



(12) Ausschließungspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) **DD** (11) **282 902 A5**

5(51) C 02 F 3/30

**PATENTAMT der DDR**

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

---

(21) AP C 02 F / 328 199 8 (22) 03.05.89 (44) 26.09.90

---

(71) siehe (73)

(72) Peukert, Volkmar, Dr. rer. nat.; Holesovsky, Ulrich, Dr.-Ing.; Voigt, Wolf-Rüdiger; Böttcher, Dieter, Dipl.-Ing.; Schüppel, Heinz; Lange, Klaus-Peter, Dr. rer. nat., DD

(73) VEB Projektierung Wasserwirtschaft, Thälmannplatz 2, Halle, 4002, DD

---

**(54) Verfahren und Anlage zur biologischen Phosphor- und Stickstoffeliminierung**

---

(55) biologische Stickstoffeliminierung; biologische Phosphateliminierung; kommunales Abwasser; Abwasserteilströme; anoxisches Becken; anaerobes Becken; aerob-anoxisches Becken; aerobes Becken; Umwälzung; steuerbare Belüftung; Rücklaufschlamm

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anlage zur Eliminierung von Phosphor- und Stickstoffverbindungen aus kommunalen, industriellen und landwirtschaftlichen Abwässern. Es wird eine stabile ganzjährige biologische P- und N-Eliminierung ohne Einsatz von Flockungsmitteln vorgeschlagen. Es wird durch Zugabe verschiedener, speziell festgelegter Teilströme des Abwasserzufflusses in anoxische, anaerobe und aerob-anoxische Becken, die Rückführung bzw. Weiterleitung bestimmter Abwasser- und Schlammengen in vorherige bzw. nachfolgende Behandlungsstufen, durch steuerbare Belüftung bzw. Umwälzung eine hohe Reinigungsleistung erzielt.

### Patentansprüche:

1. Verfahren zur biologischen Phosphor- und Stickstoffeliminierung unter Anwendung anoxischer, anaerober, aerob-anoxischer und aerober Verfahrensschritte, steuerbarer Rühr- und Belüftungseinrichtungen und einem Verteilerregime für das zu reinigende Abwasser und den Rücklaufschlamm, **gekennzeichnet dadurch**, daß mechanisch nicht gereinigtes Abwasser als Teilstrom, 30% des Zulaufes, einer anoxischen Denitrifikationsstufe (I), ein weiterer Teilstrom, 30% des Zulaufes, einer anaeroben Stufe (2) und 40% des Zulaufes einer anoxischen Denitrifikationsstufe (III) zugeführt werden, eine aerob-anoxische Stufe (4) regelbare Belüftungskreislauf aufweist zur Gewährleistung von gelöstem Sauerstoff zwischen 0 und  $4 \text{ g/m}^3$ , der Rücklaufschlamm in bekannter Weise – jedoch 80% – der anoxischen Stufe (1) zugegeben wird, darüber hinaus ein Anteil von 20% Rücklaufschlamm in die anoxische Denitrifikationsstufe (III) gefördert wird und die Klarphase eines Schlammvoredichters (8) in die anaerobe Stufe (2) gegeben wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß das Umwälzen des Mediums in den anoxischen Denitrifikationsstufen intermittierend, d. h. in Abständen von 15–30 min max. 5 min umwälzen, erfolgt.
3. Anlage zur biologischen Phosphor- und Stickstoffeliminierung bestehend aus anoxischen, anaeroben, aerob-anoxischen und aeroben Becken sowie weiteren nachfolgenden Becken, **gekennzeichnet dadurch**, daß ein Vorklärbecken nicht in das Anlagenkonzept einbezogen ist, die Volumina der Becken (1) und (3) etwa 25%, das Volumen des Beckens (2) etwa 12%, das Volumen des Beckens (4) 10–15% der Gesamtvolumina der Becken (1) bis (6) beträgt, das Becken (4) als Steuerstufe regelbare Belüftungskreislauf aufweist, und das Becken (6) für simultane Nitrifikation und Denitrifikation mit Belüftungseinrichtungen, vorzugsweise regelbaren Belüftungswalzen, versehen ist.
4. Anlage nach Anspruch 3, **gekennzeichnet dadurch**, daß in einem Teilbereich des Beckens (5), der mit 10–20% vom Volumen des Beckens (5) bemessen ist, freischwebende oder fest eingebaute Aufwuchsträger für die Nitrifikanten eingebracht sind.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

### Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein biotechnologisches Verfahren und eine entsprechende Anlage zur Eliminierung von Phosphor- und Stickstoffverbindungen aus kommunalen, industriellen und landwirtschaftlichen Abwässern.

### Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Da zum Aufbau organischer Biomasse immer ein bestimmter Anteil von Phosphor benötigt wird, kann bei den einstufigen Belebungsanlagen mit Nitrifikation von mittleren P-Eliminierungsraten, d. h. von etwa 20–40%, ausgegangen werden. Dabei ergeben sich TS-bezogene Phosphatgehalte im Schlamm zwischen 1 bis 2%. Um der Entrophierung der Oberflächengewässer entgegen zu treten, ist es erforderlich, bei der Abwasserbehandlung die Stickstoff- und Phosphoreliminierung soweit in das Reinigungskonzept einzubeziehen, daß die für den Gewässerschutz gültigen Grenzwerte eingehalten werden.

Die biologische Stickstoffeliminierung erfolgt weitgehend mittels Nitrifikation und Denitrifikation. Die Denitrifikation vollzieht sich unter anoxischen Bedingungen; das Nitrat wird letztendlich zu Stickstoff reduziert.

Bei der biologischen Phosphoreliminierung wird davon ausgegangen, daß eine erhöhte Phosphataufnahme immer dann erfolgt, wenn die Mikroorganismen wechselweise anaeroben und aeroben Bedingungen ausgesetzt werden. Das Verfahren beruht auf einer Inkorporation des Phosphors in die Belebtschlammorganismen. In der Nachklärung wird das phosphatarme Abwasser vom phosphorreichen Belebtschlamm getrennt. Der Schlamm wird in die anaerobe Stufe zurückgeführt. Ein Teil wird als Überschussschlamm aus dem Kreislauf entfernt. Unter biologischer Phosphoreliminierung versteht man die über das normale wachstumsbedingte Maß hinausgehende Phosphataufnahme und -bindung durch Mikroorganismen.

Es ist auch bereits an der Kombination der Verfahren zur biologischen Stickstoff- und Phosphoreliminierung gearbeitet worden. In einem Längsbecken (Turbularreaktor) wurden anaerobe Zonen für die biologische P-Entfernung, anoxische Zonen für die Denitrifikation und aerobe Zonen für die Nitrifikation und den Kohlenstoffabbau geschaffen. Die Beschickung des Längsbeckens mit vorgeklärem Zulauf und Rücklaufschlamm erfolgt in die anaerobe Zone. Zwischen der aeroben und der anoxischen bzw. aeroben Zone findet ein Denitrifikationskreislauf durch Abführung eines Teilstromes von der aeroben Zone statt. Das Problem dabei ist, daß die anaerobe Zone immer durch das im Rücklaufschlamm enthaltene Nitrat beeinflusst wird. Das Nitrat bewirkt in der anaeroben Zone einen Verbrauch von leicht abbaubarem Kohlenstoff durch Denitrifikation. Mit der schnell verlaufenden Denitrifikation wird damit das notwendige Substrat für die P-akkumulierenden Mikroorganismen eingeschränkt. Somit verbrauchen die nicht zur P-Aufnahme befähigten Mikroorganismen das Substrat, bevor es von den P-speichernden Mikroorganismen genutzt werden kann. Mit dieser Verfahrenskombination konnten jedoch ständige niedrige P-Ablaufwerte nicht erreicht werden. Zusätzlich ist es daher bis jetzt erforderlich, vor dem Ablauf der aeroben Stufe Fällmittel einzusetzen bzw. die Fällmittelzugabe vorzusehen.

### Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung ist, eine stabile ganzjährige Phosphor- und Stickstoffeliminierung durch mikrobiologische Prozesse ohne Einsatz von Fällungsmitteln zu erreichen. Die Anlagenteile sind so aufeinander abzustimmen, daß bei einer Veränderung der bei konventionellen Anlagen üblichen Bauwerke, der Vorklärung, dem Belebungsbecken, der Nachklärung und der Eindickung eine in sich geschlossene Anlage den mikrobiologischen Abbauprozess ermöglicht.

### Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur biologischen Phosphor- und Stickstoffeliminierung vorzuschlagen, bei dem durch Zugabe verschiedener, speziell festgelegter Teilströme des Abwasserzulaufes in die Behandlungsstufen, die Rückführung bzw. Weiterleitung bestimmter Abwasser- und Schlammengen in vorherige bzw. nachfolgende Behandlungsstufen, durch steuerbare Umwälzung bzw. Belüftung eine effektive Reinigung mit niedrigen, den Gewässerschutz entsprechenden Ablaufwerten erfolgt.

Es soll die Phosphorfreisetzung unter anaeroben Bedingungen nicht durch im Rücklaufschlamm enthaltenes Nitrat beeinflusst werden. Aufgabengemäß sind entsprechende Anlagenteile mit zum Teil herkömmlicher Geometrie bzw. Ausrüstung aber zum Teil neuer Wirkungsweise erforderlich.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe wie folgt gelöst:

Nitratangereicherter Rücklaufschlamm aus einem Nachklärbecken wird mit einem Abwasserteilstrom aus dem Zulauf der Anlage einer anoxischen Stufe zugeführt. Die Menge des Rücklaufschlammes entspricht ungefähr 80% der Menge des zulaufenden Abwassers. Der Abwasserteilstrom beträgt 30 Vol.-% der Zulaufmenge. Das Gemisch wird in dieser Stufe über einen Zeitraum von etwa 0,5 bis 1,0 h durch langsam laufende Rührwerke oder durch intermittierend geschaltete Rührer (in Abständen von 15–30 min max. 5 min umwälzen) in Schwebe gehalten. Ein Sauerstoffeintrag darf nicht erfolgen. In dieser Stufe erfolgt eine weitgehende Denitrifikation und ein teilweiser Abbau der zugeführten organischen Abwasserinhaltsstoffe. Das entsprechende anoxische Denitrifikationsbecken (I) kann rund oder rechteckig ausgebildet sein. Das im wesentlichen vom Nitrat befreite Gemisch gelangt anschließend in eine anaerobe Stufe. Dieser Stufe wird 30 Vol.-% des Abwasserzulaufes zugeführt. Weiterhin wird die in einem Schlammvoreindicker anfallende Klarphase in die anaerobe Stufe eingeleitet. Die Umwälzung des Mediums erfolgt zweckmäßigerweise intermittierend durch langsam laufende Rührer bei einer Verweilzeit im anaeroben Becken von etwa 1,0 bis 2,0 h. Das Volumen des anaeroben Beckens beträgt etwa 12% des Reaktionsvolumens der Gesamtanlage (ausschließlich Nachklärung und Schlammvoreindickung).

Diese Stufe dient der Bildung niedermolekularer organischer Stoffe aus höhermolekularen Abwasserinhaltsstoffen, wobei die niedermolekularen organischen Stoffe als essentielles Nährmedium durch P-speichernde Mikroorganismen des Belebtschlammes aufgenommen werden. Die anderen Organismen des Belebtschlammes sind aufgrund von fehlendem Sauerstoff dazu nicht in der Lage. Die Klarphase des Schlammvoreindickers enthält diese Stoffe bereits in höheren Konzentrationen.

Die anaerobe Stufe wird bei einem runden Denitrifikationsbecken (I) konzentrisch um die anoxische Stufe angeordnet. Bei einem rechteckigen Denitrifikationsbecken (I) schließt sich das anaerobe Becken unmittelbar an. Eine mit Durchlässen versehene Wand trennt die Becken. Die zur Eliminierung der Stoffe erforderliche Energie wird aus dem Abbau intrazellulär gespeicherter Polyphosphate gewonnen. Dadurch kommt es zu einer Zunahme der Orthophosphatkonzentrationen in der gelösten Phase. In dieser und der vorangegangenen Stufe erfolgt gleichzeitig eine Umwandlung organisch gebundenem Stickstoff in Ammonium.

Das mit Ammonium und Orthophosphat angereicherte nitratfreie Gemisch wird nunmehr einer weiteren anoxischen Denitrifikationsstufe zugeführt. In diese Stufe werden außerdem etwa 40 Vol.-% des Abwasserzulaufes und 20 Vol.-% des Rücklaufschlammes eingeleitet sowie aus einem entsprechenden Becken aerob behandeltes Medium. Das Gemisch wird durch auf einer umlaufenden Brücke angeordnete langsam laufende Rührer intermittierend umgewälzt (in Abständen von 15–30 min max. 5 min umwälzen). Die Verweilzeit des Gemisches beträgt etwa 0,5–1,0 h. In dieser Verfahrensstufe wird das im anaerob behandelten Medium enthaltene Nitrat denitrifiziert sowie durch Nitratatmung BSB abgebaut.

Bei einem runden anaeroben Becken kann das anoxische Denitrifikationsbecken (III) wieder konzentrisch um das anaerobe Becken angeordnet werden. Ein gesondertes Rechteckbecken als Teil der nachfolgenden Abwasserbehandlung ist ebenfalls möglich. Die Volumina der anoxischen Denitrifikationsbecken (I und III) müssen etwa 25% des Beckenvolumens der Gesamtanlage (ausschließlich Nachklärung und Schlammvoreindickung) betragen.

Vom anoxischen Denitrifikationsbecken (III) wird das nitratarme Gemisch nun in ein aerob-anoxisches Rechteckbecken gefördert. Die Sauerstoffkonzentration soll mit Hilfe gesteuerter Belüftungseinrichtungen zwischen 0 und 4 g/m<sup>3</sup> eingestellt werden. In Abhängigkeit von der Belastung des Abwasserzulaufes mit organischen Stoffen und vom Prozessverlauf der biologischen Phosphor- und Stickstoffeliminierung können durch die Vorgabe einer bestimmten Sauerstoffkonzentration z. B. die anaerob-anoxischen Prozesse (Denitrifikation, Phosphatfreisetzung) bzw. die aeroben Prozesse (Nitrifikation, Phosphataufnahme) stimuliert werden.

Diese steuerbare Stufe soll etwa 10–15 Vol.-% des Gesamtreaktionsvolumens der Anlage (ausschließlich Nachklärung und Schlammvoreindickung) einnehmen.

Das Medium gelangt nunmehr in eine stark belüftete aerobe Stufe. Durch Einhaltung relativ hoher Sauerstoffkonzentrationen ( $\geq 2,5 \text{ g/m}^3$ ) werden vor allem die Nitrifikationsprozesse (Bildung von Nitrit/Nitrat aus Ammonium) optimiert. Gleichzeitig erfolgt durch spezielle P-speichernde Mikroorganismen des Belebtschlammes eine Aufnahme von Phosphaten über die physiologisch notwendige Menge von etwa 1% der Trockensubstanz. Die Phosphate werden intrazellulär als energiereiche Polyphosphate gespeichert.

Weiterhin werden in dieser Stufe biologisch abbaubare organische Abwasserinhaltsstoffe durch Mikroorganismen des Belebtschlammes veratmet bzw. in Biomasse inkorporiert. Die Neubildung von Biomasse bewirkt gleichzeitig eine Eliminierung von Phosphor und Stickstoff in bekannten Mengen aus der flüssigen Phase.

Da die Reproduktionszeit der nitrifizierenden Bakterien im Vergleich zu den anderen Mikroorganismen des Belebtschlammes sehr lang ist, können ausreichende Mengen der für die Stickstoffeliminierung notwendigen speziellen Bakterien im Belebtschlamm nur durch ein hohes Schlammalter, d. h. durch relativ große Reaktionsräume erreicht werden. Es wird daher als Variante die Anordnung von freibeweglichen oder fest eingebauten Aufwuchsträgern (10–20% vom Beckenvolumen) in einen Teilbereich der aeroben Stufe vorgesehen. Durch teilweise Immobilisierung wird ein übermäßiger Austrag der langsamwüchsigen Organismen verzögert.

Ein Teilstrom, etwa 200% des nitratreichen Mediums, wird von der aeroben Stufe einem Becken für simultane Nitrifikation und Denitrifikation zugeführt. Ein weiterer Teilstrom (vorzugsweise 250–350 Vol.-% des Abwasserzulaufs) wird der bereits beschriebenen anoxischen Denitrifikationsstufe II zugeführt. Um den Prozeß der Denitrifikationsstufe zu ermöglichen, wird dieser Stufe der bereits erwähnte Abwasserteilstrom (etwa 40 Vol.-% des Zulaufes) mit biologisch nutzbaren organischen Verbindungen zugeführt.

Der dem Becken für simultane Nitrifikation und Denitrifikation zugeleitete Teilstrom von der aeroben Stufe wird durch umlaufende Belüftungseinrichtungen oder zweckmäßiger durch stationäre regelbare Belüftungswalzen mit Luftsauerstoff angereichert, um einer P-Rücklösung in der Nachklärung entgegenzuwirken.

Im anschließenden Nachklärbecken wird der phosphorreiche Schlamm (3–6% der TS) vom gereinigten Abwasser getrennt. Der im Nachklärbecken abgetrennte Schlamm wird – wie bereits dargelegt – zu 80% und 20% den anoxischen Denitrifikationsstufen zugeführt.

Der Überschussschlamm wird aus dem Nachklärbecken dem Schlammvoredicker zugeführt.

Es ist noch hervorzuheben, daß das Abwasser vor Einleitung in die Behandlungsstufen nicht mechanisch zu reinigen ist, um den hohen Bedarf der biologischen Stoffwechselprozesse an nutzbaren Kohlenstoffverbindungen zu gewährleisten und um gleichzeitig das Schlammalter zu erhöhen.

### Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel erläutert werden.

Die Abbildung stellt eine Anlage zur biologischen Phosphor- und Stickstoffeliminierung dar.

Die Abwasserreinigung erfolgt in mehreren Behandlungsstufen. Die entsprechenden Anlagenteile dazu sind:

Ein anoxisches Denitrifikationsbecken I, darum konzentrisch angeordnet ein anaerobes Becken 2 und dazu wieder konzentrisch angeordnet ein anoxisches Denitrifikationsbecken III bilden einen Bauwerkskomplex. Zur Anlage gehören weiterhin ein aerob-anoxisches Rechteckbecken 4, aerobes Becken 5, ein Becken für simultane Nitrifikation und Denitrifikation; 6, ein Nachklärbecken 7 und ein Schlammvoredicker 8.

Die Abwasserzulaufmenge beträgt  $250 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Dem Denitrifikationsbecken I, d. h. einer anoxischen Stufe, wird mechanisch nicht vorgereinigtes Abwasser als Teilstrom, etwa  $75 \text{ m}^3/\text{h}$ , vom Zulauf 14 der Kläranlage sowie  $200 \text{ m}^3/\text{h}$  Rücklaufschlamm aus dem Nachklärbecken 7 zugeführt. Ein langsam laufendes Rührwerk 9 wälzt das Gemisch ständig oder intermittierend um.

Danach gelangt das weitgehend vom Nitrat befreite Gemisch in das Becken 2, d. h. die anaerobe Stufe, welchem außerdem ein Teilstrom, etwa  $75 \text{ m}^3/\text{h}$  vom Zulauf und die Klarphase des Schlammvoredickers 8 zugegeben wird.

Es erfolgt ein Umwälzen durch den Rührer 9, die an einer umlaufenden Brücke 10 angeordnet sind. Im Becken 2 wird organisch gebundener Stickstoff in Ammonium überführt und es erfolgt eine Zunahme der Orthophosphatkonzentration in der gelösten Phase.

Das Gemisch gelangt nunmehr in das anoxische Denitrifikationsbecken III. Dieser Stufe wird wiederum ein Teilstrom, etwa  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  vom Zulauf 14 und etwa  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  Rücklaufschlamm zugeleitet. Durch langsam laufende Rührer erfolgt eine Umwälzung.

Die weitere Behandlung des Mediums erfolgt in einem aerob-anoxischen Rechteckbecken 4 mit regelbaren

Belüftungskreiseln 11. Die anschließende aerobe Behandlung vollzieht sich in Becken 5 mit geeigneten

Belüftungseinrichtungen 12, evtl. ebenfalls Kreisel. Im aeroben Becken 5 können zur Verhinderung von Kurzschlußströmungen Strömungsleiteinrichtungen (Schikanen, durchlässige Wände) verwendet werden.

Vom Ablauf des Beckens 5 wird ein Teilstrom, etwa  $625\text{--}750 \text{ m}^3/\text{h}$ , dem Becken 3 führt. Ein weiterer Teilstrom, etwa  $500 \text{ m}^3/\text{h}$ , wird in das Becken 6 für simultane Nitrifikation und Denitrifikation gefördert. In dieses Becken 6 wird durch regelbare

Belüftungswalzen 13 Luftsauerstoff zur Vermeidung der P-Rücklösung eingetragen. Aus dem Nachklärbecken 7 gelangen

$200 \text{ m}^3/\text{h}$  Rücklaufschlamm in das anoxische Denitrifikationsbecken I und  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  in das anoxische Denitrifikationsbecken III.

Über das Nachklärbecken 7 und Abfluß 15 verläßt das gereinigte Abwasser die Anlage mit folgenden P- und N-Bestandteilen:

$P \leq 2 \text{ mg/l}$ ,  $N\text{-NH}_4 \leq 5 \text{ mg/l}$ .

