

(12) **FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO**

(22) Data de pedido: **2003.09.16**

(30) Prioridade(s): **2002.09.16 NL 1021466**

(43) Data de publicação do pedido: **2005.06.22**

(45) Data e BPI da concessão: **2008.12.17**
051/2009

(73) Titular(es):

DHV B.V.
LAAN 1914 NO. 35 3813 EX AMERSFOORT NL

(72) Inventor(es):

MARINUS CORNELIS MARIA VAN LOOSDRECHT NL
MERLE KRISTA DE KREUK NL

(74) Mandatário:

ANTÓNIO JOÃO COIMBRA DA CUNHA FERREIRA
RUA DAS FLORES, Nº 74, 4º AND 1249-235 LISBOA PT

(54) Epígrafe: **PROCESSO PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUAL COM GRÂNULOS DE LAMAS**

(57) Resumo:

RESUMO

"Processo para o tratamento de água residual com grânulos de lamas"

O invento refere-se a um processo para o tratamento de água residual que compreende um nutriente orgânico. De acordo com o invento, a água residual é num primeiro passo alimentada a grânulos de lamas, após a alimentação da água residual a tratar os grânulos de lamas são fluidizados na presença de um gás que compreende oxigénio, e num terceiro passo, os grânulos de lamas são deixados sedimentar num passo de sedimentação. Isto torna possível remover eficazmente não apenas nutrientes orgânicos mas opcionalmente também compostos de azoto e fosfato.

DESCRIÇÃO**"Processo para o tratamento de água residual com grânulos de lamas"**

O presente invento refere-se a um processo para o tratamento de água residual que compreende um nutriente orgânico, em que a água residual é levada ao contacto com partículas de lamas que compreendem microorganismos, um gás que compreende oxigénio é alimentado às partículas de lamas, e o processo compreende adicionalmente a sedimentação das partículas de lamas e a descarga de água residual esgotada em nutriente orgânico.

Um tal processo é conhecido na arte, por exemplo, a partir de US 3864246. Água residual tendo uma elevada taxa de demanda biológica de oxigénio (BOD) é misturada com flocos de lamas. A assim obtida água residual contendo flocos de lamas é levada ao contacto com oxigénio (ar). As condições escolhidas aumentam o crescimento dos flocos de lamas (o que é dizer as partículas de biomassa) que possuem melhoradas propriedades de sedimentação. Isto reduz o tempo necessário para a separação dos microorganismos (em particular bactérias) que proporciona uma decomposição biológica, a partir da água residual.

Em BEUN J J *et al.* divulga-se uma granulação aeróbica num rector de agitação pneumática ("air-lift") descontínuo em sequência, em que uma lama granular aeróbica foi cultivada sob mistura intensa.

Em DANGCONG P *et al.* divulga-se a observação de lama granular aeróbica num rector descontínuo em sequência, ao qual foi alimentada uma água residual urbana sintética contendo acetato de sódio como substrato orgânico, e oxigénio dissolvido (DO) foi controlado a baixa concentração.

Em MORGENROTH E *et al.* divulga-se a cultura de grânulos num rector descontínuo em sequência (SBR) à escala laboratorial sob condições aeróbicas.

Em BEUN J J *et al.* refere-se a remoção de N num rector de agitação pneumática descontínuo em sequência de uma lama granular.

Em EP-A-0776864 divulga-se um processo para a purificação biológica aeróbica de água.

Uma desvantagem do processo conhecido, apesar da melhorada velocidade de sedimentação, é que a implementação do processo requer uma área superficial relativamente grande, o que é dizer que a purificação em grande escala ocupa uma indesejável quantidade de espaço.

Constitui um objecto do presente pedido a melhoria do processo, sendo ocupado menos espaço em comparação com o processo conhecido.

Para este fim, o processo de acordo com o invento é caracterizado por

- num primeiro passo, a água residual ser alimentada aos grânulos de lamas, sob condições anaeróbicas;
- após a alimentação da água residual a ser tratada, um gás que compreende oxigénio é introduzido num segundo passo, em que a concentração de oxigénio é inferior a 5 mg/ml, estando os grânulos numa condição fluidizada e sendo os grânulos removidos no final do segundo passo ou no início do terceiro passo;
- num terceiro passo, um passo de sedimentação, permite-se a sedimentação dos grânulos de lamas.

Isto permite que o processo seja realizado num volume de reator relativamente limitado. Isto pode reduzir a ocupação de espaço até um quinto. As condições reaccionais escolhidas promovem a formação de grânulos de lamas (por oposição a flocos de lamas) com excelentes propriedades de sedimentação. Além disso, as condições no primeiro passo são de esgotamento de oxigénio, e na prática são anaeróbicas, uma vez que não há adição de oxigénio. No primeiro passo, os grânulos de lamas absorvem nutrientes orgânicos a partir da água residual fornecida, e eles são armazenados no interior dos microorganismos sob a forma de um polímero, tal como polibeta-hidroxibutirato. Se fosse fornecido oxigénio no primeiro passo, tal não seria numa quantidade que evitasse a

armazenagem do nutriente orgânico. No segundo passo, ocorre a decomposição dos nutrientes orgânicos armazenados sob condições aeróbicas. Além disso, este segundo passo aeróbico pode efectuar a decomposição de amónio possivelmente presente em nitrato. No segundo passo, também o interior dos grânulos de lamas é anaeróbico e é aqui que os nutrientes orgânicos armazenados são decompostos utilizando nitrato. Isto produz azoto gás, resultando numa redução eficaz do teor de N na água residual. Para a eliminação dos compostos de N a serem decompostos, a concentração de oxigénio no segundo passo é inferior a 5 mg/ml, e preferivelmente inferior a 2 mg/ml. Deste modo, a utilização de reactores pré-posicionados ou pós-posicionados para a remoção de compostos de azoto pode ser evitada, ou a sua capacidade de purificação pode ser reduzida em escala, o que significa uma poupança em custos. O presente invento também torna possível eliminar fósforo. Para este fim, num passo que não é o primeiro passo, e preferivelmente no final do segundo passo ou no início do terceiro passo, os grânulos de lamas são removidos. Acontece surpreendentemente que, sob as condições do presente invento, os microorganismos que acumulam fósforo não são afastados. Todos os microorganismos necessários para o processo de acordo com o invento são encontrados nas lamas das instalações de purificação. Não precisam ser isolados, uma vez que as condições especificadas asseguram que estes microorganismos constituem parte dos grânulos de lamas. As condições de acordo com o invento originam a formação de grânulos de lamas que são significativamente maiores e possuem uma maior densidade que os flocos de lamas obtidos de acordo com as condições tal como conhecidas de US 3864246 (ver Fig. 1), possuindo uma velocidade de sedimentação >10 m/h (por oposição a cerca de 1 m/h para os flocos de lamas conhecidos) e um índice de volume de lamas <35 ml/g. O índice de volume de lamas é o volume absorvido por 1 grama de biomassa após 1 hora de sedimentação. Para a purificação de uma porção de água residual subsequente, os passos 1 a 3 (um ciclo) são repetidos. O invento é muito adequado para o tratamento de água de esgotos.

No primeiro passo, a água residual é preferivelmente alimentada a um leito de grânulos de lamas, e os grânulos de lamas sedimentam no terceiro passo, formando um leito de grânulos de lamas.

Isto permite que os microorganismos sejam expostos a uma maior concentração de nutriente orgânico, o que promove o crescimento granular.

De acordo com uma concretização preferida, a água residual é alimentada ao leito de grânulos de lamas a uma taxa tal que evite a fluidização do leito.

Dado que em grande parte é evitado que a presente água residual já tratada se misture com água residual a ser tratada, isso permite que os microorganismos sejam expostos à mais elevada concentração possível de nutriente que, como anteriormente mencionado, promove o crescimento granular. O termo "para evitar a fluidização" pretende significar que o leito não fluidiza, e/ou que como resultado da introdução da água residual, a mistura ocorre no máximo em até 25% da altura do leito. A água residual pode, por exemplo, ser pulverizada sobre o leito directamente ou por utilização de meios para limitar a força com que a água residual pode perturbar a superfície do leito. Em qualquer caso, a mistura irá ocorrer no máximo em até 25%, preferivelmente em menos de 15% da altura do leito. Em vez da introdução a partir do lado de cima do leito de grânulos de lamas, a água residual pode preferivelmente ser introduzida a partir de baixo. Em especial no último caso, a taxa de alimentação será limitada de tal modo que não ocorra fluidização do leito. Em ambos casos é possível movimentar e descarregar água purificada ainda presente entre os grânulos de lamas a partir do leito de uma maneira eficaz, i.e. com pouca ou nenhuma mistura de água residual e água residual purificada (esgotada em nutriente), como será discutido em seguida. Em princípio, é também possível introduzir a água residual no leito de grânulos de lamas via tubagens.

De acordo com uma concretização preferida, pelo menos uma parte da água residual esgotada em nutriente é descarregada no terceiro passo, após sedimentação pelo menos parcial.

A remoção de água residual esgotada em nutriente antes da adição de água residual fresca a ser tratada significa que é necessário um menor volume do reactor, e que os grânulos de lamas que compreendem microorganismos entram em contacto com

uma concentração de nutrientes mais elevada possível. Isto é favorável para a formação de grânulos de lamas. A altura de líquido no reactor é por exemplo dupla, e preferivelmente de 1,5 vezes ou menos, tal como 1,2 vezes a altura do leito de grânulos de lamas sedimentados.

De acordo com uma concretização preferida, pelo menos uma parte da água residual esgotada em nutriente é descarregada durante a alimentação de água residual ao leito de grânulos de lamas no primeiro passo.

Nesse caso, a descarga de água residual esgotada em nutriente é preferivelmente a consequência de deslocamento devido ao facto da água residual ser alimentada ao leito de grânulos de lamas.

Assim, com uma única acção, são realizadas tanto a adição de água residual fresca, como a descarga de água residual tratada. Isto pode ser conseguido com uma baixa despesa de capital. São possíveis outras poupanças em tecnologia de controlo (são requeridas menos medições) e custos operatórios. Além disso, é evitada a mistura de água residual tratada com água residual a ser tratada, de modo que a concentração de nutrientes a que os microorganismos nos grânulos de lamas são expostos é tão elevada quanto possível, proporcionando a anteriormente mencionada vantagem de crescimento sob a forma de grânulos de lamas. A deslocada água residual tratada é preferivelmente descarregada no lado de cima do leito. Devido ao deslocamento, quaisquer flocos que se possam formar são removidos para fora do reactor. Portanto, a água residual é vantajosamente introduzida via fundo do leito.

Uma concretização importante é aquela em que a água residual é introduzida numa quantidade de 50 a 110%, preferivelmente de 80 a 105% e muito preferivelmente de 90 a 100% do volume vazio do leito.

Assim, a biomassa na forma de grânulos de lamas é usada optimamente, ao volume de reactor mais pequeno possível.

A introdução da água residual é preferivelmente seguida por um intervalo antes de ser iniciado o segundo passo.

Isto promove a absorção de nutrientes a partir da água residual, e contribui para a formação de grânulos de lamas com boas qualidades de sedimentação. Se desejado, a mistura pode ocorrer durante o intervalo.

O intervalo é preferivelmente suficientemente longo para a remoção de pelo menos 50%, preferivelmente pelo menos 75% e muito preferivelmente pelo menos 90% do nutriente orgânico a partir da água residual.

Isto contribui o máximo para a formação de grânulos de lamas com boas qualidades de sedimentação, ao passo que a purificação da água residual é ótima.

É preferível que a água residual seja introduzida no terceiro passo, em que os grânulos de lamas que sedimentam mais devagar são descarregados do reactor e os grânulos de lamas que sedimentam mais depressa permanecem no reactor.

Isto ainda aumenta a pressão a seleccionar para o crescimento granular. A introdução de água residual pode ser realizada a um caudal baixo durante a sedimentação dos grânulos de lamas, preferivelmente após pelo menos parte dos grânulos de lamas terem formado um leito granular mas, como explicado noutro local, muito preferivelmente após o leito granular estar formado. Nos primeiros dois processos existe uma sobreposição entre o primeiro e o terceiro passos. No segundo e em especial no terceiro processo, flocos de lamas leves que sedimentaram sobre o leito, ou que teriam tendência para isso, são arrastados pelo fluxo de água esgotada em nutrientes deslocado pela água residual. Como consequência, existe uma pressão de selecção que resulta na manutenção das características da lama sob a forma de grânulos. É preferível que a descarga ocorra no terceiro passo via uma abertura de descarga imediatamente acima do leito final.

O invento será agora elucidado com referência à seguinte concretização exemplar, em que

- A Figura 1 mostra um gráfico da concentração de acetato, fosfato, amónio e $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ durante um ciclo do processo de acordo com o invento.

- As Figuras 2a e 2b mostram flocos de lammas de acordo com a arte anterior e grânulos de lammas de acordo com o presente invento, respectivamente.

Um reactor de agitação pneumática (3 litros, comprimento/diâmetro 20) foi alimentado com 1,5 litros de água residual por ciclo, cuja água residual representa um modelo apropriado para uma água residual doméstica. A composição era acetato de sódio 6,3 mM, cloreto de amónio 3,6 mM, fosfato de potássio 0,6 mM, sulfato de magnésio 0,37 mM, cloreto de potássio 0,48 mM e solução standard de elementos vestigiários 0,9 ml/l. O reactor foi semeado com lama activa aeróbica proveniente de uma instalação de purificação de água residual doméstica. O reactor foi operado em ciclos descontínuos sucessivos. Um ciclo consistiu nos seguintes passos:

- i) Introdução de 1,5 litros de água residual modelo no lado inferior do reactor, durante 60 minutos, de modo a existir um regime laminar de água residual através do leito granular sedimentado.
- ii) Arejamento durante 111 minutos a um caudal de 4 litros de ar por minuto.
- iii) Sedimentação da lama granular durante 3 minutos após o término do arejamento.
- iv) Descarga da água residual modelo tratada pelo ponto de saída de efluente a metade da altura do reactor; qualquer biomassa presente neste momento acima do ponto de saída do efluente foi removida do reactor juntamente com a água residual tratada.
- v) Intervalo de 1 minuto, após o qual a alimentação com água residual modelo foi reiniciada.

Pela adição de uma base ou um ácido, o pH no reactor foi mantido a 6,5 a 7,5 e a temperatura foi mantida a 20°C. Durante a fase arejada ii) a concentração de oxigénio dissolvido foi mantida a cerca de 1,8 mg/ml. Por um lado isto mantém a concentração de oxigénio suficientemente elevada para a decomposição aeróbica do nutriente na parte exterior dos grânulos de lammas, e por outro lado apenas é requerida uma baixa capacidade de bombagem para a adição de ar. No global, sob estas condições, a transferência de oxigénio a partir do ar é muito eficaz. Em consequência, também é

requerida pouca energia para o fornecimento de oxigénio. A decomposição de compostos de azoto mostrou ser óptima a estas concentrações de oxigénio, sendo encontradas apenas quantidades mínimas de nitrato na água residual tratada.

Na Tabela 1, são mostradas as concentrações médias da água residual modelo e da água tratada. O resultado de purificação médio também é mostrado. A Figura 1 mostra uma representação das concentrações de acetato (o), fosfato (Δ), amónio (losango a negro) e a soma de nitrato e nitrito (losango aberto) durante um ciclo. A Figura 2b mostra uma fotografia dos grânulos de lamas obtidos através do processo. Os grânulos de lamas obtidos eram estáveis durante pelo menos 300 dias, após o que se parou com esta experiência. O processo de acordo com o invento torna assim possível um controlo fidedigno da operação. A Figura 2a mostra flocos de lamas típicos tendo uma taxa de sedimentação como descrita em US 3864246. Embora em US 3864246 se combata com sucesso o crescimento de organismos filamentosos, que formam as chamadas lamas leves, os flocos de lamas formados possuem uma velocidade de sedimentação de no máximo 1 m/h. Em contraste, os grânulos de lamas de acordo com o presente invento possuem velocidades de sedimentação muito elevadas (>10 m/h), enquanto que a distância à qual a sedimentação ocorre pode ser relativamente pequena.

Tabela 1

Concentrações da água residual modelo não tratada e tratada

Valores médios	Água residual modelo	Água residual tratada	Eficiência de remoção
Acetato (mM)	6,3	0	100%
NH_4^+ (mM)	3,6	0	97%
NO_3^- (mM)	0	0,1	
NO_2^- (mM)	0	0	
PO_4 (mM)	0,6	0,04	94%

Um dos factores que contribui para o crescimento granular é a alimentação de água residual com a concentração em nutriente mais elevada possível aos grânulos de lamas. Por esta razão, é apropriado evitar a mistura entre a água residual tratada no reactor e a água residual fresca recém-

alimentada. Nesses casos em que uma baixa concentração em nutriente na água residual prevalece durante muitos ciclos, e.g. mais de 10, pode ser adicionado nutriente à água residual se necessário. Uma opção seria a utilização de estrume líquido.

O presente invento pode ser implementado de muitas maneiras. Por exemplo, em vez de utilizar um reactor pode ser propício utilizar três reactores, sendo os três reactores operados de modo desfasado. Isto é dizer, enquanto a água residual é alimentada a um reactor, o passo de arejamento está a ser realizado num segundo reactor, enquanto que num terceiro reactor ocorre a sedimentação e possivelmente a descarga de água purificada. Isto mantém o custo de capital para bombas, especialmente em respeito à sua capacidade máxima requerida, dentro de limites. A água residual tratada é libertada gradualmente e isto é vantajoso se esta água residual necessita sofrer um tratamento adicional, uma vez que também é suficiente um reactor mais pequeno para pós-tratamento. Uma vez que, comparado com a experiência anteriormente descrita, os reactores serão na prática relativamente mais altos, a sedimentação será mais demorada. Isto significa que a alimentação pode tomar um terço do tempo, o arejamento e a sedimentação em conjunto dois terços do tempo. É assim evitado um tanque tampão para armazenamento temporário de água residual a ser tratada, e os três reactores operados descontinuamente tornam possível uma operação contínua. O invento é ilustrado por via de um reactor de agitação pneumática, mas o invento pode ser concretizado com qualquer outro tipo de reactor, tal como um reactor de coluna de bolhas.

Lisboa, 2009-03-05

DESCRIÇÃO**"Processo para o tratamento de água residual com grânulos de lamas"**

O presente invento refere-se a um processo para o tratamento de água residual que compreende um nutriente orgânico, em que a água residual é levada ao contacto com partículas de lamas que compreendem microorganismos, um gás que compreende oxigénio é alimentado às partículas de lamas, e o processo compreende adicionalmente a sedimentação das partículas de lamas e a descarga de água residual esgotada em nutriente orgânico.

Um tal processo é conhecido na arte, por exemplo, a partir de US 3864246. Água residual tendo uma elevada taxa de demanda biológica de oxigénio (BOD) é misturada com flocos de lamas. A assim obtida água residual contendo flocos de lamas é levada ao contacto com oxigénio (ar). As condições escolhidas aumentam o crescimento dos flocos de lamas (o que é dizer as partículas de biomassa) que possuem melhoradas propriedades de sedimentação. Isto reduz o tempo necessário para a separação dos microorganismos (em particular bactérias) que proporciona uma decomposição biológica, a partir da água residual.

Em BEUN J J *et al.* divulga-se uma granulação aeróbica num rector de agitação pneumática ("air-lift") descontínuo em sequência, em que uma lama granular aeróbica foi cultivada sob mistura intensa.

Em DANGCONG P *et al.* divulga-se a observação de lama granular aeróbica num rector descontínuo em sequência, ao qual foi alimentada uma água residual urbana sintética contendo acetato de sódio como substrato orgânico, e oxigénio dissolvido (DO) foi controlado a baixa concentração.

Em MORGENROTH E *et al.* divulga-se a cultura de grânulos num rector descontínuo em sequência (SBR) à escala laboratorial sob condições aeróbicas.

Em BEUN J J *et al.* refere-se a remoção de N num rector de agitação pneumática descontínuo em sequência de uma lama granular.

Em EP-A-0776864 divulga-se um processo para a purificação biológica aeróbica de água.

Uma desvantagem do processo conhecido, apesar da melhorada velocidade de sedimentação, é que a implementação do processo requer uma área superficial relativamente grande, o que é dizer que a purificação em grande escala ocupa uma indesejável quantidade de espaço.

Constitui um objecto do presente pedido a melhoria do processo, sendo ocupado menos espaço em comparação com o processo conhecido.

Para este fim, o processo de acordo com o invento é caracterizado por

- num primeiro passo, a água residual ser alimentada aos grânulos de lamas, sob condições anaeróbicas;
- após a alimentação da água residual a ser tratada, um gás que compreende oxigénio é introduzido num segundo passo, em que a concentração de oxigénio é inferior a 5 mg/ml, estando os grânulos numa condição fluidizada e sendo os grânulos removidos no final do segundo passo ou no início do terceiro passo;
- num terceiro passo, um passo de sedimentação, permite-se a sedimentação dos grânulos de lamas.

Isto permite que o processo seja realizado num volume de reator relativamente limitado. Isto pode reduzir a ocupação de espaço até um quinto. As condições reaccionais escolhidas promovem a formação de grânulos de lamas (por oposição a flocos de lamas) com excelentes propriedades de sedimentação. Além disso, as condições no primeiro passo são de esgotamento de oxigénio, e na prática são anaeróbicas, uma vez que não há adição de oxigénio. No primeiro passo, os grânulos de lamas absorvem nutrientes orgânicos a partir da água residual fornecida, e eles são armazenados no interior dos microorganismos sob a forma de um polímero, tal como polibeta-hidroxibutirato. Se fosse fornecido oxigénio no primeiro passo, tal não seria numa quantidade que evitasse a

armazenagem do nutriente orgânico. No segundo passo, ocorre a decomposição dos nutrientes orgânicos armazenados sob condições aeróbicas. Além disso, este segundo passo aeróbico pode efectuar a decomposição de amónio possivelmente presente em nitrato. No segundo passo, também o interior dos grânulos de lamas é anaeróbico e é aqui que os nutrientes orgânicos armazenados são decompostos utilizando nitrato. Isto produz azoto gás, resultando numa redução eficaz do teor de N na água residual. Para a eliminação dos compostos de N a serem decompostos, a concentração de oxigénio no segundo passo é inferior a 5 mg/ml, e preferivelmente inferior a 2 mg/ml. Deste modo, a utilização de reactores pré-posicionados ou pós-posicionados para a remoção de compostos de azoto pode ser evitada, ou a sua capacidade de purificação pode ser reduzida em escala, o que significa uma poupança em custos. O presente invento também torna possível eliminar fósforo. Para este fim, num passo que não é o primeiro passo, e preferivelmente no final do segundo passo ou no início do terceiro passo, os grânulos de lamas são removidos. Acontece surpreendentemente que, sob as condições do presente invento, os microorganismos que acumulam fósforo não são afastados. Todos os microorganismos necessários para o processo de acordo com o invento são encontrados nas lamas das instalações de purificação. Não precisam ser isolados, uma vez que as condições especificadas asseguram que estes microorganismos constituem parte dos grânulos de lamas. As condições de acordo com o invento originam a formação de grânulos de lamas que são significativamente maiores e possuem uma maior densidade que os flocos de lamas obtidos de acordo com as condições tal como conhecidas de US 3864246 (ver Fig. 1), possuindo uma velocidade de sedimentação >10 m/h (por oposição a cerca de 1 m/h para os flocos de lamas conhecidos) e um índice de volume de lamas <35 ml/g. O índice de volume de lamas é o volume absorvido por 1 grama de biomassa após 1 hora de sedimentação. Para a purificação de uma porção de água residual subsequente, os passos 1 a 3 (um ciclo) são repetidos. O invento é muito adequado para o tratamento de água de esgotos.

No primeiro passo, a água residual é preferivelmente alimentada a um leito de grânulos de lamas, e os grânulos de lamas sedimentam no terceiro passo, formando um leito de grânulos de lamas.

Isto permite que os microorganismos sejam expostos a uma maior concentração de nutriente orgânico, o que promove o crescimento granular.

De acordo com uma concretização preferida, a água residual é alimentada ao leito de grânulos de lamas a uma taxa tal que evite a fluidização do leito.

Dado que em grande parte é evitado que a presente água residual já tratada se misture com água residual a ser tratada, isso permite que os microorganismos sejam expostos à mais elevada concentração possível de nutriente que, como anteriormente mencionado, promove o crescimento granular. O termo "para evitar a fluidização" pretende significar que o leito não fluidiza, e/ou que como resultado da introdução da água residual, a mistura ocorre no máximo em até 25% da altura do leito. A água residual pode, por exemplo, ser pulverizada sobre o leito directamente ou por utilização de meios para limitar a força com que a água residual pode perturbar a superfície do leito. Em qualquer caso, a mistura irá ocorrer no máximo em até 25%, preferivelmente em menos de 15% da altura do leito. Em vez da introdução a partir do lado de cima do leito de grânulos de lamas, a água residual pode preferivelmente ser introduzida a partir de baixo. Em especial no último caso, a taxa de alimentação será limitada de tal modo que não ocorra fluidização do leito. Em ambos casos é possível movimentar e descarregar água purificada ainda presente entre os grânulos de lamas a partir do leito de uma maneira eficaz, i.e. com pouca ou nenhuma mistura de água residual e água residual purificada (esgotada em nutriente), como será discutido em seguida. Em princípio, é também possível introduzir a água residual no leito de grânulos de lamas via tubagens.

De acordo com uma concretização preferida, pelo menos uma parte da água residual esgotada em nutriente é descarregada no terceiro passo, após sedimentação pelo menos parcial.

A remoção de água residual esgotada em nutriente antes da adição de água residual fresca a ser tratada significa que é necessário um menor volume do reactor, e que os grânulos de lamas que compreendem microorganismos entram em contacto com

uma concentração de nutrientes mais elevada possível. Isto é favorável para a formação de grânulos de lamas. A altura de líquido no reactor é por exemplo dupla, e preferivelmente de 1,5 vezes ou menos, tal como 1,2 vezes a altura do leito de grânulos de lamas sedimentados.

De acordo com uma concretização preferida, pelo menos uma parte da água residual esgotada em nutriente é descarregada durante a alimentação de água residual ao leito de grânulos de lamas no primeiro passo.

Nesse caso, a descarga de água residual esgotada em nutriente é preferivelmente a consequência de deslocamento devido ao facto da água residual ser alimentada ao leito de grânulos de lamas.

Assim, com uma única acção, são realizadas tanto a adição de água residual fresca, como a descarga de água residual tratada. Isto pode ser conseguido com uma baixa despesa de capital. São possíveis outras poupanças em tecnologia de controlo (são requeridas menos medições) e custos operatórios. Além disso, é evitada a mistura de água residual tratada com água residual a ser tratada, de modo que a concentração de nutrientes a que os microorganismos nos grânulos de lamas são expostos é tão elevada quanto possível, proporcionando a anteriormente mencionada vantagem de crescimento sob a forma de grânulos de lamas. A deslocada água residual tratada é preferivelmente descarregada no lado de cima do leito. Devido ao deslocamento, quaisquer flocos que se possam formar são removidos para fora do reactor. Portanto, a água residual é vantajosamente introduzida via fundo do leito.

Uma concretização importante é aquela em que a água residual é introduzida numa quantidade de 50 a 110%, preferivelmente de 80 a 105% e muito preferivelmente de 90 a 100% do volume vazio do leito.

Assim, a biomassa na forma de grânulos de lamas é usada optimamente, ao volume de reactor mais pequeno possível.

A introdução da água residual é preferivelmente seguida por um intervalo antes de ser iniciado o segundo passo.

Isto promove a absorção de nutrientes a partir da água residual, e contribui para a formação de grânulos de lamas com boas qualidades de sedimentação. Se desejado, a mistura pode ocorrer durante o intervalo.

O intervalo é preferivelmente suficientemente longo para a remoção de pelo menos 50%, preferivelmente pelo menos 75% e muito preferivelmente pelo menos 90% do nutriente orgânico a partir da água residual.

Isto contribui o máximo para a formação de grânulos de lamas com boas qualidades de sedimentação, ao passo que a purificação da água residual é ótima.

É preferível que a água residual seja introduzida no terceiro passo, em que os grânulos de lamas que sedimentam mais devagar são descarregados do reactor e os grânulos de lamas que sedimentam mais depressa permanecem no reactor.

Isto ainda aumenta a pressão a seleccionar para o crescimento granular. A introdução de água residual pode ser realizada a um caudal baixo durante a sedimentação dos grânulos de lamas, preferivelmente após pelo menos parte dos grânulos de lamas terem formado um leito granular mas, como explicado noutro local, muito preferivelmente após o leito granular estar formado. Nos primeiros dois processos existe uma sobreposição entre o primeiro e o terceiro passos. No segundo e em especial no terceiro processo, flocos de lamas leves que sedimentaram sobre o leito, ou que teriam tendência para isso, são arrastados pelo fluxo de água esgotada em nutrientes deslocado pela água residual. Como consequência, existe uma pressão de selecção que resulta na manutenção das características da lama sob a forma de grânulos. É preferível que a descarga ocorra no terceiro passo via uma abertura de descarga imediatamente acima do leito final.

O invento será agora elucidado com referência à seguinte concretização exemplar, em que

- A Figura 1 mostra um gráfico da concentração de acetato, fosfato, amónio e $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ durante um ciclo do processo de acordo com o invento.

- As Figuras 2a e 2b mostram flocos de lammas de acordo com a arte anterior e grânulos de lammas de acordo com o presente invento, respectivamente.

Um reactor de agitação pneumática (3 litros, comprimento/diâmetro 20) foi alimentado com 1,5 litros de água residual por ciclo, cuja água residual representa um modelo apropriado para uma água residual doméstica. A composição era acetato de sódio 6,3 mM, cloreto de amónio 3,6 mM, fosfato de potássio 0,6 mM, sulfato de magnésio 0,37 mM, cloreto de potássio 0,48 mM e solução standard de elementos vestigiários 0,9 ml/l. O reactor foi semeado com lama activa aeróbica proveniente de uma instalação de purificação de água residual doméstica. O reactor foi operado em ciclos descontínuos sucessivos. Um ciclo consistiu nos seguintes passos:

- i) Introdução de 1,5 litros de água residual modelo no lado inferior do reactor, durante 60 minutos, de modo a existir um regime laminar de água residual através do leito granular sedimentado.
- ii) Arejamento durante 111 minutos a um caudal de 4 litros de ar por minuto.
- iii) Sedimentação da lama granular durante 3 minutos após o término do arejamento.
- iv) Descarga da água residual modelo tratada pelo ponto de saída de efluente a metade da altura do reactor; qualquer biomassa presente neste momento acima do ponto de saída do efluente foi removida do reactor juntamente com a água residual tratada.
- v) Intervalo de 1 minuto, após o qual a alimentação com água residual modelo foi reiniciada.

Pela adição de uma base ou um ácido, o pH no reactor foi mantido a 6,5 a 7,5 e a temperatura foi mantida a 20°C. Durante a fase arejada ii) a concentração de oxigénio dissolvido foi mantida a cerca de 1,8 mg/ml. Por um lado isto mantém a concentração de oxigénio suficientemente elevada para a decomposição aeróbica do nutriente na parte exterior dos grânulos de lammas, e por outro lado apenas é requerida uma baixa capacidade de bombagem para a adição de ar. No global, sob estas condições, a transferência de oxigénio a partir do ar é muito eficaz. Em consequência, também é

requerida pouca energia para o fornecimento de oxigénio. A decomposição de compostos de azoto mostrou ser óptima a estas concentrações de oxigénio, sendo encontradas apenas quantidades mínimas de nitrato na água residual tratada.

Na Tabela 1, são mostradas as concentrações médias da água residual modelo e da água tratada. O resultado de purificação médio também é mostrado. A Figura 1 mostra uma representação das concentrações de acetato (o), fosfato (Δ), amónio (losango a negro) e a soma de nitrato e nitrito (losango aberto) durante um ciclo. A Figura 2b mostra uma fotografia dos grânulos de lamas obtidos através do processo. Os grânulos de lamas obtidos eram estáveis durante pelo menos 300 dias, após o que se parou com esta experiência. O processo de acordo com o invento torna assim possível um controlo fidedigno da operação. A Figura 2a mostra flocos de lamas típicos tendo uma taxa de sedimentação como descrita em US 3864246. Embora em US 3864246 se combata com sucesso o crescimento de organismos filamentosos, que formam as chamadas lamas leves, os flocos de lamas formados possuem uma velocidade de sedimentação de no máximo 1 m/h. Em contraste, os grânulos de lamas de acordo com o presente invento possuem velocidades de sedimentação muito elevadas (>10 m/h), enquanto que a distância à qual a sedimentação ocorre pode ser relativamente pequena.

Tabela 1

Concentrações da água residual modelo não tratada e tratada

Valores médios	Água residual modelo	Água residual tratada	Eficiência de remoção
Acetato (mM)	6,3	0	100%
NH_4^+ (mM)	3,6	0	97%
NO_3^- (mM)	0	0,1	
NO_2^- (mM)	0	0	
PO_4 (mM)	0,6	0,04	94%

Um dos factores que contribui para o crescimento granular é a alimentação de água residual com a concentração em nutriente mais elevada possível aos grânulos de lamas. Por esta razão, é apropriado evitar a mistura entre a água residual tratada no reactor e a água residual fresca recém-

alimentada. Nesses casos em que uma baixa concentração em nutriente na água residual prevalece durante muitos ciclos, e.g. mais de 10, pode ser adicionado nutriente à água residual se necessário. Uma opção seria a utilização de estrume líquido.

O presente invento pode ser implementado de muitas maneiras. Por exemplo, em vez de utilizar um reactor pode ser propício utilizar três reactores, sendo os três reactores operados de modo desfasado. Isto é dizer, enquanto a água residual é alimentada a um reactor, o passo de arejamento está a ser realizado num segundo reactor, enquanto que num terceiro reactor ocorre a sedimentação e possivelmente a descarga de água purificada. Isto mantém o custo de capital para bombas, especialmente em respeito à sua capacidade máxima requerida, dentro de limites. A água residual tratada é libertada gradualmente e isto é vantajoso se esta água residual necessita sofrer um tratamento adicional, uma vez que também é suficiente um reactor mais pequeno para pós-tratamento. Uma vez que, comparado com a experiência anteriormente descrita, os reactores serão na prática relativamente mais altos, a sedimentação será mais demorada. Isto significa que a alimentação pode tomar um terço do tempo, o arejamento e a sedimentação em conjunto dois terços do tempo. É assim evitado um tanque tampão para armazenamento temporário de água residual a ser tratada, e os três reactores operados descontinuamente tornam possível uma operação contínua. O invento é ilustrado por via de um reactor de agitação pneumática, mas o invento pode ser concretizado com qualquer outro tipo de reactor, tal como um reactor de coluna de bolhas.

Lisboa, 2009-03-05

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para o tratamento de água residual que compreende um nutriente orgânico, em que a água residual é levada ao contacto com partículas de lamas que compreendem microorganismos, um gás que compreende oxigénio é alimentado às partículas de lamas, e o processo compreende ainda a sedimentação da lama e a descarga de água residual esgotada em nutriente orgânico, caracterizado por

- num primeiro passo, a água residual ser alimentada aos grânulos de lamas, sob condições anaeróbicas;
- após a alimentação da água residual a ser tratada, um gás que compreende oxigénio ser introduzido num segundo passo, em que a concentração de oxigénio é inferior a 5 mg/ml, estando os grânulos numa condição fluidizada e sendo os grânulos removidos no final do segundo passo ou no início do terceiro passo;
- num terceiro passo, um passo de sedimentação, ser permitida a sedimentação dos grânulos de lamas.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a água residual ser introduzida numa quantidade de 50 a 110%, preferivelmente de 80 a 105% e muito preferivelmente de 90 a 100% do volume vazio do leito.

3. Processo de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado por a introdução da água residual ser seguida por um intervalo antes do início do segundo passo.

4. Processo de acordo com a reivindicação 3, caracterizado por o intervalo ser suficientemente longo para a remoção de pelo menos 50%, preferivelmente pelo menos 75% e muito preferivelmente pelo menos 90% do nutriente orgânico da água residual.

Lisboa, 2009-03-05

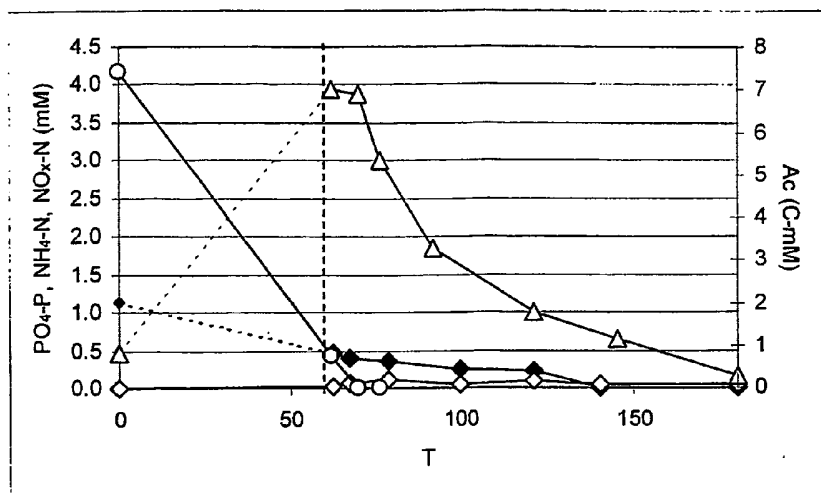


Fig. 1

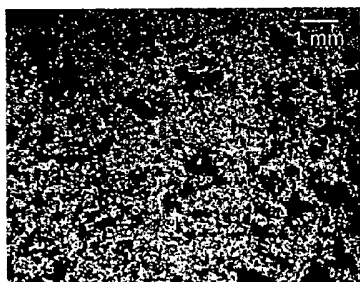


Fig. 2a

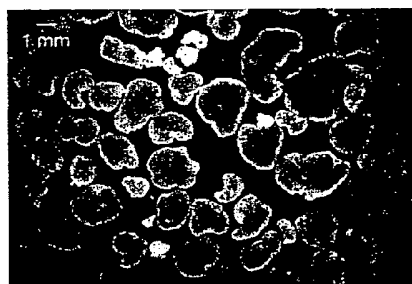


Fig. 2b