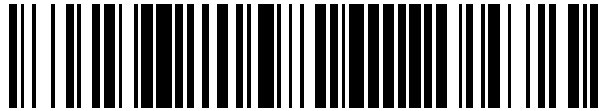


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 886 477**

51 Int. Cl.:

C12P 5/02 (2006.01)
C12P 7/22 (2006.01)
C12P 7/40 (2006.01)
C12P 7/52 (2006.01)
C12P 17/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.06.2016 PCT/EP2016/062736**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **22.12.2016 WO16202616**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.06.2016 E 16728662 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.07.2021 EP 3307895**

54 Título: **Procedimiento para la producción simultánea de biogás y al menos un compuesto orgánico**

30 Prioridad:

15.06.2015 DE 102015210871

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.12.2021

73 Titular/es:

**VERBIO VEREINIGTE BIOENERGIE AG (100.0%)
Ritterstrasse 23
04109 Leipzig, DE**

72 Inventor/es:

**LÜDTKE, OLIVER;
SCHLIMBACH, MICHAEL y
FICHTER, ENRICO**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 886 477 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la producción simultánea de biogás y al menos un compuesto orgánico

5 Antecedentes de la invención

Campo técnico

La invención se refiere a un procedimiento para el uso material de sustrato orgánico heterogéneo mediante un
10 procedimiento de degradación anaeróbica, donde el sustrato orgánico se degrada a al menos un producto objetivo orgánico y biogás.

Descripción del estado de la técnica

15 Se conoce la degradación del sustrato orgánico por procedimientos microbianos anaeróbicos, también conocidos como fermentaciones. Estas fermentaciones se llevan a cabo habitualmente con el objetivo de obtener un producto valioso a partir de un sustrato comparativamente económico. El sustrato utilizado es una sustancia orgánica o una mezcla de distintas sustancias orgánicas. En función del sustrato y del producto deseado, ciertos microorganismos o grupos de microorganismos son adecuados para el procedimiento de fermentación. Para una fermentación exitosa,
20 además del suministro de sustrato, se deberá garantizar el suministro de nutrientes y el mantenimiento de parámetros favorables del procedimiento, como la temperatura y la presión.

La formación de biogás o biometano a partir de un sustrato orgánico es un ejemplo de un procedimiento anaeróbico microbiano técnicamente utilizado. La producción de biogás se ha vuelto cada vez más importante en los últimos años.
25 Si bien el tratamiento anaeróbico de lodos de depuradora fue inicialmente el foco de interés con el objetivo de reducir los lodos con la formación de biogás, más recientemente el foco ha estado en la producción de biogás a partir de biomasa agrícola cultivada, como el ensilaje de plantas enteras, a veces también combinado con la fermentación de estiércol líquido u otros excrementos de la ganadería. Para que un procedimiento de biogás de este tipo sea rentable, se requiere el mayor rendimiento posible de biogás en función del sustrato orgánico utilizado. Hay una serie de
30 propuestas técnicas que persiguen este objetivo. El estado de la técnica para lograr altos rendimientos de biogás es una carga de sustrato moderada y constante y un aporte adecuado de macro y micronutrientes, así como la implementación del mayor tiempo de retención posible del sustrato en el procedimiento de fermentación. Con respecto a la eficiencia económica de una planta, se deberá encontrar un compromiso entre una carga de gran volumen y un tiempo de permanencia prolongado y el alto rendimiento de biogás asociado. Por lo general, el compromiso es
35 aumentar el rendimiento del sistema hasta que la calidad del procedimiento disminuya de forma apreciable o la estabilidad del procedimiento disminuya. La evaluación de la calidad o estabilidad del procedimiento se basa en el rendimiento del biogás o en el análisis del contenido del fermentador para detectar la presencia de ácidos orgánicos volátiles (AOV). Estos AOV (por ejemplo, ácido acético, ácido propiónico, ácido butírico y otros ácidos carboxílicos) son productos intermedios de la degradación del sustrato anaeróbico. Su acumulación en el contenido del fermentador
40 significa una degradación incompleta del sustrato en relación con la formación de metano. Por lo tanto, según la enseñanza actual, se busca una concentración baja de AOV en la producción de biogás. La concentración de AOV se puede determinar cuantitativamente, por ejemplo, mediante análisis cromatográficos, o semicuantitativamente como un parámetro de suma (valor de AOV o valor de AOV/TAC) mediante procedimientos de titulación.

45 También existen conceptos para aumentar la eficiencia de las plantas de biogás a través de procedimientos de múltiples etapas. Las plantas con una separación espacial en fermentación principal y postfermentación, que a su vez pueden implementarse en varias etapas, son conocidas por el experto en la técnica y son habituales en la práctica. En algunos casos, la postfermentación también se utiliza como una instalación de almacenamiento de digestatos. Por lo general, el sustrato solo se introduce en el procedimiento de fermentación principal. Esto asegura un tiempo de
50 permanencia mínimo para el sustrato fresco. Las etapas individuales no difieren considerablemente entre sí con respecto a las condiciones del procedimiento y su composición microbiológica. Todos los procedimientos de degradación se producen en paralelo.

Un procedimiento de este tipo se describe, por ejemplo, en EP2419516B1. En este procedimiento, en la primera etapa,
55 el sustrato que contiene sólidos se fermenta con poca acumulación de AOV hasta un máximo de 4 g/l, preferentemente hasta 2 g/l. En la segunda etapa, el sustrato parcialmente licuado y parcialmente convertido se fermenta por completo. La separación en dos etapas y el mezclado distinto en las dos etapas tienen como objetivo mejorar el rendimiento del procedimiento en general. Mantener un bajo contenido de AOV en la primera etapa tiene como objetivo evitar que se inhiba la formación de metano y se logra reciclando el drenaje de la segunda etapa.

60 También es conocida por el experto en la técnica una separación espacial de los procedimientos de degradación microbiológica de una planta de biogás con el objetivo de incrementar la eficiencia de la planta. Tales procedimientos

se proponen, por ejemplo, en DE19937876C2 y DE102011106772A1.

DE19937876C2 describe un procedimiento de dos etapas que consiste en hidrólisis controlada y formación de metano espacialmente separada. Mediante un ajuste específico del valor de pH y el potencial redox, se promueve la formación de ácido en la etapa de hidrólisis y al mismo tiempo se suprime la formación de metano. En la segunda etapa, las condiciones del procedimiento se establecen en un intervalo favorable para los microorganismos metanogénicos. La desventaja de este procedimiento es la regulación del pH y redox en la hidrólisis mediante la inyección de gases, en particular aire, ya que la introducción de oxígeno conduce inevitablemente a una proporción de degradación aeróbica y, por lo tanto, a una reducción del rendimiento y a problemas con más utilización de gas.

El documento DE102011106772A1 enseña un procedimiento de dos etapas para generar gas metano a partir de un residuo orgánico que contiene sólidos y líquidos, que consiste en hidrólisis y formación de metano. Se propone operar la hidrólisis de tal manera que no se forme metano en ella, de modo que los sólidos puedan separarse de ella sin la posibilidad de formar metano. Los ácidos orgánicos contenidos en el líquido después de la separación de los sólidos se convierten completamente en gas metano en la segunda etapa.

Además, también se conoce la recuperación de los ácidos orgánicos formados en una hidrólisis. Por ejemplo, el documento WO2014072756A1 propone un procedimiento para la degradación microbiana del sustrato orgánico con el fin de recuperar sustancias y nutrientes valiosos. La característica esencial es la hidrólisis microbiana y la acidificación del sustrato para obtener un permeado que contiene ácidos orgánicos. La hidrólisis y acidificación del sustrato se promueve ajustando el pH, el valor redox o la temperatura, así como un tiempo de permanencia muy corto. El permeado contenido en ácidos orgánicos se puede utilizar en otros procedimientos.

El documento EP0918876B1 también describe un procedimiento para obtener ácidos orgánicos o sales de ácidos orgánicos mediante fermentación anaeróbica a partir de biomasa. Se muestra que un pH por debajo de 5,8 inhibe eficazmente la formación de metano. Además, la formación de metano puede suprimirse administrando inhibidores. El gas producido durante la degradación anaeróbica a ácidos consiste en dióxido de carbono, hidrógeno y posiblemente también metano. Se menciona que para un alto rendimiento de ácidos deberá formarse la menor cantidad de gas posible.

El documento WO-A-2009/047275 describe un procedimiento para generar gas metano y otro producto en un cocultivo en una cámara de reacción, es decir, un reactor sin separación espacial con glicerol como sustrato.

Los procedimientos actualmente conocidos para la fermentación de sustratos orgánicos tienen como objetivo generar biogás o biometano o centrarse en la generación de ácidos orgánicos. Si bien se deberá considerar que los ácidos orgánicos en la producción de biogás o biometano reducen el rendimiento y se promueve deliberadamente su degradación, la degradación adicional a biogás o metano es indeseable en la producción de sustancias valiosas en una hidrólisis y se suprime deliberadamente.

Existen conceptos para combinar una hidrólisis separada y una fermentación de metano corriente adelante. Sin embargo, estos tienen como único objetivo aumentar la eficiencia del rendimiento de biogás o biometano. Además, la separación espacial de las etapas de degradación microbiana tiene como resultado desventajas con respecto a la formación de gas, ya que en la etapa de hidrólisis también se libera gas que, además de dióxido de carbono, también contiene cantidades relevantes de hidrógeno y metano. Además, el sulfuro de hidrógeno también se forma en particular en la hidrólisis y acidificación de sustratos ricos en proteínas. El flujo de gas de la hidrólisis deberá limpiarse siempre. Es difícil un uso económico del flujo de gas obtenido a partir de una hidrólisis y/o acidificación pura.

No se conocen procedimientos que, sin separación espacial de las distintas etapas de degradación, produzcan un producto objetivo y, al mismo tiempo, biogás o metano en una cámara de reacción.

Tarea y solución

Por tanto, el objeto de la invención es convertir sustratos orgánicos heterogéneos, en particular también residuos orgánicos, en al menos un producto objetivo orgánico y biogás mediante un procedimiento de degradación anaeróbico eficaz y rentable y así conseguir un valor añadido importante.

El objetivo se logra mediante un procedimiento para obtener al menos un producto objetivo orgánico y biogás, que comprende las etapas siguientes:

- a) agregar un sustrato orgánico heterogéneo a un procedimiento de fermentación anaeróbica;
- b) en este procedimiento de fermentación anaeróbica, llevar a cabo la hidrólisis, acidificación y metanización mediante un cultivo mixto de bacterias y arqueas en una cámara de reacción;

- 5 c) suprimir parcialmente la fermentación anaeróbica por medio del tiempo de permanencia hidráulica del procedimiento de fermentación anaeróbica y/o el suministro de sustrato y/o la temperatura del procedimiento de fermentación anaeróbica y/o la limitación de al menos un nutriente en el procedimiento de fermentación anaeróbica y/o controlar la concentración de un inhibidor en el procedimiento de fermentación anaeróbica, como resultado de lo cual parte del sustrato orgánico no se descompone por completo en biogás o metano;
- 10 d) enriquecer al menos un producto objetivo como un producto metabólico orgánico de un cultivo mixto de bacterias en el procedimiento de fermentación a través de la degradación incompleta dirigida del sustrato orgánico;
- e) el biogás formado por las arqueas en el proceso de fermentación anaeróbica presenta un contenido de hidrógeno inferior al 5 % y se obtiene para su uso posterior; y
- 10 f) obtener al menos un producto objetivo orgánico para su uso posterior en el procedimiento de fermentación anaeróbica.

Para lograr este objetivo, la invención proporciona un procedimiento según la reivindicación 1. En las reivindicaciones dependientes se mencionan otros desarrollos ventajosos.

15 En una forma de realización preferida, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que la proporción de hidrógeno en el biogás formado durante el procedimiento de fermentación anaeróbica sea inferior al 2 %, de forma especialmente preferente inferior al 1 %.

20 En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que al menos dos productos objetivo se obtengan por separado del procedimiento de fermentación anaeróbica.

En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que uno de los productos objetivo contiene un ácido orgánico.

25 En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que uno de los productos objetivo contenga un compuesto aromático.

30 En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que un flujo de material que se produce en la producción de un producto objetivo se retroalimente a un procedimiento de fermentación anaeróbica.

35 En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que el enriquecimiento de al menos un producto objetivo se controle mediante el tiempo de permanencia hidráulica del procedimiento de fermentación anaeróbica.

40 En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que el enriquecimiento de al menos un producto objetivo se controle mediante el suministro de sustrato del procedimiento de fermentación anaeróbica.

45 En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que el enriquecimiento de al menos un producto objetivo se controle mediante la temperatura del procedimiento de fermentación anaeróbica.

50 En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que el enriquecimiento de al menos un producto objetivo se controle mediante la limitación de al menos un nutriente en el procedimiento de fermentación anaeróbica.

55 En otra realización preferida, el procedimiento según la invención está diseñado para que el enriquecimiento de al menos un producto objetivo limitando al menos un nutriente que consiste en los elementos boro, hierro, potasio, cobalto, cobre, magnesio, manganeso, molibdeno, sodio, níquel, fósforo, azufre, selenio, nitrógeno, tungsteno o zinc se controle en el procedimiento de fermentación anaeróbica.

60 En otra realización preferida, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que el enriquecimiento de al menos un producto objetivo se controle mediante la concentración de un inhibidor en el procedimiento de fermentación anaeróbica.

En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que el enriquecimiento de al menos un producto objetivo se controle mediante la concentración del contenido de sulfuro en el procedimiento de fermentación anaeróbica.

En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que el

enriquecimiento de al menos un producto objetivo se controle mediante la concentración del contenido de amonio en el procedimiento de fermentación anaeróbica.

5 En una realización preferida adicional, el procedimiento de acuerdo con la invención está diseñado de tal manera que el enriquecimiento de al menos un producto objetivo se controle mediante la concentración del contenido de amonio de al menos 4.000 mg/l, preferentemente al menos 5.000 mg/l, en particular preferentemente al menos 6.000 mg/l y de manera muy en particular preferida al menos 7.000 mg/l en el medio de fermentación.

10 En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que se obtenga al menos un producto objetivo por medio de decapado.

15 En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que al menos un producto objetivo se obtenga por medio de al menos un procedimiento de separación térmica, tal como, por ejemplo, destilación.

En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que se obtenga al menos un producto objetivo por extracción.

20 En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que se obtenga un producto objetivo después de la separación sólido-líquido del medio de fermentación.

En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que el procedimiento de fermentación anaeróbica se lleve a cabo en varias etapas.

25 En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que el procedimiento de fermentación anaeróbica se lleve a cabo a un pH mayor que 6, preferentemente mayor que 7, preferentemente mayor que 7,5.

30 En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que el procedimiento de fermentación anaeróbica se lleve a cabo al menos de forma casi continua.

En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que al menos un producto objetivo se obtenga simultáneamente con la fermentación.

35 En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que se obtenga al menos un producto objetivo después de un primer procedimiento de fermentación.

En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que uno de los productos objetivo contiene un ácido orgánico.

40 En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que uno de los productos objetivo contenga un compuesto aromático.

45 En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que se obtenga al menos un producto objetivo por medio de decapado.

50 En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que al menos un producto objetivo se obtenga por medio de al menos un procedimiento de separación térmica, tal como, por ejemplo, destilación.

En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que se obtenga al menos un producto objetivo por extracción.

55 En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que el procedimiento de fermentación anaeróbica se lleve a cabo al menos de forma casi continua.

En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que al menos un producto objetivo se obtenga simultáneamente con la fermentación.

60 En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que se obtenga al menos un producto objetivo después de un primer procedimiento de fermentación.

En una realización preferida adicional, el procedimiento según la invención está diseñado de tal manera que el sustrato orgánico se fermente en biogás en un procedimiento anaeróbico de una sola etapa.

5 El procedimiento según la invención también se refiere en particular a todas las combinaciones de las realizaciones preferidas descritas anteriormente.

Descripción de la solución

10 El sustrato orgánico se puede convertir en biogás mediante la degradación microbiana controlada. La degradación microbiana tiene lugar esencialmente en tres etapas. Estas son la hidrólisis, la acidificación y la formación de metano. Mientras que un gran número de bacterias anaeróbicas obligatorias y facultativas catalizan la descomposición del sustrato orgánico en las dos primeras etapas de degradación, la formación de metano es responsabilidad de las arqueas anaeróbicas. Cuando el sustrato orgánico, que consiste esencialmente en los elementos C, H, O, N, S y P, se descompone por completo, los productos finales son dióxido de carbono, metano y agua, así como amoníaco, 15 sulfuro de hidrógeno y fosfato inorgánico. En función de las condiciones del procedimiento, los productos finales se escapan como gases o se disuelven en el medio acuoso como iones.

Este procedimiento de degradación tiene lugar esencialmente en cascada. Las sustancias formadas a partir de macromoléculas durante la hidrólisis, principalmente ácidos orgánicos de cadena larga, se utilizan como materias 20 primas para la acidificación. Durante la acidificación, los productos metabólicos de la hidrólisis se degradan aún más. A su vez, la acidificación está parcialmente estructurada en forma de cascada, ya que los ácidos orgánicos más grandes o de cadena más larga continúan descomponiéndose en ácidos de bajo peso molecular. Finalmente, el ácido acético formado sirve como material de partida para la formación de metano acetoclástico. Durante esta cascada de degradación, especialmente durante la acidificación, se forman dióxido de carbono e hidrógeno como subproductos. 25 El hidrógeno formado se convierte en metano mediante la formación de metano hidrogenotrófico con una parte del dióxido de carbono.

El acoplamiento muy estrecho material y energéticamente de las distintas etapas de degradación se ha examinado muchas veces. Se sabe que la hidrólisis y la acidificación pueden separarse espacialmente de la formación de metano. 30 Esto es bastante posible porque los microorganismos implicados son formas distintas con distintas condiciones óptimas de crecimiento. La formación de metano puede suprimirse selectivamente mediante una serie de medidas. Un valor de pH bajo, valores redox más altos, por ejemplo, debido a la introducción de oxígeno atmosférico, temperaturas más altas, tiempos de permanencia cortos y altas concentraciones de producto por acidificación se conduce a una supresión y, por lo tanto, a un agotamiento de la formación de metano. Además, los expertos en la 35 técnica conocen compuestos químicos que, cuando se añaden a la hidrólisis y la formación de ácidos, conducen a una inhibición selectiva de la formación de metano. Ejemplos de tales compuestos químicos son compuestos aromáticos tales como el fenol, compuestos halógenos tales como el ácido bromoetanosulfónico o sales del mismo, o también compuestos inorgánicos tales como el amonio o el cloruro.

40 La acumulación de AOV en particular se describe a menudo como inhibidor de la formación de metano. La información en la literatura especializada también varía en un amplio intervalo debido a los procedimientos de medición no uniformes. Sin embargo, en general, los AOV superiores a 4 g/l se consideran críticos. El amoníaco o el amonio son subproductos de la acidificación de compuestos orgánicos que contienen nitrógeno. Con respecto a la inhibición del amoníaco, existen incluso mayores fluctuaciones en la literatura especializada. La enseñanza general es que los 45 niveles más altos conducen a una inhibición de la formación de metano. Esto también se aplica al sulfuro de hidrógeno formado en la acidificación.

Los expertos ven la separación espacial de las etapas de degradación como una forma de aumentar la eficiencia, ya que las condiciones óptimas de procedimiento de los microorganismos implicados pueden establecerse en las zonas 50 separadas. Al menos en lo que respecta al hidrógeno, este concepto tiene sus límites. En sistemas separados espacialmente, el hidrógeno formado en la hidrólisis no está en contacto directo con los microorganismos responsables de la formación de metano y, por lo tanto, no puede convertirse directamente en metano. A continuación, el hidrógeno deberá evaluarse como una pérdida con respecto a la formación de metano, o deberá ponerse en contacto con los generadores de metano con un gran gasto técnico.

55 Además, el incentivo de la separación espacial de la hidrólisis y la acidificación reside en el enriquecimiento de ácidos orgánicos. Los expertos en la técnica conocen varios conceptos para obtener ácidos orgánicos a partir de medios de fermentación acuosos. Sin embargo, hasta ahora estos conceptos apenas han tenido importancia económica. Los ácidos orgánicos se obtienen mediante síntesis química a partir de materias primas de origen fósil o mediante 60 fermentaciones especiales. Con estas últimas, por regla general, no se utilizan sustratos orgánicos heterogéneos, sino medios definidos.

El objetivo de la presente invención es la producción rentable de productos orgánicos objetivo a partir de sustrato orgánico con la formación simultánea de biogás, en particular biometano. Un alto rendimiento global del sustrato es de crucial importancia en términos económicos.

5 Sorprendentemente, se ha demostrado que, contrariamente a la enseñanza general, una acumulación importante de al menos un producto objetivo orgánico en un procedimiento de fermentación anaeróbica de una sola etapa, donde la hidrólisis, acidificación y metanización se llevan a cabo mediante un cultivo mixto de bacterias y arqueas sin separación espacial, es posible de manera estable mientras se mantenga la fermentación del metano si la fermentación anaeróbica se suprime parcialmente. También se constató que varias medidas, en particular el control del suministro
10 de nutrientes, pueden afectar a la supresión parcial de la fermentación anaeróbica y, por tanto, al enriquecimiento del producto objetivo. Además, en las pruebas se descubrió que se puede lograr una degradación del sustrato constantemente alta en comparación con la fermentación completa. Esto hace posible utilizar un sustrato orgánico barato, como residuos orgánicos, para producir productos objetivo valiosos, así como biogás o metano en un procedimiento de fermentación simple.

15 En un procedimiento eficiente y rentable, el sustrato orgánico disponible se agrega a una fermentación operada anaeróbicamente. El sustrato orgánico pueden ser residuos orgánicos de procedimientos anteriores, residuos orgánicos del sector alimentario como sobras, materias primas renovables, en particular paja, o cualquier otra sustancia orgánica. Por supuesto, también son posibles mezclas de las sustancias mencionadas anteriormente como
20 sustratos orgánicos. Es ventajoso para el procedimiento que la composición del sustrato no esté sujeta a grandes fluctuaciones. El uso de lodos de depuradora es bastante inadecuado.

El contenido del fermentador consiste en un sustrato degradado de manera incompleta y contiene todos los microorganismos que son necesarios para la degradación completa del sustrato. Esto significa que en este
25 procedimiento de fermentación anaeróbica, la hidrólisis, acidificación y metanización se realizan mediante un cultivo mixto de bacterias y arqueas sin separación espacial. «Degradado de manera incompleta» significa que una parte matemática del sustrato no se ha degradado por completo en biogás, pero está enriquecida como al menos un producto metabólico orgánico soluble de al menos un microorganismo en la fase líquida en el procedimiento de fermentación. Este producto metabólico orgánico es el producto objetivo deseado. También es posible clasificar varios
30 productos metabólicos distintos como productos objetivo orgánicos deseados, que deberán obtenerse como una mezcla o por separado. La invención se explica a continuación sobre la base de la producción de un producto objetivo orgánico deseado y de biogás. Sin embargo, estas declaraciones no son expresamente restrictivas, sino que también pueden transferirse a la producción de varios productos orgánicos objetivo en un procedimiento de fermentación.

35 El sustrato agregado se descompone en la fermentación en el producto objetivo orgánico deseado y biogás. La fermentación puede consistir en un fermentador o varios fermentadores conectados de cualquier modo. El producto objetivo se enriquece en al menos uno de los fermentadores suprimiendo parcialmente la fermentación anaeróbica mediante medidas adecuadas. El biogás formado se descarga de la fermentación para su uso posterior. El drenaje de la fermentación también se retira para que el nivel de llenado del sistema de fermentación se mantenga en el intervalo
40 deseado. El drenaje contiene el producto orgánico objetivo. De esta manera también es posible enriquecer varios productos objetivo en el drenaje.

A la fermentación se le agregan los nutrientes necesarios para una degradación incompleta, ya sea el sustrato orgánico o dosificando productos adecuados. Estos son en particular boro, hierro, potasio, cobalto, cobre, magnesio,
45 manganeso, molibdeno, sodio, níquel, fósforo, azufre, selenio, nitrógeno, tungsteno y zinc. En función del sustrato utilizado, existe un potencial distinto para el enriquecimiento de ciertos productos objetivo. El enriquecimiento del producto objetivo deseado o la supresión parcial de la fermentación anaeróbica pueden verse considerablemente influenciados por la concentración de al menos un nutriente. Controlando la dosis de al menos un nutriente relevante, la concentración de un nutriente puede reducirse o aumentarse deliberadamente para promover la formación de un
50 producto objetivo o para suprimir la degradación anaeróbica del producto objetivo enriquecido por medio de limitación o inhibición. Además, la dosificación de un inhibidor puede promover la formación de un producto objetivo o impedir su degradación.

La agregación de sustrato se controla de tal manera que se mantenga la concentración deseada del producto objetivo.
55 Además, el sustrato se suministra de tal manera que el valor de pH en el fermentador no baje de 6, preferentemente 7, preferentemente 7,5.

Esto asegura que el contenido de hidrógeno en el gas sea menor que un 5 %, preferentemente menor que un 2 %, en particular preferentemente menor que un 1 %.

60 El procedimiento de fermentación se lleva a cabo con las medidas adecuadas en un intervalo de temperatura favorable. Las fermentaciones generalmente se operan en el intervalo mesófilo o termófilo. Al variar la temperatura es posible

influir en la fermentación del metano y, por tanto, también en la formación del producto objetivo. Por ejemplo, un aumento de temperatura de unos pocos grados puede conducir a una mayor concentración del producto objetivo.

El principio de la invención se desprende de los resultados de las pruebas de fermentación continua para el enriquecimiento de los productos objetivo, en particular el ácido propiónico, y la formación de metano. Los resultados esenciales de este experimento se muestran en la figura 1. En la figura 1 se muestran los valores medios semanales del contenido de ácido propiónico en el medio de fermentación y los rendimientos específicos de metano. Estos últimos son los rendimientos específicos de metano basados en el biogás formado, así como basados en el biogás formado más el potencial de gas contenido en los productos objetivo.

Al comienzo del experimento, el sustrato orgánico agregado se descompuso por completo en biogás o metano en un procedimiento de fermentación anaeróbica mesófila. El rendimiento específico de metano se sitúa en promedio en torno a $0,33 \text{ m}^3/\text{kg}$. Posteriormente, el contenido de nutrientes en el medio de fermentación se redujo específicamente reduciendo la dosis de solución nutritiva para aumentar la concentración de los productos objetivo en el medio de fermentación por medio de la limitación del procedimiento de degradación microbiana. Esto resultó en una supresión parcial de la fermentación anaeróbica y fue posible, por ejemplo, enriquecer el ácido propiónico hasta una concentración de 12.000 g/m^3 en el medio de fermentación. Al mismo tiempo, esta degradación incompleta del sustrato redujo el rendimiento de gas y el rendimiento de metano. El rendimiento específico de metano disminuyó a aproximadamente $0,25 \text{ m}^3/\text{kg}$. Sin embargo, teniendo en cuenta el potencial de metano de los productos objetivo, junto con el rendimiento de metano específico medido, se obtiene un rendimiento de metano específico comparable al del comienzo del experimento con resultados completos de expansión del sustrato. Este rendimiento de metano específico calculado también es de alrededor de $0,33 \text{ m}^3/\text{kg}$ durante el enriquecimiento de los productos objetivo y en la zona estacionaria al final del experimento. Por tanto, el enriquecimiento de los productos objetivo en el medio de fermentación no se realiza a expensas de la utilización del sustrato. Además, se encontró en el experimento que el gas de fermentación consistía solo en los componentes metano, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno dentro de la precisión de la medición durante toda la duración del experimento. No se pudo medir una mayor formación de hidrógeno, como ocurre normalmente con la formación dirigida de ácidos en una etapa de hidrólisis y/o acidogénesis.

El producto objetivo contenido en el drenaje puede obtenerse del drenaje y purificarse mediante una serie de procedimientos. En función de la propiedad del producto de destino relevante, estos se adaptan de manera distinta. Los posibles procedimientos son destilación, extracción, separación sólido-líquido, cristalización, separación por membranas y decapado. El uso de cualquier combinación también es obvio para el experto en la técnica. La extracción del producto objetivo del drenaje suele ser después del procedimiento de fermentación. Sin embargo, también es posible combinar la extracción del producto objetivo con el procedimiento de fermentación, por ejemplo, en el caso de separación por membrana o decapado. En función de los requisitos, el producto de destino puede obtenerse como una sustancia pura, solución o suspensión o, en general, como una mezcla de sustancias.

Los materiales residuales que surgen en el procedimiento, como el digestato o el agua de procedimiento, así como los flujos de procedimiento con ingredientes indeseables, se pueden descargar o al menos parcialmente retroalimentar al procedimiento. Además de aumentar el rendimiento, esto también puede afectar a la formación del producto objetivo. Mediante el uso de corrientes de procedimiento, en particular agua de procedimiento, dentro del procedimiento, el tiempo de permanencia y/o la concentración de ingredientes relevantes en el procedimiento de fermentación también se pueden influir de manera selectiva. Esto se puede utilizar para influir en el enriquecimiento del producto objetivo.

La invención se ilustra en detalle a continuación en varios ejemplos de realización. Por supuesto, es posible combinar al menos partes de los ejemplos de realización entre sí. Esto se aplica en particular a la extracción de varios productos objetivo y a la gestión de los flujos de procedimiento.

Breve descripción de las figuras de los dibujos

La figura 1 muestra datos de una fermentación para el enriquecimiento de ácido propiónico y la formación de metano;

la figura 2 muestra un diagrama de flujo de una posible primera realización según la invención;

la figura 3 muestra un diagrama de flujo de una posible segunda realización según la invención;

la figura 4 muestra un diagrama de flujo de una posible tercera realización según la invención.

Descripción detallada de realizaciones preferidas

Las realizaciones de la invención se muestran en los dibujos y se describen con más detalle a continuación.

Realización 1

La posibilidad de una implementación técnica del procedimiento se ilustra a continuación utilizando la producción de ácido propiónico como producto objetivo y biogás. El ácido propiónico se puede formar a partir de una gran cantidad de materiales de partida a través de vías de degradación microbiana. Por ejemplo, se conocen las rutas de degradación del glicerol, aminoácidos, glucosa y otros azúcares tales como las pentosas y también de ácidos orgánicos a ácido propiónico. Evidentemente, también pueden obtenerse otros productos objetivo como ácidos orgánicos o productos metabólicos microbiológicos o sus mezclas utilizando el mismo principio. Las características esenciales de este ejemplo de realización también se pueden encontrar en la figura 2.

Los residuos orgánicos de la industria alimentaria y de alimentos de lujo, como restos de comida y residuos de cervecerías u otros procedimientos de fermentación, sirven como sustrato orgánico. El uso de estos residuos orgánicos es económicamente atractivo. Los ingredientes pueden variar según el origen de los residuos orgánicos. Se caracterizan por una alta proporción de residuos orgánicos o ESN (sustancias extraídas sin nitrógeno) y, en comparación con las materias primas renovables, una mayor proporción de proteínas.

Los intervalos de composición de la materia seca se pueden encontrar en la siguiente tabla:

| Componente | Contenido |
|------------------|---------------|
| Ceniza bruta | 5 % ... 15 % |
| Fibra bruta | 3 % ... 13 % |
| Proteína bruta | 20 % ... 40 % |
| Grasa bruta | 5 % ... 20 % |
| Restos orgánicos | 30 % ... 60 % |

En una primera etapa del procedimiento (1), los residuos orgánicos (100) se homogeneizan para formar un sustrato orgánico bombeable que contiene un sólido (101) y, si es necesario, se templan. El agua de procedimiento se puede recircular para establecer un contenido de materia seca favorable. El sustrato (101) tiene un contenido de materia seca orgánica de entre un 10 % y un 25 %.

El sustrato bombeable (101) se agrega a un procedimiento de fermentación anaeróbica continuo (2). La carga media de la fermentación (2) con materia orgánica se establece en un intervalo de entre 2 y 6 kg/m³d. El tiempo de permanencia medio se establece en un intervalo de entre 20 y 60 días.

Además del sustrato, se agregan regularmente nutrientes al procedimiento de fermentación. Esto afecta específicamente a la microbiología contenida en el fermentador. La aplicación de niveles bajos de cobre, selenio y cobalto conduce a una supresión parcial de la fermentación anaeróbica y, como consecuencia directa, a una acumulación de ácido propiónico en el fermentador. La reducción de la concentración de estas sustancias puede ser apoyada por una precipitación de sulfuros en el procedimiento de fermentación. Los compuestos precipitados ya no están disponibles o solo están disponibles de forma muy limitada como nutrientes para los microorganismos. Los contenidos de cobre, selenio y cobalto se reducen hasta tal punto que hay una acumulación de ácido propiónico en el intervalo de entre 5.000 y 15.000 mg/l en el contenido del fermentador.

Para mantener condiciones ambientales favorables, en particular un valor de pH adecuado, puede ser útil agregar directa o indirectamente sustancias tampón al procedimiento de fermentación. Además del uso de sustratos con suficiente capacidad tampón, el valor de pH también puede verse afectado por la recirculación del fluido de procedimiento. En principio, también es posible la dosificación de soluciones tampón, como hidrogenocarbonato de sodio o lejía, pero esto conlleva costes adicionales. Con un funcionamiento constante del sistema y un suministro adecuado de otros nutrientes, es posible una conversión constantemente alta del sustrato con la formación de biogás.

El biogás (103) se compone de dióxido de carbono y metano, así como de sulfuro de hidrógeno. El contenido de estas sustancias, en particular el contenido de sulfuro de hidrógeno, varía según la composición del sustrato y las condiciones del procedimiento. La presencia de aminoácidos sulfurados o sulfatos en el sustrato utilizado o en otras agregaciones al procedimiento de fermentación conduce a mayores contenidos de sulfuro de hidrógeno en el contenido del fermentador y en el gas. Su contenido está normalmente en un intervalo comprendido entre 0,1 % y 2 %. El biogás bruto (103) formado se descarga del fermentador y se agrega a un sistema de limpieza (3). En esta limpieza (3) se elimina el sulfuro de hidrógeno para que el biogás limpio (104) pueda utilizarse como energía en una planta de cogeneración corriente adelante (4).

El drenaje (105) enriquecido con ácido propiónico en el procedimiento de fermentación se descarga del fermentador y se agrega a una extracción (5). El extractante (106) es un líquido que enriquece selectivamente el ácido propiónico y al mismo tiempo no se disuelve o apenas se disuelve en el agua. La presencia de los sólidos contenidos en el drenaje generalmente se puede tolerar durante la extracción. La extracción consiste en una secuencia de procedimientos de mezcla y desmezcla con la adición de extractante fresco, parcialmente cargado o regenerado. Como resultado, se obtiene un extracto (107) que contiene el ácido propiónico y un drenaje empobrecido (108).

El ácido propiónico (109) se obtiene en una etapa de separación térmica (6), por ejemplo, una destilación. El extractante se separa del ácido propiónico. Mientras que el ácido propiónico (109) se obtiene como un material valioso, por ejemplo, para la industria química, el extractante (106) se puede recircular en el procedimiento. Cualquier pérdida de extractante deberá reintegrarse al procedimiento. La calidad del ácido propiónico obtenido depende de la elección del extractante y de la ejecución de la etapa de separación térmica. El ácido propiónico obtenido puede, en función de los requisitos de uso posteriores, contener también agua, residuos del extractante y también otros ingredientes como, por ejemplo, otros ácidos orgánicos. Para mejorar el procedimiento de extracción, puede resultar útil acidificar el drenaje (105). En este caso, el carbonato unido se expulsa como CO₂ y deberá eliminarse.

El drenaje empobrecido (108) obtenido en la etapa de extracción se puede utilizar de la forma habitual. Si es necesario después de una separación sólido-líquido (7), la fase líquida (111) obtenida en el procedimiento se puede utilizar en la homogeneización del sustrato. Un sólido acumulado (110) o el drenaje empobrecido (108) también se pueden vender como fertilizante.

En otra variante, la separación sólido-líquido también puede tener lugar entre la fermentación y la extracción. En este caso, del tratamiento del drenaje se obtiene un sólido con residuos de ácido propiónico y sólo la fase líquida producida, si es necesario después de bajar el pH, se agrega a la extracción. El requerimiento de ácido para el ajuste del pH de la fase líquida puede reducirse considerablemente en comparación con el requerimiento de ácido para el ajuste del pH del drenaje si se separa una capacidad tamponadora importante con el sólido.

Realización 2

Otra posibilidad de una implementación técnica del procedimiento se ilustra a continuación en base a la producción de compuestos aromáticos como, por ejemplo, cresol y/o escatol y metano. Estas sustancias son representativas de productos objetivo que surgen durante la fermentación de sustratos ricos en proteínas en particular y que están predominantemente no disociados. Las características esenciales de este ejemplo de realización se pueden encontrar en la figura 3. Las siguientes explicaciones solo se formulan utilizando cresol como producto de destino como ejemplo.

Los residuos orgánicos como se describen en la realización ejemplar 1 u otros sustratos orgánicos con un contenido relevante de proteínas y/o compuestos aromáticos sirven como sustrato orgánico. Los sustratos orgánicos con contenidos importantes de los aminoácidos aromáticos fenilalanina, triptófano o tirosina o con contenidos de otros compuestos aromáticos similares son en particular interesantes para tal procedimiento, ya que los posibles productos metabólicos intermedios de la degradación anaeróbica pueden ser los productos objetivo cresol y/o escatol. Ambos productos objetivo pueden degradarse por completo anaeróbicamente si permanecen allí durante un período de tiempo más largo y si hay un suministro adecuado de nutrientes.

En una primera etapa del procedimiento (1), los residuos orgánicos (100) se homogeneizan para formar un sustrato orgánico bombeable (101) y, si es necesario, se templan. El agua de procedimiento se puede recircular para establecer un contenido de materia seca favorable. El sustrato (101) tiene un contenido de materia seca orgánica de entre un 5% y un 30%. El sustrato bombeable (101) se agrega a un procedimiento de fermentación anaeróbica continuo (2).

La carga media de la fermentación (2) con materia orgánica se establece en un intervalo de entre 2 y 8 kg/m³d. El tiempo de permanencia medio se establece en un intervalo de menos de 50 días, preferentemente menos de 30 días, de manera en particular preferida de menos de 20 días. Un alto suministro de sustrato y un tiempo de permanencia comparativamente corto dan como resultado una supresión parcial de la fermentación anaeróbica. En la fermentación, los componentes del sustrato principalmente más fácilmente degradables se descomponen inicialmente por completo, mientras que los productos metabólicos aromáticos, en particular el cresol, se acumulan en el medio de fermentación.

La supresión parcial de la fermentación anaeróbica o la degradación anaeróbica adicional del producto objetivo pueden verse afectadas por niveles altos de amonio y, por otro lado, niveles bajos de micronutrientes. El contenido de nutrientes se puede mantener en intervalos favorables mediante mediciones regulares de los sustratos utilizados y el contenido de fermentación, así como una dosis adaptada. Los nutrientes (102) pueden introducirse en la mezcla (1), por ejemplo. Con un funcionamiento constante del sistema y un suministro adecuado de otros nutrientes, es posible una conversión constantemente alta del sustrato con la formación de biogás.

El drenaje (105) que contiene cresol se descarga de la fermentación (2) y se agrega a una separación sólido-líquido (7). El nivel de llenado y por lo tanto la cámara de reacción en la fermentación se mantienen lo más constante posible o al menos en un intervalo favorable. La separación sólido-líquido (7) crea un sólido (110) y un líquido (111). Este último contiene la mayor parte del cresol contenido en el drenaje. El líquido (111) se agrega a un procedimiento de decapado (8). En el decapado (8) el cresol volátil al vapor se expulsa del líquido con un gas de decapado y se obtiene después de la condensación en la fase acuosa. El decapado también se puede realizar en combinación con otras operaciones de separación. Las temperaturas más altas favorecen el procedimiento de decapado. En función de las condiciones del procedimiento, también se puede superar la solubilidad del cresol en agua, de modo que se pueden obtener cristales. El producto objetivo cresol (109) se descarga del decapado (8) para su uso posterior. El líquido empobrecido (112) se descarga del decapado (8) como segundo medio.

Parte del líquido empobrecido (112) se utiliza para establecer el tiempo de permanencia deseado mediante recirculación en la fermentación (2). El líquido empobrecido se puede agregar primero en la mezcla (1) o, alternativamente, directamente en la fermentación (2).

La otra parte del líquido empobrecido se agrega a la fermentación secundaria (2c) junto con el sólido (110). En la fermentación secundaria, el potencial de gas residual contenido en los sólidos y el líquido empobrecido se utiliza mediante fermentación anaeróbica continua.

El biogás bruto resultante de la fermentación secundaria (103b) se agrega a una depuración (3) junto con el biogás bruto (103) de la primera fermentación (2). Allí se separan el sulfuro de hidrógeno y posiblemente otros componentes. El biogás limpio (104) pasa a la eliminación de CO₂ (9). Allí, el dióxido de carbono se separa y se descarga (113), por ejemplo, mediante adsorción por cambio de presión, mientras que el metano (114) obtenido se recupera para su uso posterior. Una vez establecido el poder calorífico, el metano puede, por ejemplo, introducirse en la red de gas natural y utilizarse para la recuperación de material o energía.

El digestato (115) extraído de la fermentación secundaria (2c) contiene los minerales agregados con el sustrato y/o los nutrientes y se puede reciclar, por ejemplo, como fertilizante. En una realización alternativa, parte del líquido empobrecido (112) también se puede eliminar de la fermentación secundaria junto con el digestato (115). También es concebible una descarga por separado.

En una realización adicional, también es posible obtener el producto objetivo directamente del procedimiento de fermentación utilizando un medio de separación adecuado. Por ejemplo, es posible recircular biogás a través del medio de fermentación con una separación del producto objetivo fuera de la fermentación.

Realización 3

Otra posibilidad de una implementación técnica del procedimiento se ilustra a continuación sobre la base de la recuperación de ácido isovalérico y metano. Este procedimiento también se puede utilizar para obtener otros ácidos orgánicos, en particular ácidos carboxílicos aromáticos o de cadena corta, tales como ácido isobutírico, ácido butírico, ácido valérico, ácido caproico y/o ácido benzoico o mezclas correspondientes. La característica de estos productos objetivo es su acumulación en forma disociada en el medio de fermentación. Las características esenciales de este ejemplo de realización se pueden encontrar en la figura 4.

Los residuos orgánicos como se describen en la realización ejemplar 1 u otros sustratos orgánicos con un contenido relevante de compuestos orgánicos basados en al menos estructuras C5 y/o C6 sirven como sustrato orgánico. Estos pueden ser en particular proteínas o aminoácidos, así como carbohidratos como pentosanos. Dichos compuestos se pueden degradar anaeróticamente a través del producto metabólico ácido isovalérico. Al suprimir parcialmente la fermentación anaeróbica, es posible enriquecer el ácido isovalérico en el medio de fermentación. En principio, deberían estar presentes cantidades relevantes de compuestos en el sustrato que consisten en bloques de construcción básicos con al menos un número tan alto de átomos de carbono conectados como átomos de carbono haya en el producto objetivo.

En una primera etapa del procedimiento (1), los residuos orgánicos (100) se homogeneizan para formar un sustrato orgánico bombeable (101) y, si es necesario, se templan. El agua de procedimiento se puede recircular para establecer un contenido de materia seca favorable. El sustrato (101) tiene un contenido de materia seca orgánica de entre un 5 % y un 30 %. El sustrato bombeable (101) se agrega parcialmente a un procedimiento de fermentación anaeróbica (2). Otra parte del sustrato se agrega a un procedimiento de fermentación anaeróbica adicional (2b). También es posible realizar la mezcla por separado para los respectivos procedimientos de fermentación con el fin de controlar el suministro de los residuos y/o agua de procedimiento a las fermentaciones individuales.

Mientras que en una fermentación (2) las condiciones del procedimiento se establecen de tal manera que hay una

supresión parcial de la fermentación anaeróbica y, como resultado, la formación de gas reducida (103) y el enriquecimiento de ácido isovalérico en el medio de fermentación, en la otra fermentación (2b) las condiciones del procedimiento se eligen de modo que no se restrinja ni se promueva la degradación anaeróbica completa del sustrato. La carga media de las fermentaciones (2, 2b) con materia orgánica se establece en un intervalo comprendido entre 2 y 8 kg/m³d. El tiempo de permanencia medio se establece en un intervalo de entre 20 y 60 días.

Para suprimir parcialmente la fermentación anaeróbica (2) de manera selectiva y así promover la acumulación de ácido isovalérico en el medio de fermentación, se implementa un suministro de sustrato comparativamente alto.

10 Con el mismo objetivo, se establece una temperatura de fermentación más alta que la otra fermentación (2b) y/o se reduce el aporte de nutrientes y/o se mantiene deliberadamente alta la concentración de sulfuro y/o amonio en el medio de fermentación. Son ventajosos contenidos de amonio de al menos 4.000 mg/l, preferentemente al menos 5.000 mg/l, de manera en particular preferida al menos 6.000 mg/l y muy en particular preferentemente al menos 7.000 mg/l en el medio de fermentación.

15 Los elementos boro, hierro, potasio, cobalto, cobre, magnesio, manganeso, molibdeno, sodio, níquel, fósforo, azufre, selenio, nitrógeno, tungsteno y zinc son importantes para el uso eficiente del sustrato durante la degradación anaeróbica. En función de la concentración y disponibilidad de los elementos respectivos en los residuos suministrados y su concentración y disponibilidad en el medio de fermentación, estos deberán suministrarse adicionalmente. Estos nutrientes (102, 102b) se agregan a las respectivas fermentaciones (2, 2b) por separado.

Para mantener un valor de pH adecuado, puede ser útil agregar directa o indirectamente sustancias tampón al procedimiento de fermentación. Además del uso de sustratos con suficiente capacidad tampón, el valor de pH también puede verse afectado por la recirculación del fluido de procedimiento. En principio, también es posible la dosificación de soluciones tampón, como hidrogenocarbonato de sodio o lejía, pero esto conlleva costes adicionales. La fermentación se lleva a cabo a un pH del medio de fermentación de al menos 6, preferentemente de al menos 7, preferentemente de al menos 7,5.

30 El drenaje (105) que contiene ácido isovalérico se descarga de la fermentación (2) y se agrega a una separación sólido-líquido (7). El nivel de llenado y por lo tanto la cámara de reacción en la fermentación se mantienen lo más constante posible o al menos en un intervalo favorable. La separación sólido-líquido (7) crea un sólido (110) y un líquido (111). Este último contiene la parte predominante del ácido isovalérico contenido en el drenaje, ya que está presente principalmente en forma disuelta.

35 El líquido (111) se agrega a una separación térmica (6). Esta separación térmica es, por ejemplo, una destilación de al menos una etapa. Al bajar el pH, el ácido valérico se convierte a su forma no disociada, de modo que se mejora la separación. La brecha de miscibilidad con agua a concentraciones más altas se utiliza para una separación eficiente del ácido isovalérico. Esta fase se puede separar o fraccionar adicionalmente mediante purificaciones adicionales, por ejemplo, una destilación adicional. Esto permite obtener una fase de ácido isovalérico con más de un 30 %, preferentemente más de un 40 %, de manera en particular preferida más de un 50 %, muy en particular preferentemente más de un 60 %. Dicho fraccionamiento puede tener lugar posteriormente, especialmente cuando se forman varios ácidos orgánicos como productos objetivo en la fermentación (2).

45 El líquido empobrecido (112) obtenido en la separación térmica se agrega junto con el sólido separado (110) de la otra fermentación (2b). Alternativamente, el líquido empobrecido (112) también se puede descargar.

En la fermentación (2b), las condiciones se establecen de tal manera que se produzca una utilización óptima del gas. Como resultado, el sustrato agregado

50 no solo se fermenta anaeróbicamente en biogás, sino que también se utiliza el potencial de gas residual contenido en el sólido (110) y el líquido empobrecido (112).

El drenaje (105b) descargado de la fermentación (2b) se descarga al menos parcialmente directamente como digestato (115) y, por ejemplo, se agrega al reciclaje de material y/o al menos parcialmente se agrega a una separación sólido-líquido (7b) para convertir el líquido (111b) para mezclar los materiales residuales o para otros usos. El sólido (110b) producido de esta manera se elimina de manera adecuada y se agrega un aprovechamiento de material y/o energía.

60 El biogás bruto formado en las fermentaciones (2, 2b) está formado esencialmente por los componentes metano, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno y, en función de la temperatura y la presión, de vapor de agua. Durante la fermentación (2) para obtener ácido isovalérico como producto objetivo, se escapa biogás bruto (103), que, sin embargo, no contiene cantidades importantes de hidrógeno. El contenido de hidrógeno suele estar por debajo del 1 %.

El biogás bruto resultante de las fermentaciones (103, 103b) se agrega junto a una limpieza (3). Allí se separan el sulfuro de hidrógeno y posiblemente otros componentes. El biogás limpio (104) pasa a la eliminación de CO₂ (9). Allí, el dióxido de carbono se separa y se descarga (113), por ejemplo, mediante absorción por oscilación de presión, mientras que el metano (114) obtenido se recupera para su uso posterior. Una vez establecido el poder calorífico, el metano puede, por ejemplo, introducirse en la red de gas natural y utilizarse para la recuperación de material o energía.

Lista de referencias

| | | |
|----|------|--------------------------------|
| 10 | 100 | residuos |
| | 101 | sustrato |
| | 102 | nutrientes |
| | 102b | nutrientes |
| | 103 | biogás crudo |
| 15 | 103b | biogás crudo |
| | 104 | biogás |
| | 105 | drenaje |
| | 105b | drenaje |
| | 106 | extractante |
| 20 | 107 | extracto |
| | 108 | drenaje empobrecido |
| | 109 | producto objetivo |
| | 110 | sólido |
| | 110b | sólido |
| 25 | 111 | líquido |
| | 111b | líquido |
| | 112 | líquido empobrecido |
| | 113 | CO ₂ |
| | 114 | metano |
| 30 | 115 | digestato |
| | 1 | mezcla |
| | 2 | fermentación |
| | 2b | fermentación |
| | 2c | fermentación secundaria |
| 35 | 3 | limpieza |
| | 4 | planta de cogeneración |
| | 5 | extracción |
| | 6 | separación térmica |
| | 7 | separación sólido-líquido |
| 40 | 7b | separación sólido-líquido |
| | 8 | decapado |
| | 9 | eliminación de CO ₂ |

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para obtener al menos un producto objetivo orgánico y biogás, **caracterizado porque**
- 5 a) se agrega un sustrato orgánico heterogéneo a un procedimiento de fermentación anaeróbica;
b) en este procedimiento de fermentación anaeróbica, se lleva a cabo la hidrólisis, acidificación y metanización mediante un cultivo mixto de bacterias y arqueas en una cámara de reacción;
c) se suprime parcialmente la fermentación anaeróbica por medio del tiempo de permanencia hidráulica del
10 procedimiento de fermentación anaeróbica y/o el suministro de sustrato y/o la temperatura del procedimiento de fermentación anaeróbica y/o la limitación de al menos un nutriente en el procedimiento de fermentación anaeróbica, como resultado de lo cual parte del sustrato orgánico no se descompone por completo en biogás o metano;
d) se enriquece al menos un producto objetivo como un producto metabólico orgánico de un cultivo mixto de bacterias en el procedimiento de fermentación a través de la degradación incompleta dirigida del sustrato orgánico;
15 e) el biogás formado por las arqueas en el proceso de fermentación anaeróbica presenta un contenido de hidrógeno inferior al 5 % y se obtiene para su uso posterior; y
f) se obtiene al menos un producto objetivo orgánico para su uso posterior en el procedimiento de fermentación anaeróbica.
- 20 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la proporción de hidrógeno en el biogás formado durante el procedimiento de fermentación anaeróbica es inferior al 2 %, con especial preferencia inferior al 1 %.
3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** al menos dos
25 productos objetivo se obtienen por separado del procedimiento de fermentación anaeróbica.
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** un flujo de material que se produce durante la producción de un producto objetivo se retroalimenta a un procedimiento de fermentación anaeróbica.
- 30 5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** se obtiene un producto objetivo tras la separación sólido-líquido del medio de fermentación.
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el
35 procedimiento de fermentación anaeróbica se realiza en varias etapas.
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el procedimiento de fermentación anaeróbica se realiza a un valor de pH superior a 6, preferentemente superior a 7, preferentemente superior a 7,5.
- 40

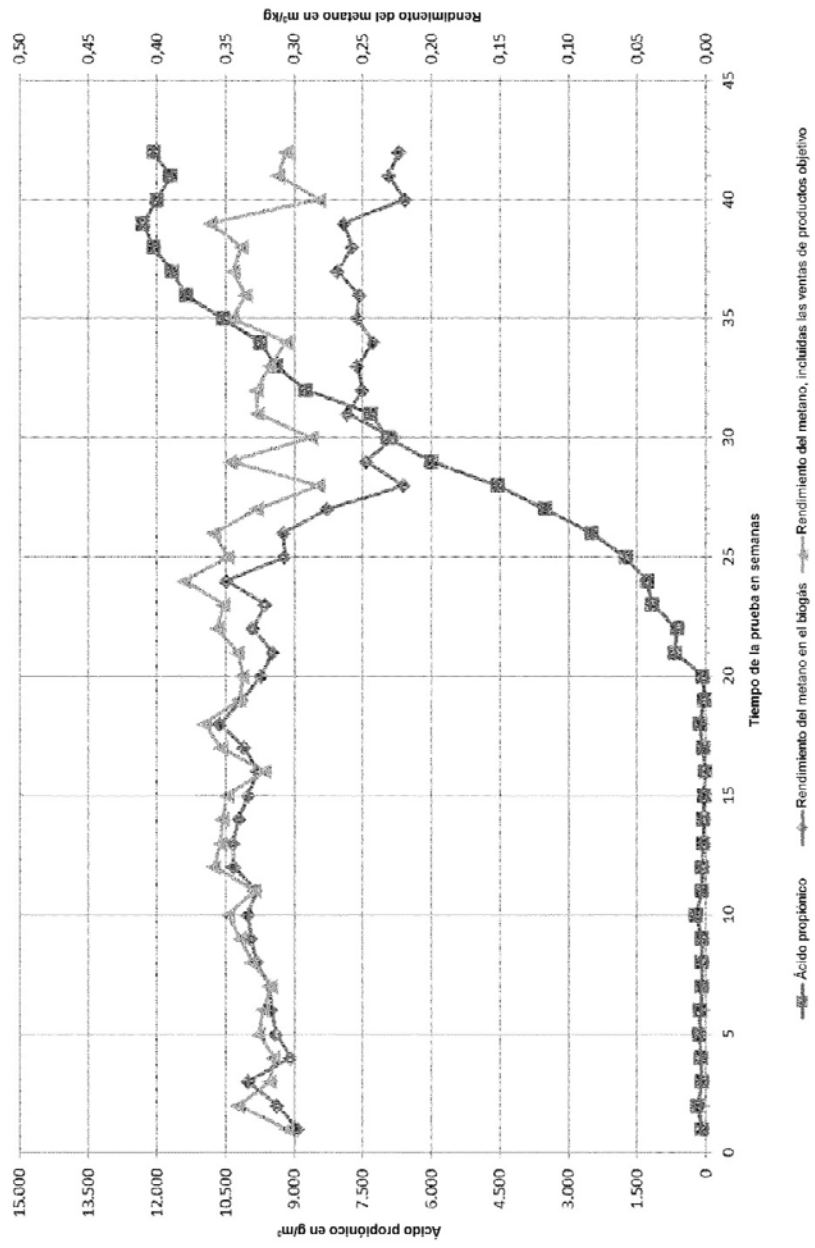


Fig. 1

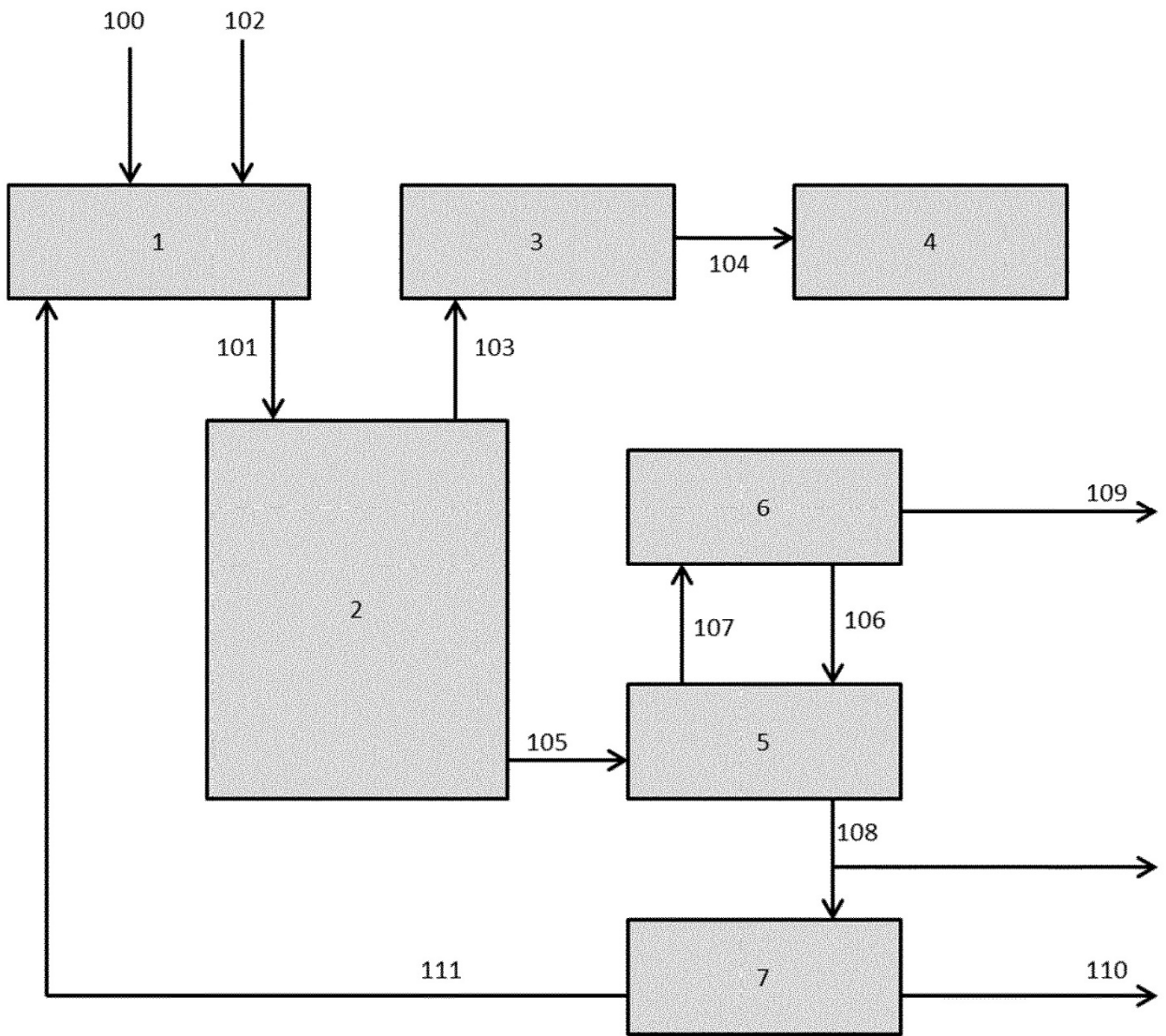


Fig. 2

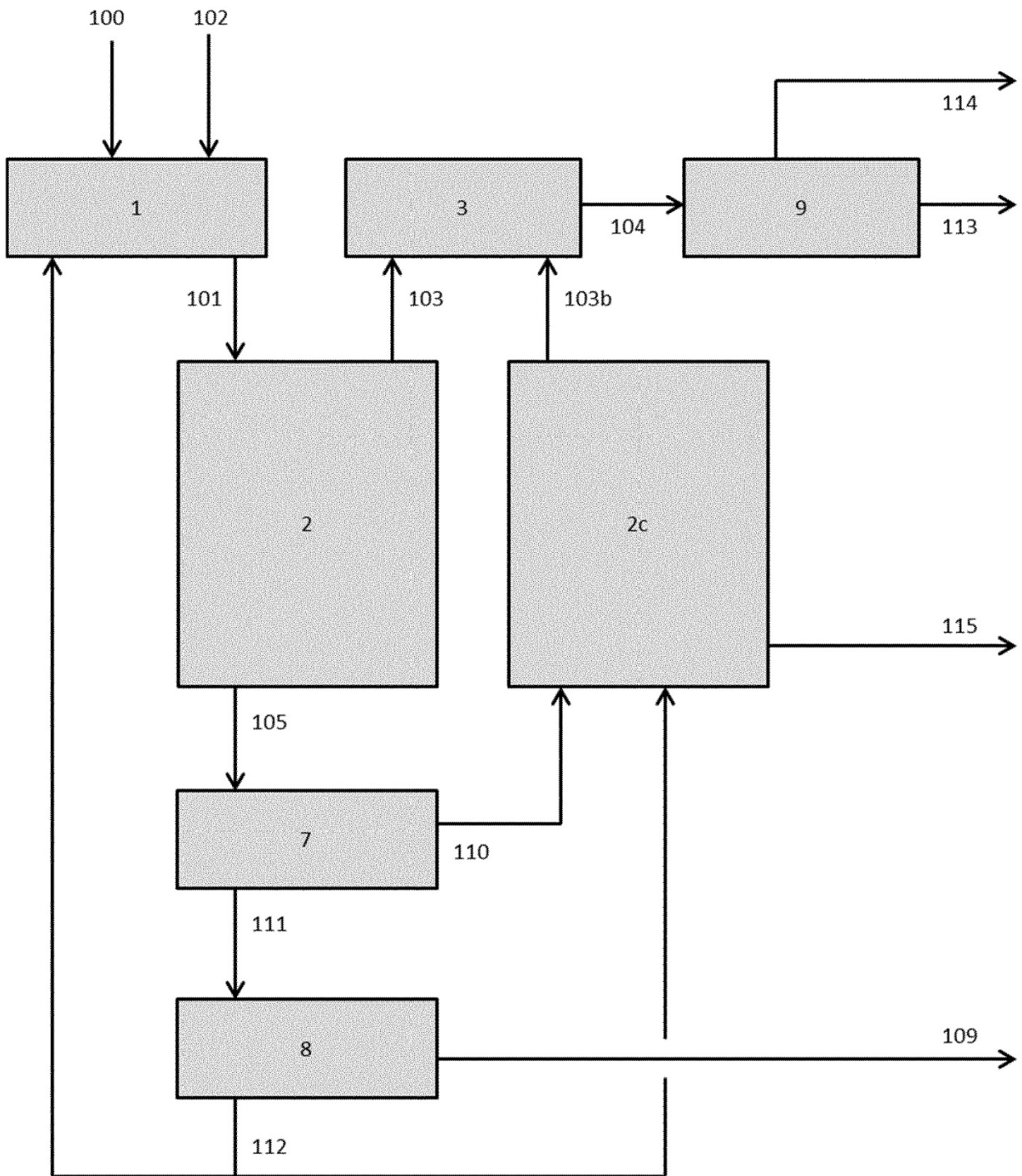


Fig. 3

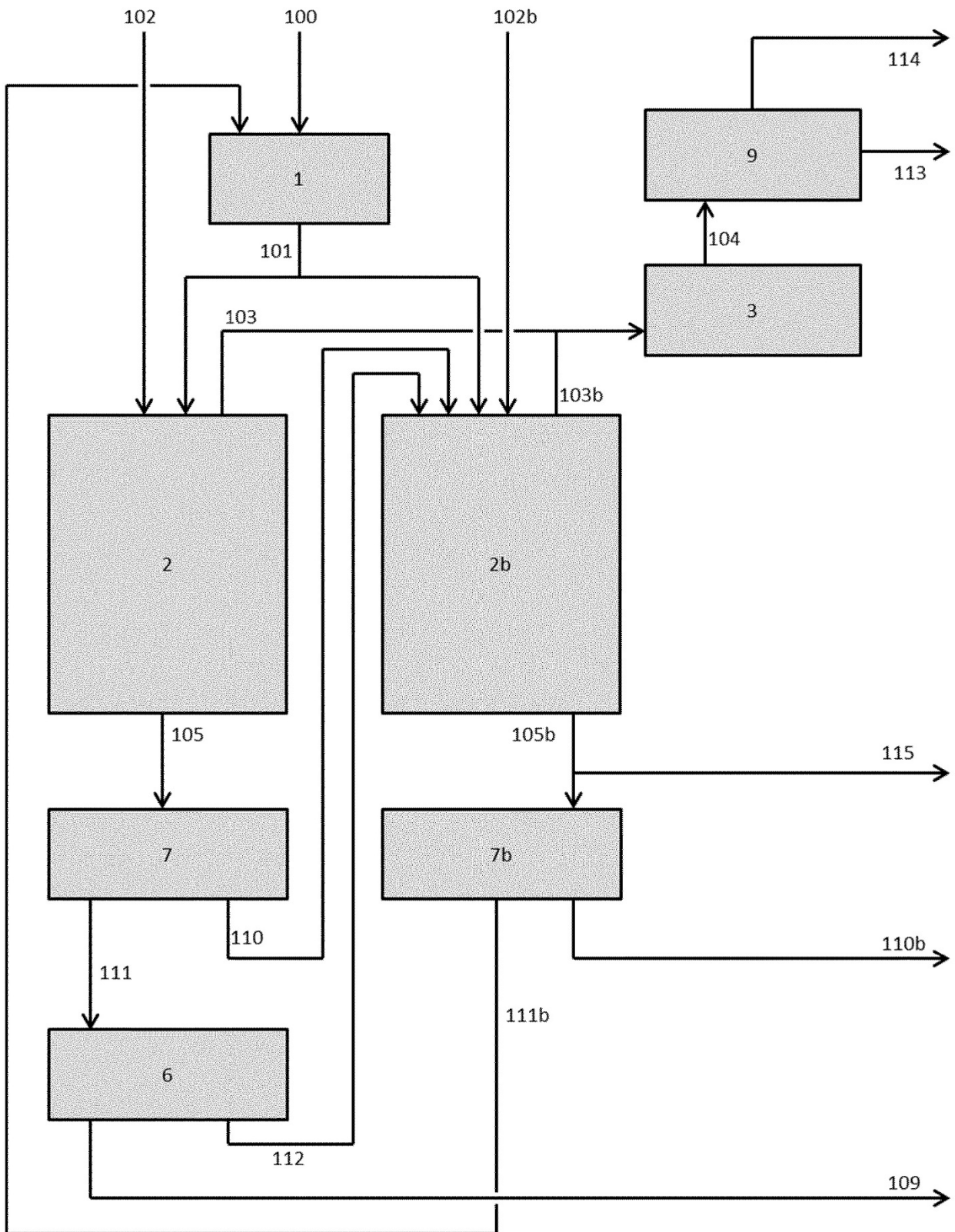


Fig. 4