

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 379 743**

51 Int. Cl.:

**C02F 9/00** (2006.01)

**C02F 1/52** (2006.01)

**C02F 1/44** (2006.01)

**C02F 1/00** (2006.01)

**C02F 101/10** (2006.01)

**C02F 101/20** (2006.01)

**C02F 103/10** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08707829 .1**

96 Fecha de presentación: **07.01.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2114832**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **11.11.2009**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para limpieza de agua contaminada con iones sulfato e iones metálicos pesados**

30 Prioridad:  
**29.01.2007 DE 102007004310**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**03.05.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**03.05.2012**

73 Titular/es:  
**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
WITTELSBACHERPLATZ 2  
80333 MÜNCHEN, DE**

72 Inventor/es:  
**RIEBENSAHM, Michael**

74 Agente/Representante:  
**Carvajal y Urquijo, Isabel**

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).

ES 2 379 743 T3

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo para la limpieza de agua contaminada con iones sulfato e iones metálicos pesados

La presente invención hace referencia a un procedimiento y un dispositivo para la depuración de agua contaminada con iones sulfato e iones metálicos pesados.

- 5 La presente invención se sitúa en el ámbito técnico de la depuración de aguas y/o tratamiento de aguas. El tratamiento de aguas tiene hoy en día mayor significado en muchos ámbitos de la vida, tanto privada como económica. Cada vez más han de cumplirse también las directivas medioambientales y sanitarias obligatorias. El procedimiento conforme a la invención y el dispositivo conforme a la invención pueden integrarse de manera particularmente favorable en la zona de la eliminación del drenaje ácido de roca, que puede surgir en la explotación
- 10 minera a cielo abierto durante la extracción industrial de materias primas. El drenaje ácido de roca son aguas residuales con un valor del pH claramente menor que siete, es decir, una disolución ácida, que contenga además generalmente iones metálicos pesados disueltos en el agua.

- El drenaje ácido de roca está formado por el agua, en forma de lluvia o nieve, que rezuma una escombrera producida en la explotación minera. Si el suelo y/o el material extraído, por ejemplo, entrara en contacto en una
- 15 escombrera con el agua, agua de lluvia o agua de deshielo, y el aire, particularmente el oxígeno, se originarían reacciones químicas, cuya consecuencia final sería la formación de ácido sulfúrico. El ácido sulfúrico disuelve, al filtrarse del suelo y/o del material extraído, metales pesados del suelo y/o del material extraído depositado. La disolución ácida conteniendo generalmente metales pesados se acumula por drenajes y/o canales naturales en una depresión natural o discurre sin depurar hasta un río.

- 20 El agua contaminada con iones sulfato e iones metálicos pesados actúa generalmente de manera tóxica sobre los organismos vivos. Es, por consiguiente, necesario y apropiado realizar una extracción de los iones sulfato y de los iones metálicos pesados de la disolución acuosa.

- La US 4,046,686 muestra un procedimiento y un dispositivo para la depuración de desagüadores en batería comprendiendo agua, ácido sulfúrico, metales disueltos en concentración en ppm y sodio. Estos se recogen en una
- 25 cubeta acumuladora, se extrae una parte de los mismos y se mezclan y neutralizan con hidróxido cálcico en agua. Una sustancia de precipitación incluye sulfato cálcico e hidróxidos de metales pesados, cuya floculación se mejora añadiendo un polielectrolito y aire. Se introduce la mezcla en una cubeta de clarificado con suelo en forma de embudo. Los flóculos de sustancia de precipitación formados se decantan y se extraen como lodo en el suelo y se secan; mientras que el exceso de fluido se transporta a un tanque de almacenamiento. A continuación, se filtra el
- 30 fluido excedente con una batería de filtros de arena y ósmosis inversa. Se lleva a cabo una limpieza temporal de la batería de filtros de arena por retrolavado, haciéndose circular agua fresca contra la dirección de filtración, que se conduce, a continuación, con las partículas sólidas, dado el caso, deslavadas de los filtros en la dirección de la cubeta recogedora. El filtrado del exceso de agua se mezcla con un agente complejante y con ello se evita una precipitación de las sustancias de precipitación durante la posterior ósmosis inversa. A continuación, se somete la
- 35 mezcla a ósmosis inversa, separándose el agua limpia. El agua sucia que queda contiene calcio aislado empleado para la destrucción del agente complejante o bien mezclado con óxido de calcio e introducido en la cubeta recogedora o para la disolución del óxido de calcio en la formación del necesario hidróxido cálcico en agua. Incluye, en ambos casos, fosfato y sulfato cálcicos, que se agregan junto con el hidróxido cálcico formado en agua a los desagüadores en batería en conjunto o a una nueva parte independiente de los desagüadores en batería.

- 40 La presente invención se basa en el objeto de proporcionar un dispositivo y un procedimiento, con los que sea posible una depuración técnicamente poco compleja y económica del agua contaminada con iones sulfato e iones metálicos pesados.

- La parte del objeto referente al procedimiento se resuelve con un procedimiento para la depuración de agua contaminada con iones sulfato e iones metálicos pesados, acumulándose el agua en un depósito del agua y
- 45 añadiéndosele al agua del depósito del agua una sustancia de efecto básico en agua en una cantidad elevadora del valor del pH del agua, de forma que se separe del agua por precipitación una sustancia de precipitación presentando iones metálicos pesados, extrayéndose al menos una cantidad parcial de agua del depósito del agua y separándose por medio de un dispositivo de filtración en agua limpia esencialmente liberada de iones sulfato e iones metálicos pesados y agua sucia enriquecida con iones sulfato y iones metálicos pesados, y recirculándose el agua sucia al
- 50 menos parcialmente al depósito del agua, aumentando la concentración de iones sulfato en el depósito del agua y separándose del agua por precipitación una sustancia de precipitación presentando iones sulfato, tras alcanzar el límite de solubilidad.

Por depósito del agua se entiende en el contexto de esta solicitud un receptáculo natural y/o artificial con el agua presente en el receptáculo.

El procedimiento conforme a la invención puede emplearse de manera particularmente favorable para las aguas residuales que surgen al descomponerse las materias primas en las minas, particularmente con suelo conteniendo azufre. Por tanto, el procedimiento conforme a la invención no está limitado a esta aplicación. Antes bien, este procedimiento puede utilizarse generalmente para el tratamiento de aguas, cuando haya iones metálicos pesados y/o iones sulfato en el agua.

En el procedimiento, se le añade una sustancia de efecto básico en agua al agua contaminada, para elevar el valor del pH del agua en el depósito del agua. Modificando el valor del pH en el agua, particularmente extrayendo los iones oxonio del agua, se desplaza el equilibrio químico de los iones metálicos pesados e iones hidróxido disueltos en al agua contaminada. Desplazando el equilibrio químico por alimentación de una sustancia de efecto básico en agua, es decir, un donante de iones hidróxido y/o un captador de protones, se origina una precipitación de un compuesto conteniendo iones metálicos pesados, generalmente un compuesto hidróxido de metal pesado,.

La concentración de iones metálicos pesados disueltos en el agua contaminada se reduce por precipitación de la sustancia de precipitación conteniendo iones metálicos pesados. La sustancia de precipitación conteniendo iones metálicos pesados desciende generalmente y se deposita generalmente en un límite, o en el suelo, del depósito del agua. La sustancia de efecto básico en agua se alimenta al depósito del agua preferentemente de manera continua.

Más favorablemente se extrae una cantidad parcial de agua del depósito del agua, que tiene ya una concentración reducida de iones metálicos pesados, que se redujo por la reacción de precipitación antes indicada. La cantidad parcial de agua extraída se separa en agua limpia, esencialmente liberada de iones sulfato e iones metálicos pesados y agua sucia, enriquecida con iones sulfato e iones metálicos pesados. Esto se realiza generalmente por medio de un dispositivo de filtración apropiado para ello.

Tras la separación por filtrado de la cantidad parcial de agua en agua limpia y agua sucia, se recircula el agua sucia de nuevo al depósito del agua. La alimentación al agua de la sustancia actuando básicamente en agua se verifica además de manera preferentemente paralela. Debido al aumento de la concentración de iones sulfato en el agua sucia, en comparación con la concentración de iones sulfato en la cantidad parcial de agua extraída inicialmente del depósito del agua, se produce ahora, por la recirculación del agua sucia al depósito del agua, un aumento generalmente constante de la concentración de iones sulfato en el depósito del agua.

Mediante la extracción del agua efectuada más favorablemente de manera continua y el posterior filtrado de la cantidad parcial de agua en agua limpia y agua sucia, la concentración de iones sulfato aumenta muy por encima de un límite de solubilidad y comienza a depositarse como compuesto sulfato en combinación con iones presentes en la disolución, por ejemplo, iones calcio y, si fuera necesario, también iones metálicos pesados, y a acumularse en el límite del depósito del agua, es decir, en el receptáculo, en el suelo del depósito del agua se produce, por tanto, una mezcla de sustancia de precipitación presentando iones metálicos pesados y sustancia de precipitación presentando iones sulfato

Resulta además favorable, que para la precipitación de los iones metálicos pesados y/o de los iones sulfato del agua contaminada no sea necesaria ninguna sustancia adicional que supere la cantidad indicada. Pues de este modo se mantiene lo menor posible la cantidad de lodo producida.

El agua limpia obtenida en el filtrado puede, por ejemplo, emplearse ulteriormente, quizás como agua de procesos o similar, o verterse a un río.

Con el procedimiento conforme a la invención se obtiene, por consiguiente, un mezclado de una sustancia de precipitación conteniendo iones metálicos pesados y una sustancia de precipitación conteniendo iones sulfato. La sustancia de precipitación depositada en el depósito del agua se designa generalmente como lodo y/o escoria. El lodo resultante deja generalmente de ser aprovechable. Por supuesto, estos lodos se pueden deshidratar y/o secar preferentemente, de forma que se simplifique su almacenamiento final. En determinados casos es posible un aprovechamiento del lodo conteniendo iones sulfato e iones metálicos pesados, por ejemplo, en la Industria del hormigón o como materia prima para la producción de ácido sulfúrico.

En una ejecución favorable de la invención, el agua y la sustancia de efecto básico en agua alimentada al agua se remueven, preferentemente de manera activa. El mezclado conlleva una distribución mejorada de la sustancia de efecto básico en el agua y, por tanto, una alta velocidad de reacción de precipitación de los iones metálicos pesados de la disolución acuosa. La mezcla del agua y la sustancia actuando básicamente alimentada puede efectuarse, por ejemplo, por medio de un dispositivo de mezclado. Por ejemplo, la alimentación de la sustancia actuando básicamente al agua puede ejecutarse también de tal manera, que se condicione un mezclado esencialmente añadiendo la sustancia actuando básicamente a la propia agua, o por turbulencias condicionadas por la corriente.

En otra ejecución favorable de la invención, la cantidad parcial de agua se filtra previamente durante la extracción. Debido a la reacción de precipitación de los iones metálicos pesados, en el agua del depósito del agua hay

sustancias de precipitación, generalmente no aglomerantes, descendiendo lentamente. En el caso de una extracción del agua y un posterior filtrado del agua extraída en agua limpia y agua sucia, pueden evitarse estas molestas medidas de un filtrado previo de la cantidad parcial de agua durante la extracción de esta cantidad parcial de agua del depósito del agua, que la sustancia de precipitación finamente distribuida suspendida en agua llegue al dispositivo de filtración y origine allí, dado el caso, un empeoramiento del efecto filtrante del dispositivo de filtración. El filtrado previo puede efectuarse por medio de un elemento microfiltrante o de una columna de flotación.

En una variante de ejecución favorable de la invención, la cantidad parcial de agua se separa por ósmosis inversa y/o nanofiltración en agua limpia y agua sucia. Tanto la ósmosis inversa como la nanofiltración son procedimientos apropiados para eliminar los iones sulfato del agua. Mientras que la ósmosis inversa aprovecha las diferencias de concentración entre dos volúmenes parciales separados por una membrana para la ejecución del filtrado de iones, la nanofiltración prevé una membrana, a través de la cual no puedan penetrar los iones a filtrar debido a su tamaño.

En otra variante favorable de ejecución de la invención, la sustancia de efecto básico en agua es un compuesto hidróxido. Particularmente pueden aplicarse hidróxido sódico o también hidróxido cálcico. Estos se pueden introducir en el depósito del agua tanto en forma disuelta como también en forma sólida. Particularmente el hidróxido cálcico o lechada de cal está disponible en grandes concentraciones y es económico.

En una ejecución preferente de la invención, la sustancia de precipitación se acumula en una zona colectora del depósito del agua. La sustancia de precipitación, es decir, sustancia de precipitación presentando iones metálicos pesados y sustancia de precipitación presentando iones sulfato, se acumula en un punto apropiado del depósito del agua. Esto puede posibilitarse, por ejemplo, con un dispositivo acumulador. También puede, por ejemplo, configurarse el límite del suelo del depósito del agua en forma de embudo, de forma que en el proceso de sedimentación de la sustancia de precipitación se produzca una acumulación de sustancia de precipitación en una zona colectora o en un embudo previsto para ello. Un dispositivo acumulador puede ejecutarse, por ejemplo, también de tal manera que, simulando un determinado perfil de corriente, dentro del depósito del agua se lleve a cabo una acumulación de la sustancia de precipitación en una determinada zona del depósito del agua.

En un modo de ejecución favorable de la invención, la sustancia de precipitación se descarga de manera continua del depósito del agua. Particularmente en el caso de una ejecución continua del procedimiento conforme a la invención se origina también una precipitación continua de sustancia de precipitación en el depósito del agua. Esto conlleva que el receptáculo del depósito del agua se llene de lodo a periodos decrecientes. Para evitar una expulsión del agua originada por el lodo y, por ejemplo, una salida de agua del depósito del agua, es necesario que se retire el lodo del depósito del agua. Una extracción del lodo del depósito del agua puede combinarse más favorablemente con una posterior deshidratación del lodo.

La parte del objeto referente al dispositivo se resuelve con un dispositivo para la ejecución del procedimiento conforme a la invención para la depuración de aguas contaminadas con iones sulfato e iones metálicos pesados en un depósito de agua comprendiendo un receptáculo para el agua contaminada con una zona de mezclado y una zona colectora para una sustancia de precipitación comprendiendo sustancia de precipitación presentando iones metálicos pesados y sustancia de precipitación presentando iones sulfato; con un dispositivo para la alimentación de una sustancia de efecto básico en agua a la zona de mezclado; con un dispositivo para la extracción de agua del depósito de agua, con un dispositivo de filtración para el filtrado del agua extraída en agua limpia, esencialmente liberada de iones sulfato e iones metálicos pesados, y agua sucia, enriquecida con iones sulfato y iones metálicos pesados; y con una recirculación del agua sucia del dispositivo de filtración al depósito del agua.

Con un dispositivo conforme a la invención puede depurarse de manera simple y económica un agua contaminada con iones sulfato e iones metálicos pesados, manteniéndose la masa y/o el volumen de sustancia de precipitación producida y/o precipitada lo más pequeño(s) posible.

En una ejecución favorable del dispositivo conforme a la invención, la extracción del agua se lleva a cabo en la zona de extracción del agua del receptáculo y el mezclado en la zona de mezclado del receptáculo, reduciéndose el mezclado del agua la zona de extracción del agua con el agua de la zona de mezclado. La zona de mezclado, a la que se alimenta la sustancia de efecto básico en agua, tiene generalmente un desplazamiento del agua. Además, la reacción de precipitación conectada con la alimentación de la sustancia actuando básicamente de los iones metálicos pesados conlleva la elaboración de sustancias de precipitación insolubles en agua. Estas no se desean durante la extracción de una cantidad parcial de agua con un dispositivo de extracción del agua para el posterior filtrado de la cantidad parcial de agua.

Ya que esta sustancia de precipitación finamente distribuida presente en el agua, puede, cuando se extraiga por arrastre durante la extracción del agua, conllevar una reducción del efecto filtrante, o añadirse un elemento filtrante al dispositivo de filtración con la sustancia de precipitación. Dado que se reduce un mezclado del agua de la zona de extracción y del agua de la zona de mezclado, puede evitarse esencialmente la aparición de uno de estos problemas.

La reducción del premezclado del agua de la zona de mezclado con el agua de la zona de extracción puede lograrse, por ejemplo, con un apantallamiento constructivo de la zona de extracción del agua respecto de la zona de mezclado. Alternativamente se pueden por ejemplo, disponer relativamente la zona de extracción del agua y la zona de mezclado de tal manera, particularmente por separado, que se reduzca asimismo un premezclado del agua de la zona de extracción del agua con el agua de la zona de mezclado.

Una medida de este tipo para la reducción del premezclado del agua de la zona de mezclado con el agua de la zona de extracción puede combinarse favorablemente con un dispositivo de mezclado para la mezcla de la sustancia de efecto básico en agua con el agua. El dispositivo de mezclado fomenta la distribución de la sustancia actuando básicamente alimentada al agua y eleva de este modo la velocidad de reacción de la reacción de precipitación. El dispositivo de mezclado puede configurarse, por ejemplo, como bomba de circulación. Al mismo tiempo, no se perjudica a la extracción del agua, o sólo en pequeña medida.

En una ejecución favorable del dispositivo conforme a la invención, el dispositivo de extracción del agua tiene al menos un elemento microfiltrante y/ o al menos una columna de flotación. El elemento microfiltrante y/o los varios elementos microfiltrantes filtran el agua durante la extracción de una cantidad parcial de agua en el rango de pocos micrómetros y mayor, mientras que, por ejemplo, la sustancia de precipitación precipitada presente en el agua mediante poros del correspondiente tamaño se retiene. En una célula de flotación, la sustancia de precipitación presente en el agua flota por medio de ampollas menores de gas, por lo que se logra asimismo un filtrado previo del agua extraída. Una célula de flotación es generalmente la parte del dispositivo de extracción del agua, en la que se filtra previamente el agua extraída y previa al dispositivo de filtración.

El dispositivo de extracción del agua comprende preferentemente una pluralidad de elementos microfiltrantes, previstos como redundancias, y entonces pueden aplicarse, cuando aparezca una obstrucción de un elemento microfiltrante, con el que se extrajo el agua.

En una ejecución preferente del dispositivo conforme a la invención, el dispositivo de filtración comprende al menos una etapa de nanofiltración y/o al menos un filtro de ósmosis inversa. En esta ocasión se trata de elementos filtrantes con comportamiento conocido durante la operación, que sean apropiados para llevar a cabo un filtrado del agua contaminada con iones sulfato y/o iones metálicos pesados en agua limpia y agua sucia.

En una variante de ejecución favorable del dispositivo conforme a la invención, se prevé un dispositivo de depuración para una membrana del dispositivo de filtración y/o un dispositivo de extracción del agua, resultando una depuración de la membrana por medio de un campo magnético. A tal efecto, se prevé un dispositivo para la generación de un campo magnético, atravesando el campo magnético o una membrana un dispositivo de filtración o un dispositivo de extracción del agua, de tal manera que los iones sulfato filtrados y/o a filtrar por la membrana, situados cerca de la membrana experimenten una fuerza que los aleje de la membrana, y que el módulo de la fuerza sea tan grande que los iones filtrados se alejen de la membrana.

Conforme a la invención, el receptáculo tiene una zona colectora para la acumulación sustancia de precipitación presentando de iones sulfato y/ o iones metálicos pesados. Esto simplifica, por ejemplo, una posterior evacuación de la sustancia de precipitación acumulada en la zona colectora. La sustancia de precipitación se encuentra de este modo localmente concentrada y no ampliamente distribuida dentro del depósito del agua.

Una zona colectora puede posibilitarse o mediante una medida constructiva apropiada, por ejemplo, un suelo del receptáculo en forma de embudo, o influyendo un perfil de corriente en el depósito del agua. El ajuste de un determinado perfil de corriente puede utilizarse también para producir una acumulación de la sustancia de precipitación en una determinada zona del receptáculo.

Para la evacuación y/o para la descarga de la sustancia de precipitación acumulada en la zona colectora puede preverse un dispositivo de descarga. El dispositivo de descarga para la descarga de la sustancia de precipitación acumulada puede configurarse, por ejemplo, como excavadora, aspirador o bomba. El dispositivo de descarga opera preferentemente de tal manera, que se lleve a cabo la descarga de la sustancia de precipitación de manera continua. La descarga de la sustancia de precipitación precipitada puede verificarse alternativamente a determinados intervalos de tiempo.

El dispositivo conforme a la invención comprende más favorablemente un dispositivo de deshidratación, por medio del cual puede deshidratarse la sustancia de precipitación descargada. El dispositivo de deshidratación puede configurarse particularmente como filtro prensa, filtro de banda o dispositivo calefactor. Una deshidratación de la sustancia de precipitación ejecutada y/o descargada reduce el volumen de la sustancia de precipitación, mientras que se expulsa el agua de la sustancia de precipitación embebida en agua y descargada del depósito del agua. Además, con una deshidratación se facilita un almacenamiento final de la sustancia de precipitación conteniendo iones metálicos pesados y/o iones sulfato.

En una ejecución preferente de los dispositivos conformes a la invención, el receptáculo, al que se suministra el agua contaminada, es una cubeta acumuladora. La cubeta recogedora puede por un lado, ser una depresión natural, en la que se acumule el agua. Por otro lado, puede tratarse de una cubeta recogedora producida artificialmente, para el propósito de la acumulación de agua, particularmente de aguas residuales. En el caso de una depresión natural se habla generalmente de la llamada "Tailing Dam" ("balsa de lodos").

En una ejecución alternativa del dispositivo conforme a la invención, el receptáculo es un depósito de depuración. Es decir, la depuración del agua contaminada con iones sulfato e iones metálicos pesados se verifica en un llamado reactor de cristalización, en el que la sustancia de precipitación se separa por precipitación. Aquí se prepara, por consiguiente, el depósito del agua por ejemplo, en un depósito de depuración del reactor de cristalización para la ejecución del procedimiento.

Otras ventajas de la invención se deducen de los ejemplos de ejecución esquemáticamente representados, que se explican con los siguientes dibujos.

Que muestran:

FIG 1 una depresión natural con un dispositivo conforme a la invención para la ejecución del procedimiento conforme a la invención,

FIG 2 un dispositivo conforme a la invención configurado como reactor de cristalización para la ejecución del procedimiento conforme a la invención,

FIG 3 un diagrama de flujo para la representación de un posible desarrollo del procedimiento conforme a la invención.

La FIG 1 muestra un depósito del agua W. El depósito del agua W tiene agua contaminada H con iones metálicos pesados e iones sulfato, que se suministra a un receptáculo 1 comprendido por el depósito del agua W. En la FIG 1, el receptáculo 1 está configurado como depresión natural. El depósito del agua W es, en el presente caso, una balsa de lodos, asignable a una mina, o para la descomposición de materias primas metálicas.

Para facilitar una depuración del agua H contaminada con iones metálicos pesados y iones sulfato de los iones metálicos pesados y los iones sulfato, se prevé un dispositivo de alimentación 2, con el cual puede añadirse una sustancia B de efecto básico en agua - en la FIG 1 agua de calcio,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (aq) al agua contaminada H en la depresión 1.

La incorporación del agua de calcio B al agua contaminada H con iones metálicos pesados y iones sulfato conlleva un aumento del valor del pH, mientras que se alimentan iones hidróxido al agua. Añadiendo los iones hidróxido se origina un desplazamiento del equilibrio químico para los iones metálicos pesados disueltos en el agua y sus posibles sales. El desplazamiento del equilibrio químico debido a la alimentación de la sustancia de efecto básico al agua B puede originar una reacción de precipitación de los iones metálicos pesados. Los iones metálicos pesados disueltos en el agua H contaminada se hacen precipitar del agua contaminada como sustancia de precipitación, designada a menudo también como precipitado. La sustancia de precipitación F es en la presente invención con frecuencia un compuesto hidróxido de metal pesado.

Aquella zona del depósito del agua W, en la que se lleva a cabo un mezclado del agua de calcio B alimentada al agua contaminada H con el agua contaminada H, se designa como zona de mezclado MB. Particularmente en la zona de mezclado MB se origina la precipitación de la sustancia de precipitación conteniendo iones metálicos pesados. La sustancia de precipitación F precipitada en la zona de mezclado MB desciende entonces generalmente, con corrientes de agua no dirigidas en contra del descenso de la sustancia de precipitación F, al suelo de la depresión 1 y se acumula allí en una zona colectora SB. Bajo el término zona colectora SB pueden entenderse todas las posibilidades, en o sobre las que se decanta y/o sedimenta la sustancia de precipitación precipitada F.

Para la extracción de los iones sulfato del agua contaminada H con iones metálicos pesados e iones sulfato se prevé un dispositivo de extracción del agua 3, que comprende elementos microfiltrantes 4. El dispositivo de extracción del agua 3 se asigna a una zona de extracción del agua EB. Los elementos microfiltrantes 4 sirven para filtrar previamente el agua H extraída del depósito del agua W. el agua extraída H se depura particularmente de sustancia de precipitación F suspendida en el agua H. Alternativa o adicionalmente puede preverse una célula de flotación no representada, posterior a la extracción del agua, para filtrar previamente el agua extraída H.

El agua H extraída con el dispositivo de extracción del agua 3 se alimenta a un dispositivo de filtración 5. En la FIG 1, el dispositivo de filtración 5 comprende un filtro de ósmosis inversa 7. El agua H extraída del depósito del agua W se separa en agua limpia R y agua sucia S por medio del filtro de ósmosis inversa 7. El agua limpia R está

esencialmente liberada de iones sulfato y iones metálicos pesados. El agua sucia S, en cambio, está enriquecida con iones metálicos pesados e iones sulfato.

5 Por medio de un dispositivo de retroalimentación 12 se recircula el agua sucia S del dispositivo de filtración 5 al depósito del agua W. Alternativamente puede prescindirse de un dispositivo de retroalimentación 12, por ejemplo, en el que el dispositivo de filtración 5 se dispone por encima del depósito del agua W y el agua sucia se recircula del dispositivo de filtración 5 al depósito del agua W o, sin que se prevea ningún dispositivo físico de guía para el agua sucia S.

El agua sucia S se introduce preferentemente en la zona de mezclado MB, en la que se añade también el agua de calcio B para la precipitación de los iones metálicos pesados.

10 Los iones sulfato contenidos en el agua sucia S originan, recirculando el agua sucia S al depósito del agua W, un aumento de la concentración de iones sulfato en el depósito del agua W. La concentración de iones sulfato se eleva con el agua sucia S recirculada al depósito del agua W, hasta que se produzca una precipitación de una sustancia de precipitación conteniendo iones sulfato. También la sustancia de precipitación conteniendo iones sulfato  
15 desciende generalmente al suelo de la balsa de lodos 1. En el suelo de la balsa de lodos se origina, por consiguiente, una mezcla de sustancia de precipitación conteniendo iones sulfato e iones metálicos pesados con formación de la sustancia de precipitación F.

20 Para evitar un llenado progresivo del depósito del agua W y/o la depresión 1 con sustancia de precipitación F precipitada y acumulada, se prevé un dispositivo de descarga 13, diseñado en la FIG 1 como excavadora. La excavadora 13 se ejecuta preferentemente de tal manera, que sea posible una descarga continua de la sustancia de precipitación precipitada F. Alternativamente puede tratarse además o también de una excavadora de pala 13 no excavando de manera continua, que erosiona, por ejemplo tras el drenaje del depósito del agua W, la sustancia de precipitación F depositada en la depresión 1.

25 A continuación, se transporta la sustancia de precipitación F descargada por la excavadora 13 sobre una cinta transportadora 14, que transporta la sustancia de precipitación F embebida en agua contaminada a un dispositivo de deshidratación 10.

30 En el dispositivo de deshidratación 10, diseñado en la FIG 1 como filtro prensa, se verifica una deshidratación de la sustancia de precipitación F descargada del depósito del agua W y/o de la balsa de lodos. Tras la deshidratación de la sustancia de precipitación F se prevé generalmente un almacenamiento final del lodo deshidratado. El agua contaminada producida, dado el caso, en la deshidratación de la sustancia de precipitación F embebida en agua, puede alimentarse de nuevo al depósito del agua W para su depuración.

35 El dispositivo mostrado en la FIG 1 resulta particularmente apropiado para la depuración de grandes volúmenes de agua. El dispositivo de depuración mostrado en la FIG 1 opera preferentemente de manera continua. Los suministros naturales - lluvia, agua de deshielo o similares - alimentan constantemente nueva agua contaminada H a la balsa de lodos y/o al depósito del agua W. Por consiguiente, resulta apropiado prever una operación continua del dispositivo mostrado en la FIG 1.

40 La FIG 2 muestra un reactor de recristalización para la depuración de agua contaminada H con iones metálicos pesados e iones sulfato. A tal efecto se alimenta agua contaminada H a un receptáculo 1' configurado como depósito de depuración del reactor de recristalización, a través de un dispositivo de alimentación de agua 2' y puede extraerse de una balsa de lodos. El depósito de depuración 1' constituye, junto con el agua H contaminada en él contenida, un depósito del agua W.

Se prevé además un dispositivo de alimentación 2 para la alimentación de una sustancia de efecto básico en agua B - en la FIG 2, agua de calcio - al agua contaminada H presente en el depósito de depuración 1'. La zona, en la que se mezcla el agua de calcio B con el agua H contaminada presente en el Reactor de recristalización, se designa como zona de mezclado MB.

45 Para potenciar el mezclado del agua contaminada H con el agua de calcio B, se prevé un dispositivo de mezclado 8, configurado como bomba de circulación en la FIG 2. La bomba de circulación 8 mezcla el agua de calcio B con el agua contaminada H por generación de un flujo turbulento en al menos una zona parcial del depósito del agua W, particularmente en la zona de mezclado MB.

50 La alimentación del agua de calcio B al agua contaminada H presente en el depósito de depuración 1' origina un aumento del valor del pH del agua contaminada H. Mediante el aumento del valor del pH y el desplazamiento del equilibrio químico asociado a él para los iones metálicos pesados presentes sueltos en el agua contaminada y sus posibles sales con los eductos presentes en el agua contaminada, resulta una sustancia de precipitación. La sustancia de precipitación es generalmente compuesto hidróxido de metal pesado y yeso,  $\text{CaSO}_4$ . La sustancia de

precipitación descende como componente de la sustancia de precipitación F de la FIG 2 al suelo del depósito de depuración 1'.

Para mejorar la acumulación de la sustancia de precipitación F, el suelo del depósito de depuración 1' de la FIG 2 se configura en forma de embudo. Éste se designa en la FIG 2 como zona colectora SB, pues la sustancia de precipitación F se acumula preferentemente en el embudo del depósito de depuración 1'.

El depósito de depuración 1' tiene, además de la zona de mezclado MB y la zona colectora SB, una zona de extracción del agua EB. La zona de extracción del agua EB se separa de la zona de mezclado MB mediante un dispositivo separador 11. En la zona de extracción del agua EB se dispone un dispositivo de extracción del agua 3. El dispositivo de extracción del agua 3 comprende varios elementos microfiltrantes 4, que efectúan un filtrado previo del agua contaminada H en la extracción del agua. Se seleccionan particularmente partículas flotantes, o sustancia de precipitación flotante en el agua contaminada F, en la extracción del agua

El dispositivo separador 11 eleva la vida útil de los elementos microfiltrantes 4, pues, en comparación con la ejecución sin dispositivo separador 11, se reduce la concentración de sustancia de precipitación F flotante en la zona de extracción EB. La velocidad de obstrucción de los elementos microfiltrantes 4 es, por consiguiente, baja. Con ello se reducen los tiempos y costes de mantenimiento del dispositivo de extracción del agua 3.

El agua contaminada H extraída del dispositivo de extracción del agua 3 se alimenta a un dispositivo de filtración 5. El agua H contaminada y extraída se separa, por medio de una etapa de nanofiltración 6 comprendida por el dispositivo de filtración 5, en agua limpia R y en agua sucia S. El agua limpia R está esencialmente liberada de iones sulfato e iones metálicos pesados. El agua sucia R está, en cambio, enriquecida con iones sulfato e iones metálicos pesados. El enriquecimiento y/o empobrecimiento de iones puede determinarse como razón de las concentraciones de los respectivos iones en el agua limpia y/o agua sucia y de los respectivos iones en el agua alimentada al dispositivo de filtración 5.

El agua sucia S se recircula, por medio de un dispositivo de retroalimentación 12, del dispositivo de filtración 5 al depósito del agua W. Mediante la recirculación del agua sucia S al depósito del agua W se origina predominantemente un aumento de la concentración de iones sulfato en el depósito del agua W; particularmente en un dispositivo conforme a la FIG 2, un aumento de la concentración de iones sulfato en la zona de mezclado MB. El aumento local de la concentración de los iones resultante es favorable, ya que la sustancia de precipitación conteniendo iones sulfato y la sustancia de precipitación conteniendo iones metálicos pesados se acumulan esencialmente en la misma zona colectora SB.

El agua sucia S puede alimentarse alternativa o adicionalmente en la zona de extracción del agua EB. El flujo del agua sucia S en la zona de extracción del agua EB del depósito del agua W puede ejecutarse además de tal manera, que las partículas flotantes en el agua contaminada H se mantengan reforzadamente lejos de los elementos microfiltrantes 4. Esto se realiza por ejemplo, ajustando las razones de flujos.

Mediante la alimentación continua de agua sucia S enriquecida con iones sulfato a la zona de mezclado MB, se produce la superación del límite de solubilidad de los iones sulfato existentes en el agua y las posibles sales con los eductos presentes en el agua contaminada.

La sustancia de precipitación presentando iones sulfato comprende generalmente sulfato cálcico, sulfato potásico y, dado el caso, también sulfatos de metales pesados y se acumula por precipitación en la zona colectora SB en forma de embudo del depósito de depuración 1'.

Para evitar un llenado del depósito de depuración 1' con la sustancia de precipitación precipitada F, se prevé un dispositivo de descarga 13', diseñado en la FIG 2 como aspirador. El aspirador 13' succiona de manera periódica o continua la sustancia de precipitación acumulada F en la zona colectora SB del depósito de depuración 1'. La sustancia de precipitación F aspirada se alimenta entonces a un dispositivo de deshidratación 10, que deshidrata la sustancia de precipitación F embebida en agua. El agua contaminada producida puede además alimentarse, dado el caso, de nuevo al depósito de depuración 1'.

El agua limpia R producible con los dispositivos de depuración mostrados en las FIG 1 y 2 tiene un grado de pureza, que permite verter el agua limpia o sin perjuicio de los requisitos medioambientales a otras aguas. Alternativamente puede preverse cualquier otra aplicación del agua limpia.

Si fuera necesario, el depósito de depuración 1' puede configurarse también con un volumen muy pequeño, por ejemplo, como reactor de microreacción, de forma que un procedimiento conforme a la invención pueda utilizarse también en la ingeniería de procesos, particularmente en la ingeniería de microprocesos.



El dispositivo de filtración 5, que usa una etapa de nanofiltración 6 para separar el agua contaminada H extraída del depósito de depuración 1' en agua sucia S y agua limpia R, tiene un dispositivo de limpieza 9. Este dispositivo de limpieza 9 se configura de forma que esencialmente pueda regularse la permeabilidad al agua limpia R de una membrana empleada por la etapa de nanofiltración 6. Una limpieza de la membrana puede realizarse particularmente por medio del dispositivo de limpieza 9.

Esto se logra por el hecho de que el dispositivo de depuración 9 comprende medios para la generación de un campo magnético. El campo magnético producido con los medios previstos a tal efecto atraviesa la etapa de nanofiltración 6, particularmente la membrana, y los iones a filtrar por la membrana, dispuestos cerca de la membrana, y/o los ya filtrados por la membrana se alejan de las proximidades de la membrana y/o de la membrana.

La FIG 3 muestra un diagrama de flujo de un procedimiento apropiado para depurar agua contaminada con iones metálicos pesados e iones sulfato. En un primer paso procedimental 20 se prepara un agua contaminada con iones sulfato e iones metálicos pesados, que debería depurarse con el procedimiento conforme a la invención.

Para la precipitación y/o extracción de los iones metálicos pesados del agua contaminada, se le añade al agua contaminada primero agua de calcio, lechada de cal, hidróxido cálcico, hidróxido sódico u otra sustancia de efecto básico en agua en un paso procedimental 21. La sustancia de efecto básico alimentada al agua se agita en un paso procedimental 26, preferentemente por medio de medios para el mezclado y/o de un dispositivo de mezclado del agua con el agua.

Con la agitación se eleva la velocidad de reacción de la sustancia de efecto básico en agua con los iones metálicos pesados y conlleva una precipitación mejorada de los iones metálicos pesados del agua contaminada. El mezclado de la sustancia de efecto básico en agua con el agua contaminada puede realizarse, por ejemplo, por agitación o removiendo o mediante una introducción apropiada de la sustancia de efecto básico en agua y del agua contaminada en un tramo conjunto de mezclado.

Preferentemente de manera paralela a la alimentación al agua contaminada de la sustancia de efecto básico en agua, se extrae agua contaminada por medio de un dispositivo de extracción del agua en un paso procedimental 22. La extracción del agua está preferentemente unida a un filtrado previo del agua contaminada extraída, en un paso procedimental 23. El paso procedimental 22 de extracción del agua y el paso procedimental 23 de filtrado previo se verifican preferentemente de manera esencialmente conjunta.

El agua extraída en el paso procedimental 23 se alimenta entonces a un dispositivo de filtración, en el que el agua contaminada se separa en un paso procedimental 24 en agua limpia y agua sucia. Para la separación del agua contaminada en agua limpia y agua sucia pueden utilizarse conceptos de filtración conocidos. Como ejemplos pueden citarse la ósmosis inversa o la nanofiltración. Aunque también pueden utilizarse otros conceptos de filtración.

El agua sucia enriquecida con iones sulfato y, dado el caso, con iones metálicos pesados se recircula al depósito del agua en un paso procedimental 25. De este modo se origina un aumento de la concentración de iones sulfato en el depósito del agua. La concentración de iones sulfato se eleva, hasta que se supere una concentración límite aún directamente soluble en agua y, al superarla, se provoca una reacción de precipitación.

La adición al agua contaminada de la sustancia de efecto básico en agua y la reacción de precipitación desencadenada de este modo pueden verificarse alternativamente antes de la extracción del agua en el paso procedimental 22. Además, la sustancia de efecto básico en agua se añade en una cantidad, que permita liberar al depósito del agua primero esencialmente por completo de los iones metálicos pesados.

Mientras que los iones metálicos pesados precipitan por medio de la sustancia de efecto básico en agua, antes de una extracción del agua en el paso procedimental 22 y el posterior filtrado que se lleva a cabo en el paso procedimental 24 del agua no conteniendo ya esencialmente ningún ión metálico pesado, puede reducirse una vez más, dado el caso, el grado de pureza del agua limpia, es decir, la concentración de iones metálicos pesados en el agua limpia. Un desarrollo en serie de este tipo de los pasos procedimentales antes indicados es entonces generalmente apropiado, cuando no se alimenta constantemente y/o de manera continua nueva agua contaminada a un depósito del agua con agua a depurar.

La sustancia de precipitación F producida generalmente mediante diversas reacciones de precipitación se acumula generalmente en el suelo de un receptáculo. Sin embargo, también puede preverse una acumulación activa de sustancia de precipitación F en un paso procedimental 27. La acumulación activa puede realizarse, por ejemplo, mediante la forma del receptáculo o quizás mediante la elaboración de un perfil de corriente apropiado para la acumulación de sustancia de precipitación F en una determinada posición. Si fuera necesario, puede preverse un dispositivo acumulador, que acumule la sustancia de precipitación F precipitada de manera activa, o un dispositivo de giro o un dispositivo de empuje.

Entonces se extrae la sustancia de precipitación F acumulada del receptáculo, en un paso procedimental 28 y se deshidrata, a continuación, en un paso procedimental 29. A continuación, puede dársele almacenamiento final a la sustancia de precipitación F deshidratada, por ejemplo, en una mina parada.

- 5 El procedimiento se efectúa preferentemente de manera continua con los pasos procedimentales indicados, particularmente de cara a una depuración de las aguas residuales de las minas. Es decir, la adición al agua contaminada de una sustancia de efecto básico en agua, la descarga de la sustancia de precipitación precipitada F de una zona colectora y la extracción del agua, así como el filtrado subsiguiente se verifican paralelamente. De este modo puede depurarse generalmente una carga máxima de agua contaminada.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la depuración de agua (H) contaminada con iones sulfato e iones metálicos pesados, acumulándose (20) el agua (H) en un depósito del agua (W) y alimentándose (21) al agua (H) en el depósito del agua (W) una sustancia (B) de efecto básico en agua en una cantidad elevadora del valor del pH del agua (H), de forma que una sustancia de precipitación presentando iones metálicos pesados se separe por precipitación del agua (H),  
5  
- extrayéndose (22) al menos una cantidad parcial de agua del depósito del agua (W) y separándose (24) por medio de un dispositivo de filtración (5) en agua limpia (R) esencialmente liberada de iones sulfato e iones metálicos pesados y en agua sucia (S) enriquecida con iones sulfato e iones metálicos pesados, y  
10  
- recirculándose (25) el agua sucia (S) al menos parcialmente al depósito del agua (W), aumentando la concentración de iones sulfato en el depósito del agua y, tras alcanzar el límite de solubilidad, separándose del agua (H) por precipitación una sustancia de precipitación presentando iones sulfato.
2. Procedimiento acorde a la reivindicación 1, **caracterizado porque** se entremezclan (26) el agua (H) y la sustancia de efecto básico (B) alimentada.
- 15  
3. Procedimiento acorde a la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado porque** la cantidad parcial de agua se filtra previamente (23) durante la extracción.
4. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** la cantidad parcial de agua se separa (24) en agua limpia (R) y agua sucia (S) con un dispositivo de filtración (5) basado en la ósmosis inversa y/o en la nanofiltración.
- 20  
5. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** la sustancia de efecto básico (B) en agua es un compuesto hidróxido.
6. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** la sustancia de precipitación (F) comprendiendo una sustancia de precipitación presentando iones metálicos pesados y una sustancia de precipitación presentando iones sulfato, se acumula (27) en una zona colectora (SB) del depósito del agua (W).  
25
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** se descarga (28) de manera continua del depósito del agua (W) una sustancia de precipitación (F) comprendiendo una sustancia de precipitación presentando iones metálicos pesados y una sustancia de precipitación presentando iones sulfato.
- 30  
8. Procedimiento acorde a la reivindicación 7, **caracterizado porque** se deshidrata (29) la sustancia de precipitación (F) descargada, comprendiendo una sustancia de precipitación presentando iones metálicos pesados y una sustancia de precipitación presentando iones sulfato.
9. Dispositivo para la ejecución de un procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 8 para la depuración de agua (H) contaminada con iones sulfato e iones metálicos pesados en un depósito del agua (W) comprendiendo un receptáculo (1, 1') para el agua (H) con una zona de mezcla (MB) y una zona colectora (SB) para una sustancia de precipitación (F) comprendiendo una sustancia de precipitación presentando iones metálicos pesados y una sustancia de precipitación presentando iones sulfato, con un dispositivo (2) para la alimentación de una sustancia de efecto básico en agua (B) en la zona de mezclado (MB), con un dispositivo (3, 4) para la extracción del agua (H) del depósito del agua (W), con un dispositivo de filtración (5) para filtrar el agua extraída (H) en agua limpia (R) esencialmente liberada de iones sulfato e iones metálicos pesados y en agua sucia (S) enriquecida con iones sulfato e iones metálicos pesados, y con una recirculación del agua sucia (S) del dispositivo de filtración (5) al depósito del agua (W).  
35  
40
10. Dispositivo acorde a la reivindicación 9, **caracterizado porque** se lleva a cabo la extracción del agua en una zona de extracción (EB) del depósito del agua (W) y un mezclado de la sustancia (B) actuando básicamente en agua (H) con agua (H) en la zona de mezclado (MB) del depósito del agua (W), reduciéndose un premezclado del agua (H) de la zona de extracción (EB) con agua (H) de la zona de mezclado (MB).  
45
11. Dispositivo acorde a la reivindicación 9 ó 10, **caracterizado porque** se prevé un dispositivo (8) para el mezclado de la sustancia de efecto básico en agua (B) con el agua (H).
12. Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones 9 a 11, **caracterizado porque** el dispositivo de extracción del agua (3) tiene al menos un elemento microfiltrante (4) y/o por lo menos una célula de flotación.

13. Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones 9 a 12, **caracterizado porque** el dispositivo de filtración (5) comprende al menos una etapa de nanofiltración (6) y/o por lo menos un filtro de ósmosis inversa (7).
- 5 14. Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones 9 a 13, **caracterizado porque** el dispositivo de filtración (5) y/o el dispositivo de extracción del agua (3) tiene(n) una membrana permeable al agua limpia (R), previéndose un dispositivo de depuración (9) para la membrana, pudiendo efectuarse una limpieza de la membrana por medio de un campo magnético.
- 15 15. Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones 9 a 14, **caracterizado porque** la recirculación de tal manera se diseña, que el agua sucia (S) se retorna a la zona de mezclado (MB).
- 10 16. Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones 9 a 15, **caracterizado porque** la sustancia de precipitación (F) acumulada en la zona colectora (SB) puede evacuarse por medio de un dispositivo de descarga (13).
17. Dispositivo acorde a la reivindicación 16, **caracterizado porque** la sustancia de precipitación descargada (F) puede deshidratarse por medio de un dispositivo de deshidratación (10).
- 15 18. Dispositivo acorde a la reivindicación 17, **caracterizado porque** el dispositivo de deshidratación (10) se diseña como filtro prensa y/o como filtro de banda.
19. Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones 9 a 18, **caracterizado porque** el receptáculo (1, 1') es una cubeta acumuladora (1).
- 20 20. Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones 9 a 18, **caracterizado porque** el receptáculo (1, 1') es un depósito de depuración (1').
21. Empleo del Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones 9 a 20 para la depuración de aguas residuales producidas por desaguado al descomponerse las materias primas en las minas con fondo conteniendo azufre.

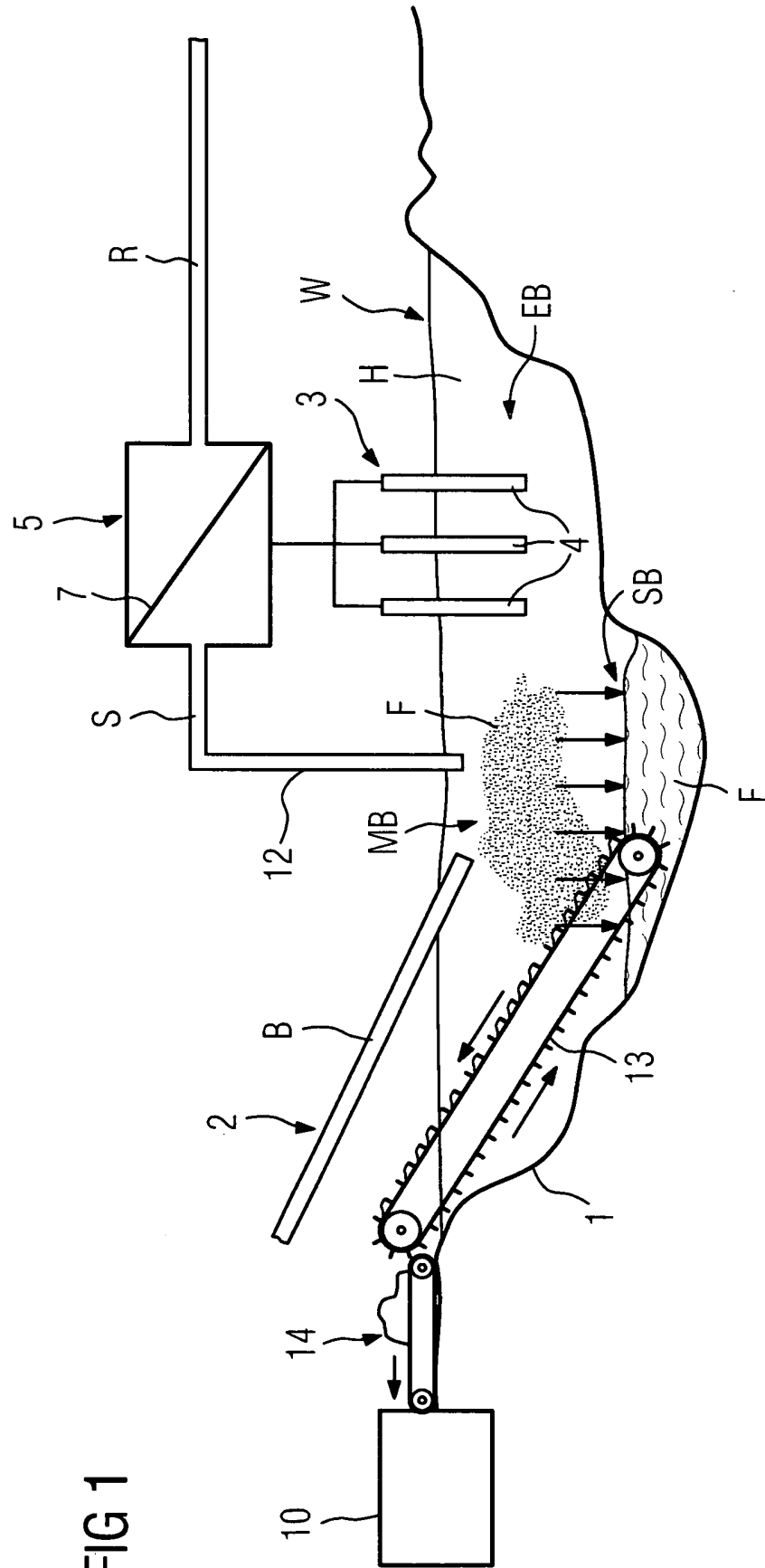


FIG 1

FIG 2

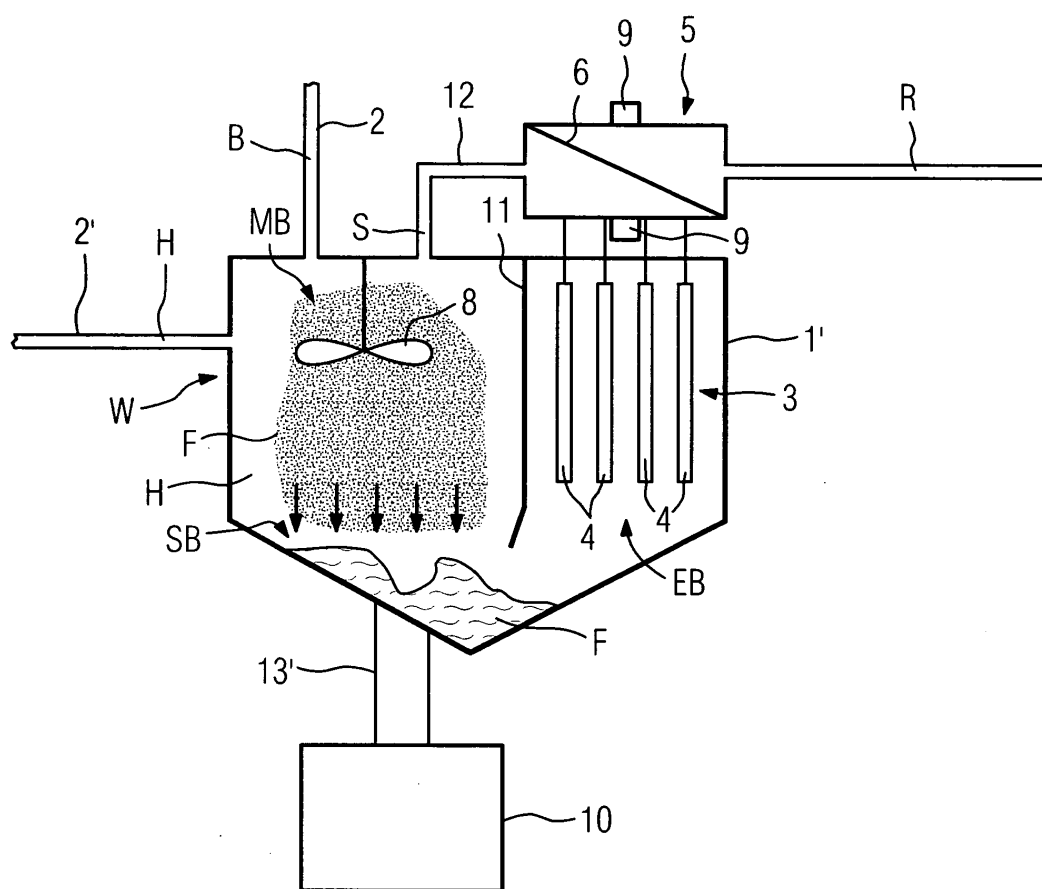


FIG 3

