



(12)

# PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: A 150/2002  
(22) Anmeldetag: 30.01.2002  
(42) Beginn der Patentdauer: 15.04.2003  
(45) Ausgabetag: 25.11.2003

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: **C02F 3/20**

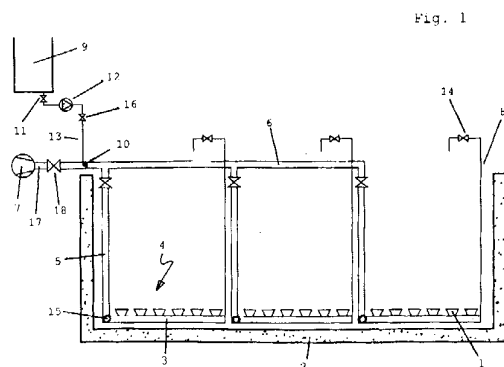
(56) Entgegenhaltungen:  
US 2689714A

(73) Patentinhaber:  
FREY WILHELM  
A-2100 LEOBENDORF, NIEDERÖSTERREICH  
(AT).  
THONHAUSER CHRISTIAN A.  
A-1130 WIEN (AT).

## (54) LUFTBEFEUCHTUNG BEI DRUCKBELÜFTUNGSSYSTEMEN

**AT 411 252 B**

(57) Verfahren zur Verminderung bzw. Verhinderung der Bildung von Gegendruck-steigernden Ablagerungen an mit Poren oder Bohrungen versehenen Belüfterelementen (1) in belüfteten Becken (2) von Abwasserreinigungs- oder Wasseraufbereitungsanlagen, wobei den Belüfterelementen (1) mit Hilfe eines Gebläses (7), das über ein Rohrsystem beinhaltend Stichrohre (3), Falleleitungen (5) und eine Verteilleitung (6) mit den Belüfterelementen (1) verbunden ist, ein Belüftergas, vorzugsweise Luft, zugeführt wird, dessen Feuchtigkeitsgrad durch Zugabe von Wasser erhöht wird. Erfindungsgemäß wird das Wasser dem Belüftergas in Form eines Aerosols mit Tröpfchengrößen von 0,1 µm bis 20 µm oder in Form von Wasserdampf beigemengt. Die Menge des eingedüsten Wassers wird dabei so bemessen, dass die den Belüfterelementen (1) zugeführte Luft in den Belüfterporen in annähernder Sättigung mit Wasserdampf vorliegt, um ein Abtrocknen der Porenwände zu vermeiden und so die Entstehung von verstopfenden Ablagerungen zu verhindern.



Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Verminderung bzw. Verhinderung der Bildung Gegendrucksteigernder Ablagerungen in Belüfterelementen in belüfteten Becken von Abwasserreinigungs- oder Wasseraufbereitungsanlagen gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1 sowie Vorrichtungen zur Durchführung des Verfahrens.

5 Anlagen zur Abwasserreinigung bestehen im wesentlichen aus folgenden Verfahrensschritten bzw. Komponenten, für die wiederum viele mögliche Ausführungsformen existieren:

- Grobreinigung des Abwassers mit Rechen, Sieb und Sandfang
- Vorklärbecken zur Sedimentation leicht absetzbarer Stoffe (optional)
- Anlage zur biologischen Phosphatelimination (optional)
- 10 - Belebungsverfahren in Form von Durchlaufanlagen (mit getrennter Belebungsstufe und Nachklärbecken), Abwasserteichen oder Aufstauanlagen („Sequencing Batch Reactor“, SBR)
- Diverse periphere Anlagen etwa zur Schlammstabilisierung, Schlammbehandlung, oder Faulgasverwertung

15 Die Abwasserreinigung vollzieht sich dabei hauptsächlich im Rahmen des Belebungsverfahrens. Hier wird für eine ausreichende Belüftung des Abwassers gesorgt, wodurch sich Belebtschlammflocken entwickeln. Der belebte Schlamm besteht aus Bakterien und Protozoen, diese wandeln die organischen Stoffe in mineralische Abbauprodukte, CO<sub>2</sub> und Wasser um und vermehren sich dabei, d.h. es entsteht neue Biomasse. Durch spezielle Bakterienarten („Nitrifikanten“) erfolgt weiters die Umwandlung von Ammonium zu Nitrit und weiter zu Nitrat. Diese Stoffumwandlungsprozesse bedürfen der Anwesenheit von Sauerstoff, der in belüfteten Becken meistens durch Einblasen von Luft mit Druckbelüftungssystemen zugeführt wird.

20 Druckbelüftungssysteme zur Einbringung von Sauerstoff in das belüftete Becken umfassen insbesondere Belüfterelemente, die am Boden der belüfteten Becken angeordnet sind, und in die über Druckluftgebläse und entsprechende Rohrleitungen Luft eingeblasen wird. In Sonderfällen wird auch technisch reiner Sauerstoff in das belüftete Becken eingeblasen. Die Belüfterelemente sind mit Poren oder Bohrungen versehen (z.B. perforierte Kunststoffmembran), durch die die eingeblasene Luft in Form kleiner Bläschen in das zu belüftende Medium im Becken eingebracht wird. Im folgenden wird nur mehr auf Poren Bezug genommen, wenngleich damit auch Belüfterelemente mit Bohrungen gemeint sind.

30 Beim Betrieb dieser Belüfterelemente bilden sich an den Oberflächen und in den Poren je nach Laufzeit, Belüftermodell und hydrochemischen Voraussetzungen nach durchschnittlich 1 bis 4 Jahren Ablagerungen, die in erster Linie aus Kalziumkarbonat, organischen Stoffen und gefällten bzw. teilweise auch auskristallisierten anorganischen Verbindungen wie (Erd-)Alkali-(alumino-)Silikate und Erdalkali-Orthophosphate sowie Kieselsäure-Hydrat bestehen. Die zunehmende Verstopfung der Poren verursacht einen steigenden Druckverlust und damit einen höheren Energieaufwand für das Einblasen der Luft. Dadurch sinkt die Wirtschaftlichkeit (der Sauerstoffeintrag in kg O<sub>2</sub>/kWh) des Belüftungssystems. Insbesondere kann der Gegendruck aufgrund verstopfter Poren so hoch werden, dass die Belüftermembranen aus ihrer Halterung schlüpfen oder reißen oder die 40 Gebläse durch Überlastung ausfallen und damit die Reinigungsleistung der Belebungsstufe stark beeinträchtigt wird. Die Belüfterelemente müssen somit regelmäßig einer Reinigung unterzogen werden, die in der Regel mit beträchtlichen Kosten verbunden ist, da das belüftete Becken meistens entleert, die Belüfterelemente ausgebaut und jedes einzelne Belüfterelement, etwa in einem Säurebad mit Salzsäure, gewaschen werden muss. Erst dann können die Belüfterelemente wieder 45 eingebaut und das belüftete Becken wieder in Betrieb genommen werden. Die dadurch erforderliche Außerbetriebnahme und Stillstandszeit des belüfteten Beckens beeinträchtigen somit entscheidend die Verfügbarkeit und die Wirtschaftlichkeit der Gesamtanlage.

50 Wie jüngste Untersuchungen gezeigt haben, ist für die Bildung der drucksteigernden Ablagerungen in den Poren der Belüfterelemente aber nicht nur die Hydrochemie der belüfteten Wässer verantwortlich, sondern auch die physikalisch-chemischen Eigenschaften der den Belüfterelementen zugeführten verdichteten Luft, die zumeist warm und arm an Kohlendioxid sowie überwiegend trocken ist. Wie noch näher ausgeführt werden wird, erweist sich die zugeführte Luft in den Poren der Belüfterelemente nahezu immer als untersättigt mit Wasser. Das führt im Zuge der pulsierenden Wasserströmung in und aus der Pore entsprechend der Blasenablösefrequenz zu einem 55 partiellen Abtrocknen des in die Pore gesaugten Flüssigkeitsfilmes und dadurch zu einer Übersätti-

gung für manche gelöste Wasserinhaltsstoffe. Letztere kann in Abhängigkeit vom lokalen pH-Wert sowie der Ionenverhältnisse in der wässrigen Phase chemische Fällungsprozesse bzw. die Kristallisation von Salzen bewirken. Die Bildung fester Ablagerungen innerhalb der Poren wird dadurch beschleunigt. Zusätzlich fangen sich in den frischen Ablagerungen verstärkt Staubpartikel aus der Luft, welche ebenfalls, wenn auch nur in geringem Ausmaß, zum Fortschreiten der Verstopfungen beitragen. Dieser Effekt wird durch die gängige Lehre, Feuchtigkeit innerhalb des Belüftungssystems zu vermeiden, begünstigt.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist es hingegen, den Feuchtigkeitsgehalt der den Belüfterelementen zugeführten Luft gemäß Anspruch 1 zu erhöhen.

In US 2 689 714 wird dargestellt, dass es einen Zusammenhang zwischen dem Grad der Verstopfung von Belüfterelementen und dem Feuchtigkeitsgehalt des Belüftungsgases im Bereich des Belüfterelements geben könnte. Eine Erhöhung des Feuchtigkeitsgehalts des Belüftergases im Bereich der Belüfterelemente kann dabei einer Verstopfung der Poren der Belüfterelemente vorbeugen. In der Praxis besteht die Schwierigkeit der Vermeidung von Ablagerungen in den Poren der Belüfterelemente allerdings darin, einen etwa im Bereich der Hauptluftleitung eingebrachten Wassergehalt in den Bereich der Belüfterelemente zu verfrachten. In US 2 689 714 findet sich kein Hinweis darauf, wie dieses Problem gelöst werden könnte.

Vor allem in größeren Abwasserreinigungs- oder Wasseraufbereitungsanlagen können die Strecken vom Druckluftgebläse zu den Belüfterelementen mitunter beträchtliche Ausmaße erreichen. Um sicher zu stellen, dass eingebrachtes Wasser auch in den Poren der Belüfterelemente eine Erhöhung der relativen Feuchte der zugeführten Luft bewirkt, muss das Wasser so in das Belüftungssystem eingebracht werden, dass es vom Luftstrom über größere Distanzen transportiert werden kann. Dazu haben sich die Merkmale gemäß Anspruch 1 als entscheidend erwiesen. Die Ansprüche 2 bis 5 stellen hierbei eine vorteilhafte technische Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens dar.

Wenngleich es denkbar ist, während der Betriebsdauer des Druckbelüftungssystems nur fallweise Wasser zur Verminderung von Ablagerungen in den Belüfterporen oder -bohrungen beizubringen, hat es sich in der Praxis als vorteilhaft erwiesen, gemäß Anspruch 6 während der gesamten Belüftungsdauer Wasser kontinuierlich einzubringen. Die Ansprüche 7, 8 und 9 beziehen sich auf eine vorteilhafte Prozessführung der Wasserzufuhr.

Die Ansprüche 10 bis 17 beschreiben schließlich Vorrichtungen zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Die Erfindung wird nun anhand der beiliegenden Figuren 1 und 2 näher erläutert, die eine schematische Skizze eines belüfteten Beckens mit zwei Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens zeigen.

Wie in den Fig. 1 und 2 dargestellt, befinden sich Belüfterfelder 4 in Bodennähe belüfteter Becken 2. Das Belüfterfeld 4 besteht hierbei aus den Belüfterelementen 1 sowie den sie verbindenden Stichleitungen 3. In den Fig. 1 und 2 sind beispielhaft drei Belüfterfelder dargestellt, es können aber eine unterschiedliche Anzahl an Belüfterfeldern mit jeweils parallel angeordneten Stichrohren 3 und der durch sie versorgten Belüfterelemente 1 vorhanden sein. Die Belüfterelemente 1 sind mit einer perforierten Membran bzw. Fritten mit Poren oder Bohrungen ausgestattet.

Das Belüfterfeld 4 ist über zusätzliche Rohrleitungen mit einem Gebläse 7 verbunden, wobei die konkrete Ausführungsform und die Führung der Rohrleitungen selbstverständlich variieren kann und sich nach den technischen Erfordernissen der konkreten Anlage richtet. Ein möglicher Aufbau der Verrohrung ist in den Fig. 1 und 2 dargestellt: Vom Gebläse 7 führt eine Hauptluftleitung 17 mit Absperrklappe 18 zum belüfteten Becken 2. An der Beckenkronen wird die Verteilleitung 6 längs des Beckens 2 geführt. Dort zweigen die Fallrohre 5 zum Belüfterfeld 4 ab. Die Fallrohre 5 münden in ein parallel zur Beckenwand geführtes Verteilrohr 15, wo die Stichleitungen 3 im rechten Winkel abzweigen. An den Stichleitungen 3 sind die Belüfterelemente 1 montiert.

Weiters können Entwässerungsleitungen 8 vorgesehen sein, die bei normalem Betrieb des belüfteten Beckens dazu dienen, das in die Belüfterelemente 1 und die Stichleitungen 3 eingedrungene Wasser abzuleiten. Die Entwässerungsleitungen 8 sind dazu mit Ventilen 14 ausgestattet und können etwa von einem Sammelrohr (in den Fig. 1 und 2 nicht dargestellt) abzweigen, in das die parallelen Stichleitungen 3 einmünden.

Bei Betrieb der Anlage befindet sich im belüfteten Becken 2 Wasser oder Abwasser, wo es

mikrobiologischer Aktivität unterworfen wird. Die dazu notwendige Belüftung des Wassers bzw. Abwassers wird von einem Gebläse 7 bewerkstelligt, das Luft oder Sauerstoff mit Druck in ein Rohrleitungssystem presst, sodass das eingebrachte Belüftergas auf die Belüfterelemente 1 verteilt wird. Im Zuge der Bildung und Ablösung von Luftblasen stellt sich eine pulsierende Wasserströmung in die und aus den Poren des Belüfterelements 1 ein. Dieses aus dem Becken 2 angesaugte, durch die Aktivität heterotropher Mikroorganismen mit  $\text{CO}_2$  angereicherte Wasser wird bei Kontakt mit der zugeführten Luft durch zumindest teilweise Gleichgewichtseinstellung mit der, (kohlendioxidarmen) atmosphärischen Luft in der Regel eine Anhebung des pH-Werts erfahren. Da die zugeführte Luft überdies zumeist untersättigt mit Wasser ist, wirkt sie trocknend auf das aus dem Becken 2 in die Poren einströmende Wasser. Außerdem weist die zugeführte Luft meistens eine im Vergleich zum behandelten Wasser bzw. Abwasser hohe Temperatur sowie eine hohe Strömungsgeschwindigkeit auf, was die Verdunstung des in die Poren eindringenden Wassers begünstigt.

Der erwähnte Anstieg des pH-Wertes im Wasser an den Porenwänden ließe sich zwar durch eine permanente Säuredosierung ausgleichen, abgesehen von den hohen Chemikalienkosten spricht aber besonders das unterschiedliche Verhalten der in Frage kommenden Fällungsprodukte bei Änderungen des pH-Wertes gegen eine solche Maßnahme. So verändern sich etwa die Löslichkeiten verschiedener Erdalkaliphosphate bei sich änderndem pH-Wert in unterschiedlicher Weise, sodass die Wirksamkeit einer pH-Wert-Absenkung durch permanent dosierte, flüchtige Säuren in diesem Fall auch von anderen, zum Teil nur schwer vorhersehbaren Faktoren abhängen wird, etwa dem Verhältnis von Kalzium zu Magnesium. Gelöste Kieselsäure würde bei Säuredosierung sogar verstärkt in den Belüfterporen ausgefällt werden, da das Löslichkeitsminimum von amorphem Kieselsäure-Hydrat deutlich im sauren pH-Bereich liegt. Eine Zunahme der Ablagerungen in den Belüfterporen aufgrund dieser Maßnahme wäre in vielen Fällen wahrscheinlich.

Die praktisch immer vorhandene Wasseruntersättigung der Luft in den Poren der Belüfterelemente 1 führt, beschleunigt durch die starke Konvektion und die relativ hohen Lufttemperaturen, zu periodischem, partiellen Abtrocknen des in die Poren gesaugten Flüssigkeitsfilms und dadurch zu einer Übersättigung für manche gelöste Wasserinhaltsstoffe. Letztere bewirkt chemische Fällungsprozesse bzw. Kristallisationsprozesse, falls das Löslichkeitsprodukt eines bestimmten Minerals unter Berücksichtigung des lokal herrschenden pH-Wertes und der Ionenverhältnisse in der wässrigen Phase überschritten wird.

Um die Neubildung von Ablagerungen in den Belüfterporen zu verhindern oder zumindest zu verzögern, wird im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens Wasser so in den Luftstrom eingebracht, dass die zugeführte Luft in den Belüfterporen in annähernd gesättigter Form vorliegt. Da das eingebrachte Wasser mitunter über beträchtliche Distanzen vom Luftstrom verfrachtet werden muss, sollte das Wasser in Form möglichst kleiner Tröpfchen, etwa in der Größe von  $0,1 \mu\text{m}$  bis  $20 \mu\text{m}$ , dem Luftstrom beigemischt werden. In diesen Fällen kann von einem Aerosol gesprochen werden.

Eine Beimischung des Wassers als Aerosol ist etwa durch Verwendung einer Hochdruckdüse möglich, womit im folgenden jede Art von Düsen, die zur Eindüsung von Wasser mit einem Druck von über  $5000 \text{ kPa}$  geeignet ist, bezeichnet wird. Die Eindüsung des Wassers als Aerosol kann auch über Verwendung sogenannter Zweistoffdüsen (Pneumatik-Zerstäuberdüsen) verwirklicht werden, bei denen flüssiges Wasser (entweder drucklos oder unter Druck von typischerweise etwa  $500 \text{ kPa}$ ) innerhalb der Düse mit Luft (typischerweise Druckluft mit etwa  $500 \text{ kPa}$ ) intensiv durchmischt und in den Luftstrom eingedüst wird. Die mittlere Tröpfchengröße liegt dann bei ca.  $10\text{-}20 \mu\text{m}$ . Im folgenden werden diese Varianten allgemein als Düse 10 bezeichnet.

Das Wasser wird dazu, eventuell unter Verwendung einer Drucksteigerungspumpe 12, aus einem Vorratsbehälter 9 gepumpt und über ein Rohrleitungssystem 13 der Düse 10 zugeführt. Es ist dabei zweckmäßig, das Rohrleitungssystem 13 mit Absperrventilen 11 und 16 auszustatten. Das für die Eindüsung verwendete Wasser sollte im Vorratsbehälter 9 in vollentsalzter Form vorliegen, um Schäden in folgenden Anlagenabschnitten durch Wasserinhaltsstoffe zu vermeiden. Das kann etwa über Verdampfung, Kat- und Anionentauscher oder Umkehrosmose erfolgen. Das eingedüste Wasser wird somit bevorzugt ohne Zusätze oder Verunreinigungen beigemischt, wenngleich nicht ausgeschlossen ist, dass sich manche Zusätze für die Durchführung der erfindungsgemäßen Verfahren als vorteilhaft erweisen.

Die Eindüsung des Wassers kann zentral, d.h. in die Verteilleitung 6, erfolgen (Fig. 1), oder auch dezentral, d.h. in die Falleleitungen 5, vorgenommen werden (Fig. 2). Insbesondere bei zentraler Eindüsung muss darauf geachtet werden, dass das eingedüste Wasser soweit vom Luftstrom verfrachtet wird, dass dessen Sättigung bis in die Belüfterporen erzielt werden kann. Die Eindüsung des Wassers in Aerosolform, also in Form kleinster Tröpfchen, wird hier besonders entscheidend.

Erfolgt die Eindüsung dezentral, also über die Falleleitungen 5, so kann auch mit größeren Tröpfchengrößen gearbeitet werden, weil die kürzeren Distanzen zwischen dem Ort der Eindüsung und den Belüfterelementen 1 eine Sättigung des Luftstromes über den gesamten Transportweg bis zu den Belüfterporen erleichtern. Eine Eindüsung des Wassers mit Partikelgrößen im Bereich von einigen Mikrometern begünstigen aber auch in diesem Fall die erfindungsgemäßen Verfahren.

Die Befeuchtung des Luftstromes über die in die Verteilleitung 6 oder die Falleleitungen 5 eingebrachten Düsen 10 wird zweckmäßigerweise immer während der Belüftungszeiten des Feldes 4 vorgenommen. Dies kann etwa erzielt werden, indem die Absperrklappe 18 mit den Absperrventilen 16 so gekoppelt wird, dass die Absperrventile 16 schließen, sobald die Absperrklappe 18 geschlossen wurde.

Die Regelung der zugeführten Wassermenge wird sich selbstverständlich nach dem Sättigungsgrad der vom Gebläse 7 angesaugten Luft sowie deren Zustandsgrößen wie Temperatur und Druck orientieren. Dazu muss aber auch berücksichtigt werden, dass sich die Zustandsgrößen des Luftstromes mit oder ohne zusätzlicher Befeuchtung auf deren Weg zu den Belüfterporen ändern. Während sich die Zustandsgrößen der angesaugten Luft leicht messen lassen, sind die Zustandsgrößen der Luft in den Belüfterporen einer Messung nur schwer zugänglich, können aber durch Berechnungen soweit abgeschätzt werden, dass eine Bestimmung der zuzuführenden Wassermenge gelingen kann. Eine mögliche Vorgangsweise wird im folgenden Ausführungsbeispiel dargelegt.

Es ist aber vorstellbar, in entsprechend modifizierten Belüfterelementen 1 Geräte zur Messung der relativen Feuchte vorzusehen und auf Basis deren Daten eine Regelung der zugeführten Wassermenge vorzusehen. Eine weitere Form der Regulierung der im Luftstrom enthaltenen Wassermenge kann dabei über eine automatische Bewirtschaftung der Öffnungsventile 14 der Entwässerungsleitungen 8 über Erfassung des Flüssigkeitsniveaus in den Verteilrohren 15 erfolgen.

Als Alternative zur Eindüsung von Wasser in das Belüftergas kann das Belüftergas zur Steigerung dessen Feuchtigkeit auch durch Wasser in homogener oder disperser Form geleitet werden. Zu diesem Zweck kann im Rohrleitungssystem mindestens ein Befeuchtungsapparat, vorzugsweise ein Waschturm mit oder ohne Einbauten oder eine Ultraschall-Nebelkammer, eingebaut werden. Der Einbau kann in die Hauptluftleitung, die Verteilleitung, aber auch in die einzelnen Falleleitungen erfolgen.

Bei Einsatz eines Waschturmes wird der Luftvolumenstrom vorzugsweise im Gegenstrom zum Wasser geführt. Das Wasser wird aus einer Wasservorlage am unteren Ende des Waschturmes mit einer Pumpe zu einer Verteileinrichtung (z.B. mechanischer Scheibenzerstäuber) am Kopf des Waschturmes gefördert, wird dort über den Querschnitt verteilt und rieselt bzw. strömt nach unten. Das entgegen strömende Belüftungsgas nimmt nun Wasser auf, wodurch sich seine Feuchtigkeit erhöht. Die vom Luftvolumenstrom aufgenommene Wassermenge muss in der Pumpenvorlage ergänzt werden.

Eine weitere mögliche Vorrichtung zum Befeuchten von Gasen ist die Ultraschalltechnik. Der Vorteil dieser Methode ist die geringe Aerosolgröße von unter 1  $\mu\text{m}$  und der daraus resultierenden guten Einmischung in den Luftvolumenstrom. Über einen Schwinger am Boden einer Wasservorlage wird elektrische Energie in mechanische Energie umgesetzt. Die hochfrequenten Schwingungen verursachen letztlich ein Hochschleudern feinsten Nebelteilchen, die vom Luftvolumenstrom aufgenommen werden.

Auch hier muss die aufgenommene Wassermenge in der Wasservorlage ergänzt werden.

Eine klassische Methode der Befeuchtung von Luftströmen ist die Einbringung von Wasserdampf in den Strömungsquerschnitt mittels eines Dampfverteilerrohres. Ist in den Verfahrensschritten gemäß der Ansprüche 8 bis 13 somit von der Beimengung von Wasser die Rede, so beinhaltet dies auch die Möglichkeit der Beimengung von Wasser im dampfförmigen Aggregatzustand.

Die im Zusammenhang mit der Eindüsung von Wasser erwähnten Bemerkungen über zentrale oder dezentrale Einbringung von Wasser in das Rohrleitungssystem oder über die Regelung der eingebrachten Wassermenge gelten sinngemäß auch für alternative Varianten der Luftbefeuchtung, wie den Einsatz von Waschtürmen, Ultraschallanlagen oder Wasserdampffzufuhr.

5 Eine Ausführungsform der Erfindung soll nun anhand eines Ausführungsbeispiels, bei dem eine Zentraleindüsung erfolgt, näher erläutert werden.

#### **Ausführungsbeispiel:**

10 In der Belebungsstufe einer industriellen Abwasserreinigungsanlage werden Mineralölanteile des Abwassers mit dem Belebungsverfahren abgebaut. Die Belebungsstufe besteht aus zwei gleich großen Teilbecken („Ost“ und „West“) die abwechselnd mit Abwasser beschickt werden. Die Abwassermenge beträgt ca. 1000 m<sup>3</sup>/h. Der Zulauf hat eine besonders hohe Salzkonzentration von ca. 12500 mg/l Chlorid. Der BSB<sub>5</sub> (Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen) im Zulauf beträgt  
15 ca. 150 mg/l, jener im Ablauf ca. 30 mg/l. Kohlenstoff und Stickstoff sind im Abwasser ausreichend vorhanden, Phosphor muss zugegeben werden. Das Gesamtvolumen der beiden Teilbecken beträgt 7400 m<sup>3</sup>, die Belüftung erfolgt mit 4420 Tellerbelüftern. Je Teilbecken sind 13 Felder mit je 170 Tellerbelüftern installiert. Der Betrieb der Becken erfolgt nach dem SBR-Prinzip. Ein Zyklus dauert 180 Minuten. Im Becken „Ost“ wird zunächst für 75 Minuten belüftet, anschließend wird die  
20 Belüftung abgestellt und der Belebtschlamm 15 Minuten sedimentiert. Nun folgt die Beschickungsphase, welche ebenfalls 90 Minuten dauert. Während der Belüftungs- und Absetzphase im Becken „Ost“ wird Becken „West“ beschickt, wenn im Becken „Ost“ die Beschickungsphase beginnt, wird im Becken „West“ belüftet. Der Zulauf wird nicht unterbrochen sondern nur durch Schieber entweder auf das Becken „Ost“ oder Becken „West“ geleitet.

25 In Vorversuchen, in einer Pilotanlage, die ca. 18 Monate gedauert haben, wurde kein negativer Einfluss auf die Belüftermembranen, d.h. kein steigender Gegendruck, festgestellt. Nach Einbau der Belüfterelemente in die Becken und 6 Monaten Betriebszeit war der Systemdruck aber um ca. 8,0 kPa gestiegen.

30 Nach einer Beckenleerung und Zerlegung von Belüfterelementen wurden in den Drosselbohrungen der Kunststoffkörper Salzkristalle (99 % Natriumchlorid) gefunden. Wie bereits beschrieben, hängt die Entstehung der Verstopfungen in den Poren unter anderem von den Zustandsgrößen der Luft in den Poren der Membran ab. Damit eng verknüpft ist der Wassergehalt bzw. das Wasseraufnahmevermögen der Luft. Eine genaue Untersuchung, ob und welche Verstopfungen in den Poren der Membran vorhanden waren, ist nicht erfolgt. Die Anwesenheit von den dem Abwasser zugesetzten Zeolithen ist erwiesen, ein Anteil an gefällten Silikaten aufgrund der bisherigen  
35 Erfahrungen (mit vergleichbaren Anlagen) wahrscheinlich.

Aufgrund dieses Umstandes kann auf ein hohes Trocknungspotential des Luftstromes geschlossen werden.

40 Eine direkte Messung der Luftparameter und der Luftfeuchte in der Pore ist technisch schwer realisierbar. Es wurden daher Berechnungen angestellt, um zu erkunden, ob und unter welchen Rahmenbedingungen es zu Kondensatbildung in den Luftleitungen kommt. In einem zweiten Berechnungsschritt wurden Richtwerte der Zustandsgrößen der Luft beim Austritt aus der Membran abgeschätzt. Basis der Berechnungen ist der Luftvolumenstrom, die Temperatur, der Druck und der Wassergehalt der Luft im Ansaugzustand vor den Gebläsen. Die Berechnung der Temperatur der Luft in der Rohrleitung bzw. unter der Membran ist mit Unsicherheiten behaftet. Es wurde  
45 daher der ungünstigste Fall angenommen, bei dem die Lufttemperatur nach der Temperaturerhöhung bei der Verdichtung im Gebläse während des Transports durch die Rohrleitungen bis zur Membran auf die Wassertemperatur absinkt. Im Fall der gegenständlichen Anlage beträgt die Temperatur im Belebungsbecken konstant ca. 25°C.

50 Der Druckverlust der Membran beträgt nach Herstellerangaben bei einem Luftdurchsatz von 2 m<sub>N</sub><sup>3</sup>/h/Stk. 3,1 kPa. Aus der Einblastiefe von 3,1 m ergibt sich ein hydrostatischer Gegendruck von 30,4 kPa. Aus der Temperatur und dem Druck unter der Membran kann nun der Wassergehalt im Sättigungszustand berechnet werden. Ist er kleiner als jener im Ansaugzustand, so wird Wasser ausgeschieden. Ist er größer als jener im Ansaugzustand, so könnte theoretisch Wasser aufgenommen werden. In einem zweiten Schritt wurde die Zustandsänderung beim Ausströmen aus den  
55

Poren der Membran betrachtet. Als Modellvorstellung wurde das isentrope Ausströmen eines Gases aus einem sehr großen Behälter gewählt. Die Ergebnisse wurden mit einem Geschwindigkeitsbeiwert auf reibungsbehaftete Verhältnisse umgerechnet. Die Oberflächenspannung bei der Blasenbildung wurde nicht berücksichtigt, theoretisch würde dadurch der Austrittsdruck ein wenig erhöht und die Geschwindigkeit verringert, wodurch die relative Feuchte abnimmt. Das Ergebnis der Berechnung ist die Strömungsgeschwindigkeit und die Temperatur im Austrittsquerschnitt der Pore. Aus der Temperatur und dem Druck im Austrittsquerschnitt ist nun der zugehörige maximale Wassergehalt berechenbar. Vergleicht man diesen nun mit dem tatsächlich vorhandenen Wassergehalt, so ist eine Aussage darüber, ob die Luft die Pore austrocknet oder befeuchtet, möglich. In der Berechnung wurde berücksichtigt, dass im Falle des Auftretens von Sättigung im Rohr oder unter der Membran bereits eine Wasserabscheidung stattfindet.

Wie sich in diesem Fall herausgestellt hat, ist die Luft am Porenaustritt praktisch nie mit Wasserdampf gesättigt. Es kann daher für die Überlegungen zur Bildung von Verstopfungen davon ausgegangen werden, dass die Luft die Pore austrocknet. Wenn nun, begünstigt durch das Pulsieren der Blasenablösung, immer "frisches" Wasser aus dem Becken mit all seinen Inhaltsstoffen die Pore benetzt und in sie eindringt, kann es zum Überschreiten von Löslichkeitsprodukten kommen. In diesem Fall ist daher die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens, die Luft zu befeuchten und damit das Austrocknen der Poren zu vermeiden, zweckmäßig. Zur Erprobung des Verfahrens zur Verringerung bzw. Verhinderung der Verstopfungen wurden folgende Maßnahmen gesetzt: Im Gebläsehaus der gegenständlichen Anlage wurde eine Vollenthärtungsanlage für Nutzwasser installiert. Durch die Verwendung von voll entsalztem Wasser soll vermieden werden, dass Stoffe in das Rohrleitungssystem gelangen, die Verstopfungen verursachen können.

Die Zuleitung des Wassers zum Beckenrand erfolgte über eine in die Hauptluftleitung eingezogene Rohrleitung. Das Wasser wurde nicht über eine Hochdruckdüse, sondern über eine Hohlkegeldüse bei niedrigerem Druck zentrisch in Strömungsrichtung in die Verteilleitung eingedüst. Diese Maßnahme ließ lediglich für jene Belüftungsfelder einen Effekt erwarten, die unmittelbar der Eindüsungsstelle nachfolgen. Die Wasserzugabe erfolgte nur wenn belüftet wurde. Dazu wurde ein Magnetventil in die Rohrleitung eingebaut, das öffnet, wenn der Luftvolumenstrom von den Hauptluftklappen freigegeben wird. Die zugegebene Wassermenge wurde von Hand über die Kennlinie der Düse (Druck-Durchsatzleistung) eingestellt. Zu diesem Zweck war noch ein Manometer und eine Armatur in die Rohrleitung eingebaut. Um im Winter ein Einfrieren zu verhindern, wurde die Installation mit einer Begleitheizung ausgerüstet. Es wurden je nach Luftvolumenstrom und Witterungsbedingungen 1 bis 2 Liter pro Minute benötigt. Zur Feststellung der Unterschiede zwischen den einzelnen Feldern wurde eine gesonderte Luftversorgung zum Becken „Ost“ installiert. Damit war es möglich, ein Belüfterfeld mit einem definierten Luftvolumenstrom zu beschicken (1,9 m<sup>3</sup>/h/Belüfter). Nach Entwässerung des Feldes wurde der Differenzdruck an einzelnen verschmutzten Feldern mit 47,1 kPa gemessen. Nach Reinigung wurden 42,0 kPa gemessen. Nach Abzug des hydrostatischen Druckes, des Druckverlustes der Feldverrohrung und der Drosselbohrung ergibt sich somit ein Druckverlust der verschmutzten Membran von ca. 13,0 kPa. Nach Fertigstellung der Installationen wurden alle Belüfterfelder des Teilbeckens „Ost“ gereinigt. Der Differenzdruck betrug vor der Reinigung 47,0 kPa und nach der Reinigung 40,9 kPa. Während der Druckmessung war ein Gebläse mit voller Drehzahl und eines mit minimaler Drehzahl in Betrieb. Nach erfolgter Reinigung dauerte es ca. 14 Tage bis das Becken wieder voll in Betrieb war. Nach wenigen Wochen war der Druck wieder auf 48,0 kPa (ein Gebläse mit voller Drehzahl und eines mit minimaler Drehzahl) gestiegen.

Die Messung der Drücke mit definierter Beaufschlagung (1,9 m<sup>3</sup>/h/Belüfter) einzelner Felder ergab jedoch, dass bei jenem Belüftungsfeld, das unmittelbar der Eindüsungsstelle nachfolgt, der Differenzdruck dem nach der Reinigung entsprach (42,2 kPa). Bei den anderen Feldern wurden wie erwartet deutlich höhere Drücke (bis 46,0 kPa) gemessen. An einem weit von der Wassereindüsung entfernten Feld wurde über die Entwässerungsleitung Luft abgeblasen und darin die relative Luftfeuchte zu 70% gemessen. Daraus ist ersichtlich, dass das eingedüste Wasser nicht ausreichend vom Luftvolumenstrom aufgenommen wurde, um auch die weit entfernten Felder zu erreichen.

Um auch die weiter entfernten Felder vor der Neubildung von Ablagerungen in den Belüfterporen zu schützen, ist eine Eindüsung von Wasser wie beschrieben in das Fallrohr eines jeden

Belüfterfeldes denkbar. Alternativ dazu kann in der Wassereinspeisung auch eine Drucksteigerungsanlage (über 50 bar, vorzugsweise ca. 100 bar) installiert werden und das Wasser über Hochdruckdüsen weiter in die Verteilleitung eingedüst werden. Als weitere Verbesserung ist schließlich eine Hochdruckeindüsung des Wassers in die einzelnen Falleleitungen denkbar.

5

**PATENTANSPRÜCHE:**

- 10 1. Verfahren zur Verminderung bzw. Verhinderung der Bildung von Gegendruck-steigernden Ablagerungen an mit Poren oder Bohrungen versehenen Belüfterelementen (1) in belüfteten Becken (2) von Abwasserreinigungs- oder Wasseraufbereitungsanlagen, wobei den Belüfterelementen (1) mit Hilfe eines Gebläses (7), das über ein Rohrsystem beinhaltend Stichrohre (3), Falleleitungen (5) und eine Verteilleitung (6) mit den Belüfterelementen (1) verbunden ist, ein Belüftergas, vorzugsweise Luft, zugeführt wird, dessen Feuchtigkeitsgrad durch Zugabe von Wasser erhöht wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Wasser dem Belüftergas in Form eines Aerosols mit Tröpfchengrößen von 0,1 µm bis 20 µm oder in Form von Wasserdampf beigemischt wird.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Wasser dem Belüftergas durch Eindüsung in das Rohrsystem mit mindestens 5000 kPa beigemischt wird.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Wasser dem Belüftergas durch Eindüsung in das Rohrsystem beigemischt wird, wobei vor der Eindüsung flüssiges Wasser mit Luft intensiv durchmischt wird.
- 25 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Beimischung des Wassers zum Belüftergas in jenem Abschnitt des Rohrsystems erfolgt, der im wesentlichen die Verteilleitung (6) umfasst.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Beimischung des Wassers zum Belüftergas in jenem Abschnitt des Rohrsystems erfolgt, der im wesentlichen die Falleleitungen (5) umfasst.
- 30 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass während der Zufuhr von Belüftergas zu den Belüfterelementen (1) Wasser kontinuierlich in das Rohrsystem eingebracht wird.
- 35 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Wasser vor der Beimischung zum Belüftergas mit Hilfe von Verdampfung, Kat- und Anionentauscher oder Umkehrosmose zumindest teilweise entsalzt wurde.
- 40 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Regelung der in das Rohrsystem eingebrachten Wassermenge aufgrund von Messungen der relativen Feuchte des Belüftergases, vorzugsweise in der Nähe der Poren oder Bohrungen der Belüfterelemente (1), erfolgt.
- 45 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Regelung der eingebrachten Wassermenge über die Öffnungsfrequenz der Ventile (14) von Entwässerungsleitungen (8) erfolgt.
10. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eine Düse (10) im Inneren der Verteilleitung (6) angeordnet ist, bei der es sich um eine Hochdruck- oder Zweistoffdüse handelt.
11. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass Düsen (10) im Inneren der Falleleitungen (5) angeordnet sind.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Wasserzuleitung zu den Düsen (10) Ventile angeordnet sind, die mit der Absperrklappe (18) oder dem Gebläse (7) gekoppelt sind.
- 50 13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wasserzuleitung zu den Düsen (10) mit Druckmesseinrichtungen versehen ist.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die Eindüsung des Wassers vorgesehene Einrichtungen mit einer Begleitheizung ausgestattet sind.
- 55 15. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**

**net**, dass dem Rohrsystem ein Waschturm hinzugefügt ist.

16. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Rohrsystem eine Ultraschall-Nebelkammer hinzugefügt ist.

5 17. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Dampfverteilerrohr vorgesehen ist, mit dem die Einbringung von Wasserdampf in das Rohrsystem erfolgt.

10 **HIEZU 2 BLATT ZEICHNUNGEN**

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

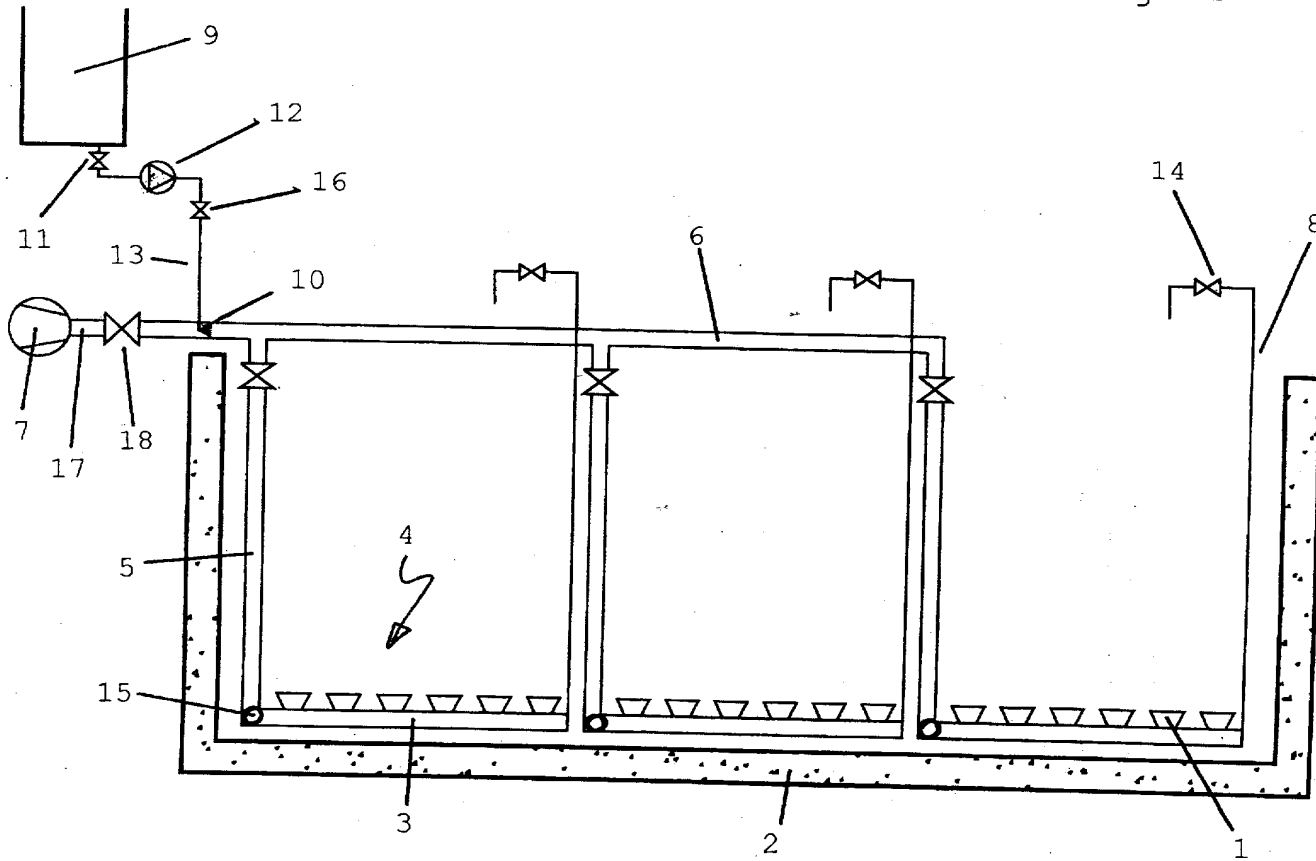


Fig. 2

