



Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer:	3763/89	73 Inhaber:	Dr.-Ing. Manfred Boës, Bretten-Dürrenbüchig (DE)
22 Anmeldungsdatum:	16.10.1989		
30 Priorität(en):	18.10.1988 DE 3835374	72 Erfinder:	Kinn, Pascal, Karlsruhe 41 (DE) Lauterbach, Dietrich, Leopoldshafen (DE) Boës, Manfred, Dr.-Ing., Bretten-Dürrenbüchig (DE)
24 Patent erteilt:	30.06.1992		
45 Patentschrift veröffentlicht:	30.06.1992	74 Vertreter:	G. Petschner, Thalwil

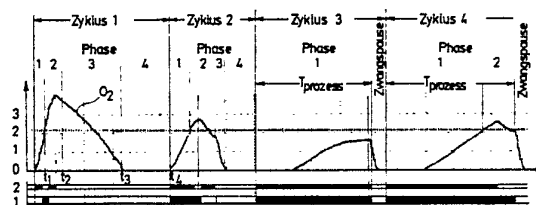
54 Verfahren zur Reinigung von Abwasser in einem Belebungsbecken.

57 Beschrieben wird ein Verfahren zur Reinigung von Abwasser in einem Belebungsbecken.

Bekannte Abwasserreinigungsverfahren, die mit Hilfe einer Nitrifikationsphase und einer nachfolgenden Denitrifikationsphase Stickstoffverbindungen abbauen, weisen den Nachteil auf, dass sie nicht belastungsabhängig und daher nicht optimal arbeiten können.

Es wird daher vorgesehen, die Zeiten für die Nitrifikations- und die Denitrifikationsphase jeweils in Abhängigkeit von der in das Belebungsbecken eingetragenen Sauerstoffmenge zu bestimmen, wobei in einfacher Weise die Leistungsaufnahme der dem Belebungsbecken zugeordneten Belüftungseinrichtungen als Wert für die (O₂)-Zufuhr dienen kann. Die neuen Anlagen arbeiten daher belastungsabhängig.

Das beschriebene Verfahren eignet sich zur Verwendung für Kläranlagen mit Raumbelastungen unter 0,25 kg BSB5 pro m³.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reinigung von Abwasser in einem Belebungsbecken, bei dem mit Hilfe einer Nitrifikationsphase und einer nachfolgenden Denitrifikationsphase Stickstoffverbindungen, insbesondere Ammonium und das daraus gebildete Nitrat abgebaut wird, wobei die Zeiten für den notwendigen Sauerstoffeintrag und für die Belüftungspausen vorgegeben werden.

Es ist bekannt, dass bei kommunalen Kläranlagen bestimmter Grösse eine Nitrifikation vorgenommen werden muss, um den Stickstoffeintrag in die Gewässer zu verhindern oder zu vermindern. Bekannt ist auch, dass dann aber auch das bei der Nitrifikation gebildete Nitrat, das weitgehend aus Ammonium gebildet wird, abgebaut werden muss. Dies ist am wirtschaftlichsten mit dem biologischen Verfahrensschritt der Denitrifikation erreichbar, bei dem das Nitrat von vielen Bakterienstämmen als Sauerstoffquelle in einer Phase des Mangels an Sauerstoff im Belebungsbecken genutzt wird, so dass dann der Stickstoff als N_2 entweichen kann. Hierdurch kann der pH-Wert stabilisiert und das Betriebsverhalten der Kläranlage verbessert werden (Veröffentlichungen des Instituts für Stadtbauweisen TU Braunschweig, W. von der Emde, Heft 42/1987, S. 54 bis 66).

Bei der zum Betrieb von Kläranlagen bekannten gleichzeitigen Nitrifikation und Denitrifikation (= simultane Nitrifikation und Denitrifikation) werden in ein und demselben Belebungsbecken nacheinander durch gezielte Steuerung des Sauerstoffgehaltes abwechselnd günstige Bedingungen für die Nitrifikation bei einem Sauerstoffgehalt ungefähr gleich oder grösser 1,5 Milligramm pro Liter und günstige Bedingungen für die Denitrifikation bei einem Sauerstoffgehalt von etwa 0 Milligramm pro Liter geschaffen. Dieses bekannte Verfahren eignet sich vor allem für Stabilisierungsanlagen, d.h. für schwach belastete Kläranlagen mit Raumbelastungen (BR) kleiner als 0,25 kg BSB5 pro m^3 . Dabei wird unter BSB5 in bekannter Weise der biochemische Sauerstoffbedarf der Anlage in 5 Tagen verstanden.

Die bekannten Verfahren lassen sich nicht in einfacher Weise direkt steuern, weil es insbesondere für solche relativ kleinen Kläranlagen keine preiswerten und wartungsarmen einfachen Ammonium- oder Nitratmessgeräte gibt.

Bekannt ist es daher in neuerer Zeit geworden, einen Kompromiss für die Steuerung dadurch durchzuführen, dass für die Nitrifikationsphase und die anschliessende Denitrifikationsphase feste, geschätzte Werte vorgegeben werden und dass mit einem Sauerstoffmessgerät in einer ersten Phase ermittelt wird, wann durch die Zwangsbelüftung ein ebenfalls vorgegebener Sauerstoffsollwert erreicht wird, der durch die Gebläsesteuerung möglichst beibehalten werden soll, bis die vorgegebene Nitrifikationszeit abgelaufen ist. Anschliessend werden ausschliesslich zeitabhängig die Belüftungseinrichtungen abgeschaltet und die Denitrifikationsphase, deren Zeit ebenfalls vorgegeben ist, läuft an. Nachteil einer solchen Regelung ist es, dass sich insbesondere bei ausgelasteten Kläranlagen der Grad der Stickstoffelimination wegen der über den Tagesablauf starren Zeiten für Nitrifikations- und Denitrifikationsphasen ändert. Das angestrebte Ergebnis der Stickstoffeliminierung wird daher nicht oder nur zum Teil erreicht.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art so zu verbessern, dass ohne zusätzlichen Messaufwand eine belastungsabhängige Anpassung sowohl der Nitrifikations- als auch der Denitrifikationszeiten möglich ist, so dass tages- und belastungsabhängig der Grad der Stickstoffelimination weitgehend gleichbleibend ist.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art vorgesehen, die in das Belebungsbecken eingetragene Sauerstoffmenge als Mass für die Bestimmung der Zeitdauer der Nitrifikations- und der Denitrifikationsphase zu nehmen. Durch diese Massnahme kann bei Beibehaltung nur einer Sauerstoffmesssonde eine Anpassung an die über den im Tagesverlauf sich ändernden Belastungen einer Kläranlage erreicht werden. Die Erfindung geht dabei von der Erkenntnis aus, dass bei einer grösseren Belastung des Belebungsbeckens der Kläranlage auch ein grösserer Sauerstoffeintrag über die Gebläse bis zum Erreichen des für die Nitrifikation notwendigen Sauerstoffsollwertes notwendig ist und dass bei einer grösseren Belastung auch die während der Nitrifikationsphase notwendige Sauerstoffzufuhr von der bei niedriger Belastung abweicht.

Besonders vorteilhaft ist es daher, wenn zur Bestimmung der Zeitdauer der Nitrifikationsphase die bis zum Erreichen einer vorgegebenen Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken notwendige Sauerstoffmenge ermittelt und daraus unter Berücksichtigung des Volumens des Belebungsbeckens und anderer anlagenspezifischer Werte die für die Nitrifikation optimale Zeit bestimmt wird. Dabei kann aus Sicherheitsgründen nach den Merkmalen des Anspruches 4 auch noch ein Vergleich der so ermittelten Nitrifikationszeit mit einer durch Erfahrungswerte vorgegebenen maximalen und minimalen Nitrifikationszeit vorgenommen werden. Bei Belebungsbecken mit einer zugeordneten Belüfteranordnung kann dabei besonders einfach die Sauerstoffmenge aus der spezifischen Leistung und der Betriebsdauer dieser Belüfteranordnung abgeleitet werden.

Nach Anspruch 6 wird die Zeitdauer für die Denitrifikationsphase, ausgehend von der vorher erwähnten Erkenntnis aus der nötigen Sauerstoffmenge bis zum Erreichen der vorgegebenen Sauerstoffkonzentration zuzüglich der während der Nitrifikationsphase zugeführten Sauerstoffmenge unter Berücksichtigung des Volumens des Belebungsbeckens und anderer anlagenspezifischer Werte bestimmt. Dabei haben sich sowohl für die Bestimmung der Nitrifikationszeit als auch der Denitrifikationszeit bestimmte Formeln als besonders einfach erwiesen. Die Messwerte können dabei in einfacher Weise nach Anspruch 10 zyklisch erfasst abgespeichert und von einem Rechner ausgewertet werden, der dann

auch die Steuerung auslöst. Schliesslich ist es nach dem Merkmal des Anspruches 9 zur Vermeidung einer Protozoen-Überentwicklung zweckmässig, eine vom Beginn des Sauerstoffeintrages ablaufende Gesamtüberwachungszeit anlagenspezifisch vorzugeben, nach deren Ablauf dann, unabhängig davon, ob die Nitrifikationsphase beendet ist, die Belüfteranordnung abgeschaltet wird. Durch diese Massnahme kann beispielsweise in jedem Fall nach ca. 200 bis 300 Minuten eine anoxische Phase vorgesehen werden, um die Entwicklung von Protozoen zu bremsen. Protozoen sind gegenüber Bakterien höher organisierte Lebewesen, die gelösten Sauerstoff zum Energiestoffwechsel benötigen. Diese Protozoen, die auch die zur Nitrifikation notwendigen Bakterien fressen, sind daher durch diese Massnahme gezwungen, in ein Schutzstadium überzugehen und kapseln sich in eine Zyste ein. Dieser Einkapselungsprozess kostet Energie und bremst die Entwicklung von Protozoen, so dass bei regelmässiger Wiederholung solcher Phasen mit Sauerstoffmangel, die normalerweise auch in der Denitrifikationsphase auftreten, die Zahl der Protozoen stark vermindert werden kann und sich dadurch auch die Schlammigenschaften verbessern. Gleichzeitig wird weniger Sauerstoff in der Belebungsanlage benötigt. Bei stark belasteten Anlagen kann in manchen Fällen allein hierdurch eine Erweiterung vermieden werden.

Das neue Verfahren ermöglicht über die Nitrifikation und Denitrifikation hinaus die Optimierung zweier weiterer Prozesse, und zwar ohne zusätzlichen Messaufwand:

- die biologische Phosphatentfernung über die Überschussschlammernahme,
- die Zugabe von Trübwasser bzw. Filtratwasser in belastungsschwachen Zeiten.

In der Zeichnung ist die Erfindung anhand eines Prozessablaufes diagrammartig und schematisch in einem Ausführungsbeispiel dargestellt, das im folgenden beschrieben wird. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Belebungsbeckens, an dem eine Einrichtung zur Durchführung des neuen Verfahrens angeschlossen ist und

Fig. 2 die diagrammartige Darstellung des zeitlichen Verlaufes des neuen Regelungsverfahrens.

Aus der Fig. 1 ist ein an sich bekanntes Belebungsbecken (1) erkennbar, das mit einer Belüftungseinrichtung (2, 3, 4) versehen ist, die aus einem Gebläse oder mehreren Gebläsen (3) mit Belüftungselementen (4) bekannter Bauart ausgerüstet ist. Möglich wäre auch der Einsatz von Oberflächenbelüftern bekannter Bauart (Kreiselbelüfter, Mammutrotoren) oder Injektorbelüftern bekannter Bauart. Die Motoren (2) sind als Elektromotoren ausgebildet. Sie sind an eine Steuerleitung (5) angeschlossen, die zu der gestrichelt umrahmten Steuereinrichtung (6) führt. Im Belebungsbecken (1) ist ausserdem eine Sauerstoffmesssonde (7) angeordnet, die über die Anschlussleitung (8) ebenfalls mit dem Steuergerät (6) verbunden ist. Dabei besteht die Steuereinrichtung (6) beim Ausführungsbeispiel aus einem Prozessrechner (9) zur Erfassung der Messwerte der Sauerstoffmesssonde (7) und – was noch näher ausgeführt werden wird – der Kennwerte für die Gebläse und Belüftungsentnahme (3, 4) sowie zur Auswertung und Regelung der ermittelten Daten. Dieser Prozessrechner steht in Verbindung mit einem Personal Computer (10), der zur Parametrierung des Steuervorganges und beim Ausführungsbeispiel auch zur Anzeige des jeweiligen Betriebszustandes dient.

Mit dieser Einrichtung und dem erfindungsgemässen Verfahren kann die Abwasserreinigung nach dem in Fig. 2 dargestellten Verhalten vorgenommen werden. In Fig. 2 ist dabei der Sauerstoffgehalt im Milligramm pro Liter auf der nach oben weisenden Ordinaten-Achse und die Zeit auf der nach rechts verlaufenden Abszissen-Achse abgetragen, wobei unterhalb dieser Darstellung jeweils der zugeordnete Betriebszustand der beiden Gebläse der Fig. 1 gezeigt ist. Die dunkel durchgezogenen Bereiche entsprechen dabei der Einschaltphase und die hellen Bereiche der Ausschaltphase des entsprechenden Gebläses. Das Gebläse (2) ist dabei das kleinere, das mit (1) bezeichnete Gebläse das grössere Gebläse.

Der in Fig. 2 jeweils gezeigte Regelzyklus durchläuft im allgemeinen vier Phasen, die auch eingezeichnet sind, wobei die Phase 1 jeweils die Phase darstellt, in der über die Gebläse (3) die Belüftung des Belebungsbeckens (1) bis zum Erreichen des Sauerstoffsollwertes für die Nitrifikation erfolgt. Beim Ausführungsbeispiel wird dabei davon ausgegangen, dass dieser Sollwert bei zwei Milligramm pro Liter erreicht wird. Die Phase 1 endet daher zu der Zeit (t₁), zu der die Kurve des Sauerstoffgehaltes (O₂) den Sollwert von 2 Milligramm pro Liter erreicht. Nach Erreichen dieses Punktes, der über die Sauerstoffmesssonde (7) erfasst werden kann, setzt die Phase 2 ein, in der eine Regelung um den (O₂)-Sollwert herum für die Nitrifikation bis zum Ablauf der Nitrifikationsphase vorgenommen wird. Dabei errechnet sich nach Ablauf der Phase 1, d.h. also nach Erreichen des Zeitpunktes (t₁) die Zeit für die Nitrifikation wie folgt:

$$T_{\text{Nitr}} = \frac{O_{2\text{phys}}}{\text{VBB}} \cdot \frac{1440}{\text{BR} \cdot \text{OC-load}} \cdot \text{Faktor } T_{\text{Nitr min}}$$

wobei in dieser Formel die Grössen folgende Bedeutung haben:

BR = Raumbelastung

VBB = Volumen des Belebungsbeckens

OC-load = das Verhältnis zwischen eingetragenem Sauerstoff und BSB5, wobei BSB5 in bekannter Weise der biochemische Sauerstoffbedarf in 5 Tagen ist und der Faktor T_{Nitr} ein Umrechnungsfaktor ist von der Belastung auf die Nitrifikationszeit.

Dieser Faktor ist anlagenspezifisch und wird über den Personal Computer (10) als Eingabeparameter vorgegeben. Vorgegeben werden auch die minimale Nitrifikationszeit und die maximale Nitrifikationszeit ($T_{Nitr\ max}$), die ebenfalls mit zur Bestimmung dienen, ob die ermittelte Nitrifikationszeit (T_{Nitr}) auch grösser als die minimale Nitrifikationszeit und kleiner als die maximale Nitrifikationszeit ist. Die Berechnung der Nitrifikationszeit und – wie noch ausgeführt wird – der Denitrifikationszeit erfolgt auf der Basis der Ist-Belastung bis zum Zeitpunkt des Beginns der Nitrifikationsphase bzw. der Denitrifikationsphase. Diese Zeiten stellen damit Hochrechnungen unter der Annahme ähnlicher Zulaufmengen in den Folgezeiten dar. Da sich die Zulaufmengen aber stärker ändern können, ist eine Begrenzung der Nitrifikationszeit nach unten ($T_{Nitr\ min}$) und eine Begrenzung der Denitrifikationszeit nach oben ($T_{Denitr\ max}$) erforderlich. Damit die Umstellung des Stoffwechsels der Bakterien vom gelösten Sauerstoff auf den Nitrat-Sauerstoff sichergestellt ist, ist eine Begrenzung der Denitrifikationszeit nach unten ($T_{Denitr\ min}$) erforderlich. Zur Vermeidung zu hoher NO_3 -Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage ist eine Begrenzung der Nitrifikationszeit nach oben ($T_{Nitr\ max}$) erforderlich.

O_{2phys} stellt dabei den Sauerstoffeintrag in der Phase 1 dar, der sich wiederum nach folgender Formel berechnen lässt:

$$O_{2phys} = \alpha \cdot OC_{10} \cdot \int \left(1 - \frac{c_t}{c_s}\right) \cdot \Theta^{T-10} \cdot dt$$

α = Sauerstoffzufuhrfaktor Abwasser/Reinwasser je nach Belüftungssystem

C = Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken, die an der Sauerstoffmesssonde (7) ermittelt wird

C_s = Sauerstoffsättigungskonzentration

T = Temperatur im Belebungsbecken und

Θ = Temperaturkoeffizienten (4, 5)

OC_{10} stellt bei einer Belüftungseinrichtung, wie sie im Ausführungsbeispiel der Fig. 1 vorgesehen ist, sich nach folgender Formel dar:

$$OC_{10} = Q \cdot \bar{\eta}_{10}(qL) \cdot H \cdot L$$

wobei

Q = Luftförderstrom der eingeschalteten Gebläse (aus Gebläsekennlinien)

H = Eintauchtiefe der Belüfter

L = Länge der Belüfter

$qL = Q/L$

$\bar{\eta}_{10}(qL)$ = O_2 -Wirkungsgrad auf $T = 10^\circ C$ bezogen (aus Reinwasserversuchen oder aus Herstellerangaben)

Ist nach dieser Methode die Zeitdauer für die Nitrifikationsphase (T_{Nitr}) berechnet, dann kann über den Prozessrechner (9) und die Steuerleitung (5) die Belüftungseinrichtung (2) zum Zeitpunkt (t_2) (Fig. 2), d.h. nach Beendigung der ermittelten Nitrifikationszeit abgeschaltet werden, so dass von diesem Zeitpunkt an der Sauerstoffgehalt abnimmt, bis er zur Zeit (t_3) etwa auf Null abgesunken ist. Zu diesem Zeitpunkt beginnt die Denitrifikationsphase.

Die Dauer der Denitrifikationsphase wird nun ausgehend von den bereits vorher ermittelten Werten bestimmt. Die Zeitdauer (T_{Denitr}) für die Denitrifikationsphase kann nach Ablauf der Phasen 1 und 2, d.h. im Zeitpunkt (t_2) berechnet werden, und zwar aus den Werten des Sauerstoffeintrages, der von Beginn des Prozesses bis zum Zeitpunkt (t_2) erfolgt ist. Dies kann nach folgender Formel geschehen:

$$T_{Denitr} = T_{Denitr\ max} + 15 - \frac{O_{2phys}}{VBB} \cdot \frac{1440}{BR \cdot OC-load} \cdot \text{Faktor}_{T_{Denitr}}$$

Die in dieser Formel verwendeten Größen entsprechen jenen, die zur Berechnung der Nitrifikationszeit verwendet wurden, lediglich der Faktor (T_{Denitr}) ist der Umrechnungsfaktor von der Belastung auf Denitrifikationszeitabzug. Dieser Faktor ist ebenfalls ein anlagenspezifischer Eingabeparameter. Auch in diesem Fall wird zusätzlich die maximale Denitrifikationszeit als Eingabeparameter und die minimale Denitrifikationszeit als Eingabeparameter mitberücksichtigt, wobei die Zeit (T_{Denitr}) zwischen diesen Eingabewerten liegen muss. Zum Zeitpunkt (t_3) läuft daher die Phase 4 mit einer Belüftungspause bis zum Ablauf der Denitrifikationszeit (T_{Denitr}) an. Im Ausführungsbeispiel der Fig. 2 läuft die Zeit für die Denitrifikationsphase zum Zeitpunkt (t_4) ab, und es erfolgt im Zyklus 2 erneut das Einschalten beider Gebläse,

so dass der Sauerstoffgehalt bis zum Ende der Phase 1 wieder den Sollwert von 2 Milligramm pro Liter erreichen kann, dann in der Nitrifikationsphase bis zum Ablauf der Phase 2 um diesen Sollwert herum geregelt wird, wonach wieder abgeschaltet wird und nach dem Ende der Phase 3 die Denitrifikationsphase (4) anläuft. Die Zeiten für die Nitrifikationsphase und die Denitrifikationsphase werden für diesen Zyklus 2 in der gleichen Weise ermittelt, wie das für den Zyklus 1 geschehen ist.

Aus der schematischen Darstellung wird ersichtlich, dass bis zum Ende der Phase 1 im Zyklus 2 eine grössere Sauerstoffmenge eingetragen worden ist gegenüber dem Zyklus 1. Dies bedeutet daher, dass auch die Zeitdauer für die Nitrifikationsphase (2) länger ist als im Zyklus 1. Da insgesamt aber, insbesondere während der Nitrifikationsphase der Sauerstoffeintrag im Zyklus 2 gross war, ergibt sich zum einen ein schneller Abfall des Sauerstoffgehaltes bis zum Erreichen der Denitrifikationsphase 4, die dann auch entsprechend kürzer zu sein braucht. Aus diesen Beispielen (Zyklus 1 und Zyklus 2) wird deutlich, dass eine Kläranlage mit einem Belebungsbecken, das nach dem neuen Verfahren geregelt wird, belastungsabhängig gesteuert werden kann, so dass sich unterschiedliche Zeiten für Nitrifikations- und Denitrifikationsphase abhängig von dieser Belastung ergeben. Eine so gesteuerte Anlage kann sich daher jeweils optimal den jeweiligen Gegebenheiten anpassen.

Für den Zyklus 3 und den Zyklus 4 sind beispielsweise Ausnahmestände angegeben, in denen aber dennoch die Funktion der Anlage so gut als möglich beibehalten werden muss.

Im Zyklus 3 liegt ein Zustand vor, in dem die Belastung der Anlage zu gross ist, um es trotz der Einschaltung beider Gebläse zu einem Ansteigen des Sauerstoffgehaltes bis zum Sollwert 2 Milligramm pro Liter zu bringen. Um in diesem Fall ein Zusammenbrechen der Regelung zu vermeiden, wird eine Überwachung der Phasen 1 und 2 durch die Vorgabe einer Prozessüberwachungszeit (T_{prozess}) vorgesehen, die ebenfalls ein Eingabeparameter ist und aus Erfahrungswerten anlagenspezifisch festgelegt wird. Wie aus dem Zyklus 3 zu erkennen ist, wird, da der Sauerstoffgehalt den notwendigen Sollwert für die Nitrifikation trotz Einschaltung beider Gebläse nicht erreicht, keine der Phasen 2, 3 oder 4 eintreten. Um hier zu vermeiden, dass die Gebläse ständig weiterlaufen und der Sauerstoffgehalt zu lange einen höheren Wert annimmt, wird nach Ablauf der Prozessüberwachungszeit (T_{prozess}) eine Zwangspause eingeleitet, die zu einem Abschalten beider Gebläse führt. Sinn und Zweck dieser Abschaltung ist es, die Vermehrung von Protozoen zu verhindern, wie das eingangs geschildert worden ist. Beim Auftreten einer Konstellation wie im Zyklus 3, die normalerweise wegen der entsprechenden Auslegung der Gebläse und des Belebungsbeckens nicht auftreten kann, wird daher in Kauf genommen, dass die Nitrifikation und die Denitrifikation nicht oder nicht vollständig stattfindet. Um aber eine ungünstige Veränderung der biologischen Verhältnisse für die Abwasserreinigung im Belebungsbecken zu verhindern, wird hier nach Ablauf der Prozessüberwachungszeit (T_{prozess}) die Sauerstoffzufuhr abgeschaltet.

Nach Ablauf einer ebenfalls vorgegebenen Zeit für diese Zwangspause beginnt erneut die Phase 1, wobei in diesem Fall dafür gesorgt ist, dass die dann ermittelte Nitrifikationszeit um eine bestimmte Zeit, die ebenfalls Eingabeparameter ist, verlängert wird. Ergibt es sich, dass mehrere Zwangspausen wegen einer an sich unüblichen Überbelastung der Anlage hintereinander eintreten, dann ist vorgesehen, dass die maximale Nitrifikationszeit um ein bestimmtes Mass verlängert werden kann.

Der Zyklus 4 in der Fig. 2 stellt ebenfalls einen Sonderfall dar, bei dem nach dem Einschalten beider Gebläse der Sauerstoffsollwert nach einer gewissen Zeit erreicht wird. Diese Zeit allerdings ist, verglichen mit den Zeiten für die Phase 1 des Zyklus 1 und des Zyklus 2 wesentlich grösser. Die Nitrifikationszeit läuft daher beim Beispiel des Zyklus 4 länger als die Prozessüberwachungszeit (T_{prozess}), so dass die Phase 2 der Nitrifikation zwangsweise nach Ablauf der Prozessüberwachungszeit (T_{prozess}) abgebrochen wird. Der Grund hierfür ist, wie bereits ausgeführt, darin zu sehen, dass die Vermehrung der Protozoen soweit wie möglich verhindert wird.

Es darf aber noch einmal darauf hingewiesen werden, dass ein entsprechend ausgelegtes und erfindungsgemäss ausgestattetes Belebungsbecken in der Regel gemäss Zyklus 1 oder Zyklus 2 arbeitet, so dass die Zwangsabschaltung nicht notwendig wird. Das neue Verfahren sieht aber aus Sicherheitsgründen eine solche Zwangsabschaltung vor.

Die im vorstehenden jeweils als Eingabeparameter gekennzeichneten Grössen sind von der Auslastung der Belebungsanlage, der Tag/Nachtverteilung der Abwasserbelastung, dem Fremdwasseranfall und der Belüftungskapazität abhängig. Sie werden vorgeschätzt und vom Klärpersonal anhand der (O_2)-Aufzeichnungen (der Sonde 7) und ggf. anhand von Ammonium- oder Nitratanalysen optimiert, die manuell entnommen werden.

Das neue Verfahren ermöglicht über die Nitrifikation und Denitrifikation hinaus die Optimierung zweier weiterer Prozesse, und zwar ohne zusätzlichen Messaufwand:

- die biologische Phosphatentfernung über die Überschussschlammmentnahme,
- die Zugabe von Trübwasser bzw. Filtratwasser in belastungsschwachen Zeiten.

Zur biologischen Phosphatentfernung:

Es ist bekannt, dass bei längerer Sauerstofffreiheit Bakterien Phosphate an das umgebende Medium abgeben, bei Sauerstoffgehalten über 0 Phosphate wieder aufnehmen. Erfolgt der Wechsel zwischen Sauerstofffreiheit und Sauerstoffgehalt > 0 regelmässig, nehmen die Bakterien in der Phase $O_2 > 0$ mehr Phosphat auf, als sie normalerweise benötigen.

Das Verfahren gibt nun innerhalb der Nitrifikationsphase den Zeitpunkt vor, von dem ab Über-

schussschlamm aus dem Belebungsbecken abgezogen werden soll. Mit Ablauf der Nitrifikationszeit wird die Überschussschlammmentnahme gestoppt. Darüber hinaus wird die Überschussschlammmentnahme über 24 Stunden bilanziert und bei Erreichen des vom Klärpersonal vorgegebenen Sollwertes gestoppt. Mit dieser Verfahrensweise kann der Phosphatgehalt im Ablauf der Kläranlage um über 50% gesenkt werden, sofern sichergestellt ist, dass nicht aus dem Überschussschlamm zurückgelöstes Phosphat über das Trübwasser oder Filtratwasser in das Belebungsbecken zurückgeführt wird.

Zur Trübwasser- bzw. Filtratwasserzugabe:

Trübwasser bzw. Filtratwasser fällt bei der Eindickung bzw. Entwässerung des Überschussschlammes an und ist stark belastet. Es wird üblicherweise während der Arbeitszeit des Klärpersonals ungeregt dem Belebungsbecken zugeleitet. Hierdurch erhöht sich gerade in den belastungsstarken Tagesstunden die Belastung der Kläranlage.

Mit dem neuen Verfahren kann das Trübwasser bzw. das Filtratwasser in den belastungsschwachen Zeiten zudosiert werden. Die momentane Belastung wird dabei aus der Laufzeit der Belüftungseinrichtungen errechnet. Unterschreitet die Laufzeit der Belüftungseinrichtungen ein vorgebbares Verhältnis zur maximal möglichen Laufzeit (Eingabeparameter), dann wird entsprechend der Unterschreitung das Trübwasser bzw. Filtratwasser z.B. über Pumpen oder Schieber dem Belebungsbecken zudosiert.

Hierdurch wird

- eine Entlastung der Kläranlage in belastungsstarken Zeiten und
- eine bessere Denitrifikation in belastungsschwachen Zeiten erreicht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Reinigung von Abwasser in einem Belebungsbecken, bei dem mit Hilfe einer Nitrifikationsphase und einer nachfolgenden Denitrifikationsphase Stickstoffverbindungen abgebaut werden, wobei die Zeiten für den notwendigen Sauerstoffeintrag vorgegeben werden, dadurch gekennzeichnet, dass die in das Belebungsbecken eingetragene Sauerstoffmenge als Mass für die Bestimmung der Zeitdauer der Nitrifikations- und der Denitrifikationsphase genommen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bestimmung der Zeitdauer der Nitrifikationsphase die bis zum Erreichen einer vorgegebenen Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken notwendige Sauerstoffmenge ermittelt und daraus unter Berücksichtigung des Volumens des Belebungsbeckens und anderer anlagenspezifischer Werte die für die Nitrifikation optimale Zeit bestimmt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitdauer für die Nitrifikationsphase nach folgender Formel bestimmt wird:

$$T_{\text{Nitr}} = \frac{O_{2\text{phys}}}{\text{VBB}} \cdot \frac{1440}{\text{BR} \cdot \text{OC-load}} \cdot \text{Faktor } T_{\text{Nitr}} \text{ (minuten)}$$

wobei bedeuten:

$O_{2\text{phys}}$ = Sauerstoffeintrag bis zum Erreichen der vorgegebenen Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken

VBB = Volumen des Belebungsbeckens

BR = Raumbelastung

OC-load = Verhältnis zwischen eingetragenen Sauerstoff und dem Biochemischen Sauerstoffbedarf in 5 Tagen

Faktor T_{Nitr} = Umrechnungsfaktor von Belastung auf Nitrifikationszeit

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die minimale Nitrifikationszeit und die maximale Nitrifikationszeit als anlagenspezifische Werte vorgegeben werden und geprüft wird, ob die bestimmte Zeitdauer für die Nitrifikationszeit kleiner als die maximale, aber grösser als die minimale Nitrifikationszeit ist.

5. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Sauerstoffmenge aus der spezifischen Leistung und der Betriebsdauer der dem Belebungsbecken zugeordneten Belüfteranordnung abgeleitet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitdauer für die Denitrifikationsphase aus der nötigen Sauerstoffmenge bis zum Erreichen der vorgegebenen Sauerstoffkonzentration zuzüglich der während der Nitrifikationsphase zugeführten Sauerstoffmenge unter Berücksichtigung des Volumens des Belebungsbeckens und anderer anlagenspezifischer Werte bestimmt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitdauer der Denitrifikationsphase nach folgender Formel bestimmt wird:

$$T_{\text{Denitr}} = T_{\text{Denitr max}} + \frac{15 - O_{2\text{phys}}}{\text{VBB}} \cdot \frac{1440}{\text{BR} \cdot \text{OC-load}} \cdot \text{Faktor } T_{\text{Denitr}}$$

wobei bedeuten:

$T_{\text{Denitr max}}$ = Maximale Denitrifikationsphase

$O_{2\text{phys}} = O_{2\text{phys}} + O_{2\text{phys}}'$

$O_{2\text{phys}}'$ = Sauerstoffmenge, die während der Nitrifikationsphase zugeführt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die minimale und die maximale Denitrifikationszeit als anlagenspezifische Werte vorgegeben werden und geprüft wird, ob die bestimmte Denitrifikationszeit grösser als die minimale, aber kleiner als die maximale Denitrifikationszeit ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass zur Vermeidung einer Protozoen-Überentwicklung eine vom Beginn des Sauerstoffeintrages ab laufende Gesamtüberwachungszeit anlagenspezifisch vorgegeben wird, nach deren Ablauf, unabhängig davon, ob die Nitrifikationsphase beendet ist, die Belüfteranordnung abgeschaltet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Messwerte zyklisch erfasst, abgespeichert und von einem Rechner ausgewertet werden, der die Steuerung auslöst.

11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in der Nitrifikationsphase abhängig von der eingetragenen Sauerstoffmenge eine Überschussschlammernahme vorgenommen wird, die mit Ablauf der Nitrifikationsphase gestoppt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Trübwasser bzw. Filtratwasser dem Belebungsbecken in Zeiten zudosiert wird, in denen sich aus der eingetragenen Sauerstoffmenge eine geringe Belastung ergibt.

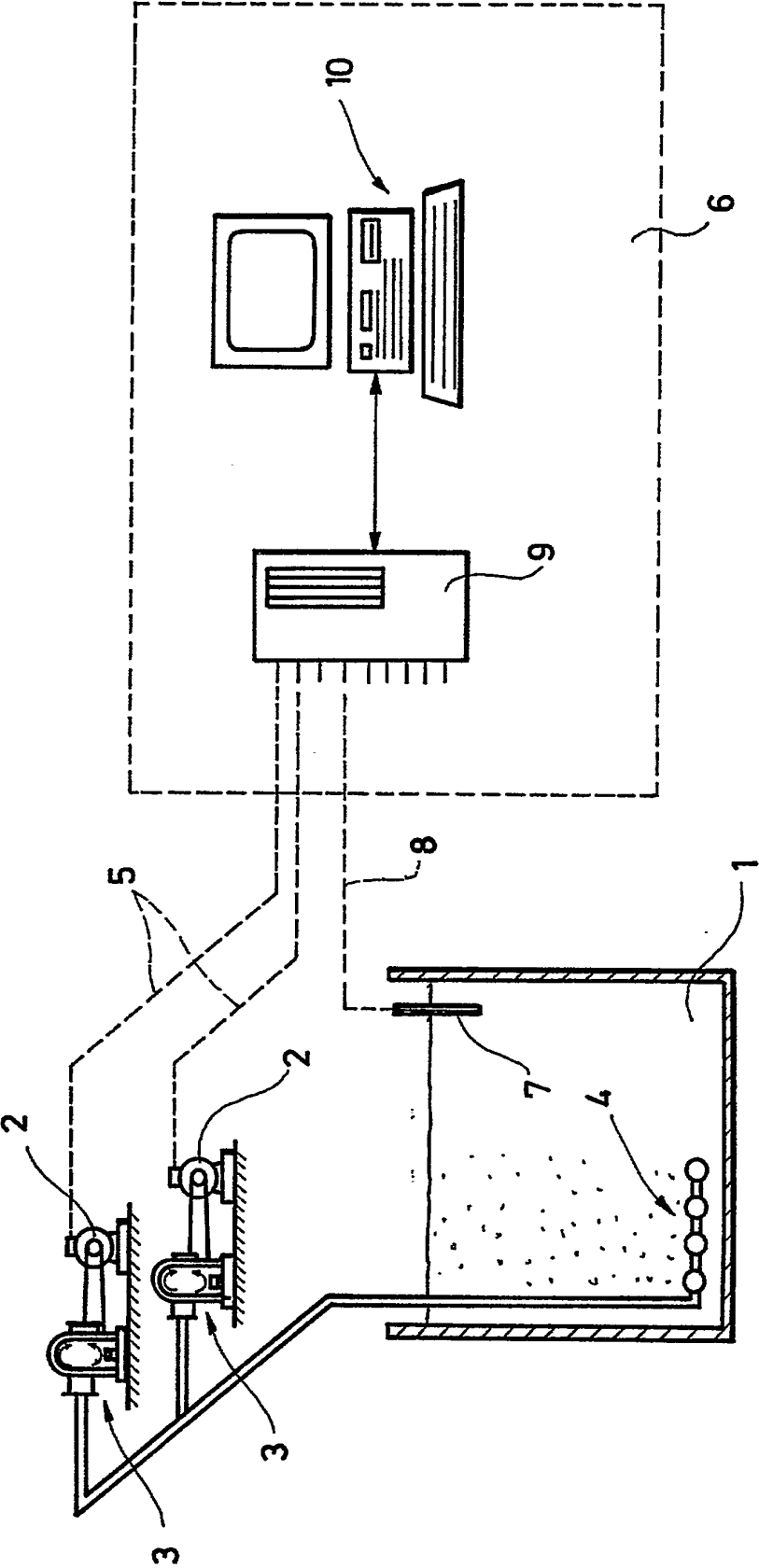


Fig. 1

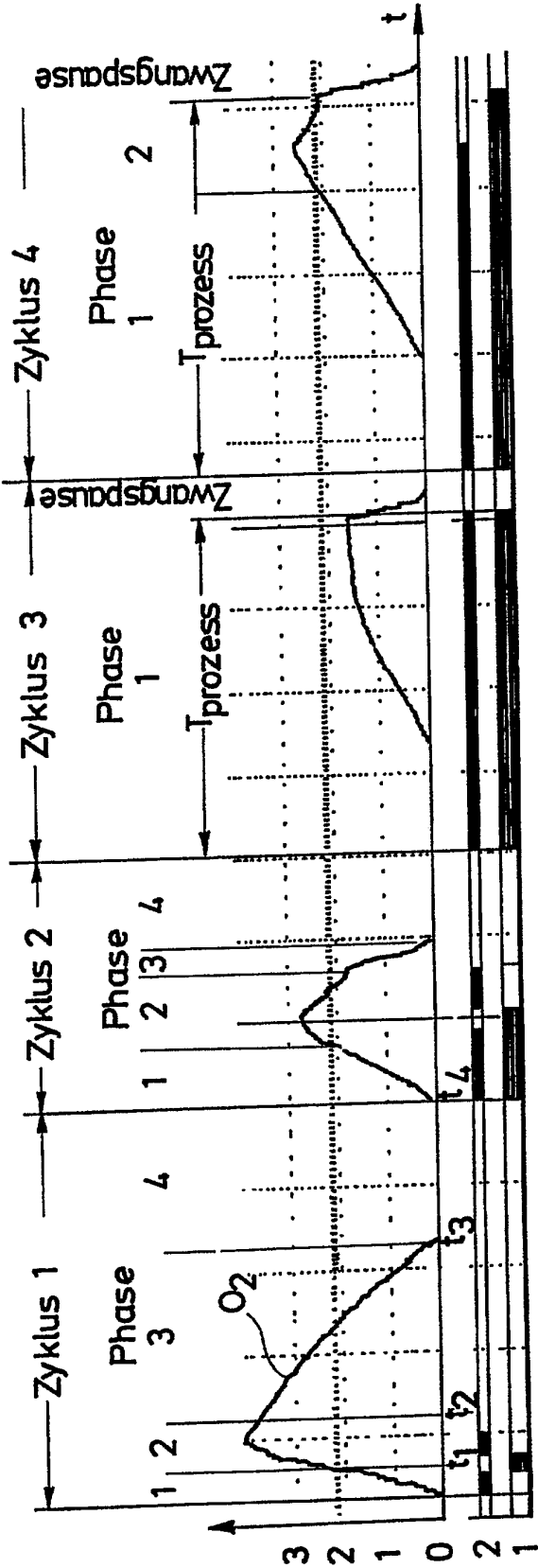


Fig. 2