



(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
06.03.2024 Patentblatt 2024/10

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
F23G 5/50 (2006.01) F23N 1/00 (2006.01)  
F23N 5/26 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: 23195389.4

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
F23N 1/002; F23G 5/50; F23N 5/265;  
F23G 2900/55011; F23N 2221/10; F23N 2239/02;  
F23N 2900/01002

(22) Anmeldetag: 05.09.2023

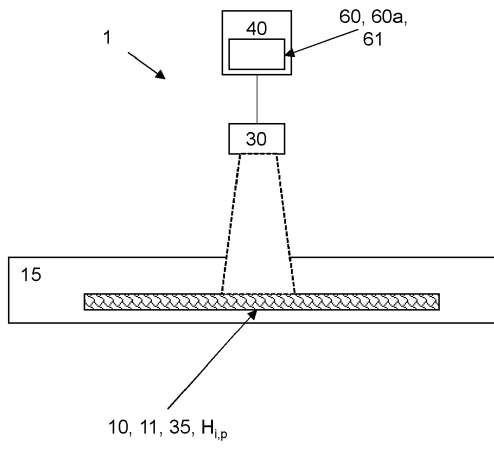
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div>(84) Benannte Vertragsstaaten:<br/>AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB<br/>GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL<br/>NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR<br/>Benannte Erstreckungsstaaten:<br/>BA<br/>Benannte Validierungsstaaten:<br/>KH MA MD TN</div> <div>(30) Priorität: 05.09.2022 DE 102022122433</div> <div>(71) Anmelder: WasteAnt GmbH<br/>28759 Bremen (DE)</div> | <div>(72) Erfinder:<ul style="list-style-type: none"><li>• Müller, Christian<br/>28759 Bremen (DE)</li><li>• Gomez Chavez, Arturo<br/>28759 Bremen (DE)</li><li>• Krupinski, Szymon<br/>28759 Bremen (DE)</li><li>• Storp, Maximilian<br/>28759 Bremen (DE)</li></ul></div> <div>(74) Vertreter: Schmidt, Alexander<br/>Sonnenberg Harrison Partnerschaft mbB<br/>Herzogspitalstraße 10a<br/>80331 München (DE)</div> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

(54) HEIZWERTERMITTLUNG

(57) Computerimplementiertes Verfahren für eine Ermittlung eines prognostizierten Heizwerts von einem Prozessmedium in einer thermischen Verwertungsanlage umfassend ein Bereitstellen des Prozessmediums durch eine Zuführeinheit, wobei das Prozessmedium einen hochvolumigen Stoffstrom umfasst, ein Erfassen mindestens eines Parameters des Prozessmediums mittels einer ersten Sensoreinheit, und ein Ermitteln eines prognostizierten Heizwerts auf Grundlage der erfassten Parameter des bereitgestellten Prozessmediums in einer

Verarbeitungseinheit mittels einer Prognoseeinheit. Das Erfassen des mindestens einen Parameters des Prozessmediums umfasst ein Erfassen von mindestens einem von einer Körnung des Prozessmediums, einer Partikelbeschaffenheit des Prozessmediums, einer Staubkonzentration des Prozessmediums, einer Feuchtigkeit des Prozessmediums, einer Partikelgrößenverteilung des Prozessmediums, einem kritischen Objekt in dem Prozessmedium oder einem biogenen Anteil des Prozessmediums.

Fig. 1



## Beschreibung

### TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG

**[0001]** Diese Anmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldung DE 10 2022 122 433.3 eingereicht am 5. September 2022. Die gesamte Offenbarung der deutschen Patentanmeldung DE 10 2022 122 433.3 wird hiermit durch Bezugnahme herein aufgenommen.

**[0002]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein computerimplementiertes Verfahren für eine Heizwertermittlung bei hochvolumigen Stoffströmen.

### HINTERGRUND DER ERFINDUNG

**[0003]** In der industriellen Abfallentsorgung und -verwertung kommen unterschiedliche Verfahren zur Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen oder energetischer Rückgewinnung aus Abfällen zum Einsatz. In vielen Ländern kommen beispielsweise Verbrennungsverfahren zum Einsatz, um schwer- oder nicht recyclebare Abfälle durch Verbrennung thermisch zu verwerten. In der thermischen Verwertung werden die Abfälle kontinuierlich als Volumenstrom einer Brennkammer zugeführt und unter Zugabe von beispielsweise Luftsauerstoff verbrannt. Diese thermische Verwertung erzeugt thermische Energie, welche beispielsweise zur Stromerzeugung und/oder über ein Fernwärmenetz zum Heizen von Gebäuden verwendet werden kann.

**[0004]** Aufgrund der unterschiedlichen Arten der Abfälle, die dem Verbrennungsprozess als Stoffstrom zugeführt werden, kann es jedoch zu Schwankungen in diesem Verbrennungsprozess kommen. Beispielsweise kann der Stoffstrom Gegenstände oder Störstoffe beinhalten, welche den Verbrennungsprozess in unvorhersehbarer Weise beeinflussen. Schwerentflammbare Gegenstände oder Stoffe können beispielsweise dazu führen, dass mehr Luftsauerstoff zugeführt werden muss oder gar brandbeschleunigende Zusatzmittel der Brennkammer zugesetzt werden müssen, um einen kontinuierlichen und emissionsarmen Verbrennungsprozess zu gewährleisten. Demgegenüber können beispielsweise leichtentflammbare oder gar explosive Gegenstände oder Stoffe dazu führen, dass eine unvorhergesehene starke Verbrennung stattfindet und zusätzliche Abfälle als Brennmaterial zugeführt werden müssen. Bei der explosionsartigen Verbrennung kann zudem auch die Brennkammer beschädigt werden. Diese Veränderungen in dem Volumenstrom führen demnach zu einer unvorhergesehenen Veränderung des Verbrennungsprozesses und reduzieren hierdurch die Effizienz dieses Verbrennungsprozesses. Ferner kann es zu Anlagenschäden und damit verbundenen Stillständen der thermischen Verwertungsanlage kommen.

**[0005]** Im Stand der Technik sind unterschiedliche Lösungen für ein gezieltes Überprüfen und Sortieren von Stoffströmen bekannt. Beispielsweise beschreibt die Pa-

tentanmeldung WO 2020 / 082 176 A1 (Camirand et. al., Waste Robotics Inc.) eine robotische Aufspießvorrichtung und ein robotergestütztes Verfahren zur Durchführung eines Abfangens und Sortierens eines ausgewählten Gegenstandes aus einer Masse von Gegenständen in einem Abfallstrom. Die Vorrichtung umfasst einen Roboter manipulator, an dessen einem Ende ein Aufspießendeffektorkörper montiert ist, welcher ein- und ausgefahren werden kann. Die Vorrichtung umfasst zudem ein Bildverarbeitungssystem, welches eingerichtet ist, um Bilder der Masse von Gegenständen zu erfassen, die erfassten Bilder zu verarbeiten, um den ausgewählten Gegenstand aus der Masse von Gegenständen zu identifizieren und die Position des ausgewählten Gegenstands zu ermitteln. Der ermittelte Gegenstand wird mittels des Aufspießendeffektorkörpers aus dem Stoffstrom entfernt.

**[0006]** Ferner beschreibt beispielsweise das U.S. Patent US 10,799,915 B2 ein System und ein Verfahren zum Sortieren von wiederverwertbaren Gegenständen und anderen Materialien. Das System umfasst mindestens einen Bildsensor, einen Controller und mindestens eine an den Controller angebundene Schiebervorrichtung. Der Controller umfasst einen Prozessor und einen Speicher und ist eingerichtet, um von dem Bildsensor erfasste Bilddaten zu empfangen. Die mindestens eine Schiebervorrichtung ist eingerichtet, um ein Betätigungssignal von dem Controller zu empfangen. Der Prozessor ist eingerichtet, um Objekte zu erfassen, die sich mit dem Stoffstrom bewegen, und mindestens ein Zielobjekt zu erkennen, das sich mit dem Stoffstrom bewegt, indem die Bilddaten verarbeitet werden, und um einen erwarteten Zeitpunkt zu ermitteln, zu dem sich das mindestens eine Zielobjekt innerhalb eines Ablenkungspfades der Schiebereinrichtung befinden wird. Der Controller erzeugt das Betätigungssignal selektiv in Abhängigkeit davon, ob ein in den Bilddaten erfasstes Objekt, welches mindestens eine Zielobjekt umfasst, und veranlasst hierdurch ein Entfernen des erfassten Objekts aus dem Stoffstrom.

**[0007]** Ferner beschreibt beispielsweise die Veröffentlichung Pehlken, Alexandra, Patrick Eschemann, Henriette Garmatter, Fabian Cyris, und Astrid Nieße. 2021. "Einsatz von Künstlicher Intelligenz in der Digitalisierung von Abfallverbrennungskraftwerken". Gesellschaft für Informatik, Bonn ein System und ein Verfahren für eine thermische Verwertung von Abfällen in Abfallverbrennungskraftwerken. Das System erfasst in einer thermischen Verwertungsanlage Mess- und Bilddaten welche aufbereitet und vortrainierten neuronalen Netzen zugeführt werden, um verschiedene Materialien zu klassifizieren und hierdurch Informationen über eine Abfallzusammensetzung und dem Heizwert zu erhalten. Aus Pehlken et. al. wird jedoch ersichtlich, dass eine Prognose des Heizwertes von Abfällen aufgrund der Heterogenität des Abfalls in den Abfallverbrennungskraftwerken komplex ist. Ferner wird aus Pehlken et. al. ersichtlich, dass keine Lösungen zur Analyse hochvolumiger Stoff-

ströme existieren.

**[0008]** Im Stand der Technik sind unterschiedliche Lösungen bekannt, welche eine gezielte Erkennung einzelner Gegenstände aus einer Anzahl von Gegenständen beim Recycling und der thermischen Verwertung von Abfall ermöglichen. Lösungen für die Prognose einer Zusammensetzung oder Prognose eines Heizwerts eines inhomogenen und hochvolumigen Stoffstroms zur Steuerung einer Heizwertsteuerung in einer thermischen Verwertungsanlage sind jedoch nicht bekannt.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0009]** Vor diesem Hintergrund werden eine Vorrichtung und ein computerimplementiertes Verfahren zur für eine Ermittlung eines prognostizierten Heizwerts von einem Prozessmedium sowie eine Vorrichtung und ein computerimplementiertes Verfahren für eine Heizwertsteuerung in einer thermischen Verwertungsanlage unter Verwendung eines prognostizierten Heizwerts bereitgestellt.

**[0010]** Das computerimplementierte Verfahren für eine Ermittlung eines prognostizierten Heizwerts von einem Prozessmedium in einer thermischen Verwertungsanlage umfasst ein Bereitstellen des Prozessmediums durch eine Zuführeinheit, ein Erfassen mindestens eines Parameters des Prozessmediums mittels einer ersten Sensoreinheit und ein Ermitteln eines prognostizierten Heizwerts auf Grundlage der erfassten Parameter des bereitgestellten Prozessmediums in einer Verarbeitungseinheit mittels einer Prognoseeinheit. Das Prozessmedium umfasst beispielsweise einen hochvolumigen Stoffstrom. Das Erfassen des mindestens einen Parameters des Prozessmediums umfasst ein Erfassen von mindestens einem von einer Körnung des Prozessmediums, einer Partikelbeschaffenheit des Prozessmediums, einer Staubkonzentration des Prozessmediums, einer Feuchtigkeit des Prozessmediums, einer Partikelgrößenverteilung des Prozessmediums, einem kritischen Objekt in dem Prozessmedium oder einem biogenen Anteil des Prozessmediums umfasst.

**[0011]** Durch die Ermittlung des prognostizierten Heizwerts ist es möglich, den hochvolumigen Stoffstrom qualitativ und quantitativ zu bewerten. Hierdurch kann eine Prozesseffizienz in nachgelagerten thermischen Verwertungsprozessen erhöht werden. Ferner können hierdurch Anlagenstörungen und -ausfälle in nachgelagerten thermischen Verwertungsprozessen verhindert werden. Durch diese Transparenz werden Stoffstromänderungen und Charakteristiken messbar. Durch diese Messbarkeit werden proaktive systematische Handlungsaktionen zur Prozesseffizienzsteigerung möglich. Beispielsweise kann der Stoffstrom, welcher in der thermischen Verwertung zugeführt wird, proaktiv gesteuert werden, um die Abfallverbrennung in einem optimalen, der thermischen Verwertungsanlage entsprechenden Heizwertband erfolgen. Durch diese proaktive Steuerung wird beispielsweise eine thermische Überbeanspru-

chung von Anlagenteilen durch zu hohe Heizwerte im Stoffstrom verhindert. Zudem können erhöhte Emissionen durch eine suboptimale Temperaturentwicklung bei der thermischen Verwertung vermieden werden. Die Prognose des Heizwerts des hochvolumigen Stoffstroms ermöglicht es demnach, einen Beitrag zur Reduzierung von Wartungskosten, Beschädigung im Anlagenprozess, sowie eine optimalere thermische Verwertung des Stoffstroms zu leisten. Hierdurch wird ein höherer Stoffstromdurchsatz begünstigt, welcher im kommerziellen Interesse eines Anlagenbetreibers ist.

**[0012]** In einem weiteren Aspekt umfasst ein computerimplementiertes Verfahren für eine Heizwertsteuerung in einer thermischen Verwertungsanlage unter Verwendung eines prognostizierten Heizwerts ein Bereitstellen eines Prozessmediums durch eine Zuführeinheit, ein Erfassen mindestens eines Parameters des Prozessmediums mittels einer ersten Sensoreinheit, ein Ermitteln des prognostizierten Heizwerts auf Grundlage der erfassten Parameter des bereitgestellten Prozessmediums in einer Verarbeitungseinheit mittels einer Prognoseeinheit und ein Steuern einer Zusammensetzung des bereitgestellten Prozessmediums mittels einer Zusammensetzungssteuereinheit unter Verwendung des prognostizierten Heizwerts des bereitgestellten Prozessmediums. Das Prozessmedium umfasst beispielsweise einen hochvolumigen Stoffstrom. Das Erfassen des mindestens einen Parameters des Prozessmediums umfasst ein Erfassen von mindestens einem von einer Körnung des Prozessmediums, einer Partikelbeschaffenheit des Prozessmediums, einer Staubkonzentration des Prozessmediums, einer Feuchtigkeit des Prozessmediums, einer Partikelgrößenverteilung des Prozessmediums, einem kritischen Objekt in dem Prozessmedium oder einem biogenen Anteil des Prozessmediums umfasst.

**[0013]** Durch das Steuern der Zusammensetzung des hochvolumigen Stoffstroms ist es möglich, eine Prozesseffizienz in thermischen Verwertungsprozessen zu erhöhen.

**[0014]** In einem weiteren Aspekt umfasst das computerimplementierte Verfahren ferner ein thermisches Verwerten des bereitgestellten Prozessmediums in einer Brennkammer zu einem thermisch verwerteten Prozessmedium.

**[0015]** Durch das Steuern der Zusammensetzung des hochvolumigen Stoffstroms ist es möglich, eine Prozesseffizienz in thermischen Verwertungsprozessen zu erhöhen.

**[0016]** In einem weiteren Aspekt umfasst das computerimplementierte Verfahren ferner ein Erfassen eines tatsächlichen Heizwerts des thermisch verwerteten Prozessmediums mittels einer zweiten Sensoreinheit.

**[0017]** Durch das Erfassen des tatsächlichen Heizwerts des thermisch verwerteten Prozessmediums mittels der zweiten Sensoreinheit ist es möglich, die Ermittlung des prognostizierten Heizwerts zu verbessern.

**[0018]** In einem weiteren Aspekt umfasst das compu-

terimplementierte Verfahren ferner ein Trainieren eines Maschinenlernalgorithmus unter Berücksichtigung des tatsächlichen Heizwerts des thermisch verwerteten Prozessmediums und des auf Grundlage der erfassten Parameter des Prozessmediums prognostizierten Heizwerts, wobei die Prognoseeinheit den Maschinenlernalgorithmus umfasst.

**[0019]** Durch das Trainieren des Maschinenlernalgorithmus wird die Ermittlung des prognostizierten Heizwerts verbessert. Hierdurch können Auswirkungen von Schwankungen in der Zusammensetzung des Prozessmediums reduziert werden.

**[0020]** In einem weiteren Aspekt erfolgt das Trainieren des Maschinenlernalgorithmus in dem computerimplementierten Verfahren unter Berücksichtigung des tatsächlichen Heizwerts des thermisch verwerteten Prozessmediums und des prognostizierten Heizwerts des Prozessmediums einen stetigen und iterativen Vergleich des tatsächlichen Heizwerts und des auf Grundlage der erfassten Parameter des Prozessmediums prognostizierten Heizwerts durch die Verarbeitungseinheit, sowie die iterative Optimierung des Modells für die Prognose des Heizwerts umfasst.

**[0021]** Durch das Trainieren des Maschinenlernalgorithmus kann die Ermittlung des prognostizierten Heizwerts verbessert werden. Hierdurch können Auswirkungen von Schwankungen in der Zusammensetzung des Prozessmediums reduziert werden.

**[0022]** In einem weiteren Aspekt umfasst das computerimplementierte Verfahren ferner das Erfassen des mindestens einen Parameters des Prozessmediums ein Erfassen mindestens eines Parameters des hochvolumigen Stoffstroms umfasst, wobei der der hochvolumige Stoffstrom ein kontinuierlicher und im Wesentlichen heterogener Materialvolumenstrom aus Haushalts- und/oder Industrieabfällen ist, und wobei der hochvolumige Stoffstrom ein Massenstrom mit einer Volumenrate von mindestens 1 t/min ist.

**[0023]** Durch die Erfassung einer Anzahl von unterschiedlichen Parametern werden unterschiedliche Charakteristika des Prozessmediums gemessen, die adäquate Rückschlüsse für eine Prognose des Heizwerts ermöglichen. Die Charakteristika können ihren Ursprung z.B. aus Farb-, Thermalbild-, Tiefen (3D)-, oder Event-, Spektral-, Radar-, Graustufenbildern haben. Durch eine Integration der Parameter in einem einheitlichen Vorhersagemodell oder durch eine Fusionierung von mehreren Vorhersagemodellen wird eine kontinuierliche Prognose des Heizwerts ermöglicht.

**[0024]** In einem weiteren Aspekt erfolgt das Erfassen des mindestens eines Parameters des Prozessmediums mit Hilfe von mindestens einem von einer Farbbildkamera, einer Monokamera, einer Hochgeschwindigkeitskamera, einer Thermalbildkamera, einem Infrarotsensor, einem Röntgengerät, einem Radarsensor, einer Event-(Ereignis) Kamera, einem Induktionssensor oder einem Spektalsensor.

**[0025]** Das eingesetzte Sensorsystem erlaubt die mul-

ti-modale Erfassung des Prozessmediums. Diese multimodale Erfassung des Prozessmediums ermöglicht es, verschiedenartige Charakteristika des Prozessmediums zu messen und für die Prognose des Heizwerts des hochvolumigen Stoffstroms nutzbar zu machen.

**[0026]** In einem weiteren Aspekt umfasst ein System für eine Ermittlung eines prognostizierten Heizwerts von einem Prozessmedium eine Zuführeinheit für ein Bereitstellen des Prozessmediums, eine erste Sensoreinheit eingerichtet, um mindestens einen Parameter des Prozessmediums zu erfassen, und eine Verarbeitungseinheit, elektronisch verbunden mit der ersten Sensoreinheit und eingerichtet, um einen prognostizierten Heizwert auf Grundlage der erfassten Parameter des zugeführten Prozessmediums zu ermitteln. Das Prozessmedium umfasst beispielsweise einen hochvolumigen Stoffstrom.

**[0027]** Die erste Sensoreinheit wird mit der Verarbeitungseinheit verbunden. Hierdurch ist es möglich, die erste Sensoreinheit gezielt zu überwachen und zu steuern. Zudem kann die Verarbeitungseinheit die Datenerfassung der ersten Sensoreinheit an wechselnde Gegebenheiten anpassen, um die Datenerhebung zu optimieren. Beispielsweise wird eine Datenerhebung aktiv gesteuert, um die Erhebung von redundanten Sensordaten zu verhindern.

**[0028]** In einem weiteren Aspekt umfasst ein System für eine Heizwertsteuerung in einer thermischen Verwertungsanlage unter Verwendung eines prognostizierten Heizwerts eine Zuführeinheit für ein Bereitstellen des Prozessmediums, eine erste Sensoreinheit eingerichtet, um mindestens einen Parameter des Prozessmediums zu erfassen, eine Verarbeitungseinheit, elektronisch verbunden mit der ersten Sensoreinheit und eingerichtet, um einen prognostizierten Heizwert des zugeführten Prozessmediums zu ermitteln, eine Brennkammer für eine thermische Verwertung des bereitgestellten Prozessmediums zu einem thermisch verwerteten Prozessmedium, und eine Zusammensetzungssteuereinheit eingerichtet, um eine Zusammensetzung des zugeführten Prozessmediums zu steuern. Das Prozessmedium umfasst beispielsweise einen hochvolumigen Stoffstrom.

**[0029]** Die Zusammensetzung der Aspekte des Prozessmediums aus unterschieden Prozesskettenteilen erlaubt eine Quantifizierung bzw. Messbarkeit der Veränderungen des Prozessmediums durch den Prozess der thermischen Verwertung. Dies ist unerlässlich für eine adäquate Modellierung und Prognose des Heizwerts.

**[0030]** In einem weiteren Aspekt umfasst das System eine zweite Sensoreinheit, eingerichtet, um den tatsächlichen Heizwert des thermisch verwerteten Prozessmediums zu ermitteln.

**[0031]** Durch die Verwendung der zweiten Sensoreinheit können Parameter zu dem tatsächlichen Heizwert des thermisch verwerteten Prozessmediums erfasst werden. Hierdurch kann die Ermittlung des prognostizierten Heizwerts verbessert werden. Ferner kann hierdurch eine durchgängige Wahrnehmung und entsprechende

Datenerfassung über einen Verarbeitungsprozess des Prozessmediums sichergestellt werden.

**[0032]** In einem weiteren Aspekt umfasst das System die erste Sensoreinheit mindestens eines von einer Farbbildkamera, einer Monokamera, einer Hochgeschwindigkeitskamera, einer Thermalbildkamera, einer 3D-Kamera, einem Infrarotsensor, einem Röntgengerät, einem Radarsensor, einer Event-(Ereignis) Kamera, einem Induktionssensor oder einem Spektorsensor umfasst.

**[0033]** Das eingesetzte Sensorsystem erlaubt die multi-modale Wahrnehmung und Erfassung des Prozessmediums. Durch diese multi-modale Erfassung des Prozessmediums werden computerimplementierte Verfahren einsetzbar, um eine Prognose des entsprechenden Heizwerts ermöglichen.

**[0034]** In einem weiteren Aspekt ist bei dem System der hochvolumige Stoffstrom ein kontinuierlicher und im Wesentlichen heterogener Materialvolumenstrom aus Haushalts- und/oder Industrieabfällen ist.

**[0035]** Ein derart ausgestaltetes System ermöglicht es, einen heterogenen Materialvolumenstrom zuverlässig zu erkennen und den Heizwert dieses Massenstroms zuverlässig vorherzusagen beziehungsweise zu prognostizieren.

**[0036]** In einem weiteren Aspekt ist bei dem System der hochvolumige Stoffstrom ein Massenstrom mit einer Volumenrate von mindestens 1 t/min.

**[0037]** Ein derart ausgestaltetes System ermöglicht es, Massenströme mit einer Volumenrate von mindestens 1 t/min zuverlässig zu erkennen und den Heizwert dieser Massenströme zuverlässig vorherzusagen beziehungsweise zu prognostizieren.

**[0038]** In einem weiteren Aspekt werden das computerimplementierte Verfahren und die Vorrichtung in einer thermischen Abfallbehandlungs- oder Verwertungsanlage verwendet.

**[0039]** Durch die Integration eines multimodalen Sensorsystems in Kombination mit den computerimplementierten Verfahren, wird eine Analyse und Klassifizierung des hochvolumigen Stoffstroms an der Zuführungseinheit ermöglicht. Es können die tatsächlichen Charakteristiken des 'Ist'-Stoffstrom für die Heizwertprognose gemessen werden, anstatt auf Annahmen, wie zum Beispiel aus Anlieferungsdokumentationen des Stoffstroms, welche häufig eine Ungenauigkeit aufweisen, zurückzugreifen.

## BESCHREIBUNG DER FIGUREN

**[0040]**

Fig. 1 ist eine schematische Darstellung eines Systems für eine Ermittlung eines prognostizierten Heizwerts von einem Prozessmedium.

Fig. 2a zeigt eine Übersicht des Synchronisierungsmoduls für die Synchronisierung der erfassten Parameter.

Fig. 2b zeigt eine Übersicht des Verknüpfungsmoduls für die Verknüpfung der erfassten Parameter.

Fig. 2c zeigt eine Übersicht des Aktivitätsmoduls für eine Detektion aktiver Regionen in dem Prozessmedium.

Fig. 2d zeigt eine Übersicht des Segmentierungsmoduls für eine Detektion von Segmenten in dem Prozessmedium.

Fig. 2e zeigt eine Übersicht des Moduls für das Erfassen der Körnung.

Fig. 2f zeigt eine Übersicht des Moduls für das Erfassen der Partikelbeschaffenheit.

Fig. 2g zeigt eine Übersicht des Moduls für das Erfassen der Staubkonzentration.

Fig. 2h zeigt eine Übersicht des Moduls für das Erfassen der Feuchtigkeit.

Fig. 2i zeigt eine Übersicht des Moduls für das Erfassen der Partikelgrößenverteilung.

Fig. 2j zeigt eine Übersicht des Moduls für das Erfassen von kritischen Objekten.

Fig. 2k zeigt eine Übersicht des Moduls für das Erfassen des biogenen Anteils.

Fig. 2l zeigt eine Übersicht des Moduls für das Erfassen der Metadaten.

Fig. 3 ist eine schematische Darstellung eines Systems für eine Heizwertsteuerung in einer thermischen Verwertungsanlage unter Verwendung eines prognostizierten Heizwerts.

Fig. 4 ist eine schematische Darstellung des Systems für eine Heizwertsteuerung in einer thermischen Verwertungsanlage unter Verwendung des prognostizierten Heizwerts umfassend eine Zusammensetzungssteuereinheit einer zweiten Ausgestaltung.

Fig. 5 ist Prozessablaufdiagramm darstellend ein computerimplementiertes Verfahren für eine Ermittlung eines prognostizierten Heizwerts von einem Prozessmedium.

Fig. 6 ist Prozessablaufdiagramm darstellend ein computerimplementiertes Verfahren für eine Heizwertsteuerung in einer thermischen Verwertungsanlage unter Verwendung eines prognostizierten Heizwerts.

## DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0041]** Die Erfindung wird nun auf der Grundlage der Zeichnungen beschrieben. Es wird davon ausgegangen, dass die hier beschriebenen Ausführungsformen und Aspekte der Erfindung nur Beispiele sind und den Schutzbereich der Ansprüche in keiner Weise einschränken. Die Erfindung wird durch die Ansprüche und deren Äquivalente definiert. Es wird davon ausgegangen, dass Merkmale eines Aspekts oder einer Ausführungsform der Erfindung mit einem Merkmal eines anderen Aspekts oder anderer Aspekte und/oder Ausführungsformen der Erfindung kombiniert werden können.

**[0042]** Fig. 1 ist eine schematische Darstellung eines Systems 1 für eine Ermittlung eines prognostizierten Heizwerts  $H_{i,p}$  von einem Prozessmedium 10. Das System 1 umfasst eine Zuführeinheit 15, eine erste Sensoreinheit 30 und eine Verarbeitungseinheit 40. Das Prozessmedium 10 umfasst einen hochvolumigen Stoffstrom 11. Dieser hochvolumige Stoffstrom 11 umfasst beispielsweise einen Stoffstrom aus Abfällen wie er in einer industriellen Rohstoffverwertungsanlage anfällt.

**[0043]** Der hochvolumige Stoffstrom 11 umfasst beispielsweise eine Vielzahl unterschiedlicher Haushalts- und/oder Industrieabfälle, welche aus unterschiedlichen Werkstoffen hergestellt sind. Der hochvolumige Stoffstrom 11 ist in seiner Zusammensetzung heterogen und enthält beispielsweise unterschiedliche Materialien aus den Werkstoffgruppen Metall (z. B. Eisen, Aluminium), Nichtmetall (z. B. Graphit), organische Werkstoffe (z. B. Holz, Kunststoff), anorganische Nichtmetalle (z. B. Keramik, Glas) und/oder Halbleiter (z. B. Silicium). Diese können lose in dem hochvolumigen Stoffstrom 11 vorliegen, trennbar miteinander verbunden sein oder teilweise/vollständig untrennbar miteinander verbunden sein.

**[0044]** Als hochvolumiger Stoffstrom 11 wird ein Stoffstrom beziehungsweise Massenstrom mit einem Volumen von mindestens 1 t/min (metrische Tonnen pro Minute) verstanden. Vereinfacht gesagt ist der hochvolumige Stoffstrom 11 ein Massenstrom mit einer Volumenrate von mindestens 1 t/min. Der hochvolumige Stoffstrom 11 ist demnach ein im Wesentlichen kontinuierlicher Massenstrom. Der hochvolumige Stoffstrom 11 ist demnach ein im Wesentlichen heterogener Materialvolumenstrom aus Haushalts- und/oder Industrieabfällen. Der hochvolumige Stoffstrom 11 besteht aus einer Vielzahl von Haushalts- und/oder Industrieabfällen, wie sie üblicherweise an thermischen Verwertungsanlagen durch Abfallsammelfahrzeuge abgegeben werden.

**[0045]** Der hochvolumiger Stoffstrom 11 bezeichnet demnach einen Stoffstrom beziehungsweise Massenstrom, welcher durch eine hohe Volumenrate von beispielsweise mindestens 1 t/min gekennzeichnet ist. Eine Erfassung von Parametern 35 des hochvolumigen Stoffstroms 11 unterscheidet sich maßgeblich von der Erfassung einzelner Gegenstände in Haushalts- und/oder Industrieabfällen, da aufgrund der hohen Vo-

lumenrate sowie der inhomogenen Zusammensetzung eine Erfassung einzelner Gegenstände in dem hochvolumigen Stoffstrom 11 ausscheidet.

**[0046]** Der hochvolumige Stoffstrom 11 hat einen Heizwert  $H_i$ , wobei der Heizwert  $H_i$  von der Zusammensetzung des hochvolumigen Stoffstroms 11 abhängt. Der Heizwert  $H_i$  des hochvolumigen Stoffstroms 11 liegt üblicherweise bei 8-20 MJ/kg (Megajoule pro Kilogramm).

**[0047]** Das Prozessmedium 10 in Form des hochvolumigen Stoffstroms 11 wird über die Zuführeinheit 15 bereitgestellt. Die erste Sensoreinheit 30 ist an der Zuführeinheit 15 bereitgestellt. Die erste Sensoreinheit 30 umfasst mindestens eines von einer Farbbildkamera, einer Monokamera, einer Hochgeschwindigkeitskamera, einer Thermalbildkamera, einem Infrarotsensor, einem Röntgengerät, einem Radarsensor, einer Event-(Ereignis) Kamera, einem Induktionssensor oder einem Spektalsensor. Die erste Sensoreinheit 30 ist beispielsweise in einem staubgeschützten Gehäuse angeordnet und umfasst beispielsweise ferner eine Beleuchtungseinrichtung, um das Prozessmedium 10 in geeigneter Weise zu beleuchten.

**[0048]** Die erste Sensoreinheit 30 erfasst mindestens einen Parameter 35 des Prozessmediums 10 umfassend den hochvolumigen Stoffstrom 11. Der Parameter 35 umfasst mindestens eines von einer Körnung des Prozessmediums 10, einer Partikelbeschaffenheit des Prozessmediums 10, einer Staubkonzentration des Prozessmediums 10, einer Feuchtigkeit des Prozessmediums 10, einer Partikelgrößenverteilung des Prozessmediums 10, einem kritischen Objekt in dem Prozessmedium 10 oder einem biogenen Anteil des Prozessmediums 10. Ferner kann der Parameter 35 auch beispielsweise einen Materialtyp des Prozessmediums 10, eine Temperaturverteilung des Prozessmediums 10 oder eine Dichtebeschaffenheit des Prozessmediums 10 umfassen.

**[0049]** Die Verarbeitungseinheit 40 ist elektronisch mit der ersten Sensoreinheit 30 verbunden und eingerichtet, um einen prognostizierten Heizwert  $H_{i,p}$  auf Grundlage der erfassten Parameter 35 des zugeführten Prozessmediums 10 zu ermitteln. Der prognostizierten Heizwert  $H_{i,p}$  des Prozessmediums 10 beschreibt einen zu erwartenden Heizwert des Prozessmediums 10 bei thermischer Verwertung in einer Brennkammer 50.

**[0050]** Die Verarbeitungseinheit 40 umfasst einen oder mehrere Computer, wobei dieser/diese Computer einen Prozessor und einen Speicher umfassen. Sofern die Verarbeitungseinheit 40 mehrere Computer umfasst, sind diese mehrere Computer vorzugsweise über eine Netzwerkverbindung miteinander verbunden. Diese Netzwerkverbindung kann beispielsweise auch eine Verbindung der mehreren Computer über eine sichere Verbindung über das Internet (virtuelles privates Netzwerk; auch als "VPN-Internetverbindung" bezeichnet) beinhalten. Die Internetverbindung wird beispielsweise über eine kabelgebundene Verbindung oder eine Mobilfunkverbindung hergestellt. Bevorzugt umfasst die Verarbeitungseinheit 40 einen Datenerhebungsserver 40a, einen

Datenverarbeitungsserver 40b und einen Persistenzserver 40c. Der Datenerhebungsserver 40a, der Datenverarbeitungsserver 40b und der Persistenzserver 40c können einem physischen Computer entsprechen. Der Datenerhebungsserver 40a, der Datenverarbeitungsserver 40b und der Persistenzserver 40c können jedoch auch einer Vielzahl von verteilten Computern entsprechen, die sich beispielsweise an unterschiedlichen Orten befinden und über eine VPN-Internetverbindung verbunden sind.

**[0051]** Der Datenerhebungsserver 40a ist bevorzugt an der ersten Sensoreinheit 30 bereitgestellt und elektrisch mit der ersten Sensoreinheit 30 verbunden. Der Datenerhebungsserver 40a beinhaltet Funktionen, um einem Nutzer (nicht dargestellt) Informationen zu den erfassten Parametern 35 der Sensoreinheit 30 bereitzustellen. Das Bereitstellen der Informationen zu den erfassten Parametern 35 kann beispielsweise über ein Dashboard (nicht dargestellt) erfolgen. Der Datenerhebungsserver 40a ist bevorzugt mit dem Datenverarbeitungsserver 40b verbunden.

**[0052]** Der Datenverarbeitungsserver 40b stellt bevorzugt eine zentrale Rechenkapazität zur Verfügung, um rechenintensive Analysen durchzuführen. Durch diese Zentralisierung von Rechenkapazitäten können Parameter von einer Vielzahl erster Sensoreinheiten 30 und zweiter Sensoreinheiten 55 (siehe Fig. 3) erfasst, aufgezeichnet und verarbeitet werden. Der Datenverarbeitungsserver 40b kann ferner auch zusätzliche Informationen wie beispielsweise Systeminformationen des Systems 1 oder Wetterinformationen erfassen. Die auf dem Datenverarbeitungsserver 40b gespeicherten Informationen liegen bevorzugt komprimiert vor.

**[0053]** Der Persistenzserver 40c ist bevorzugt mit dem Datenverarbeitungsserver 40b verbunden. Der Persistenzserver 40c wird bevorzugt für einen Einsatz in einer Speicherung von historischen Informationen eingesetzt.

**[0054]** Die Ermittlung des prognostizierten Heizwerts  $H_{i,p}$  des Prozessmediums 10 erfolgt mittels einer Prognoseeinheit 60. Die Prognoseeinheit 60 kann eine physische Einheit oder eine Softwareeinheit sein, die in der Verarbeitungseinheit 40 ausgeführt wird. Bevorzugt handelt es sich bei der Prognoseeinheit 60 um eine Softwareeinheit. Besonders bevorzugt umfasst die Prognoseeinheit 60 ferner einen trainierten Maschinenlernalgorithmus 60a. Der trainierte Maschinenlernalgorithmus 60a umfasst beispielsweise einen Maschinenlernalgorithmus, welcher mittels unüberwachtem Lernen (engl. "unsupervised learning"), überwachtem Lernen (engl. "supervised learning") und/oder bestärkendem Lernen (engl. "reinforcement learning") trainiert wurde.

**[0055]** Die Prognoseeinheit 60 umfasst eine Vielzahl von Modulen 61. Die Module 61 können physische Module oder Softwaremodule sein, die in der Verarbeitungseinheit 40 ausgeführt werden. Die Module 61 umfassen computerimplementierte Funktionen, welche von der Prognoseeinheit 60 für eine Ermittlung des prognostizierten Heizwerts  $H_{i,p}$  aus den von der ersten Sensoreinheit 30 erfassten Parametern 35 des Prozessmediums 10

umfassend den hochvolumigen Stoffstrom 11 verwendet werden.

**[0056]** Die Module 61 verarbeiten die von der von der ersten Sensoreinheit 30 erfassten Parameter 35 Prozessmediums 10 umfassend den hochvolumigen Stoffstrom 11. Hierfür verwenden die Module 61 die in Form einer Vielzahl von Einzelbildern und/oder Einzelinformationen bereitgestellten Erfassungsergebnisse der ersten Sensoreinheit 30. Diese Vielzahl von Einzelbildern und/oder Einzelinformationen sind bevorzugt mit einem eindeutigen Zeitstempel (engl. "timestamp") versehen, um die von den verschiedenen Sensoren der ersten Sensoreinheit 30 erfassten Parameter 35 miteinander verknüpfen zu können.

**[0057]** Die Ermittlung des prognostizierten Heizwerts  $H_{i,p}$  des Prozessmediums 10 umfasst zunächst eine Vorverarbeitung der von der ersten Sensoreinheit 30 erfassten Parameter 35. Die Vorverarbeitung erfolgt in einem Synchronisierungsmodul 61a, einem Verknüpfungsmodul 61b, einem Aktivitätsmodul 61c und einem Segmentierungsmodul 61d. Beispielsweise kann das Prozessmedium 10 über einen Zeitraum  $t$  von der ersten Sensoreinheit 30 begutachtet werden und es kann, unter Verwendung der Module 61a-61k, beispielsweise ein gemittelter prognostizierter Heizwert  $H_{i,p}$  für diesen Zeitraum  $t$  ermittelt werden. Durch eine derartige Begutachtung des Prozessmediums 10 über einen Zeitraum  $t$  wird es möglich, Aussagen über den prognostizierten Heizwert  $H_{i,p}$  einer größeren Stoff- bzw. Materialmenge zu treffen.

**[0058]** Fig. 2a zeigt eine Übersicht des Synchronisierungsmoduls 61a für die Synchronisierung der erfassten Parameter 35. Das Synchronisierungsmodul 61a umfasst eine Akquisitionslogik 61a-1 für die Erfassung der Farbbilder von der Farbkamera, eine Akquisitionslogik 61a-2 für die Erfassung der Graustufenbilder von der Monokamera, eine Akquisitionslogik 61a-3 für die Erfassung der Eventbilder von der Eventkamera, eine Akquisitionslogik 61a-4 für die Erfassung der Tiefenbilder von der Stereo/3D Kamera, eine Akquisitionslogik 61a-5 für die Erfassung der Thermalbilder von der Thermalkamera, eine Akquisitionslogik 61a-6 für die Erfassung der Signalbilder von dem Radarsensor, eine Akquisitionslogik 61a-7 für die Erfassung der Spektralbilder von dem Spektralsensor und eine Fusionierlogik 61a-8. Die Fusionierlogik 61a-8 synchronisiert die von den Akquisitionslogiken 61a-1 bis 61a-7 erfassten Einzelbilder und/oder Einzelinformationen anhand des eindeutigen Zeitstempels. Ferner synchronisiert die Fusionierlogik 61a-8 die von den Akquisitionslogiken 61a-1 bis 61a-7 erfassten Einzelbilder und/oder Einzelinformationen hinsichtlich einer möglichen Bildverschiebung oder -rotation der erfassten Einzelbilder und/oder Einzelinformationen, welche sich beispielsweise durch eine unterschiedliche Anordnung der Sensoren der ersten Sensoreinheit 30 ergeben können.

**[0059]** Fig. 2b zeigt eine Übersicht des Verknüpfungsmoduls 61b für die Verknüpfung der erfassten Parameter 35 mit Bildaufnahmen des Prozessmediums 10, wobei

die Bildaufnahmen beispielsweise Farbbilder oder Graustufenbilder des Prozessmediums 10 umfassen. Der Verknüpfungsmodul 61b erhält die von dem Synchronisierungsmodul 61a verarbeiteten Einzelbilder und/oder Einzelinformationen. Das Verknüpfungsmodul 61b umfasst eine Detektionslogik 61b-1 für eine Erfassung des Prozessmediums 11. Das Verknüpfungsmodul 61b umfasst ferner eine Fusionierlogik 61b-2 und eine Fusionierlogik 61b-3. Die Fusionierlogik 61b-2 entspricht im Wesentlichen der Fusionierlogik 61a-8 und wird daher nicht erneut beschrieben. Die Fusionierlogik 61b-3 synchronisiert die erfassten Parameter 35 mit den Bildaufnahmen des Prozessmediums 10.

**[0060]** Fig. 2c zeigt eine Übersicht des Aktivitätsmoduls 61c für eine Detektion aktiver Regionen in dem Prozessmedium 11. Das Aktivitätsmodul 61c erhält die von dem Verknüpfungsmodul 61b verarbeiteten Einzelbilder und/oder Einzelinformationen. Das Aktivitätsmodul 61c umfasst eine Analyselogik 61c-1 für eine Vorverarbeitung der Einzelbilder und/oder Einzelinformationen aus den von der ersten Sensoreinheit 35 erfassten Parameter 35 für eine Bereinigung sowie eine Normalisierung, eine Detektionslogik 61c-2 zur Erfassung aktiver Bildregionen in Farbbildern unter Berücksichtigung eines zeitlichen Verlaufs, eine Detektionslogik 61c-3 zur Erfassung aktiver Bildregionen in Eventbildern unter Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs, eine Detektionslogik 61c-4 zur Erfassung aktiver Bildregionen in Tiefenbildern unter Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs, eine Detektionslogik 61c-5 zur Erfassung aktiver Bildregionen in Thermalbildern unter Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs und eine Fusionierlogik 61c-6 zur Erfassung von adäquaten aktiven Regionen durch die Berücksichtigung der unterschiedlichen Modalitäten aus der Analyselogik 61a-2 sowie den Detektionslogiken 61c-2 bis 61c-5.

**[0061]** Fig. 2d zeigt eine Übersicht des Segmentierungsmoduls 61d für eine Detektion von Segmenten in dem Prozessmedium 11. Das Segmentierungsmodul 61d erhält die von der Fusionierlogik 61c-6 des Aktivitätsmoduls 61c verarbeiteten Einzelbilder und/oder Einzelinformationen. Das Segmentierungsmodul 61d umfasst eine Vorverarbeitungslogik 61d-1 zur Vorverarbeitung der Bilddaten für die Segmentierung, eine Detektionslogik 61d-2 zur Erfassung von Segmenten durch Gruppierung von Texturen, Kanten und Farbverläufen im Farbbild, eine Detektionslogik 61d-3 zur Erfassung von Segmenten durch Gruppierung von Aktivitätssignalen in Eventbildern, eine Detektionslogik 61d-4 zur Erfassung von Segmenten durch Gruppierung von räumlichen Verläufen im Tiefenbild, eine Detektionslogik 61d-5 zur Erfassung von Segmenten durch Gruppierung der Temperaturverläufe im Thermalbild, eine Detektionslogik 61d-6 zur Erfassung von Segmenten durch Neuronale Netz zur Bildsegmentierung basierend auf den Modalitäten aus Farbbild, Graustufenbild, Tiefenbild, Thermalbild, Eventbild, Spektralbild, Radarbild und eine Fusionierlogik 61d-7 zur Erfassung von adäquaten Segmenten durch die Berücksichtigung der Ergebnisse aus

den unterschiedlichen Modalitäten aus der Vorverarbeitungslogik 61d-1 sowie den Detektionslogiken 61d-2 bis 61d-6.

**[0062]** Die Ermittlung des prognostizierten Heizwerts  $H_{i,p}$  umfasst ferner eine Weiterverarbeitung der von der ersten Sensoreinheit 30 erfassten, vorverarbeiteten Parameter 35. Die Ermittlung des prognostizierten Heizwerts  $H_{i,p}$  umfasst eine Ermittlung mindestens eines von der Körnung des Prozessmediums 10, einer Partikelbeschaffenheit des Prozessmediums 10, einer Staubkonzentration des Prozessmediums 10, einer Feuchtigkeit des Prozessmediums 10, einer Partikelverteilung des Prozessmediums 10, einem kritischen Objekt in dem Prozessmedium 10 oder einem biogenen Anteil des Prozessmediums 10.

**[0063]** Die Module 61 umfassen hierfür mindestens eines von einem Modul 61e für ein Erfassen einer Körnung, einem Modul 61f für ein Erfassen einer Partikelbeschaffenheit, einem Modul 61g für ein Erfassen einer Staubkonzentration, einem Modul 61h für ein Erfassen einer Feuchtigkeit, einem Modul 61i für ein Erfassen einer Partikelgrößenverteilung, einem Modul 61j für ein Erfassen von kritischen Objekten, einem Modul 61k für ein Erfassen eines biogenen Anteils oder einem Moduls 61l für ein Erfassen von Metainformationen.

**[0064]** Fig. 2e zeigt eine Übersicht des Moduls 61e für das Erfassen der Körnung. Das Modul 61e für das Erfassen der Körnung verwendet beispielsweise das von der Farbbildkamera der ersten Sensoreinheit 30 erfasste Farbbild, um die Körnung des hochvolumigen Stoffstroms 11 auf Grundlage des erfassten Farbbilds zu ermitteln. Für diese Ermittlung der Körnung werden Methoden aus dem Deep Learning sowie aus dem Bereich des Maschinennlernens (engl. "machine learning") kombiniert. Das Modul 61e für das Erfassen der Körnung kann ein eigenes physisches Modul sein. Das Modul 61e für das Erfassen der Körnung kann jedoch auch von der Verarbeitungseinheit 40 ausgeführt werden und/oder ein integraler Bestandteil der Verarbeitungseinheit 40 sein.

**[0065]** Das Modul 61e erhält die von der Fusionierlogik 61c-6 des Aktivitätsmoduls 61c verarbeiteten Einzelbilder und/oder Einzelinformationen für das Erfassen der Körnung. Das Modul 61e für das Erfassen der Körnung umfasst eine Analyselogik 61e-1 zur Extraktion von sogenannten Quantifizierungsvektoren, die die aktiven Regionen beschreiben, eine Analyselogik 61e-2 für eine Bildung eines Vorhersagemodells basierend auf Quantifizierungsvektoren mit dem Ziel der Klassifizierung der Körnung und eine Analyselogik 61e-3 zur Aufbereitung und Bereitstellung der Resultate zur Körnung. In der Analyselogik 61e-3 wird die Körnung in den aktiven Regionen des Prozessmediums 10 anhand einer absoluten oder relativen Skala klassifiziert. Diese Klassifizierung der Körnung kann beispielsweise in Form eines kontinuierlichen relativen Bereichs von 0.0 (fein) bis 1.0 (grob) oder in einem metrischen Bereich, beispielsweise von 10cm bis 100cm, dargestellt werden.

**[0066]** Fig. 2f zeigt eine Übersicht des Moduls 61f für

das Erfassen der Partikelbeschaffenheit. Die Partikelbeschaffenheit umfasst eine Partikelgeschwindigkeit und/oder eine Partikelaktivität. Das Modul 61f für das Erfassen der Partikelbeschaffenheit verwendet beispielsweise das von der Event-(Ereignis) Kamera der ersten Sensoreinheit 30 erfasste Eventbild, um die Verteilung der Partikelgeschwindigkeit sowie die Ausrichtung der Partikelgeschwindigkeit auf Grundlage des erfassten Eventbilds zu ermitteln. Ferner wird das Eventbild verwendet, um die Aktivität des hochvolumigen Stoffstroms 11 im Beobachtungswinkel der Event-(Ereignis) Kamera zu ermitteln. Für die Ermittlung der Partikelbeschaffenheit werden Methoden aus dem Deep Learning, wie beispielsweise Neuronale Netze, sowie Methoden aus dem Bereich des Maschinenlernens kombiniert, um die Geschwindigkeit, die Ausrichtung und die Aktivität der Partikel zu bestimmen. Das Modul 61f für das Erfassen der Partikelbeschaffenheit kann ein eigenes physisches Modul sein. Das Modul 61e für das Erfassen der Partikelbeschaffenheit kann jedoch auch von der Verarbeitungseinheit 40 ausgeführt werden und/oder ein integraler Bestandteil von Verarbeitungseinheit 40 sein.

**[0067]** Das Modul 61f für das Erfassen der Partikelbeschaffenheit erhält die von der Fusionierlogik 61d-7 des Segmentierungsmoduls 61d verarbeiteten Einzelbilder und/oder Einzelinformationen für das Erfassen der Partikelbeschaffenheit. Das Modul 61f für das Erfassen der Partikelbeschaffenheit umfasst eine Analyselogik 61f-1 zur Bestimmung der Partikelbewegung (u.a. Geschwindigkeit und Ausrichtung) im Farbbild, eine Analyselogik 61f-2 zur Bestimmung der Partikelbewegung (u.a. Geschwindigkeit und Ausrichtung) aus Eventbildern, eine Analyselogik 61f-3 zur Bestimmung der Partikelbewegung (u.a. Geschwindigkeit und Ausrichtung) im Tiefenbild, eine Analyselogik 61f-4 für die Berücksichtigung von zusätzlichen Tracking Methoden, um eine Bewertung von Partikel Geschwindigkeit und Ausrichtung zu ermöglichen, eine Fusionierlogik 61f-5 zur Erfassung von adäquaten Partikeln unter Berücksichtigung der Partikelbewegung für Erstellung einer Verteilung bzgl. Geschwindigkeit, Ausrichtung und Größe und eine Analyselogik 61f-6 für die Bewertung und Bereitstellung von Resultaten der Partikelbeschaffenheit. Die Analyse in dem Modul 61f für das Erfassen der Partikelbeschaffenheit erfolgt beispielsweise mit Hilfe einer Optical Flow Methode unter Verwendung der von der Event-(Ereignis) Kamera der ersten Sensoreinheit 30 empfangenen Farbbildern.

**[0068]** Fig. 2g zeigt eine Übersicht des Moduls 61g für das Erfassen der Staubkonzentration. Das Modul 61g für das Erfassen der Staubkonzentration verwendet von der ersten Sensoreinheit 30 erfasste Einzelbilder und/oder Einzelinformationen, um eine Intensität detektierter Staubregionen in dem hochvolumigen Stoffstrom 11 auf Grundlage der erfassten Einzelbilder und/oder Einzelinformationen zu ermitteln. Für diese Ermittlung der Staubkonzentration werden Methoden aus dem Deep Learning (Neuronale Netze) mit Methoden aus dem Maschinenlernen kombiniert, um die Staubkonzentration

zu erfassen. Das Modul 61g für das Erfassen der Staubkonzentration kann ein eigenes physisches Modul sein. Das Modul 61g für das Erfassen der Staubkonzentration kann jedoch auch von der Verarbeitungseinheit 40 ausgeführt werden und/oder ein integraler Bestandteil von Verarbeitungseinheit 40 sein.

**[0069]** Das Modul 61g für das Erfassen der Staubkonzentration erhält die von der Fusionierlogik 61d-7 des Segmentierungsmoduls 61d verarbeiteten Einzelbilder und/oder Einzelinformationen für das Erfassen der Staubkonzentration. Das Modul 61g für das Erfassen der Staubkonzentration umfasst eine Analyselogik 61g-1 zur Identifizierung des Staubgrads aus Farbbildern, eine Analyselogik 61g-2 zur Identifizierung des Staubgrads aus Thermalbildern, eine Analyselogik 61g-3 zur Identifizierung des Staubgrads aus Graustufenbildern, eine Analyselogik 61g-4 zur Identifizierung des Staubgrads aus Radarbildern, eine Analyselogik 61g-5 zur Identifizierung des Staubgrads aus Spektralbildern, eine Analyselogik 61g-6 zur Identifizierung des Staubgrads basierend auf Neuronalen Netzen zur Detektion von diffusen Bildregionen, eine Fusionierlogik 61g-7 zur Erfassung von adäquaten Staubsegmente mit Kennzeichnung der Staubintensität und eine Analyselogik 61g-8 für die Bewertung und Bereitstellung der Resultate zur Staubkonzentration.

**[0070]** Fig. 2h zeigt eine Übersicht des Moduls 61h für das Erfassen der Feuchtigkeit. Das Modul 61h für das Erfassen der Feuchtigkeit verwendet beispielsweise von der ersten Sensoreinheit 30 erfasste Einzelbilder und/oder Einzelinformationen, um eine Verteilung und Intensität von detektierten Feuchteregeonen des hochvolumigen Stoffstroms 11 auf Grundlage der erfassten Einzelbilder und/oder Einzelinformationen zu ermitteln. Für das Erfassen der Feuchtigkeit werden Methoden aus dem Deep Learning (Neuronale Netze) mit Methoden aus dem mit Methoden aus dem Maschinenlernen kombiniert. Das Modul 61h für das Erfassen der Feuchtigkeit kann ein eigenes physisches Modul sein. Das Modul 61h für das Erfassen der Feuchtigkeit kann jedoch auch von der Verarbeitungseinheit 40 ausgeführt werden und/oder ein integraler Bestandteil von Verarbeitungseinheit 40 sein.

**[0071]** Das Modul 61h für das Erfassen der Feuchtigkeit beziehungsweise des Feuchtegrads erhält die von der Fusionierlogik 61d-7 des Segmentierungsmoduls 61d verarbeiteten Einzelbilder und/oder Einzelinformationen für das Erfassen der Feuchtigkeit. Das Erfassen von Regionen mit hohem Feuchtegrad erfolgt durch eine Analyse der Texturbeschaffenheit in den von der Farbbildkamera erfassten Einzelbilder und/oder Einzelinformationen. Diese Texturbeschaffenheit kann beispielsweise anhand von einem Kontrast, einer Helligkeit und/oder einem Reflexionsgrad in Teilbereichen der Farbbilder bestimmt werden. Das Modul 61h für das Erfassen der Feuchtigkeit umfasst eine Analyselogik 61h-1 zur Identifizierung des Feuchtegrads aus Farbbildern, eine Analyselogik 61h-2 zur Identifizierung des Feuch-

tegrads aus Thermalbildern, eine Analyselogik 61h-3 zur Identifizierung des Feuchtegrads aus Graustufenbildern, eine Analyselogik 61h-4 zur Identifizierung des Feuchtegrads aus Radarbildern, eine Analyselogik 61h-5 zur Identifizierung des Feuchtegrads aus Spektralbildern, eine Analyselogik 61h-6 zur Identifizierung des Feuchtegrads basierend auf Neuronalen Netzen, eine Fusionierlogik 61h-7 zur Erfassung von adäquaten Segmenten mit Kennzeichnung des Feuchtegrads und eine Analyselogik 61h-8 für die Bewertung und Bereitstellung der Resultate des Feuchtegrads.

**[0072]** Fig. 2i zeigt eine Übersicht des Moduls 61i für das Erfassen der Partikelgrößenverteilung. Das Modul 61i für das Erfassen der Partikelgrößenverteilung verwendet beispielsweise von der ersten Sensoreinheit 30 erfasste Einzelbilder und/oder Einzelinformationen, um eine Verteilung der Partikelgröße des hochvolumigen Stoffstroms 11 auf Grundlage der erfassten Einzelbilder und/oder Einzelinformationen zu ermitteln. Für dieses Erfassen der Partikelgrößenverteilung werden Methoden aus dem Deep Learning (Neuronale Netze) mit Methoden aus dem Maschinenlernen kombiniert. Das Modul 61i für das Erfassen der Partikelgrößenverteilung kann ein eigenes physisches Modul sein. Das Modul 61i für das Erfassen der Partikelgrößenverteilung kann jedoch auch von der Verarbeitungseinheit 40 ausgeführt werden und/oder ein integraler Bestandteil von Verarbeitungseinheit 40 sein.

**[0073]** Das Modul 61i für das Erfassen der Partikelgrößenverteilung erhält die von der Fusionierlogik 61d-7 des Segmentierungsmoduls 61d verarbeiteten Einzelbilder und/oder Einzelinformationen für das Erfassen der Partikelgrößenverteilung. Das Modul 61i für das Erfassen der Partikelgrößenverteilung umfasst eine Analyselogik 61i-1 für die Verknüpfung der Segmentierungsergebnisse mit 3D Tiefeninformation für eine Detektion von potenziellen Partikelkandidaten mit dazugehöriger Schätzung der räumlichen Dimensionen der Partikelkandidaten, eine Fusionierlogik 61i-2 zur Erfassung von adäquaten Partikeln mit Kennzeichnung der Partikelgröße und eine Analyselogik 61i-3 für die Bewertung und Bereitstellung der Resultate der Partikelgrößenverteilung.

**[0074]** Fig. 2j zeigt eine Übersicht des Moduls 61j für das Erfassen von kritischen Objekten. Das Modul 61j für das Erfassen von kritischen Objekten verwendet von der ersten Sensoreinheit 30 erfasste Einzelbilder und/oder Einzelinformationen, um kritische Objekte in dem hochvolumigen Stoffstrom 11 auf Grundlage der erfassten Einzelbilder und/oder Einzelinformationen zu ermitteln. Für dieses Erfassen von kritischen Objekten werden Methoden aus dem Deep Learning (Neuronale Netze) mit Methoden aus dem Maschinenlernen kombiniert. Das Modul 61j für das Erfassen von kritischen Objekten kann ein eigenes physisches Modul sein. Das Modul 61j für das Erfassen von kritischen Objekten kann jedoch auch von der Verarbeitungseinheit 40 ausgeführt werden und/oder ein integraler Bestandteil von Verarbeitungseinheit 40 sein.

**[0075]** Das Modul 61j für das Erfassen von kritischen Objekten erhält die von der Fusionierlogik 61d-7 des Segmentierungsmoduls 61d verarbeiteten Einzelbilder und/oder Einzelinformationen für das Erfassen von kritischen Objekten. Das Modul 61j für das Erfassen von kritischen Objekten umfasst eine Analyselogik 61j-1 für die Verknüpfung der Segmentierungsergebnisse mit 3D Tiefeninformation für eine Objektkandidaten mit dazugehöriger Schätzung der räumlichen Dimensionen der Objektkandidaten, eine Fusionierlogik 61j-2 zur Erfassung von adäquaten Partikeln mit Kennzeichnung der Partikelgröße und eine Analyselogik 61j-3 für die Bewertung und Bereitstellung der Resultate der Partikelgrößenverteilung.

**[0076]** Fig. 2k zeigt eine Übersicht des Moduls 61k für das Erfassen des biogenen Anteils. Für das Erfassen des biogenen Anteils werden Methoden aus dem Deep Learning (Neuronale Netze) mit Methoden aus dem Maschinenlernen kombiniert. Das Modul 61k für das Erfassen des biogenen Anteils kann ein eigenes physisches Modul sein. Das Modul 61k für das Erfassen des biogenen Anteils kann jedoch auch von der Verarbeitungseinheit 40 ausgeführt werden und/oder ein integraler Bestandteil von Verarbeitungseinheit 40 sein.

**[0077]** Das Modul 61k für das Erfassen des biogenen Anteils erhält die von der Fusionierlogik 61d-7 des Segmentierungsmoduls 61d verarbeiteten Einzelbilder und/oder Einzelinformationen für das Erfassen des biogenen Anteils. Das Erfassen von Regionen mit hohem biogenem Anteil erfolgt durch eine Analyse der Texturbeschaffenheit in den von der Farbbildkamera erfassten Farbbildern. Diese Texturbeschaffenheit kann beispielsweise anhand von einem Kontrast, einer Helligkeit und/oder einem Reflexionsgrad in Teilbereichen der Farbbilder bestimmt werden. Das Modul 61k für das Erfassen des biogenen Anteils umfasst eine Analyselogik 61k-1 zur Identifizierung des biogenen Anteils aus Farbbildern, eine Analyselogik 61k-2 zur Identifizierung des biogenen Anteils aus Thermalbildern, eine Analyselogik 61k-3 zur Identifizierung des biogenen Anteils aus Graustufenbildern, eine Analyselogik 61k-4 zur Identifizierung des biogenen Anteils aus Radarbildern, eine Analyselogik 61k-5 zur Identifizierung des biogenen Anteils aus Spektralbildern, eine Analyselogik 61k-6 zur Identifizierung des biogenen Anteils basierend auf Neuronalen Netzen, eine Fusionierlogik 61k-7 zur Erfassung von adäquaten Segmenten mit Kennzeichnung des biogenen Anteils und eine Analyselogik 61k-8 für die Bewertung und Bereitstellung der Resultate des biogenen Anteils.

**[0078]** Fig. 2l zeigt eine Übersicht des Moduls 61l für das Erfassen der Metadaten. Das Modul 61l für das Erfassen der Metadaten kann ein eigenes physisches Modul sein. Das Modul 61k für Erfassen der Metadaten kann jedoch auch von der Verarbeitungseinheit 40 ausgeführt werden und/oder ein integraler Bestandteil von Verarbeitungseinheit 40 sein.

**[0079]** Das Modul 61k für das Erfassen der Metadaten

erhält die von der Fusionierlogik 61b-3 des Verknüpfungsmoduls 61b verarbeiteten Einzelbilder und/oder Einzelinformationen für das Erfassen der Metadaten. Das Modul 61k für das Erfassen der Metadaten umfasst eine Erfassungslogik 611-1 für Informationen aus externen Datenquellen (z.B. Wetter, Saison) unter Berücksichtigung der Zeit und Lokalität der Sensordatenaufnahmen, eine Erfassungslogik 611-2 für Systeminformationen der thermischen Verwertungsanlage (z.B. Verbrennungsdaten, Emissionsdaten) unter Berücksichtigung der Zeit und Lokalität der Sensordatenaufnahmen und eine Fusionierungslogik 611-3 für eine Zusammenfassung der Information, um die Metadaten für weitere Analysen zur Verfügung zu stellen.

**[0080]** Das Modul 61k für das Erfassen der Metadaten verwendet beispielsweise von dem Datenverarbeitungsserver 40b erfasste Systeminformationen des Systems 1 oder beispielsweise Wetterinformationen, um mit den erfassten Resultaten der Module 61a-61k verknüpfte Informationen zu erhalten. Systeminformationen und externe Information werden mit Resultaten der Module über Lokalität und zeitlichen Verlauf verknüpft und synchronisiert, um diese Metainformationen für weitergehenden Analysen zur Verfügung zu stellen.

**[0081]** Durch eine Zusammenführung der Rohdaten der Module 61a-61k in einem oder mehreren Vorhersagemodellen ist es möglich, kontinuierlich den Heizwert  $H_i$  des hochvolumigen Stoffstroms 11 zu prognostizieren. Die Prognose des prognostizierten Heizwerts  $H_{i,p}$  basiert auf den durch die erste Sensoreinheit 30 ermittelten Parametern 35 des Prozessmediums 10 umfassend den hochvolumigen Stoffstrom 11. Die Prognose des prognostizierten Heizwerts  $H_{i,p}$  erfolgt dabei unter Verwendung der Module 61a-61k. Die erfassten und in den Modulen 61a-61k zur Bewertung der Parameter 35 des Stoffstroms verarbeiteten Einzelbilder und/oder Einzelinformationen ermöglichen es der Prognoseeinheit 60, eine zuverlässige Aussage über einen prognostizierten Heizwerts  $H_{i,p}$  des aufgenommenen Prozessmediums 10 abzugeben. Dieser prognostizierten Heizwert  $H_{i,p}$  kann beispielsweise für einen bestimmten Abschnitt des Prozessmediums 10 ermittelt werden.

**[0082]** Durch die Prognose des prognostizierten Heizwert  $H_{i,p}$  können die Verbrennung des Prozessmediums 10 in der Brennkammer 50 und deren Parameter antizipiert werden, bevor die Verbrennung des Prozessmediums tatsächlich erfolgt. Dies ermöglicht eine proaktive Steuerung des Verbrennungsprozesses in der Brennkammer 50. Beispielsweise können dem Prozessmedium 10 brandbeschleunigende oder brandverzögernde Zusätze hinzugefügt werden oder es können beispielsweise Parameter des Verbrennungsprozesses in der Brennkammer 50 wie eine Sauerstoffzufuhr proaktiv angepasst werden. Eine proaktive Steuerung ermöglicht es demnach, dass die Zusammensetzung des Prozessmediums 10 für die Zuführung in die Brennkammer 50 aktiv geändert werden kann, um somit die thermische Verwertung im optimalen Verbrennungsheizwertband der

Brennkammer 50 zu ermöglichen (siehe auch die weiteren Ausgestaltungen des Systems, welche diese Steuerung der Zusammensetzung mittels einer Zusammensetzungssteuereinheit 20 oder einem Pufferspeicher 25 ermöglichen).

**[0083]** Die Prognose des prognostizierten Heizwert  $H_{i,p}$  ermöglicht es hierdurch, den Anlagenverschleiß und somit die Wartungskosten für dem Betrieb von thermischen Verwertungsanlagen zu reduzieren. Zudem kann durch die Prognose des prognostizierten Heizwert  $H_{i,p}$  die Brennkammer 50 im optimalen Verbrennungsheizwertband betrieben werden und hierdurch einen optimalen Durchsatz (in Tonnen) des Prozessmedium 10 in die Brennkammer 50 ermöglichen, wodurch wiederum die bestmögliche kommerzielle Nutzung des Prozessmediums 10 ermöglicht wird.

**[0084]** Fig. 3 zeigt schematische Darstellung eines Systems 2 für eine Heizwertsteuerung in einer thermischen Verwertungsanlage unter Verwendung eines prognostizierten Heizwerts  $H_{i,p}$ . Das System 2 entspricht im Wesentlichen dem System 1. Diejenigen Komponenten des Systems 2, die im Wesentlichen denjenigen des Systems 1 entsprechen, werden nicht erneut beschrieben. Für diejenigen Komponenten des Systems 2, die im Wesentlichen denjenigen des Systems 1 entsprechen, werden gleiche Bezugszeichen verwendet. Das System 2 umfasst gegenüber dem System 1 ferner mindestens die Brennkammer 50 und eine Zusammensetzungssteuereinheit 20.

**[0085]** Die Zusammensetzung des hochvolumigen Stoffstroms 11 bestimmt beispielsweise über eine Eignung für eine thermische Verwertung. Bei der thermischen Verwertung wird der hochvolumige Stoffstrom 11 der Brennkammer 50 zugeführt und zu einem thermisch verwerteten Prozessmedium 12 verwertet. Die thermische Verwertung des hochvolumigen Stoffstroms 11 umfasst eine Verbrennung des hochvolumigen Stoffstroms 11 in der Brennkammer 50. Das thermisch verwertete Prozessmedium besteht aus einer festen Phase 13 und einer gasförmigen Phase 14. Die feste Phase 13 wird üblicherweise entsorgt, wohingegen die gasförmige Phase 14 zur Energie- und Wärmerzeugung an einen Dampferzeuger geleitet wird. Nach Abkühlung an dem Dampferzeuger wird die gasförmige Phase 14 einem oder mehreren Reinigungsschritten zugeführt und anschließend an die Umgebungsluft abgegeben.

**[0086]** Die Verbrennung hochvolumige Stoffstrom 11 kann beispielsweise durch Zugabe von Luftsauerstoff oder brandbeschleunigenden Zusatzmitteln erfolgen. Zwischen einem Zeitpunkt der Erfassung des mindesten einen Parameters 35 des hochvolumigen Stoffstroms 11 und einem Zeitpunkt der thermischen Verwertung des hochvolumigen Prozessstroms 11 in der Brennkammer 50 vergehen üblicherweise 30 - 90 Minuten (Verbrennungszeitfenster). Aus diesem Umstand wird das Verbrennungszeitfensters des Prozessmediums für prognostizierte Heizwerte berücksichtigt. Um die thermische Verwertung des hochvolumigen Stoffstroms 11 proaktiv

steuern zu können, verfügt das System 2 über die Zusammensetzungssteuereinheit 20

**[0087]** Die Zusammensetzungssteuereinheit 20 steuert die Zusammensetzung des hochvolumigen Stoffstroms 11 vor der Zuführung in die Brennkammer 50. Die Zusammensetzungssteuereinheit 20 ermöglicht es, den Heizwert  $H_i$  des hochvolumigen Stoffstroms 11 gezielt zu steuern. Hierdurch wird der thermische Verwertungsprozess optimiert und die Zugabe der brandbeschleunigenden Zusatzmittel kann reduziert bzw. besonders vorteilhaft vermieden werden. Diese Steuerung des hochvolumigen Stoffstroms 11 erfolgt unter Berücksichtigung des von der Prognoseeinheit 60 prognostizierten Heizwerts  $H_{i,p}$ .

**[0088]** Die Zusammensetzungssteuereinheit 20 kann beispielsweise als Aussonderungsvorrichtung ausgestaltet sein. In dieser Ausgestaltung sondert Zusammensetzungssteuereinheit 20 Bestandteile des hochvolumigen Stoffstroms 11 aus, welche eine nachteilige Auswirkung auf den prognostizierten Heizwert  $H_{i,p}$  des hochvolumigen Stoffstroms 11 haben. Beispielsweise ist die Zusammensetzungssteuereinheit 20 in der Lage, Bestandteile des hochvolumigen Stoffstroms 11 auszusondern, bei denen ein mindestens Parameter 35 durch mindestens einen der Module 61 als für den thermischen Verwertungsprozess nachteilig ermittelt wurde.

**[0089]** Das System 2 umfasst ferner die zweite Sensoreinheit 55. Die zweite Sensoreinheit 55 ist eingerichtet, um den tatsächlichen Heizwert  $H_{i,t}$  des thermisch verwerteten Prozessmediums 12 auf Grundlage erfasseter und auf die thermische Verwertung des hochvolumigen Stoffstroms 11 bezogener Parameter der Brennkammer 50 zu ermitteln. Die zweite Sensoreinheit 55 ist bevorzugt an der Brennkammer 50 angeordnet und erfasst die Parameter der thermischen Verwertung des hochvolumigen Stoffstroms 11 bei der Verbrennung in der Brennkammer 50. Für die Ermittlung werden u.a. folgende Verbrennungsparameter betrachtet: Primärluft und Sekundärluft des Volumenstroms, Primärluft Druck (z.B. an Rostzone), Heizöl- und/oder Gasverbrauch, Dampf zum Primärluftvorwärmer, Frischdampfmenge, Primärluft Temperatur, CO-Kesselaustritt, CO<sub>2</sub> Kesselaustritt, HCL-Kesselaustritt, SO<sub>2</sub> Kesselaustritt, Sauerstoffgehalt Kesselaustritt, Feuchte Kesselaustritt, NO<sub>x</sub> Kesselaustritt, Volumenstrom, Kranwaagendurchsatz, Tagedurchsatz. Die Verbrennungsparameter werden zusammen mit den Erfassungen der Module 61 fusioniert, um eine gesameinheitliche Repräsentation aus Verbrennungsparameter also auch sensorische Wahrnehmung für eine adäquate Vorhersagemodellierung der Heizwertprognose zu ermöglichen.

**[0090]** Die Kombination der erfassten Parameter 35, der Bewertungen aus dem Modulen 61 und den von der zweiten Sensoreinheit 55 erfassten Verbrennungsparametern ermöglicht es der Prognoseeinheit 60, den prognostizierten Heizwert  $H_{i,p}$  vorherzusagen. Bevorzugt ist die Prognoseeinheit 60 in der Lage, für jedes eingehende Medium (bspw. einzelne Anlieferungen des Prozessme-

diums 11) den prognostizierten Heizwert  $H_{i,p}$  in einem zukünftigen Zeitfenster (60-90min) vorherzusagen. Dadurch entstehen zukünftige Heizwerte mit überlappenden Zeitfenstern in der Zukunft. Somit kann für einen speziellen Zeitpunkt in der Zukunft der prognostizierte Heizwert  $H_{i,p}$  anhand der überlappenden Heizwertprognosen durch Fusion ermittelt werden.

**[0091]** Die Prognoseeinheit 60 umfasst den trainierten Maschinenlernalgorithmus 60a. Der trainierte Maschinenlernalgorithmus 60a kann dazu verwendet werden, die Heizwertprognose mittels der Agenten 61 kontinuierlich anzupassen und die Prognosegenauigkeit zu verbessern. Hierfür wird das trainierte Vorhersagemodell zur Heizwertprognose kontinuierlich während des Betriebs des trainierten Maschinenlernalgorithmus 60a aktualisiert (engl. "incremental online learning"), um Schwankungen in der Zusammensetzung des Prozessmediums 10 über Zeit im Modell zu berücksichtigen und einen Drift beziehungsweise ein Abweichen des Modells vorzubeugen (engl. "concept drift").

**[0092]** Fig. 4 zeigt schematische Darstellung des Systems 2 für eine Heizwertsteuerung in einer thermischen Verwertungsanlage unter Verwendung eines prognostizierten Heizwerts  $H_{i,p}$  umfassend eine zweite Ausgestaltung der Zusammensetzungssteuereinheit 20. Die Zusammensetzungssteuereinheit 20 der zweiten Ausgestaltung kann beispielsweise als Pufferspeicher 25 ausgeführt sein. Dieser Pufferspeicher 25 umfasst eine Vielzahl von Bunkern 25a-25d welche für eine Pufferung oder Zwischenlagerung des hochvolumigen Stoffstroms 11 ausgestaltet sind. Die Zusammensetzungssteuereinheit 20 steuert in dieser zweiten Ausgestaltung den hochvolumigen Prozessstrom 11 derart, dass in den Bunkern 25a-25d Prozessmedien 10 mit im Wesentlichen homogenen prognostizierten Heizwerten  $H_{i,p,a-d}$  zwischengespeichert werden. Durch die Zusammensetzungssteuereinheit 20 werden die Prozessmedien 10 bedarfsgerecht der Brennkammer 50 zugeführt, um eine gleichbleibende thermische Verwendung des Prozessmediums 10 zu ermöglichen. Die bedarfsgerechte Zuführung der Prozessmedien 10 aus den Bunkern 25a-25d erfolgt unter Verwendung der prognostizierten Heizwerte  $H_{i,p,a-d}$  der Prozessmedien in den Bunkern 25a-25d.

**[0093]** Fig. 5 ist Prozessablaufdiagramm darstellend ein Verfahren 100 für eine Ermittlung eines prognostizierten Heizwerts  $H_{i,p}$  von einem Prozessmedium 10. Das Verfahren 100 umfasst ein Bereitstellen in Schritt S100 des Prozessmediums 10 durch eine Zuführeinheit 15. Das Verfahren 100 umfasst ferner ein Erfassen in Schritt S110 mindestens eines Parameters 35 des Prozessmediums 10 mittels der ersten Sensoreinheit 35.

**[0094]** Das Verfahren 100 umfasst zudem ein Ermitteln in Schritt S120 des prognostizierten Heizwerts  $H_{i,p}$  auf Grundlage der erfassten Parameter 35 des bereitgestellten Prozessmediums 10 in der Verarbeitungseinheit 40 mittels der Prognoseeinheit 60. Das Ermitteln des prognostizierten Heizwerts  $H_{i,p}$  auf Grundlage der erfassten Parameter 35 erfolgt durch die Prognoseeinheit 60 unter

Verwendung der Module 61.

**[0095]** Fig. 6 ist ein Prozessablaufdiagramm darstellend ein computerimplementiertes Verfahren 200 für eine Heizwertsteuerung in einer thermischen Verwertungsanlage unter Verwendung eines prognostizierten Heizwerts  $H_{i,p}$ .

**[0096]** Das computerimplementierte Verfahren 200 umfasst ein Bereitstellen in Schritt S200 eines Prozessmediums 10 durch eine Zuführeinheit 15. Das Bereitstellen in Schritt S200 entspricht im Wesentlichen dem Bereitstellen in Schritt S100.

**[0097]** Das computerimplementierte Verfahren 200 umfasst ferner ein Erfassen in Schritt S210 mindestens eines Parameters 35 des Prozessmediums 10 mittels der ersten Sensoreinheit 35. Das Erfassen in Schritt S210 entspricht im Wesentlichen dem Erfassen in Schritt S110.

**[0098]** Das computerimplementierte Verfahren 200 umfasst zudem ein Ermitteln in Schritt S220 des prognostizierten Heizwerts  $H_{i,p}$  auf Grundlage der erfassten Parameter 35 des bereitgestellten Prozessmediums 10 in der Verarbeitungseinheit 40 mittels der Prognoseeinheit 60. Das Ermitteln in Schritt S220 entspricht im Wesentlichen dem Ermitteln in Schritt S120.

**[0099]** Das computerimplementierte Verfahren 200 umfasst gegenüber dem Verfahren 100 zusätzlich ein Steuern in Schritt S225 einer Zusammensetzung des bereitgestellten Prozessmediums 10 mittels einer Zusammensetzungssteuereinheit 20 unter Verwendung des prognostizierten Heizwerts  $H_{i,p}$  des bereitgestellten Prozessmediums 10.

**[0100]** Das computerimplementierte Verfahren 200 umfasst ferner ein thermisches Verwerten in Schritt S230 des bereitgestellten Prozessmediums 10 in der Brennkammer 50 zu einem thermisch verwerteten Prozessmedium 12.

**[0101]** Das computerimplementierte Verfahren 200 umfasst zudem ein Erfassen in Schritt S240 eines tatsächlichen Heizwerts  $H_{i,t}$  des thermisch verwerteten Prozessmediums 12 mittels einer zweiten Sensoreinheit 55.

**[0102]** Das computerimplementierte Verfahren 200 umfasst zudem ein Trainieren in Schritt S250 des Maschinenlernalgorithmus 60a unter Berücksichtigung des tatsächlichen Heizwerts  $H_{i,t}$  des thermisch verwerteten Prozessmediums 12 und des prognostizierten Heizwerts  $H_{i,p}$  des Prozessmediums 10. Das Trainieren S250 der Prognoseeinheit 60 unter Berücksichtigung des tatsächlichen Heizwerts  $H_{i,t}$  des thermisch verwerteten Prozessmediums 10 und des prognostizierten Heizwerts  $H_{i,p}$  des thermisch verwerteten Prozessmedium 12 umfasst einen iterativen Vergleich des tatsächlichen Heizwerts  $H_{i,t}$  und des prognostizierten Heizwerts  $H_{i,p}$  durch die Verarbeitungseinheit 40.

Bezugszeichenliste

**[0103]**

|           |                                     |
|-----------|-------------------------------------|
| 1         | System                              |
| 2         | System                              |
| 10        | Prozessmedium                       |
| 11        | hochvolumiger Stoffstrom            |
| 5 12      | thermisch verwertetes Prozessmedium |
| 13        | feste Phase                         |
| 14        | gasförmige Phase                    |
| 15        | Zuführeinheit                       |
| 20        | Zusammensetzungssteuereinheit       |
| 10 25     | Pufferspeicher                      |
| 30        | erste Sensoreinheit                 |
| 35        | Parameter                           |
| 40        | Verarbeitungseinheit                |
| 40a       | Datenerhebungsserver                |
| 15 40b    | Datenverarbeitungsserver            |
| 40c       | Persistenzserver                    |
| 50        | Brennkammer                         |
| 55        | zweite Sensoreinheit                |
| 60        | Prognoseeinheit                     |
| 20 60a    | Maschinenlernalgorithmus            |
| 61        | Module                              |
| $H_i$     | Heizwert                            |
| $H_{i,p}$ | prognostizierter Heizwert           |
| $H_{i,t}$ | tatsächlicher Heizwert              |
| 25 100    | Computerimplementiertes Verfahren   |
| 200       | Computerimplementiertes Verfahren   |

#### Patentansprüche

1. Computerimplementiertes Verfahren (100) für eine Ermittlung eines prognostizierten Heizwerts ( $H_{i,p}$ ) von einem Prozessmedium (10) in einer thermischen Verwertungsanlage, wobei das Verfahren (100) umfasst:

Bereitstellen (S100) des Prozessmediums (10) durch eine Zuführeinheit (15), wobei das Prozessmedium (10) einen hochvolumigen Stoffstrom (11) umfasst;

Erfassen (S110) mindestens eines Parameters (35) des Prozessmediums (10) mittels einer ersten Sensoreinheit (30), wobei das Erfassen (S110) des mindestens einen Parameters (35) des Prozessmediums (10) ein Erfassen von mindestens einem von einer Körnung des Prozessmediums (10), einer Partikelbeschaffenheit des Prozessmediums (10), einer Staubkonzentration des Prozessmediums (10), einer Feuchtigkeit des Prozessmediums (10), einer Partikelgrößenverteilung des Prozessmediums (10), einem kritischen Objekt in dem Prozessmedium (10) oder einem biogenen Anteil des Prozessmediums (10) umfasst; und

Ermitteln (S120) eines prognostizierten Heizwerts ( $H_{i,p}$ ) auf Grundlage der erfassten Parameter (35) des bereitgestellten Prozessmediums (10) in einer Verarbeitungseinheit (40) mit-

tels einer Prognoseeinheit (60).

2. Computerimplementiertes Verfahren (200) für eine Heizwertsteuerung in einer thermischen Verwertungsanlage unter Verwendung eines prognostizierten Heizwerts ( $H_{i,p}$ ), wobei das Verfahren (200) umfasst:

Bereitstellen (S200) eines Prozessmediums (10) durch eine Zuführeinheit (15), wobei das Prozessmedium (10) einen hochvolumigen Stoffstrom (11) umfasst;

Erfassen (S210) mindestens eines Parameters (35) des Prozessmediums (10) mittels einer ersten Sensoreinheit (30), wobei das Erfassen (S210) des mindestens einen Parameters (35) des Prozessmediums (10) ein Erfassen von mindestens einem von einer Körnung des Prozessmediums (10), einer Partikelbeschaffenheit des Prozessmediums (10), einer Staubkonzentration des Prozessmediums (10), einer Feuchtigkeit des Prozessmediums (10), einer Partikelgrößenverteilung des Prozessmediums (10), einem kritischen Objekt in dem Prozessmedium (10) oder einem biogenen Anteil des Prozessmediums (10) umfasst;

Ermitteln (S220) des prognostizierten Heizwerts ( $H_{i,p}$ ) auf Grundlage der erfassten Parameter (35) des bereitgestellten Prozessmediums (10) in einer Verarbeitungseinheit (40) mittels einer Prognoseeinheit (60); und

Steuern (S225) einer Zusammensetzung des bereitgestellten Prozessmediums (10) mittels einer Zusammensetzungssteuereinheit (20) unter Verwendung des prognostizierten Heizwerts ( $H_{i,p}$ ) des bereitgestellten Prozessmediums (10).

3. Computerimplementiertes Verfahren (100, 200) nach Anspruch 1 oder 2, ferner umfassend: thermisches Verwerten (S230) des bereitgestellten Prozessmediums (10) in einer Brennkammer (50) zu einem thermisch verwerteten Prozessmedium (12).

4. Computerimplementiertes Verfahren (100, 200) nach Anspruch 3, ferner umfassend: Erfassen (S240) eines tatsächlichen Heizwerts ( $H_{i,t}$ ) des thermisch verwerteten Prozessmediums (12) mittels einer zweiten Sensoreinheit (55).

5. Computerimplementiertes Verfahren (100, 200) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, ferner umfassend:

Trainieren (S250) eines Maschinenlernalgorithmus (60a) unter Berücksichtigung des tatsächlichen Heizwerts ( $H_{i,t}$ ) des thermisch verwerteten Prozessmediums (12) und des auf Grundlage der erfassten

Parameter (35) des Prozessmediums (10) prognostizierten Heizwerts ( $H_{i,p}$ ), wobei die Prognoseeinheit (60) den Maschinenlernalgorithmus (60a) umfasst.

6. Computerimplementiertes Verfahren (100, 200) nach Anspruch 5, wobei: das Trainieren (S250) des Maschinenlernalgorithmus (60a) unter Berücksichtigung des tatsächlichen Heizwerts ( $H_{i,t}$ ) des thermisch verwerteten Prozessmediums (12) und des prognostizierten Heizwerts ( $H_{i,p}$ ) des Prozessmediums (10) einen iterativen Vergleich des tatsächlichen Heizwerts ( $H_{i,t}$ ) und des auf Grundlage der erfassten Parameter (35) des Prozessmediums (10) prognostizierten Heizwerts ( $H_{i,p}$ ) durch die Verarbeitungseinheit (40) umfasst.

7. Computerimplementiertes Verfahren (100, 200) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei welchem das Erfassen (S110, S210) des mindestens einen Parameters (35) des Prozessmediums (10) ein Erfassen mindestens eines Parameters (35) des hochvolumigen Stoffstroms (11) umfasst, wobei der der hochvolumige Stoffstrom (11) ein kontinuierlicher und im Wesentlichen heterogener Materialvolumenstrom aus Haushalts- und/oder Industrieabfällen ist, und wobei der hochvolumige Stoffstrom (11) ein Massenstrom mit einer Volumenrate von mindestens 1 t/min ist.

8. Computerimplementiertes Verfahren (100, 200) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Erfassen (S110, S210) des mindestens einen Parameters (35) des Prozessmediums (10) mit Hilfe von mindestens einem von einer Farbbildkamera, einer Monokamera, einer Hochgeschwindigkeitskamera, einer Thermalbildkamera, einem Infrarotsensor, einem Röntgengerät, einem Radarsensor, einer Event-(Ereignis) Kamera, einem Induktionssensor oder einem Spektalsensor erfolgt.

9. System (1) für eine Ermittlung eines prognostizierten Heizwerts ( $H_{i,p}$ ) von einem Prozessmedium (10) in einer thermischen Verwertungsanlage, wobei das System (5) umfasst:

eine Zuführeinheit (15) für ein Bereitstellen des Prozessmediums (10), wobei das Prozessmedium (10) einen hochvolumigen Stoffstrom (11) umfasst;

eine erste Sensoreinheit (30) eingerichtet, um mindestens einen Parameter (35) des Prozessmediums (10) zu erfassen; und eine Verarbeitungseinheit (40), elektronisch verbunden mit der Sensoreinheit (30) und eingerichtet, um einen prognostizierten Heizwert ( $H_{i,p}$ ) auf Grundlage der erfassten Parameter (35) des zugeführten Prozessmediums (10) zu ermitteln.

10. System (2) für eine für eine Heizwertsteuerung in einer thermischen Verwertungsanlage unter Verwendung eines prognostizierten Heizwerts ( $H_{i,p}$ ), wobei das System (2) umfasst:
- eine Zuführeinheit (15) für ein Bereitstellen des Prozessmediums (10), wobei das Prozessmedium (10) einen hochvolumigen Stoffstrom (11) umfasst; 5
  - eine erste Sensoreinheit (30) eingerichtet, um mindestens einen Parameter (35) des Prozessmediums (10) zu erfassen; 10
  - eine Verarbeitungseinheit (40), elektronisch verbunden mit der ersten Sensoreinheit (30) und eingerichtet, um einen prognostizierten Heizwert ( $H_{i,p}$ ) auf Grundlage der erfassten Parameter (35) des zugeführten Prozessmediums (10) zu ermitteln; 15
  - eine Brennkammer (50) für eine thermische Verwertung des bereitgestellten Prozessmediums (10) zu einem thermisch verwerteten Prozessmedium (12); und 20
  - eine Zusammensetzungssteuereinheit (20) eingerichtet, um eine Zusammensetzung des zugeführten Prozessmediums (10) zu steuern. 25
11. System (2) nach Anspruch 9 oder 10, ferner umfassend:
- eine zweite Sensoreinheit (55), eingerichtet, um den tatsächlichen Heizwert ( $H_{i,t}$ ) des thermisch verwerteten Prozessmediums (12) zu ermitteln. 30
12. System (1, 2) nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei
- die erste Sensoreinheit (30) mindestens eines von einer Farbbildkamera, einer Monokamera, einer Hochgeschwindigkeitskamera, einer Thermalbildkamera, einer 3D-Kamera, einem Infrarotsensor, einem Röntgengerät, einem Radarsensor, einer Event-(Ereignis) Kamera, einem Induktionssensor oder einem Spektrolsensor umfasst. 35 40
13. System (1, 2) nach einem der Ansprüche 9 bis 12, wobei
- der hochvolumige Stoffstrom (11) ein kontinuierlicher und im Wesentlichen heterogener Materialvolumenstrom aus Haushalts- und/oder Industrieabfällen ist. 45
14. System (1, 2) nach einem der Ansprüche 9 bis 13, wobei
- der hochvolumige Stoffstrom (11) ein Massenstrom mit einer Volumenrate von mindestens 1 t/min ist. 50
15. Verwendung der computerimplementierten Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 oder der Vorrichtungen nach einem der Ansprüche 9 bis 14 in einer thermischen Abfallbehandlungs- oder Verwer-

Fig. 1

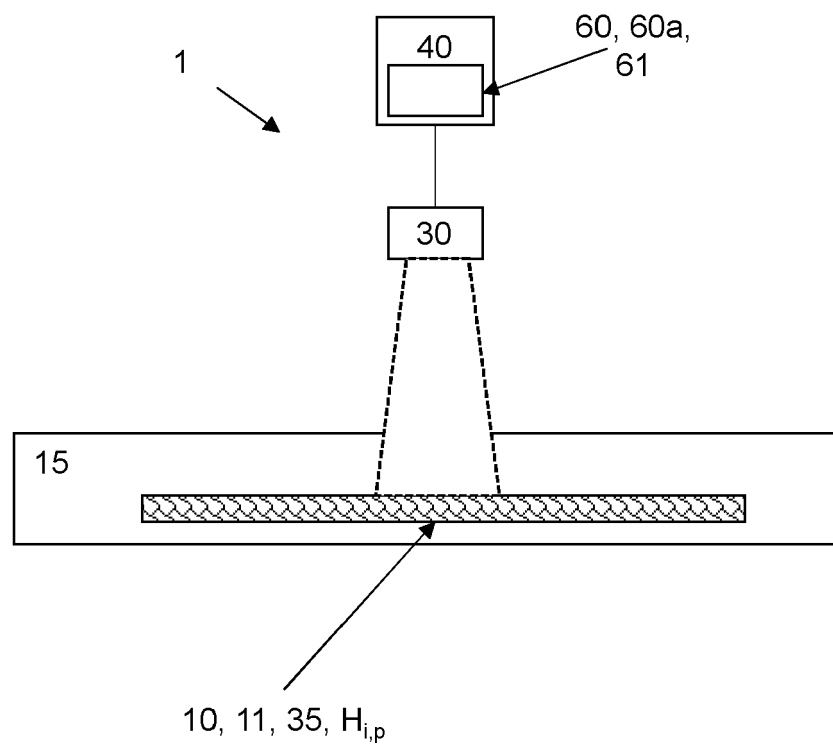


Fig. 2a

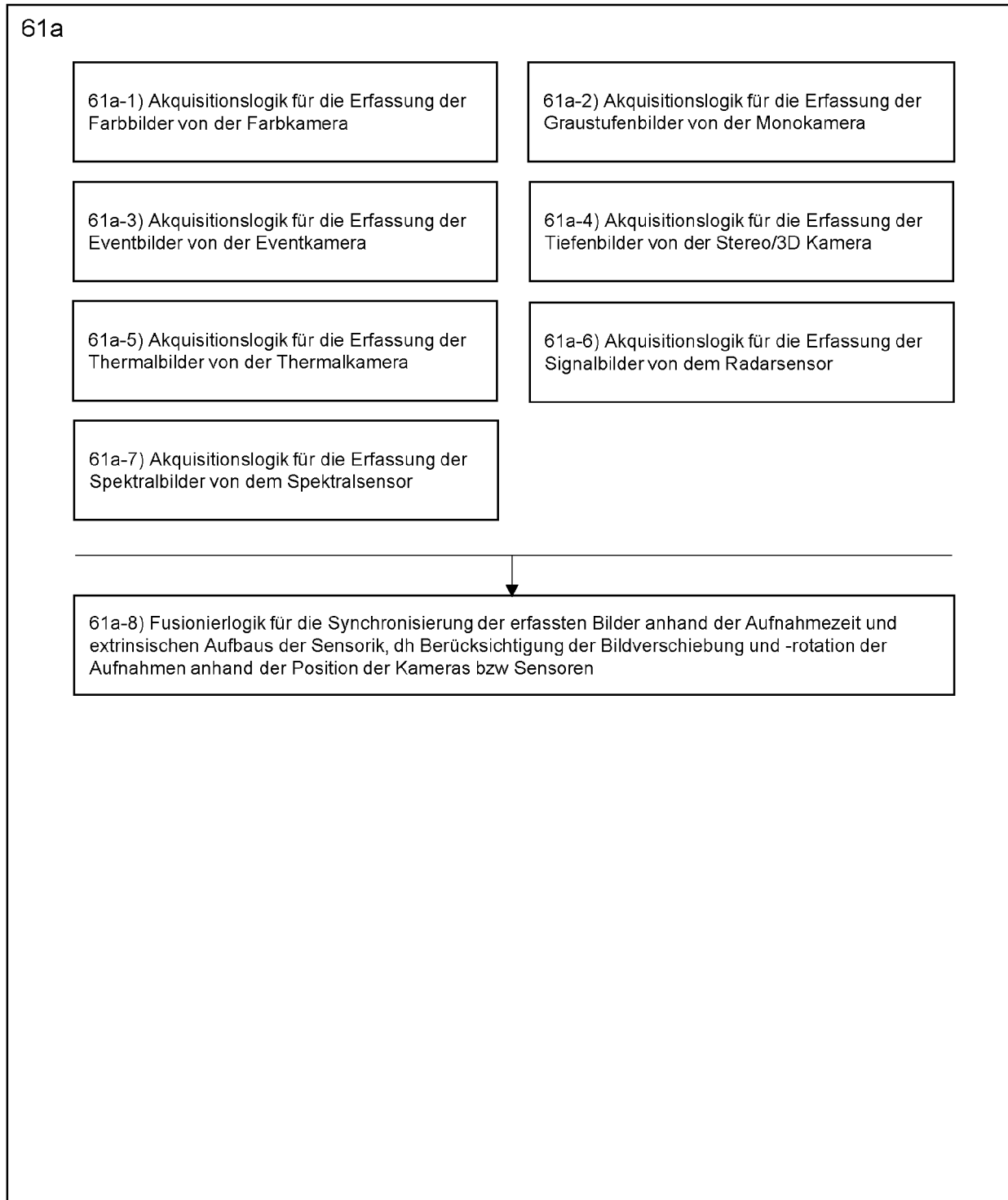


Fig. 2b

61b

61b-1) Detektionslogik für die Erfassung des Prozessmediums 11

61b-2) Fusionierlogik für die Synchronisierung der erfassten Bilder anhand der Aufnahmezeit und extrinsischen Aufbaus der Sensorik, dh Berücksichtigung der Bildverschiebung und -rotation der Aufnahmen anhand der Position der Kameras bzw Sensoren

61b-3) Fusionierlogik für die Verknüpfung der synchronisierten Sensordatenaufnahmen mit der erfassten Materialaufnahme des Prozessmediums

Fig. 2c

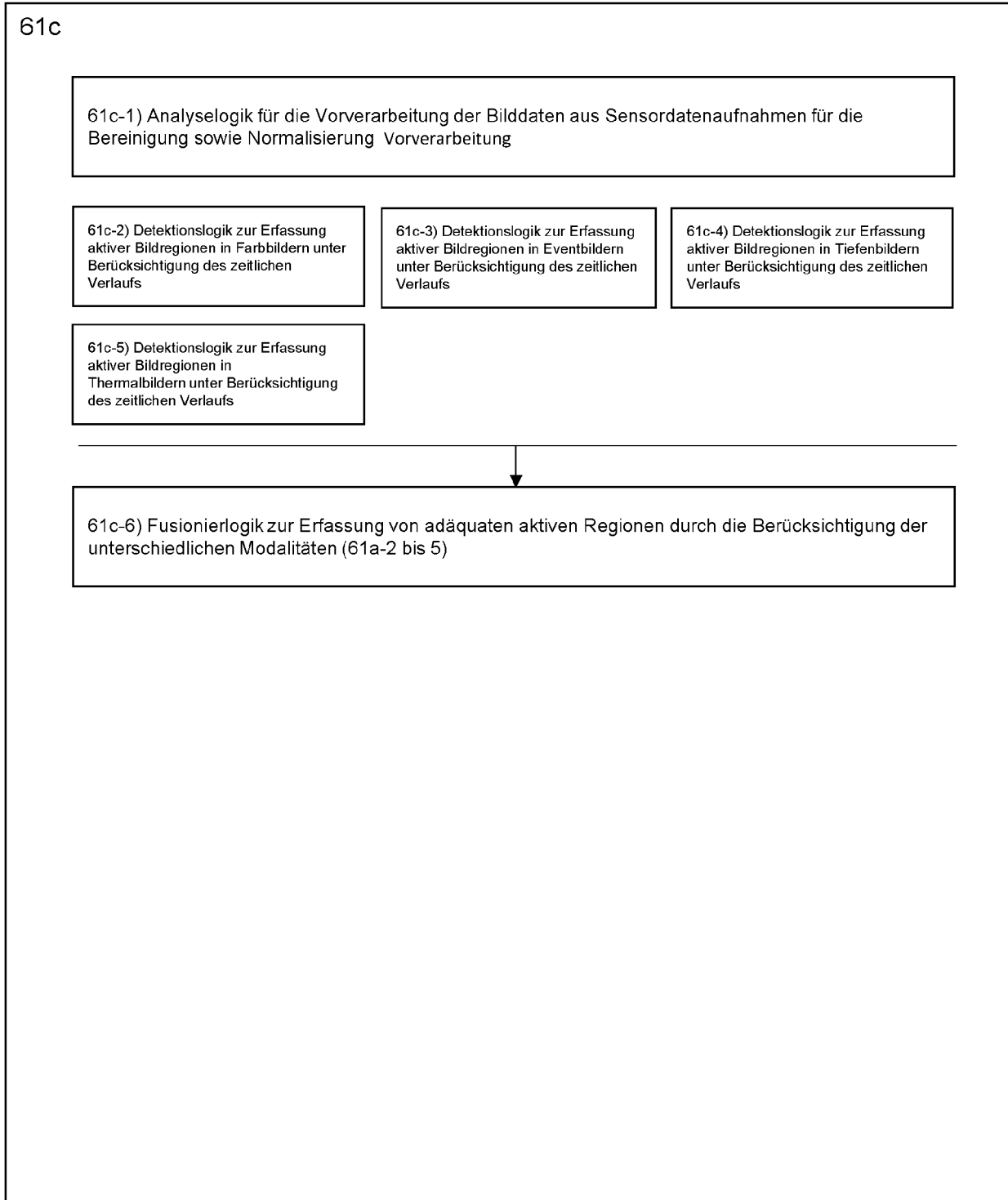


Fig. 2d

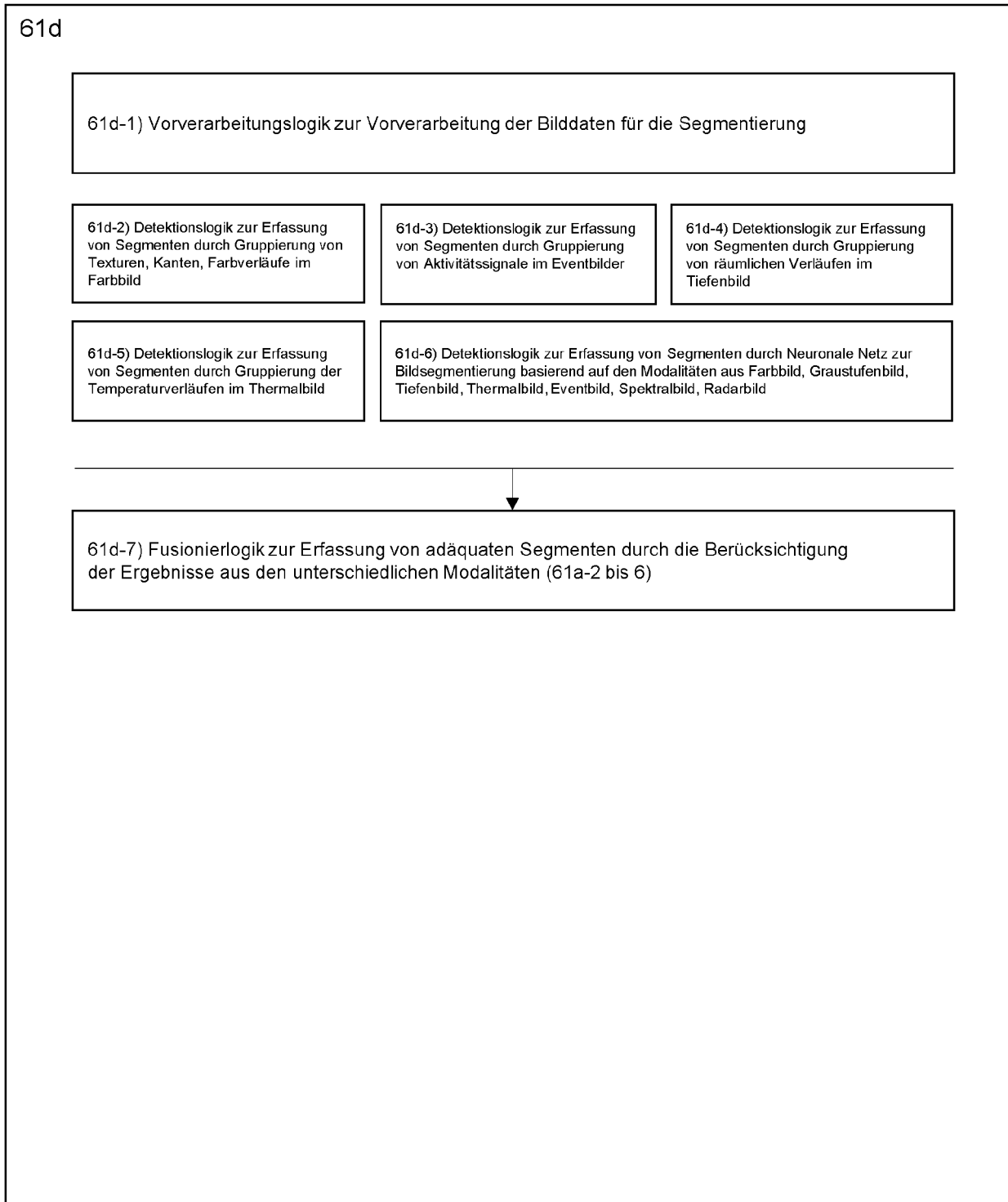


Fig. 2e

61e

61e-1) Analyselogik zur Extraktion von sogenannte Quantifizierungsvektoren, die aktiven Regionen beschreiben

61e-2) Analyselogik für Bildung eines Vorhersagemodells basierend auf Quantifizierungsvektoren mit dem Ziel der Klassifizierung der Körnung

61e-3) Analyselogik zur Aufbereitung und Bereitstellung der Resultate zur Körnung

Fig. 2f

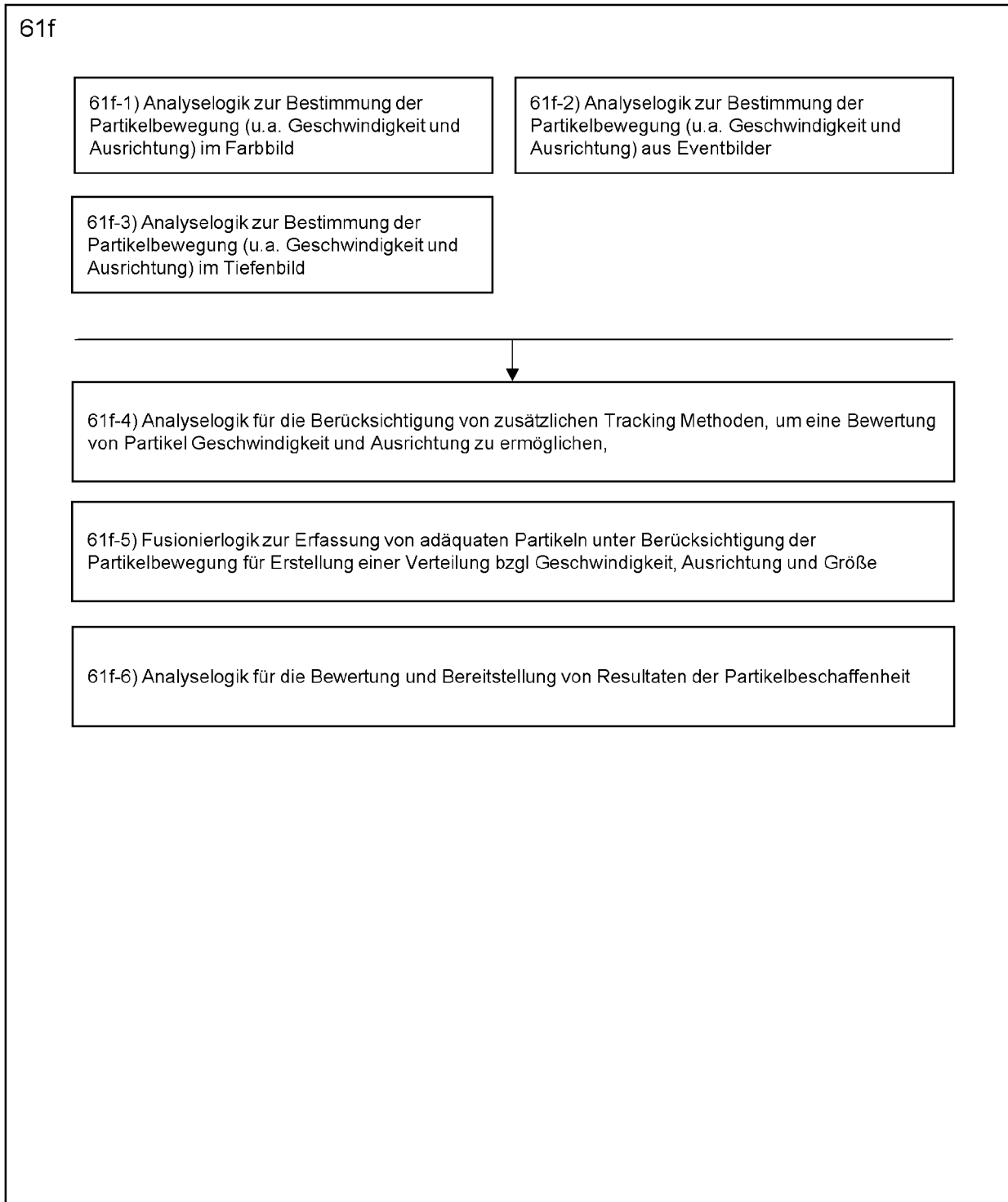


Fig. 2g

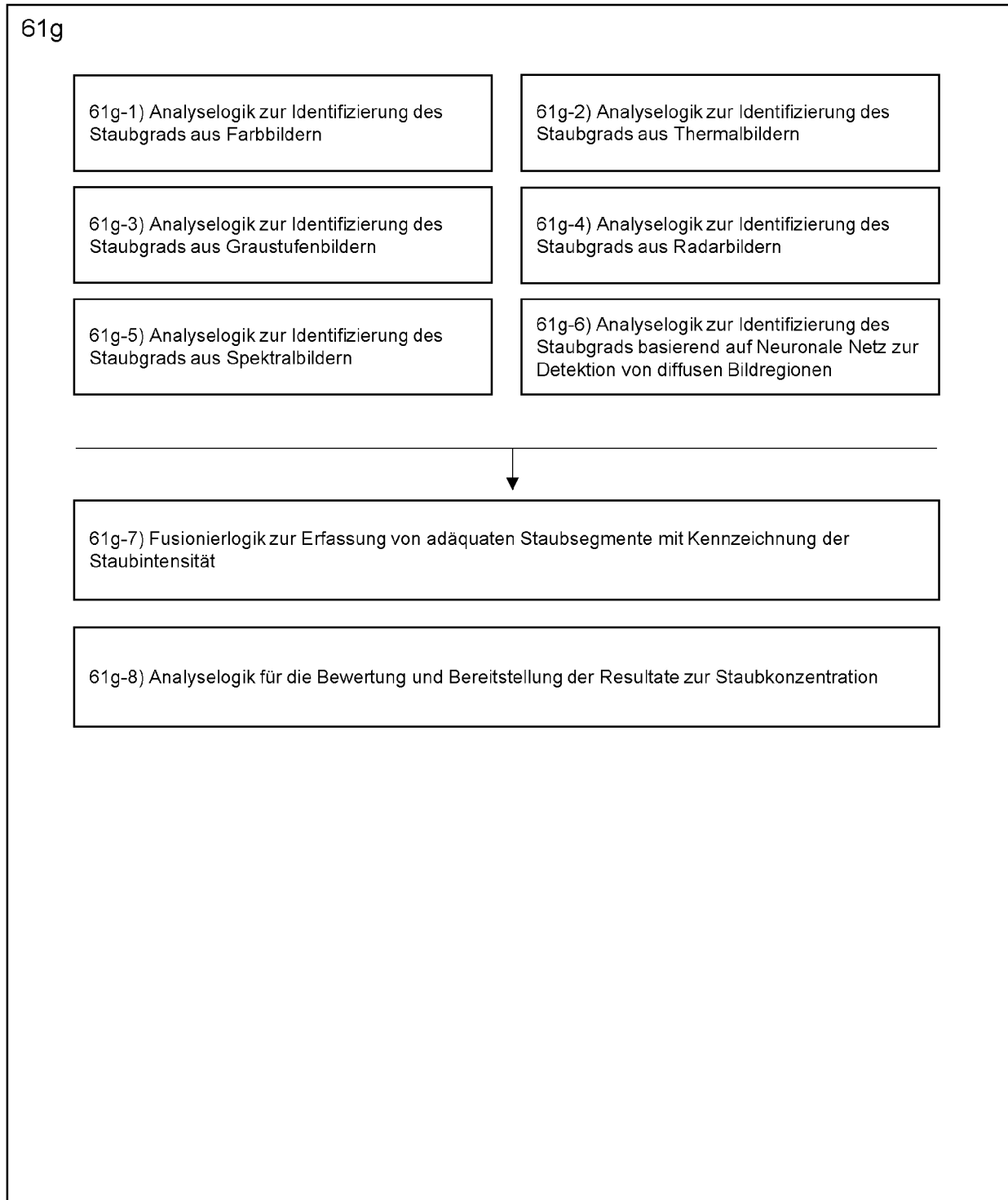


Fig. 2h

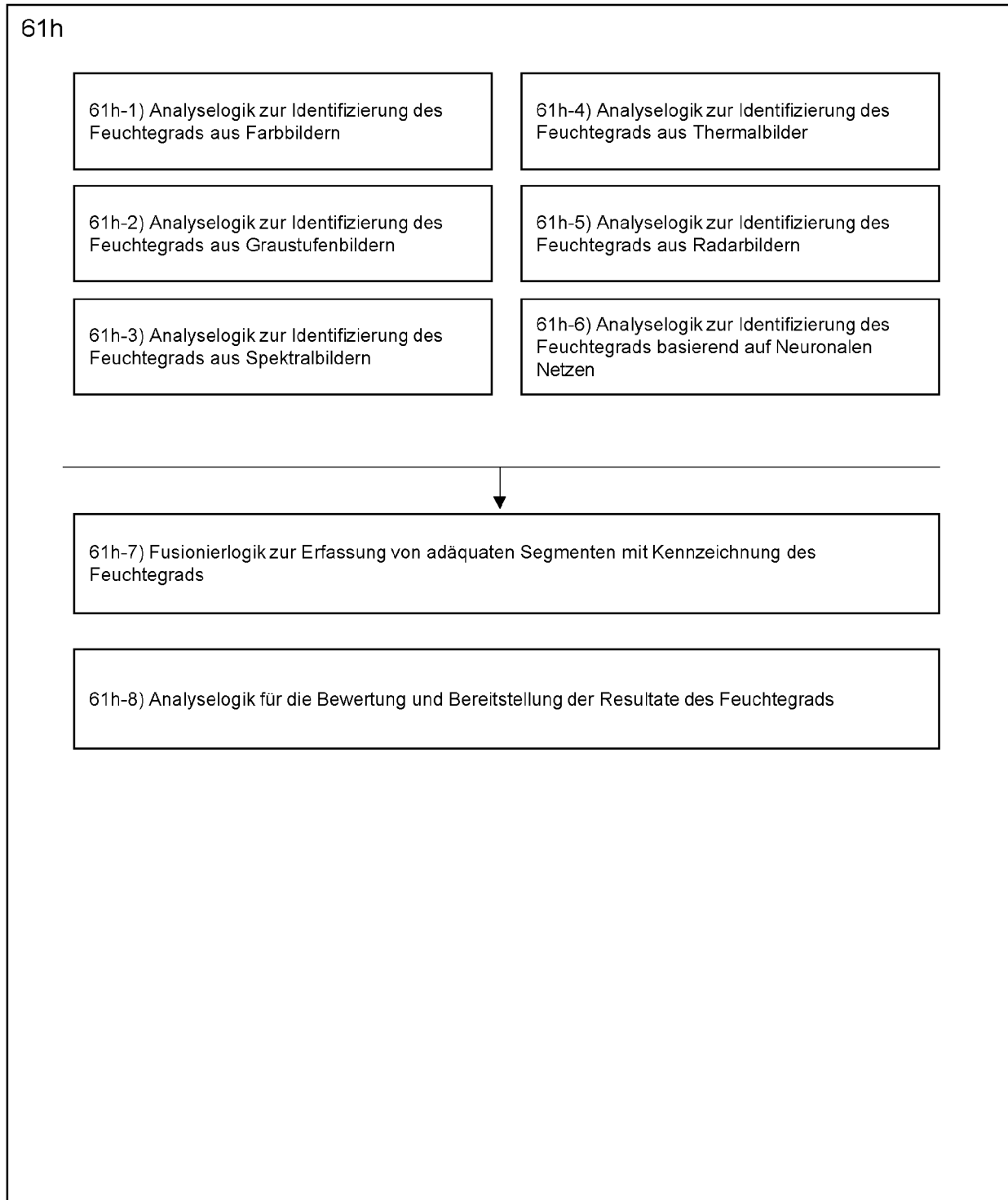


Fig. 2i

61i

61i-1) Analyselogik für die Verknüpfung der Segmentierungsergebnisse mit 3D Tiefeninformation für die Detektion von potentiellen Partikelkandidaten mit dazugehöriger Schätzung der räumlichen Dimensionen der Partikelkandidaten

61i-2) Fusionierlogik zur Erfassung von adäquaten Partikeln mit Kennzeichnung der Partikelgröße

61i-3) Analyselogik für die Bewertung und Bereitstellung der Resultate der Partikelgrößenverteilung

Fig. 2j

61j

61j-1) Analyselogik für die Verknüpfung der Segmentierungsergebnisse mit 3D Tiefeninformation für die Detektion von potentiellen Objektkandidaten mit dazugehöriger Schätzung der räumlichen Dimensionen

61j-2) Fusionierlogik zur Erfassung von adäquaten Segmenten aus Objektkandidaten, die kritische Objekte darstellen

61j-3) Analyselogik für die Bewertung und Bereitstellung der Resultate zur kritischen Objekten

Fig. 2k

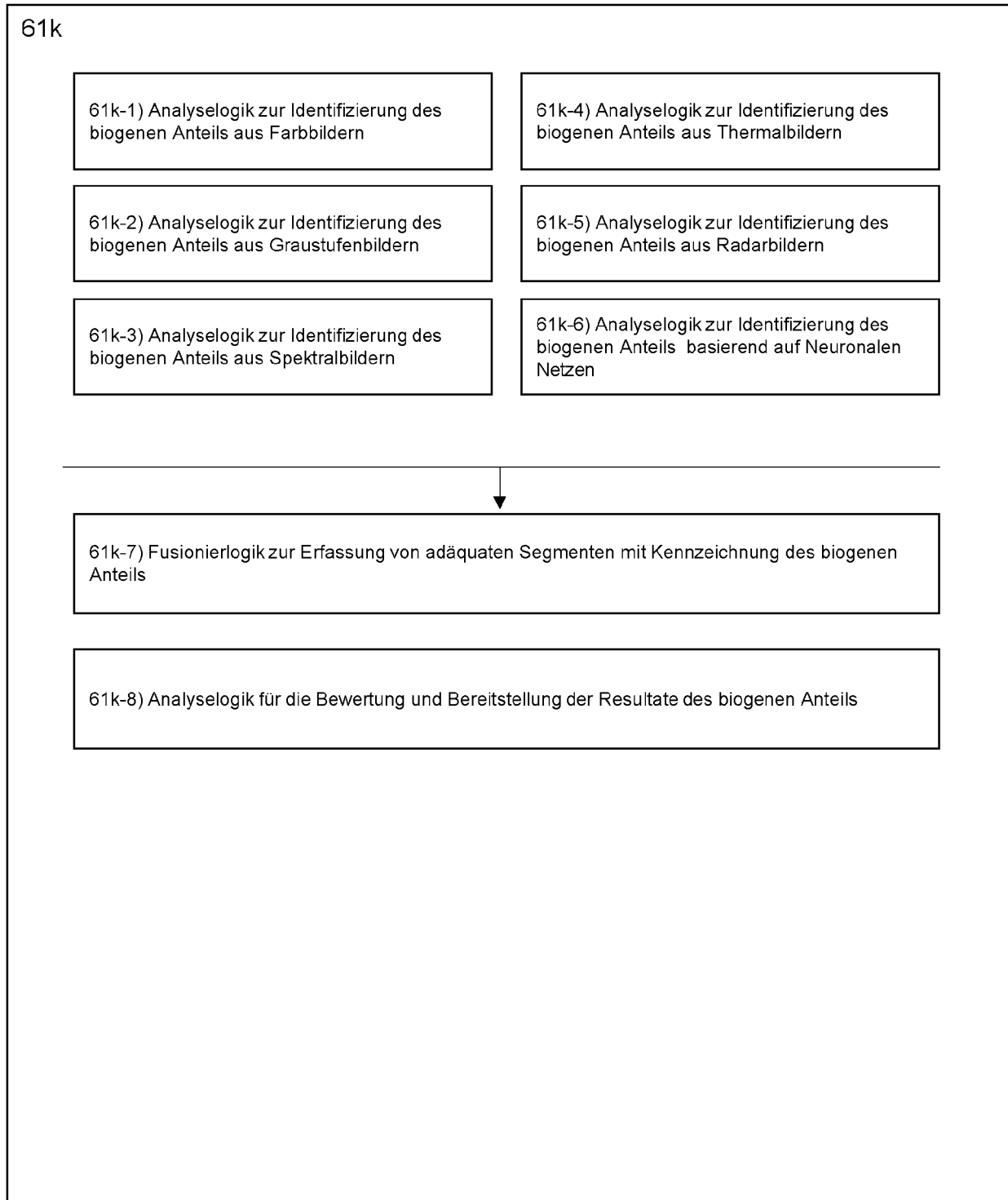


Fig. 2l

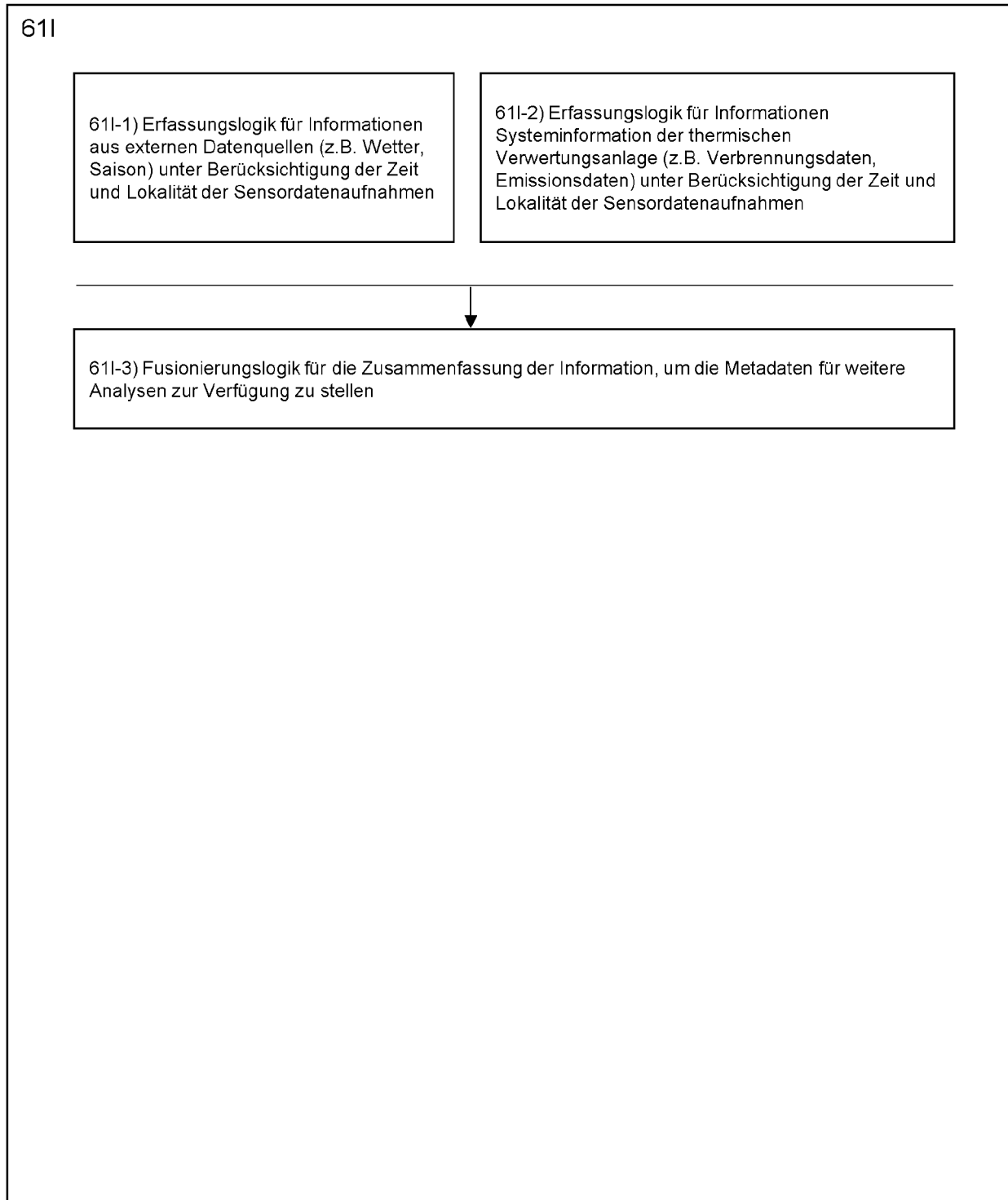


Fig. 3

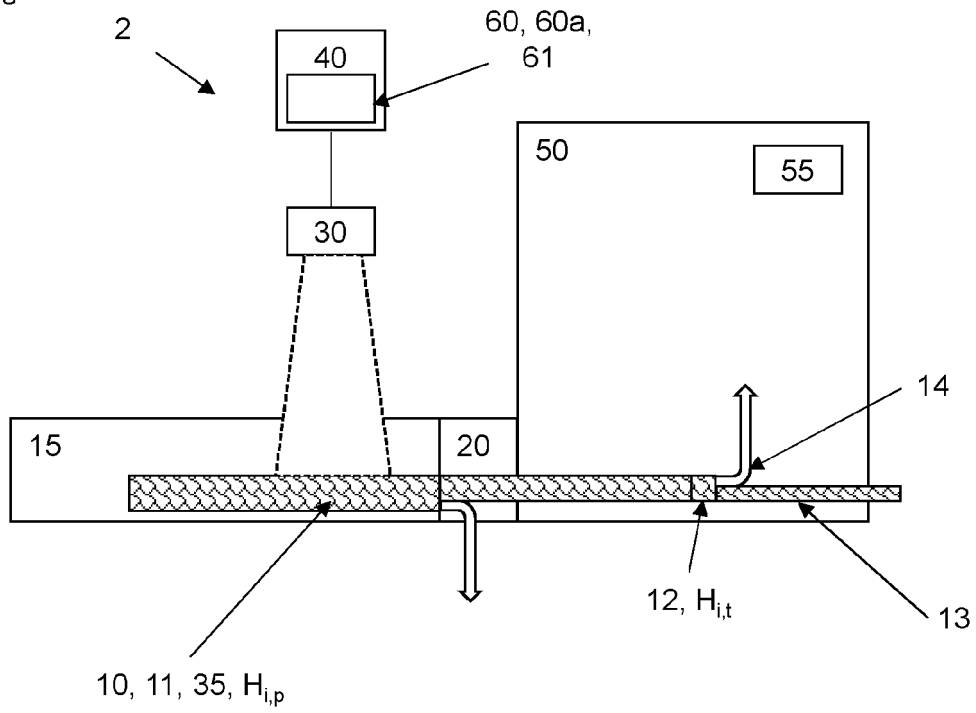


Fig. 4

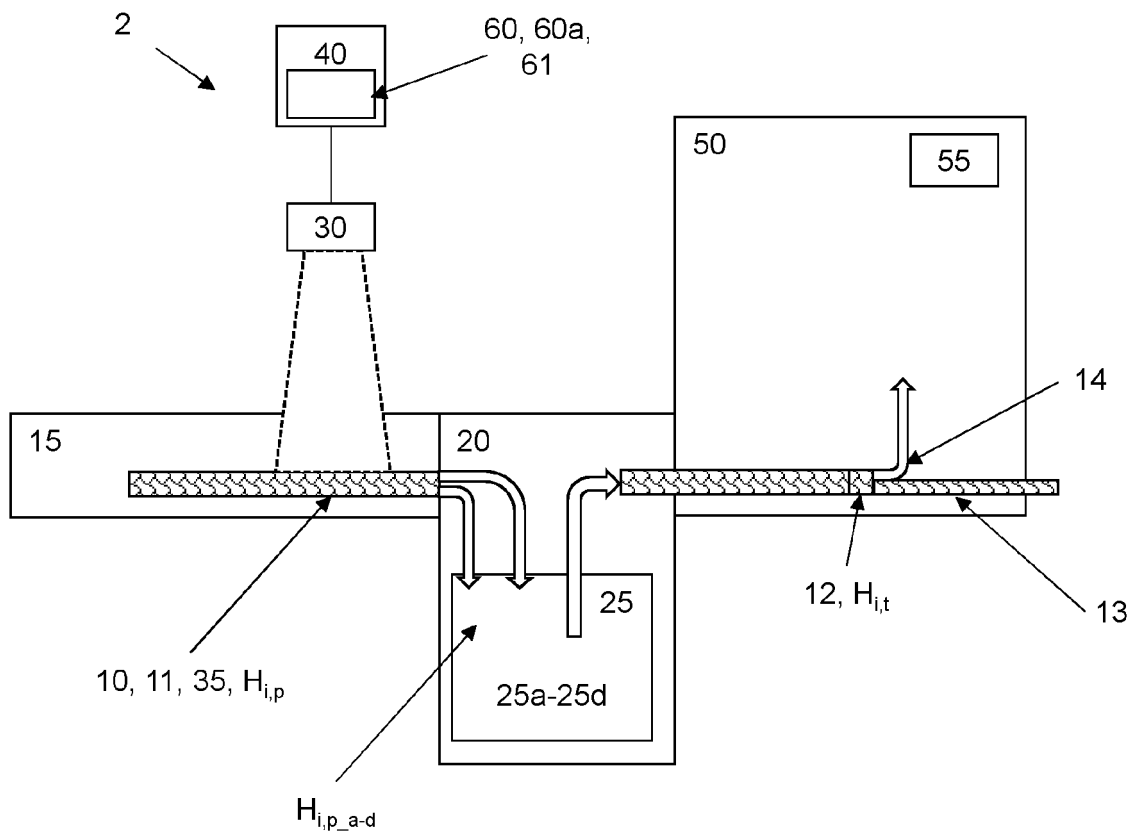


Fig. 5

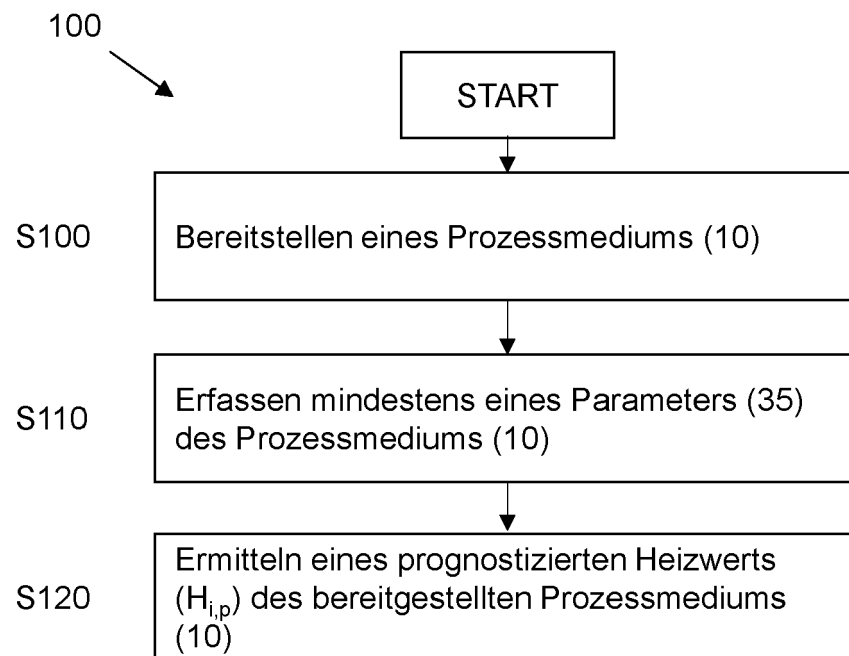
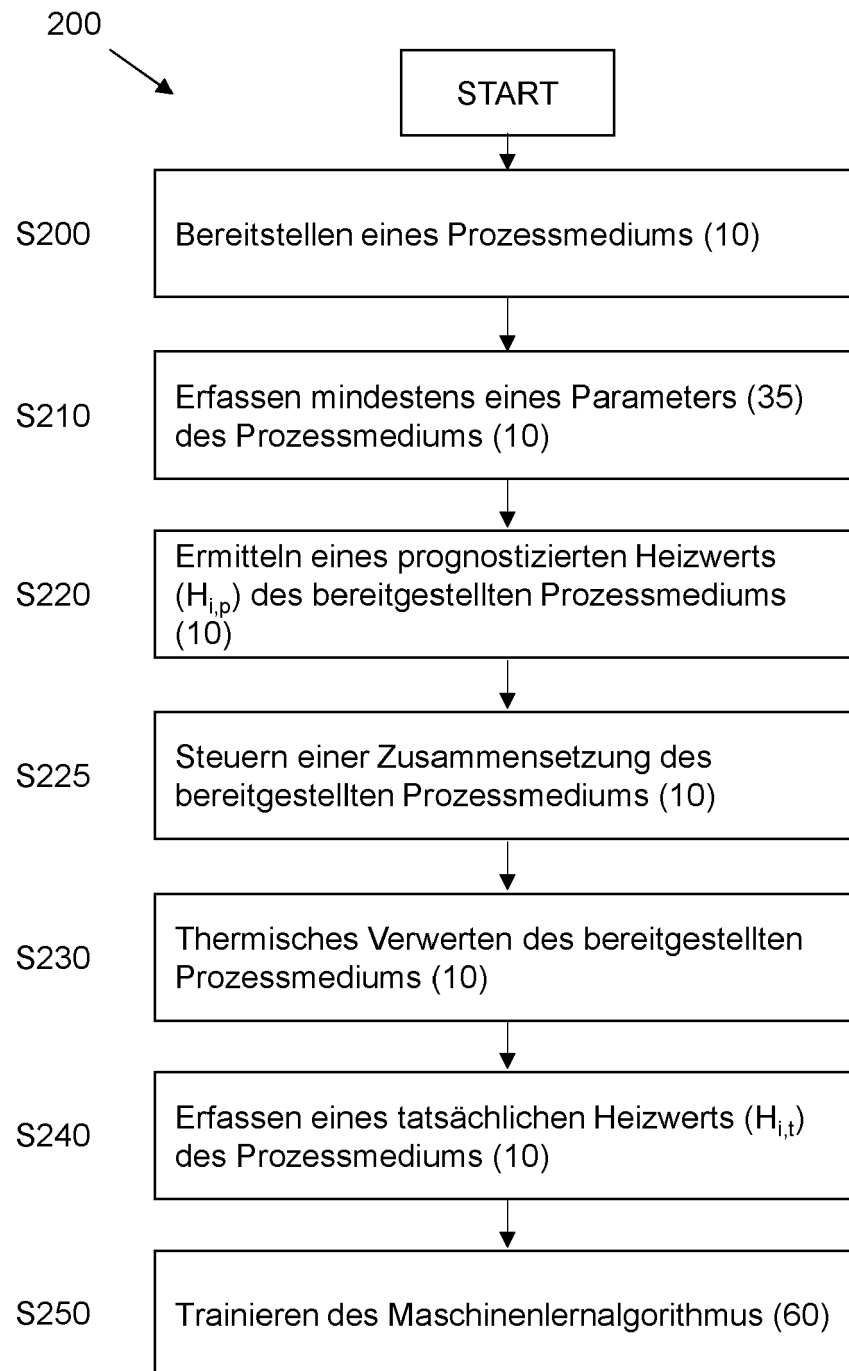


Fig. 6





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 19 5389

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Kategorie                                                                                                                                                                                                                                            | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile                                                                                                | Betrifft Anspruch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)       |
| X                                                                                                                                                                                                                                                    | EP 1 048 900 A1 (ORFEUS COMBUSTION ENG GMBH [DE]) 2. November 2000 (2000-11-02)<br>* Spalte 1, Absatz 1 *<br>* Spalte 3, Absatz 10 - Spalte 6, Absatz 29 *<br>* Abbildungen 1, 2 * | 1-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | INV.<br>F23G5/50<br>F23N1/00<br>F23N5/26 |
| X                                                                                                                                                                                                                                                    | DE 10 2010 031528 A1 (SEEGER KLAUS [DE]; UNLAND HEINRICH [DE]; WOERMCKE HANS [DE]) 19. Januar 2012 (2012-01-19)<br>* Seite 3, Absatz 25 - Seite 4, Absatz 37 *<br>* Abbildung 1 *  | 1-3,<br>8-10, 12,<br>13, 15                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                          |
| X                                                                                                                                                                                                                                                    | WO 2011/121187 A2 (UPM KYMMENE CORP; LAAKKONEN PERTTU [FI]; PALOKANGAS JUHA [FI]) 6. Oktober 2011 (2011-10-06)<br>* Seite 3, Zeile 7 - Seite 12, Zeile 27 *<br>* Abbildung 1 *     | 1-3, 9,<br>10, 15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)          |
|                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | F23G<br>F23N                             |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                          |
| Recherchenort<br><b>München</b>                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                    | Abschlußdatum der Recherche<br><b>21. Dezember 2023</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Prüfer<br><b>Rudolf, Andreas</b>         |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                          |
| X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : nichtschriftliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |                                                                                                                                                                                    | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |                                          |

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

EP 23 19 5389

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

21-12-2023

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentedokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie                                                                                                                                                  | Datum der<br>Veröffentlichung                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>EP 1048900 A1</b>                                | <b>02-11-2000</b>             | <b>DE 19919222 C1</b><br><b>EP 1048900 A1</b>                                                                                                                                      | <b>11-01-2001</b><br><b>02-11-2000</b>                                                                                                          |
| -----                                               |                               |                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                 |
| <b>DE 102010031528 A1</b>                           | <b>19-01-2012</b>             | <b>KEINE</b>                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                 |
| -----                                               |                               |                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                 |
| <b>WO 2011121187 A2</b>                             | <b>06-10-2011</b>             | <b>BR 112012024504 A2</b><br><b>CA 2793982 A1</b><br><b>CN 103038574 A</b><br><b>EP 2553339 A2</b><br><b>RU 2012146540 A</b><br><b>US 2013079922 A1</b><br><b>WO 2011121187 A2</b> | <b>05-07-2016</b><br><b>06-10-2011</b><br><b>10-04-2013</b><br><b>06-02-2013</b><br><b>10-05-2014</b><br><b>28-03-2013</b><br><b>06-10-2011</b> |
| -----                                               |                               |                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                 |

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

- DE 102022122433 [0001]
- WO 2020082176 A1, Camirand [0005]
- US 10799915 B2 [0006]

### In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- PEHLKEN ; ALEXANDRA ; PATRICK ESCHEMANN ; HENRIETTE GARMATTER ; FABIAN CYRIS ; ASTRID NIEßE. Einsatz von Künstlicher Intelligenz in der Digitalisierung von Abfallverbrennungskraftwerken. *Gesellschaft für Informatik*, 2021 [0007]