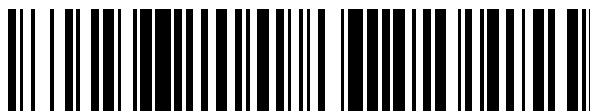


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 828 635**

51 Int. Cl.:

C12P 5/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.11.2016 PCT/EP2016/079215**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.06.2018 WO18099547**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.11.2016 E 16816216 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.08.2020 EP 3548626**

54 Título: **Proceso para la producción de biogás a partir de un sustrato fibroso**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.05.2021

73 Titular/es:
**VERBIO VEREINIGTE BIOENERGIE AG (100.0%)
Ritterstrasse 23
04109 Leipzig, DE**

72 Inventor/es:
**LÜDTKE, OLIVER y
SCHLIMBACH, MICHAEL**

74 Agente/Representante:
ARIAS SANZ, Juan

ES 2 828 635 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

Proceso para la producción de biogás a partir de un sustrato fibroso

- 5 La invención se refiere a un proceso para la producción de biogás a partir de un sustrato fibroso por fermentación anaerobia.

Descripción del estado de la técnica

- 10 La degradación de un sustrato orgánico por procesos anaerobios microbianos, también denominadas fermentaciones, es conocida. En la producción de biogás, una mezcla predominantemente de metano y dióxido de carbono, el sustrato orgánico se degrada en varias fases (hidrólisis, acidificación y formación de metano). El sustrato usado es una sustancia orgánica o una mezcla de varias sustancias orgánicas. Dependiendo del sustrato y el producto deseado, ciertos microorganismos o grupos de microorganismos son adecuados para el proceso de fermentación. Para que la fermentación se realice con éxito, se debe asegurar, además del suministro de sustrato, que también se suministran nutrientes, y que se proporcionan parámetros de proceso favorables, como, por ejemplo, temperatura y presión. El sustrato orgánico se degrada de forma anaerobia a grados variables de eficacia dependiendo de la composición. Las moléculas sencillas, así como hidratos de carbono, proteínas y lípidos se pueden descomponer muy bien. Las macromoléculas de los constituyentes de fibra, tal como hemicelulosa y celulosa, así como lignina, son más difíciles de degradar de forma anaerobia, o no se pueden en absoluto. Los constituyentes de la fibra que no se pueden degradar se eliminan del proceso.

- 25 La producción de biogás ha ganado crecientemente en importancia en los últimos años. Mientras que el tratamiento anaerobio de lodos residuales se ha enfocado principalmente en el objetivo de reducción del lodo con la formación de biogás, el foco más recientemente ha estado en la obtención de biogás a partir de biomasa cultivada agrícola, tal como ensilado de plantas completas, en parte también combinado con la fermentación de estiércol u otros excrementos de ganado. El foco se ha colocado crecientemente en la producción de biogás a partir de materiales de desecho agrícolas, ya que estos no tienen competencia con alimentos o pienso. No obstante, los materiales de desecho agrícolas en general son sustratos que contienen fibra que, por tanto, son más difíciles de degradar. Para una alta rentabilidad, es necesario el mayor rendimiento de biogás posible en relación al sustrato orgánico fibroso usado. Hay una gama de propuestas técnicas que se dirigen a alcanzar este objetivo.

- 30 El estado de la técnica para conseguir altos rendimientos de biogás son una alimentación de sustrato uniforme, moderada y un suministro suficiente de macro y micronutrientes y también la provisión de un tiempo de residencia lo más largo posible del sustrato en el proceso de fermentación. Así, con respecto a la eficacia económica de una instalación, se debe encontrar un compromiso entre alta carga volumétrica y tiempo de residencia largo y por tanto más rendimiento de biogás asociado. Habitualmente, el compromiso consiste en aumentar el rendimiento de la instalación hasta que la calidad del proceso caiga mensurablemente o la estabilidad del proceso disminuya.

- 40 En la fermentación de sustrato fibroso, el factor limitante es en general la miscibilidad o la viscosidad real en el fermentador. Debido al alto contenido en fibra, la hidrólisis es el proceso de degradación limitante.

- 45 El experto en la materia sabe que la viscosidad del contenido del fermentador aumenta significativamente a partir de ciertos contenidos de sustancias secas (SS). El mezclado y por tanto el transporte convectivo de materiales y, finalmente, la formación de biogás está, por tanto, considerablemente obstaculizada. Para la fermentación húmeda, se especifican valores muy diferentes para contenido máximo posible de SS en la bibliografía especializada. Así, por ejemplo, se manifiesta un límite típico del 12% para fermentación húmeda en "Leitfaden Biogas" (ISBN 3-00-014333-5, 6ª edición, 2013).

- 50 También se describe en "Leitfaden Biogas" que no hay límites definidos con precisión para los diferentes sustratos:

- 55 "En los procesos de fermentación húmeda, se han encontrado contenidos en sustancia seca de hasta el 12% en masa en el líquido del fermentador. Un límite del 15% en masa constituye una regla general para la capacidad de bombeo del medio, sin embargo, este valor se debe considerar cualitativamente y no representativo para todas las materias primas. Algunos sustratos con una distribución de partícula finamente dispersada y alto contenido de sustancias disueltas también son aún bombeables a contenidos de SS de hasta el 20% en masa, por ejemplo, residuos de comida dispersado de camión cisterna. En contraste, otros sustratos están presentes en forma apilable ya del 10 al 12% en masa, como, por ejemplo, pieles de frutas y verduras".

- 60 El documento US 2006/175252 A1 divulga un proceso para la producción de biogás a partir de aguas residuales como sustrato. Mediante fermentación anaerobia en un sistema de dos fases el sustrato se introduce en un fermentador, dependiendo de varios factores, por ejemplo, tiempo de residencia hidráulico deseado, velocidad de carga orgánica y características de deterioro esperadas del lodo. En el mismo, el sustrato se someterá a una fermentación húmeda con agitación para la producción de biogás. El flujo de salida que contiene sustrato fermentado se saca del fermentador y se determina el contenido en SST (sólidos suspendidos totales) en el fermentador y en el flujo de salida.

La invención aborda en particular el problema de proporcionar un concepto de proceso para la producción eficaz y económica de biogás a partir de cualquier sustrato fibroso.

Compendio de la invención

5 El problema se resuelve o al menos se reduce mediante un proceso para la producción de biogás a partir de un sustrato fibroso por fermentación anaerobia según la reivindicación 1, proceso que comprende las siguientes etapas:

- 10 a) suministrar un sustrato fibroso junto con líquido de proceso a un fermentador que contiene microorganismos anaerobios como función del contenido en sustancia seca suspendida (contenido en SSS) en este fermentador,
- b) producción de biogás a partir del sustrato fibroso en este fermentador mediante fermentación húmeda,
- c) retirar el flujo de salida que contiene sustrato fibroso fermentado del fermentador y determinar el contenido en SSS,
- 15 d) comparar el contenido en SSS determinado con un intervalo diana fijado,
- e) repetir la etapa (a) en función del resultado de la etapa (d), con cantidades ajustadas con el fin de cumplir con el intervalo diana para la SSS en el fermentador.

20 En esta solicitud, mediante sustrato fibroso se quiere decir sustrato sin cantidades significativas de agua libre y con un contenido significativo de constituyentes de fibra, tal como fibras de lignocelulosa. Esto incluye, por ejemplo, pero no exclusivamente, heno o hierbas de paisajismo, paja u otros materiales de desecho de la producción de granos, paja de colza, paja de guisantes, miscanthus, alpiste cinta, mijo u otras plantas de cultivo para energía enteras o partes de plantas de cultivo o materiales de desecho industriales fibrosos, por ejemplo, de la industria de procesamiento de madera.

25 En el sentido de esta solicitud, biogás incluye cualquier gas formado microbianamente dentro de ámbito de una fermentación de una sola fase y/o multifásica. El biogás contiene principalmente CO₂, metano y/o hidrógeno y agua, y también, dependiendo del sustrato y el proceso de fermentación, amoníaco y sulfuro de hidrógeno.

30 La sustancia seca suspendida (SSS) describe una proporción particular de la sustancia seca (SS). En el caso de medios fibrosos, la SSS se determina sustantivamente por el contenido de fibra del medio. La SSS junto con la sustancia seca disuelta, da la sustancia seca total. Dependiendo del método de análisis, partículas muy pequeñas, por debajo del tamaño de separación del método de análisis, se asignan a la sustancia seca disuelta.

35 En una forma de realización preferida el proceso según la invención se configura de modo que el contenido en SSS es el contenido en fibra.

40 En una forma de realización preferida adicional el proceso según la invención se configura de modo que el sustrato fibroso se alimenta junto con líquido de proceso, de modo que se obtiene un contenido en SSS el medio de fermentación entre el 4% y el 10%, preferiblemente entre el 5% y el 8%, en particular preferiblemente entre el 6 y el 7%.

45 En una forma de realización preferida adicional el proceso según la invención se configura de modo que el sustrato fibroso se alimenta junto con líquido de proceso, de modo que se obtiene un contenido en fibra en el medio de fermentación entre el 4% y el 10%, preferiblemente entre el 5% y el 8%, en particular preferiblemente entre el 6 y el 7%.

En una forma de realización preferida adicional el proceso según la invención se configura de modo que se alimentan nutrientes y oligoelementos directa o indirectamente al proceso de fermentación.

50 En un aspecto adicional el proceso se configura de modo que el contenido del fermentador se agita durante la fermentación.

55 En una forma de realización preferida adicional el proceso según la invención se configura de modo que el flujo de salida se somete a una separación sólido-líquido, y durante esta separación se producen un residuo de fermentación fibroso húmedo y un líquido de proceso.

En una forma de realización preferida adicional el proceso según la invención se configura de modo que el líquido de proceso producido en una separación sólido-líquido se alimenta de vuelta a un fermentador.

60 En aspecto adicional el proceso se configura de modo que se alimenta agua fresca a un fermentador.

En aspecto adicional el proceso se configura de modo que un sustrato fermentable bombeable se usa como líquido de proceso.

65 En aspecto adicional el proceso se configura de modo que el sustrato fibroso se muele antes de la fermentación.

En una forma de realización preferida adicional el proceso según la invención se configura de modo que el contenido en SSS de un flujo de salida de biogás se determina según el siguiente método, en el que:

- 5 a) se proporcionan alícuotas de una muestra de un flujo de salida para varios análisis,
- b) el contenido de sustancia seca (contenido de SS) de esta muestra se mide de una alícuota,
- c) otra alícuota de esta muestra en primer lugar se centrifuga y se filtra finamente, y el contenido en SS disuelta (contenido SSdis) se determina del filtrado, y
- d) el contenido en SSS se calcula a partir del contenido en SS y el contenido en SSdis del filtrado.

10 El proceso según la invención también se refiere en particular a todas las combinaciones de las formas de realización preferidas descritas anteriormente.

15 Se produce biogás a partir de sustrato fibroso en particular apropiada y económicamente en un proceso de una única etapa. Para ello, todas las etapas de degradación se realizan en paralelo en un fermentador mezclador. Los procesos de fermentación multietapas también son posibles, en los que, por ejemplo, tiene lugar una fermentación principal y una fermentación secundaria o se operan una pluralidad de fermentadores en paralelo.

20 También se puede producir biogás por desacoplamiento de las etapas de degradación en un proceso de hidrólisis y un proceso de fermentación. Predominantemente la hidrólisis y acidificación del sustrato tiene entonces lugar en el reactor de hidrólisis. La formación de metano tiene lugar en el proceso de fermentación posterior, de modo que el gas formado en este reactor contiene la porción predominante del metano formado a partir del sustrato.

25 Se logra un mezclado muy bueno en el caso de una hidrólisis o fermentación en el proceso de fermentación húmedo si el sustrato fibroso se mezcla con líquido de proceso para formar una suspensión.

30 El sustrato fibroso se alimenta en forma de una suspensión a un proceso de fermentación anaerobio después de una fragmentación junto con el líquido de proceso según sea apropiado. La fragmentación se realiza apropiadamente a tamaños de partícula en el intervalo de 1 mm a 20 mm, preferiblemente en el intervalo de 2 mm a 15 mm, en particular preferiblemente en el intervalo de 3 mm a 10 mm, muy en particular preferiblemente en el intervalo de 4 mm a 6 mm.

35 La degradación anaerobia de la sustancia orgánica a biogás tiene lugar en un fermentador que contiene microorganismos anaerobios, preferiblemente con agitación continua con el fin de mejorar el intercambio de material. En caso de que entre los sustratos alimentados haya un suministro insuficiente de nutrientes y oligoelementos, estos se alimentan adecuadamente al proceso de fermentación.

40 Mientras que una parte de la SS se degrada para formar biogás, otra parte se degrada en constituyentes solubles, una parte adicional del sustrato (por ejemplo, constituyentes de fibra) no es objeto de ninguna degradación, o solo de una pequeña degradación, y permanece en forma de SS suspendida en el medio de fermentación. Los compuestos de lignina en particular casi no se degradan en absoluto de forma anaerobia.

45 Con el fin de que la formación de biogás sea tan eficaz como sea posible, es necesario alcanzar las mayores concentraciones de sustrato posibles en el fermentador. El tiempo de residencia en el fermentador por tanto se maximiza, y se logra una alta utilización de espacio, basado en el volumen del fermentador. Al mismo tiempo, la concentración de sustrato no debe aumentarse a tal nivel que la viscosidad del medio de fermentación suba de tal manera, debido a un alto contenido en SS, que ya no se pueda asegurar un mezclado suficiente.

50 La viscosidad de un medio de fermentación particular es difícil de medir, y es casi imposible correlacionar el resultado de la medida con la calidad del mezclado. El contenido en SS también puede reflejar la miscibilidad solo insuficientemente, ya que está compuesta de diferentes fracciones (por ejemplo, SS disuelta y suspendida), que actúan a grados variables en las propiedades de mezclado del medio de fermentación.

55 Se ha encontrado que la SS suspendida (SSS) es una medida muy adecuada para controlar la alimentación de sustrato en el proceso de biogás. Mientras que la SS disuelta desempeña un papel subordinado para miscibilidad, la influencia de la SSS es dominante. Sorprendentemente, se ha encontrado que el contenido de SS disuelta no tiene ninguna influencia sobre el rendimiento para la fermentación de sustrato fibroso.

60 La SSS en el medio de fermentación se puede determinar por métodos adecuados y así se conoce para el contenido del fermentador entero. Por tanto, es posible, también con diferente composición de sustrato, colocar la capacidad del fermentador siempre en el intervalo óptimo adaptando la alimentación del sustrato y/o alimentación del líquido de proceso. Para ello, es ventajoso, pero no absolutamente necesario, si la composición de la SS del sustrato y el líquido de proceso también son conocidas.

65 En algunas aplicaciones puede ser útil, en lugar de la SSS, usar el contenido de fibra del medio de fermentación como una variable de regulación. El contenido de fibra se puede determinar por diferentes métodos, por ejemplo, como contenido en fibra cruda según un análisis de Weende. El uso de los valores ADF o ADL de un análisis de Weende extendido como contenido de fibra también es posible.

El líquido de proceso puede consistir en líquido obtenido de dentro del proceso y/o agua. En particular, mediante una separación sólido-líquido los constituyentes particulados por encima del tamaño de separación del proceso de separación particular se pueden separar del medio de fermentación. El líquido de proceso resultante se puede usar una vez más para el mezclado de nuevo sustrato, o se puede alimentar de vuelta en el fermentador.

Se ha encontrado sorprendentemente en ensayos que existe un valor límite independiente del sustrato para la sustancia seca suspendida en el medio de fermentación, valor límite en el que la formación de biogás es óptima, para un cierto sistema de fermentación que consiste en un fermentador y el equipo de agitación asociado. Por encima de este valor límite, una falta de mezclado puede producir una sobrecarga local de la biología y por tanto una acumulación de ácido en el medio de fermentación. Un efecto adicional es la reducción del rendimiento de gas.

Se ha encontrado que la formación de biogás es óptima cuando se proporciona un contenido en SSS en el medio de fermentación entre el 4% y el 10%, preferiblemente entre el 5% y el 8%, en particular preferiblemente entre el 6 y el 7%.

El concepto de control es aplicable también para un enfoque multietapa, por ejemplo, con fermentación principal y fermentación secundaria o con fermentaciones operadas en paralelo. En estos casos, cada fermentador individual se puede someter a un proceso de control. El concepto de control también se puede aplicar en el caso de procesos multietapa con hidrólisis y fermentación principal posterior.

Se pueden inferir desarrollos ventajosos adicionales de la invención a partir de las reivindicaciones dependientes o la siguiente descripción.

Breve descripción de las figuras

La figura 1 muestra un diagrama de flujo de la estructura de prueba del ejemplo 3.

Descripción detallada de la invención

Ejemplo 1

La determinación de la SSS se describe en detalle a continuación.

Principio: la sustancia seca y la sustancia seca disuelta de una mezcla se determinan por evaporación del agua de una muestra sin diluir o un filtrado diluido en un horno de mufla. La sustancia seca suspendida (SSS) se puede calcular usando estos valores.

Material: tubos de centrifuga de 50 ml, jeringa desechable de 5 ml, filtro preliminar de jeringa de 0,2 µm, balanza analítica, centrifuga, horno de mufla Nabertherm B180, placa de vidrio refractario, desecador, pinzas de crisol, agua destilada.

Realización: Las determinaciones de la sustancia seca y la sustancia seca disuelta se van a realizar como determinaciones dobles. La muestra que se va a examinar se homogeniza por agitación antes de su retirada. Para la determinación de la SS, se pesan placas y en cada caso el peso (m1) se anota. Se cargan 10,00 ± 1,0 g de la muestra en cada placa y el peso final también se anota (m2). Para la determinación de la sustancia seca disuelta, se pesan 10,00 ± 1,0 g de muestra en un tubo de centrifuga de 50 ml, y la masa exacta se anota (m4). Se añade agua destilada hasta 50,00 ± 1,0 g y la masa total se anota (m5). El contenido del tubo se homogeniza por agitación y se centrifuga a 4.400 r durante 5 min. Cada placa se pesa y el peso se anota (m6). Se añaden 10,00 ± 1,0 g de la centrifuga a cada placa a través de un filtro preliminar de jeringa de 0,2 µm. El peso final se anota (m7). Todas las placas se colocan en el horno de mufla con la ayuda de pinzas de crisol con el fin de evaporar el agua. Se calienta con 5°C/min a 105°C y, una vez se alcanza la temperatura, se mantiene durante tres horas. Las muestras se colocan después en el desecador durante aproximadamente 20-30 min para enfriar. Después de enfriar las placas se pesan y la masa se anota (masa de la muestra para la determinación de la SS m3, masa de la muestra para la determinación de la SS disuelta m8). La sustancia seca SS y la sustancia seca disuelta SSdis se calculan en la base de las fórmulas indicadas posteriormente. La sustancia seca suspendida SSS se puede calcular a partir de la diferencia entre el valor para la sustancia seca y el valor para la sustancia seca disuelta. Si la evaluación indica un contenido de menos del 1% para el contenido de SS disuelta diluida SSdis, la determinación se debe repetir con una menor dilución.

Cálculo:

Factor de dilución FD para el peso de la muestra:

$$FD = m5/m4$$

m4 masa de la muestra

ES 2 828 635 T3

m5 masa total después de la dilución

El contenido de sustancia seca de la muestra inicial se calcula mediante:

$$5 \quad SS = (m3 - m1)/(m2 - m1)$$

m1 masa vacía del crisol de la determinación de la SS

m2 masa del crisol lleno de la determinación de la SS antes de 105°C

m3 masa del crisol lleno de la determinación de la SS después de 105°C

10

La sustancia seca disuelta de la muestra diluida SS*dis se calcula mediante:

$$SS*dis = (m8 - m6)/(m7 - m6)$$

15 m6 masa vacía del crisol de la determinación de la SSdis

m7 masa del crisol lleno de la determinación de la SSdis antes de 105°C

m8 masa del crisol lleno de la determinación de la SSdis después de 105°C

20 El valor para la sustancia seca disuelta SSdis corregido para la sustancia seca suspendida SSS se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$SSdis. = FD * (SS*dis. *(1 - SS/FD))/(1 - SS*dis.)$$

25 SS*dis. sustancia seca disuelta determinada en la muestra diluida

SS sustancia seca de la muestra

La diferencia entre la sustancia seca SS y la sustancia seca disuelta SSdis. es la sustancia seca suspendida SSS:

$$SSS = SS - SSdis.$$

30

Ejemplo 2

Se describe en detalle a continuación un método adicional para determinar el contenido de SSS.

35 La TSS se determina por filtración al vacío de una cantidad de muestra definida a través de un filtro de acetato de celulosa con un tamaño de poro de 0,45 µm.

40 El filtro de acetato de celulosa de 0,45 µm se puede prelavarse con 150 ml de agua para eliminar las contaminaciones solubles en agua. El filtro se seca después de 105°C durante al menos una hora a una masa constante y se almacena en el desecador hasta su uso. Se debe tener cuidado para que el filtro no se contamina por polvo.

El filtro se pesa antes de la filtración (m1) y después se coloca en el embudo de una unidad de filtración.

45 La muestra que se va a examinar se homogeniza por agitación vigorosa, y sin dejar reposar, aproximadamente 10 g (m2) de esta muestra se cargan directamente en una probeta graduada de 25 ml. La muestra se filtra por medio de vacío, y la probeta graduada se enjuaga dos veces con 25 ml de agua. El filtro y el embudo se enjuagan después con 50 ml adicionales de agua, y el filtro se seca por succión. El secado posterior del filtro se realiza a 105°C en una vitrina de secado a una masa constante (m3). La SSS se puede calcular a partir del peso final a través de la siguiente ecuación.

50

m1 masa del filtro sin cargar

m2 peso de la muestra

m3 masa del filtro cargado después de la filtración

$$55 \quad SSS = (m3 - m1)/m2$$

Ejemplo 3

60 La posibilidad de una realización técnica del proceso se explicará a continuación en base a la fermentación de paja. Simplemente a modo de ejemplo, la paja representa los sustratos fibrosos considerados en esta solicitud. Los detalles son fácilmente transferibles por un experto en la materia al uso de otros sustratos adecuados.

El ejemplo hace referencia a la figura 1. En ella significan:

65 100 paja

101 nutrientes/oligoelementos

- 102 agua
- 103 biogás
- 104 material de desecho
- 105 flujo de salida
- 5 106 líquido de proceso
- 1 fermentación
- 2 separación sólido-líquido

10 La paja es como material de desecho agrícola un sustrato muy adecuado para la producción de biogás. Sin embargo, la paja contiene cantidades significativas de sustancias que son difíciles de degradar y que apenas, o en absoluto, se degradan de forma anaerobia en periodos de tiempo económicamente razonables. La composición del sustrato puede variar mucho dependiendo del tipo de paja y el tiempo de cosecha y también las condiciones de almacenamiento. La paja de colza en Alemania, por ejemplo, tiene una humedad de aproximadamente el 30%, mientras que la paja de trigo, si el tiempo es seco y si se almacena apropiadamente, habitualmente contiene solo aproximadamente el 9% de humedad. La paja de arroz, por comparación, contiene una cantidad particularmente grande de sustancias minerales y puede contener contenidos de ceniza cruda de más del 20% de la SS.

Los intervalos típicos de algunos de los contenidos de la paja se muestran en la siguiente tabla:

	Min	Max
Humedad	5% de la OS	40% de la OS
SS	60% de la OS	95% de la OS
oSS	75% de la SS	97% de la SS
Ceniza cruda	3% de la SS	25% de la SS
Lignina (ADL)	3% de la SS	20% de la SS
Nitrógeno (Kjeldahgl)	0,3% de la OS	1,1% de la OS

20 Dependiendo del tipo y la calidad de la paja, el potencial biogás puede diferir significativamente. La sustancia seca que queda en el proceso de fermentación después de la degradación de la sustancia capaz de degradarse también puede diferir significativamente. En el caso de paja de arroz, por ejemplo, una proporción significativa de sustancia seca se retiene después de la fermentación debido al alto contenido en sustancia mineral. Sin embargo, al mismo tiempo, también una proporción significativa de las sustancias minerales se convierten en sustancia seca disuelta. Esta proporción es de importancia subordinada para el comportamiento de mezclado del medio de fermentación.

30 Se realizaron ensayos de biogás en una instalación de ensayo consistente en un tanque agitador continuo (fermentador, 1). La estructura esquemática se puede ver en la figura 1. Una vez se ha iniciado el sistema con inóculo, agua y paja de trigo como sustrato, con alimentación de nutrientes y oligoelementos, se proporcionó operación casi continua después de ello con nivel de llenado constante con el mismo lote de paja de trigo. El flujo de salida (105) se extrajo a diario del sistema, y se alimentaron paja molida reciente (100) así como líquido de proceso (106) y agua (102). La alimentación de nutrientes y oligoelementos (101) se realizó a intervalos regulares.

35 Una pequeña parte del flujo de salida (105) se analizó. La mayoría del flujo de salida (105) se sometió a una separación sólido-líquido en un decantador (2). Se obtuvieron de esta manera un residuo de fermentación fibroso vertible (104) así como un líquido de proceso (106). El líquido de proceso obtenido (106) se pasó de vuelta al fermentador (1). Además del líquido de proceso (106), también se usó el 15% de agua fresca (102).

40 En el estado estacionario, se proporcionó un contenido de SSS del 6,5% en el medio de fermentación. El contenido de sustancia seca disuelta en este punto en el tiempo fue del 2,0%.

45 En ensayos adicionales, el contenido en SS en el medio de fermentación se aumentó por alimentación de sustrato aumentada y reducción proporcional de la alimentación de agua. A contenidos en SS por encima del 8,5%, en particular por encima del 9%, y una subida asociada en el contenido en SSS a valores por encima de aproximadamente el 6,8%, hubo una acumulación de ácido acético en el medio de fermentación que se atribuyó a un mezclado significativamente obstaculizado. Fue posible determinar por medio de mirillas de inspección que solo se producía aún mezclado local en la vecindad del agitador a tan alto contenido de SSS, mientras que, con un contenido de SSS del 6,5%, se observó mezclado a través de un gran volumen en el medio de fermentación.

50 Al cambiar el sustrato a paja de arroz con un contenido en ceniza cruda de aproximadamente el 20% de la SS (en lugar del 7% de la SS en el caso de paja de trigo), una cantidad significativamente mayor de SS incapaz de degradarse permaneció en el sistema. El proceso de fermentación se realizó inicialmente de modo que se proporcionara un contenido uniforme en SS de aproximadamente el 8,5% en el medio de fermentación. Esto era posible solo mediante una menor alimentación del sustrato en comparación con paja de trigo.

55 En base a los valores medidos en el flujo de salida, se determinó que el contenido en SSS en el medio de fermentación disminuía continuamente después del cambio de sustrato, mientras que el contenido de SS disuelta aumentaba. La alimentación de paja de arroz se aumentó después, y la alimentación de líquido de proceso se adaptó de modo que

se produjera de nuevo una SSS del 6,5% en el medio de fermentación. La proporción de SS disuelta aumentó en consecuencia, con el uso de paja de arroz, hasta aproximadamente el 3,0% y, por tanto, el contenido total de SS en el medio de fermentación aumentó a aproximadamente el 9,5%. La operación estable junto a tan alta SS no era posible en el caso de la paja de trigo.

5 De forma similar a la ya experimentada en el ensayo anterior con la paja de trigo, un aumento adicional de los contenidos de SSS o SS produjo una acumulación de ácido acético como resultado de un mezclado deteriorado.

10 En ensayos adicionales, el concepto de control también se confirmó para otros sustratos.

REIVINDICACIONES

1. Proceso para producir biogás a partir de sustrato fibroso por fermentación anaerobia, **caracterizado por**
 - 5 a) suministrar el sustrato fibroso junto con líquido de proceso a un fermentador que contiene microorganismos anaerobios como función del contenido de sustancia seca suspendida (contenido de SSS) determinado en este fermentador,
 - b) someter el sustrato fibroso a fermentación húmeda en este fermentador para la producción de biogás,
 - 10 c) retirar el flujo de salida que contiene sustrato fibroso fermentado del fermentador y determinar el contenido de SSS en el fermentador,
 - d) el contenido de SSS determinado se compara con un intervalo diana fijado, y
 - e) en función del resultado de d), repetir la etapa a) con cantidades ajustadas con el fin de cumplir con el intervalo diana para la SSS en el fermentador.
- 15 2. Proceso según la reivindicación 1, **caracterizado en que** el contenido de SSS se refiere al contenido de fibra.
3. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado en que** el sustrato fibroso se suministra junto con líquido de proceso de una manera tal que un contenido de SSS en el medio de fermentación se ajusta a entre el 4% y el 10%, preferiblemente entre el 5% y el 8%, en particular preferiblemente entre el 6 y el 7%.
- 20 4. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado en que** el sustrato fibroso se suministra junto con líquido de proceso de una manera tal que un contenido de fibra en el medio de fermentación se ajusta a entre el 4% y el 10%, preferiblemente entre el 5% y el 8%, en particular preferiblemente entre el 6 y el 7%.
- 25 5. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado en que** el contenido del fermentador se agita durante la fermentación.
- 30 6. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado en que** el flujo de salida se somete a una separación sólido-líquido, y al hacer eso, se producen residuo de fermentación fibroso húmedo y un líquido de proceso.
- 35 7. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado en que** el líquido de proceso producido en una separación sólido-líquido se devuelve al fermentador.
8. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el contenido de SSS de un flujo de salida de biogás se determina según un método, en donde:
 - 40 a) se proporcionan alícuotas de una muestra del flujo de salida para diferentes análisis,
 - b) el contenido de sustancia seca (contenido de SS) de esta muestra se mide de una alícuota,
 - c) otra alícuota de esta muestra inicialmente se centrifuga y se filtran finamente, y se determina el contenido de sustancia seca disuelta (contenido de SSdis) del filtrado, y
 - 45 d) el contenido de SSS se calcula a partir del contenido de SS del flujo de salida del biogás y del contenido de SSdis del filtrado.

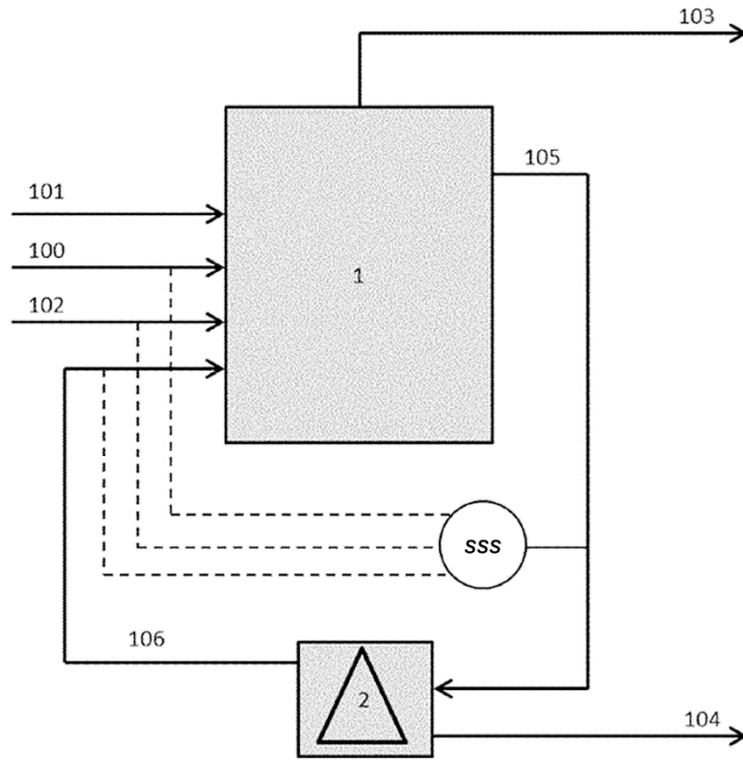


Fig. 1