



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 364 083**

51 Int. Cl.:

**C02F 1/44** (2006.01)

**C02F 3/12** (2006.01)

**C02F 3/28** (2006.01)

**C02F 3/34** (2006.01)

**C02F 1/28** (2006.01)

**C02F 1/42** (2006.01)

**C02F 101/10** (2006.01)

**C02F 101/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06829809 .0**

96 Fecha de presentación : **21.12.2006**

97 Número de publicación de la solicitud: **1968900**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **17.09.2008**

54 Título: **Purificación anaeróbica de agua residual.**

30 Prioridad: **23.12.2005 DE 10 2005 063 228**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**24.08.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**24.08.2011**

73 Titular/es: **Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung  
der angewandten Forschung e.V.  
Hansastraße 27C  
80686 München, DE**

72 Inventor/es: **Sternad, Werner;  
Spork, Christian;  
Mohr, Marius;  
Trösch, Walter;  
Trick, Iris y  
Krischke, Wolfgang**

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 364 083 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

Purificación anaeróbica de agua residual

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para purificar agua residual, por ejemplo aguas residuales municipales, por medio de purificación biológica anaeróbica, un procedimiento para obtener biogás a partir de agua residual así como al uso de dispositivos, que son adecuados para la purificación biológica anaeróbica de agua residual.

10 **Estado de la técnica**

Se conocen dispositivos y procedimientos para purificar agua residual, ante todo aguas residuales municipales. Ciertos ejemplos de ello son las denominadas estaciones depuradoras o estaciones de purificación de aguas residuales. Éstas sirven de manera primaria para la purificación de aguas residuales municipales, que se recopilan por la canalización pública y se transportan hacia la estación depuradora. El objetivo de la purificación de aguas residuales es la separación de componentes no deseados del agua residual, de modo que se obtiene agua residual purificada, que por ejemplo puede liberarse en ríos y aguas estancadas (denominada corriente de agua receptora), sin que se produzcan daños al medioambiente y a la población mediante carga química o microbiológica.

20 Para separar los componentes no deseados se utilizan procedimientos mecánicos (físicos), biológicos y químicos, la mayoría de las veces en combinación. Las estaciones depuradoras modernas tienen tres etapas de manera correspondiente, estando conectadas una detrás de la otra al menos una etapa de purificación física, al menos una etapa de purificación biológica y al menos una etapa de purificación química. Los procedimientos biológicos sirven sobre todo para la degradación de compuestos orgánicos en aguas residuales altamente cargadas de componentes orgánicos. Esto se realiza de manera conocida mediante degradación aeróbica de los compuestos orgánicos para dar productos finales inorgánicos tales como dióxido de carbono, nitrato, sulfato, fosfato, etc. Para ello se utiliza biomasa en forma de lodos activados en los denominados depósitos de bioventilación o como césped bacteriano por ejemplo en forma del denominado filtro de goteo. Los compuestos orgánicos que van a separarse se utilizan o se "consumen" energéticamente, a este respecto, no sólo mediante procesos catabólicos, es decir se catabolizan mediante reacción con el oxígeno del aire, sino que sirven en procesos anabólicos para el crecimiento de la biomasa. La biomasa que se concentra debe separarse regularmente de la etapa de purificación biológica y en una torre de digestión se someten a un tratamiento posterior, por ejemplo a una fermentación, liberándose biogás y quedando sin embargo aún cantidades considerables de desecho de lodo. Este desecho de lodo puede usarse parcialmente como fertilizante. En gran parte se elimina la formación de lodo, sin embargo de manera costosa, en estaciones incineradoras.

También se conoce una purificación de aguas residuales anaeróbica. Ésta sirve igualmente para la separación de compuestos de carbono orgánicos dañinos o perturbadores en el agua residual mediante procesos de degradación microbiológicos, que terminan sin embargo en ausencia de oxígeno. A este respecto, los microorganismos anaeróbicos obtienen la energía necesaria para su metabolismo a partir de la reacción de los compuestos de carbono orgánicos y éstos reaccionan para dar ácidos orgánicos, otros hidrocarburos, para dar dióxido de carbono y metano. La purificación de aguas residuales tiene lugar, a este respecto, en reactores cerrados herméticos al aire. Para conseguir la actividad de purificación necesaria (medida mediante la degradación de la carga de aguas residuales en compuestos que pueden oxidarse), es necesario en la mayoría de los casos un calentamiento del agua residual para conseguir el valor óptimo de temperatura necesario para el crecimiento de bacterias.

En general, el procedimiento anaeróbico se subdivide en sistemas de circulación sin inmovilización de la biomasa, en los que la biomasa se encuentra esencialmente en suspensión, y en sistemas de circulación con inmovilización, en los que la biomasa se encuentra inmovilizada esencialmente en estructuras internas del reactor y por el que se pasa agua residual que va a purificarse.

Se conoce el denominado "tanque clarificador tipo Emscher", una torre depuradora de dos etapas patentada por Imhoff en 1906 que permite la digestión anaeróbica en una cámara de digestión que se encuentra debajo. A este respecto, el tiempo de digestión promedio del lodo asciende, dependiendo de la temperatura de las aguas residuales, a aproximadamente 3 meses. Esta estación se utiliza por regla general para la sedimentación primaria, pero no para la sedimentación principal y purificación del agua residual.

Por ejemplo se produce agua residual altamente cargada en caso de tratamiento de remolachas azucareras en fábricas de azúcar, que se purifica mediante estaciones de purificación de aguas residuales anaeróbicas conocidas. A este respecto se degradan las aguas residuales en dos etapas: en una primera etapa, la denominada acidificación, se transforman las sustancias de azúcar de alto peso molecular contenidas en el agua residual y otros compuestos orgánicos mediante microorganismos para dar ácidos orgánicos. Estos ácidos son el sustrato degradable para las bacterias en la segunda etapa, la denominada fase metanogénica. A este respecto, la fase metanogénica es la fase microbiana, que purifica el agua residual, convirtiéndose CSB (sustancia orgánica que puede oxidarse disuelta) para dar productos gaseosos CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, que abandonan como tales el agua voluntariamente y sin costes. La segunda fase puede estar configurada, entre otras cosas, en forma de un reactor de lecho fluidizado. Para ello se calienta el

agua residual en la etapa de acidificación a través de un intercambiador de calor hasta aproximadamente 38°C.

Además de los reactores de lecho fluidizado se utilizan para la purificación de aguas residuales anaeróbica conocida también torres de digestión, depósitos de bioventilación anaeróbicos, reactores UASB o reactores de lecho sólido.

Las concentraciones residuales conseguidas en caso de procedimientos de purificación anaeróbicos conocidos de impurezas orgánicas no permiten una introducción directa en la corriente de agua receptora. Por tanto son necesarias etapas de purificación química y/o biológica aeróbica adicionales.

En reactores anaeróbicos conocidos pueden conseguirse concentraciones de lodo activas de hasta 20 g/l como máximo. Los procedimientos conocidos tienen una carga de lodo de aproximadamente 0,2 a 0,3 g de CSB (demanda de oxígeno química, en caso de oxidación mediante dicromato de potasio) por gramo de sustancia seca del lodo por día. Para la degradación de 1 g/l de CSB por día han de mantenerse de manera conocida de 3 a 5 g de sustancia seca en forma de biomasa anaeróbica en el reactor.

Además, procedimientos de purificación anaeróbicos conocidos son sensibles en cuanto a la calidad de entrada y al mantenimiento de condiciones de funcionamiento, especialmente de la temperatura de entrada. Los procedimientos conocidos son sensibles con respecto a modificaciones de temperatura del agua residual introducida. Las temperaturas de introducción de aguas residuales municipales ascienden por regla general a entre 4°C y 30°C. Precisamente a temperaturas bajas, es decir inferiores a 20°C, los procedimientos anaeróbicos conocidos sin medidas adicionales de la regulación de la temperatura de las aguas residuales, no pueden purificar éstas de manera suficiente.

En caso de sistemas de circulación sin inmovilización, los tiempos de permanencia hidráulicos, que sobrepasan la velocidad de crecimiento que existe momentáneamente de las metanobacterias en condiciones de funcionamiento dadas, conducen al lixiviado de estos biocatalizadores y al fallo total del procedimiento de purificación. La velocidad de crecimiento que existe momentáneamente puede modificarse, entre otras cosas, mediante la temperatura, el valor de pH, así como la concentración de amoníaco, H<sub>2</sub>S y sal. Dado que la fase acidogénica reacciona de manera menos sensible a la influencia del crecimiento que la fase metanogénica, los reactores en el intervalo de temperatura de psicrófilos tienden especialmente a la acidificación, por ejemplo en caso de velocidades de crecimiento muy pequeñas (T<sub>actual</sub> << T<sub>óptima</sub>) de metanobacterias.

Si se usan reactores, que inmovilizan bacterias debido al denominado problema del "lavado" (sistemas de circulación con inmovilización), no consiguen éstos ningún rendimiento de purificación, que sea suficiente para la introducción en la corriente de agua receptora, debido a la limitación de difusión en las capas de inmovilización.

Por Lettinga *et al.* (Challenge of Psychrophilic Anaerobic Wastewater Treatment. TRENDS in Biotechnology, 2001, 19(9):363-369) se conoce la purificación de aguas residuales y metanización en condiciones psicrófilas en un reactor de "lecho de lodo". Por Dague *et al.* (Anaerobic Sequencing Batch Reactor Treatment of Dilute Wastewater at Psychrophilic Temperatures. Water Environment Research, 1998, 70(2):155-160) se conoce la purificación de aguas residuales con metanización en condiciones psicrófilas en un biorreactor "de alimentación discontinua". Por Rebac *et al.*, (High-rate Anaerobic Treatment of Maltng Waste Water in a Pilot-Scale EGSB System Under Psychrophilic Conditions. J. Chem. Tech. Biotechnol. 1997, 68:135-146) se conoce la purificación con metanización de aguas residuales de fábricas de cerveza en condiciones psicrófilas con el uso de un reactor de "lecho de lodo granular expandido"; a este respecto se describe la purificación de aguas residuales anaeróbica como opción para aguas residuales poco cargadas.

### **Definición de objetivos**

El problema técnico en el que se basa la presente invención consiste sobre todo en proporcionar un procedimiento mejorado para la purificación biológica anaeróbica de agua residual, que presenta una sensibilidad a la temperatura reducida y muestra una alta eficacia de purificación en la degradación de impurezas orgánicas.

El problema técnico se soluciona mediante un procedimiento para purificar agua residual según la reivindicación 1, en el que se realiza al menos una etapa de una purificación biológica anaeróbica, es decir etapa de purificación. El procedimiento según la invención está caracterizado esencialmente por que se utiliza biomasa en la al menos una etapa de purificación biológica anaeróbica, que se selecciona de microorganismos psicrófilos. Preferiblemente, los microorganismos psicrófilos presentan un valor óptimo de temperatura que se encuentra a una temperatura inferior a 35°C, preferiblemente inferior a 25°C, de manera especialmente preferible inferior a 20°C. La biomasa está presente según la invención en un denominado reactor o biorreactor, y concretamente suspendida en caso de mezclado completo del reactor. Según la invención se concentra la biomasa mediante microfiltración y se reconduce a la purificación biológica anaeróbica. Según la invención, la concentración de la biomasa en el biorreactor asciende a 25 g/l o más.

La invención prevé así realizar al menos una etapa de purificación biológica anaeróbica por medio de microorganismos psicrófilos. La utilización según la invención de microorganismos psicrófilos permite la separación casi completa de impurezas orgánicas hasta valores de CSB de 75 mg/l e inferiores. Normalmente, una estación de

dos etapas accionada según la invención (dos reactores conectados uno detrás del otro) consigue valores de salida de aproximadamente 50 a aproximadamente 100 mg/l de CSB en caso de una entrada de aproximadamente 3700 mg/l de CSB. Esto significa una eliminación de las sustancias inorgánicas desde un 97% hasta un 98,5%. A este respecto, la temperatura de entrada asciende a entre aproximadamente 4°C y aproximadamente 35°C.

5 Con el procedimiento según la invención se llega así a obtener, sólo mediante purificación biológica anaeróbica y sin medidas adicionales como la regulación de la temperatura, valores de CSB que satisfacen las normas europeas o el reglamento alemán para aguas residuales.

10 El inventor encontró sorprendentemente que por medio de microorganismos psicrófilos puede realizarse una purificación biológica anaeróbica eficaz de agua residual. Esto se logra sobre todo cuando la concentración de biomasa se mantiene alta en el reactor. La biomasa presenta según la invención una concentración de 25 g/l o más, preferiblemente de 50 g/l o más. El límite superior se encuentra en aproximadamente 100 g/l. En una variante preferida, la concentración de biomasa asciende a desde 25 g/l hasta 100 g/l. Según la invención se utiliza un reactor de mezclado completo. Según la invención está previsto, a este respecto, en la salida del reactor un dispositivo de microfiltración adecuado, por ejemplo un filtro de discos giratorios, mediante lo cual se permite la retención y dado el caso la reconducción del lodo que se fuga del reactor en el circuito hidráulico, que contiene la biomasa.

20 Contra lo que era de esperar, los microorganismos psicrófilos son apropiados en la aplicación de medidas de procedimiento adecuadas para purificar de manera eficaz agua residual, surtiendo efecto las ventajas conocidas de la purificación biológica anaeróbica tal como la realización económica, supresión de la aireación energéticamente costosa y sobre todo la prevención de aproximadamente un 90% de la producción de lodos activos no deseados. Simultáneamente puede obtenerse biogás, por medio del procedimiento según la invención también de manera fácil, por ejemplo sin torre de digestión adicional, es decir esencialmente una mezcla de metano y dióxido de carbono que se produce en la purificación biológica anaeróbica, a partir del agua residual que va a purificarse.

30 Sin estar unido a ninguna teoría, la concentración de catalizador alta de manera constante según la invención en el reactor permite una metanización independiente de la temperatura, es decir actividad metabólica de la biomasa, mediante lo cual se caracteriza la degradación de los compuestos orgánicos no deseados presentes en el agua residual. En caso de temperaturas de entrada frías, sobre todo por debajo de 20°C, y/o en caso de grado de contaminación reducido del agua residual con impurezas orgánicas, los microorganismos psicrófilos contenidos en la etapa de purificación biológica recaen en un denominado metabolismo de mantenimiento. A este respecto tiene lugar la purificación de aguas residuales en alta eficacia de manera sorprendente ya en condiciones del metabolismo de mantenimiento (condiciones de mantenimiento).

40 En condiciones de mantenimiento, la actividad metabólica también de las metanobacterias es menor que en condiciones en las que pueden crecer las bacterias. Para poder conseguir entonces, no obstante, rendimientos de purificación altos, debe compensarse la actividad más reducida por una concentración superior de bacterias. Por tanto se hace funcionar preferiblemente el procedimiento siempre con una concentración de bacterias que es suficiente para mantener la formación de biogás a un nivel que sea suficiente para conseguir condiciones de introducción de CSB. Esto puede obtenerse por según la invención desde 25 hasta 100 g de biomasa activa también para temperaturas de aguas residuales que son mucho más bajas de 30°C.

45 La elección según la invención de la biomasa entre la población de microorganismos psicrófilos permite sobre todo una purificación de aguas residuales altamente eficaz en relación con una alta concentración de biomasa de según la invención 25 g/l o más en la etapa de purificación biológica incluso en caso de temperaturas bajas inferiores a 20°C. A este respecto, los microorganismos están sometidos parcial o completamente al metabolismo de mantenimiento. En el metabolismo de mantenimiento, se suprime de manera ventajosa la proliferación no deseada de la biomasa completamente, mediante lo cual se evita totalmente la producción de lodo desventajosa.

50 Se muestra que la purificación biológica anaeróbica según la invención puede realizarse de manera altamente eficaz ya en un proceso de una sola etapa como metanización de una sola etapa. A este respecto se consigue ventajosamente una eliminación de compuestos orgánicos de hasta el 95% (medido mediante los valores de CSB). Si se realiza el procedimiento en un proceso de dos etapas como metanización de dos etapas, se elimina hasta el 98,5% de los compuestos orgánicos (medidos mediante los valores de CSB) del agua residual.

60 En una forma de realización preferida de la invención se realiza, por tanto, la purificación biológica anaeróbica en una sola etapa, preferiblemente como metanización de una sola etapa. En otra variante preferida se realiza la purificación biológica anaeróbica en dos etapas, preferiblemente como metanización de dos etapas. Lógicamente pueden ordenarse, es decir formar cascada, según cada campo de aplicación y conveniencia, también más de dos etapas una detrás de la otra. Por regla general es suficiente para la aplicación en aguas residuales municipales una metanización de dos etapas, para obtener aguas residuales purificadas en una calidad de corriente de agua receptora que cumple las normas europeas y el reglamento alemán para aguas residuales.

65 La biomasa está suspendida en el agua residual que va a purificarse. Esto se consigue debido a que la biomasa se

mantiene en un reactor de mezclado completo. El lodo que sale del reactor de biomasa y agua residual purificada o parcialmente purificada se retorna de nuevo al reactor. Esto se consigue mediante la separación de agua del lodo que sale, mediante lo cual se concentra el lodo. A continuación se reconduce el lodo concentrado a la purificación biológica anaeróbica. Para la recuperación o la concentración del lodo se usa al menos un dispositivo de microfiltración. Preferiblemente está conectado posteriormente el dispositivo de microfiltración al reactor de manera inmediata. Preferiblemente, el reactor y el dispositivo de microfiltración forman entonces una unidad integrada. Se entiende que puede utilizarse cada dispositivo de microfiltración adecuado para este fin para recuperar la biomasa del lodo que sale. De manera especialmente preferible se utiliza como dispositivo de microfiltración un filtro de discos giratorios. Éste permite de manera ventajosa el funcionamiento continuo con alta eficacia. Igualmente son preferibles centrifugadoras y/o sistemas de decantación. Se entiende igualmente que la retención de biomasa también puede instalarse incluso en el reactor.

En un procedimiento alternativo no según la invención por el contrario se establece la biomasa en la etapa de purificación biológica anaeróbica, es decir se inmoviliza. Para ello son apropiadas, por ejemplo, estructuras ramificadas con superficie grande y rugosa, en la que puede establecerse la biomasa. Dado el caso puede prescindirse entonces de sistemas de retención de lodos adecuados. De manera conveniente se realiza, en caso de biomasa inmovilizada, la purificación biológica anaeróbica en una sola etapa, por ejemplo en un único recipiente de reactor. Se hace innecesaria entonces la compartimentación en sistemas de reactor de dos o más etapas.

En una realización preferida, el procedimiento según la invención contiene al menos una etapa adicional, en la que se separa, es decir se elimina, completa o parcialmente el fósforo contenido en el agua residual, que está presente, por ejemplo, como fosfato inorgánico. La etapa adicional preferida de la eliminación de fósforo tiene lugar preferiblemente a continuación de la realización de la etapa de purificación biológica anaeróbica según la invención. La eliminación del fósforo puede realizarse de manera en sí conocida y el experto seleccionará el procedimiento adecuado según cada campo de aplicación y conveniencia. Preferiblemente, la precipitación de fosfato tiene lugar como compuesto de aluminio, magnesio y/o hierro difícilmente soluble.

Preferiblemente se realiza la eliminación de fósforo por medio de precipitación como fosfato de magnesio y amonio (MAP). Esto se efectúa, por ejemplo, mediante adición de sales de magnesio correspondientes, mediante lo cual precipita el fosfato con iones amonio contenidos igualmente en el agua residual como sal doble difícilmente soluble. Ésta puede separarse entonces con medidas adecuadas del agua residual. Alternativa o adicionalmente puede hacerse precipitar el fosfato mediante la adición de una disolución de cloruro de hierro(III) como fosfato de hierro(III). La separación del fosfato de hierro difícilmente soluble se realiza de manera en sí conocida. Preferiblemente, el dispositivo según la invención está configurado además con un dispositivo para eliminar fósforo, presentando el dispositivo un reactor así como al menos un dispositivo para dosificar la disolución salina seleccionada de sal de hierro(III) y sal de magnesio para precipitar compuestos de fósforo inorgánicos.

En una realización preferida se separa, es decir se elimina, el nitrógeno contenido en el agua residual en una etapa adicional del agua residual parcial o completamente. Para ello pueden utilizarse todos los procedimientos conocidos por el experto para la eliminación de nitrógeno. El experto seleccionará el procedimiento adecuado para la eliminación de nitrógeno según cada campo de aplicación y conveniencia. Así puede tener lugar la eliminación de nitrógeno en una etapa de purificación biológica aeróbica conectada posterior o anteriormente por medio de nitrificación/desnitrificación aeróbica de manera en sí conocida.

En una variante preferida se elimina adicional o alternativamente el nitrógeno, intercambiándose el nitrógeno de amonio en una zeolita, preferiblemente klinoptilolita. Preferiblemente se hace pasar la zeolita por el agua residual en la corriente principal. A este respecto se prevé que la zeolita cargada con amonio se regenere en una etapa adicional con disolución de regeneración, por ejemplo disolución de cloruro de sodio, mediante lo cual se obtiene una disolución de regeneración que contiene amonio. En una variante se realiza la regeneración a temperaturas elevadas. La disolución de regeneración que contiene amonio se libera en una etapa adicional, preferiblemente mediante separación al aire, de amonio, que sale como amoníaco de la disolución de regeneración que contiene amonio. La separación al aire del amoníaco tiene lugar de manera en sí conocida. A este respecto tiene lugar la separación del amoníaco en la corriente secundaria de la disolución de regeneración, en la que está presente el nitrógeno de amonio en alta concentración. Preferiblemente, la separación es entonces especialmente eficaz. Se prevé preferiblemente que la disolución de regeneración separada se usa parcial o completamente de nuevo para la regeneración de la zeolita. Para la recuperación real del nitrógeno de amonio tras la separación al aire se utiliza preferiblemente un lavador ácido.

Preferiblemente se realiza la etapa de eliminación de nitrógeno tras la o a continuación de la etapa de eliminación de fósforo. También se prevé la disposición inversa; el experto seleccionará la disposición de las etapas según cada campo de aplicación y conveniencia.

Preferiblemente, el dispositivo usado para el procedimiento según la invención está configurado adicionalmente con un dispositivo para la eliminación de nitrógeno, presentando el dispositivo al menos una columna de zeolita, una unidad de regeneración y un dispositivo para la separación al aire de amoníaco a partir de la disolución de regeneración.

Un objeto adicional de la invención es también un procedimiento para obtener biogás a partir de agua residual, en el que se utiliza la purificación biológica anaeróbica según la invención por medio de microorganismos psicrófilos, para obtener, simultáneamente con la purificación del agua residual, biogás producido con la metanogénesis. El procedimiento contiene al menos las etapas de poner a disposición el agua residual, realizar la purificación de aguas residuales biológica anaeróbica por medio de biomasa psicrófila según el procedimiento según la invención y recopilar o recoger los biogases producidos con la purificación biológica anaeróbica en la biomasa, sobre todo metano y dióxido de carbono. Preferiblemente está contenido en el biogás aproximadamente el 60% de metano y aproximadamente el 40% de dióxido de carbono. El biogás recopilado se utiliza preferiblemente como combustible, por ejemplo en plantas en cogeneración, para la generación de energía y para la generación de calor. Es también objeto de la presente invención el uso de un dispositivo, que es adecuado para la purificación biológica anaeróbica de agua residual y/o se usa para la purificación biológica anaeróbica de agua residual. Para la purificación biológica anaeróbica de agua residual, preferiblemente por medio de metanización de una sola etapa, es adecuado y/o se usa según la invención un dispositivo que contiene al menos los siguientes elementos o preferiblemente está compuesto por los mismos:

(a) al menos un reactor, presentando por lo menos el reactor al menos una primera entrada para el agua residual que va a purificarse, preferiblemente dado el caso al menos una segunda entrada para el retorno de lodo, dado el caso al menos una salida superior para el biogás y al menos un desagüe o estando compuesto por los mismos, así como

(b) al menos un dispositivo de microfiltración, preferiblemente un filtro de discos giratorios, para concentrar el lodo que se produce con la purificación biológica, presentando por lo menos el dispositivo de microfiltración al menos una entrada de alimentación, al menos una salida de filtrado para el agua residual purificada, al menos una evacuación de gas próxima al eje y al menos una salida de retenido para el lodo concentrado o estando compuesto por los mismos.

Preferiblemente, el dispositivo de microfiltración está dotado adicionalmente de al menos una salida de gas para evacuar el gas contenido en el lodo separado, esencialmente biogás. El gas separado se reunifica preferiblemente con la evacuación de biogás del reactor. Preferiblemente, el dispositivo de microfiltración está realizado como filtro de discos giratorios. La evacuación del gas que se recopila en el dispositivo de microfiltración se posibilita entonces esencialmente mediante perforaciones próximas al eje de rotación. A este respecto se drena, en el funcionamiento del filtro de discos giratorios, el gas que se acumula con la rotación en la proximidad del eje mediante las perforaciones a lo largo del eje de rotación a través de una abertura de salida próxima al eje. Preferiblemente, el dispositivo de microfiltración previsto según la invención presenta adicionalmente al menos una salida para el gas que se acumula.

Preferiblemente está previsto el dispositivo de filtro descrito en la patente alemana DE 101 54 549 especialmente las figuras 1, 2 y 3 y la correspondiente descripción de las figuras. Este dispositivo de filtro es un filtro de discos giratorios que dispone de una evacuación de gas adicional.

Según la invención, el desagüe del reactor está unido con la entrada de alimentación del dispositivo de microfiltración, de manera que el lodo, es decir la biomasa, que sale del reactor, se conduce al dispositivo de microfiltración. Según la invención, la salida de retenido del dispositivo de microfiltración está unida con la segunda entrada del reactor, de manera que puede reconducirse el lodo retenido o concentrado al reactor. Preferiblemente se reconduce el lodo retenido directamente al reactor, preferiblemente a través de una segunda entrada (separada). En una variante se reconduce el lodo inmediatamente a la entrada de alimentación de la etapa de purificación biológica según la invención.

Preferiblemente está prevista en el reactor y/o dispositivo de microfiltración al menos una salida para el lodo sobrante; preferiblemente, está dispuesta la salida de lodo en la realimentación de lodo desde el dispositivo de microfiltración en el reactor.

Una disposición con el biorreactor y el dispositivo de microfiltración integrado en el mismo es apropiada preferiblemente en casos de carga no demasiado alta del agua residual que va a purificarse con componentes orgánicos, por ejemplo de hasta aproximadamente 1000 mg/l de CSB, como unidad de una sola etapa completa, es decir necesaria y suficiente, para la etapa de purificación biológica de una estación de purificación de aguas residuales. En una variante preferida, la unidad de microfiltración está instalada en el volumen del biorreactor.

Un objeto adicional de la invención es el uso de un dispositivo que se deriva del dispositivo descrito anteriormente, sobre todo es adecuado y/o se utiliza para la purificación de agua residual por medio de la metanización de dos etapas. Este dispositivo adecuado para el procedimiento según la invención contiene al menos los siguientes componentes o está compuesto preferiblemente por los mismos:

(a) al menos un primer reactor, presentando por lo menos el primer reactor al menos una (primera) entrada para el agua residual que va a purificarse, dado el caso al menos una (segunda) entrada para el lodo, dado el caso al menos una salida superior para el biogás y al menos un desagüe o estando compuesto por los mismos,

(b) al menos un segundo reactor, presentando por lo menos el segundo reactor al menos una primera entrada,

dado el caso al menos una segunda entrada para el lodo, dado el caso al menos una salida superior para el biogás y al menos un desagüe o estando compuesto por los mismos, y

(c) al menos un dispositivo de microfiltración, preferiblemente un filtro de discos giratorios, para concentrar el lodo que se produce con la purificación biológica, presentando por lo menos el dispositivo de microfiltración al menos una entrada de alimentación, al menos una salida de filtrado para el agua residual purificada, al menos una salida de retenido para el lodo concentrado y preferiblemente al menos una salida para el biogás o estando compuesto por los mismos.

El desagüe del primer reactor de este dispositivo está en contacto preferiblemente con la primera entrada del segundo reactor, de modo que el lodo puede conducirse desde el primer reactor al segundo reactor.

Al menos un desagüe del segundo reactor está en contacto preferiblemente con la primera y/o una segunda entrada separada del primer reactor, de modo que puede reconducirse el lodo desde el segundo reactor al primer reactor. Alternativa o adicionalmente está en contacto preferiblemente al menos un desagüe del segundo reactor con la entrada de alimentación del dispositivo de microfiltración.

La salida de retenido del dispositivo de microfiltración está en contacto preferiblemente con la primera o una segunda entrada separada del segundo reactor, de modo que el lodo concentrado puede reconducirse al segundo reactor. En una variante preferida está en contacto la salida de retenido del dispositivo de microfiltración adicional o de manera preferible alternativamente con la primera y/o una segunda entrada del primer reactor, de modo que el lodo concentrado puede reconducirse al primer reactor. En una realización preferida de esta variante está en contacto la salida de retenido con una segunda entrada del primer reactor.

La salida prevista preferiblemente en el dispositivo de microfiltración para el biogás está en contacto preferiblemente con las salidas superiores de los reactores, de modo que el biogás puede recopilarse y evacuarse.

Preferiblemente está previsto en el reactor y/o el dispositivo de microfiltración al menos una salida para el lodo sobrante; preferiblemente está dispuesta la salida de lodo en la realimentación de lodo desde el dispositivo de microfiltración en el reactor.

Preferiblemente, los dispositivos descritos anteriormente contienen además al menos un dispositivo para la eliminación de fósforo, presentando el dispositivo un reactor así como al menos un dispositivo para dosificar la disolución salina seleccionada de sal de hierro(III)/sal de magnesio para hacer precipitar compuestos de fósforo inorgánicos.

Preferiblemente, los dispositivos descritos anteriormente contienen además al menos un dispositivo para la eliminación de nitrógeno, presentando el dispositivo al menos una columna de zeolita, por la que pasa preferiblemente el agua residual que va a purificarse en la corriente principal, una unidad de regeneración, preferiblemente con recipiente para la disolución de regeneración y unidad de dosificación, para la regeneración de la columna de intercambio cargada con amonio y un dispositivo para la separación al aire de amoniaco de la disolución de regeneración. Preferiblemente está previsto en relación con la unidad de separación al aire al menos un lavador ácido para disolver el amoniaco separado.

### **Ejemplos de realización**

La presente invención se explica en más detalle mediante los siguientes ejemplos y figuras. Los ejemplos han de entenderse de manera no limitativa.

La figura 1 muestra un esquema de un dispositivo usado en el procedimiento según la invención con al menos un reactor (110) y al menos un dispositivo de microfiltración (120). El reactor (110) presenta una (primera) entrada (111) para el agua residual que va a purificarse, una (segunda) entrada (112) para el lodo, una salida (113) (superior) para el biogás y un desagüe (114). El dispositivo de microfiltración (120) presenta una entrada de alimentación (121), una salida de filtrado (122), una salida de retenido (123) y una salida (124) para el biogás. El desagüe (114) del reactor (110) está unido con la entrada de alimentación (121), de modo que el lodo puede entrar desde el reactor (110) en el dispositivo de microfiltración (120). La salida de retenido (123) está unido con la (segunda) entrada (112) del reactor (110), de modo que el lodo concentrado puede reconducirse al reactor (110). Una salida (116) adicional está prevista para la descarga del lodo sobrante.

La figura 2 muestra un dispositivo adicional que presenta un primer reactor (210), un segundo reactor (230) y al menos un dispositivo de microfiltración (220). El primer reactor (210) presenta una primera entrada (211) para el agua residual que va a purificarse, una segunda entrada (212) para el lodo, una salida superior (213) para el biogás y un desagüe (214). El segundo reactor (230) presenta una primera entrada (231), una segunda entrada (232) para el lodo, una salida (233) superior para el biogás, un primer desagüe (234) y un segundo desagüe (235). El dispositivo de microfiltración (220) presenta una entrada de alimentación (221), una salida de filtrado (222) para el agua residual purificada, una salida de retenido (223) para el lodo concentrado y una salida (224) para el biogás. El primer desagüe (234) del segundo reactor (230) está unido con la segunda entrada (212) del primer reactor (210), de

modo que el lodo puede reconducirse desde el segundo reactor al primer reactor. El segundo desagüe (235) del segundo reactor (230) está unido con la entrada de alimentación (221) del dispositivo de microfiltración (220), de modo que el lodo puede entrar desde el segundo reactor (230) en el dispositivo de microfiltración (220). La salida de retenido (223) del dispositivo de microfiltración (220) está unida con la segunda entrada (232) del segundo reactor (230), de modo que el lodo concentrado puede reconducirse al segundo reactor. Una salida (236) adicional está prevista para la descarga del lodo sobrante.

La figura 3 muestra una representación esquemática de formas de realización alternativas de los dispositivos usados, especialmente según las 1 ó 2. A este respecto, en una variante, la fracción de lodo separado en un sistema de una o múltiples etapas se reconduce a la entrada de alimentación de la primera etapa (figura 3A) y/o a la entrada separada de la primera etapa (figura 3B). La figura 3C muestra esquemáticamente la realimentación de lodo realizada preferiblemente en la disposición según la figura 2. Tal como se muestra esquemáticamente en la figura 3D, en una variante adicional preferida se realiza la realimentación de lodo en todos los reactores; entonces no es necesaria una realimentación de lodo adicional desde el reactor conectado posteriormente al primer reactor o reactor conectado anteriormente.

#### Ejemplo 1: Estación experimental para la purificación anaeróbica de agua residual en escala técnica

Se montó una estación experimental para la purificación anaeróbica de agua residual por medio de biomasa psicrófila en escala técnica. Como agua residual de prueba se dispuso o bien agua residual municipal con alta carga orgánica, que puede generarse, por ejemplo, mediante mezclado con desperdicios de cocina triturados, o bien agua residual sintética muy concentrada, respectivamente con un valor de CSB de aproximadamente 3500 a 5000 mg/l.

Se montó la estación descrita en más detalle en la figura 2 a partir de dos biorreactores (210; 230) conectados uno detrás del otro así como un dispositivo de microfiltración (220) conectado posteriormente en forma de un filtro de discos giratorios para retener la biomasa que se fuga de los biorreactores. La estación toma en total 21 l. El movimiento de los líquidos en los componentes individuales del dispositivo se realiza parcialmente por medio de la diferencia de la presión hidrostática, parcialmente por medio de bombas instaladas. El biogás presente en los reactores y el dispositivo de microfiltración se recopila y se evacúa.

Resultados: por medio de los filtros de discos giratorios conectados posteriormente pudo dejarse concentrar la biomasa en los reactores hasta ampliamente por encima de 20 g/l. Si se alimentó a la estación agua residual cargada de manera orgánica muy concentrada (valor de CSB de 3500 a 5000 mg/l), entonces pudo conseguirse un grado de degradación de CSB de claramente superior al 95%. A este respecto llega a mantenerse los valores de CSB en el desagüe de la estación por debajo de 100 mg/l, parcialmente por debajo de 75 mg/l. En caso de una temperatura de agua en la entrada de aproximadamente 20°C y en caso de un tiempo de permanencia de aproximadamente 29 horas en el sistema total, la carga espacial ascendió a de aproximadamente 3 a 4 g/l por día de CSB. La carga espacial se encontraba, con ello, aproximadamente 5 veces superior que en caso de procedimientos de lodos activos aeróbicos conocidos. Simultáneamente pudo conseguirse un rendimiento en biogás (60% de metano y 40% de dióxido de carbono) de aproximadamente 20 l por día. Esto corresponde a un rendimiento de aproximadamente 0,35 l de gas por 1 g de CSB degradado.

#### Ejemplo 2: Eliminación de nitrógeno

Adicionalmente al dispositivo representado en la figura 2 y accionado en el ejemplo 1 se realizó una etapa de purificación adicional, en la que por medio de la precipitación como MAP puede separarse fosfato del agua residual que discurre por la etapa de purificación biológica anaeróbica según la invención.

Para separar el nitrógeno, que está presente en el agua residual principalmente en forma de amonio, se conduce el agua residual que abandona la etapa de purificación biológica anaeróbica según la invención en la corriente principal mediante un intercambiador de amonio como zeolita, por ejemplo klinoptilolita. La absorción de amonio en la zeolita se realiza a temperatura del agua residual, por ejemplo temperatura ambiente.

La zeolita cargada con amonio se regenera de manera discontinua con una disolución de cloruro de sodio altamente concentrada en distintas mezclas básicas respectivamente a temperatura normal o a distintas temperaturas elevadas. La disolución de cloruro de sodio que contiene amonio se libera del amonio a continuación en una estación de separación al aire. El amoniaco producido con la separación al aire se une a un lavador ácido como sal.

Resultados: se llega a liberar completamente de amonio la salida de la purificación de aguas residuales biológica anaeróbica según la invención. Se logran, por ejemplo, cargas de aproximadamente 4 a 7 g de nitrógeno de amonio por kg de zeolita. Una columna con aproximadamente 7 kg de zeolita puede alimentarse, a este respecto, con corrientes de volumen de aproximadamente 40 l por hora.

Se llega además a regenerar la columna cargada casi completamente. A este respecto se concentra el amonio en la disolución de regeneración, de modo que puede realizarse una separación al aire eficaz de la disolución de regeneración. Mediante la separación al aire se libera la disolución de regeneración de  $\text{NH}_4$  ampliamente y puede



utilizarse de nuevo para la regeneración. El  $\text{NH}_4$  se recupera como sal y puede utilizarse como fertilizante.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para purificar agua residual, que contiene al menos una etapa de purificación biológica anaeróbica, realizándose la purificación biológica anaeróbica en funcionamiento continuo en al menos un biorreactor de mezclado completo por medio de biomasa, en el que se selecciona la biomasa de microorganismos psicrófilos, concentrándose la biomasa mediante microfiltración y reconduciéndose a la purificación biológica anaeróbica y en el que la biomasa en el biorreactor presenta una concentración de 25 g/l o más.
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que los microorganismos psicrófilos presentan un valor óptimo de temperatura inferior a 35°C, preferiblemente inferior a 25°C.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, en el que se realiza la purificación biológica anaeróbica como metanización de una sola etapa.
- 15 4. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, en el que se realiza la purificación biológica anaeróbica como metanización de dos etapas.
- 20 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la biomasa presenta una concentración de 25 a 100 g/l.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la biomasa está suspendida en el agua residual que va a purificarse.
- 25 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el lodo se concentra mediante microfiltración por medio de filtros de discos giratorios.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, que contiene la etapa adicional de eliminación de fósforo.
- 30 9. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que la eliminación de fósforo se selecciona de precipitación como fosfato de magnesio y amonio (MAP) y precipitación como fosfato de hierro(III).
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, que contiene la etapa adicional de eliminación de nitrógeno.
- 35 11. Procedimiento según la reivindicación 10, en el que la eliminación de nitrógeno se realiza mediante intercambio del nitrógeno de amonio en zeolita.
- 40 12. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que la zeolita cargada con nitrógeno de amonio se regenera en una etapa adicional con disolución de regeneración y en una etapa adicional se separa el nitrógeno de amonio de la disolución de regeneración mediante separación al aire y se obtiene amoníaco.
- 45 13. Procedimiento según la reivindicación 12, en el que se usa la disolución de regeneración tras la separación al aire al menos parcialmente de nuevo para la regeneración de zeolita.
- 50 14. Procedimiento para obtener biogás a partir de agua residual, que contiene las etapas:  
poner a disposición agua residual,  
purificar de manera biológica y anaeróbica el agua residual por medio de biomasa psicrófila según el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 13 y  
recopilar los biogases que se producen con la purificación biológica anaeróbica en la biomasa.
- 55 15. Uso de un dispositivo, adecuado para la purificación biológica anaeróbica de agua residual por medio de metanización de una sola etapa en el procedimiento según la reivindicación 1 a 14, en el que el dispositivo contiene:  
al menos un reactor (110), presentando el reactor una entrada (111) para el agua residual que va a purificarse, una entrada (112) para el lodo, una salida (113) superior para el biogás y un desagüe (114), y  
60 al menos un dispositivo de microfiltración (120), presentando el dispositivo de microfiltración una entrada de alimentación (121), una salida de filtrado (122) y una salida de retenido (123) para el lodo concentrado, y en el que el desagüe (114) está unido con la entrada de alimentación (121), de modo que el lodo puede conducirse desde el biorreactor al dispositivo de microfiltración y la salida de retenido (123) está unida con la entrada (112), de modo que puede reconducirse el lodo concentrado al biorreactor.
- 65 16. Uso de un dispositivo, adecuado para la purificación biológica anaeróbica de agua residual por medio de metanización de dos etapas en el procedimiento según la reivindicación 1 a 14, en el que el dispositivo contiene:

al menos un primer reactor (210), presentando el primer reactor una primera entrada (211) para el agua residual que va a purificarse, una segunda entrada (212) para el lodo, una salida (213) superior para el biogás y un desagüe (214),

5 al menos un segundo reactor (230), presentando el segundo reactor una primera entrada (231), una segunda entrada (232) para el lodo, una salida (233) superior para el biogás, un primer desagüe (234) y dado el caso un segundo desagüe (235), y

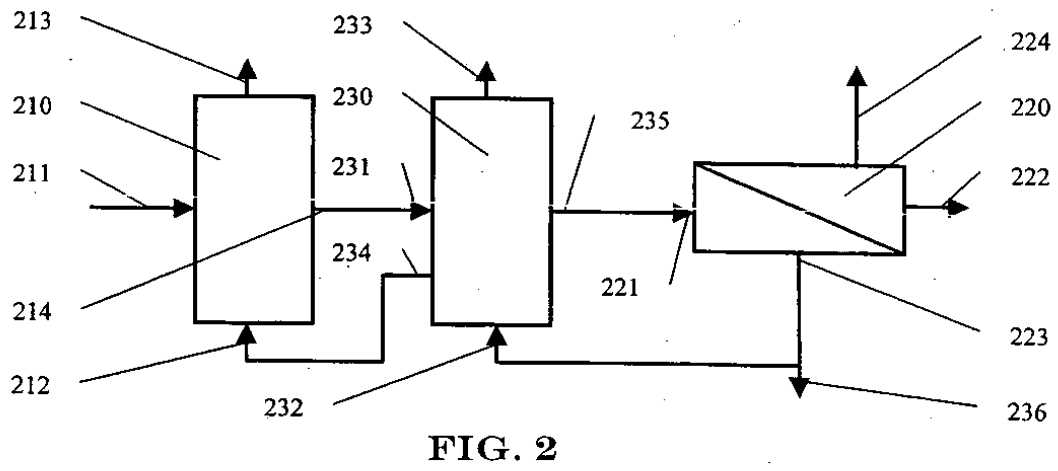
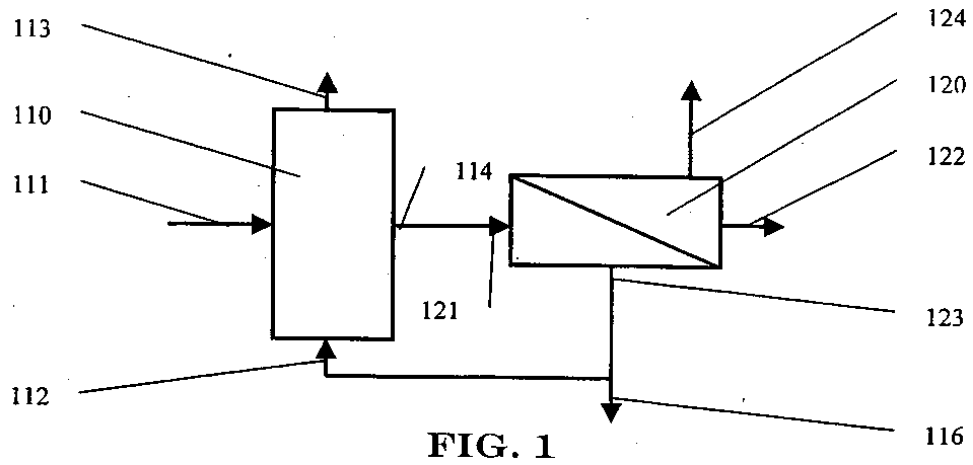
10 al menos un dispositivo de microfiltración (220), presentando el dispositivo de microfiltración una entrada de alimentación (221), una salida de filtrado (222) para el agua residual purificada y una salida de retenido (223) para el lodo concentrado.

17. Uso según la reivindicación 16, en el que en el dispositivo está unido el primer desagüe (234) del segundo reactor (230) con la segunda entrada (212) del primer reactor (210), de modo que el lodo puede reconducirse desde el segundo reactor al primer reactor.

15 18. Uso según la reivindicación 16 ó 17, en el que en el dispositivo está unido el primer desagüe (234) o el segundo desagüe (235) del segundo reactor (230) con la entrada de alimentación (221) del dispositivo de microfiltración (220).

20 19. Uso según una de las reivindicaciones 16 a 18, en el que en el dispositivo está unida la salida de retenido (223) del dispositivo de microfiltración (220) con la segunda entrada (232) del segundo reactor (230), de modo que el lodo concentrado puede reconducirse al segundo reactor.

25 20. Uso según una de las reivindicaciones 16 a 19, en el que en el dispositivo está unida la salida de retenido (223) del dispositivo de microfiltración (220) con la segunda entrada (212) del primer reactor (210), de modo que el lodo concentrado puede reconducirse al primer reactor.



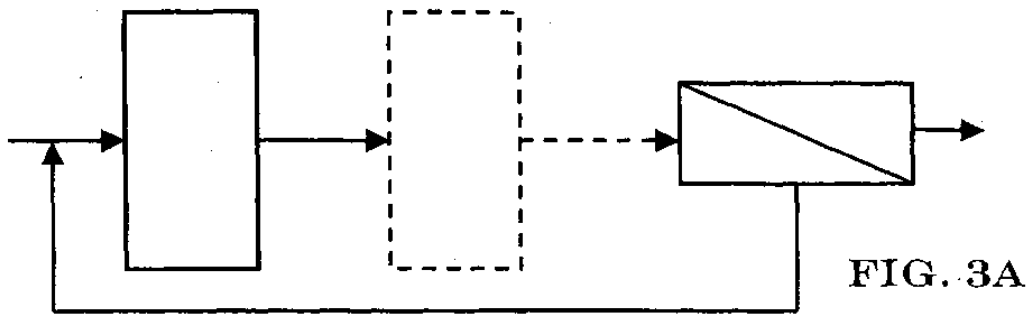


FIG. 3A

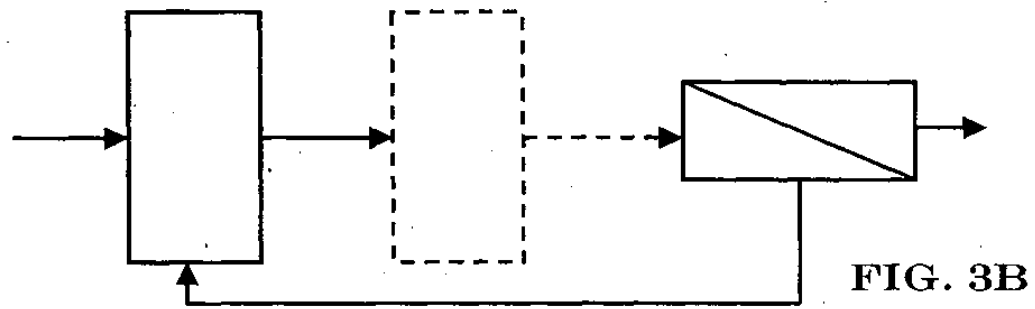


FIG. 3B

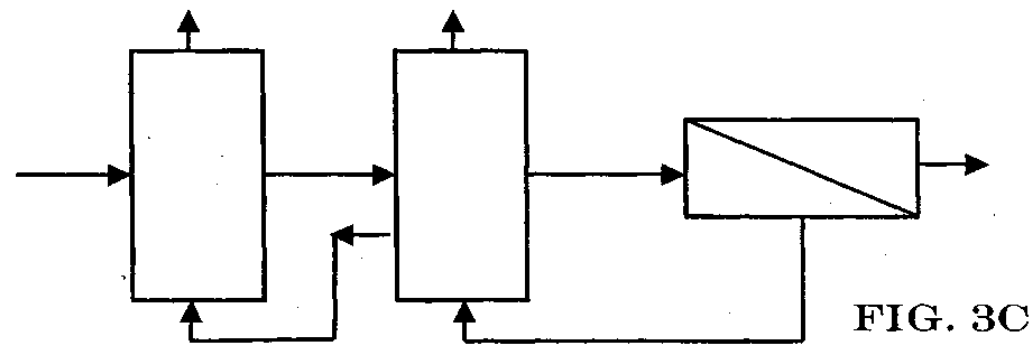


FIG. 3C

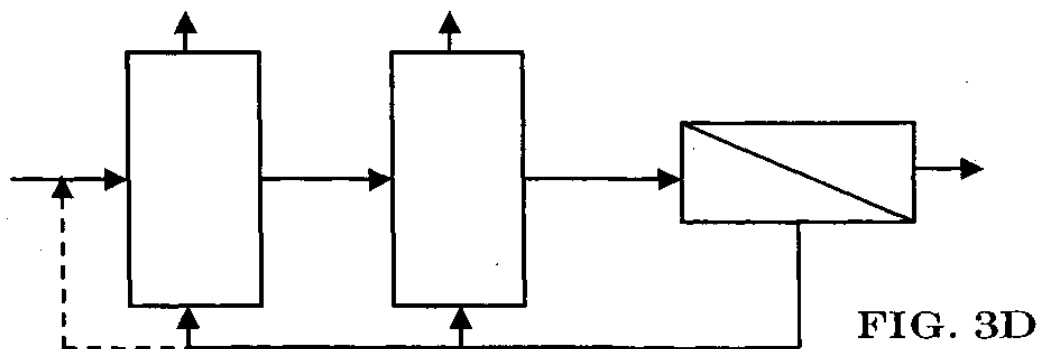


FIG. 3D