

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
08. Oktober 2020 (08.10.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/201210 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01N 23/222 (2006.01) G01N 21/71 (2006.01)
G01J 3/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/058948

(22) Internationales Anmeldedatum:
30. März 2020 (30.03.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2019 109 054.7
05. April 2019 (05.04.2019) DE

(71) Anmelder: RWE POWER AG [DE/DE]; Ernestinenstra-
ße 60, 45141 Essen (DE).

(72) Erfinder: SCHÜNGEL, Michael; Blücherstraße 65,
40477 Düsseldorf (DE). VOGT, Daniela; An der Wichtel-
weide 10, 09600 Berthelsdorf (DE).

(74) Anwalt: KEENWAY PATENTANWÄLTE NEU-
MANN HEINE TARUTTIS PARTG MBB; Postfach
103363, 40024 Düsseldorf (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,

(54) Title: APPARATUSES AND METHODS FOR ASCERTAINING AN ELEMENTAL COMPOSITION OF A MATERIAL

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNGEN UND VERFAHREN ZUM ERMITTELN EINER ELEMENTZUSAMMENSETZUNG
EINES MATERIALS

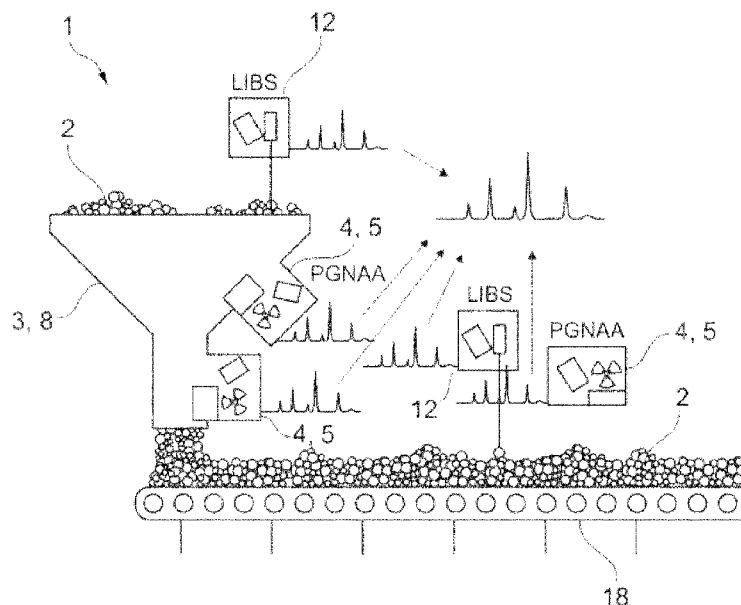


Fig. 4

(57) Abstract: An apparatus (1) for ascertaining an elemental composition of a material (2) comprises: – a collection container (3) for the material (2), – a neutron source (4), which is arranged in or on the collection container (3) and configured to introduce neutrons into the collection container (3), – a radiation detector (5), arranged in or on the collection container (3), for detecting radiation generated in the collection container (3) by neutrons introduced into the material (2), and – an evaluation unit (6) which is configured to ascertain the elemental composition of the material (2) from the radiation detected by the radiation detector (5) using prompt gamma neutron activation analysis, PGNAA, and/or pulsed fast neutron activation analysis, PFTNA. Using the apparatuses (1, 15) and methods described, it is possible to ascertain the elemental composition in a material (2) with particularly high measurement accuracy, by virtue of PGNAA,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2020/201210 A2

SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

PFTNA and/or LIBS being applied to a material (2) in a collection container (3).

(57) **Zusammenfassung:** Vorrichtung (1) zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials (2), umfassend: - einen Sammelbehälter (3) für das Material (2), - eine in oder an dem Sammelbehälter (3) angeordnete Neutronenquelle (4), die dazu eingerichtet ist, Neutronen in den Sammelbehälter (3) einzuleiten, - einen in oder an dem Sammelbehälter (3) angeordneten Strahlungsdetektor (5) zum Detektieren von Strahlung, die im Sammelbehälter (3) durch in das Material (2) eingeleitete Neutronen erzeugt wird, und - eine Auswerteeinheit (6), die dazu eingerichtet ist, aus der vom Strahlungsdetektor (5) detektierten Strahlung nach Art der Prompten-Gamma-Neutronen-Aktivierungs-Analyse, PGNA, und/oder der Pulsed Fast Neutron Activation Analysis, PFTNA, die Elementzusammensetzung des Materials (2) zu ermitteln. Mit den beschriebenen Vorrichtungen (1, 15) und Verfahren kann die Elementzusammensetzung in einem Material (2) mit einer besonders hohen Messgenauigkeit ermittelt werden, in dem PGNA, PFTNA und/oder LIBS auf ein Material (2) in einem Sammelbehälter (3) angewendet wird.

**Vorrichtungen und Verfahren zum Ermitteln
einer Elementzusammensetzung eines Materials**

Die vorliegende Erfindung betrifft Vorrichtungen und Verfahren zum Ermitteln
5 einer Elementzusammensetzung eines Materials.

Bei der industriellen Verarbeitung von Materialien wie fossilen Brennstoffen, Biomasse oder Rohstoffen ist es regelmäßig erforderlich, die genaue Zusammensetzung der Materialien zu kennen, insbesondere aufgrund von einzuhaltenden
10 gesetzlichen Auflagen.

Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, Materialien zu verschiedensten Zwecken zu analysieren. Bei bekannten Verfahren besteht regelmäßig das Problem einer eingeschränkten Repräsentativität. Das kann insbesondere dadurch der Fall
15 sein, dass nicht-repräsentative Proben analysiert werden. Insbesondere bei inhomogenen Förderströmen kann es insoweit zu Messungenauigkeiten kommen.

Hiervon ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, die aus dem Stand der Technik bekannten Probleme zumindest teilweise zu überwin-
20 den und insbesondere Vorrichtungen und Verfahren zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials bereitzustellen, mit denen unter besonders geringem Aufwand eine besonders hohe Messgenauigkeit erreicht werden kann.

Diese Aufgabe wird gelöst mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche.
25 Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängig formulierten Ansprüchen angegeben. Die in den abhängig formulierten Ansprüchen einzeln aufgeführten Merkmale sind in technologisch sinnvoller Weise miteinander kombinierbar und können weitere Ausgestaltungen der Erfindung definieren. Darüber hinaus werden die in den Ansprüchen angegebenen Merkmale in der Be-

schreibung näher präzisiert und erläutert, wobei weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung dargestellt werden.

Erfindungsgemäß wird eine Vorrichtung zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials vorgestellt. Die Vorrichtung umfasst:

- einen Sammelbehälter für das Material,
 - eine in oder an dem Sammelbehälter angeordnete Neutronenquelle, die dazu eingerichtet ist, Neutronen in den Sammelbehälter einzuleiten,
 - einen in oder an dem Sammelbehälter angeordneten Strahlungsdetektor zum
- 10 Detektieren von Strahlung, die im Sammelbehälter durch in das Material eingeleitete Neutronen erzeugt wird, und
- eine Auswerteeinheit, die dazu eingerichtet ist, aus der vom Strahlungsdetektor detektierten Strahlung nach Art der Prompten-Gamma-Neutronen-Aktivierungs-Analyse, PGNA, und/oder der Pulsed Fast Neutron Activation
- 15 Analysis, PFTNA, die Elementzusammensetzung des Materials zu ermitteln.

Mit der beschriebenen Vorrichtung kann die Gewinnung von Rohstoffen optimiert werden, indem die für die jeweiligen Rohstoffe erforderlichen Qualitätsmerkmale systematisch online erfasst werden, beispielsweise bei Erzen, Kohlen und Sedi-

20 menten. Weiterhin kann mit der beschriebenen Vorrichtung die Steuerung von mit Biomassen und Ersatzbrennstoffen gefeuerten Kraftwerken und Kesseln verbessert werden. Auch können beispielsweise Materialhalden, Bergbaubetriebe, Industriebetriebe, Umschlagplätze, Logistikbetriebe, Entsorgungsbetriebe, Baubetriebe insbesondere zum Rückbau, der Straßenbau insbesondere unter Verwen-

25 dung von Fräsen und Verwertungsbetriebe mit der beschriebenen Vorrichtung systematisch bewirtschaftet werden. Die beschriebene Vorrichtung kann weiterhin in der Zementindustrie zur bedarfsgerechten Dosierung von Einsatzkomponenten eingesetzt werden. Auch kann mittels der beschriebenen Vorrichtung eine Online-

Charakterisierung und/oder Qualitätssicherung verschiedenster Materialien erfolgen.

Die beschriebene Vorrichtung wird vorzugsweise bei der industriellen Verarbeitung von Materialien eingesetzt. Beispiele solcher Materialien sind feste fossile Brennstoffe wie Braunkohle oder Steinkohle, Biomassen, Ersatzbrennstoffe wie Bagasse, Altholz oder Kunststoff, Rohstoffe wie Erze, Gesteine, Sedimente, Böden oder Pigmente, Reststoffe und Recyclingprodukte wie Aschen, Schlacken, Müll, Klärschlamm, Elektroschrott oder Bauschutt, Asphaltschutt, Wertstoffe wie Metalle oder Werkstoffe.

Die Vorrichtung umfasst den Sammelbehälter für das Material. Unter einem Sammelbehälter ist in diesem Zusammenhang ein Behälter zu verstehen, in den, durch den und/oder aus dem Material gefördert werden kann. Das Material ist vorzugsweise ein Feststoff. Beispielsweise kann das Material im Laufe eines industriellen Prozesses in den, durch den und/oder aus dem Sammelbehälter gefördert werden. Auch kann das Material beispielsweise Bauschutt oder Biomasse sein. Der Sammelbehälter kann dazu dienen, das Material aufzunehmen und/oder bereitzustellen. Es ist auch möglich, dass das Material in dem Sammelbehälter behandelt oder bearbeitet wird. Der Sammelbehälter kann abgeschlossen oder offen ausgebildet sein. Ein offen ausgestalteter Sammelbehälter kann insbesondere dazu eingerichtet sein, von dem Material durchströmt zu werden. Beispiele für einen Sammelbehälter sind ein Silo, Trichter, ein Brecher, eine Dosiereinrichtung, eine Siebanlage oder Kombinationen aus den genannten Elementen.

25

Mit der beschriebenen Vorrichtung kann die Elementzusammensetzung des Materials ermittelt werden. Damit ist die Verteilung der chemischen Elemente in dem Material gemeint. Auf den chemischen Bindungszustand der Elemente kommt es dabei nicht an. Die Elementzusammensetzung ist bei vielen Anwendungen ein

wichtiger Qualitätsparameter. Die Ermittlung der Elementzusammensetzung kann auch als Multielement-Analyse bezeichnet werden.

Die Elementzusammensetzung kann mit der beschriebenen Vorrichtung mittels
5 PGNAA und/oder PFTNA ermittelt werden. Bevorzugt ist die PGNAA. Bei beiden genannten Verfahren handelt es sich um Methoden zur Analyse unter Verwendung von Neutronen. Die Neutronen können ausgehend von der Neutronenquelle, beispielsweise einem geeigneten radioaktiven Material, in das Material ausgesendet werden. Entsprechend ist bevorzugt, dass die Neutronenquelle derart
10 angeordnet und ausgebildet ist, dass die Neutronen von der Neutronenquelle in das Material eingeleitet werden, wenn sich das Material in dem Sammelbehälter befindet.

Innerhalb des Materials kommt es zu einer Wechselwirkung zwischen den von der
15 Neutronenquelle ausgesendeten Neutronen und den Kernen der das Material bildenden Atome. Bei dieser Kernwechselwirkung wird Gammastrahlung erzeugt, die von dem Strahlungsdetektor detektiert werden kann. Der Strahlungsdetektor ist entsprechend vorzugsweise derart angeordnet und ausgebildet, dass mit dem Strahlungsdetektor die Strahlung erfasst werden kann, die von dem Material ausgesendet wird, wenn sich das Material in dem Sammelbehälter befindet und dort
20 mit Neutronen aus der Neutronenquelle beaufschlagt wird.

Vorzugsweise umfasst die Vorrichtung eine Mehrzahl von Strahlungsdetektoren und/oder eine Mehrzahl von Neutronenquellen. Insbesondere können eine Neutronenquelle und eine Mehrzahl von Strahlungsdetektoren verwendet werden. Insbesondere bei großen Materialdicken ist die Verwendung mehrerer Neutronenquellen bevorzugt, um einen Anregungsbereich im Material zu vergrößern.
25

Anhand der detektieren Strahlung kann auf die im Material befindlichen Atome geschlossen werden. Insoweit kann die Elementzusammensetzung des Materials ermittelt werden. Dazu dient die Auswerteeinheit.

- 5 Mittels PGNAA und/oder PFTNA kann insbesondere ein Kohlenstoffgehalt des Materials ermittelt werden. Aus diesem kann eine bei einer Verbrennung des Materials freigesetzte Menge CO_2 bestimmt werden. Bei verschiedensten Anwendungen, bei denen ein Material verbrannt wird, ist eine Vorhersage über den CO_2 -Ausstoß aufgrund der Verbrennung erforderlich. Das gilt insbesondere für Kraft-
- 10 werke, die entsprechenden gesetzlichen Vorschriften unterliegen. Der maximal mögliche CO_2 -Ausstoß kann unmittelbar aus der im Material enthaltenen Menge Kohlenstoff ermittelt werden, weil bei der Verbrennung eines Materials nicht mehr CO_2 -Moleküle gebildet werden können als C-Atome in dem Material vorhanden sind. Daher kann der Kohlenstoffanteil in dem Material mittels PGNAA
- 15 und/oder PFTNA ermittelt und daraus der zu erwartende CO_2 -Ausstoß durch Berechnung bestimmt werden.

- Mit der PGNAA und/oder der PFTNA integriert in oder an dem Sammelbehälter können unterschiedliche Materialien größeren Volumens hinsichtlich ihrer Ele-
- 20 mentzusammensetzung insbesondere während des Durchsatzes in den, durch den und/oder aus dem Sammelbehälter analysiert werden. Es ist auch möglich, die Analyse in einem statischen Zustand durchzuführen, in dem sich das Material nicht bewegt. Die bevorzugte Anordnung der Neutronenquelle und des Strahlungsdetektors in oder an dem Sammelbehälter variieren mit der Größe und der
- 25 Geometrie des Sammelbehälters sowie mit dem Volumen und den Eigenschaften des zu analysierenden Materials.

Bevorzugt umfasst die Vorrichtung weiterhin ein Förderband, mit dem das Material aus dem Sammelbehälter abtransportiert werden kann. In dem Fall ist es be-

vorzugt, dass an dem Förderband mindestens eine zusätzliche LIBS-Einrichtung und/oder mindestens eine zusätzliche Neutronenquelle und mindestens ein zusätzlicher Strahlendetektor vorgesehen ist, mit denen das auf dem Förderband geförderte Material mittels LIBS beziehungsweise PGNAA und/oder PFTNA analysiert werden kann. Die so gewonnenen Ergebnisse können mit den wie zuvor beschriebenen Ergebnissen verglichen und zu einem Gesamtergebnis zusammengeführt werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung sind die Neutronenquelle und/oder der Strahlungsdetektor in und/oder an einer Seitenwand des Sammelbehälters angeordnet.

Vorzugsweise sind sowohl die Neutronenquelle als auch der Strahlungsdetektor in und/oder an einer Seitenwand des Sammelbehälters angeordnet. Unter einer Seitenwand des Sammelbehälters ist insbesondere eine Wand zu verstehen, die bei Durchsatz des Materials in den, durch den und/oder aus dem Sammelbehälter seitlich des Materialstroms angeordnet ist und diesen insoweit begrenzt.

Die vorliegende Ausführungsform ist besonders für PGNAA geeignet. Die Anordnung der Neutronenquelle und/oder des Strahlungsdetektors gemäß der vorliegenden Ausführungsform ist besonders für asymmetrische Sammelbehälter geeignet. Nichtsdestotrotz kann die vorliegende Ausführungsform aber auch auf anders ausgestaltete Sammelbehälter angewendet werden. Das zu analysierende Material kann beispielsweise mit einem LKW angeliefert und über eine Schurre in einen Trichter als Sammelbehälter geschüttet werden. Die Ermittlung der Elementzusammensetzung erfolgt vorzugsweise während des Schüttens des Materials in den Trichter. Um gleichbleibende Materialdicken bei der Schüttung zu gewährleisten, weist der Trichter vorzugsweise Abstreifer auf.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung sind die Neutronenquelle und/oder der Strahlungsdetektor innerhalb des Sammelbehälters angeordnet.

- 5 Vorzugsweise sind sowohl die Neutronenquelle als auch der Strahlungsdetektor innerhalb des Sammelbehälters angeordnet. Unter einer Anordnung innerhalb des Sammelbehälters ist zu verstehen, dass sich die Neutronenquelle beziehungsweise der Strahlungsdetektor im Innern des Sammelbehälters befinden, sodass das zu analysierende Material um die Neutronenquelle beziehungsweise den Strah-
- 10 lungsdetektor herum strömen kann. Die Anordnung innerhalb des Sammelbehälters ist also insbesondere in Abgrenzung zu einer Anordnung in und/oder an einer Seitenwand des Sammelbehälters zu sehen.

- Die vorliegende Ausführungsform ist besonders für PGNAA geeignet. Die vorlie-
- 15 gende Ausführungsform wird bevorzugt bei symmetrischen Sammelbehältern angewendet, insbesondere bei großen symmetrischen Sammelbehältern. Durch die Anordnung der Neutronenquelle und/oder des Strahlungsdetektors innerhalb des Sammelbehälters kann besonders viel Material analysiert werden. So kann das Material insbesondere in der sogenannten 4π -Geometrie ringförmig von der Mitte
- 20 des Sammelbehälters aus analysiert werden.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung ist die Neutronenquelle innerhalb des Sammelbehälters und der Strahlungsdetektor in und/oder an einer Seitenwand des Sammelbehälters angeordnet.

25

Je nach zu analysierendem Material und je nach Größe des Sammelbehälters kann es vorteilhaft sein, die Neutronenquelle und den Strahlungsdetektor voneinander beabstandet anzuordnen. In der vorliegenden Ausführungsform ist die Neutronenquelle innerhalb des Sammelbehälters angeordnet und der Strahlungsdetektor in

der Seitenwand. Das kann die Konstruktion der beschriebenen Vorrichtung erleichtern, insbesondere wenn als Neutronenquelle eine radioaktive Substanz verwendet wird. Eine derartige Neutronenquelle muss nicht über Kabel mit Energie versorgt werden. Entsprechend ist es bevorzugt, dass die Neutronenquelle und
5 nicht etwa der Strahlungsdetektor im Inneren des Sammelbehälters angeordnet ist. Eine Anbindung des Strahlungsdetektors über Kabel ist an der Seitenwand mit geringerem Aufwand zu realisieren als im Innern des Sammelbehälters. Aus Strahlenschutzgründen kann es gleichwohl aber sinnvoll sein, eine Kabelverbindung auch zur Neutronenquelle vorzusehen, durch welche die Neutronenquelle
10 bei Nichtgebrauch in einen inaktiven Zustand gebracht werden kann, beispielsweise indem eine radioaktive Substanz in eine Abschirmung verfahren wird.

In einer anderen bevorzugten Ausführungsform ist der Strahlungsdetektor innerhalb des Sammelbehälters und die Neutronenquelle in und/oder an einer Seitenwand des Sammelbehälters angeordnet.
15

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung ist der Sammelbehälter ein Trichter.

20 Der Trichter hat einen Einlass und einen Auslass, wobei ein für das Material verfügbarer Querschnitt des Trichters an dessen Einlass größer als an dessen Auslass ist. Vom Einlass zum Auslass hin nimmt der Querschnitt vorzugsweise kontinuierlich ab. Bei dem Trichter handelt es sich vorzugsweise um einen solchen, der zur Verarbeitung industriellen Materials bestimmt und eingerichtet ist, insbesondere hinsichtlich der Dimension und des Materials des Trichters. Für den Trichter
25 sind alle Materialien geeignet, die für das von dem Trichter aufzunehmende Material resistent sind. So ist es insbesondere bevorzugt, dass der Trichter aus Stahl gefertigt ist.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung sind die Neutronenquelle und/oder der Strahlungsdetektor in einem kegelförmigen Abschnitt des Trichters angeordnet.

- 5 Der kegelförmige Abschnitt des Trichters schließt vorzugsweise unmittelbar an den Einlass des Trichters an. Durch eine Verjüngung des Durchmessers des Trichters im kegelförmigen Abschnitt wird erreicht, dass der Trichter am Auslass einen geringeren Durchmesser als am Einlass hat. Zwischen dem kegelförmigen Abschnitt und dem Auslass des Trichters weist der Trichter vorzugsweise ein Aus-
- 10 lassrohr mit im Wesentlichen konstantem Durchmesser, vorzugsweise konstantem Durchmesser, auf.

- Vorzugsweise sind sowohl die Neutronenquelle als auch der Strahlungsdetektor in dem kegelförmigen Abschnitt des Trichters angeordnet. Die vorliegende Ausführungsform ist besonders für PGNAA geeignet.
- 15

- Bevorzugt sind die Neutronenquelle und der Strahlungsdetektor in dieser Ausführungsform innerhalb des Trichters angeordnet. Das ist bevorzugt bei symmetrischen Sammelbehältern der Fall, insbesondere bei großen symmetrischen Sam-
- 20 melbehältern. Durch die Anordnung der Neutronenquelle und/oder des Strahlungsdetektors innerhalb des Sammelbehälters kann besonders viel Material analysiert werden. So kann das Material insbesondere in der sogenannten 4π -Geometrie ringförmig von der Mitte des Sammelbehälters aus analysiert werden.

- 25 Alternativ ist es in dieser Ausführungsform bevorzugt, dass die Neutronenquelle innerhalb des Trichters und der Strahlungsdetektor in und/oder an einer Seitenwand des Trichters angeordnet ist. Das kann wie zuvor beschrieben die Konstruktion der beschriebenen Vorrichtung erleichtern, insbesondere wenn als Neutronenquelle eine radioaktive Substanz verwendet wird. Der Grund für unterschiedli-

che Anordnungen von Strahlungsdetektor und Neutronenquelle liegt insbesondere in dem Funktionsprinzip von PGNAA beziehungsweise PFTNA. Die Neutronen dringen in das Material ein und wechselwirken mit den Kernen der Atome des Materials. Dabei entsteht Gammastrahlung. Die Gammastrahlung muss auf dem Weg zum Strahlungsdetektor das Material passieren und wird dabei teilweise durch das Material absorbiert. Je nach Anordnung des Strahlungsdetektors kann mithin mehr oder weniger der erzeugten Gammastrahlung detektiert werden. Bei einem langen Weg durch das Material und/oder bei einem für Gammastrahlung stark absorbierenden Material kann mit dem Strahlungsdetektor nur ein schwaches Messsignal aufgenommen werden.

Aus Strahlenschutzgründen kann es sinnvoll sein, dass die Neutronenquelle bei Nichtgebrauch in einen inaktiven Zustand gebracht werden kann, beispielsweise indem eine radioaktive Substanz in eine Abschirmung verfahren wird.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung sind die Neutronenquelle und/oder der Strahlungsdetektor an einem Auslassrohr des Trichters angeordnet.

Vorzugsweise sind sowohl die Neutronenquelle als auch der Strahlungsdetektor an dem Auslassrohr des Trichters angeordnet. Die vorliegende Ausführungsform ist besonders für PGNAA geeignet.

Bevorzugt sind die Neutronenquelle und der Strahlungsdetektor in dieser Ausführungsform innerhalb des Trichters angeordnet. Alternativ ist es in dieser Ausführungsform bevorzugt, dass die Neutronenquelle innerhalb des Trichters und der Strahlungsdetektor in und/oder an einer Seitenwand des Trichters angeordnet ist.

Alternativ ist es in dieser Ausführungsform bevorzugt, dass sowohl die Neutronenquelle als auch der Strahlungsdetektor in und/oder an einer Seitenwand des

Trichters angeordnet sind. Eine derartige Anordnung kann gewählt werden, wenn der verfügbare Platz für die Neutronenquelle, den Strahlungsdetektor und für gegebenenfalls erforderliche weitere Elektronik ausreicht. Die Multielementanalyse erfolgt in dieser Ausgestaltung bei gleichbleibender Geometrie des Trichters. Das ist hinsichtlich der Messgenauigkeit vorteilhaft. Die Analyse kann während eines Materialdurchsatzes in den, durch den und/oder aus dem Trichter oder statisch in einem gefüllten Zustand des Trichters erfolgen.

Vorzugsweise sind sowohl die Neutronenquelle als auch der Strahlungsdetektor unmittelbar am Auslass des Trichters angeordnet. Die Materialien, die üblicherweise in Trichtern gesammelt und optional zusätzlich darin gebrochen und/oder gesiebt werden, werden in der Regel über ein oder mehrere kleine Förderbänder abtransportiert. Mit der Positionierung der Neutronenquelle und des Strahlungsdetektors am Auslass des Trichters kann das Material kontinuierlich während des Durchsatzes durch den und/oder aus dem Trichter analysiert werden.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die Vorrichtung weiterhin ein zentral im Trichter angeordnetes Verteilelement auf, wobei die Vorrichtung derart ausgebildet ist, dass das Material beim Durchsatz in den, durch den und/oder aus dem Sammelbehälter durch das Verteilelement um die Neutronenquelle und/oder den Strahlungsdetektor herum verteilt wird.

Das Verteilelement ist vorzugsweise als Kegel ausgebildet. Insbesondere durch das Verteilelement kann in der sogenannten 4π -Geometrie gemessen werden. Dabei ist es bevorzugt, dass die Neutronenquelle und der Strahlungsdetektor innerhalb des Trichters angeordnet sind. Die Neutronenquelle und der Strahlungsdetektor können dabei im kegelförmigen Abschnitt des Trichters oder am Auslassrohr angeordnet sein.

Vorzugsweise ist die Neutronenquelle in dem, insbesondere als Kegel ausgeführten, Verteilelement angeordnet. In dem Fall ist es besonders bevorzugt, dass eine Mehrzahl von Strahlungsdetektoren an der Seitenwand des kegelförmigen Abschnitts des Trichters angeordnet ist. Das Material kann dann durch die Neutronenquelle kreisförmig von innen heraus angeregt werden und die Strahlung kann außen radial am Trichter gemessen werden. Damit kann einerseits eine besonders hohe Signalstärke bei der Strahlungsdetektion erhalten werden. Andererseits kann die Elementkonzentration durch die beschriebene Anordnung richtungsabhängig bestimmt werden.

10

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die Vorrichtung eine LIBS-Einrichtung auf zur Analyse einer Oberfläche des Materials mittels Laser induced Breakdown Spectroscopy, LIBS, wenn sich das Material im Sammelbehälter befindet.

15

Mittels LIBS kann die Elementzusammensetzung des Materials analysiert werden. Dazu wird eine Oberfläche des zu analysierenden Materials mit einem Laser abgetastet. Mit LIBS kann die Elementzusammensetzung nur an der Oberfläche des Materials ermittelt werden. Im Vergleich zu PGNAA und PFTNA ist LIBS aber genauer und sensitiver hinsichtlich der Bestimmung von Elementkonzentrationen. Demgegenüber sind PGNAA und PFTNA insbesondere hinsichtlich der Bestimmung einzelner Elemente und deren Nachweisgrenzen limitiert. Gleichwohl kann mittels PGNAA und/oder PFTNA die Materialzusammensetzung bis zu einer bestimmten Eindringtiefe auch innerhalb des Materials ermittelt werden, was insbesondere bei großen Probenvolumina von Vorteil ist.

25

Die Ergebnisse der PGNAA und/oder der PFTNA werden daher vorzugsweise als Grundlage für die Ermittlung der Elementzusammensetzung verwendet und mittels LIBS korrigiert. Alternativ ist es bevorzugt, die Ergebnisse der LIBS als

Grundlage für die Ermittlung der Elementzusammensetzung zu verwenden und mittels PGNAA und/oder PFTNA zu korrigieren. Damit kann insbesondere das analysierbare Elementspektrum erweitert werden und eine Messsignalausbeute erhöht werden. In dem Fall, dass die Ergebnisse der LIBS mittels PGNAA und/oder PFTNA korrigiert werden, kann die Repräsentativität der LIBS-Analyse erhöht werden, weil mittels PGNAA und/oder PFTNA ein größeres Probenvolumen analysiert werden kann als mit LIBS.

Mittels LIBS kann die Oberfläche des Materials während einer Schüttung oder am Auslass eines Trichters am Übergang zu einem Austragungs-Förderband analysiert werden. Auch kann die LIBS-Einrichtung an einem Teleskoparm montiert sein, so dass die Oberfläche des Materials je nach Stellung des Teleskoparms wahlweise während der Schüttung in den Trichter, während des Durchsatzes durch den Trichter und/oder am Auslass des Trichters analysiert werden kann.

15

Als ein weiterer Aspekt wird ein Verfahren zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials vorgestellt. Das Verfahren umfasst:

- a) Fördern des Materials in einen, durch einen und/oder aus einem Sammelbehälter,
- 20 b) Ermitteln der Elementzusammensetzung des gemäß Schritt a) geförderten Materials mittels Prompter-Gamma-Neutronen-Aktivierungs-Analyse, PGNAA, und/oder Pulsed Fast Neutron Activation Analysis, PFTNA.

Die beschriebenen besonderen Vorteile und Ausgestaltungsmerkmale der Vorrichtung zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials sind auf das beschriebene Verfahren zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials anwendbar und übertragbar, und umgekehrt. Insbesondere ist die beschriebene Vorrichtung vorzugsweise zur Durchführung des beschriebenen Ver-

fahrens eingerichtet. Insbesondere wird das beschriebene Verfahren vorzugsweise mit der beschriebenen Vorrichtung ausgeführt.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens erfolgt die Analyse in
5 Schritt b) berührungslos während des Förderns gemäß Schritt a).

Durch die berührungslose Analyse mittels PGNAA und/oder PFTNA erfolgt durch das beschriebene Verfahren kein störender Eingriff in den übrigen Betriebsablauf. Insbesondere ist das beschriebene Verfahren zerstörungsfrei. Schritt b)
10 erfolgt vorzugsweise im Vollstrom. Das bedeutet, dass das gesamte geförderte Material analysiert wird. Insbesondere werden nicht bloß ein Teilstrom oder eine entnommene Probe analysiert. Durch die Analyse im Vollstrom können insbesondere alle Probleme umgangen werden, die bei einer Analyse eines Teilstroms oder einer Probe entstehen, insbesondere hinsichtlich mangelnder Repräsentativität.
15

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird in Schritt b) weiterhin eine Analyse einer Oberfläche des Materials mittels Laser induced Breakdown Spectroscopy, LIBS, durchgeführt, wobei die dabei gewonnenen Ergebnisse bei der Ermittlung der Elementzusammensetzung des Materials
20 berücksichtigt werden.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird in Schritt b) weiterhin eine Feuchtigkeit des Materials ermittelt und bei der Ermittlung der Elementzusammensetzung des Materials berücksichtigt.
25

Der Wassergehalt im Material kann einen Einfluss auf den Neutronenfluss durch das Material haben. Durch Kenntnis der Feuchtigkeit des Materials kann daher die Genauigkeit der PGNAA und/oder der PFTNA verbessert werden. Die Feuchtigkeit des Materials kann beispielsweise mittels Mikrowellentechnik, Nah-Infrarot-

Technik, Gammarückstreuung, Messung des kapazitiven Widerstands, oder durch Terra-Hz-Messtechnik ermittelt werden.

5 Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird das Material in Schritt a) in einen, durch einen und/oder aus einem an einem Fahrzeug montierten als Trichter ausgebildeten Sammelbehälter gefördert.

10 Dass der Trichter als „an“ einem Fahrzeug montiert beschrieben ist, schränkt die Art und Position der Anordnung des Trichters an dem Fahrzeug nicht ein. So ist von dem Begriff „an“ insbesondere umfasst, dass der Trichter auf, unter, in, vorne an, hinten an oder seitlich an dem Fahrzeug befestigt ist.

15 In der vorliegenden Ausführungsform kann das Material besonders effizient analysiert werden, insbesondere wenn ein autonom fahrendes Fahrzeug verwendet wird. Wird beispielsweise Material durch eine Straßenbaufräse oder mittels eines Surface-Miners aufgenommen, kann es mit einem parallel mitgefahrenen Trichter aufgenommen und optional über ein Austragsband direkt in einen mitfahrenden LKW geladen werden. Das Material kann dabei in Echtzeit hinsichtlich der Elementzusammensetzung charakterisiert werden.

20

Als ein weiterer Aspekt wird ein weiteres Verfahren zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials vorgestellt. Das Verfahren umfasst:

- 25 A) Fördern des Materials in einen, durch einen und/oder aus einem Sammelbehälter,
- B) Abzweigen eines Teils des gemäß Schritt A) geförderten Materials,
- C) Ermitteln der Elementzusammensetzung des Materials durch Analyse des gemäß Schritt B) abgezweigten Teils des Materials mittels Laser induced Breakdown Spectroscopy, LIBS.

Die beschriebenen besonderen Vorteile und Ausstattungsmerkmale der Vorrichtung und des zuvor beschriebenen Verfahrens zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials sind auf das vorliegend beschriebene Verfahren zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials anwendbar und
5 übertragbar, und umgekehrt.

Mittels LIBS kann die Elementzusammensetzung des Materials besonders genau ermittelt werden. LIBS ist für besonders viele verschiedene Elemente sensitiv. Allerdings kann mittels LIBS nur die Oberfläche des zu analysierenden Materials
10 analysiert werden. Dieser Nachteil wird bei dem vorliegenden Verfahren dadurch ausgeglichen, dass nicht der Vollstrom des zu analysierenden Materials analysiert wird, sondern nur ein davon abgezwiegtter homogenisierter Teil. Dieser Teil wird in Schritt B) abgezwiegt. Dazu kann eine Probe aus dem Vollstrom entnommen werden oder es kann ein Teilstrom gebildet werden. Das erfolgt vorzugsweise,
15 ohne das Fördern des Materials gemäß Schritt A) zu unterbrechen. Vorzugsweise wird die gemäß Schritt B) abgezwiegte Menge des zu untersuchenden Materials in Schritt B) und vor Schritt C) aufbereitet. Das kann insbesondere ein Homogenisieren des Materials umfassen, insbesondere im Falle einer Probenentnahme. In Schritt C) wird das Material analysiert, wobei durch die vorherige Abzweigung
20 nur eines Teils des Vollstroms der Nachteil zumindest teilweise ausgeglichen werden kann, dass mittels LIBS nur eine Oberflächenanalyse möglich ist. So kann das Material zum Zwecke der Analyse ausgebreitet werden, so dass eine besonders große Oberfläche mittels LIBS zugänglich ist.

25 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird in Schritt C) ein Kohlenstoff-Gehalt des Materials bestimmt, wobei aus dem bestimmten Kohlenstoff-Gehalt eine bei Verbrennung des Materials freigesetzte Menge CO₂ bestimmt wird.

Bei verschiedensten Anwendungen, bei denen ein Material verbrannt wird, ist eine Vorhersage über den CO₂-Ausstoß aufgrund der Verbrennung erforderlich. Das gilt insbesondere für Kraftwerke, die entsprechenden gesetzlichen Vorschriften unterliegen. Der maximal mögliche CO₂-Ausstoß kann unmittelbar aus der im

5 Material enthaltenen Menge Kohlenstoff ermittelt werden, weil bei der Verbrennung eines Materials nicht mehr CO₂-Moleküle gebildet werden können als C-Atome in dem Material vorhanden sind. Daher kann gemäß der vorliegenden Ausführungsform der Kohlenstoffanteil in dem Material ermittelt und daraus der zu erwartende CO₂-Ausstoß durch Berechnung bestimmt werden.

10

Insbesondere in der vorliegenden Ausführungsform ist es bevorzugt, dass das Abzweigen gemäß Schritt B) durch eine insbesondere DIN-konforme Probenentnahme erfolgt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird in

15 Schritt C) weiterhin mindestens eine der folgenden Analysen durchgeführt:

- eine radiometrische Ascheanalyse,
- eine Infrarot-Spektroskopie, IR, insbesondere eine Nah-Infrarot-Spektroskopie, NIR,
- eine Radarmessung,
- 20 - eine Volumenstrommessung,
- eine Ultraschallmessung,
- eine optische Analyse,
- eine Analyse mittels Gammastrahlenrückstreuung und -absorption,
- eine Röntgen-Fluoreszenz-Analyse, RFA,
- 25 - eine Massebestimmung.

Diese Ausführungsform ist eine bevorzugte Ausführungsform für beide beschriebenen Verfahren zum Ermitteln der Elementzusammensetzung des Materials.

- Durch die Verknüpfung mit radiometrischen Ascheanalysatoren können ausgewählte Komponenten separat erfasst und zur Erhöhung der Messgenauigkeit beitragen. Durch die Verknüpfung mit IR, insbesondere NIR, können ausgewählte Komponenten separat erfasst werden und ebenfalls zur Erhöhung der Messgenauigkeit beitragen. Durch die Verknüpfung mit RFA können Elemente, die mittels RFA präziser erkannt werden können, separat erfasst werden. Insbesondere durch Korrelation mit den übrigen Messergebnissen kann dies ebenfalls zur Erhöhung der Messgenauigkeit beitragen. Durch Verknüpfung mit Radarmessungen kann das Volumen des Materials bestimmt werden. Vorzugsweise wird mittels einer
- 5 Waage zudem die Masse des Materials gemessen, so dass aus Volumen und Masse des Materials eine Schüttdichte des Materials bestimmt werden kann. Als optische Analyse kommt insbesondere eine Erfassung des Materials mittels einer Kamera in Betracht.
- 10
- 15 Weiterhin kann bei dem Verfahren mittels GPS und/oder über das 5G-Mobilfunknetz eine Position der Messung bestimmt werden. Das 5G-Mobilfunknetz eignet sich insbesondere im Zusammenhang mit einem autonomen fahrenden Fahrzeug. Sofern mehrere Analysen an verschiedenen Orten durchgeführt werden, können die einzelnen Messergebnisse ortsabhängig ausgewertet
- 20 werden.

Als ein weiterer Aspekt wird eine Vorrichtung zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials vorgestellt. Die Vorrichtung umfasst:

- einen Sammelbehälter für das Material,
- eine Abzweigeeinrichtung zum Abzweigen eines Teils von in den, durch den
5 und/oder aus dem Sammelbehälter geförderten Materials,
- eine LIBS-Einrichtung zur Analyse einer Oberfläche von mit der Abzweigeeinrichtung abgezweigtem Material mittels Laser induced Breakdown Spectroscopy, LIBS.

- 10 Die beschriebenen besonderen Vorteile und Ausgestaltungsmerkmale der weiter oben beschriebenen Vorrichtung zum Ermitteln der Elementzusammensetzung des Materials und der beiden beschriebenen Verfahren zum Ermitteln der Elementzusammensetzung des Materials sind auf die vorliegend beschriebene Vorrichtung zum Ermitteln der Elementzusammensetzung des Materials anwendbar
15 und übertragbar, und umgekehrt. Insbesondere ist die vorliegend beschriebene Vorrichtung vorzugsweise zur Durchführung des zweiten der zuvor beschriebenen Verfahren eingerichtet. Insbesondere wird das zweite der zuvor beschriebenen Verfahren vorzugsweise mit der vorliegend beschriebenen Vorrichtung ausgeführt.

20

Die Erfindung sowie das technische Umfeld werden nachfolgend anhand der Figuren näher erläutert. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Erfindung durch die gezeigten Ausführungsbeispiele nicht beschränkt werden soll. Insbesondere ist es, soweit nicht explizit anders dargestellt, auch möglich, Teilaspekte der in den Fi-
25 guren erläuterten Sachverhalte zu extrahieren und mit anderen Bestandteilen und Erkenntnissen aus der vorliegenden Beschreibung und/oder Figuren zu kombinieren. Insbesondere ist darauf hinzuweisen, dass die Figuren und insbesondere die dargestellten Größenverhältnisse nur schematisch sind. Gleiche Bezugszeichen

bezeichnen gleiche Gegenstände, so dass ggf. Erläuterungen aus anderen Figuren ergänzend herangezogen werden können. Es zeigen:

5 Fig. 1: einen schematischen Ablauf eines ersten erfindungsgemäßen Verfahrens zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials,

Fig. 2: eine schematische Seitenansicht einer ersten erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials gemäß dem Verfahren aus Fig. 1,

10

Fig. 3: eine schematische Seitenansicht einer zweiten erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials gemäß dem Verfahren aus Fig. 1,

15 Fig. 4: eine schematische Seitenansicht einer dritten erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials gemäß dem Verfahren aus Fig. 1,

20 Fig. 5: einen schematischen Ablauf eines zweiten erfindungsgemäßen Verfahrens zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials, und

25 Fig. 6: eine schematische Seitenansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials gemäß dem Verfahren aus Fig. 5.

Fig. 1 zeigt einen schematischen Ablauf eines ersten Verfahrens zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials 2. Die verwendeten Bezugszeichen beziehen sich auf die Fig. 2 bis 4. Das Verfahren umfasst:

- a) Fördern des Materials 2 in einen, durch einen und/oder aus einem Sammelbehälter 3, der als ein an einem Fahrzeug montierter Trichter 8 ausgebildet sein kann,
- b) Ermitteln der Elementzusammensetzung des gemäß Schritt a) geförderten Materials 2 mittels Prompter-Gamma-Neutronen-Aktivierungs-Analyse, PGNA, und/oder Pulsed Fast Neutron Activation Analysis, PFTNA, wobei diese vorzugsweise berührungslos während des Förderns gemäß Schritt a) erfolgt. Dabei wird vorzugsweise weiterhin eine Analyse einer Oberfläche des Materials 2 mittels Laser induced Breakdown Spectroscopy, LIBS, durchgeführt, wobei die dabei gewonnenen Ergebnisse bei der Ermittlung der Elementzusammensetzung des Materials 2 berücksichtigt werden. Auch wird vorzugsweise weiterhin eine Feuchtigkeit des Materials 2 ermittelt und bei der Ermittlung der Elementzusammensetzung des Materials 2 berücksichtigt.

Fig. 2 zeigt eine Vorrichtung 1 zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials 2. Die Vorrichtung 1 kann insbesondere zur Durchführung des Verfahrens aus Fig. 1 eingesetzt werden. Die Vorrichtung 1 umfasst einen als Trichter 8 ausgebildeten Sammelbehälter 3 für das Material 2. Weiterhin umfasst die Vorrichtung 1 zwei Neutronenquellen 4, die in beziehungsweise an dem Sammelbehälter 3 angeordnet sind und die dazu eingerichtet sind, Neutronen in den Sammelbehälter 3 einzuleiten. Die obere der beiden Neutronenquellen 4 ist innerhalb des Trichters 8 angeordnet, die untere der beiden Neutronenquellen 4 in und/oder an einer Seitenwand 7 des Trichters 8. Zudem umfasst die Vorrichtung 1 zwei an dem Sammelbehälter 3 angeordnete Strahlungsdetektoren 5 zum Detektieren von Strahlung, die im Sammelbehälter 3 durch in das Material 2 eingeleitete Neutronen erzeugt wird. Beide Detektoren 5 sind in der Seitenwand 7 des

Trichters angeordnet. Die Strahlungsdetektoren 5 sind an eine Auswerteeinheit 6 angeschlossen, die dazu eingerichtet ist, aus der von den Strahlungsdetektoren 5 detektierten Strahlung nach Art der Prompten-Gamma-Neutronen-Aktivierungs-Analyse, PGNAA, und/oder der Pulsed Fast Neutron Activation Analysis, PFTNA, die Elementzusammensetzung des Materials 2 zu ermitteln.

Der Trichter 8 weist einen kegelförmigen Abschnitt 9 und ein Auslassrohr 10 auf. Der kegelförmige Abschnitt 9 ist an einen Einlass 13 des Trichters 8 anschließend angeordnet. Das Auslassrohr 10 ist an einen Auslass 14 des Trichters 8 anschließend angeordnet.

Die obere der beiden Neutronenquellen 4 und der obere der beiden Strahlungsdetektoren 5 sind in dem kegelförmigen Abschnitt 9 des Trichters 8 angeordnet. Die untere der beiden Neutronenquellen 4 und der untere der beiden Strahlungsdetektoren 5 sind an dem Auslassrohr 10 des Trichters 8 angeordnet.

Weiterhin weist der Trichter 8 ein kegelförmig ausgebildetes, zentral im Trichter 8 angeordnetes Verteilelement 11 auf. Die Vorrichtung 1 ist derart ausgebildet, dass das Material 2 beim Durchsatz in den, durch den und/oder aus dem Trichter 8 durch das Verteilelement 11 um die obere der beiden Neutronenquellen 4 herum verteilt wird.

Weiterhin weist die Vorrichtung 1 eine LIBS-Einrichtung 12 auf zur Analyse einer Oberfläche des Materials 2 mittels Laser induced Breakdown Spectroscopy, LIBS, wenn sich das Material im Trichter 8 befindet. Die LIBS-Einrichtung 12 ist ebenfalls an die Auswerteeinheit 6 angebunden. Über einen Teleskoparm 17 der Vorrichtung 1 kann die LIBS-Einrichtung 12 bewegt werden.

Fig. 3 zeigt eine weitere Vorrichtung 1 zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials 2. Die Vorrichtung 1 aus Fig. 3 unterscheidet sich von der Vorrichtung 1 aus Fig. 2 lediglich dadurch, dass gemäß Fig. 3 die Neutronenquelle 4 nicht neben, sondern in dem Verteilelement 11 angeordnet ist.

5

Fig. 4 zeigt eine weitere Vorrichtung 1 zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials 2. Die Vorrichtung 1 umfasst einen als Trichter 8 ausgebildeten Sammelbehälter 3 für ein Material 2. Das aus dem Trichter 8 austretende Material 2 kann über ein Förderband 18 der Vorrichtung 1 abtransportiert werden.

- 10 Die Vorrichtung 1 umfasst zwei LIBS-Einrichtungen 12 und drei Neutronenquellen 4 und drei Strahlungsdetektoren 5 zur PGNAA. Aus den Ergebnissen der LIBS und der PGNAA, die jeweils als ein Messsignal angedeutet sind, kann die Elementzusammensetzung des Material 2 ermittelt werden. Das ist über Pfeile dadurch angedeutet, dass die einzelnen Messsignale zu einem Ergebnis zusammengefasst werden.
- 15

Fig. 5 zeigt einen schematischen Ablauf eines zweiten Verfahrens zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials 2. Die Bezugszeichen beziehen sich auf Fig. 6. Das Verfahren umfasst:

- 20 A) Fördern des Materials 2 in einen, durch einen und/oder aus einem Sammelbehälter 3,
- B) Abzweigen eines Teils des gemäß Schritt A) geförderten Materials 2,
- C) Ermitteln der Elementzusammensetzung des Materials 2 durch Analyse des gemäß Schritt B) abgezweigten Teil des Materials 2 mittels Laser induced Breakdown Spectroscopy, LIBS, wobei ein Kohlenstoff-Gehalt des Materials
- 25 2 bestimmt werden kann, und wobei aus dem bestimmten Kohlenstoff-Gehalt eine bei Verbrennung des Materials 2 freigesetzte Menge CO₂ bestimmt werden kann.

Fig. 6 zeigt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung 15 zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials 2. Die Vorrichtung 15 kann insbesondere zur Durchführung des Verfahrens aus Fig. 5 eingesetzt werden. Die Vorrichtung 15 umfasst einen Trichter 8 als einen Sammelbehälter 3 für das Material 2. Der Trichter 8 umfasst wie auch bei Fig. 2 und 3 einen Einlass 13, einen Auslass 14, einen kegelförmigen Abschnitt 9 und ein Auslassrohr 10. Weiterhin umfasst die Vorrichtung 15 eine Abzweigeeinrichtung 16 zum Abzweigen eines Teils von in den, durch den und/oder aus dem Sammelbehälter 3 geförderten Materials sowie eine LIBS-Einrichtung 12 zur Analyse einer Oberfläche von mit der Abzweigeeinrichtung 16 abgezweigtem Material 2 mittels Laser induced Break-down Spectroscopy, LIBS. Die LIBS-Einrichtung 12 ist an eine Auswerteeinheit 6 angebunden.

Mit den beschriebenen Vorrichtungen 1, 15 und Verfahren kann die Elementzusammensetzung in einem Material 2 mit einer besonders hohen Messgenauigkeit ermittelt werden, in dem PGNAA, PFTNA und/oder LIBS auf ein Material 2 in einem Sammelbehälter 3 angewendet wird.

Bezugszeichenliste

	1	Vorrichtung
	2	Material
5	3	Sammelbehälter
	4	Neutronenquelle
	5	Strahlungsdetektor
	6	Auswerteeinheit
	7	Seitenwand
10	8	Trichter
	9	kegelförmiger Abschnitt
	10	Auslassrohr
	11	Verteilelement
	12	LIBS-Einrichtung
15	13	Einlass
	14	Auslass
	15	Vorrichtung
	16	Abzweigeinrichtung
	17	Teleskoparm
20	18	Förderband

Ansprüche

1. Vorrichtung (1) zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials (2), umfassend:
 - 5 - einen Sammelbehälter (3) für das Material (2),
 - eine in oder an dem Sammelbehälter (3) angeordnete Neutronenquelle (4), die dazu eingerichtet ist, Neutronen in den Sammelbehälter (3) einzuleiten,
 - einen in oder an dem Sammelbehälter (3) angeordneten Strahlungsdetektor (5) zum Detektieren von Strahlung, die im Sammelbehälter (3) durch in
10 das Material (2) eingeleitete Neutronen erzeugt wird, und
 - eine Auswerteeinheit (6), die dazu eingerichtet ist, aus der vom Strahlungsdetektor (5) detektierten Strahlung nach Art der Prompten-Gamma-Neutronen-Aktivierungs-Analyse, PGNA, und/oder der Pulsed Fast Neutron Activation Analysis, PFTNA, die Elementzusammensetzung des
15 Materials (2) zu ermitteln.
2. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, wobei die Neutronenquelle (4) und/oder der Strahlungsdetektor (5) in und/oder an einer Seitenwand (7) des Sammelbehälters (3) angeordnet sind.
20
3. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, wobei die Neutronenquelle (4) und/oder der Strahlungsdetektor (5) innerhalb des Sammelbehälters (3) angeordnet sind.
- 25 4. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, wobei die Neutronenquelle (4) innerhalb des Sammelbehälters (3) und der Strahlungsdetektor (5) in und/oder an einer Seitenwand (7) des Sammelbehälters (3) angeordnet ist.

5. Vorrichtung (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Sammelbehälter (3) ein Trichter (8) ist.
6. Vorrichtung (1) nach Anspruch 5, wobei die Neutronenquelle (4) und/oder der Strahlungsdetektor (5) in einem kegelförmigen Abschnitt (9) des Trichters (8) angeordnet sind.
7. Vorrichtung (1) nach Anspruch 5, wobei die Neutronenquelle (4) und/oder der Strahlungsdetektor (5) an einem Auslassrohr (10) des Trichters (8) angeordnet sind.
8. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 5 bis 7, weiterhin aufweisend ein zentral im Trichter (8) angeordnetes Verteilelement (11), wobei die Vorrichtung (1) derart ausgebildet ist, dass das Material (2) beim Durchsatz in den, durch den und/oder aus dem Sammelbehälter (3) durch das Verteilelement (11) um die Neutronenquelle (4) und/oder den Strahlungsdetektor (5) herum verteilt wird.
9. Vorrichtung (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, weiterhin aufweisend eine LIBS-Einrichtung (12) zur Analyse einer Oberfläche des Materials (2) mittels Laser induced Breakdown Spectroscopy, LIBS, wenn sich das Material (2) im Sammelbehälter (3) befindet.

10. Verfahren zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials (2), umfassend:
- a) Fördern des Materials (2) in einen, durch einen und/oder aus einem Sammelbehälter (3),
 - 5 b) Ermitteln der Elementzusammensetzung des gemäß Schritt a) geförderten Materials (2) mittels Prompter-Gamma-Neutronen-Aktivierungs-Analyse, PGNAA, und/oder Pulsed Fast Neutron Activation Analysis, PFTNA.
- 10 11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die Analyse in Schritt b) berührungslos während des Förderns gemäß Schritt a) erfolgt.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 oder 11, wobei in Schritt b) weiterhin eine Analyse einer Oberfläche des Materials (2) mittels Laser induced
15 Breakdown Spectroscopy, LIBS, durchgeführt wird, und wobei die dabei gewonnenen Ergebnisse bei der Ermittlung der Elementzusammensetzung des Materials (2) berücksichtigt werden.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei in Schritt b) weiterhin
20 eine Feuchtigkeit des Materials (2) ermittelt und bei der Ermittlung der Elementzusammensetzung des Materials (2) berücksichtigt wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei das Material (2) in Schritt a) in einen, durch einen und/oder aus einem an einem Fahrzeug montierten als Trichter (8) ausgebildeten Sammelbehälter (3) gefördert wird.
25

15. Verfahren zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials (2), umfassend:
- A) Fördern des Materials (2) in einen, durch einen und/oder aus einem Sammelbehälter (3),
 - 5 B) Abzweigen eines Teils des gemäß Schritt A) geförderten Materials (2),
 - C) Ermitteln der Elementzusammensetzung des Materials (2) durch Analyse des gemäß Schritt B) abgezweigten Teils des Materials mittels Laser induced Breakdown Spectroscopy, LIBS.
- 10 16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei in Schritt C) ein Kohlenstoff-Gehalt des Materials (2) bestimmt wird, und wobei aus dem bestimmten Kohlenstoff-Gehalt eine bei Verbrennung des Materials (2) freigesetzte Menge CO₂ bestimmt wird.
- 15 17. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 16, wobei in Schritt C) weiterhin mindestens eine der folgenden Analysen durchgeführt wird:
- eine radiometrische Ascheanalyse,
 - eine Infrarot-Spektroskopie,
 - eine Radarmessung,
 - 20 - eine Volumenstrommessung,
 - eine Ultraschallmessung,
 - eine optische Analyse,
 - eine Analyse mittels Gammastrahlenrückstreuung und -absorption,
 - eine Röntgen-Fluoreszenz-Analyse.
 - 25 - eine Massebestimmung

18. Vorrichtung (15) zum Ermitteln einer Elementzusammensetzung eines Materials (2), umfassend:

- einen Sammelbehälter (3) für das Material (2),
- eine Abzweigeeinrichtung (16) zum Abzweigen eines Teils von in den, 5 durch den und/oder aus dem Sammelbehälter (3) geförderten Materials,
- eine LIBS-Einrichtung (12) zur Analyse einer Oberfläche von mit der Abzweigeeinrichtung (16) abgezweigtem Material (2) mittels Laser induced Breakdown Spectroscopy, LIBS.

10

1/4

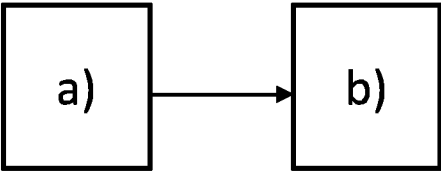


Fig. 1

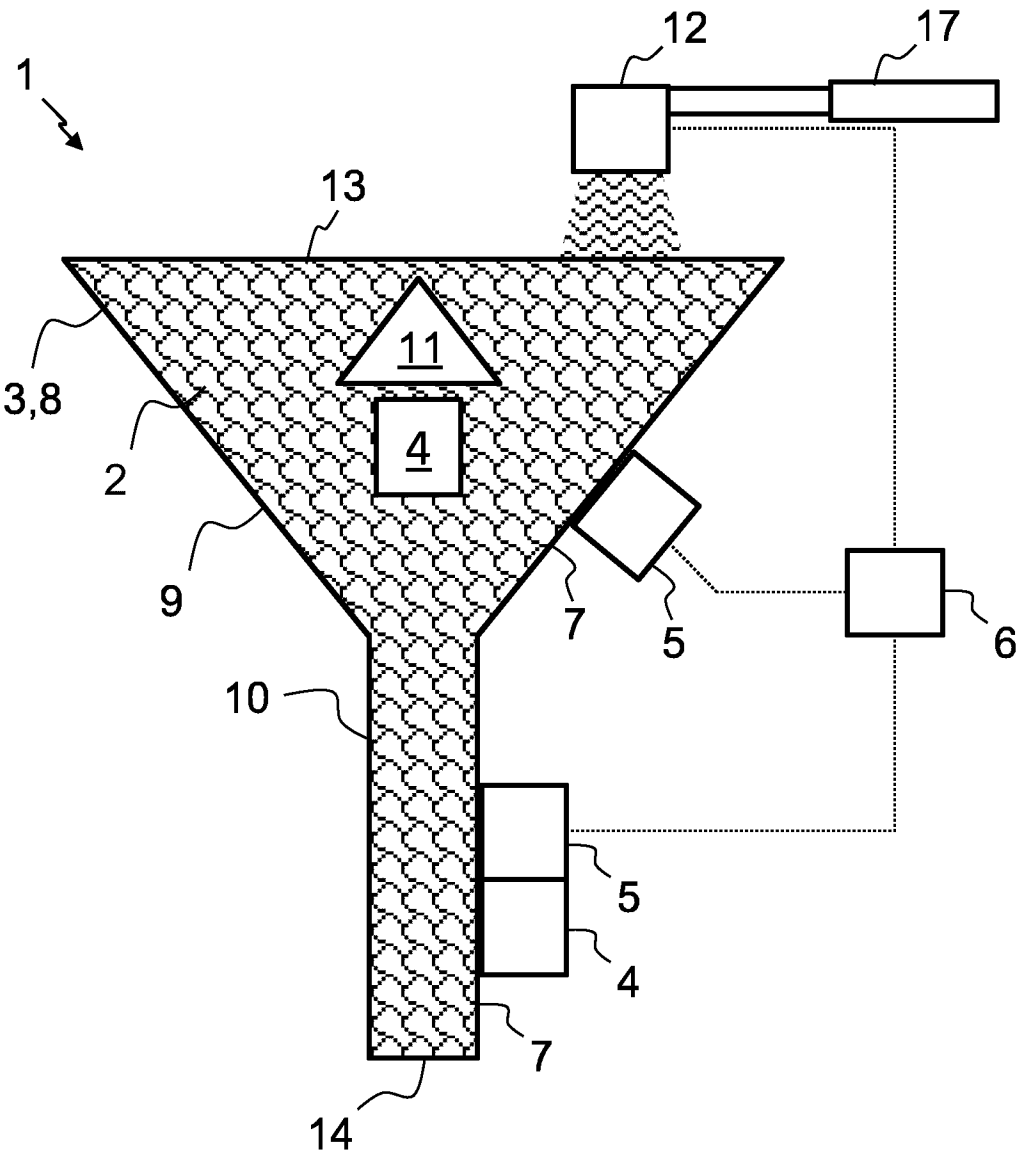


Fig. 2

2/4

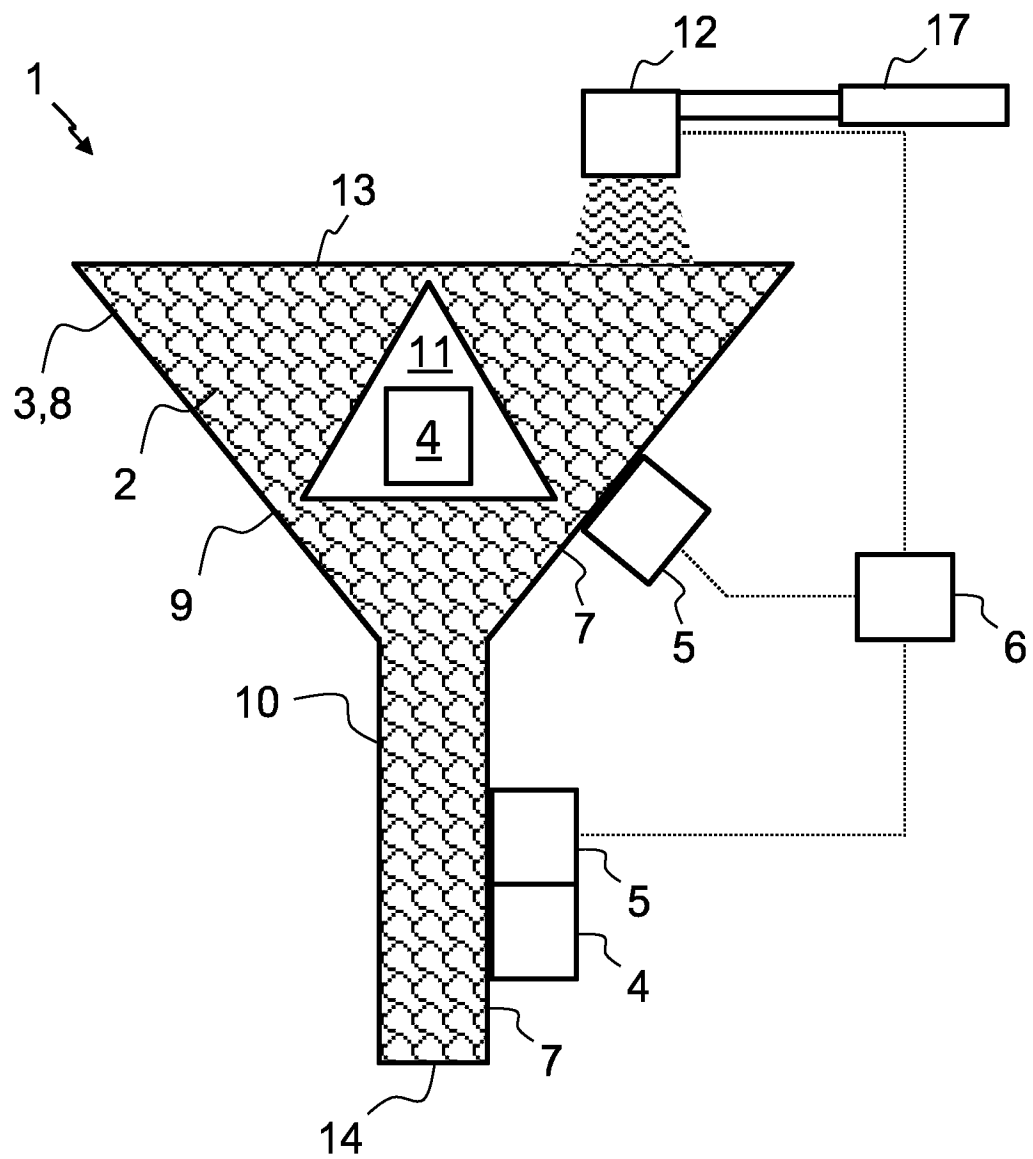


Fig. 3

3/4

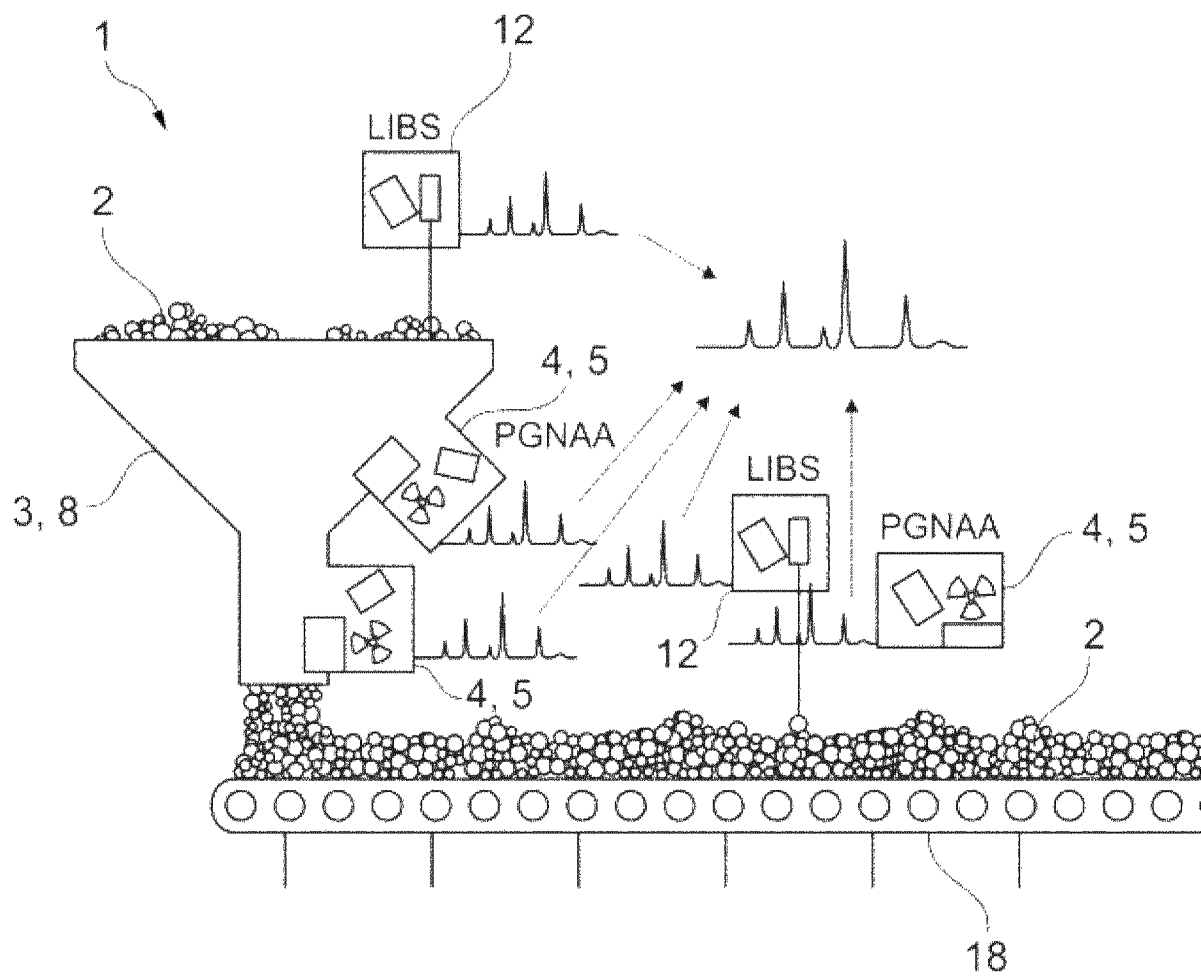
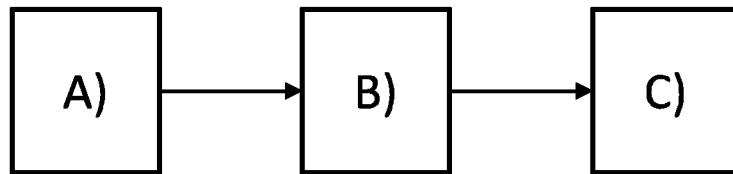
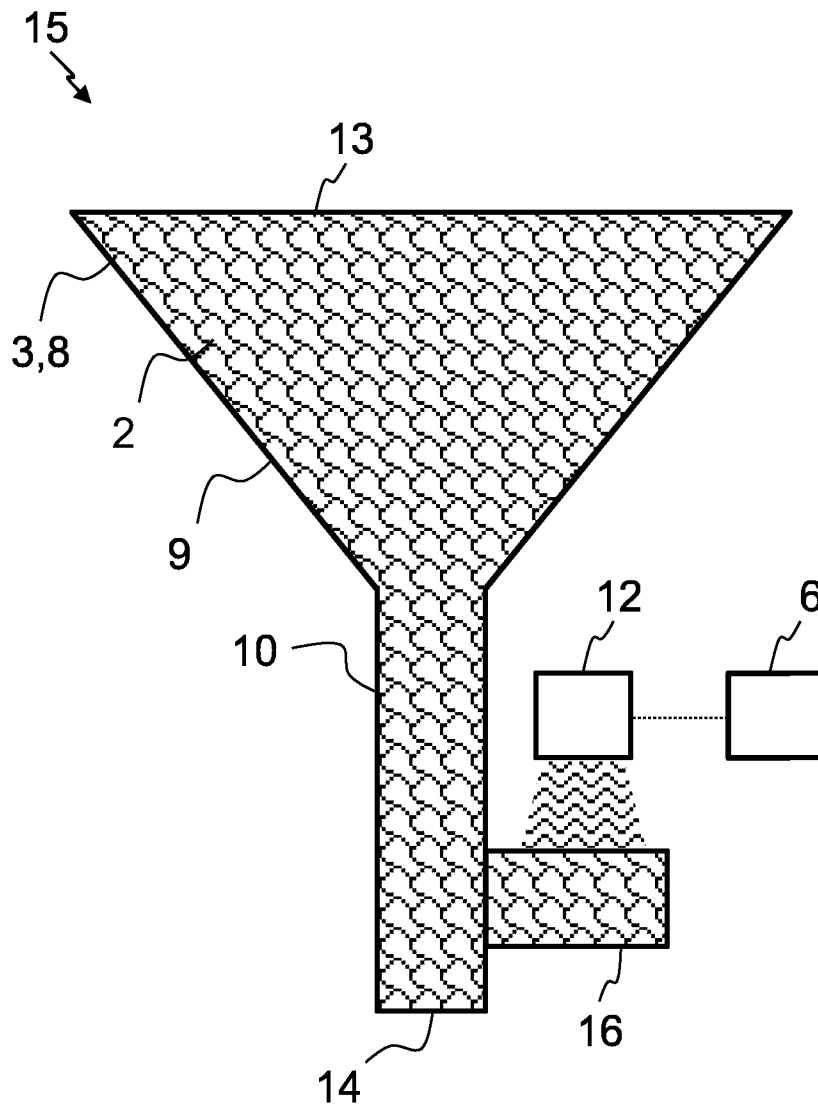


Fig. 4

4/4

**Fig. 5****Fig. 6**