

INFORME PRÁCTICO

SISTEMA DE CONTROL DE PROCESO
ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES
DEGRADACIÓN DE N Y P



La tecnología de medida de proceso óptima para la degradación de N y P

Dentro del → *tratamiento avanzado de las aguas residuales*, han surgido nuevos métodos de tratamiento para los parámetros → *nitrógeno* y *fósforo*. En la actualidad, debido a los costes crecientes, la atención se centra cada vez más en el → *uso económico de la energía* y los *materiales auxiliares*. → *Sólo la tecnología de control* no puede hacer frente a este reto. Intervenciones encauzadas en los procesos de tratamiento, dirigidas a lograr reducciones de costes a largo plazo, pueden tener éxito con la ayuda de una → *tecnología de medida de proceso* integrada. Partiendo del → *balance de nitrógeno y fósforo de acuerdo con ATV-DVWK*, este documento concreta los instrumentos de medida de proceso más indicados para cada etapa específica del tratamiento.



Autor:

Uwe Karg

- Ing. Dipl. Química
- Productos de aplicación de proceso, HACH LANGE



LANGE 

El balance de nitrógeno en las aguas residuales municipales

Generalidades

El nitrógeno está presente en las aguas residuales en diversos compuestos, cuyas propiedades difieren sobremanera. Cuando se vierten a las aguas superficiales, estos compuestos pueden reducir el contenido de oxígeno del agua, tener un efecto tóxico en los peces o servir de nutriente. Por lo tanto, es importante conocer la composición de los compuestos de nitrógeno en las aguas residuales municipales y saber cómo los mismos cambian durante las diversas etapas del tratamiento. Pueden producirse cargas adicionales, por ejemplo, por las aguas turbias (aguas de proceso) que se forman durante el tratamiento del lodo (espesador, deshidratación mecánica) o por un alto nivel de dilución por el agua de infiltración, que puede ocasionar la reducción de la concentración de nitrógeno. En las aguas residuales municipales, las excreciones humanas son los principales aportes de nitrógeno (N). La mayor parte del nitrógeno está en forma de urea, un componente de la orina. La cantidad media de nitrógeno que una persona excreta al día es de

alrededor de 11 g. La concentración de nitrógeno en las aguas residuales municipales brutas, expresada como TKN (nitrógeno orgánico + $\text{NH}_4\text{-N}$), se encuentra entre 50 y 60 mg/l, siendo el contenido de $\text{NH}_4\text{-N}$ mayor que la proporción de nitrógeno orgánico.

Entrada en la E.D.A.R.

Poniendo por caso una afluencia diaria media de 150 l de aguas residuales y 50 l de agua de infiltración por habitante, la concentración calculada de N por habitante es de 55 mg/l [1], [2]. Fig. 1, (1). En la práctica, las concentraciones de nitrógeno son, a veces, inferiores; circunstancia ésta atribuible normalmente a un elevado volumen de agua de infiltración o a una alta proporción de aguas residuales industriales. La urea y otros nitrógenos orgánicos (N org.) ya empiezan a descomponerse en nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_4\text{-N}$) en el alcantarillado. Esta conversión se conoce como amonificación. Cuanto más largo es el trayecto del caudal hacia la E.D.A.R., mayor es el grado de amonificación.

→ Véase la página 8: EVITA INSITU 4100

Tras la etapa del tratamiento mecánico

El proceso de amonificación continúa durante la etapa del tratamiento mecánico, con lo que todavía más nitrógeno orgánico se convierte en $\text{NH}_4\text{-N}$. El lodo que se sedimenta durante el tratamiento primario contiene alrededor de 5 mg/l N que, por lo tanto, han sido eliminados del agua residual. Fig. 1, (2).

→ Véase la página 8: EVITA INSITU 4100, AMTAX sc

Tras la etapa del tratamiento biológico (degradación del carbono solamente)

Prácticamente todo el nitrógeno está ahora presente como $\text{NH}_4\text{-N}$ y reduce sobremanera el oxígeno. En la etapa del tratamiento biológico, la materia orgánica se convierte en masa bacteriana y es extraída como lodo excedente. Para formar esta biomasa se necesitan aproximadamente 10 mg/l N, que serán eliminados del agua residual en este punto. Fig. 1, (3).

Tras la etapa de nitrificación

En el tanque de aireación, en presencia de abundante oxígeno, el $\text{NH}_4\text{-N}$ se oxida a nitrito ($\text{NO}_2\text{-N}$) y después a nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$). El nitrato actúa como nutriente en las aguas superficiales. Esto también se produce de forma similar en los filtros percoladores de rango bajo y en los reactores biológicos de rotación. Este proceso se llama nitrificación u oxidación por nitrógeno. Si el lodo ha envejecido lo suficiente o la carga de lodo DBO_5 es baja y las condiciones límite son favorables, el contenido de $\text{NH}_4\text{-N}$ en la salida es menor que 3 mg/l y, normalmente, incluso menor que 1 mg/l. El balance de N en el lodo cambia sólo ligeramente.

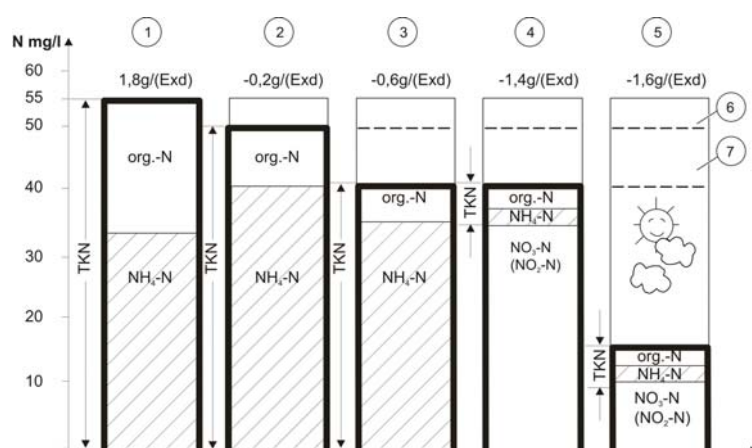


Fig. 1: Balance de nitrógeno en las aguas residuales [2]

- 1 Agua residual bruta
 - 2 Tratamiento mecánico
 - 3 Tratamiento biológico (degradación de carbono solamente)
 - 4 Tratamiento biológico (con nitrificación)
 - 5 Tratamiento biológico (con desnitrificación)
 - 6 Lodo primario
 - 7 Lodo excedente
- /ExD = por habitante y día

te si la concentración de oxígeno en el tanque de aireación está por encima de 1 mg/l. Fig. 1, (4).

→ Véase la página 8: EVITA INSITU 4100, AMTAX sc, NH4D sc

Tras la desnitrificación

En los tanques o zonas no aireados (anaeróbicos), a las bacterias ya no se les provee de oxígeno y por lo tanto se les fuerza a absorber nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$), que las mismas descomponen para respirar el oxígeno. Emiten el nitrógeno al agua como gas (N_2), que escapa al aire. Este proceso se conoce como desnitrificación. Los compuestos de carbono fácilmente degradables juegan un papel importante en el mismo, ya que bien son directamente oxidados o adsorbidos, incorporados parcialmente y procesados más tarde. Fig. 1, (5).

→ Véase la página 8: AMTAX sc, NITRATAX sc / plus sc

TKN (Nitrógeno Kjeldahl)

Es la suma del nitrógeno orgánico y el nitrógeno amónico ($\text{N org.} + \text{NH}_4\text{-N}$). Es de interés para la carga de nitrógeno en el agua residual bruta o después del tratamiento mecánico.

Nitrógeno inorgánico (N_{inorg})

De acuerdo con la Ley de Costes de Aguas Residuales (AbwAG), los descargadores de aguas residuales en las aguas superficiales deben pagar un impuesto por la totalidad del nitrógeno descargado. De acuerdo con el Decreto de Aguas Residuales y la Ley de Costes de Aguas Residuales, el nitrógeno inorgánico se define como la suma de $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ y $\text{NO}_2\text{-N}$ – es decir, el nitrógeno orgánico no está incluido. Una eficaz eliminación del nitrógeno puede reducir el N_{inorg} por debajo de 12 mg/l.

→ Véase la página 8: AMTAX sc, NITRATAX plus sc / clear sc

Nitrógeno total (TN)

Para distinguirlo del N_{inorg} en la salida, la suma del nitrógeno orgánico y el inorgánico se denomina nitrógeno total. La medida es especialmente importante en la entrada, donde el contenido de nitrógeno orgánico (N org.) puede ser 20 mg/l o más.

Optimización de la etapa de tratamiento biológico (E.D.A.R. de Markt Schwarzenfeld)

Un ejemplo de una E.D.A.R. muestra cómo las medidas de control pueden influir de forma decisiva en los procesos de degradación y cómo los ahorros en los costes de las aguas residuales pueden compensar los costes de inversión.

Situación inicial

El agua residual en la entrada de la E.D.A.R. de Markt Schwarzenfeld es un reto muy importante para el proceso de tratamiento. La DBO corresponde a unos 14.000 habitantes equivalentes (h-e), la carga de nitrógeno corresponde a un número de habitantes equivalentes de

20.000 aprox. y la carga de fósforo corresponde a alrededor de 25.000 h-e. La irregular composición del agua residual es consecuencia del agua residual pretratada de una lechería. La fase de pretratamiento emite relativamente poca DBO pero más del 50 % de la carga de nitrógeno total de la entrada de la E.D.A.R. Un efecto secundario positivo es que el agua es templada, con lo que la temperatura del agua en el tanque de aireación está siempre por encima de 11 °C. (Fig. 2).

Tras el tratamiento mecánico en la depuradora, unas condiciones de flujo no favorables en la unidad distribuidora de



Fig. 2: Tanque de aireación en Markt Schwarzenfeld. Agua residual templada pero difícil.

Aireación perfecta mediante tecnología de medida de proceso y control “fuzzy”



Fig. 3: El Director de operaciones Thomas Hutz controla periódicamente las nuevas válvulas de pistón anulares.

E.D.A.R. de Markt Schwarzenfeld

Características técnicas:	
BOD	14.000 h-e
N	20.000 h-e
P	25.000 h-e
Qt	3.500 m ³ /d
Qm	10.000 m ³ /d
Tanque de aireación	8.100 m ³
Sedimentación secundaria	2 x 1.800 m ³

Fig. 4: Las características técnicas de la E.D.A.R.

flujo hacen que el agua residual alcance las etapas de desnitrificación aguas arriba del sistema de 2 canales en una relación de 70:30. Además, los tiempos de parada mínimos y los bajos valores de DBO impiden que la desnitrificación sea eficaz. En la siguiente sección aireada, un único conducto de oxígeno proporciona cantidades iguales de oxígeno a los volúmenes desiguales de agua residual en los dos canales; con diferencias de hasta 5 mg/l O₂. La consecuencia: un valor de nitrógeno total entre 12 y 18 mg/l N en la salida y un consumo energético específico de 0,40 kWh/m³ de agua residual.

En la actualidad

La composición del agua residual no podía ser modificada, por supuesto, pero unos simples cambios estructurales en la unidad distribuidora de flujo aseguran que el agua residual está distribuida de modo uniforme sobre los dos canales. El cambio de desnitrificación aguas arriba a operación intermitente genera una capacidad de desnitrificación mucho mayor, y facilita la degradación eficaz del nitrógeno durante largas

fases no aireadas, a pesar de la falta de carbono. Conducciones separadas de oxígeno y dos válvulas de pistón anulares (Fig. 3) permiten que un controlador “fuzzy” (un sistema de control inteligente, autoadaptable) regule el suministro de oxígeno en función de la carga. ELO Consult GmbH es corresponsable de todos estos cambios.

Ningún control sin tecnología de medida de proceso

Las sondas miden el contenido de oxígeno en los dos canales. En la salida del tanque de aireación se determinan en continuo amonio y nitrato (Fig. 5, esquema de la planta). El sistema de control sólo puede funcionar eficazmente gracias a la utilización directa de los valores medidos de estos aparatos.

¿Cómo funciona un controlador “fuzzy”?

Las curvas cronológicas de los días 27 y 28 de junio de 2007 (Fig. 5) dan una idea muy clara de las diferencias de los sistemas de control basados en tiempo y los sistemas de control de 2 puntos.

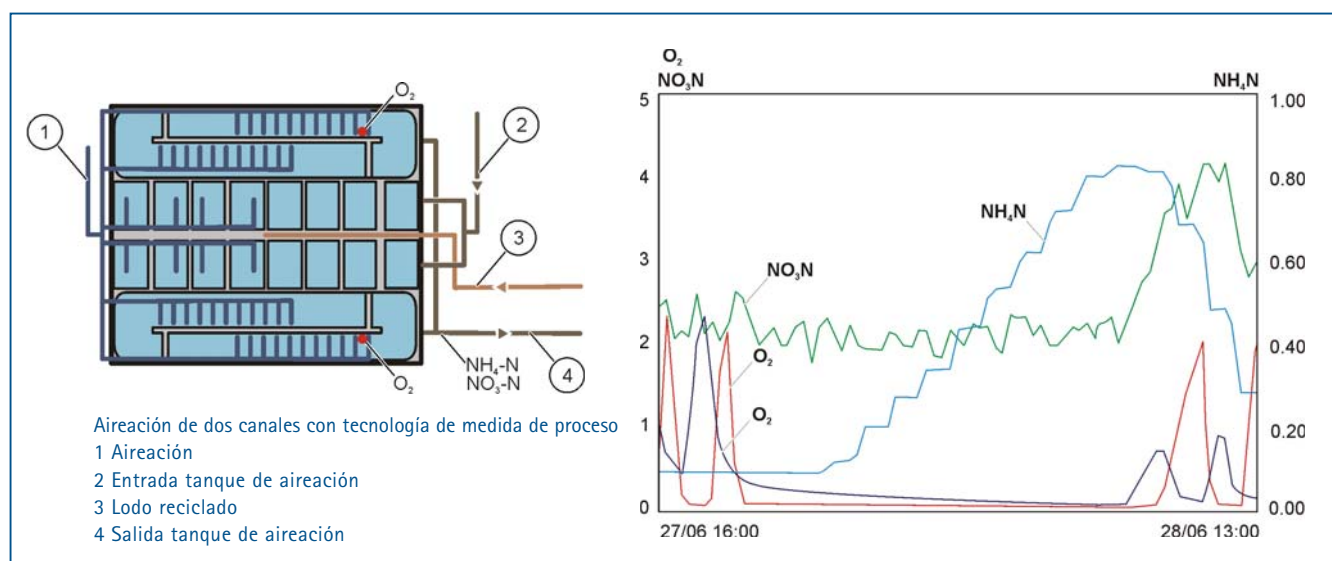


Fig. 5: El contenido de oxígeno se determina por separado en cada canal. El amonio y el nitrato se determinan juntos a la salida de la etapa de tratamiento biológico (esquema de la planta). En base a estos valores medidos, el controlador “fuzzy” elabora la estrategia de aireación económicamente más eficaz (diagrama).

Un sistema de control exclusivamente basado en tiempo trabaja en base a tiempos de conexión y desconexión fijos, de modo totalmente independiente de la situación de carga real. El sistema de control de 2 puntos se conecta cuando se rebasa un valor límite superior de amonio y vuelve a desconectarse cuando el contenido de amonio cae por debajo de un valor límite inferior (y a la inversa para el parámetro nitrato). Estos valores límite son fijos, con independencia de la carga real de la planta y, por tanto, casi nunca son los puntos de conexión ideales. Un controlador “fuzzy” no sólo tiene en cuenta el valor medido absoluto sino también el aumento de la concentración por unidad de tiempo (gradiente de la curva cronológica). A última hora de la tarde del 27 de junio (Fig. 5), el controlador desconectó la aireación de los dos canales. No obstante, la concentración de amonio aumentó muy lentamente. El contenido de nitrato era muy bajo, de alrededor de 2 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$. Para ahorrar energía, el controlador “fuzzy” utiliza ahora el tiempo de desconexión máximo y espera hasta el día siguiente para conectar la aireación de modo alternante, cuando la concentración alcanzó unos 0,8 mg/l

$\text{NH}_4\text{-N}$. Este método de funcionamiento alternante impide los picos de consumo de electricidad, con lo que se evitan los excesos sobre la factura de electricidad.

Resultado:

Costes energéticos 30 % más bajos (de 0,40 kWh/m³ a 0,28 kWh/m³ de agua residual); <5 mg/l N en la salida y una DQO por debajo de 30 mg/l son cifras impresionantes que expresan con claridad la eficacia de este sistema de control. La colaboración entre la E.D.A.R. de Markt Schwarzenfeld y ELO Consult GmbH rinde, por lo tanto, grandes beneficios de efecto duradero.

El hecho real es que el coste global de la optimización del sistema fue casi cero, como lo muestra la siguiente lista de elementos financieros (Fig. 7). La reducción satisfactoria de más del 20 % en los niveles de nitrógeno dio como resultado un reembolso del coste del agua residual, que cubría aproximadamente el 85 % de los gastos de inversión. ¡Un efecto secundario de esta medida de optimización es que la eliminación biológica mejorada del fósforo llevó a una reducción de alrededor del 50 % tanto del P_{tot} como de la DQO!

Financiación

Inversión	-120.158 €
Reembolso 2001*	9.806 €
Reembolso 2002*	40.388 €
Reembolso 2003*	28.676 €
Reembolso 2004*	23.368 €
Balance intermedio	-17.920 €
Ahorro energético anual, aprox.	14.600 €
Reducción del coste del agua residual	23.450 €

* mediante la reducción de nitrógeno de más de 20%.

Fig. 7: Optimización a coste cero gracias al reembolso del coste del agua residual.

Datos característicos

Parámetro	Antes	Después
N_{tot} (mg/l)	12–18	<5
DQO (mg/l)	50	20–30
P_{tot} (mg/l)	2	1
Consumo de energía (kWh/m ³)	0,40	0,28

Fig. 8: Los datos característicos confirman el impresionante balance.

ELO Consult GmbH

Manfred Beck (Director Gerente)

manfred.beck@elo-consult.de

Tel.: +49 (0) 94 05 / 95 55-20

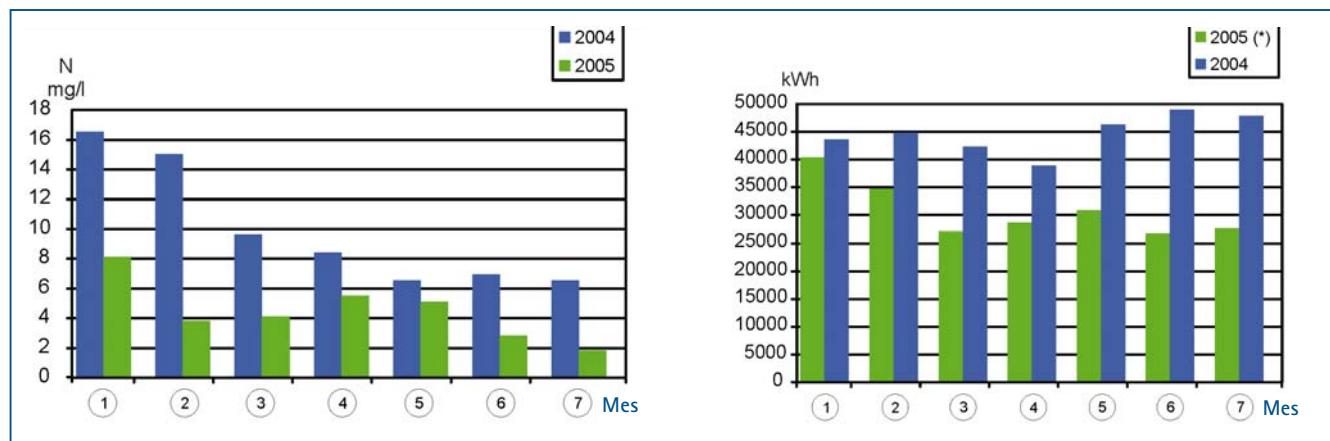


Fig. 6: Clara reducción de la carga de nitrógeno en los siete primeros meses de 2004/2005.

Al mismo tiempo, se redujo el consumo energético. (*) Calculado en base al volumen de agua residual en 2004.

El balance de fósforo en las aguas residuales municipales

Generalidades

En la naturaleza, el fósforo (P) sólo existe en forma de compuestos químicos. El compuesto más común es el fosfato (PO_4) en forma de ortofosfato. El balance de fósforo de los compuestos de fósforo disueltos en el agua residual solamente puede calcularse convirtiendo los valores medidos para expresarlos en términos de fósforo. Los fosfatos vertidos a las aguas superficiales actúan como nutrientes de plantas. La Fig. 9 muestra las formas en las que el fósforo existe en las aguas residuales municipales y cómo el contenido de fósforo se reduce durante las diferentes etapas del tratamiento del agua residual. Cargas adicionales potenciales – p. ej. del agua turbia formada durante el tratamiento de los fangos o la deshidratación mecánica de los lodos – no son tomadas en consideración; tampoco lo es el problema del fósforo que se redissuelve cuando el lodo excedente se convierte en anaerobio. Los altos niveles de dilución debidos al agua de infiltración, que pueden reducir la concentración de fósforo, también son ignorados en el cálculo de este balance. Estos factores influyentes pueden variar de una planta a otra y complicarían esta simple representación.

La mayor parte del fósforo de las aguas residuales municipales procede de detergentes, productos de limpieza domésticos y excreciones humanas. Se calcula que la carga de fósforo diaria por habitante es de alrededor de 1,8 g. La concentración de fósforo en el agua residual ha disminuido considerablemente en los últimos años y, actualmente, está entre 8 y 12,5 mg/l P en las aguas residuales municipales y las aguas residuales brutas. Si no se dispone de resultados de estudios específicos de las aguas residuales, los cálculos para una E.D.A.R. pueden realizarse asumiendo una concentración media de 9 mg/l P [1], [3].

Entrada a la E.D.A.R.

En el supuesto de una entrada diaria media de 150 l de agua residual y 50 l de agua de infiltración por habitante, la concentración calculada de P por habitante es de 9 mg/l P. En la práctica, estas concentraciones son más bajas y esto es atribuible a un volumen de agua de infiltración por encima de la media o a una gran proporción de aguas residuales industriales. Fig. 9, (1).

→ Véase la página 8: EVITA INSITU 4100

Tras la etapa de tratamiento mecánico

El fósforo ligado a los “screenings” y al lodo primario equivale a un contenido de fósforo de alrededor de 1 mg/l P, que será eliminado del agua residual. Con el tratamiento mecánico óptimo (p. ej., tamizado) se puede eliminar todavía más fósforo. Fig. 9, (2).

→ Véase la página 8: EVITA INSITU 4100, PHOSPHAX sc

Tras la etapa de tratamiento biológico (degradación de carbono solamente)

Durante el tratamiento biológico en el tanque de aireación, alrededor de 2 mg/l P se ligan al lodo excedente. Esto también ocurre, de forma similar, en los filtros percoladores de rango bajo y en los reactores biológicos de rotación.

Normalmente son atribuibles niveles de eficacia superiores a una creciente eliminación de bio-P. Fig. 9, (3).

→ Véase la página 8: EVITA INSITU 4100, PHOSPHAX sc

Tras la etapa de tratamiento biológico (con bio-P)

Con niveles superiores de eliminación de fósforo biológico (bio-P), que casi siempre están asociados a la desnitrificación, pueden eliminarse 4 mg/l P_{tot} adicionales en el lodo excedente. En condiciones operativas favorables, y utilizando medidas selectivas de bio-P, pueden conseguirse reducciones todavía mayores. Fig. 9, (4).

→ Véase la página 8: EVITA INSITU 4100, PHOSPHAX sc

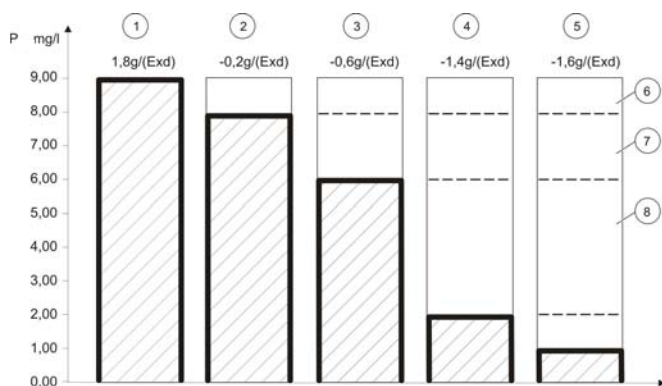


Fig. 9: Balance de fósforo en aguas residuales [3]

1 Agua residual bruta

2 Tratamiento mecánico

3 Tratamiento biológico (degradación de carbono solamente)

4 Tratamiento biológico (con bio-P)

5 Precipitación con Fe/Al

6 Lodo primario

7 Lodo excedente

8 Lodo excedente con bio-P

Tras la etapa de precipitación química

Sólo una pequeña cantidad de fósforo permanece para la eliminación por precipitación química. Si se utilizan correctamente las diferentes posibilidades de proceso para precipitar fosfato y los diversos precipitantes disponibles, pueden obtenerse valores de salida que se encuentran por debajo de $P_{\text{tot}} = 1 \text{ mg/l}$. Puede contarse con que los volúmenes de fango aumentarán un 20 a un 30 %, sea cual sea el método de precipitación utilizado. Si se lleva a cabo una filtración por contacto, pueden obtenerse valores inferiores a $0,3 \text{ mg/l}$. Fig. 9, (5).

→ Véase la página 8: EVITA INSITU 4100, PHOSPHAX sc

Fósforo total en la salida

De acuerdo con los valores especificados en el Decreto de Aguas Residuales, los municipios de más de 10.000 h-e deben asegurarse de que el valor de P_{tot} en la salida nunca pase de 2 mg/l ; si el número de habitantes es superior a 100.000 h-e, el valor equivalente es 1 mg/l .

→ Véase la página 8: PHOSPHAX sigma

Adición controlada de precipitante

La Fig. 10 muestra la eficaz estrategia de control de una gran E.D.A.R. en el sur de Alemania. En general, puede decirse que las ventajas de una adición de precipitante bien controlada aumenta en proporción directa al grado de fluctuación y la magnitud de la carga de P. “Tanto como sea necesario, pero lo menos posible”; este lema permite una máxima fiabilidad asociada a una manipulación económicamente eficaz del precipitante.

Cómo funciona el sistema de control (Fig. 10)

Para determinar la carga, en primer lugar se miden el caudal (Q) y la concentración de ortofosfato (1) en la entrada a la etapa de tratamiento biológico. El producto de los dos valores (= carga precipitable) se utiliza para controlar la adición de precipitante al lodo recirculado. El éxito al final del tanque está reflejado en la curva cronológica (3), que muestra la concentración de ortofosfato residual tras la adsorción biológica y la precipitación química. En función del residuo final, el sistema de control corrige la cantidad de precipitante a añadir. Finalmente, un fotómetro de proceso de fósforo total (4) comprueba el parámetro real en la salida de la E.D.A.R. También aquí existe la posibilidad de corregir la adición de precipitante. El ajuste de la situación actual no podría llevarse a cabo de una manera más encauzada.

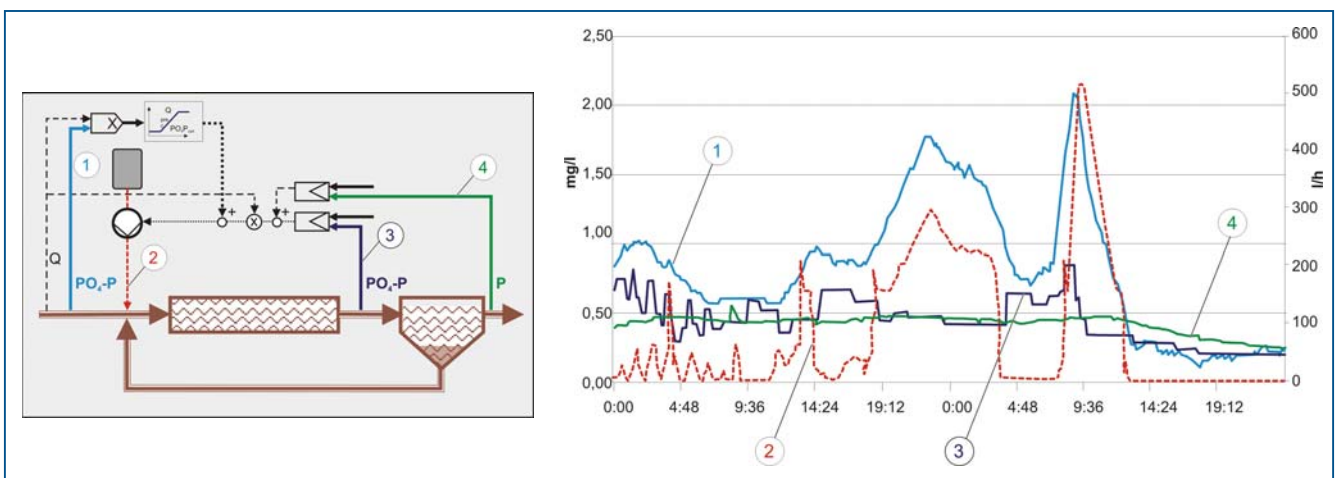


Fig. 10: Óptima estrategia de control para la precipitación química de fosfato

1 Concentración de ortofosfato antes de la precipitación
2 Cantidad de precipitante controlada

3 Concentración de ortofosfato después de la precipitación
4 Concentración de fósforo total en la salida

Tecnología de medida de proceso para los parámetros amonio, nitrato y fosfato

Sonda de proceso de amonio NH4D sc

Sonda económica, sin calibración, para la determinación continua de la concentración de amonio directamente en el agua residual. Cartucho CARTRICAL® con tres electrodos calibrados de forma secuencial. Evaluación y operación mediante controlador SC 100 o SC 1000. Método ISE (electrodos selectivos de iones para $\text{NH}_4\text{-N}$ y potasio); rango: 0,2–1.000 mg/l $\text{NH}_4\text{-N}$.

Fotómetro de proceso de amonio AMTAX sc

Medidor de proceso, de gran precisión, para la determinación en continuo de la concentración de amonio. Preparación de las muestras utilizando una sonda de filtro integrada. Caja aislada, resistente a la intemperie, para instalación en el exterior o en interior. Evaluación y operación mediante controlador SC 1000. Método de medida: GSE (electrodo sensible al gas); rango de medida: 0,05–20 mg/l $\text{NH}_4\text{-N}$.

Sensor de amonio EVITA INSITU 4100 sc

Sensor de amonio, de precisión, para la determinación en continuo, sin muestreo, de la concentración de amonio-nitrógeno directamente en el agua residual. Filtro de iones patentado. Evaluación y operación mediante controlador SC 1000 con módulo GSM. Método de medida: medida fotométrica mediante el método del azul de indofenol; rango de medida: 0...20 mg/l $\text{NH}_4\text{-N}$.

Fotómetro de proceso de ortofosfato PHOSPHAX sc

Fotómetro de gran precisión para la determinación en continuo de la concentración de ortofosfato. La muestra se prepara mediante una sonda de filtro integrada. Caja aislada resistente a la intemperie para instalación en exterior o interior. Evaluación y operación mediante controlador SC 1000. Método de medida: fotométrico (método amarillo); rango: 0,05–15 mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$.

Sensor de ortofosfato EVITA INSITU 4100 sc

Sensor de ortofosfato para la determinación en continuo de la concentración de ortofosfato, sin toma de muestras, directamente en el agua residual. Filtro de iones patentado. Evaluación y operación mediante controlador SC 1000 con módulo GSM. Método de medida: medida fotométrica según el método del azul de molibdeno; rango de medida: 0–6 mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$.

Fotómetro de proceso de fósforo total PHOSPHAX sigma

Fotómetro de proceso para medir el fósforo total y la concentración de ortofosfato en el agua residual (tratamiento en la salida) y el agua de refrigeración, incluyendo los sólidos de hasta 0,5 mm de tamaño. El análisis equivalente a DIN se realiza en unos 10 minutos utilizando el método del azul de molibdeno.

SIGMATAX 2 para el muestreo y la homogeneización de las muestras que contienen sólidos.

Sonda de proceso para nitratos NITRATAX plus/clear sc

Sonda de proceso de acero inoxidable para determinar, sin toma de muestras, el contenido de nitrato y nitrito. Medida de absorción por UV, sin reactivos. Evaluación y operación mediante controlador SC 100 o SC 1000. Para la instalación en bypass es absolutamente necesario un dispositivo de circulación continua. Rango de medida ($\text{NO}_{2+3}\text{-N}$) plus sc: 0,1–100 mg/l; clear sc: 0,5–20 mg/l; sc: 0,1–20 mg/l.



Electrodo de proceso NH4D sc



Fotómetro de proceso AMTAX sc



Sonda de proceso NITRATAX sc

Bibliografía

- [1] ATV-DVWK Arbeitsblatt A-131, Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen
- [2] ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Leitfaden Nr. 2-14, Betrieb von Abwasseranlagen, Die Stickstoffbilanz im kommunalen Abwasser 01/2003
- [3] ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Leitfaden Nr. 2-13, Betrieb von Abwasseranlagen, Die Phosphorbilanz im kommunalen Abwasser 01/2003

HACH LANGE S.L.U.

Edif. Arteaga Centrum
C/Larrauri, 1C- 2º Pl.
E-48160 Derio/Vizcaya
Tel. +34 94 657 33 88
Fax +34 94 657 33 97
info@hach-lange.es
www.hach-lange.es



LANGE