

(12)

Patentschrift

(21)

Anmeldenummer:

A 453/2017

(22)

Anmeldetag:

17.11.2017

(45)

Veröffentlicht am:

15.01.2021

(51)

Int. Cl.:

C12P 5/02 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen: CN 102876727 A CN 102154108 A CN 105581021 A JP 2007098229 A FR 2305113 A1 RU 2612911 C1	(73) Patentinhaber: Stimpfl Georg 9500 Villach (AT) Lathan Philippe 98547 Viernau (DE) (74) Vertreter: Haffner und Keschmann Patentanwälte GmbH 1010 Wien (AT)
--	--

(54)

Verfahren zur Verwertung von Biomasse

(57)

Bei einem Verfahren zur Verwertung von zellulosehaltiger Biomasse, wie z.B. Hackschnitzel, Strauchschnitzel, Seetang oder Bambus, umfassend das Aufschließen der zellulosehaltigen Biomasse in wenigstens einem Reaktor, wobei zum Aufschluss der Biomasse eingesetzte Enzyme und/oder chemische Verbindungen durch aerobe Mikroorganismen in dem wenigstens einen Reaktor in situ mikrobiologisch hergestellt werden, wird die Biomasse vor dem mikrobiologischen Aufschluss einer thermischen Vorbehandlung (1) unterworfen und die Temperatur in der thermischen Vorbehandlung (1) wird zwischen 60°C und 100°C, insbesondere auf 80°C gehalten.

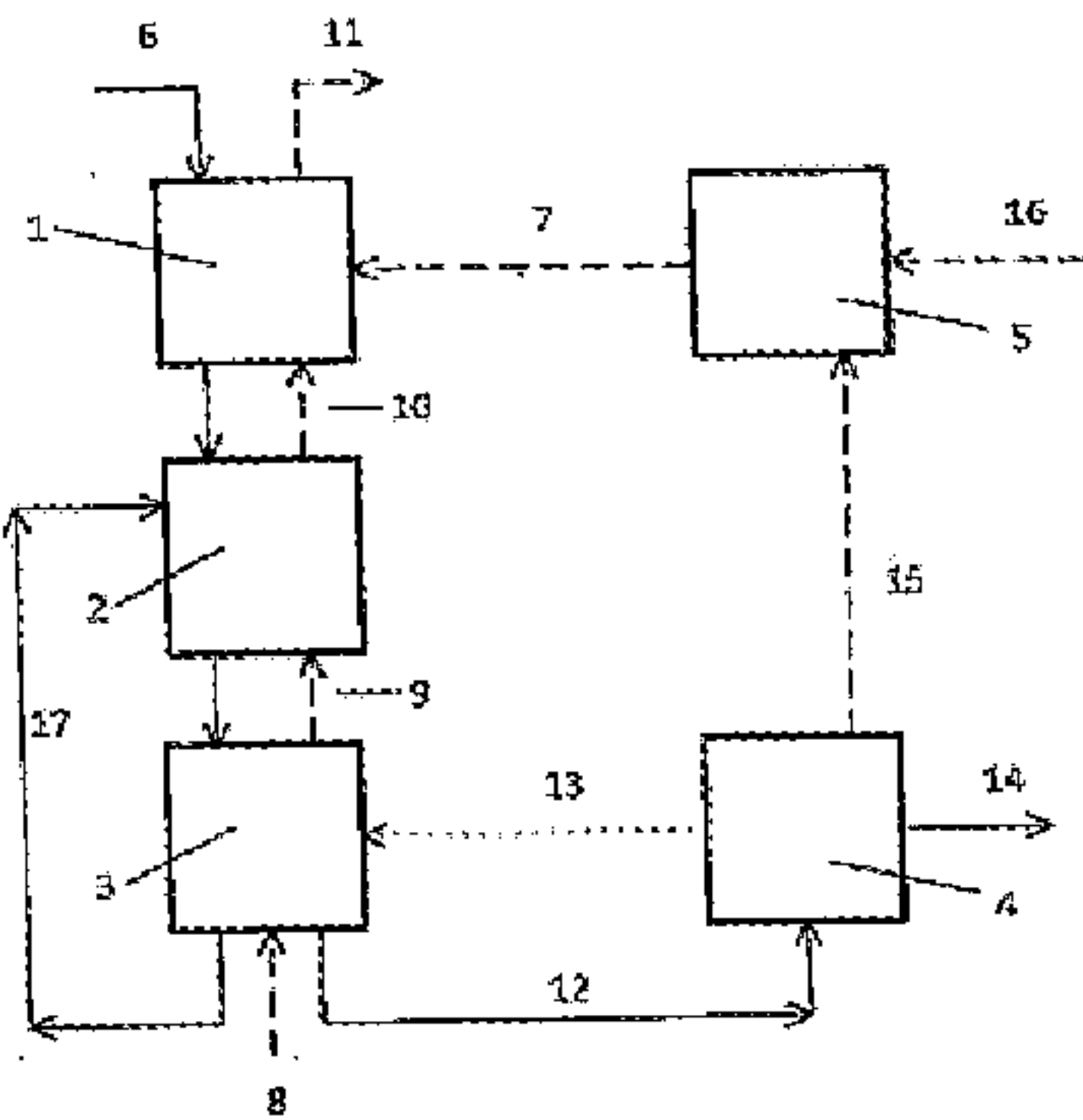


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verwertung von zellulosehaltiger Biomasse, wie z.B. Hackschnitzel, Strauchschnitzel, Seetang oder Bambus, umfassend das Aufschließen der zellulosehaltigen Biomasse in wenigstens einem Reaktor, wobei zum Aufschluss der Biomasse eingesetzte Enzyme und/oder chemische Verbindungen durch aerobe Mikroorganismen in situ mikrobiologisch hergestellt werden.

[0002] Weltweit wird intensiv nach Lösungen gesucht, die Treibstoff- und Rohstoffversorgung nachhaltiger und basierend auf nachwachsenden Rohstoffen zu gestalten. Ein Schlüsselproblem bei der Nutzung nachwachsender Rohstoffe ist der effiziente und kostengünstige Aufschluss von pflanzlichen, insbesondere zellulosehaltigen und lignozellulosehaltigen („verholzten“) Rohstoffen.

[0003] Pflanzliche Rohstoffe sind für die Verwertung denkbar ungeeignet, da sie der bakteriellen anaeroben Hydrolyse, wie sie beispielsweise in einem Biogasfermenter stattfindet, nur sehr schwer zugänglich sind. Durch einen vorangestellten Aufschluss können die polymeren Naturstoffe erheblich rascher hydrolysiert und verwertet werden. Die Effektivität und Effizienz des Aufschlusses haben erhebliche Auswirkungen auf die Verweilzeit der Biomasse im Reaktor und die Ausbeute an beispielsweise Biogas und damit auf Investitions- und Betriebskosten.

[0004] Lignozellulosehaltige Rohstoffe bestehen im Wesentlichen aus in Bündeln angeordneten Zellulosefasern, die in einer Matrix aus Ligninmolekülen eingelagert sind. Das Lignin ist als Stützmaterial und verhärtetes Polymer wesentlich für die Festigkeit des Rohstoffes zuständig, während die eingelagerten Zellulosefasern die Zugfestigkeit gewährleisten. Außerdem dient Lignin als Schutz gegen das Eindringen von Wasser in das Zellwandmaterial.

[0005] Lignozellulosehaltige Rohstoffe müssen demgemäß aufgeschlossen werden, d.h. die Ligninmatrix muss aufgelöst und die Zellulose entsprechend freigelegt und in ihre Bestandteile (Glucose, Cellobiose und Cello-Oligosaccharide) zersetzt bzw. aufgespalten werden, um diese für diverse, an den Aufschluss anschließende Prozesse, z.B. in Verfahren zur Biogasherstellung, nutzbar zu machen.

[0006] Zum Aufschluss pflanzlicher Rohstoffe werden gemäß Stand der Technik beispielsweise organische Lösungsmittel (z.B. Organosolv Verfahren), Säuren (z.B. Aufschluss und Verzuckerung mittels Schwefelsäure), Ammoniak (z.B. AFEX Verfahren, Ammonia Fiber Explosion), Energie (Dampf, Druck) aber auch Enzyme eingesetzt.

[0007] Die oben genannten Aufschlussverfahren haben ihren Ursprung im Wesentlichen in der Papier- und Zellstoffindustrie. Nachteilig bei diesen Verfahren sind hohe Betriebs- und Installationskosten, die darin begründet liegen, dass eine Reihe von Chemikalien eingesetzt wird und demgemäß Technik zur Chemikalienregeneration bzw. Abwasser- und Abluftreinigung von Nöten ist bzw. ein hoher Energieeintrag nötig ist, da das Verfahren unter Dampf bzw. Druck stattfindet. Zudem kann die Zugabe von Enzymen, welche den Aufschluss der pflanzlichen Rohstoffe beschleunigen, nötig sein.

[0008] Die vorliegende Erfindung zielt daher darauf ab, ein Verfahren zu schaffen, bei welchem auf die Zugabe von dem Aufschluss dienenden Chemikalien und dgl. verzichtet und mit moderatem Energieeintrag gearbeitet werden kann.

Zur Lösung dieser Aufgabe besteht die Erfindung bei einem Verfahren der eingangs genannten Art im Wesentlichen darin, dass die Biomasse vor dem mikrobiologischen Aufschluss einer thermischen Vorbehandlung unterworfen wird und die Temperatur in der thermischen Vorbehandlung zwischen 60°C und 100°C, insbesondere auf 80°C gehalten wird.

[0009] Durch den/das bei der thermischen Vorbehandlung unter Temperatureinwirkung entstehende/n Dampf/Kondensat wird der Biomasseabbau beschleunigt. Die bei der Vorbehandlung freigesetzten organischen Stoffe (u.a. Gerbsäuren), die erhöhte Temperatur und das Rauchgas („Räuchern“) haben keimabtötende Wirkung, wodurch eine Inertisierung (Sanitisierung, Pasteurisierung, Hygienisierung im weiteren Sinne) erzielt wird. Damit ist ein eigener Verfahrensschritt, um potenziell störende Mikroorganismen in der Biomasse abzureichern, nicht notwendig.

[0010] Durch die hochmobile kondensierende Dampfphase, wie sie in der Vorbehandlung vorherrscht, ergeben sich hohe Penetrationsraten der Biomasse. Schwankende Temperaturen sind dabei durchaus vorteilhaft, da der induzierte Phasenwechsel von Dampf/Kondensat (fest/flüssig) den Biomasseabbau zusätzlich beschleunigt.

[0011] Der Aufschluss von pflanzlichen und maritimen Roh-, Wert- und Abfallstoffen findet erfindungsgemäß in einfacher Betriebsweise, ohne großen technischen Aufwand und unter moderatem Energieeintrag statt. Da die zum Aufschluss der Biomasse eingesetzten Enzyme und/oder chemischen Verbindungen durch aerobe Mikroorganismen direkt innerhalb des Reaktors, in welchem der Aufschluss stattfindet, d.h. in situ, synthetisiert werden, und daher die Zugabe von Aufschluss-Chemikalien bzw. die Zugabe von den Aufschluss begünstigenden Enzymen obsolet ist, ist ein energieeffizienter Aufschluss ohne Druck oder Dampf oder die Zugabe von Chemikalien/Enzymen möglich.

[0012] Eine Vielzahl von pflanzlichen und maritimen Rohstoffen wird durch das erfindungsgemäße Verfahren wirtschaftlich einsetzbar, insbesondere Fraktionen, bei welchen eine energetische Verwertung bisher nicht sinnvoll war.

[0013] Durch den mikrobiellen Aufschluss wird ein autarker Prozess realisiert, wobei lediglich die Biomasse von außerhalb des Prozesses zugeführt werden muss. Weiters kann die für den Biomasseaufschluss zur Anwendung gelangende Anlage apparativ sehr kompakt angeordnet werden und beinhaltet keine drucktragenden Bauteile.

[0014] Die Kombination mit bestehenden Biogasanlagen ist möglich und ermöglicht die Verwertung eines breiteren und saisonunabhängigeren Biomassespektrums (Revamp, Resource Value Mapping).

[0015] Das erfindungsgemäße Verfahren ist bevorzugt dahingehend weitergebildet, dass aerobe, holzabbauende, Cellulase produzierende Mikroorganismen, insbesondere *Fusarium solani*, *Trichoderma viride* oder *Talaromyces emersonii* eingesetzt werden.

[0016] Die vorgenannten Pilze nutzen zellulosehaltige Biomasse als Substrat und synthetisieren unter anderem das Enzym Cellulase, welches Cellulose in dessen Grundbausteine zerlegt. Durch den Einsatz von holzabbauenden, Cellulase produzierenden Mikroorganismen wird der Aufschluss zellulosehaltiger Biomasse induziert und beschleunigt.

[0017] Das erfindungsgemäße Verfahren ist bevorzugt dahingehend weitergebildet, dass aerobe, stickstofffixierende Mikroorganismen, insbesondere Mikroorganismen der Gattung *Azomonas* oder *Azotobacter* eingesetzt werden.

[0018] Stickstofffixierende Bakterien reduzieren elementaren, molekularen Stickstoff (N_2) zu Ammonium (NH_4^+) bzw. je nach im Verfahren vorherrschendem Dampfdruck zu Ammoniak (NH_3). Durch den Einsatz von stickstofffixierenden Bakterien wird Ammonium/Ammoniak in situ mikrobiologisch hergestellt.

[0019] Ammonium bzw. Ammoniak ist für den Biomasseaufschluss wesentlich. Stickstofffixierende Bakterien bieten demgemäß im Vergleich zum gemäß Stand der Technik zur Anwendung gelangenden AFEX-Aufschlussverfahren, bei welchem Lignocellulose in flüssigem Ammoniak bei hohem Druck ausgelaugt wird und anschließend der Druck explosionsartig entspannt wird, eine drucklose Alternative ohne externes Chemikalienhandling.

[0020] Stickstoff ist auch für das mikrobiologische Wachstum essentiell. Bekanntlich haben rein pflanzliche Rohstoffe einen sehr geringen Stickstoffanteil. Für das mikrobiologische Wachstum, z.B. im Biogasfermenter ist jedoch ein Stickstoffanteil von etwa 11% notwendig. Mit Hilfe stickstofffixierender Mikroorganismen kann dieser Mangel behoben werden. Weiters hat das von den stickstofffixierenden Mikroorganismen gebildete Ammonium den Vorteil, dass es den pH-Wert, insbesondere im Aufschlussbioreaktor stabilisiert.

[0021] Das erfindungsgemäße Verfahren kann insbesondere dahingehend weitergebildet sein, dass der Aufschluss der Biomasse durch die aeroben, holzabbauenden, Cellulase produzierenden Mikroorganismen in einem Aufschlussbioreaktor vorgenommen wird und der Aufschluss der

Biomasse durch die aeroben, stickstofffixierenden Mikroorganismen in einem dem Aufschlussbioreaktor nachgeschalteten Bioreaktor vorgenommen wird.

[0022] Die zellulosehaltige Biomasse wird hierbei einem enzymatischen und einem chemischen Aufschluss unterworfen, wobei die Biomasse stetig zersetzt wird. Weiters profitieren die im nachgeschalteten Bioreaktor befindlichen Mikroorganismen von den im Aufschlussbioreaktor synthetisierten Stoffwechselprodukten der im Aufschlussbioreaktor befindlichen Mikroorganismen, da stickstofffixierende Bakterien unter Anderem Kohlenhydrate als Energie- und Brennstoffquelle nutzen und eben diese durch den Aufschluss der Biomasse im Aufschlussbioreaktor entstehen. Wie bereits erwähnt wird die Zellulose der zellulosehaltigen Rohstoffe von Cellulase produzierenden, holzabbauenden Mikroorganismen in Glucose, Cellobiose und Cello-Oligosaccharide aufgespalten, welche dann wiederum als Energiequelle für die im Bioreaktor befindlichen Bakterien und insbesondere auch für die Mikroorganismen in einem dem Bioreaktor nachgeschalteten Biogasfermenter nutzbar sind.

[0023] Bevorzugt kann der Aufschlussbioreaktor eine Tropfkörperkolonne umfassen.

[0024] Alternativ zum Bioreaktor kann der Aufschluss der Biomasse durch die aeroben, stickstofffixierenden Mikroorganismen bevorzugt auch in einer dem Aufschlussbioreaktor nachgeschalteten Tropfkörperkolonne vorgenommen werden.

[0025] Der Aufschlussbioreaktor ist vorzugsweise als Schachtreaktor ausgeführt, der im untersten Bereich direkt auf dem Auflagerost, mit Füllkörpern gefüllt ist, d.h. der untere Teil des Aufschlussbioreaktors ist als Füllkörperschüttung ausgeführt. Der fraktionierte Rohstoff, beispielsweise Strauchhackschnitzel, wird in den oberen Teil des Schachtes gefördert und bildet eine stetig nach unten wandernde Schüttung. Aufschlussbioreaktor und Bioreaktor können hierbei jeweils als eigene Apparate ausgebildet sein. Vorzugsweise werden diese jedoch in einem einzigen Apparat zusammengefasst.

[0026] In vorteilhafter Weise kann das erfindungsgemäße Verfahren dahingehend weitergebildet sein, dass zumindest ein Teil der mikrobiologisch aufgeschlossenen Biomasse und/oder ein Teil der Mikroorganismen aus dem Aufschlussbioreaktor und und/oder ein Teil der Mikroorganismen aus dem Bioreaktor einem Biogasfermenter zugeführt wird.

[0027] In einem Biogasfermenter wird Biomasse in einem mehrstufigen Prozess (Hydrolyse, Acidogenese, Actetogenese, Methanogenese) von im Biogasfermenter befindlichen Mikroorganismen in Biogas (Mischung aus CH_4 und CO_2) umgewandelt.

[0028] Durch den vor der Fermentation stattfindenden mikrobiologischen Aufschluss wird eine Konversion biogener Rohstoffe in Biogas ermöglicht, wobei die mikrobiologisch aufgeschlossene Biomasse eine geringere Verweilzeit des Substrates im Biogasfermenter bedingt, da die Biomasse durch die im Fermenter befindlichen Mikroorganismen leichter verwertet werden kann.

[0029] Neben dem eigentlichen Aufschluss der eingesetzten Biomasse haben die eingesetzten Mikroorganismen auch die Funktion und den großen Vorzug, dass deren intrazelluläre Speicherstoffe wertvolle Substratbestandteile für den Biogasfermenter sind.

[0030] Insbesondere kann es vorgesehen sein, dass Überschussbiomasse aus dem Biogasfermenter abgezogen und einer Filtration unterworfen wird und das Filtrat dem Aufschlussbioreaktor zugeführt wird.

[0031] Die Abtrennung der Überschussbiomasse mittels Fest-Flüssigtrennung mit (partieller) Filtratrückführung ist insofern vorteilhaft, da die Fementationsbrühe im Prozess verbleibt und der Prozesswasserbedarf sinkt bzw. sich die Entsorgung der Gärreste verringert. Dies ist insbesondere bei kommunalen Anlagen von Vorteil und überall dort, wo keine ausreichenden landwirtschaftlichen Flächen zur Ausbringung der Gärreste verfügbar sind.

[0032] Das erfindungsgemäße Verfahren ist in vorteilhafter Weise derart weitergebildet, dass Nährstoffe aus dem Bioreaktor in flüssiger, gelöster und suspendierter Form in den Aufschlussbioreaktor rezirkuliert werden, wobei zumindest ein Teil der Nährstoffe aus dem Aufschlussbioreaktor zuläuft.

[0033] Das damit zugeführte Ammonium, welches im Bioreaktor aus Luftstickstoff fixiert wird, hat einen stabilisierenden Effekt auf den pH-Wert im Aufschlussbioreaktor.

[0034] Wie bereits zuvor erwähnt profitieren die im Bioreaktor befindlichen Mikroorganismen von den im Aufschlussbioreaktor synthetisierten Stoffwechselprodukten der dort lebenden Mikroorganismen.

[0035] Das Verfahren kann bevorzugt dahingehend weitergebildet sein, dass die Temperatur im Aufschlussbioreaktor auf ca. 20°C bis 40°C gehalten wird. Insbesondere kann es vorgesehen sein, dass die Temperatur im Bioreaktor auf ca. 30°C gehalten wird.

[0036] Die den Aufschlussbioreaktor besiedelnden aeroben, holzabbauenden, Cellulase produzierenden Mikroorganismen weisen bei ca. 20°C bis 40°C ein optimales Wachstumsverhalten auf. *Talaromyces emersonii* weist beispielsweise bei ca. 40°C ein optimales Wachstumsverhalten auf, wobei *Fusarium solani* bei ca. 25°C und *Trichoderma viride* bei ca. 24°C optimal wächst.

[0037] Auf der direkt über dem Auflagerost angeordneten Schüttung/Packung (Tropfkörper/Füllkörper) bilden die Mikroorganismen einen biologischen Rasen, welcher die suspendierte Biomasse aus der darüberliegenden Biomasseschüttung weiter zersetzt. Damit wird der Schlupf von unzersetzter zellulosehaltiger Biomasse in den Bioreaktor bzw. den anschließenden Fermenter reduziert und die Raumzeitausbeute erhöht.

[0038] Die optimale Temperatur für die im Bioreaktor befindlichen Stickstofffixierer liegt bei ca. 30°C.

[0039] Auch im Aufschlussbioreaktor herrschen hochmobile kondensierende Dampfphasen vor, wodurch die Penetrationsrate der Biomasse äußerst effektiv abläuft. Durch kondensierende Dämpfe und Berieselung mit Suspension wird weiters gewährleistet, dass ein immerwährender Abtransport von mikrobiologischen und chemischen Reaktionsprodukten stattfindet und ein beschleunigter Stoffumsatz begünstigt wird.

[0040] Der Aufschlussbioreaktor und der Bioreaktor können apparativ kombiniert werden, wobei die Temperaturen im oberen Aufschlussbioreaktorteil z.B. für *Talaromyces emersonii* auf ca. 40°C und im unteren Bioreaktorteil auf ca. 30°C gehalten werden.

[0041] Bevorzugt ist das erfindungsgemäße Verfahren dahingehend weitergebildet, dass im Biogasfermenter produziertes Biogas einer Brenneinheit, insbesondere einem Brenner eines Blockheizkraftwerks zugeführt wird.

[0042] In vorteilhafter Weise ist das erfindungsgemäße Verfahren dahingehend weitergebildet, dass Abluft aus der Brenneinheit die thermische Vorbehandlung durchströmt.

[0043] Besonders bevorzugt kann vorgesehen sein, dass die Abluft aus dem Aufschlussbioreaktor insbesondere zur thermischen Vorbehandlung der Brennereinrichtung zugeführt wird.

[0044] Die Abluft dient hierbei als Zuluft für den Brenner. Weiters dient eine derartige Verfahrensführung der Abreicherung von möglichen Geruchs- und Luftschadstoffen.

[0045] Durch die vorgenannten Schritte wird ein autarker Prozess realisiert, der im Sinne der regenerativen Energieerzeugung Wärme respektive Strom abgeben kann, wobei die in der Vorbehandlung und für die Mikroorganismen benötigte Wärme aus anderen dem Verfahren zugehörigen Komponenten abgezogen und in die Vorbehandlung eingeleitet wird.

[0046] Das erfindungsgemäße Verfahren ist in vorteilhafter Weise derart weitergebildet, dass Abluft aus der thermischen Vorbehandlung einer Kondensation unterworfen wird und das Kondensat dem Bioreaktor zugeführt wird, wobei bevorzugt ein Teilstrom in die thermische Vorbehandlung rückgeführt wird.

[0047] Die Biomasseschüttung der Vorbehandlung mit ihrer großen Oberfläche in Kombination mit dem Kondensator dient gleichzeitig als Wäscher/Filter für Geruchsstoffe der mikrobiologischen Verfahrensschritte. Zusätzliche Apparate oder Einrichtungen sind dafür daher nicht notwendig.

[0048] Durch Rückführung des Kondensats wird weiters der notwendige Wasserbedarf minimiert.

[0049] Vorzugsweise ist der Kondensator mit Kontaktflächen hoher Oberfläche (Packung, Tropfenabscheidern) ausgestattet, wodurch er gleichzeitig eine Wäscherfunktion ausübt. Damit werden Geruchsstoffe, die in geringem Maße im Abgas enthalten sind (abhängig von der Art der eingesetzten Biomasse), in die wässrige Phase gebracht und rückgeführt. Dies gilt ebenfalls für Ammoniak, welcher auch in der Biomasseschüttung mit dem Kohlendioxid der Verbrennung partiell gebunden wird.

[0050] Das vorliegende Ammonium bildet mit Kohlendioxid der Verbrennung und insbesondere jenem der Methanbildung Ammoniumsalze (Karbonate).

[0051] Die Überschussbiomasse der Biogasproduktion wird nach dem Stand der Technik abgetrennt und bildet einen mit Stickstoffverbindungen angereicherten Biodünger. Die dabei abgetrennte Flüssigkeit kann partiell in den Prozess rückgeführt werden.

[0052] Im Vergleich zu pflanzlicher Kompostierung der eingesetzten Biomasse enthält die Überschussbiomasse aus der Biogasproduktion einen nennenswerten Stickstoffanteil und hat somit eine höhere Düngequalität.

[0053] Das erfindungsgemäße Verfahren kann insbesondere dahingehend weitergebildet sein, dass während der thermischen Vorbehandlung Pflanzeninhaltsstoffe bzw. ätherische Öle aus der Biomasse extrahiert werden, die über die Abluft ausgetragen und im Kondensator in das Kondensat überführt und aus dem Kondensat abgetrennt werden.

[0054] In der Vorbehandlung laufen neben thermischen auch extraktive und destillative Vorgänge ab. Dadurch werden Pflanzeninhaltsstoffe (ätherische Öle, z.B. Terpene) freigesetzt und im Falle der Flüchtigkeit analog der Wasserdampfdestillation und unterstützt durch den Rauchgasstrom, d.h. die Abluft aus der Brenneinheit, die die thermische Vorbehandlung durchströmt, ausgetragen und in das Kondensat überführt. Diese können durch Dichtentrennung mit einem Dekanter aus dem Kondensat abgetrennt werden, wobei das Wasser in den Prozess zurückgeführt wird.

[0055] Interessant ist beim Vorhandensein geeigneter Biomasse die Möglichkeit, neben Strom, Wärme und Biodünger als Nebenprodukt auch ätherische Öle und Hydrolate gewinnen zu können oder umgekehrt bei der Gewinnung von ätherischen Ölen auch Strom und Wärme zu erzeugen. Die Co-Produktion von ätherischen Ölen und Hydrolaten kann beispielsweise aus Abfallrinden von Sägereien oder Abfallfraktionen beim Holzschlag (Äste, Nadeln) erfolgen. Es können damit beispielsweise (Zirbel)Kieferöle, Fichtenöle, Tannenöle oder Gemische erzeugt werden. Auch die Herstellung von Zitrusölen, Orangenölen, Sandelholzölen oder Ölen aus Seetang sind auf diese Weise möglich. Die Ölgemische können als Aroma- oder Duftstoffe beispielsweise in der Kosmetikindustrie, der Medizin, der Nahrungsmittelindustrie, als Insektizide oder in der Farbproduktion (Lacke, Öle) eingesetzt werden.

[0056] Insbesondere kann es vorgesehen sein, dass dem Aufschlussbioreaktor und der dem Aufschlussbioreaktor nachgeschaltete Bioreaktor Luft von unten zugeführt wird.

[0057] Da es sich sowohl bei den im Aufschlussbioreaktor als auch bei den im Bioreaktor befindlichen Mikroorganismen um aerobe Mikroorganismen handelt, ist eine Luftzufuhr von unterhalb beider Komponenten vorteilhaft, da dadurch ausreichend Luft in beide Komponenten eingespeist wird, wobei nur eine Zuleitung notwendig ist.

[0058] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Anwendungsbeispielen näher erläutert.

ANWENDUNGSBEISPIEL 1

[0059] Strauchschnitt, Gartenabfälle, Bambus, Seetang und minderwertige Holzhackschnitzel mit hohem Grünanteil werden diskontinuierlich von oben in einen Silobunker im Containerformat gefüllt. Dieser ist mit einem Schubboden und darunterliegenden Schlitzblechen ausgestattet.

[0060] Unterhalb der Bleche werden warme Verbrennungsabgase zugeführt, welche die Biomasseschüttung nach oben hin durchströmen. Dadurch wird die Biomasse in einem Temperatur-

fenster zwischen 60°C und 95 C gehalten, im Mittel um die 80°C.

[0061] Oberhalb der Schüttung wird die Abluft seitlich abgezogen und durch einen Kondensator geführt. Der Kondensator wird in Anwendungsbeispiel 1 aufgrund der moderaten Umgebungstemperatur nicht aktiv, sondern passiv gekühlt. Das dabei anfallende Kondensat wird in den Prozess rückgeführt.

[0062] Im Anschluss an den Schubboden befindet sich eine Trogschnecke. Die Biomasse wird darüber in eine folgende Steigschnecke geführt, welche wiederum in den Aufschlussbioreaktor dosiert. Die Förderschnecken werden als Auskühlzone verwendet. Die Biomasse wird dabei auf die Aufschlussbioreaktortemperatur von etwa 40°C abgekühlt.

[0063] Der Aufschlussbioreaktor ist ein thermisch isoliertes Standsilo. Auf dem ersten Drittel ist ein Auflagerost mit einer Füllkörperschüttung angeordnet. Die oben eingetragene Biomasse bildet auf der Schüttung eine luftdurchlässige Schicht aus. Unterhalb der Füllkörperschüttung wird Luft zugeführt, welche das Standsilo oben verlässt und als Zuluft in den Brenner geführt wird bzw. bei dessen Stillstand (diskontinuierliche Brennerführung) unterhalb der Schlitzböden in den Silobunker geführt wird.

[0064] In der Biomasseschicht und der darunter liegenden Tropfkörperkolonne werden bei ca. 40°C aerobe Mikroorganismen der Gattung *Talaromyces emersonii* kultiviert. Sie zersetzen die Biomasseschicht sukzessive. Die dabei entstehenden Abbauprodukte fließen inklusive Überschussbiomasse suspendiert und gelöst in den darunterliegenden Bioreaktor.

[0065] Im Bioreaktor werden bei 30°C aerobe Mikroorganismen der Gattung *Azotobacter beijerinckii* kultiviert. Die abfließende Suspension hat einen pH Wert von 7+/-0,5. Ein Teilstrom wird in den Aufschlussbioreaktor rückgeführt. Der zweite Teilstrom wird als Substrat abgetaucht in den Biogasreaktor (Fermenter) geführt. Zusätzlich werden Kondensat des Kondensators und optional überstehendes Wasser aus der Fest-Flüssigtrennung der Biogasherstellung in den Bioreaktor eingebracht.

[0066] Das Inokulum erfolgt für *Talaromyces emersonii* über die Rezirkulationsleitung und für *Azotobacter beijerinckii* über den Kondensatrücklauf.

[0067] Der Biogasfermenter wird nach dem Stand der Technik und für das Anwendungsbeispiel mesophil im Temperaturbereich des mikrobiologischen Aufschlusses betrieben. Darin werden anaerobe Methanbildner nach dem Stand der Technik kultiviert (zB Hefen, Clostridia, Zymomonas, Methanogene).

[0068] Eine Rückführung von Filtrat aus der Abtrennung der Überschussbiomasse hat sich per se nicht negativ auf das Verfahren ausgewirkt. Bis dato wurde jedoch kein vollständiger Kreislaufschluss über längere Zeit durchgeführt, da sich damit auch Wachstumsinhibitoren aufkonzentrieren könnten.

[0069] Das Biogas wird im Anwendungsbeispiel mit Luftsauerstoff in einem Brenner verbrannt. Das Abgas wird nach der Rauchgaskondensation in den Silobunker geführt. Das heiße Rauchgaskondensat wird in die Biomasseschüttung des Silobunkers gepumpt.

[0070] Im Anwendungsbeispiel ergeben sich folgende Volumsverhältnisse und Durchsätze:

- Aufschlussbioreaktor ca. 8m³
- Füllkörperschüttung ca. 1m³
- Bioreaktor ca. 3m³
- Biogas-Fermenter ca. 2m³
- Vorbehandlung 50m³
- Einsatzmenge Biomasse ca. 10 Schüttmeter pro Tag
- Austrag Schlamm ca. 300kg (TS) pro Tag
- Leistung 350kW thermisch (Heizwert), 100kW elektrisch

[0071] Weiters kann eine Co-Produktion von ätherischen Ölen stattfinden:

[0072] Dazu wird die Kondensation zweistufig durchgeführt. Im Hauptkondensator wird das Ab-

gas der Vorbehandlung mit der Abluft des Aufschlussbioreaktors im Gegenstrom abgekühlt. Der Nachkondensator wird sekundärseitig mit Umgebungsluft gekühlt, die im Aufschlussbioreaktor verwendet wird. Das Kondensat aus beiden Stufen wird sifoniert in einen Dekanter geleitet. Die schwere, wässrige Phase wird unten abgezogen und in den Prozess rückgeführt. Die leichtere organische Phase wird oben abgezogen und als Co-Produkt verwertet. Die Temperatur in der thermischen Vorbehandlung kann dabei auch am Siedepunkt von Wasser liegen.

[0073] Bei der Co-Produktion von ätherischen Ölen hat sich gezeigt, dass die Zugabe von Lauge (Natronlauge, Kalklauge) bei der Vorbehandlung die Ausbeute durch Erhöhung der Laugungs-/ Extraktionsrate verbessert und ein pH Wert von 8+/- 1 bei der Vorbehandlung den Gesamtprozess nicht negativ beeinflusst.

ANWENDUNGSBEISPIEL 2

[0074] Verfahren und Vorrichtung zur Biogasherstellung sind inklusive Hilfseinrichtungen, Steuerung und Blockheizkraftwerk in einem 20 Fuss Iso-Container integriert. Sicherheitstechnische Einrichtungen (Fackel) und der Rückkühler sind außen am Container angebracht. Ebenfalls außerhalb des Containers befindet sich ein optionaler Gasspeicher.

[0075] Betriebsdaten:

- Volumen Vorbehandlung 2m³
- Aufschlussbioreaktor ca. 300L
- Bioreaktor ca. 100L
- Biogas-Fermenter ca. 70L
- Einsatzmenge Biomasse ca. 0,4 Schüttmeter pro Tag
- Austrag Schlamm ca. 12kg (TS) pro Tag
- Leistung BHKW: 15kW thermisch, 4kW elektrisch

[0076] Die zerkleinerte Biomasse wird diskontinuierlich in einen 2m³ großen Silobunker eingesaugt. Am Bunkerboden werden warme Verbrennungsabgase zugeführt, welche die Biomasse-schüttung nach oben hin durchströmen. Dadurch wird die Biomasse in einem Temperaturfenster zwischen 60 °C und 95°C gehalten, im Mittel um die 80°C.

[0077] Oberhalb der Schüttung wird die Abluft abgezogen und in einen Kondensator geführt, der sich vorzugsweise auf dem Containerdach befindet und dort von der Umgebungstemperatur passiv gekühlt wird. Das dabei anfallende Kondensat wird in den Prozess rückgeführt.

[0078] Mit einer Austragsschnecke wird die Biomasse in den Aufschlussbioreaktor dosiert. Die Förderschnecke wird als Auskühlzone verwendet. Die Biomasse wird dabei auf die Bioreaktortemperatur von etwa 40°C abgekühlt.

Der Aufschlussbioreaktor ist ein thermisch isolierter Behälter. Der untere Bereich ist mit einer Füllkörperschüttung gefüllt, die unten auf einem Rost aufliegt. Die oben eingetragene Biomasse bildet auf der Schüttung eine luftdurchlässige Schicht aus.

[0079] Unterhalb der Füllkörperschüttung wird Luft aus dem Bioreaktor zugeführt, welche den Behälter oben verlässt und als Zuluft in den Brenner geführt wird bzw. bei dessen Stillstand (diskontinuierliche Brennerführung) in den Bodenbereich des Silobunkers geführt wird.

[0080] In der Biomasseschicht werden bei ca. 40°C aerobe Mikroorganismen der Gattung *Talaromyces emersonii* kultiviert. Sie zersetzen die Biomasseschicht sukzessive. Die dabei entstehenden Abbauprodukte fließen inklusive Überschussbiomasse suspendiert und gelöst über die Füllkörperschüttung in den Bioreaktor.

[0081] Zusätzlich werden Kondensat des Kondensators und optional überstehendes Wasser aus der Fest-Flüssigtrennung der Biogasherstellung in den Bioreaktor eingebracht. Im Bioreaktor werden bei 30°C aerobe Mikroorganismen der Gattung *Azotobacter beijerinckii* kultiviert. Über ein Verteilrohr wird dem Bioreaktor dazu im unteren Bereich Luft zugeführt, welche durch die Flüssigkeit wandert und aus dem Brüdenraum in den Aufschlussbioreaktor geleitet wird.

[0082] Die abfließende Suspension hat einen pH Wert von 7+/-0,5. Ein Teilstrom wird auf die

Biomasseschicht rückgeführt. Der zweite Teilstrom wird als Substrat abgetaucht in den Biogasreaktor (Fermenter) geführt.

[0083] Die Biogasherstellung produziert Biogas nach dem Stand der Technik, das in einem Blockheizkraftwerk energetisch verwertet wird. Letzteres hält mit einem Wärmeträgerkreislauf den Aufschlussbioreaktor, den Bioreaktor und den Fermenter auf Betriebstemperatur. Das Rauchgas wird in den Silobunker geführt.

ANWENDUNGSBEISPIEL 3

[0084] Die Vorrichtung zum Aufschlussverfahren zur Biogasherstellung ist in Anlehnung an die Biogasanlagentechnik als ortsfeste Anlage in Stahlbeton ausgeführt.

[0085] Betriebsdaten:

Volumen Vorbehandlung 1000m³

Aufschlussreaktor 150m³, Durchmesser 5m, Höhe 10m

Bioreaktor 60m³, Durchmesser 5m, Höhe 3m

Biogas-Fermenter 40m³

Einsatzmenge Biomasse ca. 200 Schüttneter pro Tag

Leistung 6,5MW thermisch, 2MW elektrisch

[0086] Die zerkleinerte Biomasse wird über eine Aufgabevorrichtung diskontinuierlich in einen rechteckigen Silobunker aus Ortsbeton - analog der Bunkertechnik für Holzhackschnitzel - chargiert. Am Bunkerboden werden über Schlitzbleche warme Verbrennungsabgase zugeführt, welche die Biomasseschüttung nach oben hin durchströmen. Dadurch wird die Biomasse in einem Temperaturfenster zwischen 60°C und 95°C gehalten, im Mittel um die 80°C.

[0087] Oberhalb der Schüttung wird die Abluft abgezogen und in einen Kondensator geführt, der dort von der Umgebungstemperatur vorzugsweise passiv gekühlt wird. Das dabei anfallende Kondensat wird in den Prozess rückgeführt. Mit einem Schubrostboden und einer Austragsschnecke wird die Biomasse in den Aufschlussbioreaktor dosiert. Die Förderschnecke wird als Auskühlzone verwendet. Die Biomasse wird dabei auf die Aufschlussbioreaktortemperatur von etwa 40°C abgekühlt.

[0088] Der Aufschlussbioreaktor ist ein thermisch isoliertes Stahlbetonsilo mit rundem Querschnitt. Die Biomasseschüttung liegt im ersten Drittel auf einem Rost auf welchem Füllkörper angeordnet sind und bildet eine luftdurchlässige Schicht aus, die von unten mit Luft aus dem Bioreaktor durchströmt wird. Die Luft wird im Silo im Umluftbetrieb über Füllkörper- und Biomasseschüttung zirkuliert und dabei auf 40°C thermostatisiert.

[0089] In der Biomasseschicht werden bei 40°C aerobe Mikroorganismen der Gattung *Talaromyces emersonii* kultiviert. Sie zersetzen die Biomasseschicht sukzessive. Die dabei entstehenden Abbauprodukte fließen inklusive Überschussbiomasse suspendiert und gelöst über die Füllkörperschicht in den Bodensumpf des Silos.

[0090] Die Suspension aus dem Aufschlussbioreaktor läuft über den Auflagerrost in den Bioreaktor. Von unten wird über einen Verteilring auf 30°C thermostatisierte Luft eingeblasen.

[0091] Im Bioreaktor werden bei 30°C aerobe Mikroorganismen der Gattung *Azotobacter beijerinckii* kultiviert. Die dabei entstehenden Abbauprodukte werden inklusive Überschussbiomasse suspendiert und gelöst in den Aufschlussbioreaktor rezirkuliert. Ein Teilstrom wird als Substrat in den Biogasreaktor (Fermenter) geführt. Die abfließende Suspension hat einen pH Wert von 7+/-0,5. Zusätzlich werden Kondensat des Kondensators und optional überstehendes Wasser aus der Fest-Flüssigtrennung der Biogasherstellung in den Bioreaktor eingebracht.

[0092] Die Biogasherstellung produziert Biogas nach dem Stand der Technik, das in einem Blockheizkraftwerk energetisch verwertet wird. Letzteres hält mit einem Wärmeträgerkreislauf den Fermenter und die Silokonstruktionen auf Betriebstemperatur. Das Rauchgas wird in den Silobunker geführt.

[0093] Das erfindungsgemäße Verfahren wird nachfolgend anhand von in der Zeichnung sche-

matisch dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. In dieser zeigen Fig. 1 einen Verfahrensablauf gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung und Fig. 2 einen Verfahrensablauf gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0094] In Fig. 1 ist die thermische Vorbehandlung mit 1 bezeichnet. Der thermischen Vorbehandlung 1 nachgeschaltet zeigt Fig. 1 einen Aufschlussbioreaktor 2, sowie ein dem Aufschlussbioreaktor 2 nachgeschalteter Bioreaktor 3, einen dem Bioreaktor nachgeschalteten Fermenter 4 und eine Brenneinrichtung 5, wobei die Brenneinrichtung alternativ auch eine Verbrennungskraftmaschine sein kann.

[0095] Über die Biomasseeingabe 6 wird die aufzuschließende Biomasse in die thermische Vorbehandlung 1 eingebracht und folgend in den Aufschlussbioreaktor 2 dosiert. Der Aufschlussbioreaktor 2 ist vorzugsweise als Schachtreaktor ausgeführt. Der Bioreaktor 3 ist als begaster Rührkessel ausgeführt, wobei bei guter Gasverteilung mittels Verteilrohren ein Rührwerk nicht unbedingt notwendig ist. Die aufzuschließende Biomasse, beispielsweise Strauchhackschnitzel, wird aus der thermischen Vorbehandlung 1 in den oberen Teil des Aufschlussbioreaktors 2 gefördert und bildet eine stetig nach unten wandernde Schüttung.

[0096] Die Biomasse wird in der thermischen Vorbehandlung 1, dem Aufschlussbioreaktor 2 und dem Bioreaktor 3 unter Temperatureinwirkung und durch die chemisch-physikalische Wirkung von Dämpfen bzw. Kondensat, sowie der enzymatischen und abbauenden Wirkung der im Aufschlussbioreaktor 2 und dem Bioreaktor 3 befindlichen Mikroorganismen stetig zersetzt.

[0097] In der Vorbehandlung 1 wird die Biomasse thermisch behandelt, wobei Abluft aus der Brenneinrichtung 5 über die Leitung 7 in die thermische Vorbehandlung 1 eingeleitet wird und diese durchströmt. So wird die Temperatur in der thermischen Vorbehandlung auf Temperaturen zwischen 60°C und 100 °C erwärmt und auch auf diesem Temperaturniveau gehalten.

[0098] Im Aufschlussbioreaktor 2 und im Bioreaktor 3 sind aerobe Mikroorganismen angesiedelt, um die Biomasse mikrobiologisch aufzuschließen. Die notwendige Luft für die aerobe Mikrobiologie wird im Bioreaktor 3 über die Leitung 8 von unten zugeführt, durchströmt den Bioreaktor 3 von unten nach oben und erreicht über die Leitung 9 den Aufschlussbioreaktor 2, welcher ebenfalls von unten nach oben mit Luft durchströmt wird. Bei Bedarf kann die Luft mit (Ab)Wärme aus der Brenneinrichtung 5 auf die optimale Wachstumstemperatur der Mikroorganismen vorgewärmt werden.

[0099] Die Abluft aus dem Aufschlussbioreaktor 2 wird als Zuluft der Brenneinrichtung zugeführt (in Fig.1 nicht dargestellt) oder über die Leitung 10 in die Vorbehandlung 1 geleitet, die gleichzeitig ein Biofilter für Dämpfe/Gase aus den Bioreaktoren ist. Die feuchten Abgase aus der Vorbehandlung 1 werden über Leitung 11 aus dem Prozess abgezogen.

[00100] Aus dem Bioreaktor 3 werden laufend Nährstoffe in flüssiger, gelöster und suspensierter Form in den Aufschlussbioreaktor 2 rezirkuliert (Kreislaufführung mit 17 bezeichnet). Aus dem Bioreaktor 3 wird ein Teil der aufgeschlossenen Biomasse und die Mikroorganismen über die Leitung 12 in den Biogasfermenter 4 geführt, wo diese als Substrat für die dort stattfindende Fermentation dienen. Überstehende Flüssigkeit aus dem Biogasfermenter 4 kann optional und partiell über die Leitung 13 in den Bioreaktor 3 rückgeführt werden und Überschussbiomasse wird über die Leitung 14 abgezogen.

[00101] Über die Leitung 15 gelangt Biogas aus dem Fermenter 4 in die Brenneinrichtung 5, welche über die Leitung 16 mit Luft versorgt wird.

[00102] Fig. 2 zeigt ebenfalls eine thermischen Vorbehandlung 1, einen Aufschlussbioreaktor 2, einen Bioreaktor 3, einen Fermenter 4 und eine Brenneinrichtung 5, wobei der Aufschlussbioreaktor 2 und der Bioreaktor 3 in dieser Ausführungsform einteilig ausgebildet sind.

[00103] Baugleiche Teile sind mit den gleichen Bezugszeichen wie in Fig.1 versehen.

[00104] Die Abluft aus dem Aufschlussbioreaktor 2 wird über die Leitung 10 in die Vorbehandlung 1 geleitet (bzw. optional zuerst über die Brenneinrichtung geführt), die gleichzeitig ein Biofilter für Dämpfe/Gase aus den Bioreaktoren ist. Die feuchte Abluft aus der Vorbehandlung 1 wird - im

Unterschied zur in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform - über die Leitung 11' in einen Kondensator 21 geführt, dort auskondensiert und über die Leitung 18 in den Prozess zurückgeführt. Die Abluft aus dem Kondensator 21 wird über die Leitung 19 abgezogen.

[00105] Vorzugsweise ist der Kondensator 21 mit Kontaktflächen hoher Oberfläche (Packung, Tropfenabscheidern) ausgestattet, wodurch er gleichzeitig auch eine Wäscherfunktion ausübt.

[00106] In der Vorbehandlung 1 laufen neben thermischen auch extraktive und destillative Vorgänge ab. Dadurch werden Pflanzeninhaltsstoffe freigesetzt und im Falle der Flüchtigkeit analog der Wasser- bzw. Trägerdampfdestillation mit zusätzlichem Gasstrom 7 aus der Brenneinheit 5 in die Flüssigphase und in Folge in die Dampfphase überführt. Die Dämpfe 11' werden im Kondensator 21 auskondensiert. Diese können dann durch Dichtentrennung mit einem Dekanter, der vorzugsweise in den Kondensator 21 integriert ist, aus dem Kondensat abgetrennt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verwertung von zellulosehaltiger Biomasse, wie z.B. Hackschnitzel, Strauchschnitzel, Seetang oder Bambus, umfassend das Aufschließen der zellulosehaltigen Biomasse in wenigstens einem Reaktor, wobei zum Aufschluss der Biomasse eingesetzte Enzyme und/oder chemische Verbindungen durch aerobe Mikroorganismen in dem wenigstens einen Reaktor in situ mikrobiologisch hergestellt werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Biomasse vor dem mikrobiologischen Aufschluss einer thermischen Vorbehandlung (1) unterworfen wird und die Temperatur in der thermischen Vorbehandlung (1) zwischen 60°C und 100°C, insbesondere auf 80°C gehalten wird.
2. Verfahren gemäß Ansprüche 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass aerobe, holzabbauende, Cellulase produzierende Mikroorganismen, insbesondere *Fusarium solani*, *Trichoderma viride* oder *Talaromyces emersonii* eingesetzt werden.
3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass aerobe, stickstofffixierende Mikroorganismen, insbesondere Mikroorganismen der Gattung *Azomonas* oder *Azotobacter* eingesetzt werden.
4. Verfahren gemäß Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Aufschluss der Biomasse durch die aeroben, holzabbauenden, Cellulase produzierenden Mikroorganismen in einem Aufschlussbioreaktor (2) vorgenommen wird und der Aufschluss der Biomasse durch die aeroben, stickstofffixierenden Mikroorganismen in einem dem Aufschlussbioreaktor (2) nachgeschalteten Bioreaktor (3) vorgenommen wird.
5. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Teil der mikrobiologisch aufgeschlossenen Biomasse und/oder ein Teil der Mikroorganismen aus dem Aufschlussbioreaktor (2) und/oder ein Teil der Mikroorganismen aus dem Bioreaktor (3) einem Biogasfermenter (4) zugeführt wird.
6. Verfahren gemäß Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass Überschussbiomasse aus dem Biogasfermenter (4) abgezogen und einer Filtration unterworfen wird und das Filtrat dem Aufschlussbioreaktor (2) zugeführt wird.
7. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 4, 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass Nährstoffe aus dem Bioreaktor (3) in flüssiger, gelöster und suspendierter Form in den Aufschlussbioreaktor (2) rezirkuliert werden, wobei zumindest ein Teil der Nährstoffe aus dem Aufschlussbioreaktor (2) zuläuft.
8. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 4 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Temperatur im Aufschlussbioreaktor (2) auf ca. 20°C bis 40°C, gehalten wird.
9. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 4 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Temperatur im Bioreaktor (3) auf ca. 30°C gehalten wird.
10. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 5 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Biogasfermenter (4) produziertes Biogas einer Brenneinheit (5), insbesondere einem Brenner eines Blockheizkraftwerks zugeführt wird.
11. Verfahren gemäß Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass Abluft aus der Brenneinheit (5) die thermische Vorbehandlung (1) durchströmt.
12. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 4 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abluft aus dem Aufschlussbioreaktor (2), insbesondere zur thermischen Vorbehandlung (1) der Brenneinheit (5) zugeführt wird.
13. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 4 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass Abluft aus der thermischen Vorbehandlung (1) einer Kondensation unterworfen wird und das Kondensat dem Bioreaktor (3) zugeführt wird, wobei bevorzugt ein Teilstrom in die thermische Vorbehandlung (1) rückgeführt wird.

14. Verfahren gemäß Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass während der thermischen Vorbehandlung (1) Pflanzeninhaltsstoffe bzw. ätherische Öle aus der Biomasse extrahiert werden, die über die Abluft ausgetragen und im Kondensator (21) in das Kondensat überführt und aus dem Kondensat abgetrennt werden.
15. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 4 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Aufschlussbioreaktor (2) und der dem Aufschlussbioreaktor (2) nachgeschaltete Bioreaktor (3) Luft von unten zugeführt wird.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

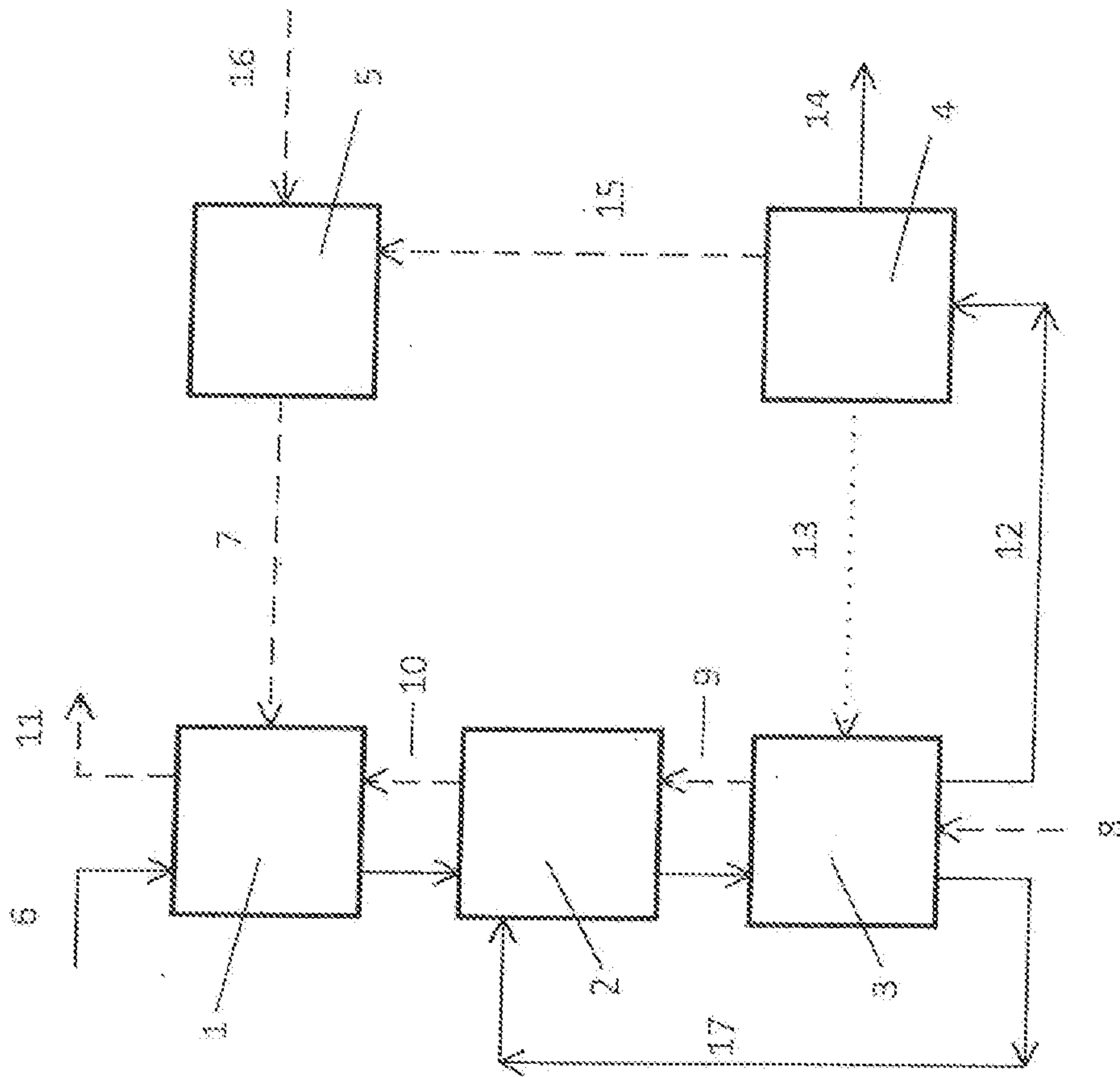


Fig. 1

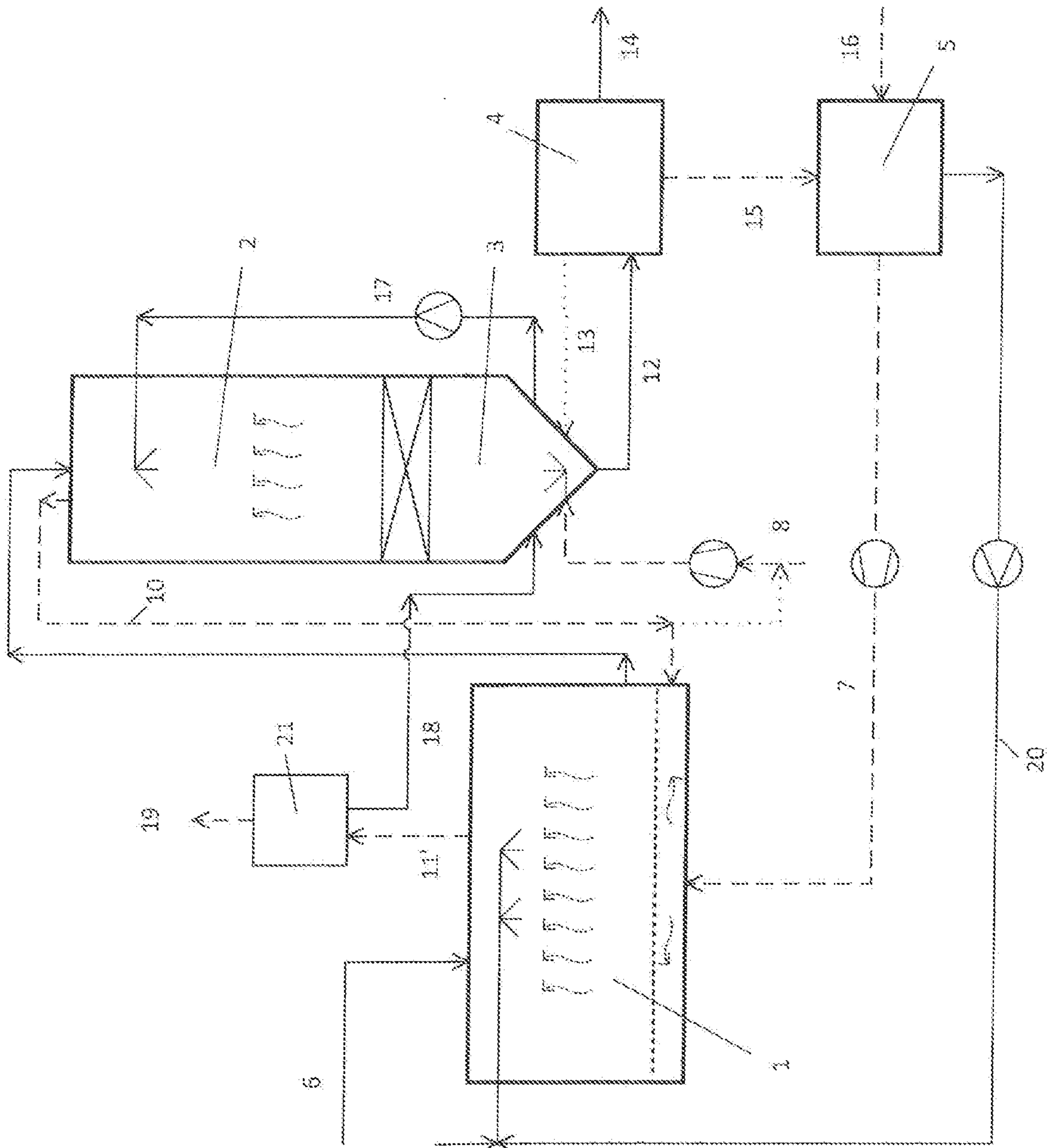


Fig. 2