

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 532 514**

51 Int. Cl.:

C12M 1/107 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.09.2011** **E 11179779 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.04.2014** **EP 2565259**

54 Título: **Método y dispositivo para la producción de biogás**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.03.2015

73 Titular/es:

CONVIOTEC GMBH (100.0%)
Lise-Meitner-Strasse 2
24941 Flensburg, DE

72 Inventor/es:

SCHNEIDER, DR., HOLGER

74 Agente/Representante:

CEPRIA, Raúl

ES 2 532 514 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

(0001) La invención concierne un procedimiento para la producción de biogás, especialmente de metano, a partir de materiales biológicos, y más específicamente a un método para la fermentación de un sustrato fluido usando un reactor que contiene al menos:

- 5
- una entrada (1)
 - una salida (3),
 - una multitud de particiones (6) que divide el volumen interno del reactor para el sustrato en una multitud de compartimentos (7 (i) - 7 (iv)) y cada compartimento (7 (i) - 7 (iv)) se divide en cada caso en al menos dos cámaras para garantizar 2 flujos contrarios del
- 10 sustrato (8 (i) - 8 (iv), 9 (i) - 9 (iv)).

(0002) La invención concierne igualmente un reactor para la fermentación de un sustrato capaz de fluir, que llega a aplicarse para el procedimiento que es sujeto de la patente.

(0003) El proceso de producción de biogás a partir de material biológico se puede dividir esencialmente en cuatro pasos:

- 15
- En el primer paso, la "hidrólisis", los complejos compuestos del material de sustrato (por ejemplo, hidratos de carbono, proteínas, grasas) que se descomponen en compuestos orgánicos más simples (por ejemplo, aminoácidos, azúcares, ácidos grasos). Las bacterias implicadas producen para ello las enzimas libres que descomponen el material de una manera biológica. Generalmente, este primer paso, la hidrólisis, puede efectuarse de forma anaerobia o
- 20 también en forma aerobia.
- Después, en el segundo paso, dentro de la fase de "acidificación" (acidogénesis) y mediante las bacterias acidificantes, los productos intermedios (formados en el paso anterior) se siguen degradando a ácidos grasos (por ejemplo, acético, propiónico y ácido butírico) y de dióxido de carbono (CO₂) y de hidrógeno. Además, se forman también pequeñas cantidades de ácido
- 25 láctico y alcoholes.
- En el tercer paso, consecutivamente, dentro de la "formación de ácido acético" (acetogénesis) y por las bacterias, los productos anteriores se convierten en los precursores del biogás (ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono).
 - En el último paso de la producción de biogás, la "metanogénesis", también mediante bacterias
- 30 se formará el metano a partir de los productos de la acetogénesis.

(0004) Cuando los cuatro pasos de degradación se desarrollan conjuntamente en un fermentador, se llama sistema de una sola etapa. Puesto que las bacterias de las etapas individuales requieren diferentes condiciones en cuanto a su hábitat, la separación espacial de los pasos de degradación puede ser una ventaja.

5 (0005) Del documento WO 2006/124781, se conoce una planta de biogás para la fermentación anaeróbica en la que llega a aplicarse un reactor que está dividido en varias cámaras fijas, y en las que tienen lugar las reacciones descritas en el párrafo [0003].

(0006) En US 2007/025 69 71 A1 se reivindica una planta de biogás portátil, que consta de varias cámaras, flexibles, en forma de burbuja, y dimensionadas para un tamaño fijo.

10 (0007) Se conoce del documento CH-A5-688737, una planta de biogás con una multitud de paredes divisoras/tabiques, que dividen al menos el volumen interior del reactor destinado para el sustrato una multitud de compartimentos.

(0008) Ambas plantas de biogás conocidas tienen en común la desventaja que, en especial medida por su diseño rígido, deben estar orientadas de modo especial a la sensibilidad de las bacterias de metano. Al proceso de dichas plantas también es propio que los gases que se producen en el proceso se mezclan en la zona de gas sobre el fermentador. La causa por la sensibilidad de las plantas en su estado actual de la técnica es que las bacterias de metano, de la lista de todas las bacterias que regularmente participan en el proceso de la fermentación anaeróbica, son las más sensibles a las perturbaciones y también se reproducen muy lentamente. En consecuencia de ello, las condiciones del entorno se ajustan a las bacterias de metano, en todos los reactores conocidos en el estado actual de la técnica.

25 (0009) Sin embargo, la separación espacial de las etapas de degradación anteriormente mencionada está limitada de manera que, por ejemplo, las bacterias de la acetogénesis y los de la metanogénesis pueden depender de una convivencia. La razón de esta dependencia es que las bacterias de la acetogénesis no toleran un alto contenido de hidrógeno

(0010) Un problema particular de los sistemas portátiles en su estado actual de técnica con volúmenes de los fermentadores pequeños es su particularmente alta sensibilidad; los cambios en la composición del sustrato, que se dan por naturaleza en los materiales biológicos, y las irregularidades en la alimentación del sustrato introducido causan muy rápidamente los cambios en el pH y en la colonización microbiana y, por lo tanto, la inestabilidad del sistema.

5 (0011) Actualmente, se trata de superar estos problemas mediante la utilización de las plantas de biogás a gran escala no portátiles, que disponen de los reactores de tanque con mezcla continua (CSTR - continuous stirred tank reactor) y hasta varios miles de metros cúbicos de volumen de trabajo, con periodos de residencia largos. Estos sistemas también muestran todavía una sensibilidad importante a los cambios en la composición del sustrato.

10 (0012) En un reactor de tanque con mezcla continua (CSTR - continuous stirred tank reactor) hay idóneamente en todo el reactor condiciones de fermentación y flujo iguales. Por eso, las perturbaciones afectan inmediatamente a la totalidad del contenido del reactor. Este riesgo se minimiza con cargas orgánicas muy bajas del reactor (caudal de entrada del sustrato bajo por unidad de tiempo).

15 (0013) La invención se basa en la tarea de poner a disposición del público un equipo en el que el proceso de biogás permanece estable cuando la composición y el suministro del sustrato varían, consigue un alto rendimiento y trabaja de manera eficiente con tiempos de retención cortos, es manejable también en pequeños volúmenes de fermentador y se desarrolla el proceso estable incluso en recipientes transportables, con unos esfuerzos de mantenimiento y control bajos. Un foco especial de esta tarea se proyecta además a la garantía del más alto posible poder calorífico del biogás producido en el reactor. La invención se basa igualmente también en la tarea de proponer un procedimiento para la producción de biogás utilizando el reactor de acuerdo con la tarea.

20 (0014) La tarea se logra de acuerdo con la invención por un proceso para la fermentación de un sustrato capaz de fluir con un contenido de materia seca definido, utilizando un reactor, en que el proceso contiene al menos los pasos siguientes:

- Alimentación del sustrato al reactor por al menos una entrada
- La conducción del sustrato a través del reactor, que tiene una multitud de particiones (6) que divide el volumen interno del reactor destinado para el sustrato en una multitud de compartimentos (7 (i) - 7 (iv)) y cada compartimento (7 (i) - 7 (iv)) se divide a su vez en al menos dos cámaras atravesadas por flujos del sustrato en sentidos contrarios (8 (i) - 8 (iv), 9 (i) - 9 (iv))
- Extracción del sustrato por al menos una salida (3) del reactor, cuando el método propuesto en este documento se caracteriza por:
 - Para aumentar o reducir la relación
 - entre el volumen de las cámaras atravesadas por el flujo del sustrato en una dirección (8 (i) - 8 (iv))

- o y el volumen de las cámaras atravesadas por el flujo del sustrato en dirección opuesta (9 (i) - 9 (iv))

al menos parte de las particiones (6) se mueven en su situación espacial y / o la posición y / o la extensión espacial,

5 cuando el movimiento y / o extensión de las particiones (6) se controla en función del contenido de materia seca del sustrato.

- Cada compartimento (7 (i) – 7 (iv)) dispone de un volumen interior destinado al sustrato y un almacén de gas correspondiente (5 (i) – 5 (iv))

10 Al menos un almacén de gas (5 (i) – 5 (iv)) de un compartimento (7 (i) – 7 (iv)), seleccionado de todos los almacenes de gas, está separado del otro almacén de gas o de todos los otros almacenes de gas de los otros compartimentos (7 (i) – 7 (iv))

y cuando el proceso propuesto en el presente documento comprende al menos las siguientes etapas adicionales del proceso de manera característica de:

- Extracción del gas del proceso de ese al menos un almacén de gas que está separado del 15 otro almacén o de los otros almacenes de gas (5 (i) – 5 (iv)) de los otros compartimentos
- Adición de gas externo o gas del proceso extraído anteriormente al volumen interior destinado para el sustrato de al menos uno de los compartimentos correspondientes (7 (i) – 7 (iv)) .

20 (0015) Según la invención, el proceso comprende al menos las etapas adicionales de

- Extracción del gas del proceso de ese al menos un almacén de gas que está separado del otro almacén o de los otros almacenes de gas (5 (i) – 5 (iv)) de los otros compartimentos
- Adición de gas externo o gas del proceso extraído anteriormente, al volumen interior destinado para el sustrato de al menos uno de los compartimento correspondientes (7 (i) – 25 7 (iv)). Doble!!!! (mira 0014)

Aquel, al menos uno, almacén de gas se considera como separado del otro o de los otros almacenes de gas restantes (5(i) – 5(iv)) de los compartimentos restantes (7(i) – 7(iv)), si un intercambio de gases entre este almacén de gas y el almacén o almacenes restantes (5(i) – 5(iv)) no es posible. Esta separación se puede efectuar por una pared hermética al gas o un mamparo estanco a los gases y también por una separación espacial completa – otras soluciones 30 adicionales para tal separación se pueden prever de modo que los ejemplos mencionados no deben tener carácter conclusivo. En el contexto de las dos etapas de proceso anteriormente nombradas y en particular en el contexto del reactor utilizado para ello, se considera preferible

- si cada compartimento (7(i) – 7(iv)) ostenta un volumen interno específico para el sustrato y un almacen de gas propio (5(i) – 5(iv)), cuando que este almacen de gas propio está formado separadamente de los almacenes de gas de los otros compartimentos (7(i) – 7(iv))
- 5
- y si cada almacen de gas (5(i) – 5(iv)) de cada compartimento (7(i) – 7(iv)) ostenta una salida de gas preferiblemente propio (2(i) – 2(iv)) para extraer desde su espacio de gas producido (5(i) – 5(iv)) .

(0016) Además, se prefiere que cada compartimento (7(i) – 7(iv)) disponga de una entrada de gas (10(i) – 10(iv)) para la introducción de gas del proceso anteriormente extraído y/o gases externos en el volumen interno de este compartimento destinado para el sustrato (7(i) – 7(iv)). La introducción del gas del proceso previamente extraído y/o gases externos se efectua preferiblemente de tal manera que este gas del proceso y/o gases externos, se inyecte/n de forma conjuntada, por ejemplo en un difusor o boquilla, en una corriente de gas al volumen interno de los compartimentos destinados al sustrato (7(i) – 7(iv)), cuando esta corriente de gas tenga preferiblemente la orientacion contraria del flujo del sustrato. Esto significa que si el gas del proceso y/o gases externos se introduce/n en la cámara atravesada por el flujo descendente de sustrato (8(i) – 8(iv)), la corriente de gas entra preferiblemente en direccion ascendente, y si el gas del proceso y/o gases externos se introduce/n en la cámara atravesada por con el flujo ascendente del sustrato (9(i) – 9(iv)), el gas entra preferiblemente en direccion descendente.

10

15

20

25

30

Especialmente preferible se efectua la introducción del gas del proceso y/o de gases externos en el suelo de las cámaras atravesada por el flujo descendente de sustrato (8(i) – 8(iv)), para lo que el reactor correspondientemente formado se caracteriza en que cada entrada de gas (10(i) – 10(iv)) del proceso y/o de gases externos para el suministro esta situado en el suelo de la cámaras atravesada por el flujo descendente de sustrato (8(i) – 8(iv)). Muy especialmente se preferiere introducir el gas del proceso del compartimento siguiente (7(i) – 7(iv)) al volumen interior del compartimento anterior (7(i) – 7(iv)), complementado en su caso por gas fresco o/y gas externo. La preferida recirculación de gas del proceso en el volumen interior de compartimentos anteriores (7(i) – 7(iv)) conduce de acuerdo con los conocimientos de los inventores a un biogás con un índice de Wobbe (poder calorífico corregido) particularmente alto, que se calcula como el cociente entre el poder calorífico del correspondiente gas de combustión, o biogás respectivamente, y la raíz cuadrada de la relación de densidades de este gas de combustión o biogás, y aire. En un aspecto especialmente preferido de la invención, se introduce un gas que contiene oxígeno, por ejemplo oxígeno puro o aire, como un gas externo, al volumen interior del compartimento atravesado por el sustrato 7 (i).

(0017) Por lo tanto, el proceso anaeróbico de biogás dentro de este compartimento paraliza. No se produce más metano y las bacterias aeróbicas se activan, que descomponen a los materiales orgánicos con las estructuras poliméricas (tales como polisacáridos, proteínas, grasas) en monómeros a gran velocidad y aceleran de forma extrema el proceso de biogás en las siguientes
 5 cámaras de los compartimento (7(ii) – 7(iv)). Se ha demostrado en los ensayos de laboratorio de la invención entre una duplicación y una triplicación de la velocidad de formación de biogás, dependiendo del sustrato. Sustancias que de acuerdo con el grado de avance actual de la técnica de biogás no son o son difícilmente degradables, tales como el así llamada "Agua Negro" de la industria del aceite de palma, se pueden convertir disponibles para el proceso de biogás. El
 10 suministro de aire o de oxígeno se dosifica útilmente de manera que no se detecte oxígeno en el espacio de gas (5(i)) del primer compartimento. El oxígeno es utilizado por completo por las bacterias para la hidrólisis de los polímeros. En la hidrólisis se produce una mezcla de gases de dióxido de carbono y de hidrógeno, que se descarta, o bien se sigue utilizando en el proceso de biogás para la producción de metano cuando se lo introduce a los siguientes compartimentos (7(ii)
 15 – 7(iv)).

(0018) Para el método propuesto se utiliza preferiblemente un reactor, fabricado de acero en forma cúbica o cilíndrica, y en caso de la última, con una forma circular o elíptica. Al menos para los diseños más pequeños, tales como, por ejemplo, los reactores de investigación, son adecuados los materiales de construcción como vidrio acrílico, plástico y plástico reforzado con
 20 fibra. Para grandes reactores preferiblemente se presentan el hormigón, el acero y hormigón armado para el suelo y las paredes laterales, así como el acero y los plásticos reforzados con fibra para el techo, sin de que hubiera limitación alguna respecto a la presente invención en cuanto a las formas de diseño o los materiales anteriormente mencionados. Con respecto al volumen interior de los reactores son preferidos y presentables los órdenes de magnitud de 4 litros para
 25 reactores experimentales hasta 200 m³ para grandes reactores.

(0019) En la forma preferida de realización del método propuesto, el reactor utilizado, en un diseño igualmente preferido, contiene a lo largo de su eje longitudinal una multitud de compartimentos posicionados uno al lado del otro (fig. 7 (i) - 7 (iv)). En muchos de los experimentos previos a la invención, se utilizaron para el proceso de la invención especialmente
 30 aquellos reactores en los que cada compartimento (7 (i) - 7 (iv)) está separado en dos cámaras atravesadas por flujos del sustrato en sentidos contrarios (8 (i) - 8 (iv) , 9 (i) - 9 (iv)), de las que en las cámaras (8 (i) - 8 (iv)) – por cada compartimento preferiblemente la primera cámara que atraviesa el sustrato- el sustrato fluye hacia abajo , y en las cámaras (9 (i) - 9 (iv)) - por cada compartimento la última cámara que atraviesa el sustrato- el sustrato fluye hacia arriba. Tales
 35 reactores se consideran preferidos en el sentido de la invención. En su caso, pueden moverse, de

manera especialmente preferible al menos parte de las particiones (6) a lo largo de la orientación del eje longitudinal del reactor, en función del contenido de materia seca del sustrato. La división del reactor en una multitud de compartimentos (7 (i) - 7 (iv)) y la división de cada compartimento (7 (i) - 7 (iv)) en cada caso en al menos dos cámaras (8 (i) - 8 (iv) 9 (i) - 9 (iv)) se efectúa mediante una multitud de particiones (6), que están alineadas preferiblemente de forma vertical.

(0020) Sin embargo, el método que aquí se propone, de ninguna manera condiciona a un diseño de los reactores con compartimientos a lo largo del eje longitudinal de la parte del reactor y con particiones (6) situadas y movibles a lo largo de la orientación del eje longitudinal, alineadas verticalmente (6). Al igual son imaginables los compartimentos puestos de forma vertical (7 (i) - 7 (iv)) con particiones orientadas horizontalmente (6).

(0021) En referencia a las particiones (6) junto a su desplazamiento lineal como una forma de movimiento, también se puede realizar su rotación, inclinación o plegar, bajar y subir así como la expansión o estrechamiento espacial cada vez en función del contenido de materia seca del sustrato. En particular el giro, la inclinación, o plegar las particiones son los movimientos especialmente preferidos con respecto al desplazamiento de las particiones (6).

(0022) Sorprendentemente, se ha mostrado que se puede lograr un estado de auto-inmovilización de las bacterias en las cámaras de flujo ascendente (9 (i) - 9 (iv)) de los compartimentos individuales (7 (i) - 7 (iv)) cuando la distancia de las paredes de partición (6) se ajusta según la invención al contenido de la materia seca del sustrato utilizado. El contenido de materia seca del sustrato se mide preferiblemente en la entrada (1) en el reactor. También es posible la determinación del contenido de materia seca del sustrato en la salida del proceso (3), pero requiere unos conocimientos más detallados del comportamiento del proceso del reactor. También se ha mostrado que en el reactor se efectúa una separación del metano, hidrógeno y CO₂ de alguna manera autónoma por el propio proceso biológico.

(0023) En el ajuste según la invención de la distancia de las paredes de particiones (6) al contenido de materia seca del sustrato utilizado, se produce de esta manera un desacoplamiento hidráulico del tiempo de retención de los sólidos. Mediante la modificación concreta de las cámaras (8 (i) - 8 (iv), 9 (i) - 9 (iv)) de los compartimentos (7 (i) - 7 (iv)) se genera una forma completamente nueva en controlar el proceso de la producción de biogás.

(0024) La Tabla 1 refleja, para un funcionamiento de los procesos de producción de biogás particularmente estable, la relación correspondiente y más preferida según la presente invención,

entre el volumen de las cámaras atravesadas por el flujo del sustrato descendente (8 (i) - 8 (iv)) y el volumen de las cámaras atravesadas por el flujo del sustrato ascendente (9 (i) - 9 (iv)) en función de su contenido de materia seca del sustrato.

Tabla 1

Contenido de materia seca, % en peso	Relación entre el volumen de las cámaras atravesadas por el flujo del sustrato descendente (8 (i) - 8 (iv)) y el volumen de las cámaras del flujo del sustrato ascendente (9 (i) - 9 (iv))	Ver figura
< 2 %	1:3	2a
2-5%	1:2	2b
5-10%	1: 1	2c
10-15%	2:1	2d
15-20%	3:1	2e

5

(0025) En la tabla se puede ver que en el método propuesto, preferiblemente la relación entre el volumen respectivo de las cámaras atravesadas por el flujo del sustrato descendente (8 (i) - 8 (iv)) y el volumen de las cámaras del flujo del sustrato ascendente (9 (i) - 9 (iv)) se ajusta de tal manera que incrementa con el contenido de materia seca del sustrato.

10 (0026) Es especialmente preferido en el método propuesto, cuando la relación entre el volumen de las cámaras atravesadas por el flujo del sustrato descendente (8 (i) - 8 (iv)) y el volumen de las cámaras del flujo del sustrato ascendente (9 (i) - 9 (iv)) con un contenido de materia seca de <2 % en peso esté en un intervalo de [1: 3,5] a [1 : mayor que 2,5].

15 (0027) Es especialmente preferido en el método propuesto, cuando la relación entre el volumen de las cámaras atravesadas por el flujo del sustrato descendente (8 (i) - 8 (iv)) y el volumen de las cámaras del flujo del sustrato ascendente (9 (i) - 9 (iv)) con un contenido de materia seca de 2 % a 5% en peso esté en un intervalo de [1: 2,5] a [1 mayor que 1,5].

(0028) Es especialmente preferido en el método propuesto, cuando la relación entre el volumen de las cámaras atravesadas por el flujo del sustrato descendente (8 (i) - 8 (iv)) y el volumen de las cámaras del flujo del sustrato ascendente (9 (i) - 9 (iv)) con un contenido de materia seca de 5 % a 10% en peso, esté en un intervalo de [1: 1,5] a [1 menor que 1,5].

5 (0029) Es especialmente preferido en el método propuesto, cuando la relación entre el volumen de las cámaras atravesadas por el flujo del sustrato descendente (8 (i) - 8 (iv)) y el volumen de las cámaras del flujo del sustrato ascendente (9 (i) - 9 (iv)) con un contenido de materia seca de 10 % a 15% en peso, esté en un intervalo de [mayor que 1,5 : 1] a [2,5 : 1].

10 (0030) Es especialmente preferido en el método propuesto, cuando la relación entre el volumen de las cámaras atravesadas por el flujo del sustrato descendente (8 (i) - 8 (iv)) y el volumen de las cámaras del flujo del sustrato ascendente (9 (i) - 9 (iv)) con un contenido de materia seca de 15 % a 20% en peso, esté en un intervalo de [mayor que 2,5 : 1] a [3,5 : 1].

15 (0031) La invención concierne igualmente también un reactor en el que se aplica el proceso de la invención en al menos una de las formas de realización preferente de la aplicación. En este caso, un reactor de este tipo para la fermentación de un sustrato capaz de fluir con un contenido de sólidos definido, contiene al menos:

- una entrada (1)
- una salida (3),
- una multitud de particiones (6) que divide el volumen interno del reactor destinado al sustrato en una multitud de compartimentos (7 (i) - 7 (iv)) y cada compartimento (7 (i) - 7 (iv)) se divide a su vez en al menos dos cámaras atravesadas por flujos de sustrato en sentidos contrarios (8 (i) - 8 (iv), 9 (i) - 9 (iv))

cuando el reactor propuesto en este documento se caracteriza por:

- poder aumentar o reducir la relación
 - entre el volumen de las las cámaras atravesadas por el flujo del sustrato en una dirección (8 (i) - 8 (iv))
 - y el volumen de las cámaras atravesadas por el flujo del sustrato en dirección opuesta (9 (i) - 9 (iv))

al menos una parte de las particiones (6) están dispuestos movibles en su situación espacial y / o la posición,

y que el reactor disponga de al menos un dispositivo de control para el movimiento de particiones (6) en función del contenido de la materia seca del sustrato.

- Cada compartimento (7 (i) – 7 (iv)) contiene un volumen interior destinado al sustrato y un almacén de gas (5 (i) – 5 (iv))
- Al menos un almacén de gas (5 (i) – 5 (iv)) de al menos un compartimento (7 (i) – 7 (iv)), seleccionado de todos los almacenes de gas, está separado del otro almacén de gas o de todos los otros almacenes de gas de los otros compartimentos (7 (i) – 7 (iv))
- que al menos este almacén de gas dispone de una salida de gas para la extracción del gas del proceso
- al menos un compartimento (7 (i) – 7 (iv)) tiene una entrada de gas (10 (i) – 10 (iv)) para la introducción de gas del proceso y/o gases externos

5

10 (0032) Se considera un reactor especialmente preferido

- si cada compartimento (7(i) – 7(iv)) ostenta un volumen interno específico para el sustrato y un almacén de gas propio (5(i) – 5(iv)), cuando que este almacén de gas propio está formado separadamente de los almacenes de gas de los otros compartimentos (7(i) – 7(iv))

15

- y si cada almacén de gas (5(i) – 5(iv)) de cada compartimento (7(i) – 7(iv)) ostenta una salida de gas preferiblemente propio (2(i) – 2(iv)) para extraer desde su espacio de gas producido (5(i) – 5(iv))

(0033) En una forma preferida de diseño, las particiones (6) cubren toda la anchura del reactor.

20 (0034) La disposición de las particiones (6) se efectúa debidamente de tal manera que se evita la formación de surcos y / o tapones dentro del reactor y se puede garantizar un flujo óptimo de forma permanente por el reactor.

25 (0035) Los suelos de los compartimentos individuales (7 (i) - 7 (iv)) se pueden diseñar de manera diferente, por ejemplo, pueden ser redondos o rectangulares, con o sin inclinación. Pueden estar equipados, a parte de la entrada de gas correspondiente (10(i) – 10(iv)), también con uno o más puntos de salida para que sea posible de extraer sustrato desde varios puntos del reactor y volver a introducir en otro punto (recircular). Para la extracción del sustrato, puede ser ventajoso utilizar una bomba. En particular, una bomba centralizada, que está conectada a través de varias válvulas con todos los puntos de salida y de entrada, puede utilizarse para los fines de la recirculación.

(0036) El flujo a través del reactor se realiza completamente hidráulico por la disposición de la entrada (1) y la salida (3), y según el principio de los vasos comunicantes, o apoyado por una o más bombas.

5 (0037) Los compartimentos individuales (7 (i) – 7 (iv)) disponen de sus almacenes de gas (5 (i) – 5 (iv)) correspondientes, de los que, de acuerdo con la invención, al menos un almacen de gas (5 (i) – 5 (iv)) de un compartimento (7 (i) – 7 (iv)) seleccionado de todos los almacenes de gas de todos los compartimentos, está formado separadamente del otro almacen de gas o de los otros
10 almacenes de gas de los otros compartimentos (7 (i) – 7 (iv)). De esta manera es posible que los almacenes de gas restantes de los compartimentos restantes (7(i) – 7(iv)) están conectados entre sí. Sin embargo, es preferible que todos los almacenes de gas (5(i) – 5(iv)) de todos los compartimentos (7(i) – 7(iv)) estén separados uno del otro. Se puede efectuar la extracción del gas del proceso a través de la salida de gas de aquel y al menos un almacen de gas separado, y a través de una salida de gas de los otros almacenes de gas conectadas entre sí. Preferiblemente, cada uno de los almacenes de gas formados separadamente (5(i) – 5(iv))
15 dispone de su propia salida de gas (2(i) – 2(iv)).

(0038) El reactor de acuerdo con la invención puede ser diseñado por sus dimensiones para que pueda ser incorporado en un contenedor, y, por tanto, sea portátil.

(0039) Antes de la entrada a el reactor de acuerdo con la invención, el material a fermentar, puede ser tratado previamente de modo que el tamaño medio de partícula es de ≤ 5 mm.

20 (0040) El reactor/proceso de acuerdo con la invención permite la digestión anaerobia de materiales preferiblemente con un contenido de materia seca de 2-20% y una DQO (demanda química de oxígeno) de 3.000 mg / l a 500.000 mg / l. La relación de reciclado es preferiblemente entre el 10% y el 50%. Para el proceso de producción biogás en un reactor, por ejemplo, con un volumen total de todos los compartimentos de 50m³, el caudal del flujo reciclado se encuentra, en
25 función del sustrato y de la potencia entre 0,5 m³ / h y 15 m³ /h.

(0041) La proporción de sustancias no fermentables en el sustrato de entrada no supera preferiblemente una cantidad de 20% en peso de la materia seca. La disgregación de los sustratos puede ser acelerado y completado por la introducción de los gases en las entradas previstos cerca del suelo 10(i) a 10(iv).

(0042) La información que figura en la descripción y en las reivindicaciones de patente respecto a % en peso se refieren cada uno al peso absolutamente seco.

(0043) La figura 1 representa una posible forma de configuración del reactor que aquí se propone para la fermentación de un sustrato capaz de fluir con un contenido definido de materia seca. En este caso, el reactor es un recipiente cúbico que tiene una base rectangular alineada horizontalmente (4), las paredes frontales y laterales rectangulares y verticales, y un techo alineado horizontalmente. El reactor tiene una entrada (1) en la parte superior de una pared frontal y una descarga (3) en la parte superior de la pared frontal opuesta, a través de las que se puede suministrar y retirar el sustrato al y del reactor, respectivamente. Por las tres - en este caso inmovibles - particiones (6) que se erigen verticalmente desde el suelo (4) en el interior del reactor, se divide el interior del reactor en cuatro compartimentos (7 (i) - 7 (iv)). Con las cuatro particiones (6) móviles - en este caso a lo largo de la orientación del eje longitudinal del reactor - cada compartimento individual (7 (i) - 7 (iv)), se divide en exactamente dos cámaras atravesadas por flujos de sustrato de sentido contrario del (8 (i) - 8 (iv) 9 (i) - 9 (iv)). En ello y por cada compartimento (7 (i) - 7 (iv)), el sustrato atraviesa primero las cámaras (8 (i) - 8 (iv)) con un flujo descendente, y al final, por cada compartimento (7 (i) - 7 (iv)), las cámaras (9 (i) - 9 (iv)) con un flujo del sustrato ascendente. En el suelo de la cámara del flujo del sustrato ascendente (9(i) - 9(iv)) esta prevista una entrada de gas (10(i) - 10(iv)) para la introducción de gas del proceso y/o de gases externos. Aún mejor podría estar el posicionamiento un poco más a la izquierda en el suelo de la cámara con el flujo del sustrato ascendente. En la parte superior de cada compartimento (7 (i) - 7 (iv)) hay un espacio de gas (5) y con su propia salida de gas (2) a través de la cual pueden salir los gases producidos en la fermentación anaeróbica..

(0044) La figura 2, con sus figuras parciales de A hasta E, muestra para ilustrar las relaciones entre el volumen de las cámaras de flujo del sustrato descendente (8 (i) - 8 (iv)) y el volumen de las cámaras de flujo del sustrato ascendente (9 (i) - 9 (iv)), que se pueden influenciar por el desplazamiento de las particiones (6) para los casos que figuran en la tabla 1.

(0045) Para demostrar la teoría de la invención, se realizaron los siguientes experimentos que, a su vez, no limitaron a la ciencia general::

(0046) Para la comparación, se utilizó un reactor de tanque con mezcla continua (CSTR) convencional con las siguientes características:

Volumen de trabajo: 4 litros

Volumen de cabeza: aproximadamente 1 litro

Velocidad del agitador: 100 rpm (revoluciones por minuto)

Este reactor de laboratorio es comparable con un fermentador de biogás equipado con agitador central y una relación entre altura y diámetro (H:D) a 1:1.

5 Las cargas orgánicas máximas de los sustratos probados en este reactor de laboratorio fueron:

lixiviado de maíz ensilado: 7 kg SV / m³ d

Restos de comida: 3 kg SV / m³ d (espuma en cargas más altas)

Remolacha de azúcar: 7 kg SV / m³ d

10 (0047) En todos los experimentos con el reactor de laboratorio convencional las irregularidades en la alimentación de sustrato (fluctuación de las cantidades, la calidad o las así llamadas "cargas de choque" - sobrecarga repentina con grandes cantidades de sustrato) llevaron a unas fuertes disminuciones de la producción de biogás hasta a la paralización completa del proceso de biogás.

El reactor experimental de acuerdo con la invención

15 (0048) Para la determinación de los parámetros de la invención relevante se utilizó un reactor experimental en una escala reducida, que corresponde en su estructura básica con la ilustración en la Figura 1. Este reactor experimental, en el presente caso de cristal acrílico, tiene un volumen de trabajo de 4 litros con cuatro compartimentos (7 (i) - 7 (iv)) que tiene una cámara atravesada por un flujo descendente y una cámara atravesada por un flujo ascendente en cada uno (8 (i) - 8 (iv), 9 (i) - 9 (iv)). Cada uno de los compartimentos (7 (i) - 7 (iv)) tiene una superficie de 0,002 m².

20 El interior del reactor tiene una altura de 0,5 m con un espacio de gas (5) adicional de 0,2 m. Los volúmenes de las cámaras (8 (i) - 8 (iv), 9 (i) - 9 (iv)) dependen de la relación entre la cámara de flujo descendente (8 (i) - 8 (iv)) y la cámara de de flujo ascendente (8 (i) - 8 (IV)) y, de acuerdo con la invención, adaptados respecto al contenido de materia seca del sustrato. Se registran las velocidades de flujo correspondientes en las cámaras individuales. En un biorreactor de la escala

25 de producción (con un tamaño) de varios metros cúbicos, las velocidades serán más altas (hasta 0,5 m / h).

Métodos de análisis

30 (0049) El contenido de materia seca del sustrato (MS) se determinó gravimétricamente mediante el secado de una muestra a 105 °C durante 24 horas (hasta peso constante) y queda expresado en porcentaje de los componentes sólidos. Los sólidos volátiles (SV) es la pérdida por ignición de

la muestra seca, como resultados de una quema de la muestra a 600 °C. Los SV representan el porcentaje de materia orgánica respecto a la materia seca de la muestra.

(0050) Para la determinación de la DQO se utilizaron las „Cubetas test” (LCK514) de la empresa HACH-LANGE.

- 5 (0051) La producción de biogás se determinó con un contador de gas "MilliGascounter" de la empresa RITTER..

Preparación de los sustratos

- 10 (0052) Debido a las bajas velocidades de flujo y los relacionados bajos caudales de bombeo de la bomba de manguera utilizada, era necesario tratar los sustratos de forma especial. Para este fin, los sustratos se molieron y se homogeneizaron con un molino de martillos de laboratorio con un diámetro de pantalla de 0,5 mm.

Resultados de las fermentaciones de ensayo

- 15 (0053) Los sustratos de ensayo individuales fermentaron en el reactor experimental a 37 °C con la adición de un inóculo con fangos desgasificados procedentes del tratamiento anaerobio de una depuradora de aguas residuales municipales.

Sustratos con un un contenido de materia seca de 2-5% (tratamiento de acuerdo con el reactor de la invención y utilizando el proceso de la invención)

Sustrato de ensayo: purines de cerdo con un 4% de materia seca

- 20 Tiempo de retención: 12 días

Relación de la cámara para el flujo hacia abajo y flujo ascendente: 1:2

Velocidad del flujo en la cámara de flujo descendente: 0,02 m / h

Velocidad del flujo en la cámara de flujo ascendente: 0,01 m / h

DQO en la entrada del reactor: 40.000-50.000 mg / l

- 25 DQO a la salida del reactor: 2.000 – 3.000 mg / l

Carga orgánica: máx. 3 kg oTS/m³ d

Rendimiento de biogás: 20 m³ por tonelada de purin de cerdo

- 30 (0054) Sustratos con un contenido de materia seca de 5 - 10% (tratamiento con el reactor según la invención y utilizando el proceso de la invención)

Sustrato de ensayo: lixiviados de maíz ensilado, previamente térmicamente tratado, con 9% de materia seca

Tiempo de retención: 8 días

Relación entre las cámaras de flujo descendente y flujo ascendente: 01:01

- 5 Velocidad del flujo en la cámara de flujo descendente: 0,02 m / h
Velocidad del flujo en la cámara de flujo ascendente: 0,02 m / h
DQO en la entrada del reactor: 120.000-140.000 mg / l
DQO en la salida del reactor: 500 – 1.000 mg / l
Carga orgánica: máx. 11 kg oTS/m³ d
- 10 Rendimiento de biogás: 65 m³ por tonelada de lixiviado de maíz ensilado
Contenido de metano: en el volumen total de gas >70%, en el almacen de gas de la última cámara >90%.

(0055) Sustratos con un contenido de materia seca de 10-15% (tratamiento con el reactor según la invención y utilizando el proceso de la invención)

- 15 Sustrato de ensayo: restos de comida higienizadas, con 14,5% de materia seca
Tiempo de retención: 10 días
Relación entre las cámaras de flujo descendente y flujo ascendente: 02:01
Velocidad del flujo en la cámara de flujo descendente: 0,012 m / h
- 20 Velocidad del flujo en la cámara de flujo ascendente: 0,025 m / h
DQO en la entrada del reactor: 200.000-230.000 mg / l
DQO a la salida del reactor: 1.000 – 2.000 mg / l
Carga orgánica: máx. 15 kg oTS/m³ d
Rendimiento de biogás: 131 m³ por tonelada de residuos de alimentos
- 25 Contenido de metano: en el volumen total de gas >76%, en el almacen de gas de la última cámara >95%.

(0056) Sustratos con un contenido de materia seca de 15 - 20% (tratamiento con el reactor según la invención y utilizando el proceso de la invención)

- 30 Sustrato de ensayo: la remolacha azucarera triturada, con un 19% de materia seca
Tiempo de retención: 10 días
Relación entre las cámaras de flujo descendente y flujo ascendente: 3: 1
velocidad del flujo en la cámara de flujo descendente: 0,01 m / h
velocidad del flujo en la cámara de flujo ascendente: 0,033 m / h
- 35 DQO en la entrada del reactor: 270.000-300.000 mg / l
DQO a la salida del reactor: 1.000 – 2.000 mg / l

Carga orgánica: máx. 20 kg oTS/m³ d

Rendimiento de biogás: 153 m³ por tonelada de remolacha azucarera.

Contenido de metano: en el volumen total de gas >60%, en el almacén de gas de la última cámara >85%.

5 (0057) El proceso de acuerdo con la invención muestra en todos los casos una insensibilidad a las fluctuaciones en el sustrato, tanto en términos de cantidad como en términos de la calidad.

(0058) El reactor de acuerdo con la invención es robusto contra las fluctuaciones y perturbaciones debido a la compartimentación. Esto permite que en el reactor de la invención se admiten unas tasas de cargas mayores. En los compartimentos individuales, se establecen diferentes condiciones de fermentación (tal como pH), que conducen a la estabilización del proceso de fermentación. El proceso de biogás se compone de varios pasos individuales, que se basan uno al otro pero con condiciones diferentes. El reactor de acuerdo con la invención apoya específicamente las características de este proceso para cada paso. Los tipos de carga más elevados, los tiempos de residencia más cortos y las mejores condiciones de fermentación conducen a mayores rendimientos globales por unidad de tiempo (aumento del rendimiento espacio-tiempo) en comparación con los reactores convencionales, como muestra la tabla 2.

10

15

Tabla 2: Aumento del rendimiento espacio-tiempo del reactor de laboratorio de acuerdo con la invención en comparación con el reactor de laboratorio convencional:

Sustrato de ensayo	Rendimiento espacio-tiempo [m3 de biogás por m3 de volumen de reactor y día]		Aumento del rendimiento espacio-tiempo
	reactor de laboratorio de la invención	reactor de laboratorio convencional	
Purin de cerdo	2	0,7	3 x
Lixiviados de ensilado de maiz	9	3	3 x
Restos de comida higienizado	14	2	7 x
Remolacha triturada	16	4	4 x

Lista de referencia:

- 5 1 Entrada sustrato
- 2 (i) a 2 (iv) Salida Gas
- 3 Salida sustrato
- 4 Suelo
- 5 (i) a 5 (iv) Zona de gas
- 10 6 Paredes de separacion
- 7 (i) a 7 (iv) compartimentos (i) a (iv)
- 8 (i) a 8 (iv) cámaras con flujo descendente en los compartimentos: (i) a (iv)
- 9 (i) a 9 (iv) cámaras con flujo ascendente en los compartimentos (i) a (iv)
- 10 Entrada gas

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para la fermentación de un sustrato capaz de fluir con un contenido de materia seca definido, utilizando un reactor, cuando el proceso contiene al menos:

- La introducción del sustrato por lo menos por una entrada (1) al reactor
- 5 • La conducción del sustrato a través del reactor, que tiene una multitud de particiones (6) que divide el volumen interno del reactor destinado para el sustrato en una multitud de compartimentos (7 (i) - 7 (iv)) y cada compartimento (7 (i) - 7 (iv)) se divide a su vez en al menos dos cámaras atravesadas por flujos del sustrato en sentidos contrarios (8 (i) - 8 (iv), 9 (i) - 9 (iv))
- 10 • Extracción del sustrato por al menos una salida (3) del reactor

cuando el método propuesto en este documento se caracteriza por:

- Para aumentar o reducir la relación
 - 15 ○ entre el volumen de las las cámaras atravesadas por el flujo del sustrato en una dirección (8 (i) - 8 (iv))
 - y el volumen de las cámaras atravesadas por el flujo del sustrato en dirección opuesta (9 (i) - 9 (iv))

al menos parte de las particiones (6) se mueven en su situación espacial y / o la posición y / o la extensión espacial,

20 cuando el movimiento y / o extensión de las particiones (6) se controla en función del contenido de materia seca del sustrato.

- Cada compartimento (7 (i) – 7 (iv)) dispone de un volumen interior y un almacén de gas correspondiente ajustado al sustrato (5 (i) – 5 (iv))
- Al menos un almacén de gas (5 (i) – 5 (iv)) de un compartimento (7 (i) – 7 (iv)),
25 seleccionado de todos los almacenes de gas, está separado del otro almacén de gas o de todos los otros almacenes de gas de los otros compartimentos (7 (i) – 7 (iv))

y cuando el proceso propuesto en el presente documento comprende al menos las siguientes etapas adicionales del proceso de manera característica de:

- 30 • Extracción del gas del proceso de ese al menos un almacén de gas que está separado del otro almacén o de los otros almacenes de gas (5 (i) – 5 (iv)) de los otros compartimentos

- Adición de gas externo o gas del proceso extraído anteriormente al volumen interior destinado para el sustrato de al menos uno de los compartimento correspondientes (7 (i) – 7 (iv)) .

- 5 2. Proceso según la reivindicación 1, se caracteriza por que se introduce el gas del proceso de un compartimento consiguiente (7(ii) – 7(iv)) en el volumen interior del compartimento anterior (7(i) – 7(III))
- 10 3. Proceso según una de las reivindicaciones 1 o 2, se caracteriza por que se introduce un gas que contiene oxígeno como gas externo en el volumen interior del primer compartimento atravesado por el sustrato (7 (i)).
- 15 4. Proceso según una de las reivindicaciones 1 a 3, se caracteriza por la introducción del gas del proceso y/o gas externo via una corriente de gas en dirección contraria al flujo del sustrato
- 20 5. Proceso según una de las reivindicaciones 1 a 4, se caracteriza porque el reactor dispone a lo largo de su eje longitudinal, una multitud de compartimentos posicionados uno al lado del otro (Fig. 7 (i) - 7 (iv)).
- 25 6. que se caracteriza porque cada compartimento individual (7 (i) - 7 (iv)) se divide en dos cámaras atravesadas por flujos de sustrato en sentidos contrarios (8 (i) - 8 (iv), 9 (i) - 9 (iv)), de las que las cámaras (8 (i) - 8 (iv)) se atraviesan por un flujo del sustrato descendente y las cámaras (9 (i) - 9 (iv)) por un flujo del sustrato ascendente.
7. Proceso de acuerdo con una de las reivindicaciones 5 a 6, se caracteriza porque la relación entre el volumen respectivo las cámaras atravesadas por del flujo descendente de sustrato (8 (i) - 8 (iv) y el volumen de las cámaras atravesadas por el flujo del sustrato ascendente (9 (i) - 9 (IV) aumenta con el contenido de materia seca del sustrato.
8. Reactor para la fermentación de un sustrato capaz de fluir con un contenido definido de materia seca, que contiene como mínimo:
- 30
- una entrada (1)
 - una salida (3),
 - una multitud de particiones (6) que divide al menos el volumen interno del reactor destinado para el sustrato en una multitud de compartimentos (7 (i) - 7 (iv)) y cada

compartimento (7 (i) - 7 (iv)) se divide a su vez en al menos dos cámaras atravesadas por flujos del sustrato en sentidos contrarios (8 (i) - 8 (iv), 9 (i) - 9 (iv)),

caracterizado de manera que,

- para aumentar o reducir la relación

- 5
- entre el volumen de una de las cámaras atravesadas por el flujo del sustrato (8 (i) - 8 (iv))
 - y el volumen de las cámaras atravesadas por el flujo del sustrato en el sentido opuesto (9 (i) - 9 (iv))

10 al menos parte de las particiones (6) se mueven en su situación espacial y / o la posición, y que el reactor cuenta con al menos un dispositivo de control de las particiones (6) en función del contenido de materia seca del sustrato capaz de fluir

- Cada compartimento (7 (i) – 7 (iv)) dispone de un almacén de gas correspondiente al sustrato y un almacén de gas (5 (i) – 5 (iv))
- 15 • Al menos un almacén de gas (5 (i) – 5 (iv)) de al menos un compartimento (7 (i) – 7 (iv)), seleccionado de todos los almacenes de gas, está separado del otro almacén de gas o de todos los otros almacenes de gas (5 (i) – 5 (iv)) de los otros compartimentos (7 (i) – 7 (iv))
- que este almacén de gas tiene como mínimo una salida de gas para la extracción del gas del proceso,
- 20 • Al menos un compartimento (7 (i) – 7 (iv)) tiene una entrada de gas (10 (i) – 10 (iv)) para la introducción de gas del proceso y/o gas externo

9 Reactor según reivindicación 8, caracterizado por que cada compartimento (7 (i) – 7 (iv)) dispone de un volumen interior destinado al sustrato y de un almacén de gas (5 (i) – 5 (iv)) cuando este almacén de gas propio se ha formado de forma separada de los otros almacenes de gas correspondientes a los otros compartimentos (7 (i) – 7 (iv)).

25

- 10 Reactor según reivindicación 9, caracterizado por que cada almacén de gas (5(i) – 5(iv)) de cada compartimento (7(i) - 7(iv)) dispone de una salida de gas individual (2(i) – 2(iv)) para la extracción del gas del proceso de cada compartimento (7(i) – 7(iv)).
- 5 11 Reactor según reivindicación 8 a 10, esta caracterizado porque el reactor dispone a lo largo de su eje longitudinal, una multitud de compartimentos posicionados uno al lado de otro (Fig. 7 (i) - 7 (iv)).
- 10 12 Reactor según la reivindicación 11, caracterizado porque cada compartimento individual (7 (i) - 7 (iv)) se divide en dos cámaras atravesadas por el sustrato en flujos de sentidos contrarios (8 (i) - 8 (iv), 9 (i) - 9 (iv)), de las que las cámaras (8 (i) - 8 (iv)) se atraviesan de forma descendente y las cámaras (9 (i) - 9 (iv)) se atraviesan de forma ascendente.
- 13 Reactor de acuerdo con la reivindicación 12, caracterizado porque la entrada de gas (10 (i) - 10 (iv)) está diseñado para la introducción del gas del proceso y / o gas externo por el suelo de la cámara de sustrato de flujo descendente (8(i) – 8(iv)).
- 15 14. Reactor según reivindicación 11 a 13, caracterizado por que al menos una parte de las particiones (6) están dispuestos de forma desplazable en la dirección del eje longitudinal del reactor.
15. Reactor de acuerdo con una de las reivindicaciones 11 a 14, caracterizado porque las particiones (6) cubren toda la anchura del reactor.

Figura 1

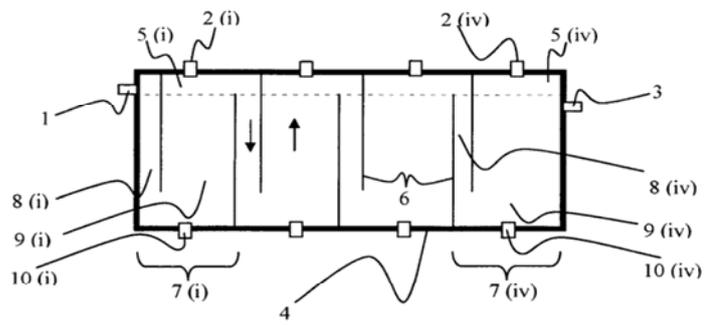


Figura 2:

