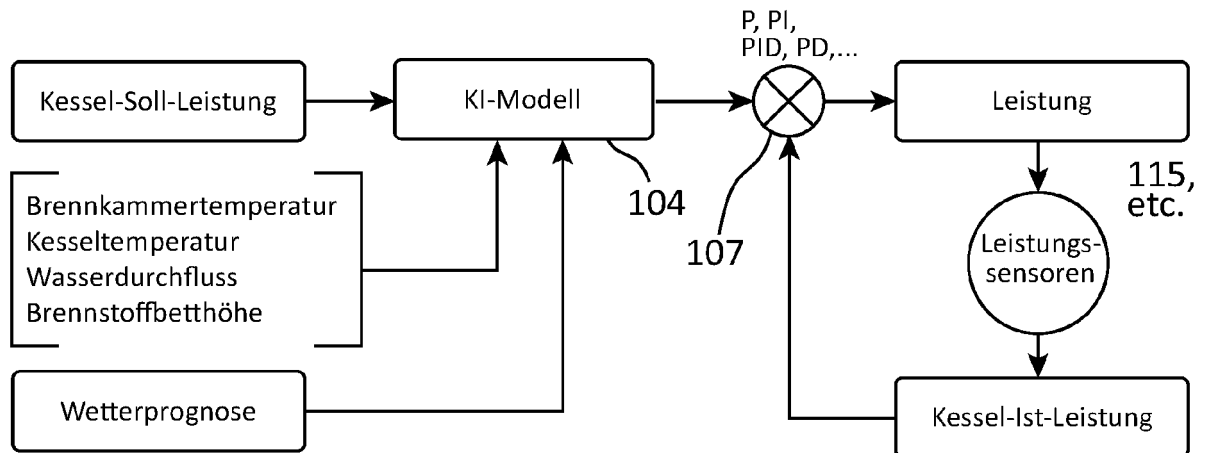
Wetterabhängige Leistungsregelung

Fig. 33

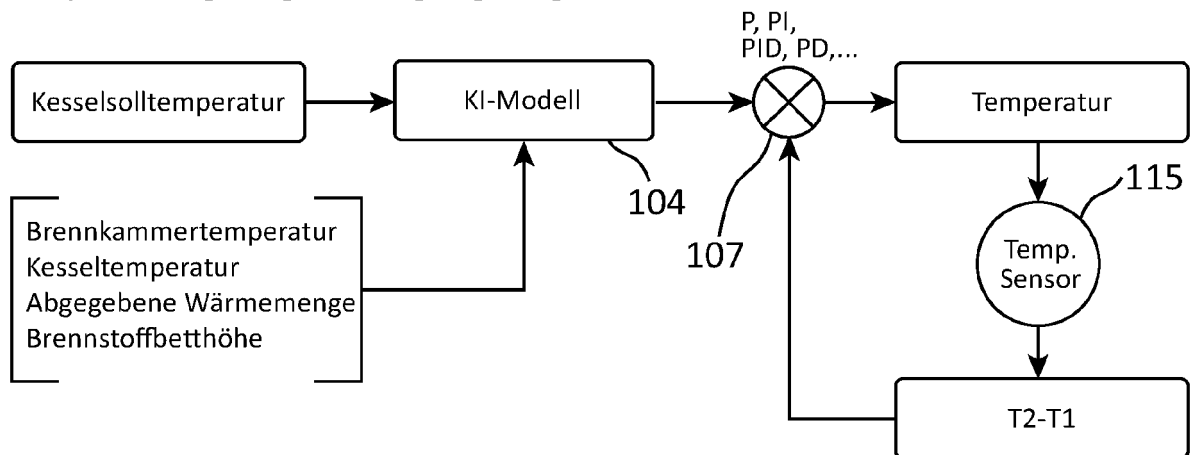
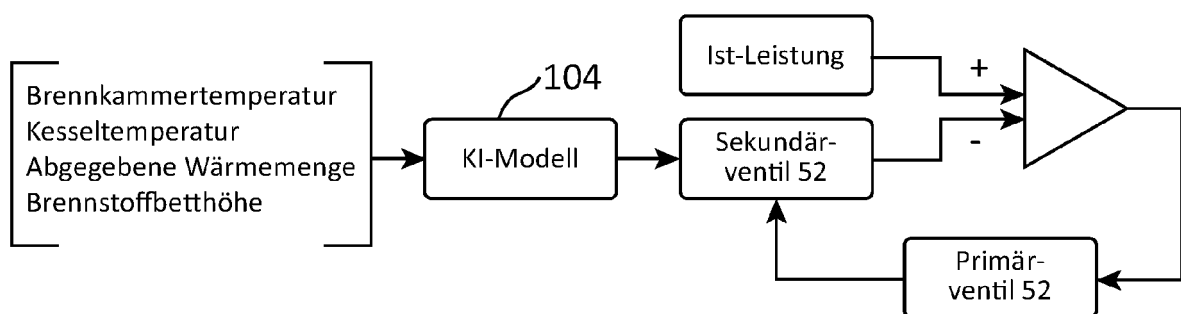
Temperaturregelung/Leistungsregelung

Fig. 34

Primärluftregelung



EUROPÄISCHER TEILRECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

nach Regel 62a und/oder 63 des Europäischen Patent-
übereinkommens. Dieser Bericht gilt für das weitere
Verfahren als europäischer Recherchenbericht.

EP 21 21 8435

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 102 19 251 B3 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 22. Januar 2004 (2004-01-22) * Seite 3, Absatz 13 - Seite 4, Absatz 25 * * Abbildungen 1, 2 *	1-5, 8-12	INV. F23G5/50 F23G7/10 F23N5/00 F24D19/00 F24H9/20
X	OSWALD CYRIL ET AL: "Advanced control with economic - ecological optimization for biomass-fired boilers", PROCEEDINGS OF THE 2014 15TH INTERNATIONAL CARPATHIAN CONTROL CONFERENCE (ICCC), IEEE, 28. Mai 2014 (2014-05-28), Seiten 407-412, XP032610931, DOI: 10.1109/CARPATHIANCC.2014.6843637 [gefunden am 2014-06-25] * das ganze Dokument *	1, 3-5, 12-18, 22	
X	US 2004/044423 A1 (WINTRICH FRANZ [DE] ET AL) 4. März 2004 (2004-03-04) * Seite 3, Absatz 25 - Seite 4, Absatz 37 * * Abbildungen 1-4 *	1, 3-5, 12	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F23G F23N F24H F24D

UNVOLLSTÄNDIGE RECHERCHE

Die Recherchenabteilung ist der Auffassung, daß ein oder mehrere Ansprüche, den Vorschriften des EPÜ
nicht entspricht bzw. entsprechen, so daß nur eine Teilrecherche (R.62a, 63) durchgeführt wurde.

Vollständig recherchierte Patentansprüche:

Unvollständig recherchierte Patentansprüche:

Nicht recherchierte Patentansprüche:

Grund für die Beschränkung der Recherche:

Siehe Ergänzungsblatt C

3

EPO FORM 1503 03.82 (P04E09)

Recherchenort München	Abschlußdatum der Recherche 22. Juli 2022	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		



**UNVOLLSTÄNDIGE RECHERCHE
ERGÄNZUNGSBLATT C**

Nummer der Anmeldung

EP 21 21 8435

5

Vollständig recherchierbare Ansprüche:

1-18, 22

10

Nicht recherchierte Ansprüche:

19-21

Grund für die Beschränkung der Recherche:

15

Die Recherche wurde auf den Gegenstand beschränkt, den der Anmelder in seinem Schreiben vom 14. Juni 22 in Beantwortung der Aufforderung nach R. 62a (1) oder/und 63 (1) EPÜ angegeben hat.

20

25

30

35

40

45

50

55

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

EP 21 21 8435

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

22-07-2022

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10219251	B3	22-01-2004	KEINE
US 2004044423	A1	04-03-2004	AT 393360 T 15-05-2008
		BR 0207733 A 23-03-2004	
		CA 2438046 A1 03-10-2002	
		CZ 20032262 A3 17-12-2003	
		EP 1364163 A1 26-11-2003	
		ES 2304446 T3 16-10-2008	
		HU 0303894 A2 01-03-2004	
		KR 20030077662 A 01-10-2003	
		MX PA03007505 A 04-12-2003	
		PL 363043 A1 15-11-2004	
		SK 10812003 A3 08-01-2004	
		US 2004044423 A1 04-03-2004	
		WO 02077527 A1 03-10-2002	
US 2009105852	A1	23-04-2009	AT 486308 T 15-11-2010
		EP 2048553 A1 15-04-2009	
		ES 2352976 T3 24-02-2011	
		KR 20090037829 A 16-04-2009	
		PL 2048553 T3 31-03-2011	
		US 2009105852 A1 23-04-2009	
EP 3628851	A1	01-04-2020	CN 110953074 A 03-04-2020
		EP 3628851 A1 01-04-2020	
		US 2020102902 A1 02-04-2020	

EPO FORM P0461

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 [0138]
- US 4567610 A [0345]